# ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# FACOLTÀ DI INGEGNERIA

# CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

DICAM

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali

Tesi di Laurea in CALCOLO AUTOMATICO DELLE STRUTTURE LS

# **PROVE NON DISTRUTTIVE E MECCANICHE**

# AI FINI DELLA DIAGNOSTICA

# ENERGETICA E STRUTTURALE

# **DI EDIFICI STORICI**

Candidato: FABRIZIO LARICI Relatore: PROF. ING. FRANCESCO UBERTINI Correlatori: PROF. ING. ANDREA BENEDETTI DR. ARCH. CAMILLA COLLA DOTT. ING. ELENA GABRIELLI

Sessione I

LISG Laboratorio di Ingegneria Strutturale e Geotecnica *ex-LARM (Laboratorio Resistenza Materiali)* 



**3encult** Efficient Energy for EU Cultural Heritage *www.3encult.eu* 



**SMooHS** Smart Monitoring of Historic Structures www.smoohs.eu



# INDICE

Intf	RODUZI	ONE	1			
1	IL PERCORSO CONOSCITIVO DELLE COSTRUZIONI STORICHE					
	1.1	Identificazione della costruzione				
	1.2	Caratterizzazione funzionale dell'edificio e dei suoi spazi				
	1.3	Rilievo geometrico				
	1.4	Analisi storica degli interventi subiti				
	1.5	Rilievo materico e stato di conservazione	9			
	1.6	1.6 La caratterizzazione meccanica dei materiali				
	1.7	Terreno e fondazioni	11			
	1.8	Monitoraggio	11			
	1.9	Livelli di conoscenza e fattori di confidenza	12			
2	DISS	ESTI NELLE STRUTTURE IN MURATURA	14			
	2.1	Classificazione dei dissesti	15			
	2.2	L'assestamento murario	16			
	2.3	Lo schiacciamento	16			
	2.4	Pressoflessione e carico di punta	20			
	2.5	Spinta delle masse incoerenti, degli archi e delle volte 24				
	2.6	Depressione delle strutture orizzontali	32			
	2.7	Fenomeni vibratori				
	2.8	Fenomeni fessurativi e deformativi nel tempo				
3	Prin	CIPI E STATO DELLA RICERCA DELLE TECNICHE UTILIZZATE				
	3.1	Test di permeabilità all'aria: principi della tecnica				
	3.2	Test di permeabilità all'aria: stato dell'arte della tecnica				
	3.3	La termografia: principi della tecnica	45			
		3.3.1 Scopi				
		3.3.2 Strumentazione utilizzata	47			
		3.3.3 Principi fondamentali	48			
		3.3.4 Acquisizione dati	54			
		3.3.5 Elaborazione ed interpretazione dei risultati	55			
	3.4	La termografia: stato dell'arte della tecnica	56			
		3.4.1 Parametri importanti nell'impiego della termografia	57			
		3.4.2 Termografia come parte di metodi combinati	60			

		3. <i>4</i> . <i>3 T</i>	ermografia come tecnica per rilevare l'umidità e altri		
		aspetti le	gati all'efficienza energetica	63	
		3. <i>4</i> . <i>4 T</i>	ermografia come tecnica per l'individuazione di difett	i	
		struttura	li	67	
	3.5	Il ground	penetrating radar: principi della tecnica	70	
		3.5.1 S	сорі	71	
		3.5.2 S	trumentazione utilizzata	71	
		3.5.3 P	rincipi fondamentali	71	
		3.5.4 A	cquisizione dati	80	
		3.5.5 E	laborazione ed interpretazione dei risultati	83	
	3.6	Il ground	penetrating radar: stato dell'arte della tecnica	85	
		3.6.1	PR come tecnica per l'indagine del calcestruzzo	87	
		<i>3.6.2</i> G	PR come tecnica per l'indagine di strutture storiche e	in	
		muratura	·	92	
		3.6.3	PR come tecnica per l'indagine di infrastrutture viario	е,	
		ponti e a	eroporti	98	
4	PALAZZINA DELLA VIOLA: RICERCA STORICA104				
		4.1 La	Palazzina della Viola oggi	104	
		4.2 Afj	freschi e decorazioni	110	
		4.3 Br	eve storia dell'edificio	111	
		4.4 Int	erventi subiti dall'edificio: ricostruzione da fonti		
		bibliogra	ifiche e cartografiche	113	
		4.5 Tr	acce di ulteriori interventi: elementi emersi dall'osser	vazione	
		diretta de	ll'edificio	127	
5	PALAZZINA DELLA VIOLA: RILIEVO GEOMETRICO ED IMPIANTISTICO 141				
	5.1	Scopi		141	
	5.2	Strumen	tazione utilizzata	142	
	5.3	Acquisiz	ione dati	142	
	5.4	Presenta	zione dei risultati	144	
		5.4.1	Rilievo della geometria degli ambienti e delle aperture	145	
		5.4.2 1	Rilievo degli spessori murari	152	
		5.4.3	Caratterizzazione dei solai	154	
		5.4.4	Rilievo degli impianti esistenti	164	

6	PALAZZINA DELLA VIOLA: RILIEVO DEL QUADRO FESSURATIVO E					
	MON	IONITORAGGIO DI ALCUNE FESSURE				
	6.1	Scopi		168		
	6.2	Rilievo del quadro fessurativo				
		6.2.1	Strumentazione utilizzata			
		6.2.2	Procedura operativa e acquisizione dati	169		
		6.2.3	Visualizzazione ed analisi dei risultati			
	6.3	Monitoraggio dell'ampiezza di alcune fessure				
		6.3.1	Strumentazione utilizzata			
		6.3.2	Procedura operativa			
		6.3.3	Acquisizione dati			
		6.3.4	Visualizzazione dei risultati			
		6.3.5	Commento ai risultati			
7	PALA	PALAZZINA DELLA VIOLA: RILIEVO DEL MICROCLIMA INTERNO18				
	7.1	Scopi				
	7.2	Strumentazione utilizzata				
	7.3	Indagini effettuate				
	7.4	Distribuzione dei parametri sull'intero edificio				
		7.4.1	Procedura operativa			
		7.4.2	Visualizzazione dei risultati	192		
		7.4.3	Analisi dei risultati	198		
	7.5	Mapp	atura dei valori all'interno delle singole stanze	199		
		7.5.1	Procedura preparatoria			
		7.5.2	Acquisizione dei dati	201		
		7.5.3	Visualizzazione dei dati	203		
		7.5.4	Commento ai risultati	229		
	7.6	Monit	oraggio in continuo			
		7.6.1	Procedura operativa	230		
		7.6.2	Visualizzazione dei dati	234		
		7.6.3	Analisi dei risultati			
8	PALA	PALAZZINA DELLA VIOLA: PROVA DI PERMEABILITÀ ALL'ARIA				
	8.1	Scopi				
	8.2	Strumentazione utilizzata				
	8.3	Procedura preparatoria				
	8.4	Procedura operativa				

	8.5	Acquisizione dati	263	
	8.6	Analisi dei risultati	300	
9	Pala	ZZINA DELLA VIOLA: INDAGINE TRAMITE TERMOGRAFIA	304	
	9.1	Scopi	304	
	9.2	Strumentazione utilizzata	305	
	9.3	Procedura preparatoria	308	
	9.4	Acquisizione dei termogrammi e loro post-processing	309	
	9.5	Esempi di termogrammi particolarmente significativi	315	
10	Pal	azzina della Viola: indagine delle pareti tramite GPR $\dots$	334	
	10.1	Scopi	334	
	10.2	Strumentazione utilizzata	335	
	10.3	Procedura preparatoria	335	
	10.4	Acquisizione dei dati		
	10.5	Esempi di radargrammi particolarmente significativi	342	
	10.6	Analisi dei dati in forma aggregata	374	
11	Palazzina della Viola: indagine dei pavimenti tramite GPR			
	10.1	Scopi	384	
	10.2	Strumentazione utilizzata	384	
	10.3	Procedura preparatoria	385	
	10.4	Acquisizione dei dati		
	10.5	Esempi di radargrammi particolarmente significativi	391	
	10.6	Sommario delle orditure degli elementi portanti individuate	413	
12	Pal	AZZO MALVEZZI: PROVA DI CARICO SU TRAVE LIGNEA	418	
	12.1	Presentazione dell'edificio oggetto di indagini	418	
	12.2	Scopi	421	
	12.3	Strumentazione utilizzata	421	
	12.4	Procedura preparatoria	422	
	12.5	Allestimento della prova	431	
	12.6	Acquisizione dati	435	
	12.7	Visualizzazione dei dati ed analisi dei risultati	436	
13	PAL	AZZO MALVEZZI: PROVA DI CARICO SU PORZIONE DI SOLAIO DELL	A SALA	
	OVA	LE	448	
	13.1	Scopi	448	

	13.2	Strumentazione utilizzata	. 449
	13.3	Allestimento della prova	455
	13.4	Esecuzione della prova	. 459
	13.5	Visualizzazione dei dati ed analisi dei risultati	462
14	PALA	AZZO MALVEZZI: INDAGINE TRAMITE TERMOGRAFIA	. 479
	14.1	Scopi	. 479
	14.2	Strumentazione utilizzata	. 480
	14.3	Acquisizione dei dati e loro post-processing	480
	14.4	Esempi di termogrammi particolarmente significativi	486
Con	CLUSION	и	492
BIBLI	OGRAFI	Α	. 498
Appe	NDICE I	: RILIEVO DEI SAGGI PRESENTI NEI SOLAI DELLA PALAZZINA DELLA	
VIOL	Α		506
Appe	NDICE I	I: sezioni quotate della Palazzina della Viola con	
REST	ITUZION	E DI QUADRO FESSURATIVO E IMPIANTI	. 525
Appe	NDICE I	II: MISURE PER IL RILIEVO DEL MICROCLIMA DELLA PALAZZINA DEL	LA
Viol	Α		557

#### INTRODUZIONE

Gli edifici storici rappresentano una consistente quota del patrimonio edilizio presente in Europa, ed in Italia in particolare.

Detti edifici, caratterizzati a volte da problematiche di tipo strutturale e molto spesso da una modesta efficienza energetica rispetto alle costruzioni di moderna concezione sono a tutt'oggi scarsamente studiati, anche in ragione dell'esigenza di non distruttività che ogni indagine deve avere sugli stessi.

Le stesse esigenze di conservazione che limitano le tipologie di indagini eseguibili impongono però anche di riservare una particolare attenzione al patrimonio edilizio storico esistente per preservarlo nel tempo da problemi strutturali che, se trascurati, possono pregiudicare la staticità del manufatto, e per rendere, ove possibile, più conveniente l'impiego di tali strutture, migliorandole e favorendone una continuativa utilizzazione; obiettivo quest'ultimo perseguibile ad esempio con il miglioramento dell'efficienza energetica dei fabbricati.

È però necessaria una dettagliata conoscenza delle problematiche che possono affliggere gli edifici storici e delle possibili soluzioni, oltre che delle possibilità per monitorare eventuali aspetti critici dell'edificio e individuarne per tempo l'eventuale aggravarsi.

I due edifici indagati, entrambi siti a Bologna, sono la Palazzina della Viola, exsede della Facoltà di Agraria, sita nel comparto Filippo Re, e Palazzo Malvezzi, attuale sede della Provincia di Bologna, sito in via Zamboni.

La Palazzina della Viola è stata oggetto delle indagini più estese, con l'utilizzo di tecniche non distruttive, quali la termografia e il ground penetrating radar, oltre all'esecuzione di un test di permeabilità all'aria dell'edificio, anche chiamato blower door test. Sono inoltre state condotte una serie di indagini preliminari utili, oltre ad acquisire una conoscenza di base dell'edificio a semplificare l'interpretazione dei risultati delle indagini e, dove possibile, ad una vera e propria verifica degli stessi. È stato in particolare eseguito un rilievo geometrico e impiantistico oltre ad una ricerca storica, volta, in particolare, alla ricostruzione degli interventi subiti dalla struttura.

Palazzo Malvezzi è invece stato oggetto di prove più contenute: sono state in particolare eseguite alcune prove di carico diretto e un'indagine termografica.

Le indagini sono state effettuate nell'ambito di due progetti europei: il progetto 3encult (Efficient Energy for EU Cultural Heritage), relativamente alla Palazzina della Viola ed il progetto SMooHS (Smart Monitoring of Historic Structure), relativamente a Palazzo Malvezzi.

Il progetto 3encult è relativo all'efficienza energetica negli edifici storici: in particolare al miglioramento della stessa, tipicamente molto scarsa rispetto a quella delle strutture moderne, con riguardo alle esigenze di conservazione. Detto progetto, è ora nella sua fase iniziale (durata del progetto da ottobre 2010 a marzo 2014) e conta 22 partners in 10 stati. Sono considerati 8 casi di studio in 6 stati (Austria, Danimarca, Germania, Italia, Spagna e Svizzera) per costituire un supporto pratico alle attività di ricerca svolte durante il progetto, e testare le soluzioni ideate durante lo stesso; gli esemplari in studio sono scelti a rappresentare diverse condizioni climatiche, utilizzazioni, epoche di costruzione e grado di conservazione. È in tale ambito che si collocano le indagini diagnostiche effettuate sulla Palazzina della Viola: in particolare, essendo in corso una ristrutturazione, alcune prove eseguite nello stato attuale dell'edificio, quali il test di tenuta all'aria, andranno nuovamente eseguite a intervento effettuato, per verificare eventuali cambiamenti nei risultati.

Il progetto SMooHS riguarda invece il monitoraggio 'intelligente' degli edifici storici. In particolare gli obiettivi di detto progetto sono lo sviluppo di sistemi di monitoraggio, di facile istallazione e poco invasivi per la struttura, con l'utilizzo, ad esempio, di sistemi wireless, e di sistemi di elaborazione dati. Il progetto conta 14 partners in 6 stati e si trova nella sua fase finale: il termine del progetto, iniziato dicembre 2008, è previsto a novembre 2011. Sono in corso, quale parte del progetto, campagne di monitoraggio in 6 strutture, fra cui il Palazzo Malvezzi.

Il presente elaborato è suddividibile in due parti: la prima, costituita dai capitoli 1-3, tratta sinteticamente i principi di base, la strumentazione e l'attuale stato della ricerca delle tecniche necessarie alla comprensione della parte applicativa, costituita dai capitoli 4-14. In particolare i capitoli 4-11 sono relativi a indagini eseguite sulla Palazzina della Viola mentre i capitoli 12-14 a quelle effettuate su Palazzo Malvezzi.

Il primo capitolo rappresenta un'introduzione al percorso conoscitivo delle costruzioni storiche, come previsto dalle "linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale". Detto percorso rappresenta una sorta di traccia seguita in particolare nelle indagini effettuate sulla Palazzina della Viola, soprattutto nella sua parte iniziale con il rilievo geometrico dell'edificio e un'indagine storica sullo stesso. Tali punti costituiscono una base per le indagini successive effettuate sull'edificio: sia per quelle presentate nel corrente lavoro che per quelle da eseguirsi nel seguito del progetto.

Il secondo capitolo descrive le principali forme di dissesto possibili nelle strutture in muratura, con particolare riguardo alle manifestazioni fessurative di tali dissesti. Tale parte è propedeutica all'interpretazione di rilevanti fenomeni fessurativi osservati sulla Palazzina della Viola.

Il terzo capitolo rappresenta un'introduzione alle principali tecniche di indagine non distruttive e diagnostiche utilizzate:

- il ground penetrating radar, che sfrutta la diversa capacità dei materiali di trasmettere e riflettere onde elettromagnetiche, utilizzabile, ad esempio, per la determinazione dell'orditura dei solai, la ricerca di barre di armatura in manufatti di calcestruzzo, l'individuazione di distacchi o delaminazioni di vari elementi, oltre che per la ricerca di aree con contenuto di umidità particolarmente elevato;

- la termografia, una tecnica "non a contatto" che sfrutta la trasmissione del calore fra i materiali e produce mappe, sotto forma di termogrammi, della distribuzione superficiale di temperatura dell'oggetto testato. Tale tecnica è utilizzabile, ad esempio, per la lettura della tessitura delle murature, il rilievo dell'orditura dei solai e la ricerca di ponti termici o difetti nell'isolamento;

- il blower door test, che consiste nella determinazione, previa pressurizzazione (o depressurizzazione) del volume da testare con un ventilatore, dei ricambi d'aria orari dell'edificio ad una certa pressione di riferimento (50 Pa). Tale valore è in relazione con l'efficienza energetica della struttura.

Ognuna delle tecniche è brevemente introdotta nei suoi principi essenziali e quindi trattata nelle sue più recenti evoluzioni costituite essenzialmente dalla più recente produzione di ricerca applicata in laboratorio e in sito.

Il quarto capitolo raccoglie i risultati di un'essenziale ricerca storica, basata sia su ricerche bibliografiche e cartografiche che su ulteriori elementi emersi direttamente sul campo, sulla Palazzina della Viola con particolare riguardo agli interventi subiti dall'edificio stesso nel corso del tempo.

Il quarto capitolo tratta il rilievo geometrico ed impiantistico dell'edificio, in particolare, oltre che per fornire un'informazione di base sull'edificio, per

raccogliere elementi necessari ad una più efficiente pianificazione delle prove successive o ad una più puntuale interpretazione dei risultati.

Il sesto capitolo tratta il rilievo del quadro fessurativo e il monitoraggio dell'ampiezza di alcune fessure, ritenute rappresentative dei principali fenomeni di dissesto murario statico in atto.

Il settimo capitolo raccoglie i risultati di un monitoraggio del microclima interno della Palazzina, in particolare sono stati misurati valori di temperatura e di umidità relativa dell'aria con più strumenti e secondo diverse modalità di rilievo: misurazione puntuale al centro di ogni stanza, mappatura della distribuzione dei valori all'interno delle stanze e monitoraggio in continuo esteso per buona parte del periodo delle indagini. Tali rilievi saranno utili, nel proseguo del progetto, per il confronto dei risultati ottenuti con quelli relativi ad un altro sistema di monitoraggio istallato da ricercatori del dipartimento DEIS (Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica) dell'Università di Bologna, oltre che con i dati ottenuti con il proseguire delle indagini ora iniziate, in diverse stagioni.

L'ottavo capitolo tratta l'esecuzione del test di permeabilità all'aria in diverse zone dell'edificio con una comparazione fra i risultati ottenuti nelle stesse in ragione delle diverse tipologie di elementi, quali infissi, solai e pavimenti presenti. Sulla base del complesso dei dati è inoltre desumibile la qualità della tenuta all'aria dell'edificio nel suo complesso.

Il nono capitolo tratta invece l'indagine termografica della Palazzina, eseguita in parte in modo passivo ed in parte previo riscaldamento dei locali indagati, procedura attiva che tipicamente porta ad un miglioramento dei risultati ottenibili. Sono stati ricercati elementi di interesse, sia di natura strutturale, quali tamponature e orditura dei solai, che relativi all'efficienza energetica, quali ponti termici. La parte strutturale è qui trattata con particolare dettaglio.

Il decimo capitolo tratta l'indagine delle pareti dell'edificio tramite ground penetrating radar: sono state interessate dall'indagine un'ampia quota delle pareti dell'edificio e sono state quindi ricercate, ad esempio, tamponature o aree con particolare concentrazione di umidità.

L'undicesimo capitolo tratta il completamento dell'indagine trattata al capitolo precedente, relativamente ai solai: per la quasi totalità delle stanze sono state acquisite almeno due linee ortogonali ed è stata tentata la ricostruzione non invasiva delle orditure dei solai. I risultati ottenuti sono quindi stati confrontati con le orditure note dalle indagini distruttive e dalle ispezioni visuali.

Il dodicesimo capitolo apre le indagini sul secondo caso di studio considerato, Palazzo Malvezzi, con una prova di carico diretto (flessione a quattro punti) eseguita in campo elastico su di una trave lignea storica sita nel sottotetto contemporaneamente alla ripetizione di prove non distruttive sullo stesso elemento.

Il tredicesimo capitolo tratta dell'esecuzione di una seconda prova di carico, eseguita invece su una porzione di volta in muratura di una particolare stanza, caratterizzata da un foro ovale al centro e per questo detta Sala dell'Ovale, presente al di sopra della Sala del Consiglio. La prova ha previsto la misurazione dell'abbassamento con più sistemi di misura e il confronto dei diversi risultati al fine sia della verifica del solaio sia per la validazione dei sistemi di monitoraggio wireless utilizzati e per la validazione dei loro dati.

Il quattordicesimo capitolo tratta infine di un'indagine termografica esemplificativa eseguita su Palazzo Malvezzi. Senza pretese di esaustività, essendo stata investigata una ridottissima parte dell'edificio, sono comunque emersi alcuni elementi interessanti sia all'esterno che all'interno all'edificio.

## 1 IL PERCORSO CONOSCITIVO DELLE COSTRUZIONI STORICHE

La conoscenza di un edificio storico in muratura è un presupposto fondamentale ai fini di un'attendibile valutazione della sicurezza e per la scelta di un adeguato intervento di miglioramento. Nell'acquisizione di detta conoscenza sono presenti le problematiche comuni a tutti gli edifici esistenti, con un'importanza ancora maggiore, per il patrimonio tutelato, della conoscenza delle caratteristiche originali della struttura e delle modifiche subite dalla stessa.

Le "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni" del 2006 formalizzano un percorso conoscitivo del manufatto con l'obiettivo della definizione di un modello conoscitivo che permetta sia un'interpretazione qualitativa del funzionamento strutturale sia un'analisi quantitativa. Un approfondimento differente, in funzione dell'accuratezza delle operazioni di rilievo, delle ricerche storiche e delle indagini sperimentali, è legato a diversi gradi di affidabilità del modello.

Essendo una campagna d'indagine completa troppo invasiva per la struttura è quindi necessario affinare tecniche di analisi e interpretazione dei manufatti storici mediante fasi conoscitive in grado di garantire elevata attendibilità e caratterizzate da diverso impatto sulla struttura. In particolare il percorso di indagine della costruzione può esser riassunto nelle seguenti attività:

1- l'identificazione della struttura e la sua localizzazione in relazione a particolari aree a rischio e il rapporto della stessa con il contesto urbano circostante;

2- il rilievo geometrico della costruzione considerato comprendente gli eventuali fenomeni fessurativi e deformativi;

3- la ricostruzione dell'evoluzione della fabbrica dallo stato originario allo stato attuale, con tutte le trasformazioni subite;

4- l'individuazione degli elementi costituenti il meccanismo resistente e la loro caratterizzazione con particolare riguardo a tecniche realizzative e dettagli costruttivi;

5- identificazione di materiali, loro degrado e proprietà meccaniche;

6- la conoscenza del sottosuolo e delle fondazioni, loro degrado e proprietà meccaniche.

#### 1.1 Identificazione della costruzione

Il primo passo consiste nella localizzazione della struttura nel territorio allo scopo di individuare la sua sensibilità a vari rischi, in particolare quello sismico. Tale prima fase comprende anche un semplice rilievo geometrico per acquisire una conoscenza di base e per localizzare eventuali elementi di pregio, presenti nell'edificio, che possono condizionare il livello di rischio. Detta conoscenza degli elementi di pregio è utile anche nel caso si renda necessario effettuare prove distruttive per facilitare un'oculata scelta delle aree di sacrificio.

In questa fase deve essere analizzato il rapporto del manufatto con l'intorno, attraverso la descrizione del complesso architettonico, isolato o non isolato, e la caratterizzazione dei rapporti spaziali e funzionali tra l'edificio e il contesto. In particolare partendo dal concetto di complesso architettonico, costituito dall'aggregazione di più corpi di fabbrica, e definito spazialmente dalle strade che lo circoscrivono, si dovrà risalire ai corpi di fabbrica costituenti (CF), individuabili attraverso l'analisi dei prospetti visibili e l'articolazione planoaltimetrica.

# 1.2 Caratterizzazione funzionale dell'edificio e dei suoi spazi

La conoscenza dell'edificio non può prescindere dall'analisi dell'evoluzione funzionale dello stesso, quindi dall'individuazione della serie delle utilizzazioni succedutesi nel tempo. Tale conoscenza è utile per comprendere i motivi di eventuali modiche strutturali, per motivare i segni di dissesti e per progettare utilizzazioni future compatibili con le caratteristiche dell'edificio.

## 1.3 Rilievo geometrico

Il rilievo geometrico consta nell'individuazione delle caratteristiche planoaltimetriche degli elementi costituivi il fabbricato. Sono in particolare da rilevarsi:

- la geometria di tutti gli elementi in muratura;
- la geometria delle volte (spessore e profilo);
- i solai e la copertura (tipologia e orditura);
- le scale (tipologia strutturale);
- le eventuali nicchie, cavità richiuse, canne fumarie
- le tipologie delle fondazioni.

Andranno estesi i rilievi alla geometria complessiva dell'edificio, comprendendo gli eventuali edifici in aderenza.

Ultimato il rilievo, andrà individuato lo schema resistente. Giacché il rilievo geometrico andrà utilizzato nell'analisi sismica, tutti gli elementi necessari alla definizione del modello da utilizzarsi per detta analisi devono essere stati rilevati, ad esempio imposte degli orizzontamenti e sistemi di archi voltati, entità dell'appoggio degli stessi sulle murature d'ambito.

Difficoltà, durante il rilievo, possono presentarsi in ragione della difficile accessibilità di alcune aree, quali sottotetti, volumetti fra false volte o controsoffitto e copertura, oppure all'eccessiva altezza degli elementi, come nel caso di rilievo di campanili o torri. Aree non accessibili possono essere indagate tramite l'impiego di tecniche dirette, quali l'endoscopia, o indirette, quali termografia o georadar.

Emerge quindi l'importanza delle tecniche non distruttive, quali le suddette indagini termografiche o georadar, come strumento d'indagine particolarmente importante nel caso di edifici ove l'impatto delle indagini stesse sulla struttura vada ridotto al minimo.

Andrà rilevato e restituito l'eventuale quadro fessurativo, in modo da consentire l'individuazione delle cause e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'elemento.

Le lesioni andranno classificate per geometria (estensione e ampiezza) e per cinematismo (distacco, scorrimento, rotazione fuori dal piano). Successivamente ad ogni lesione o insieme di lesioni andrà associato uno o più meccanismi di danno compatibili con l'organismo strutturale e la sua fondazione, con le trasformazioni subite, con i materiali presenti, con gli interventi subiti.

Similmente andranno classificate le deformazioni secondo la loro natura (evidenti fuori piombo, abbassamenti, rigonfiamenti, spanciamenti, depressioni nelle volte) e associate, se possibile, ai rispettivi meccanismi di danno.

## 1.4 Analisi storica degli interventi subiti

Andranno ricostruiti gli interventi subiti dal bene nel tempo, quali eventuali realizzazioni successive di corpi di fabbrica addizionali, al fine di individuare le zone di possibile discontinuità e disomogeneità materiale, sia in pianta sia in alzato.

La storia dell'edificio può anche essere usata come strumento di controllo della risposta dell'edificio a particolari eventi traumatici che lo stesso può aver subito. Vanno quindi identificati tali eventi e i corrispondenti effetti, accertabili per via documentale o tramite un rilievo diretto del manufatto. Anche la storia delle destinazioni d'uso del bene può fornire indicazioni utili sulle azioni applicate in passato.

## 1.5 Rilievo materico e stato di conservazione

Deve essere completamente individuato il meccanismo resistente anche con riguardo a qualità e stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi. Spesso la presenza di elementi quali intonaci, controsoffitti, è di ostacolo alle indagini: può essere quindi necessario l'utilizzo di tecniche non distruttive (termografia, georadar) o debolmente distruttive (endoscopie, scrostamento d'intonaci, ecc.). Una profonda conoscenza delle caratteristiche costruttive dell'area nei diversi periodi storici, oltre che alla conoscenza dell'edificio in esame, possono consentire di limitare al minimo il numero delle prove.

È necessario prestare particolare attenzione alla qualità muraria. In particolare sono importanti:

- la presenza di elementi trasversali (diatoni) di collegamento fra i paramenti murari (forma, foggia e dimensioni degli elementi)

- il riconoscimento di una disposizione regolare dei corsi

- la buona tessitura, ottenibile con l'ingranamento degli elementi e il regolare sfalsamento dei giunti;

- la natura e lo stato di conservazione delle malte.

La definizione di uno schema strutturale richiede una conoscenza dei dettagli costruttivi e delle caratteristiche di collegamento fra i diversi elementi, quali:

- la tipologia di muratura (in mattoni, in pietra);

- la qualità del collegamento fra le pareti verticali;

- la qualità del collegamento fra orizzontamenti (solai, volte e coperture) e pareti, con l'eventuale rilievo di cordoli di piano e altri dispositivi di collegamento;

- gli elementi di discontinuità determinati da cavedii, canne fumarie;

- la tipologia degli orizzontamenti, con particolare riguardo alla loro rigidezza di piano;

- la tipologia delle architravi sulle aperture;

- la presenza di elementi strutturali efficienti atti a equilibrare le spinte presenti.

#### 1.6 La caratterizzazione meccanica dei materiali

Un rilievo visivo e alcune prove possono consentire di raggiungere una buona conoscenza sulla qualità dei materiali e sul loro degrado. Tuttavia in alcuni casi la modellazione del comportamento strutturale richiede la conoscenza di parametri meccanici di deformabilità e resistenza dei materiali, delle murature in particolare.

Tecniche non distruttive, quali gli ultrasuoni, consentono di valutare l'omogeneità dei parametri meccanici in diverse parti della costruzione ma non consentono stime attendibili essendo i parametri interessanti desunti per via indiretta.

La misura diretta dei parametri meccanici della muratura non può quindi essere eseguita se non attraverso prove distruttive o debolmente distruttive, anche in numero limitato. I dati acquisiti potranno poi essere usati per la calibrazione di prove non distruttive con una riduzione complessiva dell'invasività delle operazioni di prova.

La caratterizzazione degli elementi costituenti (malte, mattoni o elementi lapidei) può essere fatta in sito oppure su campioni di piccole dimensioni, prelevati e analizzati in laboratorio.

Per quanto riguarda in particolare le malte possono essere eseguite:

- prove sclerometriche e penetrometriche;

- analisi chimiche, da eseguirsi su campioni prelevati in profondità di modo che non siano soggetti a degrado superficiale.

Per quanto riguarda i mattoni possono essere valutate, oltre alle caratteristiche fisiche, il modulo elastico e le resistenze a trazione e a compressione attraverso prove meccaniche di laboratorio.

Per quanto riguarda gli elementi lapidei può essere eseguita una caratterizzazione litologica.

Le caratteristiche meccaniche di una muratura possono essere desunte dalle proprietà degli elementi costituenti solo nel caso di muratura di mattoni o comunque di elementi squadrati a tessitura regolare.

Non essendo tipicamente possibile, per quanto concerne le indagini distruttive, acquisire dati a sufficienza per una loro trattazione statistica o semiprobabilistica la progettazione e interpretazione delle indagini nell'interpretazione dei risultati di tale tipo di indagini andrà eseguita nell'ambito di procedure di carattere più complessivo, nelle quali possa assumere significato anche l'acquisizione di un solo dato.

L'identificazione delle caratteristiche meccaniche potrà essere ottenuta per analogia con murature simili tenendo conto, se possibile, anche di fenomeni di degrado. A tale scopo è auspicabile che gli enti territoriali di tutela e controllo istituiscano almanacchi delle diverse tipologie murarie presenti, nel corso del tempo, nell'area in esame oltre a tabelle con i valori di riferimento delle proprietà meccaniche.

# 1.7 Terreno e fondazioni

La conoscenza delle fondazioni e la caratterizzazione del terreno sono fondamentali per prevedere la risposta sismica di un edificio. È consigliabile, propedeuticamente a qualsiasi accertamento o indagine, uno studio della documentazione disponibile per la costruzione in esame. Nel caso di un bene storico è opportuno non limitare la conoscenza allo stato attuale ma estenderla all'individuazione delle modifiche intercorse nel tempo sulle fondazioni stesse.

Gli obiettivi di un'analisi del sottosuolo sono i seguenti:

- definizione di un modello geotecnico del sottosuolo in base con l'elaborazione di profili e sezioni stratigrafiche di riferimento per le analisi;

- definizione del regime delle acque sotterranee e delle loro variazioni stagionali;

- caratterizzazione meccanica dei vari depositi costituenti il sottosuolo.

Per quanto riguarda invece le fondazioni sono da definirsi la geometria e le caratteristiche degli elementi esistenti e accertato lo stato di degrado e di dissesto. Andranno individuate le fondazioni originali e tutte le successive modifiche. L'eventuale presenza di un substrato archeologico ha un ruolo importante nel condizionare la risposta sismica della struttura e limitare le possibili tipologie di intervento su fondazioni e terreni.

# 1.8 Monitoraggio

Il controllo periodico della costruzione è una pratica fondamentale poiché consente la pianificazione degli interventi di manutenzione garantendo quindi alla costruzione vita nominale prevista.

Per impostare un programma di monitoraggio è necessario eseguire preventivamente un'accurata analisi del funzionamento strutturale, e quindi un'interpretazione dei dissesti in atto, in modo da definire i parametri più significativi che, misurati in continuo o con cadenze temporali adeguate, consentono di certificare il buon comportamento ovvero di valutare eventuali evoluzioni pericolose per la stabilità dell'edificio o di singole parti dello stesso.

Il monitoraggio visivo, consistente nel controllo periodico dell'insorgere di fessure e fenomeni di degrado è il punto di partenza di tale attività. Tale controllo può essere integrato dal monitoraggio di alcuni parametri ritenuti significativi, quali il movimento di alcune lesioni, gli spostamenti relativi o assoluti di alcuni punti della costruzione.

Il movimento delle lesioni può essere monitorato in continuo e a distanza. Esso richiede una preliminare definizione del meccanismo di dissesto, che può essere spesso eseguita mediante il monitoraggio delle murature intese come corpo rigido: è così possibile individuare una serie di punti notevoli da controllare.

Informazioni aggiuntive possono essere acquisite mediante il monitoraggio strumentale di alcuni parametri ritenuti significativi quali movimento delle lesioni, spostamenti assoluti o relativi di punti della struttura, rotazioni di pareti. Il movimento delle lesioni può essere controllato pressoché in continuo e a distanza; occorre tuttavia considerare che, in relazione alle aree di dissesto, le soglie di pericolosità di tali relativi spostamenti possono essere anche molto diverse. Il progetto di monitoraggio richiede una preliminare interpretazione del meccanismo di dissesto, che può essere spesso eseguita grazie alla meccanica delle murature considerate come corpo rigido; è così possibile l'individuazione di una serie di punti notevoli da controllare.

Le proprietà dinamiche della struttura (frequenze e forme di vibrazione) sono anch'esse parametri significativi del comportamento di una costruzione. Allo stato attuale delle conoscenze però l'individuazione di una variazione delle proprietà dinamiche sulla base di un danno è molto complessa; inoltre le strutture in muratura hanno un comportamento fortemente non lineare.

Il controllo di alcuni parametri della risposta dinamica può comunque, in taluni casi, rappresentare uno dei possibili elementi per l'identificazione di un cambiamento manifestatosi nella costruzione.

## 1.9 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

In relazione all'approfondimento del rilievo geometrico e delle indagini è assunto dal progettista un fattore di confidenza FC compreso fra 1 e 1,35 (tab. 1.1), che

consente di graduare l'attendibilità del modello di analisi strutturale e della valutazione dell'indice di sicurezza sismica.

Detto fattore è da applicarsi in modo differente a diversi tipi di modelli:

- nei modelli che considerano la deformabilità e la resistenza dei materiali e degli elementi strutturali il fattore di confidenza riduce sia i moduli elastici sia le resistenze;

- nei modelli che considerano l'equilibrio limite dei diversi elementi della costruzione, pensando il materiale muratura come non resistente a trazione il livello di confidenza si applica direttamente alla capacità della struttura, in altre parole riducendo l'accelerazione corrispondente ai diversi stati limite.

Tabella 1.1: definizione dei livelli di approfondimento delle indagini sui diversi aspetti delle conoscenze e relativi fattori parziali di confidenza (Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico).

Rilievo	RILIEVO MATERICO	Proprietà	TERRENO E	
GEOMETRICO	E DEI	MECCANICHE	FONDAZIONI	
	DETTAGLI	DEI MATERIALI		
	COSTRUTTIVI			
Rilievo geometrico completo $F_{C1} = 0.05$	Limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi $F_{C2} = 0.12$	Parametri meccanici desunti da dati già disponibili $F_{C3} = 0.12$	Limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geologici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni $F_{C4} = 0.06$	
Rilievogeometricocompleto,conrestituzionegraficadeiquadrifessurativiedeformativi $F_{C1} = 0$	Esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi $F_{C2} = 0.06$	Limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3} = 0.06$	Disponibilità di dati geologici e sulle strutture fondazioni; limitate indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4} = 0.03$	
	Esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi $F_{C2} = 0$	Estese indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3} = 0$	Estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4} = 0$	

#### 2 DISSESTI STATICI NELLE STRUTTURE EDILIZIE

Vengono di seguito introdotti, nelle loro linee essenziali, i fenomeni di dissesto, in particolare nelle strutture in muratura. La comprensione di tali fenomeni è importante ai fini dell'interpretazione degli eventuali problemi che affliggono un dato edificio: in particolare, nel presente lavoro, un'indagine in tale ambito relativa alla Palazzina della Viola è stata condotta con il rilievo del quadro fessurativo, per il quale si rimanda al cap. 6.

I complessi edilizi, nella loro essenza strutturale, sono costituiti da membrane costruttive connesse e dimensionate in modo da poter assolvere, entro i limiti dei carichi di sicurezza, i compiti a loro affidati (Mastrodicasa, 1993).

Ogni causa perturbatrice induce delle alterazioni nel regime d'equilibrio del complesso insidiato; alterazioni che, superati certi limiti, determinano dei dissesti statici della massa muraria, annunciati da manifestazioni caratteristiche dette lesioni. Ad esempio un muro di sostegno, sotto l'azione della spinta delle terre, può subire una rotazione: la spinta del terreno è la causa perturbatrice e la rotazione è il dissesto statico. Le eventuali deformazioni o fessurazioni che ne derivano sono le lesioni caratteristiche del dissesto (Mastrodicasa, 1993).

Le lesioni sono le manifestazioni esteriori sensibili dei dissesti statici e appaiono in forma di deformazioni, oppure di fessurazioni, oppure di deformazioni e fessurazioni coesistenti nello stesso organismo murario. Appaiono in forma di deformazioni quando le strutture soggiacciono a variazioni della loro forma geometrica, di fessurazioni quando le strutture subiscono delle soluzioni di continuità nella massa per la rottura del materiale murario, appaiono in forma di deformazioni di fessurazioni e quando le strutture soggiacciono contemporaneamente a variazioni della forma geometrica e a soluzioni di continuità delle loro masse (Mastrodicasa, 1993).

Nelle masse murarie perturbate il regime degli sforzi interni subisce delle graduali variazioni dovute all'avvicendarsi di successivi stati d'equilibrio nel progredire del dissesto e, contemporaneamente, dei processi di dilatazione e di contrazione del materiale, variabili da punto a punto. Qualora dette dilatazioni, in un dato punto, superino i limiti di tolleranza alla coesione del solido, si stabilisce una soluzione di continuità che si propaga fino ad apparire in superficie sotto forma di fessurazione. Si ha così la fase d'originaria rottura. Le lesioni murarie, nelle fasi precedenti a quella di originaria rottura, sono compatibili con la continuità della massa che, prima di rompersi, subisce delle deformazioni elastiche e plastiche. Le fessurazioni si presentano, dunque, nelle fasi deformative più progredite (Mastrodicasa, 1993).

Ogni manifestazione di fatiscenza è legata al dissesto da relazioni di stretta interdipendenza, come ogni effetto è legato alla causa: in un complesso costruttivo lesionato, da ricondurre in condizioni di stabilità, è perciò indispensabile studiare le lesioni nelle loro caratteristiche onde poter definire, mediante le relazioni che legano dette manifestazioni ai dissesti, i dissesti stessi e quindi la natura delle loro cause. Così mediante lo studio delle lesioni, determinati i dissesti statici e sulla base di questi le cause perturbatrici, occorre studiare e poi applicare i consolidamenti (Mastrodicasa, 1993).

# 2.1 Classificazione dei dissesti

I dissesti interni sono indipendenti da cedimenti del suolo e derivano esclusivamente da deficienze strutturali del sistema murario. Essi sono (Mastrodicasa, 1993):

- l'assestamento;
- lo schiacciamento;
- la pressoflessione;
- la spinta delle masse incoerenti, degli archi e delle volte;
- la depressione delle strutture orizzontali;
- i turbamenti di origine vibratoria o sismica.

Detta classificazione è del tutto formale in quanto ogni dissesto può richiamare, come fenomeni riflessi, altri dissesti.

Ad esempio la pressoflessione dei muri determina, come fenomeno riflesso, lo schiacciamento del materiale nei lembi esterni più premuti e lo schiacciamento di volte. Se la pressoflessione può produrre, quale fenomeno principale, pericolose espulsioni di masse murarie, è pur vero che lo schiacciamento, da essa determinato, può produrre dissesti caratteristici propri (Mastrodicasa, 1993).

Nello studio dei dissesti murari è dunque necessario, attraverso i quadri fessurativi e deformativi e le caratteristiche delle strutture e dell'ambiente, risalire alla conoscenza del fenomeno principale e di quelli riflessi onde poter ricorrere ai rimedi più adatti (Mastrodicasa, 1993).

## 2.2 L'assestamento murario

Un edificio, durante l'elevazione, subisce dei lievi processi di traslazione verticali commisti di una componente assoluta e di una relativa (Mastrodicasa, 1993).

La componente assoluta è dovuta alla contrazione del terreno di fondazione sotto il progredire del carico, quella relativa invece alla contrazione della malta sotto ai carichi murari, durante il periodo che precede l'indurimento (Mastrodicasa, 1993). Detti strati infatti, sono assoggettati a carichi gradualmente crescenti e subiscono pertanto una contrazione graduale che tende a ridurne progressivamente lo spessore (Mastrodicasa, 1993).

L'assestamento delle murature cresce con i seguenti parametri (Mastrodicasa, 1993):

- l'altezza complessiva del fabbricato;
- lo spessore dei giunti di malta;
- il numero dei giunti;
- il ritardo della presa;

- la celerità con cui procede l'avanzamento dei lavori. Qualora l'avanzamento dei lavori sia discontinuo il cedimento è infatti sensibilmente minore rispetto ad un avanzamento continuo;

L'impiego di malta comune porta inoltre a cedimenti maggiori rispetto a quelli riscontrabili con malta di cemento.

È però impossibile definire una legge che disciplina l'influenza di queste singole circostanze sull'assestamento murario.

#### 2.3 Lo schiacciamento

Un solido sottoposto alla compressione assiale subisce una contrazione nella direzione del carico ed una dilatazione nelle direzioni normali. Se la dilatazione trasversale supera le capacità coesive del solido, questo si spezza lungo superfici di frattura disposte nella direzione della forza disturbatrice (Mastrodicasa, 1993).

Lo schiacciamento, nelle strutture murarie, presenta tre stadi successivi.

Il primo stadio è caratterizzato dal superamento della resistenza a compressione dei giunti orizzontali di malta, se meno resistenti del materiale lapideo o laterizio. I giunti sottocarico si riducono nello spessore e l'intonaco subisce un accorciamento verticale con le conseguenti espulsioni paramentali di pellicole di tinteggiatura, poi di intonaco e, infine, di croste murarie. In casi di malte ottime tale primo stadio può mancare (Mastrodicasa, 1993).

Nel secondo stadio subentrano gli effetti delle dilatazioni trasversali del materiale murario che, superati i limiti della tolleranza alla sua distensione, subisce la pleiade fessurativa a rami corti, alterni, ben distinti, tutti nella direzione della forza disturbatrice che, in generale, è verticale (Mastrodicasa, 1993).

Nel terzo stadio, il più pericoloso, la pleide fessurativa del secondo stadio si unifica in fratture di notevole estensione che risolvono il solido in più elementi caricati di punta tutti a momento d'inerzia sempre minore col moltiplicarsi delle fratture preludendo al crollo murario (Mastrodicasa, 1993).

## Carichi localizzati

Si consideri un muro caricato sul ciglio superiore, sull'intero spessore, da un carico P sulla lunghezza AB di detto ciglio (fig. 2.1).



Figura 2.1: schema delle lesioni per schiacciamento nel caso di muri caricati sul ciglio superiore (Mastrodicasa, 1993).

In tale caso le isostatiche di minimo assumono, ad una certa distanza dall'area caricata, la stessa configurazione che avrebbero con un carico concentrato. Nelle zone immediatamente sottostanti al contorno compresso, invece, esse volgono la loro convessità prima verso la mezzeria poi dalla parte opposta mentre ai lati, volgono normalmente al profilo libero superiore. Osservando i punti sulla verticale fra C e C' si riscontra che scendendo da C la  $\tau$  dapprima prevale sulla  $\sigma$  (fig. 2.2) e la fessurazione si inclina poi, per effetto del peso del solido, la  $\sigma$  tende a prevalere e la fessurazione si accosta alla verticale sempre più, fino a sovrapporvisi ad una certa distanza dal contorno (Mastrodicasa, 1993).

Nelle sezioni normali sotto carico, normali ai paramenti, il fenomeno si presenta un po' diversamente dal momento che, prima ancora che si stabiliscano le fessurazioni paramentali, si determina una frattura del piano medio del muro, localizzata nelle regioni immediatamente sottostanti il carico (Mastrodicasa, 1993).



Figura 2.2: azione localizzata di una trave lignea su un muro interno. Osservabili le caratteristiche fessurazioni da schiacciamento (Mastrodicasa, 1993).

I dissesti per schiacciamento dei pilastri sono più gravi di quelli dei muri continui perché questi ultimi non possono, come i primi, trarre sollievo almeno in una direzione dalla collaborazione delle regioni murarie contigue non ancora intaccate dal dissesto (Mastrodicasa, 1993).

Occorre distinguere fra tre tipi di elementi:

- i pilastri monolitici (costituiti da un unico blocco di calcestruzzo o di pietra da tagli);

- i pilastri in muratura, senza rivestimento in pietra da taglio;

- i pilastri in muratura, con rivestimento in pietra da taglio.

Nei pilastri monolitici, le fratture da schiacciamento prediligono le superfici interne verticali o inclinate di minor resistenza come le stratificazioni meno resistenti e le regioni con maggiori discontinuità della massa (Mastrodicasa, 1993).

Nei pilastri in muratura senza rivestimento in pietra da taglio, le lesioni prediligono il tipo prismico con fratture verticali a superficie di rottura variamente

orientate, accertabili, in superficie, dalle caratteristiche fessurazioni verticali, discontinue, alterne (Mastrodicasa, 1993).

Nei pilastri in muratura, rivestiti in pietra da taglio invece le rotture da schiacciamento, sempre accompagnate da fenomeni di pressoflessione, talvolta ben visibili, interessano le regioni perimetrali sulle quali va a confluire gran parte del carico. Col progredire del cedimento anche le murature interne vengono coinvolte dal dissesto e il processo distruttivo volge velocemente verso gli stadi più precari (Mastrodicasa, 1993).

# Dissesti dovuti al peso proprio

Lo schiacciamento prodotto dal peso proprio dei muri, predilige le regioni inferiori, ove lo sforzo è maggiore e s'annuncia con manifestazioni fessurative di carattere iperbolico o prismico (Mastrodicasa, 1993).

I paramenti murari mostrano linee di frattura multiple e saltuarie nella direzione del carico, le quali aumentando in ampiezza ed estensione, conservano inalterata la molteplicità che ne caratterizza la fase iniziale anche quando la pleiade fessurativa va ad unificarsi lungo linee uniche preludendo fasi di precaria stabilità. Nei muri intonacati l'apparizione fessurativa è preceduta da espulsioni locali, orizzontali, multiple, e saltuarie delle pellicole di tinteggiatura (primo stadio) che precedono quelle d'intonaco (fig. 2.3).



Figura 2.3: schiacciamento murario denunciato dal corrugamento dell'intonaco lungo direttrici prevalentemente orizzontali (Mastrodicasa, 1993).

Con il progredire del dissesto subentrano le locali rarefazioni dei giunti verticali e la rottura degli elementi lapidei e laterizi con la definitiva costituzione della pleiade fessurativa (secondo stadio). Con l'aggravio del dissesto essa va ad unificarsi in rami fessurativi di notevole sviluppo e ampiezza (terzo stadio) che preludono al crollo (Mastrodicasa, 1993).

## Cause e cautele

Le cause dello schiacciamento sono riassumibili nelle seguenti (Mastrodicasa, 1993):

- la sezione trasversale è insufficiente per difetto progettuale, per sottrazioni successive di materiale, per impiego di malte scadenti o per difetto nei collegamenti trasversali;

- la vetustà ha abbassato il carico a rottura del materiale;

- il carico è aumentato a seguito di sovracostruzioni;

- i cedimenti fondali o altri dissesti hanno trasferito su alcune strutture il carico presente su altre.

Per prevenire lo schiacciamento i carichi vanno trasmessi alle strutture con organi di ripartizione adeguati, capaci di abbassare convenientemente il carico nelle regioni direttamente sollecitate. Le opere fondali devono essere adeguate per evitare che il cedimento fondale di talune strutture possa indurre aggravio in altre contigue ove le compressioni unitarie potrebbero esaltarsi oltre i limiti tollerabili. Nessuna sopraelevazione deve essere attuata senza indagini preliminari nelle murature o nelle fondazioni (Mastrodicasa, 1993).

# 2.4 Pressoflessione e carico di punta

La struttura muraria spesso non è bene intessuta nei suoi elementi. Specie nei muri in pietrame infatti, ad una cura dei paramenti è spesso associato il riempimento con pezzi informi e frammentari del nucleo interno. Nei muri di medio spessore i due paramenti sono così ravvicinati che lo stretto spazio interposto viene riempito con poche scaglie e con un po' di malta, là dove sarebbe invece necessario un vasto impiego di pietre passanti (Mastrodicasa, 1993).

Essendo il carico di punta proporzionale al cubo dello spessore del muro, pensato il muro come due muri affiancati aventi ognuno spessore pari a metà di quello totale, i due muri hanno complessivamente un carico di punta pari a circa un quarto del carico dell'intero muro. Se invece il muro dovesse divedersi in tre muri di pari spessore il carico di punta sopportabile sarebbe un nono di quello dell'intero muro (fig. 2.4).

Tutto ciò nell'ipotesi ottimistica che un muro mal connesso possa risolversi in due o più muri con piani paralleli alle fronti, capaci di realizzare altrettante unità efficienti. Nella pratica le superfici di separazione sono spesso irregolari, riducendo così ulteriormente la capacità portante del muro (Mastrodicasa, 1993).

La pressoflessione nelle strutture murarie è caratterizzata dallo smembramento della compagine in due o più tronchi verticali separati da superfici di discontinuità irregolari con andamento medio parallelo ai paramenti. Per effetto di questo dissesto i paramenti subiscono una inflessione concorde o discorde secondo il segno delle frecce d'incurvamento (fig. 2.5).



Figura 2.4: carico di punta sopportabile da un muro: a- inteso come elemento unico, b- suddiviso in due muri di spessore pari alla metà del muro originale, c-. suddiviso in tre muri dallo spessore pari a un terzo del muro originale (Mastrodicasa, 1993).



Figura 2.5: schema dell'inflessione di un paramento a pressoflessione (Mastrodicasa, 1993).

Nelle ordinarie murature si stabilisce, in generale, una sola superficie interna di discontinuità. Solo nei muri di grosso spessore le superfici possono essere più di una. I dissesti di pressoflessione si manifestano con rigonfiamenti paramentali.

Il punto O, più prominente si chiama ventre d'inflessione e la retta r condotta per O, normalmente al piano medio originario del muro, asse d'inflessione (fig. 2.6). Un piano  $\pi$  per l'asse di inflessione interseca la superficie deformata secondo una linea avente andamento sinusoidale ove sono caratteristici i punti P al limite dell'inflessione e i punti F di flesso, ove il profilo, da concavo verso l'esterno diventa convesso.

Fatto ruotare il piano generico  $\pi$  attorno all'asse r sono individuate la curva limite p e la curva dei flessi f (fig. 2.7). Prescindendo dal peso del solido le fessurazioni risulterebbero radiali nella zona anulare di compressione e circolari concentriche rispetto al centro d'inflessione nella zona interna di trazione (Mastrodicasa, 1993).

Con la partecipazione del peso del solido invece il quadro fessurativo si contrae verso l'asse medio della zona anulare di compressione radiale per poi dilatarsi nella zona centrale di trazione radiale (fig. 2.8). Le fratture nella pratica hanno il carattere delle molteplicità solo nei casi molto gravi. In genere sono uniche e

prediligono le regioni inferiori mediane dalle quali risalgono verso l'alto fino al centro d'inflessione o poco oltre (Mastrodicasa, 1993).





Figura 2.6: schema pressoflessione Figura (Mastrodicasa, 1993). signific

Figura 2.7: schema delle aree significative per pressoflessione (Mastrodicasa, 1993).



Figura 2.8: schema fessure da pressoflessione con il contributo del peso del solido (Mastrodicasa, 1993).

Cause e cautele

Le cause che predispongono le murature alla pressoflessione sono (Mastrodicasa, 1993):

- la cattiva costruzione;

- l'impiego di malte scadenti;

- la presenza di sezioni orizzontali non omogenee (i muri ordinari dotati di paramento in pietra sono particolarmente sensibili a questi dissesti);

- il difettoso collegamento trasversale degli elementi lapidei e laterizi;

- l'insufficiente ampiezza delle sezioni connesse;

- un'altezza del solido murario che superi di quindici volte la minore delle dimensioni trasversali.

Le cautele per evitare i dissesti da pressoflessione sono (Mastrodicasa, 1993):

- una buona cura della tessitura con un largo impiego di pietre passanti;

- l'adozione di mattoni a doppio filare almeno ogni metro di altezza e cordoli in cemento armato ad ogni piano;

- l'eliminazione, con opportuni tiranti, o la neutralizzazione, con robuste masse di spalla, delle spinte degli archi e delle volte e degli altri sistemi spingenti contro le fronti degli edifici.

# 2.5 Spinta delle masse incoerenti, degli archi e delle volte

La spinta è la componente orizzontale dell'azione che talune membrane costitutive esercitano contro i loro sostegni. Essa è sviluppata:

- da tutti i sistemi il cui equilibrio è realizzato per contrasto laterale, come gli archi e le volte;

- dagli organismi costruttivi disposti con l'asse longitudinale inclinato e che tendono a scorrere verso il basso come i diagonali dei tetti;

- dai sistemi incoerenti come le acque, i liquidi in genere, le terre, le granaglie, che siano costretti fra le pareti di serbatoi o di muri di sostegno.

La spinta ha grande importanza nei fenomeni di dissesto: agendo contro le strutture verticali infatti, si combina col loro peso e, spostando la risultante dalla verticale verso l'esterno, determina l'eccentricità del centro di pressione rispetto al baricentro delle sezioni, con l'aumento talvolta notevole, dell'onere statico del materiale (Mastrodicasa, 1993).

## Muri di sostegno

I muri di sostegno rettilinei e d'altezza costante, in ogni loro parte sono soggetti a condizioni identiche di sollecitazione e suscettibili di eguale resistenza sotto carico; essi subiscono una rotazione uniforme apprezzabile, attraverso la quale stabiliscono una condizione di equilibrio fra le forze agenti e le reagenti.

Se le condizioni di sollecitazione o di resistenza delle strutture, mutano in taluna delle loro parti, al moto rotatorio unico di carattere assoluto si sovrappongono dei moti di carattere relativo (Mastrodicasa, 1993).

Quasi tutti i dissesti causati dalla spinta delle terre sono di rotazione.

Ci si può cautelare da questi cercando, nella costruzione dei muri di sostegno:

- d'impiegare materiali lapidei pesanti, rifuggendo di laterizi e da altri materiali di basso peso specifico;

- di ripartire in modo uniforme le compressioni su terreno di fondazione idoneo centrando, per quanto possibile, la risultante sulla base;

- di attenuare gli effetti della spinta delle terre bagnate mediante un buon vespaio a tergo munito di cunetta di fondo;

- di praticare molte feritoie per lo smaltimento delle acque emungenti del masso terroso a tergo.

Rotazione nei muri perimetrali

Sono distinguibili più casi in ragione delle eventuali connessioni del muro con gli altri elementi.

Nel caso di muri isolati detti elementi, soggetti a spinte agenti contro i paramenti o a cedimenti fondali, possono subire dei moti rotatori verso l'esterno.

Un muro isolato e perciò libero da legami viene trasferito da una rotazione  $\alpha$  ad una posizione inclinata di  $\alpha$  rispetto alla verticale. Nella nuova posizione esso è stabile se la compressione unitaria del lembo basale sotto pendenza non supera il carico di sicurezza ammissibile per il terreno (fig. 2.9).



m m m 1

spinta (Mastrodicasa, 1993).

Figura 2.9: muro isolato soggetto alla Figura 2.10: muro con connessione a T alla (Mastrodicasa, soggetto spinta 1993).



Figura 2.11: muro connesso con solai di piano soggetto alla spinta (Mastrodicasa, 1993).

Qualora il muro m sia invece connesso a T con il muro m<sup>I</sup> a esso normale detto muro m soggetto alla rotazione basale  $\alpha$  non può adattarsi al moto rigido rotatorio, essendo trattenuto dal muro m<sup>I</sup>. Con una rotazione basale  $\alpha$  si instaura quindi un'inflessione di natura anelastica che riduce sia le ordinate dell'asse deformato rispetto alla verticale sia l'inclinazione della tangente sulla verticale (fig. 2.10). Qualora infine il muro m, oltre a essere connesso con il muro m<sup>I</sup> sia anche connesso con i vari solai di piano e il tetto (fig. 2.11) è presumibile che detti solai, nella loro intersezione con il muro di facciata, tendano a costituire altrettanti nodi sull'asse deformato il cui asse verticale si risolverà in tante semionde sinusoidali per quanti sono i piani (Mastrodicasa, 1993).

#### Archi e volte

La componente orizzontale della spinta degli archi e delle volte contro i muri può essere normale o parallela ai paramenti. Se la spinta è normale ai paramenti, il muro subisce dei moti rotatori e delle inflessioni sensibili verso l'esterno con le ordinate massime del rigonfiamento, poste leggermente al di sopra del centro di spinta e che si estinguono tanto più celermente in ogni direzione, quanto più
efficace è la solidarietà fra il muro inflesso e quelli adiacenti a esso normali (Mastrodicasa, 1993).

Per quanto riguarda invece le fessurazioni nell'ambito della zona deformata, a dissesto avanzato, si stabiliscono delle manifestazioni fessurative analoghe a quelle della pressoflessione, ma aggravata dalla flessione e dal taglio dovuti alla spinta.

Si consideri la sezione orizzontale del rigonfiamento nel piano orizzontale per il centro di spinta (fig. 2.12).

Mentre in A, per l'assenza del taglio, la frattura giace nel piano verticale normale al paramento, viceversa nelle regioni laterali del muro, presso B e C per l'influenza del taglio, le fratture assumono un'inclinazione divergente dalla mezzeria, realizzando la nota deformazione a gola.

Nel piano verticale per il centro di spinta le due fratture verticali hanno caratteristiche analoghe a quelle anzidette ma i rami, specie quello inferiore, sono molto raddrizzati sulla verticale per l'azione combinata del peso del muro e del taglio. La superficie totale di frattura circoscrive la zona deformata aprendosi verso l'esterno, separando la massa che tende a essere espulsa dalla spinta da quella che tende a rimanere aderente alle strutture in posto Mastrodicasa, 1993).



Figura 2.12: sezione orizzontale del rigonfiamento nel piano orizzontale per il centro di spinta e sezione verticale per il centro di spinta (Mastrodicasa, 1993).

I dissesti dovuti alla spinta normale ai paramenti sono accompagnati dalle seguenti manifestazioni secondarie (Mastrodicasa, 1993):

- distacchi delle strutture interne dal muro di facciata. Distacchi dal muro di facciata inflesso, dei solai, delle volte, dei pavimenti e dei muri, insorgono con l'inizio del moto. Nei pavimenti le fessurazioni si stabiliscono nelle intersezioni col muro e lungo linee parallele ad esse. Nei solai in travi e travicelli in legno si manifesta la tendenza alla fuoriuscita dall'appoggio delle travi e dei travicelli normali al muro inflesso, accompagnata dalla rarefazione dei giunti del pianellato nella direzione parallela alla fronte. Nelle volte a crociera e a botte, con le generatrici normali al muro, le fessurazioni in forma di netti distacchi si stabiliscono all'innesto col muro stesso. Nelle volte a crociera, in particolare, invadono le costole e si propagano nelle falde. Nelle volte a padiglione, a vela, a schifo i distacchi si verificano in genere nelle adiacenze col muro stesso;

- deformazione rombica delle aperture (fig. 2.13). Questa si produce nelle aperture di porte dei muri normali alla fronte inflessa, poste in prossimità di questa. Nelle regioni inferiori al ventre dell'inflessione la deformazione tende a trasferire l'architrave verso la fronte inflessa mentre nelle superiori a trasferirvi la base. Nell'angolo superiore dell'apertura che tende a chiudersi si verificano lievi espulsioni di crosticine di tinteggiatura e di intonaco. Nell'angolo che tende invece ad aprirsi si stabiliscono delle fessure di trazione;



Figura 2.13: deformazione rombica delle aperture (Mastrodicasa, 1993).

- depressione delle volte. Rara nelle volte a botte con le generatrici normali alla fronte inflessa è invece frequente nelle crociere e insorge sempre nelle volte a vela, a schifo, a padiglione. Queste deformazioni sono spesso tali da invertire la curvatura intradossale.

Le deformazioni nei muri dovute alle azioni spingenti in piani verticali normali ai paramenti, hanno molta somiglianza con quelle dovute alla pressoflessione. Alcune caratteristiche consentono però di distinguere fra le due tipologie (Mastrodicasa, 1993):

- nelle deformazioni per spinta l'ellisse che circoscrive la superficie paramentale deformata tende a stabilirsi col diametro maggiore nella direzione verticale e con quello minore nella direzione orizzontale. Nella pressoflessione tale configurazione è invertita;

- nella spinta la curva sinusoidale ottenuta sezionando orizzontalmente il rigonfiamento appare simmetrica rispetto al centro d'inflessione mentre tale non appare quella verticale media ove il ramo superiore assume uno sviluppo notevolmente maggiore di quello inferiore. Nella pressoflessione invece la simmetria rispetto al centro d'inflessione tende a stabilirsi così nel profilo sinusoidale come in quello orizzontale;

- nella spinta la flessione dei due paramenti è concorde, nella pressoflessione può essere discorde;

- nella spinta il muro, alla percussione, conserva un suono duro e secco per interessare tutto lo spessore; nella pressoflessione il suono è cupo e sordo per interessare solo la parte paramentale separata dal resto.

I dissesti dovuti alla spinta nel piano medio dei paramenti sono meno gravi di quelli dovuti alla spinta normale ai paramenti perché l'imposta della membrana spingente fruisce della reazione d'una maggiore massa di spalla.

Nei piani inferiori dei fabbricati queste capacità reattive sono maggiori che nei superiori per il minore carico che le presidia e per il minore braccio della spinta rispetto alla base. Nelle fasi iniziali il dissesto si presenta con un ramo unico, mentre nelle successive, più progredite, tende a moltiplicarsi (fig. 2.14).

#### Cedimenti spontanei degli archi, delle volte e dei loro piedritti

Gli archi e le volte si sostengono per il contrasto laterale che si sviluppa fra i loro conci. Ne deriva che, per la stabilità, la curva delle pressioni deve essere posta entro i limiti del nocciolo affinché le sezioni risultino compresse in tutta la loro estensione e che le tensioni non debbano superare il carico di sicurezza del materiale. In alcune sezioni la notevole eccentricità della risultante determina degli eccessivi sforzi di compressione in uno dei lembi determinando dissesti indipendenti dalla stabilità dei piedritti.



Figura 2.14: fessurazioni dovute all'azione combinata del peso e della spinta (Mastrodicasa, 1993).

Talvolta i piedritti, immuni da moti spontanei, cedono in un primo tempo, all'azione della spinta, assumendo poi dei moti spontanei, solo perché da quella fomentati. I moti spontanei dei piedritti possono essere dovuti alla pressoflessione, ai cedimenti fondali o allo schiacciamento delle strutture sottostanti. L'arco, in questi casi, soggiace a un vero e proprio moto di trascinamento che localizza le lesioni e le deformazioni nelle regioni adiacenti all'imposta del moto.

La spinta che trasferisca l'imposta da A, B in  $A_1$ ,  $B_1$  causa un appiattimento del profilo intradossale fino ad arrivare, nei casi più gravi, all'inversione della



curvatura alle reni, accompagnata dalla pleiade fessurativa a fratture parallele alle generatrici (fig. 2.15).

Figura 2.15: fessurazioni per spinta (Mastrodicasa, 1993).

Cause, cautele e rimedi

Al cedimento spontaneo delle strutture ad arco possono concorrere:

- un eccessivo carico;

- l'azione disgregatrice di sostanze chimiche;

- la vetustà;

- l'insufficiente grado di cottura dei mattoni con graduale distacco di crosticine paramentali.

È indispensabile l'impiego di catene o di altri organi capaci di fronteggiare la spinta, se non si disponga già di efficaci masse di spalla o di controspinta.

Le volte devono essere dimensionate in modo da essere compresse lungo tutta l'estensione delle loro sezioni trasversali.

#### 2.6 Depressione delle strutture orizzontali

Le strutture orizzontali sono le più delicate e le più suscettibili di degradazione con l'uso e col tempo in quanto, oltre ad essere soggette a turbamenti propri, risentono anche dei cedimenti delle strutture verticali che ne costituiscono l'appoggio.

#### <u>Solai</u>

Nei solai con travi e travicelli di legno, l'inflessione più temibile è quella delle travi. Questo dissesto è caratterizzato dalla rottura del pavimento lungo tutto il piano verticale longitudinale delle travi non deformate. Talvolta la struttura fibrosa delle travi è raccolta in inviluppi nodosi che invadono buona parte della sezione determinandovi gravi debolezze nella zona di trazione, ove il materiale è costretto a lavorare obliquamente o normalmente alle fibre. Altre deformazioni dei solai, derivano dall'inflessione dei travicelli, ma il carattere locale di questi dissesti rende i provvedimenti meno onerosi.

Nel caso di solai con travi in ferro e laterizi l'eccessiva deformazione elastica sotto carico e le oscillazioni provocate dai carichi mobili sono indici di insufficienza delle sezioni metalliche. Ove esigenze estetiche o pratiche sconsiglino l'impiego di travi trasversali inferiori rompi-tratta si può precedere al rafforzamento estradossale che si realizza scoprendo le ali superiori delle travi e l'anima e annegando il tutto in un getto di calcestruzzo fino al piano di posa del pavimento previo collocamento di tavelle di fondo e di materiale di alleggerimento.

Nel caso dei solai in cemento armato le fessurazioni relative alla flessione vanno attribuite alla deficiente altezza delle travi, all'insufficiente sezione metallica di trazione, al difetto di presa o alla cattiva qualità dell'impasto. Le fessurazioni a 45° del taglio sono dovute all'inadeguata e irregolare distribuzione delle staffe e delle barre piegate a 45°, a difetto di presa e di indurimento e alla cattiva qualità del calcestruzzo.

## <u>Tetti</u>

Per quanto riguarda i tetti in legname sono spesso presenti pericolose inflessioni delle strutture portanti in ragione delle seguenti cause:

- le membrature trasversali non hanno sezione trasversale sufficiente a fronteggiare i carichi;

- il legname non era stagionato all'atto dell'impiego;
- il legname è stato tagliato fuori stagione;

- la connessione fra le strutture portanti è caratterizzata da un'insufficiente irrigidimento dei nodi;

- il legname è vetusto o degradato per marciume o tarli.

I legnami della grossa armatura, già inflessi, non vanno puntellati sui solai sottostanti. Se l'inflessione è dovuta all'insufficiente sezione, o alla stagionatura incompleta, il consolidamento può essere effettuato applicando tirantini di ferro vincolati alle testate e reagenti nelle regioni mediante uno o due colonnetti normali al corpo della trave.

#### 2.7 Fenomeni vibratori

Le strutture, sotto l'azione delle sollecitazioni dinamiche, subiscono delle vibrazioni caratterizzate da ampiezza, periodo e coefficiente di smorzamento variabili con l'entità e la natura delle sollecitazioni agenti.

La presenza di deformazioni fessurazioni preesistenti nelle strutture può peggiorare la risposta delle stesse.

L'ampiezza e il periodo variano con l'altezza delle strutture e dei piani, con l'ampiezza delle maglie del telaio, con gli spessori dei muri, con il numero e l'entità delle aperture e con le caratteristiche strutturali di muri, archi e volte.

Si consideri un muro di facciata: l'onda vibratoria investe il muro di facciata e induce uno stato vibratorio. Si supponga che l'onda vibratoria stabilisca i suoi nodi a metà dell'altezza dei vari piani (A, B, C, D) e i ventri alternativamente in A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>, D<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>, D<sub>2</sub>. Al cessare della vibrazione il muro ed i solai ritornano nelle loro configurazioni originali (fig. 2.16).

Se invece, ad esempio, il muro fosse affetto da una deformazione di pressoflessione, ad esempio localizzata fra A e B, dopo il moto vibratorio le campate rettilinee rimarrebbero tali mentre la campata BA tenderebbe, dopo ogni escursione completa, a spostarsi verso l'esterno (fig. 2.17).

Nel caso di strutture fessurate le masse separate dalle fessurazioni entrano in vibrazione con moti e periodi differenti, e i loro moti discordi determinano particolari stati di sollecitazione che vanno ad addensarsi agli apici delle fratture facendole progredire nell'ambito del solido.

Talvolta le fessure ristilate riaffiorano, appena percettibili, dopo qualche tempo, malgrado sia già esaurito l'incremento del dissesto che le ha provocate. Tale fenomeno è dovuto ai moti vibratori causati dal traffico stradale, al vento impetuoso al calpestio interno, alle commozioni telluriche e ad altre sollecitazioni vibratorie che inducono moti discordi anche antagonisti ai lati delle fessurazioni risarcite.





Figura 2.16: muro inizialmente non Figura 2.17: muro inizialmente affetto deformato soggetto ad dinamica (Mastrodicasa, 1993).

un'azione da deformazione da pressoflessione soggetto ad un'azione dinamica (Mastrodicasa, 1993).

#### 2.8 Fenomeni fessurativi e deformativi nel tempo

La progressione può essere ritenuta nulla qualora il moto sia estinto e il complesso, attraverso il cedimento, abbia trovato la sua posizione di quiete. Se la progressione non è nulla, il sistema è indotto in moti ulteriori, con incrementi fessurativi e deformativi, nella ricerca di nuove condizioni d'equilibrio.

La progressione può essere:

- ritardata, caratterizzata da manifestazioni sempre più attenuate nel tempo, che tendono a estinguersi per lo stabilirsi di una situazione di equilibrio definitivo;

- accelerata, caratterizzata dall'accentuarsi, nel tempo, delle manifestazioni di fatiscenza che inducono il solido verso stati di equilibrio sempre più precari e, talvolta, irrealizzabili;

- costante, caratterizzata dall'uniforme sviluppo nel tempo delle manifestazioni di fatiscenza.

L'accertamento della progressione delle lesioni viene fatto in modo diverso a seconda che si tratti di fessurazioni o deformazioni.

Nelle fessurazioni l'indagine va eseguita nel ventre e nelle cuspidi per accertarvi, rispettivamente, gli incrementi di ampiezza e della propagazione.

Nelle deformazioni si devono prendere in esame gli elementi che subirono le traslazioni e le rotazioni più notevoli e quelli disposti lungo le linee che delimitano la deformazione per accertarvi lo scorrimento eventuale. La progressione dell'ampiezza fessurativa, in corrispondenza del ventre, è accertabile mediante apposite spie o biffe, traverse di malta foggiate a doppia coda di rondine con la sezione minima corrispondente alla fessurazione. Esse vengono inserite nel vivo del muro o nello spessore d'intonaco trasversalmente alla fessura stessa (fig. 2.18) è opportuno che le spie non siano di malta di cemento in quanto il ritiro può causare rotture indipendenti dai cedimenti. Spie in vetro sono condannabili perché le spie devono essere meno resistenti dell'intonaco o del materiale murario, onde risultare più sensibili alle segnalazioni del moto. Nelle pareti interne asciutte sono consigliabili spie in gesso o scagliola o, meglio, di malta comune come l'intonaco. Negli esterni, con paramenti in pietra da taglio o intonacate, malta idraulica o bastarda.

Anche i rami capillari delle fessurazioni forniscono preziosi elementi di giudizio nel decorso del dissesto. Definiti mediante segnali di cuspide, sottili segni rettilinei a matita normali alle fessurazioni nei punti terminali delle cuspidi fessurative, con data, segnalano gli incrementi delle rotture con lo sconfinamento dei rami capillari terminali nel tempo.



Figura 2.18: spia per monitoraggio dell'ampiezza fessurativa (Mastrodicasa, 1993).

Negli studi non andranno nemmeno trascurati i segnali di ventre, sottili segni rettilinei, pure da datare, tracciati per alcune coppie di punti corrispondenti dei cigli della regione ventrale. L'utilità di tali segni riguarda prevalentemente l'accertamento dei moti rotatori nel piano medio del solido.

Quando si constata la rottura di una spia, si procede subito all'applicazione di una sostitutiva nelle sue immediate vicinanze, con la nuova data e, analogamente, constatato lo sconfinamento di un ramo capillare, si traccia un nuovo segnale di cuspide in corrispondenza del nuovo estremo fessurativo.

È quindi possibile tracciare i diagrammi dell'evoluzione della progressione dell'ampiezza fessurativa e della propagazione delle cuspidi rappresentando per i primi sulle ascisse dei segmenti proporzionali agli intervalli di tempo intercorsi fra una rottura e quella successiva e, come ordinate, dei segmenti, proporzionali al numero d'ordine delle progressive rotture. Per i secondi è necessario rappresentare sulle ascisse dei segmenti proporzionali alla somma di tutte le lunghezze di sconfinamento a cominciare dal primo e sulle ascisse, dei segmenti proporzionali ai periodi di tempo trascorsi dall'apposizione del primo segnale.

La curva che raccorda i punti definiti da dette coordinate indica, graficamente, la legge di progressione che è accelerata se la concavità è rivolta verso l'alto, ritardata se la curva volga la concavità verso il basso, uniforme se è rettilinea (fig. 2.19). I diagrammi possono risultare più complessi quelli indicati per l'alternarsi di fasi di progressione scellerata e ritardata.



Figura 2.19: progressione (a) accelerata, (b) ritardata, (c) uniforme (Mastrodicasa, 1993).

Possono inoltre venire impiegati estensimetri auto registrati, apparecchi costituiti da una barretta invar fissata con un estremo alla struttura, a breve distanza dalla lesione, e con l'altro estremo collegato alla leva di un apparecchio di amplificazione applicato alla struttura, dall'altra parte della lesione.

Una freccia dell'estensimetro segnala gli incrementi fessurativi del dissesto che, così amplificati, vengono tracciati da una penna su di un rullo mosso da un apparecchio a orologeria. Le ordinate del diagramma così ottenuto, nel rapporto di amplificazione, rappresentano le componenti del moto nella direzione della barretta invar. I moti nella direzione normale a questa non vengono monitorati. Per rilevare agevolmente quindi il moto effettivo in modulo, direzione e verso nel piano paramentale del solido esaminato, occorre impiegare due estensimetri nella stessa regione ispezionata, con gli assi rispettivamente a 90° fra di loro.

Lo studio della progressione fessurativa e deformativa spesso non è reso possibile dall'incalzare del moto perché il pericolo incombente costringe a provvedimenti immediati.

Nell'esame delle lesioni è necessario porre a raffronto le fessurazioni della muratura con quelle dell'intonaco che le riveste, distinguere le fessurazioni recenti da quelle non recenti e discernere le fessurazioni dovute a contrazioni superficiale dell'intonaco da quelle dovute a deficienze statiche.

Nei muri vetusti le fessurazioni nell'intonaco hanno ampiezza ed estensione più limitata che nella massa muraria. In superficie rappresentano infatti gli incrementi delle fessurazioni subiti dopo l'applicazione dell'intonaco, meno vetusto del muro. Nei muri vetusti la differenza è spesso notevole con rami capillari nell'intonaco che si risolvono in crepe talvolta paurose nel muro.

Il riconoscimento delle fessure recenti da quelle datate è semplice.

Le fessure recenti presentano una frattura fresca, chiara, quasi brillante, priva di polvere e ciglia taglienti e ben contornate. Le datate presentano fratture annerite dal tempo, polverose e con ciglia arrotondate e, non di rado, frammenti di ragnatele.

#### **3 PRINCIPI E STATO DELLA RICERCA DELLE TECNICHE UTILIZZATE**

Sono di seguito esposte le principali tecniche utilizzate nella parte applicativa del presente elaborato:

- un test di permeabilità all'aria degli edifici 'blower door test';

- la termografia;

- il ground penetrating radar.

Ogni tecnica è dapprima introdotta nei suoi principi essenziali quindi trattata nelle sue più recenti evoluzioni costituite dalla recente produzione della letteratura tecnico-scientifica sull'argomento.

#### 3.1 Test di permeabilità all'aria: principi della tecnica

I principali contenuti della UNI EN 13829:2002 in materia di procedura di esecuzione delle misure e risultati ottenibili dalla prova sono di seguito esposti. La norma in esame è la versione italiana della EN 13829:2000.

La prova è volta alla determinazione della permeabilità all'aria di un edificio; può essere condotta per valutare se un determinato fabbricato rispetta le prescrizioni di uno specifico standard per quanto riguarda la tenuta d'aria, per confrontare la tenuta di diversi edifici simili, per identificare le cause di infiltrazione o per determinare la riduzione di infiltrazioni derivante da migliorie applicate all'edificio.

La strumentazione necessaria consta di un'apparecchiatura di movimentazione dell'aria e dispositivi di misura della pressione, della portata d'aria e della temperatura; tale strumentazione deve rispondere a requisiti di carattere unicamente prestazionale.

La parte da sottoporre alla prova è tipicamente circoscritta a tutte le stanze intenzionalmente condizionate; singole parti di un edificio, quali diversi appartamenti, possono essere testate separatamente.

Sono previsti due metodi distinti di prova:

- metodo A anche definito prova di un edificio in uso;

- metodo B anche definito prova dell'involucro edilizio e richiedente la sigillatura di tutte le aperture esistenti nello stesso.

Preventivamente alla prova è in ogni caso necessario effettuare le seguenti operazioni preliminari:

- tutte le porte interne alla parte da testare devono essere aperte al fine di mantenere, all'interno di tale area, differenze di pressione minori del 10%;

- devono invece essere spenti, se presenti, impianti di riscaldamento con presa d'aria interna e impianti di ventilazione meccanica e condizionamento. Tutte le ulteriori aperture di ventilazione vanno chiuse (nel caso del metodo A) o sigillate (nel caso del metodo B).

È necessario effettuare le seguenti operazioni per portare a termine la prova:

- posizionare l'apparecchiatura di movimentazione dell'aria su un infisso o una qualunque apertura di ventilazione. La scelta della posizione deve essere condotta attentamente in quanto è possibile, per un edificio con buona tenuta d'aria, che tale apertura costituisca la maggiore fonte di infiltrazioni;

- effettuare un controllo preliminare, alla più grande pressione possibile, delle infiltrazioni onde individuare grandi perdite per infiltrazione e difetti delle aperture temporaneamente sigillate. Qualora tali perdite vengano individuate vanno prese note dettagliate. Eventuali sigillature cedevoli o mancanti vanno ripristinate o aggiunte;

- misurare temperatura interna ed esterna all'edificio onde correggere la portata d'aria in base al variare della massa volumica dell'aria stessa con la temperatura;

- registrare la velocità o forza del vento. Viene considerato sufficiente l'utilizzo della scala Beaufort che prevede l'attribuzione di un valore numerico da 1 a 8 sulla base della mera osservazione;

- misurare la differenza di pressione a flusso nullo. Sono da misurarsi, prima della prova, tutti i valori di differenza di pressione positiva e tutti i valori di differenza di pressione negativa in un intervallo di tempo di almeno 30 s ( $\Delta p_{01+} e \Delta p_{01-}$ rispettivamente); tali misure andranno ripetute dopo la prova ( $\Delta p_{02+} e \Delta p_{02-}$ rispettivamente). Se uno qualunque dei quattro valori fosse superire a 5 Pa la prova non va eseguita o comunque non può essere considerata valida. Sono inoltre da misurarsi tutti i valori di differenza di pressione a flusso nullo per almeno 30 s ( $\Delta p_{01} e \Delta p_{02}$  rispettivamente i valori prima e dopo la prova);

- va quindi effettuata la prova vera e propria eseguendo letture a intervalli non superiori a 10 Pa o a cinque volte la differenza di pressione a flusso nullo (maggiore dei valori medi positivi o negativi). La condizione prescritta è la meno restrittiva fra le due. Sono invece contemplate due situazioni in merito alla più alta differenza di pressione applicabile ossia:

*a- singole abitazioni o piccoli edifici* ove il valore minimo richiesto è 50 Pa ma è raccomandato spingersi fino a 100 Pa;

*b- grandi edifici* (con un volume superiore a 4000 m<sup>3</sup>) ove è prevista la possibilità, previa indicazione nel rapporto di prova del non completo soddisfacimento delle prescrizioni della norma, dell'esecuzione della prova con una differenza di pressione di almeno 25 Pa. Se non vengono raggiunti i 25 Pa la prova non può invece ritenersi valida.

È raccomandata l'esecuzione di due serie di misure rispettivamente in pressurizzazione e in depressurizzazione.

I risultati della prova risiedono essenzialmente nel diagramma di infiltrazione d'aria e nelle quantità deducibili dallo stesso: portata di rinnovo dell'aria alla differenza di pressione di riferimento, permeabilità all'aria, portata specifica di infiltrazione e portata di infiltrazione di aria alla differenza di pressione di riferimento.

La determinazione del suddetto diagramma richiede alcuni calcoli preliminari sui valori di differenze di pressione e di portata d'aria misurati.

È necessario calcolare le *differenze di pressione indotte* come:

$$\Delta p = \Delta p_m - 0,5 \ (\Delta p_{0,1} - \Delta p_{0,1})$$

dove:

 $\Delta p_m \longrightarrow$  valori delle differenze di pressione misurate;  $\Delta p_{0,1}, \Delta p_{0,1} \longrightarrow$  valori delle differenze di pressione a flusso nullo.

È necessario inoltre calcolare la *portata d'aria attraverso l'involucro edilizio* come:

 $V_{env} = V_m \left( \rho_i / \rho_e \right)$ 

dove:

 $\rho_i, \rho_e \longrightarrow \text{massa volumica rispettivamente dell'aria interna e esterna, da esprimersi in kg/m<sup>3</sup>;$ 

 $\dot{V}_m$   $\rightarrow$  valori delle differenze di pressione in corrispondenza dei valori di pressione e temperatura del dispositivo di misurazione della portata (ottenuti dai meri valori misurati in conformità con le specifiche fornite dal costruttore). I valori di portata d'aria (da esprimersi in  $m^3/h$ ) e di differenza di pressione (da esprimersi in Pa) vanno quindi riportati in un diagramma bilogaritmico come da esempio in fig. 3.1.



Figura 3.1: esempio di diagramma d'infiltrazione d'aria.

Mediante una tecnica ai minimi quadrati è possibile ricavare la legge di correlazione fra i due valori rappresentati.

 $V_{env} = C_{env} \left( \Delta p \right)^n$ 

dove i coefficienti della legge di correlazione sono definiti come:

 $C_{env}$  $\rightarrow$  coefficiente di portata d'aria;n $\rightarrow$  esponente di portata d'aria.

Il calcolo sopradescritto va condotto separatamente per prova in pressurizzazione e depressurizzazione; è inoltre raccomandato il calcolo degli intervalli di confidenza di  $C_{env}$  e di n.

Il *coefficiente di infiltrazione d'aria*  $C_L$ , rispettivamente nei casi delle prove in pressurizzazione e depressurizzazione, è calcolabile come segue espresso in  $m^3/(h\cdot Pa)$ :

 $C_{L-Depressurizzazione} = C_{env} \left( \rho_e / \rho_o \right)^{l-n} \qquad C_{L-Pressurizzazione} = C_{env} \left( \rho_i / \rho_o \right)^{l-n}$ 

dove:

$ ho_e$	$\rightarrow$ massa volumica dell'aria esterna, da esprimersi in
	kg/m <sup>3</sup> ;
$ ho_o$	$\rightarrow$ massa volumica dell'aria nelle condizioni di
	riferimento, da esprimersi in kg/m <sup>3</sup> ;
$ ho_i$	$\rightarrow$ massa volumica dell'aria interna, da esprimersi in
	$kg/m^3$ .

Nel riportare la massa volumica dell'aria alle condizioni di riferimento dei contributi di temperatura, umidità e pressione barometrica quest'ultima può essere trascurata.

Si può quindi calcolare la portata di infiltrazioni d'aria come:

 $V_L = C_L (\Delta p)^n$ 

Sono quindi calcolabili alcune quantità derivate onde riassumere con pochi valori le informazioni contenute nel diagramma.

La *portata di infiltrazione di aria alla pressione di riferimento*, tipicamente assunta pari a 50 Pa, può essere calcolata come:

$$V_{50} = C_L (50 \ Pa)^n$$

L'aria di rinnovo ad una determinata pressione, ad esempio 50 Pa, si calcola come:

$$n_{50} = \dot{V}_{50} / V$$

dove:

 $V \rightarrow$  volume interno.

La permeabilità all'aria alla pressione di 50 Pa si calcola come:

$$q_{50} = V_{50} / A_E$$

dove:

 $A_E \rightarrow$  area dell'involucro;

La portata specifica di infiltrazione si calcola come:

$$w_{50} = \dot{V}_{50} / A_F$$

dove:

 $A_F \rightarrow$  area del pavimento.

Gli errori relativi alle ultime quattro quantità calcolate sono nella maggior parte dei casi minori del  $\pm 15\%$  in condizioni di calma mentre in condizioni di forte vento possono spingersi fino al 40%.

# 3.2 Test di permeabilità all'aria: stato dell'arte della tecnica

Uno studio su 32 diverse abitazioni monofamiliari leggere, costruite fra il 2003 e il 2005 (Kalamees, 2007) è stato condotto in Estonia utilizzando il blower door, in congiunzione con la termografia per l'individuazione delle perdite d'aria e della loro distribuzione. È risultato un valore medio di ricambi orari di 4,9 1/h.

Le perdite d'aria tipicamente sono state riscontrate:

- all'interfaccia fra il pavimento e le pareti esterne;

- in ragione di elementi relativi all'impianto idraulico;
- in ragione di camini o bocche di ventilazione;
- lungo il perimetro di porte o finestre;
- attorno a prese e interruttori dell'impianto elettrico.

Considerato l'elevato numero degli edifici indagati è stata verificata l'influenza di diverse varabili sul numero di ricambi orari:

- numero di piani, laddove, pur essendo la maggior parte delle indagini limitate a case con struttura in legno di uno o due piani, gli edifici a due piani hanno registrato prestazioni nettamente inferiori degli altri. La ragione principale, come confermato da indagini termografiche, è nelle perdite all'interfaccia fra pavimento e parete esterna;

- qualità della manodopera e supervisione, laddove alcuni edifici esaminati sono stati costruiti direttamente dai proprietari, mentre altri da professionisti. I primi hanno registrato prestazioni peggiori;

- tecnologia costruttiva, laddove sono stati classificati gli edifici costruiti in sito e quelli con elementi prefabbricati. I primi sono risultati più disperdenti dei secondi, sebbene l'influenza della tecnologia costruttiva sia risultata inferiore della qualità della manodopera impiegata;

- sistema di ventilazione, laddove la tenuta all'aria è risultata significativamente peggiore negli edifici con ventilazione naturale rispetto a quelli con ventilazione meccanica.

Sono riportati i risultati sintetici di altri studi (tab. 3.1) onde avere un'idea comparativa della tenuta all'aria degli edifici in diverse nazioni (Kalamees, 2007).

Un altro studio ha investigato la tenuta all'aria di 20 case in Grecia (Sfakianaki et al.). Gli edifici investigati sono caratterizzati da un'altezza compresa fra 3,0 e 9,0 m e da 1-4 livelli. Parte di detto studio è stato effettuato con il blower door test, condotto come da EN ISO 13829 ed è stato congiuntamente usato il tracer gas decay method, che prevede l'iniezione di gas (N<sub>2</sub>O nel caso in esame) negli ambienti da testare e la misurazione della concentrazione di gas tracciante nel tempo. Gli edifici studiati sono stati classificati, come da EN ISO 13790, in tre gruppi in ragione della tenuta all'aria: alta, media e bassa.

NAZIONE	<b>TEMPO DI</b>	NUMERO	RICAMBI ORARI A 50 Pa			Note
	MISURA	DI CASE	MEDIA	MINIMO	MASSIMO	
Belgio	1995-1998	51	7,8	1,8	25	
Canada	1985-1995	222	3,1	0,4	11	New conventional house
		47	1,2	0,13	2,6	R2000 low-energy houses
Estonia	1999-2000	19	9,6	4,9	32	
Estonia	2003-2005	31	4,9	0,7	14	Edifici costruiti nel 1993-2004
Finlandia	1979-1981	16	6,0	2,2	12	Common pre- fabricated timber- frame wall-element house
Finlandia	1981-1998	28	3,5	1,0	7,5	Special attention is paid for the air tightness
		171	5,9	1,6	18	Mostly reclamation houses
Finlandia	2002-2004	100	3,9	0,5	8,9	Timber-frame envelope
Norvegia	1980	61	4,7	2,0	8,0	
Norvegia	1984	10	4,0	3,3	5,4	Built in 1980, low Energy houses
Svezia	1978	205	3,7	Deviazio	ne standard 1,24	Built in 1982-89
Svezia		44	1,02	2		timber-frame envelope
Regno Unito		471	13,1	0,5	30	
USA		12902	29,7		84	Built in 1850-1993

Tabella 3.1: comparazione dei ricambi orari per le case isolate in diverse nazioni (Kalamees, 2007).

È stata ricercata una correlazione fra la tenuta all'aria e il rapporto fra la lunghezza totale dei telai finestre e il volume dell'edificio.

Detta correlazione, nel caso dei test blower door, è stata riscontrata nei dati, sebbene con un coefficiente di correlazione sensibilmente più basso per gli edifici classificati con media o alta tenuta all'aria rispetto a quelli classificati con bassa tenuta all'aria ( $R^2 = 0.35-0.39$  per i primi due gruppi a fronte di  $R^2 = 0.93$  per il terzo gruppo). Detto elemento dimostra che il parametro considerato (rapporto fra la lunghezza totale del telaio delle finestre e il volume dell'edificio) è particolarmente importante per la tenuta all'aria dell'edificio nelle strutture con carente tenuta all'aria.

Ulteriori studi (DePani et al.) hanno investigato la possibilità di utilizzare una singola ventola per testare edifici costituiti da due o tre unità indipendenti che altrimenti avrebbero richiesto l'utilizzo di più ventole. Il metodo è basato sull'esecuzione consecutiva di più test, variando opportunamente la posizione della ventola, posta di volta in volta in un'unità diversa in modo da misurare i dati necessari alla risoluzione di un sistema di equazioni da cui desumere i risultati di ognuna delle singole unità. Analogamente è possibile nel caso degli edifici costituiti da tre unità, usare un analogo procedimento con due ventole. Sono stati confrontati i risultati, in termini di equivalent leakage area (ELA) ottenuti con una e con due ventole, su quattro edifici.

Il confronto ha verificato la validità del metodo con una sola ventola; vanno inoltre considerati gli altri vantaggi di detto metodo, quali il minor costo delle attrezzature e del loro trasporto e la minore quantità di personale necessario all'esecuzione del test.

## 3.3 La termografia: principi della tecnica

La termografia è una tecnica di indagine non distruttiva che sfrutta la differente capacità dei diversi materiali di trasmettere il calore.

## 3.3.1 Scopi

La termografia ha molteplici applicazioni in ingegneria civile:

- la lettura della tessitura delle murature, con la possibilità di individuare tamponature e quella di rilevare la presenza di ammorsature o di semplici appoggi fra più murature. Sulla base di queste informazioni è quindi possibile ottenere informazioni sull'evoluzione storica di un dato edificio; - la ricerca, nel caso delle murature a sacco, dell'eventuale distacco del paramento esterno;

- la ricerca, soprattutto in edifici storici per i quali non sia disponibile una documentazione completa, di elementi metallici non a vista quali i presidi per il contenimento delle spinte orizzontali (le cosiddette catene);

- il rilievo dell'orditura dei solai;

la ricerca di tubazioni di impianti e di elementi quali le canne fumarie. Queste ultime sono sovente utili in caso di ristrutturazione, soprattutto nel caso di edifici a muratura portante, quale punto ove collocare i tubi degli impianti senza la necessità di creare ulteriori alloggi con conseguente danneggiamento dell'edificio;
le ricerca di fessure, anche non affioranti;

- il controllo della tenuta all'aria degli edifici, anche congiuntamente a prove quali il blower door test;

- la ricerca di ponti termici dovuti a inadeguata progettazione dell'edificio o a scadente messa in opera dell'isolante oltre che al deterioramento dello stesso;

- la ricerca di difetti superficiali degli elementi oggetto di indagine quali distacchi di intonaco, particolarmente frequenti in edifici storici. Relativamente allo strato di finitura sono individuabili anche riprese o parziali sostituzioni.

La termografia trova numerose applicazioni anche in campi estranei all'ingegneria civile, ad esempio:

- come metodo per l'individuazione di surriscaldamenti tanto in ambito elettrico - elettronico quanto in ambito meccanico;

- come metodo per la stima del livello di sedimentazione presente in tubature e impianti in generale in ambito industriale, offrendo quindi la possibilità di pianificare in tempo gli interventi di manutenzione.

La tecnica presenta, oltre al pregio, comune a tutte le tecniche non distruttive, di non arrecare danni al manufatto, il vantaggio di essere particolarmente veloce nell'acquisizione e nell'elaborazione dei risultati. L'interpretazione degli stessi, sebbene richieda in ogni caso una preparazione adeguata, è più semplice rispetto ad altre tecniche. Un difetto della tecnica è invece la necessità, per eseguire un'indagine proficua, che il manufatto si trovi in condizioni termiche favorevoli all'indagine stessa: questo comporta o il riscaldamento artificiale o l'esecuzione della prova in un particolare periodo della giornata o, in taluni casi, in una specifica stagione al fine di ottenere, sfruttando il semplice irraggiamento solare, le condizioni desiderate. Un altro svantaggio è, stante la grande inerzia termica degli edifici, la limitata profondità investigabile il che circoscrive la tecnica ad indagini soprattutto relative allo strato superficiale degli elementi strutturali.

La normativa di riferimento in materia di termografia può essere riassunta in: UNI 10824-1:2000, UNI EN 13187:2000, ASTM C1060–90 (Reapproved 2003), ASTM D4788–03 (Reapproved 2007) e ASTM C1153–10.

La prima norma è costituita da un mero elenco di termini inerenti alla termografia. La seconda fornisce una procedura per l'individuazione delle anomalie negli involucri degli edifici principalmente relativamente ad aspetti di efficienza energetica, quindi a difetti nell'isolamento, umidità e tenuta all'aria. La terza riguarda l'indagine qualitativa di elementi, quali pareti, solai o coperture, all'interno dei quali non sia certa la presenza di materiale isolante o tale materiale si sospetti essere inadeguato o danneggiato. La quarta riguarda la ricerca di delaminazioni in ponti in calcestruzzo.

## 3.3.2 Strumentazione utilizzata

La strumentazione necessaria consta essenzialmente di (Rosina, 2008):

- una termocamera (fig. 3.2);

- un adeguato sistema per applicare una sollecitazione termica all'oggetto dell'indagine (qualora non si ritenga sufficiente fare affidamento sull'irraggiamento solare);

- eventuali dispostivi per la misura delle condizioni al contorno quali, ad esempio, la temperatura dell'aria al momento dell'indagine;

- adeguati software per il post-processing.



Figura 3.2: esempio di termocamera (Flir P620).

La termocamera è un dispositivo in grado di produrre, in un tempo trascurabile rispetto all'evoluzione termica del soggetto inquadrato, un'immagine visualizzata in falsi colori, detta termogramma, rappresentante una matrice bidimensionale di temperature superficiali dell'oggetto inquadrato. Ogni pixel dell'immagine rappresenta quindi una temperatura. Un esempio di termogramma, accompagnato da una foto tradizionale della stessa area, è riportato nelle fig. 3.3-3.4.

La termocamera è dotata di un gruppo ottico fisso o intercambiabile, di un'unità di pre-elaborazione e di visualizzazione delle immagini oltre che di una o più memorie digitali per la registrazione dei risultati. Numerose caratteristiche contribuiscono a definire la qualità di una termocamera fra le quali le più importanti sono (Rosina, 2008):

- la risoluzione termica ossia la sensibilità dello strumento;

- la frequenza di visualizzazione ed elaborazione dei termogrammi da ritenersi di particolare rilevanza per indagini in transitorio;

- il rumore prodotto dalla sola apparecchiatura (ossia un segnale termico solitamente su valori dal centesimo ai decimi di grado);

- l'eventuale presenza di un sistema di raffreddamento (capace di ridurre sensibilmente il rumore del sensore);

- il campo di vista.





Figura 3.3: esempio di termogramma Figura acquisito per indagini in ingegneria indagata nel termogramma di fig. 3.3 civile. Sono visibili l'architrave della porta e gli elementi costituenti la visiva. muratura.

3.4: parte della struttura così come si presenta all'ispezione

#### 3.3.3 Principi fondamentali

La trasmissione del calore è possibile in tre modi: conduzione, convezione e irraggiamento.

La *conduzione* è la propagazione di energia termica connessa ai moti vibrazionali degli atomi. Essa si sviluppa fra due corpi contigui, o fra parti dello stesso corpo, che presentino differenze di temperatura. Un esempio è costituito da un muro perimetrale formato da due strati di laterizi con al centro uno strato di materiale isolante (fig. 3.5): lo scambio di calore all'interno del muro, da una faccia all'altra, è dovuto alla conduzione.

Il flusso termico per unità di tempo è pari a (Rosina, 2008):

$$Q_K = KA \varDelta T$$

dove:

 $K \rightarrow \text{conduttanza},$ 

 $A \rightarrow$  superficie,

 $T \rightarrow$  differenza fra la temperatura superficiale interna e esterna.



Figura 3.5: distribuzione delle temperature lungo la sezione di una muratura di mattoni posta a contatto con ambienti a temperature diverse.

L'inverso della conduttanza è la resistenza termica. Quest'ultima è calcolabile come il rapporto fra lo spessore di uno strato di materiale e la conducibilità termica  $\lambda$ . La conducibilità indica quanto un materiale trasmette facilmente calore per conduzione: più precisamente è definita come la quantità di calore trasmessa per unità di tempo, per unità di spessore dello strato e per differenza di temperatura unitaria. Valori più bassi sono indicativi di una maggiore resistenza al passaggio del calore. Nell'esempio della muratura è immediato come lo strato di isolante, inibendo fortemente il flusso di calore attraverso la muratura, sarà caratterizzato da un valore di conducibilità più basso dei laterizi (Rosina, 2008).

In tab. 3.2 sono riportati alcuni valori di conducibilità termica (UNI 10351:1994). Nelle varie colonne della tabella sono indicate:

- il materiale di riferimento;

- la massa volumica del materiale secco  $\rho$ ;

- la conduttività indicativa di riferimento  $\lambda_m$  ossia quella misurabile in laboratorio su provini di spessore di almeno 10 cm alla temperatura media di 293 K e ad umidità relativa minore del 2%;

- maggiorazione percentuale *m* per tenere conto del contenuto di umidità proprio delle condizioni di esercizio, dell'invecchiamento e della costipazione dei materiali sciolti;

- la conduttività  $\lambda$  ottenuta applicando la maggiorazione alla conduttività  $\lambda_m.$ 

MATERIALE	ρ	$\lambda_{\mathrm{m}}$	m	λ
	kg/m <sup>3</sup>	W/mK	%	W/mK
Acqua	1000			0,6
Aria	1,3			0,026
Bitume	1100			0,17
Calcestruzzo a struttura chiusa confezionato con aggregati naturali	2000	1,01	15	1,16
Calcestruzzo a struttura chiusa confezionato con argille espanse	1000	0,25	20	0,31
Cartongesso in lastre	900	900		0,21
Ghiaia grossa senza argilla	1700			1,2
Intonaco di calce e gesso	1400			0,70
Intonaco di gesso puro	1200			0,35
Malta di cemento	2000			1,40
	600	0,13	90	0,25
Mattoni	1000	0,24	48	0,36
Mattom	1400	0,40	25	0,50
	1800	0,63	12	0,90
Sabbia secca	1700			0,6

Tabella 3.2: conduttività di alcuni materiali (UNI 10351:1994).

La *convezione* implica invece la presenza di un fluido, quale l'aria o l'acqua, e di un solido a temperature diverse a contatto fra loro. Ad esempio una muratura caratterizzata da una temperatura maggiore dell'aria che la circonda causerà il riscaldamento di quest'ultima, facendola espandere e quindi divenire meno densa.

L'aria riscaldata verrà quindi sospinta verso l'alto mentre l'aria più fredda tenderà a scendere: si formerà quindi un moto convettivo naturale. Il moto convettivo forzato prevede invece che il fluido venga forzato a lambire una superficie come ad esempio il vento può lambire un edificio. Due corpi solidi possono scambiarsi calori per conduzione se sono entrambi in contatto con lo stesso fluido che trasferisce il calore fra i due.

Il flusso per convezione è pari a (Rosina, 2008):

$$Q_C = hA (T_1 - T_2)$$

dove:

 $h \rightarrow \text{costante di proporzionalità} [Wm^{-2}K^{-1}].$ 

L'*irraggiamento* invece, ossia il trasferimento di energia fra due corpi per mezzo di onde elettromagnetiche, è infine caratterizzato dal non richiedere né il diretto contatto fra gli scambiatori né un mezzo per propagarsi avvenendo il trasferimento di calore per mezzo di onde elettromagnetiche.

Il flusso radiante emesso da un corpo è regolato dalla legge di Stefan-Bolzman (Rosina, 2008):

$$Q_r = \sigma A T^4$$

dove:

 $\sigma \rightarrow \text{costante universale di Stefan-Bolzman } (5,6703 \cdot 10^8 \text{ Wm}^{-1} \text{K}^{-4}),$ 

 $A \rightarrow$  superficie del corpo radiante,

 $T \rightarrow$  temperatura, da esprimersi in kelvin.

È necessario ricordare che il calore scambiato per l'irraggiamento è proporzionale alla quarta potenza della temperatura assoluta mentre per convezione e conduzione è proporzionale alla semplice differenza di temperatura: in generale l'irraggiamento diviene quindi più importante rispetto alle altre modalità di trasmissione di calore alle alte temperature.

La termografia rileva appunto la radiazione emessa dai corpi per irraggiamento. Dal momento che quest'ultima dipende però dalla temperatura del corpo, determinata dall'interazione del corpo stesso con l'ambiente circostante per mezzo di tutti i modi di trasmissione del calore, una conoscenza, almeno sommaria, di tali modalità di trasmissione è però necessaria. È altresì necessario precisare, al fine di evitare confusione con altri metodi che sfruttano onde elettromagnetiche, quali il ground penetrating radar (GPR), che tali onde sono classificabili secondo la lunghezza d'onda come in fig.3.6. Le onde emesse dai corpi per irraggiamento, almeno alle temperature ambiente, sono nel campo dell'infrarosso.

Il massimo flusso di calore sarà emesso solo da un corpo in grado di assorbire ogni radiazione incidente su di esso. Un corpo con tale comportamento viene detto corpo nero, cui tipico esempio è una cavità all'interno della quale tutta la radiazione viene intrappolata.

È quindi nella pratica necessario tenere conto che i corpi reali assorbono solo una parte della radiazione incidente: tale quota è quantificata con l'emissività, grandezza definita come il rapporto fra l'energia emessa dal corpo e quella di un corpo nero nelle medesime condizioni. Dalla definizione discende direttamente che l'emissività assume valori compresi fra zero e uno (Rosina, 2008).

In tab. 3.3 sono riportati di emissività di alcuni materiali.

		Emissività	
		1	2
Acqua		81	
Aria		1	
	accuratamente lucidato		da 0,03 a 0,08
Acciaio	inossidabile		da 0,08 a 0,20
	molto ossidato		da 0,60 a 0,85
Argilla o pietra			da 0,85 a 0,95
Asfalto			da 0,90 a 0,97
	opaco ma pulito		da 0,08 a 0,20
Ferro	lucido	0,21	
	molto ossidato	0,64	da 0,60 a 0,95
Calcestruzzo			0,92
Intonaci con tinteggiatura bianca o di colori chiari			da 0,80 a 0,95
Legno (planed oak)			0,90
Mattone rosso		0,93	0,93
Sabbia			0,90

Tabella 3.3: valori di emissività di alcuni materiali. (Rosina, 2004<sup>1</sup>, Maladague e Moore, 2001<sup>2</sup>).



Figura 3.6: classificazione delle onde elettromagnetiche.

È immediato come, oltre alle incertezze dovute alla composizione dei materiali altri parametri difficilmente quantificabili, come l'ossidazione per i metalli (Maladague e Moore, 2001), rivestano un ruolo importante nel definire il valore dell'emissività; anche elementi come abrasioni superficiali (Rosina, 2008) possono influenzare i valori. Sono quindi possibili elevate incertezze sul valore dell'emissività.

È utile ricordare che un corpo sottoposto ad una certa energia incidente (fig. 3.7) reagirà nel seguente modo (Rosina, 2008):

- ne assorbirà una quota (quantificata dall'assorbività a);

- una quota verrà trasmessa oltre l'oggetto stesso (quantificata dalla trasmissività  $\tau$ );

- ne rifletterà infine una quota (quantificata dalla riflessività  $\rho$ ).

Dalla conservazione dell'energia si ha:  $a+\rho+\tau=1$ 

Per un corpo opaco, ossia con trasmittività pari a zero, si ha:  $\varepsilon$ =1- $\rho$ 



Figura 3.7: ripartizione dell'energia incidente in energia riflessa, trasmessa e assorbita.

La termografia fornisce, per molteplici ragioni, risultati migliori qualora i materiali da investigare abbiano valori di emissività elevati.

Alta emissività è legata innanzitutto ad un'intensità radiante maggiore e quindi un segnale più intenso da rilevare. I materiali ad alta emissività sono inoltre riflettori scadenti: tendendo infatti alcuni materiali a riflettere energia da altre fonti quest'ultima, quale flusso parassita prodotto dall'ambiente circostante il corpo oggetto di studi, è visibile nel termogramma quale aumento nel rumore dell'immagine (Maladague e Moore, 2001).

Onde discriminare un possibile difetto da una riflessione da un'altra superficie è consigliabile osservare la stessa superficie da più posizioni in quanto le riflessioni cambiano con la posizione.

È necessario quindi porre attenzione perché in un termogramma elementi quali variazioni locali dell'emissività del materiale, l'effetto di un riscaldamento non uniforme del corpo e riflessioni da altri oggetti sono tutti visualizzati come variazioni di temperatura: occorre dunque saper distinguere tali variazioni da quelle causate dai difetti o dagli elementi oggetto della ricerca.

Nel particolare caso degli edifici storici è presente la difficoltà aggiuntiva derivante alle disomogeneità dovute al diverso stato di conservazione dei materiali o, sovente, da materiali diversi posti gli uni accanto agli altri, che, qualora non siano essi stessi l'obbiettivo dell'indagine, possono confondersi con gli oggetti della ricerca. Elementi quali depositi di calcari, muschi o licheni possono inoltre inibire la possibilità di individuare i difetti più profondi.

## 3.3.4 Acquisizione dati

L'indagine termografica può essenzialmente essere passiva o attiva.

La termografia passiva consiste nello studio del manufatto nelle condizioni in cui esso si trova: tale tipo di indagine è essenzialmente qualitativa e centrata sulla ricerca di temperature abnormi che possono indicare difetti. La produttività è tipicamente molto elevata. È auspicabile eseguire l'indagine quando sia presente un'elevata differenza di temperatura fra esterno e interno dell'edificio, o, comunque, fra i due lati dell'oggetto da investigare.

L'indagine attiva prevede invece l'applicazione di un qualche tipo di sollecitazione termica alla struttura: la scelta del tipo di sollecitazione è legata essenzialmente a considerazioni di carattere economico e di rapidità dell'indagine.

Spesso con la termografia attiva è possibile aumentare la sensibilità della tecnica di misura. Ad esempio, qualora si ricerchino aree umide in una struttura, con la termografia passiva tali aree, per effetto evaporativo, appariranno ad una temperatura più bassa rispetto al retro dell'edificio. Mediante l'applicazione di una sorgente di riscaldamento radiante è possibile osservare un effetto aggiuntivo, dovuto alla maggiore capacità termica (la capacità dei materiali di immagazzinare energia) delle aree umide, che appariranno quindi a temperatura ancora minore di quella osservabile con la tecnica passiva (Rosina, 2008).

Un altro vantaggio della termografia attiva è la maggiore profondità dalla quale è possibile ottenere informazioni: per la maggior parte delle indagini sulle murature esposte nel paragrafo 3.1 è infatti consigliabile un approccio attivo.

Un'ulteriore differenza è che, mentre nel caso stazionario l'importanza maggiore è rivestita dalla conducibilità termica dei materiali, ossia dalla loro capacità di trasmettere il calore, nel caso transitorio è importante anche la capacità termica.

L'esecuzione dell'indagine vera e propria prevede essenzialmente:

- l'eventuale riscaldamento dell'edificio o della parte dello stesso necessaria all'esecuzione dell'indagine;

- l'esecuzione delle misure ausiliarie necessarie, quali la temperatura dell'aria;

- l'acquisizione dei termogrammi.

## 3.3.5 Elaborazione ed interpretazione dei risultati

Mentre la semplice individuazione di anomalie è relativamente banale, la discriminazione del tipo di difetto può richiedere una certa esperienza. Seguono, a titolo esemplificativo, le caratteristiche di alcuni tipi di difetti:

- le infiltrazioni d'aria nell'involucro di un edificio spesso producono forme irregolari con contorni frastagliati e grandi differenze di temperatura (UNI EN 13187:2000);

- una porzione mancante nell'isolamento produce forme regolari e ben definite non associabili a caratteristiche strutturali dell'edificio (UNI EN 13187:2000);

- la presenza di umidità nell'involucro di un edificio produce una distribuzione chiazzata e diffusa (UNI EN 13187:2000);

- per quanto riguarda i ponti in calcestruzzo le eventuali delaminazioni appaiono come aree a temperatura maggiore del resto della struttura qualora l'indagine venga effettuata di giorno. Qualora l'indagine venga effettuata di notte tali aree si presentano invece come caratterizzate da temperatura minore. Solitamente è auspicabile eseguire l'indagine dopo almeno 3 ore di irraggiamento solare per far sì che la differenza di temperatura fra le zone intatte e quelle delaminate raggiunga valori misurabili. Tipicamente in estate tali differenze di temperatura raggiungono valori maggiori rendendo quindi preferibile eseguire le indagini in questa stagione (ASTM D4788 – 03);

 la presenza di isolamento saturo d'acqua su di una copertura è rappresentata nel termogramma, in generale, con aree che appaiono più calde delle rimanenti zone.
 Qualora l'ambiente sotto la copertura sia condizionato è osservabile il fenomeno contrario (ASTM C1153 – 10);

- gli eventuali distacchi di finitura appaiono, se il termogramma viene acquisito in fase di riscaldamento, come aree più calde del resto della struttura. Il calore rimane infatti confinato nella porzione superficiale, isolata dal resto della struttura da uno strato d'aria dovuto al distacco (Rosina, 2008).

Nell'interpretazione dei termogrammi possono essere d'aiuto termogrammi di strutture simili a quella oggetto di test, ma con difetti noti, in modo da poter operare un confronto, la semplice esperienza o software di calcolo.

Esistono infatti software in grado di simulare il termogramma una volta fornite le caratteristiche supposte di materiali e difetti e la geometria del problema. Quest'ultima viene spesso radicalmente semplificata fino a ridurla alle sole parti ritenute significative. Con una modellazione accurata è inoltre possibile invertire il problema termico, ossia ricavare parametri quali la profondità e l'estensione di un dato difetto partendo dalla distribuzione di temperature superficiali (Rosina, 2008).

#### 3.4 La termografia: stato dell'arte della tecnica

La termografia, pur non essendo priva di limitazioni, è caratterizzata, in generale, anche da una serie di vantaggi rispetto a una rete di sensori tradizionali (Grinzato, 2008):

- agisce per via ottica, quindi senza contatto con l'oggetto esaminato;

- fornisce risultati continui nello spazio, rendendo più semplice, grazie ad una visione panoramica, la localizzazione di punti che causino anomalie rispetto a semplici misure puntuali;

- rispetto a sensori tradizionali, quali termoresistenze e termocoppie, ove a ogni modificazione di temperatura la massa dello strumento deve andare in equilibrio con l'oggetto di cui si deve misurare la temperatura, la termografia è in grado di seguire meglio l'evolversi della temperatura dell'oggetto;

- grandi matrici IR di sensori consentono la scansione in tempo reale di oggetti in movimento veloce (giacché l'immagine si forma in pochi millisecondi).

A fronte di tutti i benefici elencati è però necessario evidenziare che lo strumento misura un flusso termico (nella sua banda di sensibilità), quindi non una temperatura, per rilevare la quale vanno fornite le proprietà della superficie.

Le stesse sono, per le applicazioni in situ riguardanti l'ingegneria civile, spesso ignote o, comunque affette da significative incertezze.

Diversi studi sono stati condotti per determinare l'influenza dei parametri più importanti sui risultati delle indagini termografiche.

# 3.4.1 Parametri importanti nell'impiego della termografia

Un corretto valore di emissività, in particolare, è indispensabile per ottenere i valori di temperatura corretti. Per un dato materiale l'emissività dipende però da temperatura e condizioni della superficie, dalle lunghezze d'onda oltre che dal metodo usato per la misura dell'emissività stessa (Avdelidis e Moropoulou, 2003).

Uno studio per esempio ha evidenziato che, con la mera modificazione di questi parametri, i valori di emissività misurati possono cambiare in modo consistente. I risultati sintetici di tale studio (Avdelidis e Moropoulou, 2003) provano che fattori tipicamente non controllabili in situ possono causare fluttuazioni dei valori rilevanti (tab. 3.4).

È quindi evidente come l'utilizzo di un qualsiasi valore desunto dalla letteratura scientifica sia da considerarsi affetto da elevate incertezze.

Un ulteriore studio (Barreira e De Freitas, 2007) è stato condotto, più in generale, per valutare come elementi quali emissività, condizioni ambientali, colorazione del materiale e riflessività influiscono sui risultati. Detto studio è stato condotto in laboratorio su provini di calcestruzzo cellulare parzialmente immersi in acqua per un certo periodo.

I risultati ottenuti indicano che, qualora l'interesse sia esclusivamente qualitativo, limitandosi quindi a ricercare aree più calde e più fredde sull'oggetto, diversi valori di emissività, benché ovviamente portino a risultati qualitativamente diversi, non modificano in modo sostanziale il termogramma.

MATERIALE	Emissività per lunghezza			Emissività per lunghezza			
	d'onda di 3-5,4 μm			D'ON	D'ONDA DI 8-12 μm		
	0°C	48,8°C	100°C	0°C	48,8°C	100°C	
Intonaco (*)	0,58	0,65	0,77	0,77	0,73	0,73	
Intonaco (**)	0,59	0,71	0,79	0,79	0,71	0,69	
Intonaco (***)	0,57	0,62	0,84	0,75	0,69	0,67	
Pentelic marble	0,71	0,92	0,94	0,82	0,90	0,87	
Kokkinnsris marble	0,68	0,92	0,93	0,77	0,76	0,75	
Kapandritis stone	0,67	0,76	0,91	0,74	0,71	0,71	
Pietra porosa	0.61	0,73	0,84	0,76	0,71	0,69	
(biocalcarenite)	0,01						
Pietra porosa	0.62	0.78	0.01	0.80	0.82	0.74	
(bioclastic limestone)	0,02	0,70	0,71	0,00	0,02	0,74	
(*) mistura di leganti, aggregati e additivi in opportuni rapporti e fibre.							
(**) malta priva di cemento basata su leganti idraulici, sabbia e fibre.							
(***) mistura di leganti idraulici, aggregati e additivi.							

Tabella 3.4: valori di emissività misurati in laboratorio per diversi materiali. Misure eseguite secondo la ASTM E1933-97 (Avdelidis e Moropoulou, 2003).

Variazioni di temperatura e umidità ambientale invece sono importanti in quanto, in caso di elementi bagnati, modificano l'evaporazione: al variare delle condizioni ambientali quindi subiscono una modificazione i valori da misurare; tale effetto è maggiore dell'interferenza delle stesse condizioni con il sistema di misura.

La riflessività, complemento dell'emissività per i materiali opachi, può causare, se elevata, la misura di valori di temperatura inaccurati per via della riflessione. L'influenza del colore infine è più pronunciata tanto più la differenza di temperatura è alta. In caso d'indagini passive diminuisce quindi se l'indagine è eseguita verso la fine della giornata.

Altre indagini condotte, in particolare, sulla chiesa della Beata Vergine dei Dolori (Villastellone, Torino) sulla base del confronto dei risultati termografici ottenuti con il knoking test per ricercare distacchi di intonaco hanno posto in evidenza che lo stato della finitura superficiale (ad esempio colore e porosità) produce talvolta variazioni importanti nella misura (Grinzato et al., 2009)

Le caratteristiche del materiale che possono influenzare i parametri rilevanti ai fini termografici sono, di fatto, molto numerose, come dimostrato da un'altra ricerca (Maierhofer et al., 2008). In particolare, effettuando prove su alcuni campioni, è stato osservato che:

- cambiando le proprietà termiche del calcestruzzo con il progredire dell'idratazione, e quindi con lo svilupparsi della resistenza a compressione, i risultati relativi ad alcuni campioni mostrano che con l'aumentare di detta resistenza il tempo per raggiungere il contrasto massimo fra zone integre e difetti (inclusioni di polistirolo) aumenta mentre il valore del contrasto cala;

- la presenza di aggregati porosi ha determinato un aumento sia del tempo per raggiungere il contrasto massimo sia nel valore della differenza di temperatura.

Le basse temperature, in ogni caso, possono essere un ostacolo all'utilizzo della termografia. Una scelta adeguata della termocamera è in questi casi necessaria.

È necessario premettere che l'infrarosso è la regione dello spettro elettromagnetico che comprende radiazioni con lunghezza d'onda fra 0,75  $\mu$ m e 100  $\mu$ m. Tale regione può essere arbitrariamente suddivisa in sotto-regioni (tab. 3.5).

SOTTO-REGIONE	Lunghezza d'onda
	[µm]
Near infrared	0,75-3
Middle infrared	3-6
Far infrared	6-15
Extreme infrared	15-100

Tabella 3.5: sotto-regioni cui è possibile dividere il campo degli infrarossi (Clark et al., 2003).

Le camere sensibili alle lunghezze d'onda maggiori sono in grado di rilevare differenze di temperature minori mentre quelle sensibili alle lunghezze d'onda minori sono utilizzabili qualora siano presenti differenze di temperatura elevate (Clark et al., 2003).

La scelta di una termocamera adatta è quindi da ponderarsi con riguardo all'ambiente di utilizzo (tab. 3.6).

Ambiente	Esempio	Lunghezza d'onda della termocamera
Alte differenze di temperatura	Pavimentazioni in calcestruzzo in ambienti molto caldi (es. Arizona, Nevada)	Corta
Basse differenze di temperatura	Ponti in calcestruzzo o muratura in UK	Lunga

Tabella 3.6: scelta della termocamera (Clark et al., 2003).

Un altro parametro importante nella scelta fra diverse soluzioni termografiche è il rapporto segnale/rumore, dato da una relazione del tipo (Grinzato, 2008):

$$s = \Delta T(\tau) / \sqrt{(\Delta \bar{T}_{ap})^2 + (\Delta \bar{T}_{str})^2 + (\Delta \bar{T}_{ext})^2}$$

dove:

$\Delta T$	$\rightarrow$ differenza di temperatura tra i punti della superficie e di
	un'area di riferimento, in funzione del tempo $\tau$ ;
$\Delta \overline{T}_{ap}$	→ rumore elettrico delle apparecchiature;
$\Delta \bar{T}_{str}$	$\rightarrow$ rumore intrinseco nella struttura da esaminare, ossia
	variazioni locali della temperatura non considerabili
	difettosità;
$\Delta \bar{T}_{ext}$	→ instabilità delle condizioni al contorno.

Giova ricordare che nella quasi totalità delle situazioni si ha  $\Delta \bar{T}_{ap} \ll \Delta \bar{T}_{str}$ .

Un altro effetto in grado di influenzare i risultati termografici è l'attenuazione di energia nell'atmosfera, per via dell'assorbimento di energia dovuto a particelle sospese e dal conseguente re - irraggiamento in direzioni casuali: questo effetto è però trascurabile, secondo alcuni (Clark et al., 2003), se la distanza termocamera - oggetto è piccola.

Secondo altri (Gayo e De Frutos, 1997) sono presenti due casi nei quali *l'atmospheric attenuation* andrebbe tenuta in considerazione:

- quando la distanza fra la termocamera e l'oggetto è maggiore di 4 m;

- quando l'atmosfera è inquinata in quanto in tali casi gli effetti dell'attenuazione sono maggiori.

## 3.4.2 Termografia come parte di metodi combinati

In virtù della rapidità nell'investigare aree consistenti la termografia è comunque spesso proposta o utilizzata quale primo metodo d'indagine da abbinarsi ad altri metodi, più precisi, sebbene puntuali.

La termografia è ad esempio utilizzabile, qualora sia necessario posizionare sensori termici, per sceglierne la posizione migliore sull'oggetto d'indagine. Non soffrendo però la termografia dei già discussi svantaggi legati al transitorio dei sistemi di misura a contatto, in futuro potrebbe essere possibile rilevare la temperatura e il flusso termico solamente con la termografia (Grinzato E., 2008, progetto di ricerca in corso).

Un'altra possibile applicazione combinata di più metodi è stata utilizzata in una ricerca (Capitani et al., 2009) volta alla mappatura della distribuzione di umidità in una pittura muraria danneggiata nella chiesa di San Rocco (Milano, Italia) dove questa è stata usata unitamente a test gravimetrici (consistenti essenzialmente nella misura del peso di un campione prima e dopo l'evaporazione forzata dell'acqua) e risonanza magnetica nucleare (NMR). La termografia ha avuto il ruolo nella scelta delle aree ove eseguire i carotaggi, consentendo così di limitare al minimo il numero degli stessi; essa di per sé non avrebbe consentito l'acquisizione d'informazioni quantitative sull'umidità presente.

La termografia è stata utilizzata anche per evidenziare le aree di delaminazioni in ponti in calcestruzzo e muratura. Sono stati investigati, ad esempio, nell'ambito di uno studio (Clark et al., 2003), due ponti, uno in calcestruzzo e uno in muratura, con la termografia ed è stato eseguito il *tap testing* (metodo che sfrutta le variazioni di rigidezza): le aree di delaminazione individuate con le due tecniche hanno mostrato una buona corrispondenza. È stata inoltre evidenziata la capacità, per la termografia, di individuare le delaminazioni anche in condizioni meteorologiche non ottimali essendo il ponte in muratura, al momento dell'indagine, quasi in equilibrio termico in conseguenza del fatto che l'indagine è stata eseguita alla fine di gennaio. Un significativo impatto delle condizioni meteorologiche sui risultati non è comunque messo in discussione.

Un altro studio (Chia-Chi et al., 2008), teso a dimostrare l'efficacia dei metodi combinati, ha previsto l'utilizzo di termografia congiuntamente e *coin-tap* e *impact* echo (tecnica acustica, basata sulla propagazione e riflessione multipla, all'interno del materiale, di onde di compressione generate da un impatto meccanico). Le potenzialità di tale approccio sono state studiate in laboratorio con test su campioni in calcestruzzo appositamente costruiti con degli incavi da un lato, a simulare dei vuoti in elementi strutturali. Questi, dopo un primo test, sono stati riempiti con aggregati per simulare nidi di ghiaia. Mentre con la termografia è possibile una prima localizzazione dei difetti e della loro estensione laterale i metodi quali *cointap* e impact echo possono consentire l'acquisizione di informazioni sulla profondità.

Un'altra possibile applicazione combinata della termografia è l'analisi delle fessure sotto la superficie di elementi in calcestruzzo con l'utilizzo combinato di termografia e ultrasuoni sfruttando le peculiarità delle due tecniche: mentre la prima è stata usata per identificare le possibili posizioni delle fessure, la seconda può essere usata per stimarne la profondità. Un altro risultato interessante ottenuto in tale sede è verificare che il tempo necessario per raggiungere la massima differenza di temperatura fra un difetto e l'area integra aumenta all'aumentare della profondità cui il difetto stesso si trova; con l'aumentare dell'estensione dell'area difettata detta differenza di temperatura diviene più ampia.

Un'indagine tesa a dimostrare l'efficacia di quest'approccio (Aggelis et al., 2010) è stata condotta in laboratorio su elementi prismatici in calcestruzzo rinforzati con fibra d'acciaio; essi sono stati caricati (flessione a 4 punti) per causare lo svilupparsi di crepe approssimativamente verticali da studiare. I provini sono stati scaldati ponendoli in un forno per 3 ore a 90 °C e acquisendo i termogrammi durante la fase di raffreddamento.

Presentandosi il problema di discriminare difetti qui non rilevanti, quali piccole bolle d'aria superficiali, dalle fessure è stato costruito un grafico ponendo sulle ordinate le media dei valori relativi a una striscia verticale di nodi in cui il termogramma è stato diviso e nelle ascisse la posizione lungo la trave (esempio in fig. 3.8).



Figura 3.8: esempio di termogramma ed elaborazione dei dati per l'individuazione della crepa verticale presente al centro dell'elemento (Aggelis et al., 2010).
Dovrebbe essere così possibile visualizzare più facilmente le fessure ricercate. Nella maggior parte delle prove effettuate il minimo locale della temperatura, in corrispondenza delle crepe, è stato quantificato in 1-2 °C sotto la media.

Per rendere questa procedura applicabile a strutture reali sarebbe però necessario decrescere la temperatura dei provini a circa 50 °C (ossia la massima che raggiunge tipicamente il calcestruzzo in una giornata di sole). Da un primo tentativo effettuato con questa temperatura l'individuazione delle crepe non è però facile. Un modo ipotizzato per migliorare i risultati potrebbe essere il monitoraggio della curva tempo – temperatura di ogni punto della mesh.

Da quanto scritto è dimostrata, nel complesso, la validità della termografia anche come strumento di ottimizzazione di altre prove, con la riduzione del tempo complessivo necessario all'indagine e, se le tali prove sono distruttive, con il minimo danno possibile per l'edificio.

# 3.4.3 Termografia come tecnica per rilevare l'umidità e altri aspetti legati all'efficienza energetica

Nell'utilizzo corrente uno degli impieghi tipici della termografia è lo studio dell'umidità nelle strutture perseguendo l'ottenimento d'informazioni qualitative.

Viene però posto l'accento (Grinzato, 2008) su un'adeguata interpretazione dei dati sperimentali in quanto gli effetti di più forme di trasmissione di calore si sovrappongono e il risultato finale può dare luogo a interpretazioni errate: osservando, dall'esterno di un edificio, due pannelli, uno più freddo dell'altro, non necessariamente tale differenza è da ritenersi dovuta all'umidità; la differenza di temperatura può essere dovuta al fatto che solo uno dei due pannelli è stato sottoposto a irraggiamento solare diretto oltre che a differenze nel condizionamento interno dell'edificio. A fronte di un'interpretazione corretta è però tipicamente possibile, anche con dati qualitativi, ma con una mappa quasi in continuo dei risultati, risalire alla causa dell'umidità osservata (risalita capillare, condensazione, diffusione o perdite) essendo ogni patologia caratterizzata da una propria distribuzione dei gradienti di umidità sulla parete.

L'umidità spesso accompagnata da risalita di sali e, sovente, da cicli di gelo e disgelo, può arrecare pregiudizio alla durevolezza di molti materiali. Uno studio teso a testare la capacità di monitorare qualitativamente il livello di risalita capillare in murature storiche (Maierhofer et al., 2008), previ test condotti su di

una porzione di muratura ricostruita in laboratorio, ha consentito di distinguere agevolmente le zone umide da quelle secche.

In generale per diverse applicazioni per ottenere un buon risultato può essere necessario forzare la dinamica, imponendo flussi termici, in quanto le condizioni ambientali possono mascherare le grandezze d'interesse. Qualora sia necessario utilizzare un sistema di riscaldamento la scelta dello stesso va accuratamente ponderata.

L'irraggiamento solare, ad esempio, è uniformemente distribuito; sfortunatamente la potenza incidente dipende dalla geometria e dall'orientamento della superficie, oltre, alla stagione e alle condizioni meteorologiche (Grinzato et al., 1998). Esso varia però chiaramente nel corso dell'anno e nell'ambito della giornata in modo molto sensibile come da esempi in fig. 3.9.

L'utilizzo di una fonte di riscaldamento artificiale per riscaldare un intero edificio presenta però molti problemi pratici, quali la limitatezza dell'area che è possibile scaldare in una sola volta. In ogni caso la quantità di calore fornita deve essere sufficiente a distinguere chiaramente il "segnale termico" dal "rumore". Un altro problema è che il riscaldamento non uniforme può portare a risultati distorti (Grinzato et al., 1998).



Figura 3.9: irradiazione solare durante alcune indagini termografiche nel nord Italia (Grinzato et al., 1998).

Differenze di temperature adeguate sono riportate, in base allo scopo dell'indagine, ad esempio in 10°C (Eads et al., 2000) per il controllo dell'isolamento ossia la ricerca di parti d'isolamento mancanti o danneggiate. È inoltre riportato (Eads et al., 2000) che alcune condizioni ambientali sono preferibilmente da evitarsi quali vento che superi 15 mph o irraggiamento solare diretto; per quest'ultima ragione spesso le indagini sono condotte di notte o in stagioni fredde.

Un adeguato gradiente di temperatura, sebbene di segno opposto, può essere raggiunto anche in una giornata d'estate, che può quindi costituire anch'essa condizione adeguata alle indagini (Titman, 2001). L'eventuale pioggia non impatta

significativamente sull'ispezione dall'interno ma è disastrosa per quelle dall'esterno.

Per quanto riguarda la ricerca di perdite d'aria sono invece sufficienti 3°C (Eads et al., 2000). Poiché tali perdite dipendono dalla pressione all'interno dell'edificio, è però necessario comprendere la relazione fra la pressione interna dell'edificio e le infiltrazioni: ad esempio una pressione negativa all'interno ai piani bassi porta ad avere infiltrazioni qualora l'edificio sia riscaldato. Un controllo della pressione interna dell'edificio è possibile, almeno per le strutture più piccole, con una ventola per l'esecuzione del blower door test.

In ogni caso un'accurata scelta del momento della giornata in cui eseguire l'indagine, anche in relazione al tipo di edificio, può aiutare a ottimizzare i risultati. Uno studio con lo scopo di valutare l'utilità della tecnica infrarossa per la valutazione dell'efficienza energetica degli edifici rurali, ad esempio, è stato condotto in Spagna su due edifici di cui uno tradizionale e uno moderno (Ocaña et al., 2004).

In particolare dal confronto dei risultati concernenti i due edifici, indagati durante il mese di marzo all'alba e al tramonto onde evitare gli effetti dell'irraggiamento solare diretto, sono state tratte le seguenti conclusioni:

- per quanto concerne l'edificio rurale i risultati migliori sono stati ottenuti alla sera per via dell'elevata inerzia termica delle pareti;

- per quanto concerne invece l'edificio moderno, al contrario, i risultati migliori sono stati ottenuti all'alba.

Un monitoraggio della temperatura interna ed esterna evidenzia come l'inerzia termica delle pareti può influenzare pesantemente il momento cui il gradiente termico è massimo (fig. 3.10-3.11).



Figura 3.10: andamento della temperatura interna ed esterna dell'edificio moderno (Ocaña et al., 2004).



In generale per gli edifici non a muratura portante e con muri di spessore ridotto le indagini termografiche all'alba consentono di ottenere una quantità maggiore di informazioni, dal momento che l'aria esterna è fredda mentre quella interna è calda per via del sistema di riscaldamento.

L'inerzia termica riveste un ruolo particolarmente importante nelle misure in transitorio ed alcuni la hanno proposta come stimatore dei difetti, quali la presenza dell'umidità, di un materiale.

È necessario premettere che la variazione di temperatura di un corpo cui viene fornita energia è tanto più rapida tanto più bassa è la sua inerzia termica; essendo l'inerzia termica dell'acqua all'incirca 4-5 volte quella di un materiale da costruzione secco, è in teoria possibile, dalle variazioni di temperatura risalire, con opportuni algoritmi di calcolo, all'inerzia termica di un dato elemento strutturale e quindi al contenuto di acqua (Grinzato et al., 2009).

Un innovativo approccio di utilizzare l'inerzia termica come stimatore delle caratteristiche del materiale indagato è stato proposto nell'ambito di una ricerca su murature della Chiesa della Beata Vergine dei Dolori (Grinzato et al., 2009).

È stato usato il solo irraggiamento solare quale fonte di riscaldamento e, con un'opportuna formulazione matematica e organizzazione delle misure, è stata prodotta una mappa dell'inerzia termica (fig. 3.12) dell'oggetto indagato. I risultati si sono rivelati ricchi di informazioni con, ad esempio, valori di inerzia termica superiori nelle zone umide. Un invecchiamento del materiale è associabile invece a valori minori di inerzia termica.



Figura 3.12: mappa dell'inerzia termica su modello 3D (Grinzato et al., 2009).

Sotto condizioni ambientali estreme, quali alta umidità relativa e  $CO_2$ , ad esempio, la termografia può non essere in grado di individuare l'umidità, anche da breve distanza (Gayo e De Frutos, 1997).

Per ovviare a questo problema sono stati sviluppati dei filtri in grado di limitare la sensibilità della termocamera a una regione di minima attenuazione, oppure a una regione ove la risposta della termocamera sia stata accuratamente studiata: lo scopo finale è il miglioramento della capacità della termocamera di individuare l'umidità nei materiali da costruzione. Utilizzando un filtro, sebbene l'energia totale rilevabile dalla termocamera sia minore, la sensibilità nella specifica regione scelta è maggiore. Dalla comparazione dei termogrammi acquisiti su provini parzialmente immersi in acqua e su campioni lasciati, per un certo periodo di tempo, interamente sommersi in acqua è stato possibile verificare che, con l'utilizzo di un filtro specifico per tale scopo, la quantità d'informazioni ottenibili sulle parti umide del materiale è migliorabile.

#### 3.4.4 Termografia come tecnica per l'individuazione di difetti strutturali

In taluni casi è necessario investigare la struttura interna delle strutture. Questo è tipicamente possibile, per quanto riguarda le strutture in cemento armato solo con un forte irraggiamento solare della superficie esterna. In tali condizioni è solitamente possibile individuare elementi quali pilastri e travi al di sotto di uno strato di muratura spesso 10 cm (Titman, 2001). Ulteriori indagini possono riguardare la ricerca di elementi relativi all'impianto di riscaldamento che, secondo alcuni (Titman, 2001), possono essere facilmente localizzati previa accensione dello stesso; questo è particolarmente utile nei casi, quali vecchi edifici, ove la posizione di tali elementi non sia nota.

Sempre per quanto riguarda l'individuazione di difetti un ulteriore studio (Meola, 2007), relativamente alle murature, è stato condotto per mezzo di modelli simulanti murature costruiti in laboratorio. Sono state prodotte murature a uno o a due strati, con una base di laterizi, marmo e tufo. Queste sono state intonacate e dischi di sughero e di plastica sono stati utilizzati per simulare distacchi; sono inoltre stati prodotti muri in calcestruzzo. Sono state utilizzate lampade per riscaldare i modelli e i termogrammi sono stati acquisiti tanto durante la fase di riscaldamento quanto durante la fase di raffreddamento.

Sulla base di un certo numero di parametri, ipotizzati essere i più importanti nel definire l'individualità di un difetto, sono state calcolate le seguenti due quantità adimensionali:

$D_T$	$\rightarrow$ differenza di temperatura normalizzata fra i difetti e il
	materiale integro (riassumente gli effetti termici del difetto
	rispetto al materiale integro);
$D_e$	$\rightarrow$ termine riassumente le caratteristiche del difetto e del
	materiale integro.

Producendo un grafico i valori  $D_T - D_e$  calcolati per tutti i campioni è stata osservata una forte correlazione fra le due quantità del tipo:

$$D_T = a D_e^{\ b}$$

dove:

a, b  $\rightarrow$  parametri della correlazione, calcolati per le specifiche popolazioni dei campioni con la tecnica dei minimi quadrati.

Fra le due quantità pare esistere una forte correlazione (coefficiente di correlazione compreso fra 0,91 e 0,97 per i vari campioni utilizzati). La conoscenza di detta relazione può essere utile per discriminare, a priori, se un dato difetto, sarà visibile con la termografia (sebbene, allo stato attuale, sia ricavata per i campioni utilizzati in detta ricerca e non sia quindi generale).

Sebbene la termografia sia considerata un metodo qualitativo, un approccio quantitativo può essere tentato per risolvere il problema inverso in regime transitorio, ossia determinare il difetto partendo dai dati ottenibili con la termografia: nello specifico sono stati eseguiti tentativi di ricercare distacchi fra intonaco e laterizio oltre che difetti nell'isolamento, ponti termici e aree umide (Grinzato et al., 1998).

I risultati ottenuti sono stati processati nel dominio del tempo. Il segnale termico infatti dipende dalla proprietà del materiale e dalla profondità del difetto all'interno dello stesso: l'ampiezza massima del segnale si ridurrà, ad esempio, con la distanza del difetto dalla superficie. Può quindi prodursi una mappa dei difetti presenti sull'oggetto di prova. È stato concluso che l'individuazione dei difetti in regime transitorio appare più conveniente di quella in regime statico, sebbene con un aumento del tempo di elaborazione necessario.

Diversi studi sono stati condotti per lo studio del calcestruzzo con la tecnica dell'*impulse thermography* (Maierhofer et al., 2003, 2005, 2006). Tale tecnica è un metodo attivo utilizzabile per investigare vuoti o nidi di ghiaia in strutture in calcestruzzo fino a d una profondità di 10 cm.

Essa prevede l'analisi, in regime transitorio, delle curve tempo – temperatura delle aree con difetti e delle aree integre e il confronto fra le stesse; i parametri più importanti nel confronto sono la massima differenza di temperatura fra aree integre e aree con difetti e il tempo necessario per raggiungere tale condizione. Le investigazioni sono state condotte su elementi in calcestruzzo appositamente costruiti con elementi in polistirolo all'interno a simulare dei vuoti.

Dallo studio del raffreddamento degli elementi é stato concluso che il raffreddamento stesso è schematizzabile in due fasi principali delle quali la prima non è particolarmente influenzata dallo stato di calcestruzzo sopra i vuoti (essendo essenzialmente un fenomeno legato alla superficie), la seconda fase invece è legata al trasferimento di calore all'interno del materiale.

Sono inoltre state eseguite simulazioni numeriche dei risultati per investigare l'influenza delle condizione ambientali e del materiale.

È stato possibile connettere i risultati sperimentali alla profondità del difetto risolvendo quindi il problema inverso (risalire alla profondità del difetto), essendo note le proprietà del materiale (per lo specifico esperimento), e simulando i risultati ottenibili con la produzione di un diagramma che mette in relazione la profondità del difetto con il tempo necessario per raggiungere la massima differenza di temperatura fra i vuoti e le parti integre (fig. 3.13).



Figura 3.13: esempio di simulazione numerica dei risultati ottenibili con la termografia (Maierhofer et al., 2005).

#### 3.5 Il ground penetrating radar: principi della tecnica

Il ground penetrating radar (GPR), o georadar, è un metodo non distruttivo che sfrutta la diversa capacità dei differenti materiali di propagare e riflettere onde elettromagnetiche per investigare l'interno di un solido quale il terreno o un elemento strutturale.

# 3.5.1 Scopi

La tecnica può essere impiegata per numerosi fini, sia relativi all'ingegneria civile che non. Essa è in generale utilizzabile come metodo per la ricerca di discontinuità o di variazioni di alcune particolari caratteristiche, quali l'umidità, nell'oggetto delle indagini.

Alcune possibili applicazioni del georadar in ingegneria civile possono essere così riassunte:

- la ricerca di barre di armatura in manufatti in calcestruzzo;

- lo studio di solai mediante la determinazione dell'orditura;

- la ricerca di distacchi nel manto stradale;

- lo studio di murature sulle quali si ipotizzino più rifacimenti successivi come la ricerca di aperture tamponate o, comunque, porzioni di muratura diverse da quelle adiacenti;

- l'individuazione di distacchi o delaminazioni in ponti;

- la ricerca di aree caratterizzate da un contenuto di umidità particolarmente elevato.

Il georadar trova applicazioni anche estranee all'ingegneria civile nei campi della geologia e dell'archeologia. Alcuni esempi sono:

- la mappatura delle stratigrafie dei depositi di sedimenti (Reynolds, 1997);

- la ricerca idrogeologica e la ricerca di acque inquinate sotterranee (Reynolds, 1997);

- la mappatura dello spessore di strati di ghiaccio in particolare ai poli (Reynolds, 1997);

- le ricerca di elementi di interesse archeologico quali edifici o loro resti ma anche strumenti di ridotte dimensioni visibili con particolare facilità se metallici (Conyers e Goodman, 2007).

Similarmente a tutte le tecniche non distruttive il georadar è particolarmente utile quando non sia possibile intervenire in modo distruttivo, come nel caso di edifici storici, e quando non sia economicamente conveniente farlo, come in tutti i casi ove l'ignoranza sulla posizione o sulla presenza o meno del difetto oggetto di ricerca richiederebbero onerose demolizioni solo al fine di individuare il difetto stesso.

La normativa di riferimento in materia di ground penetrating radar può essere così riassunta in ASTM D6432-99 (Reapproved 2005) e- ASTM D 6087-08. La prima offre un'illustrazione generale della tecnica GPR con riguardo a principi di base, applicazione del metodo ed interpretazione dei risultati. La seconda è invece specifica per la ricerca di delaminazioni in ponti in calcestruzzo.

# 3.5.2 Strumentazione utilizzata

La strumentazione necessaria consta di un generatore del segnale, un'antenna trasmittente e una ricevitrice. Il generatore del segnale fa emettere all'antenna trasmittente un'onda elettromagnetica che si propaga prima nell'aria e poi nel mezzo da investigare finché non viene riflessa; l'antenna ricevitrice capterà quindi il segnale. Qualora si impieghino due antenne diverse per trasmettere e ricevere il segnale il sistema viene definito bistatico, qualora invece una singola antenna funga da trasmettitore e ricevitore il sistema è detto monostatico (Conyers e Goodman, 2007). Un'antenna per indagini radar con frequenza 900 MHz è visibile in fig. 3.14.



Figura 3.14: antenna per indagini GPR con frequenza 900 MHz.

# 3.5.3 Principi fondamentali

La velocità delle onde elettromagnetiche in aria è di circa 300000 km/s mentre all'interno di un materiale non magnetico (condizione quasi sempre verificata nei casi relativi agli impieghi in ingegneria civile) tale velocità è (Reynolds, 1997):

$$V_m = c / \sqrt{\varepsilon_r}$$

dove:

 $c \rightarrow$  velocità della luce nel vuoto;

 $\varepsilon_r \longrightarrow$  costante dielettrica relativa del materiale investigato.

La permittività dielettrica rappresenta la capacità di un materiale di immagazzinare e poi restituire energia elettromagnetica quando a esso è applicato un campo; può anche essere considerata una misura dell'abilità di un materiale posto all'interno di un campo magnetico di acquisire un certo grado di polarizzazione. La costante dielettrica relativa (o permettività dielettrica relativa), cui alla formula precedente, è calcolabile come il rapporto fra la permittività nel mezzo e la permittività nel vuoto (pari a circa 8,8 F/m).

La relazione appena esposta è visualizzata in fig. 3.15.



Figura 3.15: velocità delle onde elettromagnetiche al variare della costante dielettrica (calcolo eseguito sulla base delle formule semplificate trattate).

La costante dielettrica relativa è, di fatto, nella maggior parte dei casi, sconosciuta; essa dipende da molteplici fattori quali, oltre al materiale indagato, il contenuto di umidità e le frequenze dell'antenna utilizzata. Sono quindi necessari appositi test o un'opportuna configurazione del rilievo per stimarla. La grandezza misurata è invece il tempo che le onde irradiate dall'antenna impiegano per ritornarvi (dopo essere state riflesse); esso è legato alla profondità del corpo riflettente dalla seguente relazione (Reynolds, 1997):

$$d = (V_m t) / 2$$

dove:

t

 $\rightarrow$  tempo di transito tipicamente espresso in nanosecondi (1 ns è pari a 10<sup>-9</sup> s).

Il fattore 2 al denominatore testimonia che le onde devono percorrere lo spazio che separa l'antenna dal materiale riflettente due volte: la prima per arrivare al corpo che causa la riflessione e la seconda per rintonare all'antenna.

L'ampiezza della riflessione all'interfaccia fra due materiali diversi è tanto maggiore tanto più la differenza fra le costanti dielettriche è marcata e tanto più i due materiali sono ben distinti l'uno dall'altro: nel caso di un materiale ove la costante dielettrica cambi gradualmente quale, ad esempio, un terreno che cambia composizione poco alla volta le riflessioni saranno deboli o assenti (Conyers e Goodman, 2007).

A titolo esemplificativo qualora si abbiano due strati di materiali diversi e qualora la velocità nel primo strato sia minore della velocità nel secondo la quantità di energia riflessa all'interfaccia per onde dirette perpendicolarmente alla stessa è (Reynolds, 1997):

 $R = (V_1 - V_2) / (V_1 + V_2)$ 

dove:

 $V_1, V_2 \rightarrow$  velocità delle onde elettromagnetiche

rispettivamente nello strato 1 e nello stato 2;

La quantità di energia trasmessa è invece data da 1-R.

# Cenni alle proprietà dielettriche dei materiali

Le due grandezze rilevate ai fini della descrizione delle proprietà dielettriche dei materiali sono permittività e conduttività. In tab. 3.7 sono riassunti i valori proposti da diverse fonti per le costanti dielettriche relative di alcuni materiali: numerosi valori sono diversi da una fonte all'altra e comunque vengono sovente indicati intervalli di valori.

		С	OSTANTE DIELE	TTRICA RELATIV	7 <b>A</b>	
		1	2	3	4	
Acqua		81	81	80 (dolce) 81-88 (di mare)	81	
Aria		1	1 1			
Aafalta	saturo	6-12	2.5	2.5	2.5	
Astatto	asciutto	2-4	3-3	3-3	5-5	
Argillo	satura	5-40	0 15	5 40	8-12	
Argina	asciutta	2-6	8-13	5-40		
Calcestruzzo	saturo	10-20	6 30	6	5-10	
Calcestituzzo	asciutto	4-10	0-30	0		
Granita	saturo	7	5.8	//		
Granito	asciutto	5	5-8	//	5	
Sabbia	satura	10-30	25-30	20-30	25	
Sabbla	asciutta	2-6	3-6	3-5	4-6	
Terreno	saturo	10-30	//	//		
argilloso	asciutto	4-10	3	//		
Terreno	saturo	10-30		10		
sabbioso	asciutto	4-10	//	10		

Tabella 3.7: costanti dielettriche relative di alcuni materiali (Daniels, 2007<sup>1</sup>; Conyers e Goodman, 2007<sup>2</sup>, Reynolds, 1997<sup>3</sup>, ASTM D 6432 - 99 Reapproved 2005<sup>4</sup>).

Quale mera curiosità si noti che, essendo ovviamente la costante dielettrica relativa del vuoto pari a 1, l'aria presenta un valore uguale a quello dello spazio vuoto.

È inoltre facile notare come, essendo la costante dielettrica relativa all'acqua particolarmente elevata è immediato come i materiali che contengono un elevato grado di umidità presentino una permettività più alta; conseguentemente all'aumentare dell'umidità la velocità delle onde sarà minore.

Spesso la costante dielettrica cambia repentinamente da un punto all'altro del mezzo oggetto di indagine; ad esempio, per quanto riguarda il calcestruzzo, si può osservare una variabilità anche del 50% nei valori di costante dielettrica misurata in due punti distanti 10 cm (sullo stesso calcestruzzo) e, conseguentemente, una variazione della velocità delle onde del 35%. Nel caso specifico tale fenomeno pare imputabile alla presenza di microfessure sulla superficie nelle quali, essendo presente aria, la velocità delle onde è maggiore (Conyers e Goodman, 2007).

La conduttività è invece l'attitudine di un mezzo a condurre corrente elettrica: essa è responsabile delle perdite nel materiale. Materiali ad alta conduttività, quali l'argilla bagnata non sono idonei ad indagini GPR in ragione delle elevate perdite che il segnale subisce mentre materiali ad alta conduttività, quali il calcestruzzo costituiscono buone condizioni applicazione.

#### Cenni alle modalità di propagazione delle onde radar

L'antenna irradia onde in un cono ellittico, il cui apice è costituito dall'antenna stessa. Venendo l'antenna trascinata su di una superficie, quale ad esempio un solaio in laterocemento, appare immediato come alcuni tipi di oggetti riflettenti, quali ad esempio le barre di armatura del solaio, causeranno, se perpendicolari alla direzione di trascinamento dell'antenna, una riflessione oltre a quando l'antenna vi si trova direttamente sopra quando questa vi si sta approssimando e vi si sta allontanando (Conyers e Goodman, 2007). Nel primo caso il tempo di transito sarà inferiore che negli altri due (fig. 3.16).

Nei radargrammi riflettori quali appunto barre di armatura ma anche tubature di impianti o, in alcuni casi, muri sul lato opposto dell'elemento strutturale in esame appariranno come parabole (se il loro sviluppo longitudinale è perpendicolare alla direzione di trascinamento dell'antenna).

Un altro fenomeno da tenere in considerazione sono le riflessioni multiple: una quota dell'energia riflessa verso l'antenna da un oggetto può cioè, una volta raggiunta l'interfaccia aria-materiale, essere nuovamente diretta verso il riflettore originale e, quindi, nuovamente verso l'antenna dall'oggetto che le aveva riflesse originariamente (Conyers e Goodman, 2007). Un singolo corpo riflettente può quindi portare alla formazione di due tracce, una con un tempo di transito doppio rispetto a quella originale; tipicamente la traccia più profonda presenta ampiezza più ridotta.



Figura 3.16: parabola risultante da un riflettore quale una barra di armatura perpendicolare alla direzione di trascinamento dell'antenna. Il tempo di transito  $t_3$  misurato quando l'antenna si trova sopra al riflettore è minore dei tempi misurati quando l'antenna si trova lontano dallo stesso (es.  $t_1$  e  $t_5$ ). Il riflettore verrà quindi visualizzato nel radargramma come una parabola.

L'apertura del cono con cui le onde si propagano nel mezzo (fig. 3.17) è influenzata dalla costante dielettrica relativa del materiale attraversato: a valori maggiori di detta costante corrisponde un'apertura del cono minore. Il raggio della superficie orizzontale sepolta illuminabile ad una certa profondità (footprint) è stimabile come (Conyers e Goodman, 2007):

$$A = \lambda/4 + D/\sqrt{\varepsilon_r + 1}$$

dove:

λ	→ lunghezza d'onda;
D	$\rightarrow$ profondità della superficie da investigare;
E <sub>r</sub>	$\rightarrow$ costante dielettrica relativa.

Essendo la costante dielettrica relativa spesso variabile all'interno del manufatto da investigare a causa della presenza di più materiali stratificati o di variazioni nelle caratteristiche dello stesso materiale è immediato dedurre che la forma reale del cono sia complessa caratterizzata da continui allargamenti e restringimenti.

Da quanto esposto è desumibile che le onde radar tendono a focalizzarsi qualora si attraversino materiali con costanti dielettriche sempre maggiori all'aumentare della profondità (Conyers e Goodman, 2007), tendono invece a disperdersi qualora si attraversino materiali con costanti dielettriche sempre minori (fig. 3.18).

L'ampiezza delle riflessioni misurabili all'interfaccia fra due materiali può essere soggetta, se l'interfaccia stessa è irregolare, ad effetti di focalizzazione o scattering (fig. 3.19); tali fenomeni riguardano le riflessioni prodotte in relazione alla geometria di una certa interfaccia e non sono quindi collegati con l'ampiezza del cono appena trattata (Conyers e Goodman, 2007).



Figura 3.17: schema del cono di propagazione delle onde radar e del footprint.



Figura 3.18: in alto, focalizzazione delle onde radar. In basso, dispersione delle onde radar (Conyers e Goodman, 2007).

La focalizzazione è possibile qualora la parte di interfaccia posta sotto l'antenna presenta una superficie concava: le riflessioni visibili sono in questo caso di ampiezza maggiore rispetto a quelle che si avrebbero con un'interfaccia orizzontale. Lo scattering è invece tipico del caso di una superficie convessa e porta a riflessioni di ampiezza inferiore a quelle che si avrebbero se l'interfaccia fosse parallela alla superficie del materiale. La presenza di fosse profonde nell'interfaccia può anch'essa portare a fenomeni di scattering molto marcati venendo la maggior parte dell'energia riflessa lontano dall'antenna (Conyers e Goodman, 2007).



Figura 3.19: effetti di focalizzazione o scattering delle onde radar.

In merito all'ampiezza delle riflessioni è inoltre necessario ricordare che l'antenna genera un campo elettromagnetico in un raggio di circa 1,5 volte la lunghezza d'onda relativa alla frequenza di centro banda attorno all'antenna stessa. In questa zona, a volte chiamata zona d'interferenza vicino alla superficie, sono visibili poche o nessuna riflessione. Qualora gli elementi di interesse siano localizzati in tale area è preferibile utilizzare un'antenna di frequenza più elevata (Conyers e Goodman, 2007).

Per quanto riguarda l'ingegneria civile le antenne più frequentemente utilizzate hanno frequenze centrali comprese fra 1 e 2 GHz. La dicitura frequenza centrale indica che l'antenna non irradia energia ad una sola frequenza ma a più frequenze distribuite in modo non simmetrico attorno ad una frequenza dominante (fig. 3.20).



IMPULSO TRASMESSO

Figura 3.20: impulso realmente trasmesso e distribuzione delle frequenze per un'antenna da 500 MHz nominali (Conyers e Goodman, 2007).

La massima profondità investigabile con un'indagine GPR è legata alla somma delle perdite di energia che il segnale subisce, ossia essenzialmente dalla somma dei seguenti contributi (Daniels, 2007):

- perdite dovute alle antenne, legate sia all'efficienza della singola antenna sia all'accoppiamento fra due antenne,

- perdite di trasmissione e riflessione all'interfaccia aria-materiale,

- perdite dovute alla diffusione del segnale all'interno del mezzo;

- perdite di energia del segnale dovute all'attenuazione, funzione delle proprietà elettriche e dielettriche del materiale oggetto di indagini;

- perdite dovute ad oggetti di dimensioni simili alla lunghezza d'onda che causano la dispersione di energia in maniera casuale.

Tipicamente i materiali caratterizzati da un'alta costante dielettrica relativa limitano severamente la propagazione dell'onda elettromagnetica; la presenza di materiali quali le argille sature può quindi ridurre pesantemente il raggio investigabile.

# Risoluzione verticale e orizzontale

La risoluzione verticale è una misura della capacità di distinguere fra due riflettori collocati uno al di sopra dell'altro ad una profondità simile; essa è tipicamente assunta come una frazione della lunghezza d'onda (prodotto del periodo per la velocità delle onde nel caso del materiale in esame).

La risoluzione verticale teorica può essere assunta pari a ¼ della lunghezza d'onda (Reynolds, 1997): è immediato come con antenne dalla frequenza maggiore si ottengano risoluzioni migliori. Essendo nei materiali saturi la velocità delle onde minore rispetto ai materiali asciutti la risoluzione sarà migliore nei primi rispetto ai secondi.

La risoluzione orizzontale è invece la capacità di distinguere due riflettori adiacenti, essa è migliore in un materiale che porti ad un'attenuazione elevata del segnale mentre si riduce all'aumentare delle dimensioni del footprint (Conyers e Goodman, 2007).

La scelta della frequenza dell'antenna da utilizzare è legata ad un compromesso fra la profondità che si intende investigare e la risoluzione che si intende ottenere dal momento che a frequenze maggiori corrispondono profondità minori ma maggiore dettaglio e viceversa (Reynolds, 1997).

Nella scelta dell'antenna è inoltre necessario tenere conto che le antenne a più bassa frequenza sono, in linea di massima, più grandi ed è quindi bene valutare preventivamente la fattibilità dell'indagine relativamente alla possibilità di spostare le antenne lungo i percorsi prescelti (Conyers e Goodman, 2007).

# 3.5.4 Acquisizione dati

I dati ottenuti con un'acquisizione in continuo vengono registrati come una serie di onde dette tracce. Tipicamente i sistemi GPR trasmettono impulsi radar a velocità compresa fra 25000 e 50000 impulsi al secondo, valori superiori alla capacità dei relativi sistemi di digitalizzazione di campionare i dati.

Tipicamente la campionatura è incrementale: viene composta cioè una traccia con il primo campione derivante dal primo impulso trasmesso, il campione successivo dal secondo e così via fino al completamento della traccia.

Essendo le antenne trascinate ad una certa velocità durante la campionatura le tracce ottenute saranno quindi riferite alle condizioni medie dell'oggetto nel tratto investigato durate il tempo necessario alla campionatura stessa (Conyers e Goodman, 2007). Dall'unione di più tracce (o A-scan) si ottiene una B-Scan (fig. 3.21): il doppio del tempo di viaggio è visualizzato sull'asse verticale ed il numero delle tracce su quello orizzontale; qualora sia noto può anche essere indicato lo spazio percorso dall'antenna. (Daniels, 2007).

Qualora il tipo di antenna non consenta di computare direttamente lo spazio percorso è possibile per l'operatore indicare manualmente, durante l'acquisizione, dei marker a intervalli spaziali prestabiliti; da tali punti è possibile avere un'idea indicativa della posizione dell'antenna in ogni momento.

Questo può però comportare la necessità di apporre dei segni sull'oggetto da indagare, con un conseguente aumento dei tempi necessari all'acquisizione dei dati. In ogni caso essendo la velocità di trascinamento dell'antenna di fatto non costante, sia nel caso di trascinamento manuale che di montaggio su veicoli, la posizione dei riflettori posti fra un marker e l'altro può essere stimata solo approssimativamente.



Figura 3.21: esempio di radargramma. Applicazione della tecnica ad una parete ove sono chiaramente visibili: (a) la riflessione dal retro, (b) due riduzioni nello spessore sotto ad altrettante finestre e (c) una probabile tubatura di impianti.

Per un'ottimale acquisizione dei dati è necessario il preventivo settaggio di alcuni parametri (Conyers e Goodman, 2007):

- *intervallo della finestra temporale "range"* ossia l'intervallo di tempo (da qualche nanosecondo a qualche decina a seconda delle applicazioni) in cui l'antenna ricevente registrerà l'energia delle onde elettromagnetiche riflesse. È possibile una stima approssimativa del valore necessario qualora siano noti la velocità delle onde nel materiale da indagare e la profondità dei riflettori di interesse. È in ogni caso consigliabile settare un valore più alto di quello calcolato per cautelarsi dalle incertezze della stima;

- numero dei campioni "sample" per traccia "scan": come accennato la traccia è composta da un certo numero di campioni. Tanto maggiore è il numero di campioni tanto più accurata è la forma d'onda. A parità di oggetto della ricerca con una finestra temporale più piccola sono ovviamente sufficienti un numero minore di campioni per ottenere la stessa risoluzione;

- *posizione del segnale* ossia è necessario assicurarsi che la prima riflessione che si riceve, quella relativa alla superficie dell'oggetto da investigare, sia collocata all'interno della finestra temporale prescelta e quindi sia visibile nel radargramma;

- range di amplificazione "gain", essendo gli ultimi campioni registrati in ogni traccia, a parità di riflettore, caratterizzati da ampiezze minori rispetto ai primi, per facilitare la lettura è consigliabile equalizzare le ampiezze. Viene quindi amplificato il segnale, in modo controllato, di un fattore che aumenta linearmente con il tempo dopo il quale il segnale viene ricevuto. Un'amplificazione eccessiva aumenta però anche i disturbi e le interferenze indesiderate presenti nel segnale;

- *filtri applicati durante l'acquisizione dei dati* sono tesi alla rimozione del rumore a bassa frequenza, mediante l'eliminazione della componente a bassa frequenza dai dati. Solitamente tali disturbi sono generati dal rumore di sistema del dispositivo radar e pertanto dipendente da antenna usata, lunghezza del cavo e tipo di unità di controllo. Analogamente è possibile rimuovere, con filtri appositi, la componente ad alta frequenza che potrebbe essere associata a trasmissioni radio FM o altri disturbi elettrici nelle vicinanze.

#### Modalità di acquisizione dati

Vengono ora descritte le modalità di acquisizione dati vere e proprie: è necessario premettere che le indagini possono essere *singlefold*, in cui ogni punto del

sottosuolo è illuminato una sola volta o *multifold* (o copertura multipla) in cui i punti vengono illuminati da diversi angoli.

Esistono i seguenti modi di acquisizione dati (Reynolds, 1997): profili di riflessione, wide angle reflection refraction (WARR), punto medio comune 'common midpoint' e transilluminazione.

Per quanto riguarda l'esecuzione di *profili di riflessione* trasmettitore e ricevitore vengono mossi sul terreno simultaneamente; viene quindi misurato il tempo di volo che viene usualmente rappresentato sull'asse delle ordinate mentre la posizione dell'antenna viene collocata sulle ascisse. La copertura multipla può ottenersi semplicemente variando la distanza fra trasmettitore e ricevitore, da mantenersi costante nel singolo passaggio, ed eseguire più passaggi. La velocità delle onde è da misurarsi in aggiunta all'indagine qualora si voglia stimare la profondità dei riflettori (Reynolds, 1997).

Per quanto riguarda lo *wide angle reflection refraction o WARR* (fig. 3.22) l'antenna trasmittente è tenuta ferma in una posizione fissa mentre viene mosso il solo ricevitore; tale tecnica trova la sua migliore applicazione in aree ove i principali riflettori sono piani o quasi. La copertura multipla può realizzarsi eseguendo più strisciate spostando il trasmettitore di una quantità fissata dopo ogni passaggio (Reynolds, 1997).



Figura 3.22: schema della posizione di antenna trasmittente e ricevente per WARR.

L'assunzione di caratteristiche dei riflettori uniforme può evitarsi con il *common midpoint* (fig. 3.23) che prevede invece il simultaneo movimento delle due antenne lungo la stessa direzione ma in versi opposti: in tal caso il punto di riflessione rimane lo stesso. Con questo tipo di indagine è possibile, essendo nota in ogni momento la distanza fra le due antenne ed essendo misurato il tempo di transito, calcolare la velocità delle onde negli strati più superficiali del mezzo da investigare (Reynolds, 1997).



Figura 3.23: schema della posizione di antenna trasmittente e ricevente per common midpoint.

La transilluminazione (fig. 3.24) prevede il posizionamento di trasmettitore e ricevitore ai lati opposti del mezzo da investigare: essendo nota, in ogni momento, la distanza tra le antenne è possibile calcolare la velocità delle onde e, se viene misurata anche l'ampiezza, si può calcolare l'attenuazione. È una tecnica comune nell'impiego del georadar nelle strutture ma richiede l'accessibilità di ambo i lati dell'elemento da investigare (Reynolds, 1997).



Figura 3.24: schema della posizione di antenna trasmittente e ricevente per trans illuminazione.

#### 3.5.5 Elaborazione ed interpretazione dei risultati

L'interpretazione dei dati è spesso difficoltosa e richiede un operatore esperto oltre a tutte le informazioni sull'oggetto da indagare che sia possibile desumere dalla mera osservazione visiva o in altro modo. È infatti necessario desumere dal radargramma la natura dei riflettori visibili e la difficoltà insita in questo processo è molto variabile a seconda dell'oggetto indagato e dall'eventuale conoscenza a priori dei possibili elementi presenti o delle loro posizioni approssimative. Il processo di interpretazione può essere facilitato da:

- un opportuno post-processing del radargramma per renderlo più leggibile;

- un software di simulazione dei risultati.

Per quanto concerne questa ultima possibilità esistono software in grado, ipotizzando configurazione del rilievo e riflettori, di simulare il radargramma ottenibile in tale situazione: dal confronto fra il radargramma simulato e quello reale si può valutare se il riflettore ipotizzato è compatibile con il radargramma reale. Tali software possono anche essere usati in fase di progetto del rilievo per capire se, con una determinata antenna, alcuni elementi saranno visibili o no (Convers e Goodman, 2007). Per quanto riguarda invece l'elaborazione dei risultati acquisiti è innanzitutto possibile perfezionare alcuni parametri impostati in fase di acquisizione: ad esempio si può correggere la position per far sì che la riflessione superficiale si trovi esattamente all'inizio del file e aumentare l'amplificazione qualora quella applicata in fase di acquisizione si riveli insufficiente. Possono inoltre essere impiegati numerosi filtri quali, a titolo esemplificativo (Conyers e Goodman, 2007):

- "background removal", teso all'eliminazione delle bande orizzontali dal radargramma. Queste ultime possono essere semplice rumore indesiderato del segnale o, ad esempio, riflessioni di elementi reali ma che rendono più difficile l'interpretazione quale ad esempio una riflessione superficiale particolarmente pronunciata che può occultare la presenza di ulteriori riflettori, potenzialmente interessanti, in prossimità della superficie. Può essere scelta la lunghezza degli elementi che si desidera eliminare mediante l'impostazione di un numero di scan: di tali scan il software eseguirà una media delle ampiezze quindi sottrarrà il valore mediato, sample per sample, da tutti gli scan. Ogni elemento di lunghezza pari od inferiore al numero di scan prescelto verrà quindi rimosso. L'efficacia di questo filtro è visibile nelle fig. 3.25-3.26 dove è riportato dapprima un radargramma grezzo relativo ad una muratura di laterizi, nella quale è presente una tamponatura, poi lo stesso radargramma sottoposto ad un post-processing di base. Nel file originale è visibile solo una riflessione superficiale particolarmente intensa nel punto ove la tamponatura è presente mentre con la semplice applicazione del filtro diviene possibile contare i singoli elementi costituenti la tamponatura.



Figura 3.25: esempio di radargramma Figura 3.26: esempio di radargramma appena acquisito con visibile (a) una riflessione superficiale particolarmente intensa ove è presente tamponatura.



dopo un post-processing di base ove sono visibili (a) i singoli elementi una costituenti una tamponatura.

- *"low pass filter"* per l'eliminazione del rumore ad alta frequenza caratteristico dei casi ove, disponendo di un'antenna con una capacità di penetrazione scarsa rispetto alla profondità dei riflettori interessanti, si applichi un gain molto sostenuto. Il rumore è solitamente eliminabile con un filtraggio che elimini le frequenze oltre una soglia scelta dall'operatore (Conyers e Goodman, 2007);

- "*migration*" (migrazione) necessaria nel caso le parabole di riflettori superficiali occultino la presenza di riflettori a profondità maggiore. Per fenomeni di diffrazione dell'energia radar le dimensioni e la posizione degli oggetti più profondi possono risultare falsati. La migrazione è tesa a far collassare le parabole riducendole a un punto posto nella posizione del riflettore che le ha generate (fig. 3.27-3.28). Ad esempio, nell'indagine su di un solaio in laterocemento una rete elettrosaldata posta nel massetto di calcestruzzo immediatamente al di sotto del pavimento può, producendo una serie di parabole superficiali, inibire la vista degli elementi sottostanti. Eseguendo una migration è possibile far collassare dette parabole in un punto migliorando la visibilità di eventuali elementi interessanti sottostanti, le cui riflessioni sarebbero altrimenti confuse con quelle delle barre di armatura poste più in prossimità della superficie.

È comunque necessario tenere conto che la qualità dei dati vergini è un parametro fondamentale e che il semplice post-processing non può sostituirsi ad un'oculata scelta dell'antenna e del tipo di rilievo.

# 3.6 Il ground penetrating radar: stato dell'arte della tecnica

La tecnologia GPR è stata caratterizzata, negli anni, da numerosi miglioramenti, come evidenziato da alcuni autori (Zanzi e Lualdi, 2008).

Ha avuto innanzitutto maggiore diffusione, negli ultimi anni il 3D, caratterizzato da una maggiore facilità nella trasmissione dei risultati a utenti non esperti della tecnica, potendo i risultati 3D, opportunamente elaborati, mostrare la reale geometria degli elementi indagati (fig. 3.27).

In molti casi inoltre, l'utilizzo del 3D è una necessità in quanto, per alcune applicazioni, possono essere così risolte ambiguità; ad esempio, per fini archeologici, con la visualizzazione 3D è possibile distinguere i disturbi isolati dalle riflessioni causate da bersagli continui. Con il diffondersi del 3D sono stati sviluppati nuovi sistemi di posizionamento delle antenne quali, ad esempio, sistemi GPS integrati, teodoliti laser a inseguimento automatico oppure sistemi inerziali. Tali sistemi presentano, però, diverse limitazioni essendo il GPS utilizzabile solo in spazi aperti e i teodoliti laser non utilizzabili quando si presentino ostacoli fra l'antenna e il teodolite stesso.

Un sistema meno costoso è costituito, ad esempio dal sistema PSG (fig. 3.28), in cui il tappetino e il fondo dell'antenna sono solcati e pertanto l'antenna può muoversi solo su profili paralleli.



Figura 3.27: esempio d'indagine GPR su una soletta armata. Rappresentazione dei risultati mediante superfici di isoampiezza (Zanzi e Lualdi, 2008).



Figura 3.28: GPR con sistema di posizionamento costituito da tappetino solcato 'PSG' (Zanzi e Lualdi, 2008).

Un'altra forma di evoluzione ha riguardato le frequenze proposte per le antenne: per molti anni infatti le antenne proposte dai vari produttori non superavano i 1500 MHz mentre ultimamente sono apparse antenne da 2000-3000 MHz.

Antenne con frequenze più elevate sono più adatte per la diagnostica non distruttiva e, in particolare, nei casi ove gli obiettivi della ricerca siano estremamente superficiali, quali distacchi del paramento esterno della muratura, analisi della tessitura della muratura o delaminazioni del calcestruzzo.

Il tipo di antenna più diffusa per sistemi ad alta frequenza è l'antenna bow-tie, ossia un'antenna polarizzata in modo da offrire una sensibilità diversa ai bersagli che hanno uno sviluppo prevalente in una direzione in funzione dell'orientamento antenna bersaglio (fig. 3.29).



Figura 3.29: risultati ottenibili con diverse polarizzazioni. È osservabile come sia possibile enfatizzare le riflessioni delle barre di armatura orientate in uno specifico verso (Zanzi e Lualdi, 2008).

Ultimamente sono però comparse antenne bipolari ossia antenne contenenti due antenne bow-tie ortogonali: è così possibile dimezzare i tempi di acquisizione per indagini 3D che altrimenti avrebbero richiesto l'acquisizione dei dati due volte.

#### 3.6.1 GPR come tecnica per l'indagine del calcestruzzo

Gli elementi metallici, quali le barre di armatura, sono individuabili con facilità dal ground penetrating radar; in caso di corrosione queste ultime, oltre ad una diminuzione della sezione e quindi della capacità portante, aumentando di volume possono causare l'apertura di fessure.

Da queste premesse è chiaro come un'ampia quota delle ricerche condotte su strutture in calcestruzzo siano centrate sull'investigazione delle barre di armatura e, in particolare, sulla loro ossidazione.

Uno studio singolarmente innovativo ha cercato, in particolare, di investigare come la presenza di cloruri e umidità si riflette sull'ampiezza del segnale (Hugenschmidt e Loser, 2008). Sono state a tale scopo confezionate 9 lastre di calcestruzzo con differenti contenuti di cloruri (NaCl) e di umidità.

Uno strato di alluminio è stato scelto per simulare le barre di armatura, onde rendere i risultati meno dipendenti dalla posizione e dall'orientamento dell'antenna. I dati radar sono stati acquisiti posizionando l'antenna (GSSI model 4205 horn) al centro di ogni campione e acquisendo i dati senza muovere l'antenna stessa. L'unica operazione effettuata come post-processing è la somma di 50 tracce radar per la riduzione del rumore.

I risultati ottenuti da questo primo esperimento sono incoraggianti con variazioni nelle ampiezze, per quanto riguarda la riflessione relativa alla superficie del calcestruzzo, del 18% fra i vari campioni. Tale intervallo cresce, per quanto riguarda la riflessione del foglio di alluminio, fino al 48% (tab. 3.8).

Tabella 3.8: ampiezza della riflessione da un foglio di alluminio posto sotto una lastra di calcestruzzo in diverse condizioni (Hugenschmidt e Loser, 2008).

Cloruri	Umidità relativa				
%	35%	70%	90%		
0,0	7,812	6,645	5,939		
0,4	6,549	5,523	5,137		
1,0	5,540	4,730	4,065		

Pur essendo chiaro che ulteriori studi sono necessari prima dell'applicazione in sito del GPR per la quantificazione del grado di corrosione delle armature è quindi provato che l'ampiezza delle riflessioni misurate con questa tecnica è in relazione con parametri, quali contenuto di umidità e di cloruri, collegabili alla corrosione stessa.

Altri ricercatori hanno cercato di investigare la corrosione delle barre di acciaio nel calcestruzzo con un approccio differente, accelerando la corrosione artificialmente onde studiare come alcuni parametri si modificano con il progredire della corrosione stessa (Lai et al., 2010).

È stato eseguito un test di laboratorio su un campione contenente due barre di armatura artificialmente fatte corrodere in modo accelerato. È stato verificato che, all'iniziare della corrosione, alcuni parametri raggiungono un minimo o un massimo. Sono stati, ad esempio, considerati: l'ampiezza della riflessione delle barre (fig. 3.30) e il tempo di volo dell'onda per arrivare alle barre. In futuro, con

una modellazione dei parametri più significativi, potrebbe essere possibile, dagli stessi risalire al grado di corrosione.



Figura 3.30: esempio di come all'avanzare della corrosione nelle barre di calcestruzzo l'ampiezza della riflessione subisca modificazioni (Lai et al., 2010).

Sovente è però sufficiente la mera individuazione delle barre di acciaio all'interno delle strutture in cemento armato. Un'indagine a tale scopo è stata condotta, ad esempio, su edifici costruiti negli anni '60-'70 a Reggio Calabria (Italia) al fine di valutare la vulnerabilità sismica degli edifici stessi (Barrile e Pucinotti, 2005). È stata in tale occasione utilizzata un'antenna da 1600 MHz ed è stata possibile la determinazione del numero di barre longitudinali e staffe oltre al passo e al copriferro delle staffe stesse. Una documentazione storica fotografica è stata utilizzata per una prima valutazione della posizione di alcuni di tali elementi a confermare l'importanza di avere il maggior numero possibile d'informazioni sull'oggetto da esaminare.

È quindi chiaro come sia possibile, senza particolari accorgimenti, l'individuazione di barre di armatura nelle strutture in calcestruzzo.

Recenti studi, come esplicitato in una pubblicazione (Barrile e Pucinotti, 2005), su campioni appositamente prodotti (con barre di diametro 13, 25 e 38 mm e copriferro di 30, 60 e 100 mm) hanno mostrato che l'errore tipicamente associato alla localizzazione delle barre è:

- nel 85% dei casi minore di ±10 mm;

- nel 10% dei casi minore di ±30 mm;
- nel 2% dei casi maggiore di ±30 mm.

Per quanto riguarda la stima dello spessore del copriferro l'errore è invece:

- nel 65% dei casi minore di ±5 mm;
- nel 22% dei casi minore di ±10 mm;
- nel 10% dei casi maggiore di ±10 mm.

Un altro esempio di applicazione agli elementi in calcestruzzo è la valutazione della bontà di alcuni tipi di operazioni di riparazione eseguiti sugli stessi, quali ad esempio le iniezioni. Un'indagine tesa a tale scopo è stata condotta, ad esempio, su di una trave di una scuola pubblica all'Aquila (Italia) danneggiata a seguito del terremoto del 6 aprile 2009 (Bavusi et al., 2009). È stata eseguita un'indagine di tipo *microwave-tomography* (MT) creando sulla trave da indagare una griglia di lato 4 cm ed è stata sfruttata, per l'acquisizione dei dati, un'antenna da 1500 MHz. È stato eseguito un confronto fra dati processati in modo tradizionale e con la tecnica *microwave-tomography*.

Le limitazioni insite nella tecnica tradizionale si sono sostanzialmente rivelate essere nella difficile individuazione dei riflettori più profondi; da alcuni radargrammi acquisiti con *cross-polarization* è inoltre osservabile come le barre parallele alla direzione di trascinamento dell'antenna risultino evidenziate mentre quelle perpendicolari generino riflessioni fortemente ridotte.

È poi stato utilizzato il metodo *microwave-tomography*: è stato in questo caso possibile, a differenza dell'elaborazione classica, risolvere più facilmente lo stato di barre più profonde (eliminando quindi la necessità di ripetere l'indagine da ambi i lati della trave per visualizzare tali barre).

Dalle ultime due ricerche riportate è evidenziabile l'estrema importanza di due elementi nelle indagini ground penetrating radar:

- la necessità di ottenere tutte le informazioni possibili sull'oggetto di studio con altre tecniche, quali anche la semplice osservazione visuale;

- la necessità di adeguate tecniche di post-processing.

Il ground penetrating radar può essere utilizzato per localizzare i danni che l'acqua può causare alle strutture. Uno studio è teso all'indagine dello stato del basamento in calcestruzzo di un blocco di appartamenti situati in un luogo ove le inondazioni sono particolarmente frequenti (Pèrez-Gracia et al., 2008). Sono state utilizzate per l'indagine più antenne: da 900 e da 1500 MHz, limitatamente alle indagini relative allo strato più superficiale, e da 200 e da 400 MHz, relativamente allo strato più profondo.

Dall'acquisizione di un certo numero di radargrammi è stato possibile pervenire a diversi risultati rilevanti:

- il rilievo di fessure interne alla soletta, visibili come anomalie nei profili GPR;
- l'individuazione di più zone ad alta concentrazione di umidità;
- l'accertamento della non omogeneità dello spessore del calcestruzzo;
- l'osservazione delle barre di armatura.

Un'ulteriore possibile applicazione, particolarmente innovativa, è stata ipotizzata in una ricerca condotta allo scopo di determinare se esiste una correlazione fra la permittività e la resistenza a compressione del calcestruzzo (Capizzi et al., 2010). A tale scopo sono stati confezionati 100 provini in calcestruzzo di lato 15 cm e sono state eseguite misurazioni con un'antenna da 2000 MHz.

I risultati non sono però stati soddisfacenti con una scarsa correlazione fra le due grandezze esaminate (fig. 3.31), a indicare che parametri diversi dalla resistenza influenzano la permittività più della resistenza stessa.

Nell'ambito della stessa ricerca è stata confrontata la capacità di GPR e ultrasuoni di rilevare un elemento cilindrico in PVC annegato all'interno di un cubetto di calcestruzzo appositamente confezionato di lato 40 cm.



Figura 3.31: tentativo di individuare una correlazione fra permittività e resistenza a compressione (Capizzi et al., 2010).

È stata eseguita, per quanto riguarda il GPR, una tomografia radar dell'elemento acquisendo 16 misure per faccia, ed è stata prodotta un'immagine 3D con una software apposito (Voxel). In questo caso i risultati ottenuti con il GPR si sono rivelati essere migliori di quelli ottenibili con gli ultrasuoni.

#### **3.6.2** GPR come tecnica per l'indagine di strutture storiche e in muratura

Un primo elemento d'interessante valutazione è la risoluzione spaziale ottenibile nell'ambito delle indagini di strutture storiche, e sul patrimonio culturale più in generale; tale tema è stato sviluppato, parte in laboratorio e parte in situ, nell'ambito di una specifica ricerca (Pèrez-Gracia et al., 2010).

Dapprima sono stati effettuati esperimenti in laboratorio con elementi metallici inclusi in diversi materiali (acqua, aria o sabbia). Utilizzando due barre metalliche a una certa distanza fra loro e a una determinata profondità nel mezzo è stato concluso che le due dette barre possono essere distinte, qualora la profondità sia  $0,2 \lambda$ , se sono alla distanza di almeno  $0,2 \lambda$ .

Per quanto riguarda la risoluzione verticale è stato invece utilizzato un foglio metallico inclinato che si approfondisce nel mezzo: è stato misurato che la riflessione superficiale e quella dal foglio appaiono come due elementi distinti quando il foglio si trova a circa  $\lambda/2$ .

Pur producendosi una sovrapposizione fra la riflessione superficiale e quella del foglio quest'ultimo è rilevabile anche a una profondità di  $\lambda/4$ .

Per quanto riguarda prove effettuate su casi di studio il sovrapporsi delle anomalie rende particolarmente difficile l'individuazione delle anomalie più piccole; in alcuni casi è stato possibile identificare oggetti distanti 0,45-0,33  $\lambda$  a una profondità pari a 0,75  $\lambda$ .

Cercando di fornire una conclusione generale, relativa agli edifici storici, è stato considerato realistico ipotizzare una risoluzione orizzontale di circa  $\lambda$  e una risoluzione verticale di circa  $\lambda/2$ .

Un interessante studio (Maierhofer e Leipold, 2001) teso all'indagine delle murature ha previsto l'utilizzo di provini murari costruiti in laboratorio e l'utilizzo di diverse antenne (500, 900, 1000 e 1500 MHz). È stato possibile, simulando diversi tipi di difetti e utilizzando le varie antenne, approfondire le conoscenze su quali tipi di difetti siano rilevabili (tab. 3.9).

Tabella 3.9:	difetti ril	evabili r	ielle m	urature	secondo	una	ricerca	appositament	te
	C	ondotta	(Maier	hofer e	Leipold,	2001	!).		

Problema	Utilizzo del radar	Accuratezza e limiti	
Determinazione del contenuto di umidità	Misure del tempo di transito e determinazione della permittività, comparazione con curve di calibrazione	1-5vol%indipendenzadelvalore assoluto	
Determinazione della distribuzione di umidità	Misura del tempo di transito		
Individuazione dei giunti in murature di mattoni pieni	Possibile con antenna da 1500 MHz. Giunti vuoti sono visibili come piccole iperboli	Richiesta bassa umidità e contenuto di sali	
Individuazione dei giunti in murature di mattoni forati	La polarizzazione del campo elettrico dell'antenna deve essere parallela ai giunti	Richiesta bassa umidità e contenuto di sali	
Individuazione di strati di differenti materiali	Partendo da tempo di volo, intensità e fase del segnale riflesso è possibile ottenere informazioni sulla permittività dei differenti strati		
Individuazione di grandi vuoti d'aria	Possono essere facilmente individuati con sezioni-tempo	Il vuoto pieno d'aria più piccolo individuato è caratterizzato da un volume di 800 cm <sup>3</sup> . Vuoti più piccoli non sono stati investigati	

Un problema spesso presente è rappresentato dalla scabrezza della superficie delle murature, in particolar modo da quelle più deteriorate: questo può causare anche problemi prettamente pratici in quanto, in alcuni casi non è possibile muovere l'antenna in modo regolare e la ruota odometrica può avere problemi di contatto con la muratura; questo viene spesso evidenziato in applicazioni pratiche (es. Binda L., 1998).

Secondo una pubblicazione (Forde, 2008), nello specifico caso dell'indagine delle murature in pietra, due effetti sono da tenere in considerazione: lo *scattering* e il *clutter* del segnale dovuto all'eterogeneità dei materiali e dell'irregolarità dei giunti in pietra. Il *clutter* determina una ridotta profondità di penetrazione; in caso di erosione della malta tale effetto può causare anche un'elevata attenuazione del segnale.

Per quanto riguarda invece un ponte di muratura in pietra pare dimostrato (Forde, 2008), ad esempio, che qualora i blocchi di pietra siano approssimativamente

quadrati di lato 100 mm è opportuno utilizzare un'antenna con frequenza centrale minore di 200 MHz. In ogni caso, l'utilizzo di antenna a bassa frequenza fa diminuire la risoluzione; ne consegue con la scelta di tale tipo di antenna che difetti quali la mancanza di malta fra un elemento e l'altro non sono individuabili.

Per quanto riguarda gli effetti dell'umidità sulle murature sono da considerarsi due fattori: gli effetti dell'acqua stessa e gli effetti dei sali rilasciati all'interno della muratura dall'acqua. Il solo primo di questi effetti può accrescere la costante dielettrica fino a 12. La presenza di sale invece è da mettere in relazione a riduzioni dell'ampiezza del segnale (Forde, 2008).

Alcune applicazioni relative alle strutture con murature sono state effettuate sul castello di Malpaga (Italia) e su una muratura di un castello vicino a Padova: l'obiettivo finale della ricerca è la produzione di linee guida per l'acquisizione e interpretazione delle linee radar per ricercare inclusioni, vuoti e altri difetti (Binda et al., 1998).

Test preliminari per verificare l'adeguatezza dell'antenna alla ricerca sono stati condotti facendo delle prove su di una muratura con il posizionamento trasmittente e ricevente agli opposti lati della struttura: in tale modo è possibile vedere se il segnale è potente a sufficienza per attraversare l'elemento strutturale e calcolare la velocità delle onde. Posizionando una piastra di metallo dal lato opposto del muro rispetto all'antenna trasmittente è possibile determinare se è possibile la determinazione dello spessore della muratura in modalità di riflessione del segnale. Il post - processing è stato teso a ridurre il rumore dei dati ed enfatizzare gli elementi visibili; è stato necessario, diminuendo il segnale di potenza con l'aumentare della profondità, applicare un gain esponenziale per amplificare l'ultima parte del segnale. È possibile infatti ridurre il rumore del segnale con la somma o con la mediana di più tracce radar registrate a 50 mm di distanza l'una dall'altra con differenti orientamenti dell'antenna: in tali casi le differenze fra le tracce che possono considerarsi dovute a riflessioni secondarie vengono ridotte. Sommando invece più tracce il contenuto d'informazioni comuni a tutte le tracce è enfatizzato.

Fatte queste premesse è stata effettuata una ricerca di inclusioni di acciaio e legno, oltre che di aperture nascoste, sul castello di Malpaga: in tale caso la morfologia della muratura indagata era ignota in quanto il castello è stato costruito in epoche diverse e quindi con differenti tecnologie costruttive. In alcuni muri sono state osservate riflessioni superficiali probabilmente dovute a inclusioni lignee; in un'altra muratura è stata rinvenuta una porta murata su di una muratura poi coperta con affreschi.

Indagini su di una muratura in pietra a Easte Castle sono state condotte per valutare l'efficacia della riparazione mediante iniezioni: la complessità geometrica della struttura rende ardua l'analisi dei dati mentre l'elevata quantità di umidità rende difficile la propagazione delle onde.

Anche in tali condizioni una rilevante differenza fra prima e dopo l'applicazione delle iniezioni è stata individuata, consistente nella riduzione di echo da ritenersi dovuta alla ridotta quantità di disomogeneità. Inoltre è stata misurata la velocità delle onde: essa è risultata essere maggiore, nella parte più debole del muro, dopo l'iniezione.

Quest'indagine, unitamente alla già riportata ricerca concernente la trave danneggiata all'Aquila consolida la validità del ground penetrating radar come metodo di verifica dei risultati delle iniezioni, anche per elementi fortemente eterogenei, quali la muratura in pietra appena trattata.

Spesso gli edifici storici possono presentare strutture occulte sotto alle strutture visibili, inoltre possono essere affetti da problemi quali distacchi di strati di muratura.

Un'indagine in questo senso, tesa al rilevamento di tre diversi tipi di problemi strutturali, è stata condotta in una torre campanaria a Cremona (Binda et al., 2005): l'individuazione di distacchi del primo strato di muratura dal resto della struttura, l'investigazione della morfologia di un arco ove era sospettato che l'arco attualmente visibile celasse un altro arco di forma differente e per determinare la struttura occulta di una struttura di cemento che sostiene le campane.

Per quanto riguarda la stima dell'area del distacco superficiale è stata utilizzata un'antenna da 1600 MHz: le linee acquisite sono state processate dapprima come linee 2D poi come elemento 3D. È stata considerata una profondità di 12 cm, ossia lo spessore di un mattone, ed è stata prodotta una mappa di colori basata sull'intensità dell'energia radar. È stato così individuabile lo spazio vuoto dopo la prima fila di mattoni.

Per quanto riguarda la ricerca dell'arco occulto essa è stata intrapresa per via del sospetto, nato dall'osservazione attraverso un buco nella muratura, della presenza di un ulteriore arco nascosto. Sono stati prodotti dati 3D ed il volume è stato esplorato con piani paralleli alla superficie. È stata osservata una linea probabilmente associabile a un altro arco, con curvatura diversa da quello osservabile.

Per quanto riguarda invece la struttura in calcestruzzo che supporta le campane è stato effettuato un buco di 5 cm nel pavimento; esso ha permesso di osservare una serie di travi di calcestruzzo che sosengono il pavimento. La tecnica radar è stata usata per investigare detto sistema di travi: nonostante l'elevato numero di ostacoli presenti sul pavimento, quali ad esempio, campane, sono state osservate le barre di armatura ed è stata quantificata la loro profondità e il loro interasse.

Un'applicazione importante, sia per quantità di dati acquisiti che per importanza delle strutture indagate, è stata condotta sulla Facciata della Basilica di San Pietro e sul Duomo di Milano (Giunta, 2008). I rilievi sono stati condotti principalmente con un'antenna da 900 MHz integrando i dati con quelli di antenne da 1500 MHz e da 400 MHz. Grazie a campioni di materiali (travertino, marmo e muratura) sono state calcolate le costanti dielettriche dei materiali.

Sono state in particolare indagate con i GPR, per quanto riguarda la facciata della Basilica di San Pietro, alcune lesioni verticali, caratterizzando la loro estensione e stabilendo l'orientamento rispetto alla facciata. Inoltre la tecnica è stata in grado di identificare, ad esempio, lo spessore dei blocchi di marmo presenti sulla facciata stessa e il distacco dal substrato murario.

Analogamente sono state indagate alcune colonne di travertino, caratterizzate da un nucleo in muratura per ricercare distacchi fra i due elementi. È inoltre stata eseguita una valutazione sull'adeguatezza dello spessore dei blocchi di marmo, previo dettaglio rilievo della struttura, avvalendosi anche di tecniche fotogrammetriche, sovrapponendo, grazie allo sviluppo di un software apposito, i dati radar alle piante CAD della struttura e suddividendo i blocchi in base all'adeguatezza o meno dello spessore.

Analogamente sulla facciata del duomo di Milano sono stati indagati oltre 4500 blocchi di marmo, studiando l'adeguatezza dello spessore (fig. 3.32), i distacchi dal substrato murario o le fratture.

Dalla notevole mole di dati adeguati si evince come l'integrazione di georadar e fotogrammetria costituisca una combinazione in grado di fornire notevoli informazioni su monumenti storici di pregio, in modo non distruttivo, sebbene sia necessario un post-processing adeguato.

Il ground penetrating radar può essere quindi anche utilizzato per valutare l'adeguatezza di alcuni elementi strutturali.



Figura 3.32: contrafforte del Duomo di Milano con spessore dei blocchi di pietra ricavato da GPR (Giunta, 2008).

Un'applicazione intergrata GPR - ultrasuoni è stata condotta sulla cripta del Sacro Spirito a Monopoli (Italia) per individuare la presenza di anomalie e ottenere informazioni sullo stato di preservazione delle colonne (Dolce et al., 2010). Sostanzialmente sono state condotte due fasi tese la prima alla ricerca di cavità sotto la pavimentazione e la seconda a caratterizzare alcune colonne con metodo intergrato GPR - ultrasuoni. Le antenne utilizzate hanno frequenze centrali di 200-600 MHz.

Sono state acquisite linee nelle due direzioni ed è stato eseguito un post processing prevedente *background removal* e *Kirchhoff 2D velocity migration*. Sono state visualizzate delle anomalie ipotizzate correlabili a oggetti d'interesse archeologico.

Per quanto riguarda l'indagine delle colonne è stata invece usata un'antenna con frequenza centrale di 2000 MHz. Le zone ove sono state rilevate delle anomalie con il GPR presentano una buona corrispondenza con quelle dove la velocità degli ultrasuoni è bassa. Tali zone sono probabilmente da imputarsi alla presenza di un alto grado di degrado interno o alla presenza di fratture.

Una possibile applicazione innovativa relativa allo studio di fessure è stata esplorata relativamente al monitoraggio dell'ampiezza delle stesse su un edificio storico (Orlando e Slob, 2009).

È stato infatti tentato un monitoraggio delle fessure medesime acquisendo 4 volte i dati nell'ambito di un anno. Per quanto riguarda la mera ricerca delle crepe i dati del GPR sostanzialmente sono stati trovati in accordo con le informazioni note a priori sulla struttura del pavimento.

Sebbene siano state osservate variazioni nei risultati relativi alle varie indagini effettuate nel corso di un anno queste sono state ritenute da attribuirsi a cambiamenti stagionali delle condizioni del manufatto, in particolare la velocità è stata maggiore in estate che in inverno.

# **3.6.3 GPR come tecnica per l'indagine di infrastrutture viarie, ponti e aeroporti**

Il ground penetrating radar è comunemente utilizzato anche per indagini relative alle infrastrutture di trasporto; alcune pubblicazioni introducono ai criteri fondamentali da seguire per questo tipo d'indagine (Hugenschmidt, 2008).

Per quanto concerne, ad esempio, indagini su tratti ferroviari è spesso importante il rilievo dello spessore del pietrisco e l'individuazione di zone con materiale fine (sporco) penetrato sotto il pietrisco; in tali casi per non intralciare il traffico ferroviario è bene eseguire le prove di notte. Problemi possono nascere dalla presenza di: binari e traversine ed elementi quali scambi, conduzioni o sistemi di sicurezza. Fori di sondaggio nel pietrisco possono essere usati per eseguire le misure necessarie al calcolo della velocità delle onde.

Per quanto riguarda invece le indagini su ponti esistono diversi parametri che può essere necessario rilevare: lo spessore del manto, la profondità dell'armatura di calcestruzzo, la posizione dei cavi di precompressione (di particolare importanza per non danneggiarli ad esempio qualora sia necessario eseguire delle perforazioni).

Per quanto riguarda le pareti di sostegno gli elementi da investigare possono essere la natura dell'armatura o la presenza e la posizione di elementi di ancoraggio. Tali elementi possono essere individuati mediante l'acquisizione di radargrammi verticali, sebbene sia necessario utilizzare un sistema per muovere l'antenna sul muro. Mediante il rilievo di più linee e la rappresentazione in sezioni temporali è possibile ricercare l'armatura (nel caso in esame perfettamente visibile alla profondità di 4-8 cm a seconda della posizione).
Per quanto riguarda le strade lo spessore del manto stradale, la profondità della roccia sotto la strada o il ritrovamento di condutture sono gli obiettivi più frequenti. È importante l'acquisizione di tutte le informazioni possibili con altri metodi, ad esempio, in un caso di studio (Hugenschmidt, 2008), sebbene la scarsità di perforazioni si sia ripercossa su una non facile interpretazione dei dati è stata tentata una classificazione delle riflessioni e la profondità della roccia stessa è stata ipotizzata basandosi sul tipo di riflessioni (ad esempio ove siano presenti riflessioni caotiche è stata presunta la presenza di pietrisco o pezzi di roccia, nessuna riflessione è stata ipotizzata nel caso di roccia compatta).

Per quanto riguarda infine pareti di tunnel, su una galleria sperimentale, è stata osservata una riflessione dal retro solo ove sia presente un distacco, fra calcestruzzo e roccia, in quanto le prosperità dei due materiali sono simili. L'armatura, invece, è stata individuata correttamente.

Il georadar potrebbe essere utilizzato anche per ricercare vuoti sotto la pavimentazione di aeroporti. In particolare, a seguito di fenomeni di subsidenza nell'aeroporto di Haneda sono stati prodotti dei modelli di pavimentazione per verificare l'idoneità del GPR all'indagine.

Per tale studio (Matsuyama et al., 2000) sono state in particolare preliminarmente investigate pavimentazioni di asfalto (spessore 15 cm), calcestruzzo (spessore 44 cm) e calcestruzzo precompresso (spessore 25 cm). Previa ricerca di diversi elementi con diverse antenne è stato riscontrato che alcuni elementi sono risultati visibili solo con alcuni tipi di antenna o su alcuni tipi di pavimentazione (tab. 3.10).

	CALCESTRUZZO	CALCESTRUZZO	ASFALTO
	NORMALE	PRECOMPRESSO	
FREQUENZA DELLE	600, 800 MHz	800, 1000 MHz	600, 800 MHz
ANTENNE			
Possibilità di investigare	Si	Si	(*)
sotto alle barre			
Possibilità di indagare	Possibile	Possibile	Possibile
sotto la pavimentazione			
Spessore del calcestruzzo	Si	Si	(*)
Passo delle barre	Si	Si	(*)
Diametro delle barre	Impossibile	Impossibile	(*)
(*) non sono presenti barre			

Tabella 3.10: elementi osservabili con vari tipi di antenne e vari tipi di materiale (Matsuyama et al., 2000).

È poi stato eseguito un test sull'accuratezza raggiungibile nell'individuare i vuoti al di sotto del modello di pavimentazione in calcestruzzo normale, ossia il più spesso presente, e i risultati sono i seguenti:

- per quanto riguarda la frequenza utilizzabile l'antenna da 800 MHz si è rivelata essere la migliore;

per quanto riguarda lo spessore minimo dei vuoti individuabili con il radar è di 2
cm (utilizzando un'antenna con frequenza 800 MHz);

- è stata riscontrata l'esistenza di una relazione fra lo spessore dei vuoti e l'ampiezza dei picchi del segnale (picchi H e I visibili in fig. 3.33).



Figura 3.33: indicazione dei picchi dai quali è desumibile la profondità di un vuoto (Matsuyama et al., 2000).

Sebbene i risultati non siano generali in quanto ottenuti con antenne e modelli di pavimentazione ben precisi essi sono ugualmente interessanti in quanto possono fornire un aiuto quale indicazione di massima sulla capacità del radar di indagare alcuni tipi di elementi strutturali.

### Applicazione del ground penetrating radar ai ponti

Tipicamente, per quanto riguarda l'indagine di ponti vengono utilizzate antenne con frequenza centrale pari a 1000 MHz. La velocità va tipicamente limitata a circa 10 km/h (vengono in questi casi acquisite circa 20 tracce per metro) al contrario delle indagini su strade dove la velocità può spingersi fino a 80 km/h (Hugenschmidt, 2008).

Per quanto riguarda, in particolare, i ponti in muratura è necessario precisare che essi sono strutture complesse per via della loro eterogeneità; il segnale georadar è quindi anch'esso complesso e di difficile interpretazione. Nasce quindi la necessità di creare un modello a elementi finiti per lo studio delle riflessioni da diversi elementi. I problemi possono essere insiti nella semplice presenza di umidità, o di acqua salata, capace di attenuare pesantemente il segnale. La mancanza di riflettori netti, unita alla presenza di svariate disomogeneità, possono causare problemi. La documentazione sui ponti in muratura, diversamente da quella disponibile per altri tipi di strutture, è scarsa.

Nello specifico, nell'ambito di una ricerca è stata testata la capacità del GPR di rilevare delaminazioni in ponti in muratura (Diamanti et al., 2008). A tale scopo sono state utilizzate modellazioni FDTD (*finite difference time domain*), opportunamente strutturate in modo da poter modellare "microstrutture". È risultato che una perdita significativa di malta fra gli anelli dell'arco può essere rilevata mentre delaminazioni "fini", fra malta e mattoni, non possono essere individuate, almeno non con un'antenna da 1500 MHz, come quella usata nello studio in esame. Esperimenti di laboratorio su un elemento prismatico e su un arco in muratura appositamente costruito sono stati eseguiti per calibrare e confermare il particolare tipo di modellazione con risultati postivi.

Un'altra applicazione riguarda il ponte romano di Lugo. Esso è stato indagato nell'ambito di una ricerca per determinare la struttura interna dal punto di vista storico, archeologico e strutturale (Solla et al., 2011).

Sono state utilizzate antenne da 250 e 500 MHz e sono stati acquisiti due profili longitudinali nelle due direzioni per ognuna. L'interpretazione dei dati ha richiesto la preparazione di diversi modelli per confermare o escludere le ipotesi via formulate. Sono state definite diverse aree caratterizzate da riempimenti diversi, rivelando più ristrutturazioni. L'esatta identificazione dei diversi materiali non è però possibile solo con il GPR; una volta delimitate comunque alcune aree d'interesse con il GPR, con delle endoscopie la natura di tali materiali è rilevabile. Con l'antenna da 500 MHz la capacità di penetrazione è risultata minore sebbene i risultati relativi agli strati più superficiali siano stati più precisi.

Sono stati inoltre indagati alcuni ponti in muratura presenti in Spagna, nell'ambito di una ulteriore ricerca con antenne da 250-500 MHz (Solla et al., 2010). L'obiettivo dell'indagine è la ricerca di informazioni sull'omogeneità dei materiali di riempimento, la ricerca di inclusioni di diversi materiali, e di elementi come archi nascosti. L'indagine, analoga a quella precedente, è proceduta con l'acquisizione di due profili longitudinali in direzioni opposte con ognuna delle diverse antenne. L'interpretazione dei risultati è apparsa difficoltosa: sebbene infatti il GPR consenta di distinguere fra diversi materiali l'ottenimento specifiche informazioni di tali materiali è molto difficoltosa.

Una modellazione, basata sui dati disponibili, si è rivelata essere uno strumento di aiuto nell'identificazione delle riflessioni di alcuni elementi. La ricerca della posizione di fessure è resa difficile dalla spiccata eterogeneità della struttura.

### Applicazione del ground penetrating radar ai muri di sostegno

Le ispezioni dei muri di sostegno possono essere problematiche per via della necessità di movimentare l'antenna sugli stessi. In occasione di una ricerca su di un muro in Svizzera è stato però sviluppato un sistema semi-automatico (fig. 3.34) per garantire un corretto posizionamento dell'antenna (Hugenschmidt e Kalogeropoulos, 2009).

Dalla comparazione dei dati acquisiti con tre diverse antenne (da 400, 900 e 1500 MHz) relativamente alle barre di armatura è stato verificato che alte frequenze garantiscono una migliore risoluzione ma, relativamente alla capacità di penetrazione l'antenna da 400 MHz non ha mostrato visibili vantaggi rispetto a quella da 1500 MHz. Diversi riflettori a elevata profondità sono stati individuati sebbene non sia stato possibile individuarne la natura.

Una seconda parte della stessa ricerca è stata condotta su di un muro di dimensioni inferiori: sono state in questo caso utilizzate due antenne da 1500 MHz posizionate perpendicolarmente l'una dall'altra e i dati da entrambe le antenne sono stati registrati simultaneamente.



Figura 3.34: apparecchiatura per rilievi di pareti di sostegno (Hugenschmidt e Kalogeropoulos, 2009).

Sono quindi stati creati due set di dati 3D ed è stato usato il software MatLAB (versione 7.4) per fondere i due set di dati in uno unico: la dipendenza dei risultati dall'orientamento relativo barre-antenna è stata significativamente ridotta con una migliore visualizzazione di elementi con diverse orientazioni. Questo conferma l'importanza del post - processing nella tecnica GPR.

L'importanza del post-processing è stata ulteriormente evidenziata da un'altra ricerca condotta su di un muro di sostegno, ad esempio, è stata centrata sul confronto fra i risultati ottenibili con diversi tipi di elaborazione (Hugenschmidt et al., 2010).

Sono state nello specifico eseguite:

- elaborazione 2D tradizionale;

- full 3D con data fusion;

- inverse scattering seguito da data fusion.

È stata valutata la qualità dei risultati relativi alle barre di sostegno presenti nel muro esaminato. A tal fine sono state costruite delle sezioni temporali per i due strati di barre da determinare a due profondità diverse. Relativamente al primo strato di barre, fra le prime due possibili elaborazioni, nella seconda le barre vengano rappresentate con qualità simili indipendentemente dal loro orientamento; le riflessioni da fronte e retro muro appaiono inoltre più ampie. La terza possibilità di elaborazione porta invece ad un miglioramento complessivo della qualità dell'immagine. Relativamente al secondo e più profondo strato di barre è stato constatato come con tutte le possibilità la qualità dei risultati sia minore rispetto allo strato di barre più superficiale.

### 4 PALAZZINA DELLA VIOLA: RICERCA STORICA

La Palazzina della Viola è un edificio storico in muratura sito a Bologna in via Filippo Re entro la circoscrizione dei viali, nell'angolo nord-est (fig. 4.1-4.2).





Figura 4.1: vista da satellite del centro Figura 4.2: la Palazzina della Viola è della Bologna città di (http://maps.google.it, 2011).

visibile evidenziata dal cerchio rosso (http://maps.google.it, 2011).

### 4.1 La Palazzina della Viola oggi

La Palazzina è caratterizzata da una struttura portante in muratura e da orizzontamenti in legno, molti dei quali rinforzati con travetti metallici.

Essa consta di tre piani fuori terra, dalla superficie lorda di circa 500 m<sup>2</sup> cadauno, di cui l'ultimo è costituito da un sottotetto solo parzialmente abitabile, causa la troppo limitata altezza degli ambienti. È presente un piano interrato, esteso nella sola parte posteriore dell'edificio.

La Palazzina si presenta con la facciata principale, rivolta a sud-est, caratterizzata da un portico. Sono presenti logge, al piano terra, sui due lati dell'edificio. Logge sono inoltre presenti, al primo piano, su tutti i lati ad eccezione di quello posteriore. Queste sono dotate di ampi serramenti in vetro, di fattura diversa da una loggia all'altra e risalenti a periodi differenti. È immediatamente percepibile un contrasto tra la parte frontale dell'edificio, caratterizzata dalle logge con la presenza delle colonne, e la parte posteriore, dotata di infissi di dimensioni più contenute e di ampi maschi murari.

L'interno dell'edificio evidenzia soffitti lignei a cassettoni in numerosi locali. Le stanze del piano terra, ad eccezione delle due logge, sono caratterizzate da una dimensione media molto più ridotta di quelle del primo piano e da una loro distribuzione più caotica segno indicatore, unitamente alla presenza di numerose murature sottili in laterizio forato, di essere il risultato della suddivisione di locali più grandi. Il primo piano è invece caratterizzato dalle tre già citate logge che circondano un grande salone, collocato al centro del piano, avente un'altezza (circa 6 m) superiore a tutti gli altri locali dell'edificio e dotato di porte-finestre vetrate sulla loggia frontale e su quella sud-ovest. Sul lato posteriore dell'edificio sono invece presenti una fila di quattro stanze di dimensioni più contenute separate dal salone da una stanza allungata. Immediatamente visibile, sempre al primo piano, un gradino interno in corrispondenza della soglia fra due diverse stanze, conseguenza degli interventi di rinforzo subiti dai solai.

Sono riportate in fig. 4.3-4.6 alcune foto dell'esterno dell'edificio prima dell'inizio dei lavori di restauro conservativo del 2011, quale documentazione aggiuntiva.



*Figura* 4.3: facciata principale Figura 4.4: lato nord-est dell'edificio. dell'edificio (direzione sud-est).



Figura 4.5: lato posteriore dell'edificio Figura 4.6: lato nord-est dell'edificio. (direzione nord-ovest).

Sono invece riportate in fig. 4.8-4.9, 4.11-4.12, 4.14-4.15 e 4.17-4.18 alcuni interni dell'edificio esemplificanti i diversi tipi di locali presenti. Al momento dell'esecuzione delle foto l'edificio era in disuso da diversi anni e questo giustifica lo stato dello stesso.

Un'idea più completa della morfologia dell'edificio si può però avere solo osservando le piante della struttura riportate in fig. 4.7, 4.10, 4.13 e 4.16. I codici di porte e finestre saranno utilizzati nel seguito per identificare gli stessi.



Figura 4.7: pianta del piano interrato prima dei lavori cominciati ad inizio 2011.



(stanza UF7).



Figura 4.8: stralcio di piano interrato Figura 4.9: galleria a sud-ovest della stanza UF8.



Figura 4.10: pianta del piano terra prima dei lavori cominciati ad inizio 2011.



piano terra (stanza GF10).



Figura 4.11: loggia lato sud-ovest al Figura 4.12: corridoio centrale al piano terra (stanze GF3 e GF4).



Figura 4.13: pianta del piano primo prima dei lavori cominciati ad inizio 2011.



Figura 4.14: salone al primo piano con Figura 4.15: loggia lato sud-ovest al visibili teli di protezione agli affreschi primo piano (stanza 1F3). (stanza 1F9).



Figura 4.16: pianta del piano secondo dell'edificio prima dei lavori cominciati ad *inizio 2011.* 



Figura 4.17: stralcio del piano secondo dell'edificio (stanza 2F5). Figura 4.18: porzione di sottotetto non abitabile (stanza 2F9).



## 4.2 Affreschi e decorazioni

La Palazzina ospita molteplici affreschi prodotti per la maggior parte nel XVI secolo, sotto i Ferreri (Zucchini, 1935).

Nella loggia al primo piano sono infatti presenti diversi affreschi di Innocenzo da Imola rappresentanti favole mitologiche. Ad esempio nella loggia che guarda verso levante un primo affresco raffigura "Apollo e Marsia" (fig. 4.19), un secondo e un terzo, nella loggia verso mezzogiorno raffigurano rispettivamente "Diana e Atteone" (fig. 4.20) e "Diana e Endimione" (fig. 4.21). È inoltre presente un altro affresco raffigurante "La morte di Adone" (fig. 4.22).

Nel salone centrale del primo piano sono invece presenti le "Storie di Costantino e papa Silvestro" (fig. 4.23-4.24) affrescate da Prospero Fontana. Un fregio, ricco di putti, che corre tutto attorno alla sala, è inoltre ritenuto opera di Niccolò d'Abate.



Figura 4.19: affresco "Apollo e Marsia" nel 1949 (Archivio Storico dell'Università di Bologna).



e Figura 4.20: affresco "Diana e Atteone" co nel 1949 (Archivio Storico dell'Università di Bologna).



Figura 4.21: affresco "Diana e Figura Endimione" nel 1949 (Archivio Storico Adone" dell'Università di Bologna). dell'Uni



e Figura 4.22: affresco "La morte di o Adone" (Archivio Storico dell'Università di Bologna).





Figura 4.23: affresco *"Storie* di Costantino e papa Silvestro" nel 1934 Storico dell'Università di (Archivio Bologna).

Figura 4.24: dettaglio dell'affresco "Storie di Costantino e papa Silvestro" 1949 (Archivio Storico nel dell'Università di Bologna).

Alcuni stemmi araldici nel corridoio al piano terra nel soffitto del corridoio centrale furono probabilmente dipinti nel 1906-1907 dalla Gilda rubbianesca (fig. 4.25), forse sulle poche tracce rimaste di vecchie decorazioni (Cammarota ?, 2011).

Al piano terra, su un soffitto a cassettoni con roselline applicate (fig. 4.26), sono presenti frammenti di pitture di Amico Aspertini (Zucchini, 1935).



plastica).

Figura 4.25: stemmi araldici presenti al Figura 4.26: soffitto con pitture di piano terra (protetti da un telo in Amico Aspertini attualmente protetto da carta giapponese (stanza GF13).

#### 4.3 Breve storia dell'edificio

Numerose fonti (Costa, 2004 - Viatelli, 1982) ritengono che la Palazzina della Viola sia stata fatta costruire nel 1497 da Giovanni II Bentivoglio per il figlio Annibale. Egli qui teneva una sua corte personale e dava feste e balli. La Palazzina, che deve il nome al numero di viole che fiorivano nei prati, sarebbe stata realizzata da Gaspare Nadi. Essa sorge al limitare della città; solo dal 1428 infatti è all'interno della cinta muraria, a seguito dell'allargamento della stessa.

Un'altra fonte (Cammarota ?, 2011) suggerisce però una versione alternativa, ossia che l'edificio costruito nel 1497, causa alcune dichiarazioni di Arieti del 1501, sia invece da ritenersi sito nell'attuale via Bertolini, fra l'attuale Palazzo Bianconcini e via Irnerio. La data esatta ed i dettagli sulla costruzione della Viola rimangono, secondo questa versione, non specificati.

In ogni caso nel 1506 i Bentivoglio sono cacciati da Bologna da Giulio II; è probabile che la Palazzina sia stata in tale occasione saccheggiata.

La Palazzina viene quindi venduta alla famiglia dei Felicini e diviene la sede dell'accademia letteraria del "Viridario" per iniziativa di Filotteo Achillini e, più tardi, ospita l'accademia "de'Desti".

La Palazzina è acquisita dal cardinale Bonifacio Ferrerio Di Ivrea nel 1540 che la adibisce a collegio universitario per gli studenti piemontesi; viene inoltre costruito l'Orto Botanico. Successivamente, con la decadenza dello studio bolognese, il collegio viene abbandonato per un lungo periodo.

Per un paio di secoli infatti, l'utilizzo della Palazzina è saltuario se non nullo. È noto che a metà del '700 la Palazzina era affidata alla marchesa Giulia Malvezzi Scappi, che vi abitò il generale Monti e che ospito il "Circolo della Viola", di natura politico-religiosa.

Il collegio fu chiuso forse nel 1794 e la Palazzina fu venduta da Francesco Filiberto e Carlo Sebastiano Ferreri, principi di Masserano, a Costanza Zambeccari nel 1797, poi da questo ad Antonio Aldini dal quale giunse nel gennaio del 1800 a Gertrude Viscardi Ceneri (Cammarota ?, 2011).

Nel 1803 la Palazzina è poi acquisita dal Governo Napoleonico che la destina, unitamente al terreno adiacente, alla Facoltà di Agraria (diretta dal conte Filippo Re) e all'Orto Botanico (fondato da Niccolò Scannagatta nel 1804).

Filippo Re lascia però la Viola con la Restaurazione (1815). La Palazzina continua a servire alla Cattedra di Agricoltura esistente presso l'Università e alla cattedra di Estimo e di Economia Rurale istituita presso la R. Scuola di Applicazione per gli Ingegneri. Rimane però, di fatto, abbandonata per quasi mezzo secolo subendo danni per acqua, gelo e umidità (Zucchini, 1935).

Nel passato recente l'edificio è stato utilizzato quale sede della Facoltà di Agraria dell'Università di Bologna ma giace in disuso dal 2001.

# 4.4 Interventi subiti dall'edificio: ricostruzione da fonti bibliografiche e cartografiche

È immediatamente deducibile, sia dalla lettura delle fonti sia da una sommaria osservazione dell'edificio, che questo è stato soggetto, nei secoli, a numerosi interventi: soprattutto per le date più remote è però complesso ricostruire gli stessi e la data di esecuzione con precisione.

Seguono alcuni elementi utili ad una parziale ricostruzione di alcuni di questi eventi.

È utile notare che l'edificio, in alcune piante della città risalenti al 1581 (Agostino Carrucci) e al 1582 (Duchet), appare sormontato da una torretta; essa non appare più a partire almeno dall'edizione del 1724 (Cammarota ?, 2011).

Alcuni autori ritengono che le logge oggi presenti siano state costruite nel '500 dopo l'acquisto dell'immobile da pare del cardinal Ferrero; altri autori sono invece favorevoli a considerare l'assetto attuale conforme a quello originale (Giordano, 1988).

Delle piante redatte all'inizio del '600 (fig. 4.27-4.28) dal perito F. Martinelli e raffiguranti i piani terra e primo, sono in grado di fornire alcune informazioni sullo stato dell'edificio in tale periodo.

Dette piante, oltre ad ulteriori tavole più recenti (fig. 4.45-4.48), sono state reperite quale materiale prodotto in vista di un intervento di ristrutturazione da effettuarsi sulla Palazzina, datato 1988 con aggiornamenti del 1990, reperito grazie alla collaborazione dell'Area Ufficio Tecnico dell'Università di Bologna (AUTC).

Sono in particolare visibili due vani scala, uno dei quali nella posizione attuale e il rimanente posto approssimativamente in centro all'edificio. Tale elemento può avvalorare l'ipotesi che l'edificio originario corrisponda al solo nucleo. Sono inoltre presenti, al primo piano, nel prospetto nord-ovest, due anomali elementi aggettanti, forse balconi (Giordano, 1988).



Figura 4.27: pianta del piano terra della Palazzina della Viola risalente all'inizio del '600 (Giordano, 1988).



Figura 4.28: pianta del piano primo della Palazzina della Viola risalente all'inizio del '600 (Giordano, 1988).

A metà del '700 esso subisce alcune modifiche, consistenti nell'apertura di una porta sul salone da lato più prossimo al vano scale. Tale apertura prende il posto delle due porte precedenti, simmetriche a quelle della loggia sud-est. L'operazione causa però la distruzione di due scene di Innocenzo da Imola e una porzione del Fontana. Altre tre scene vennero coperte con tappezzerie inchiodate al muro (sono oggi visibili i tasselli lignei) mentre una quarta scena viene scialbata (Cammarota ?, 2011).

Alcuni lavori di adeguamento, iniziati nel 1805, portano, nel 1812, a scialbare gli affreschi nel salone; contestualmente l'ing. Gian Battista Martinetti libera dalle tappezzerie quelli di Innocenzo, compreso il frammento a destra della scala. (Cammarota ?, 2011).

In un foglio della cartografia storica regionale (fig. 4.29) relativo all'area della città di Bologna (foglio 221. Edizione del 1999) appartenente a una serie tratta dalla produzione cartografica austriaca e piemontese prodotta nella prima metà dell'ottocento, ed in particolare, per il foglio considerato dalla "Carta del Gran Ducato di Toscana e Stato Pontificio (1851)", è possibile scorgere distintamente l'area ove sorge la palazzina della Viola.

Sebbene per via della scala della rappresentazione non sia possibile identificare l'edificio con certezza è possibile notare un ampio spazio nell'area attorno all'edificio, dove oggi sono presenti altri fabbricati presumibilmente costruiti successivamente alla preparazione della mappa.



Figura 4.29: carta storica (1851) ove è visibile la città di Bologna (stralcio del foglio 221 della cartografia storica regionale. Edizione 1999).

Sono state reperite alcune mappe del catasto gregoriano relative all'area ove la Palazzina si trova (Archivio di Stato di Bologna). In particolare sono disponibile tre serie di mappe recanti tre diverse date:

- 1811-1814 (fig. 4.30);
- 1873 (fig. 4.31-4.32);
- 1890-1901 (fig. 4.33-4.34).



Figura 4.30: stralcio di mappa del catasto gregoriano in cui è visibile l'area ove è sita la Palazzina della Viola. Foglio 8, 1811-1814 (Archivio di Stato di Bologna).



Figura 4.31: modello per l'unione dei fogli del catasto gregoriano relativi al centro storico della città di Bologna, 1873 (Archivio di Stato di Bologna).



Figura 4.32: stralcio di mappa del catasto gregoriano in cui è visibile l'area ove è sita la Palazzina della Viola. Foglio 8, 1873 (Archivio di Stato di Bologna).



Figura 4.33: modello per l'unione dei fogli del catasto gregoriano relativi al centro storico della città di Bologna, 1890-1911 (Archivio di Stato di Bologna).



Figura 4.34: stralcio di mappa del catasto gregoriano in cui è visibile l'area ove è sita la Palazzina della Viola. Foglio 8, 1890-1911 (Archivio di Stato di Bologna).

È riscontrabile, al momento della redazione delle mappe, una diversa distribuzione degli edifici dell'area ove la Palazzina è sita rispetto a quella attuale. Essa è, a parte alcune modifiche localizzate, costante in tutte e tre le mappe consultate a testimoniare che cambiamenti estremamente rilevanti nell'area analizzata non si sono verificati, almeno nel periodo coperto dalle mappe disponibili. È in particolare presente un ampio spazio aperto nella zona ove ora è presente il comparto Filippo Re, e quindi la Palazzina, per via dei molteplici edifici non ancora costruiti.

Per quanto concerne il periodo più recente sono disponibili informazioni più dettagliate, in particolare esiste una documentazione fotografica dell'edificio nel 1906 (fig. 4.35-4.38) prima dell'inizio di una ristrutturazione cominciata nel maggio del 1906 e finanziata dalla Cassa di Risparmio di Bologna.

In tale occasione è scoperto metà dell'affresco di Prospero Fontana; l'altra metà non viene in quell'occasione portata alla luce perché contro la parete sono collocate delle scansie del locale adibito a biblioteca, separato dal resto mediante un muro (Zucchini, 1935). Le esigenze didattiche (l'edificio avrebbe dovuto fungere da sede della Scuola Superiore di Agraria) non consentono, in quel momento, il ripristino completo della Palazzina.

Il restauro artistico è eseguito da Zucchini Guido mentre i lavori di rafforzamento e adeguamento al nuovo uso dell'edificio sono guidati da Peli Augusto. Nel 1927, a seguito della costruzione di un nuovo edificio per sopperire ai bisogni della scuola di agraria e del conseguente trasferimento della biblioteca, è possibile il ripristino integrale dell'affresco di Prospero Fontana. Viene inoltre collocato, in una parete ove erano presenti tracce di un antico camino, un camino di macigno ritrovato a Minerbio (Zucchini, 1935).





Figura 4.35: la palazzina della Viola nel 1906. Visibili la facciata principale (sud-est) a sinistra e il lato nord-est a Storico dell'Università di Bologna). destra (Zucchini, 1935).

Figura 4.36: la facciata della Palazzina (lato sud-est) nel 1906 (Archivio



Figura 4.37: il lato nord-est della Palazzina nel 1906 (Archivio Storico dell'Università di Bologna).



Figura 4.38: il lato nord-est della Palazzina nel 1906. Sulla destra visibile dell'immagine è il lato (nord-ovest) dell'edificio posteriore (Archivio Storico dell'Università di Bologna).

Nell'estate del 1916 alcuni saggi sono fatti nei sotterranei della Palazzina e viene dimostrata l'esistenza di un edificio più antico.

Da una relazione di Cavani del 1917 infatti è desumibile che l'edificio originario non sia quello oggi visibile in quanto i resti di un muro maestro sono ritrovati a ovest.

L'edificio attuale sarebbe dunque un ampliamento di quello originale con il probabile aumento delle logge da due a tre e della creazione delle tre logge superiori. Nel 1917 Malaguzzi Valeri e Zucchini fanno altri saggi sugli affreschi sia nel salone che in altre stanze e sono trovati, nei lavori nel sottosuolo, molti frammenti di ceramica poi confluiti nel museo civico (Cammarota ?, 2011).

Nel 1928, è ripristinata, da Zucchini Dino, la grande sala al primo piano. Viene in quell'occasione demolito il muro che divideva in due la grande sala (Zucchini, 1935).

In data 22 giugno 1944 l'edificio subisce un bombardamento e viene danneggiato (fig. 4.39-4.40).

In particolare vengono abbattuti i loggiati sul lato nord-est e diverse altre parti dell'edificio vengono danneggiate, incluse alcune pareti dipinte. Un probabile esempio di decorazione presumibilmente andata distrutta è riportato in fig. 4.41.

Nel dopoguerra è quindi necessario reintegrare il portico e ricomporre le parti lesionate; i lavori sono compiuti dell'ing. Guido Zucchini e dall'ing. Gustavo Rizzoli.

Nel 1952, in particolare, viene sottomurato parte dell'edificio per ricavare alcuni scantinati (Giordano, 1988).

Gli affreschi di Innocenzo da Imola, nel salone, vengono invece restaurati dal prof. Dante De Carolis (Barbacci, 1977).

In occasione del bombardamento probabilmente il frammento di affresco "Morte di Attone" venne staccato e portato al piano terra, dove verrà visto da Sorrentino nel 1951. Nel 1968 Nonfarmale fu incaricato del restauro (distacco) degli affreschi di Fontana, in condizioni precarie causa rigonfiamenti e cadute di colore. (Cammarota ?, 2011).



Figura 4.39: disegno della Palazzina Figura 4.40: la Palazzina della Viola con il loggiato distrutto (Archivio bombardamenti. Storico dell'Università di Bologna).

dai dopo i bombardamenti. È visibile il vano scale sulla destra (Barbacci, 1977).



Figura 4.41: atrio d'ingresso della Palazzina nel 1928-1941 (Archivio Storico dell'Università di Bologna). È visibile una decorazione sopra i portali del vano scale.

Ulteriore documentazione fotografica storica testimonia altri cambiamenti, sebbene di minore importanza, subiti dall'edificio nel dopoguerra. È ad esempio possibile notare in fig. 4.42-4.44 relative all'immediato dopoguerra, per quanto concerne la loggia frontale, al primo piano, l'assenza degli infissi nelle campate centrali invece oggi presenti. È inoltre osservabile la presenza di due muri che dividono tale loggia da quelle laterali, oggi sostituiti da serramenti in metallo e vetro. In fig. 4.43 è invece possibile notare come sia presente una finestra al piano terra sul lato sud-ovest ove è possibile scorgere degli scuri; tale finestra è invece oggi murata. È

inoltre osservabile l'assenza d'infissi al piano terra ed un ulteriore muro al primo piano, perpendicolare a quello visibile nella precedente fig. 4.42; si nota inoltre circa sotto a detto muro, sulla parete nord-est della loggia a piano terra, la presenza di una porta, oggi murata.



Figura 4.42: angolo est della Palazzina nel 1949 (Archivio Storico dell'Università di Bologna).



Figura 4.43: lato sud-ovest della Palazzina nel 1946-47 (Archivio Storico dell'Università di Bologna).

Figura 4.44: angolo est della Palazzina della Viola nel 1949 (Archivio Storico dell'Università di Bologna).

Un rilievo dello stato di fatto dell'edificio, eseguito nel 1988 in vista di opere di ristrutturazione da effettuarsi sullo stesso, riassume lo stato dell'edificio in tale periodo.

Sono in particolare da notarsi:

- la collocazione della Palazzina rispetto agli edifici presenti al momento del rilievo (fig. 4.45);

- relativamente al piano interrato (fig. 4.46) l'assenza di alcuni tramezzi interni oggi presenti a suddividere l'ampia stanza centrale in più locali oltre alla presenza di una rampa di scale posizionata all'angolo ovest del piano il cui accesso è invece oggi ostruito da una tamponatura nella parete al termine della galleria adiacente;

- relativamente al piano terra (fig. 4.47) la presenza di due bagni all'angolo nord del fabbricato, ove oggi si estende invece il vano scale;

- relativamente al primo piano (fig. 4.48) delle pareti poste a formare delle stanze al termine delle due logge frontali (angoli sud e est dell'edificio) già osservate nelle fig. 4.43-4.44 e che quindi erano ancora presenti al momento dell'esecuzione del rilievo. Nella parte posteriore dell'edificio (zona a ovest) è inoltre possibile osservare una disposizione degli spazi diversa da quella attuale essendo indicate diverse pareti divisorie a formare 5 vani ove oggi sono presenti due stanze suddivise da una singola parete interna posta in posizione approssimativamente coincidente con quella che divide le stanze denominate "studio 2" e "studio 3" nella pianta.



Figura 4.45: Palazzina della Viola ed edifici circostanti nel 1988. Sono visibili: (A) Palazzina della Viola, (D) istituto di economia politica agraria ed estimo rurale, (E) abitazione custode, (F) magazzino di genio rurale e meccanica agraria, (P) semenzaio, (Q) zone alberate non rilevate (Misley, 1988).



Figura 4.46: piano interrato della Palazzina della Viola nel 1988 (Misley, 1988).







Figura 4.48: piano primo della Palazzina della Viola nel 1988 (Misley, 1988).

Quale completamento della trattazione storica dell'edificio è opportuno aggiungere le piante relative al previsto stato dell'edificio alla fine dei lavori di restauro conservativo iniziati nella prima parte del 2011 (fig. 4.49-4.52), quale documentazione sulla futura prevista configurazione.



Figura 4.49: pianta del piano interrato dell'edificio come previsto alla fine dei lavori di restauro conservativo iniziati nel 2011 (tratto dal progetto architettonico dell'Area Ufficio tecnico dell'Università di Bologna).



Figura 4.50: pianta del piano terra dell'edificio come previsto alla fine dei lavori di restauro conservativo iniziati nel 2011 (tratto dal progetto architettonico dell'Area Ufficio tecnico dell'Università di Bologna).



Figura 4.51: pianta del piano primo dell'edificio come previsto alla fine dei lavori di restauro conservativo iniziati nel 2011 (tratto dal progetto architettonico dell'Area Ufficio tecnico dell'Università di Bologna).



Figura 4.52: pianta del piano secondo dell'edificio come previsto alla fine dei lavori di restauro conservativo iniziati nel 2011 (tratto dal progetto architettonico dell'Area Ufficio tecnico dell'Università di Bologna).

## 4.5 Tracce di ulteriori interventi: elementi emersi dall'osservazione diretta dell'edificio

Ulteriori elementi traccia di modifiche sono emersi dalla mera osservazione dell'edificio ed altri, in numero ancora maggiore, durante i lavori di restauro conservativo dello stesso, quale conseguenza delle opere di demolizione che hanno messo in luce elementi normalmente non osservabili.

### Aspetti generali

È ad esempio probabile, sebbene non certo, che la parte nord-ovest dell'edificio, e più precisamente quella ove è oggi presente l'ultima fila di stanze dei piani primo e secondo, sia successiva alla costruzione originale: nella stanza GF17 il portale presente infatti, per via della cornice in pietra decorata (fig. 4.53), appare più verosimile come una porta fra interno ed esterno che come porta interna.

La stanza 1F8, al primo piano, è inoltre priva di finestre non essendo dotata di pareti perimetrali, condizione anomala considerate le dimensioni della stanza. Tale condizione non sussisterebbe se la parte posteriore dell'edificio non fosse presente.



Figura 4.53: cornice in pietra della porta supposta un tempo esterna (stanza GF17).

## Piano interrato

Dalla rimozione dell'intonaco sono emersi molteplici elementi quali la presenza di archi inglobati nella muratura, ad esempio sotto alla finestra WUF2 e a fianco della stessa (fig. 4.54). Due ulteriori porzioni di arco sono visibili ai lati della porta WUF3 (fig. 4.55-4.56). Un ultimo arco è presente a lato della finestra WUF4 (fig. 4.57).

Sono inoltre emerse porzioni di muro costituite da mattoni diversi da quelli originali, ad esempio nella parete a nord-est dell'ambiente formato dalle stanze UF6, UF7 e da parte della UF3 una volta rimossi i tramezzi (fig. 4.58), nella galleria a sud-ovest della stanza UF8 (fig. 4.59) oltre che a fianco della finestra WUF1 (fig. 4.60).



Figura 4.54: finestra WUF2 e muratura adiacente.



Figura 5.55: porta WUF3 e muratura adiacente.





adiacente.

Figura 5.56: porta WUF3 e muratura Figura 4.57: finestra WUF4 e muratura adiacente.





volta rimossi tramezzi con visibile una sud-ovest della stanza UF8. tamponatura nel muro a nord-est.

Figura 4.58: stanze UF3 e UF4 una Figura 4.59 ingresso della galleria a



Figura 4.60: finestra WUF1 e muratura adiacente.

### Piano terra

Oltre alle molteplici tamponature emerse a seguito della rimozione dell'intonaco, mostrate nel capitolo relativo alle indagini ground penetrating radar in quanto fra gli obiettivi di tale tipo d'indagine, altri elementi interessanti sono emersi dalla rimozione di pavimenti e sottofondi. Nella stanza GF6, ad esempio, la rimozione del pavimento in assito in legno su magatelli ha messo in luce i punti ove erano collocate le parti terminali dei magatelli sottostanti (fig. 4.61). Nella stessa stanza la rimozione del controsoffitto ha fatto emergere una singolare struttura costituita da più ordini di travi in metallo e in legno (fig. 4.62).

Orditure sovrapposte di travi lignee e metalliche sono risultate presenti anche nelle stanze GF6, GF7 e GF8, divenute un ambiente unico dopo la rimozione dei tramezzi (fig. 4.63-4.64).



rimozione del pavimento.



Figura 4.61: stanza GF6 dopo la Figura 4.62: soffitto della stanza GF6 dopo la rimozione del controsoffitto in arellato.



Figura 4.63: ambiente costituito dalle stanze GF7, GF8 e GF9 dopo la rimozione dei tramezzi.



Figura 4.64: dettaglio delle travi del soffitto dell'ambiente costituito dalle stanze GF7, GF8 e GF9 dopo la rimozione dei tramezzi.

Nella stanza GF17, è divenuta visibile la volta della galleria sottostante (fig. 4.65) mentre nella loggia GF10 è divenuto visibile il condotto per la ventilazione della stanza UF9.

Sempre nella stanza GF17 è emerso un arco anche nella muratura a nord-ovest (fig. 4.66).

Tracce di un altro arco sono state rese visibili nel corridoio GF4 (fig. 4.67).

Sempre nelle stanze GF3 e GF4, divenute un ambiente unico dopo la rimozione della porta che le separava, sono emerse, sotto al piano di calpestio, le tracce di due muri (fig. 4.68). Uno di tali muri prosegue nel corridoio GF5 (fig. 4.69).



Figura 4.65: stanza GF17 ove è visibile Figura 4.66: stanza GF17 ove è emerso la volta della galleria sottostante a sudovest della stanza UF8. Sullo sfondo anche lo zoccolo di fondazione nella nella stanza a destra visibile il canale parete sud-ovest. di ventilazione della stanza UF9.

un arco nella parete nord-ovest. Si nota



l'estradosso di un arco.

Figura 4.67: stanza GF4 ove è visibile Figura 4.68: stanze GF3 e GF4 con visibili le tracce di due murature sotto il livello del pavimento.



Figura 4.69: corridoio GF5 con muratura emersa a seguito della rimozione del pavimento.

Una stanza è stata esaminata con particolare attenzione in data 27-04-2011: quella indicata dalla sigla GF12. È stata infatti messa in luce, durante le demolizioni, la situazione visibile in fig. 4.70-4.73. Uno schema della stanza è riportato in fig. 4.74.



rimozione del pavimento, vista dalla porta d'ingresso.



Figura 4.70: stanza GF12, dopo la Figura 4.71: stanza GF12, dopo la rimozione del pavimento, vista dal lato nord-est.



Figura 4.72: stanza GF12, dopo la Figura 4.73: stanza GF12, dopo la rimozione del pavimento, vista dal lato sud-est.



rimozione del pavimento, vista da nordovest.



Figura 4.74: schema della stanza GF12 dopo la rimozione di pavimento e sottofondo.

La stanza è stata ispezionata diffusamente per coglierne gli elementi più interessanti.

Il pavimento messo in luce dallo scavo è ondulato a causa di cedimenti differenziali con giacitura regolare di mattoni messi in allettamento in righe parallele. Gli elementi che costituiscono il pavimento hanno spessore di circa 4 cm e lunghezza pari a 25 cm. La profondità è di 35-45 cm dal piano di calpestio rimosso.

All'angolo est della parete nord-est della stanza è visibile nella parte bassa del muro un tubo in terracotta di grande diametro (largo 12 cm) e di sezione pseudocircolare formato probabilmente da coppi di terracotta. Più vicino all'angolo è invece presente un tubo metallico per radiatori avente diametro pari a 4 cm.

All'angolo nord-est, dove è stata rimossa la parte inferiore della parete sud-est, è visibile, sulla parete nord-est, una parete di mattone intonacato, forse dipinto, come in un vecchio zoccolo.

A circa 60 cm dello spigolo nord-est nella parte esposta della parete sud-est si nota il cedimento fondale. Lo zoccolo della parete aggetta circa 7 cm rispetto al muro della parete attuale ed è posto a circa 25 cm sotto il piano di calpestio che è stato rimosso.

Il plinto del pilastro nella parete sud-est è largo circa 97 cm e aggetta di circa 7,5 cm rispetto al pilastro (fig. 4.75). Anche in questo caso il pavimento attorno al pilastro subisce un abbassamento. La parte esposta dello zoccolo è alta 3 corsi di mattoni (circa 21,5 cm).

Appena alla destra del plinto arrivano sulla parete sud-est i resti di un muro che attraversa la stanza in senso longitudinale, apparentemente fino a toccare la canalina che corre parallela al lato nord-ovest. Tale muro, e alcuni mattoni ancora disposti longitudinalmente in sommità, sembra essere di spessore pari a una testa. Ha lo zoccolo di spessore pari a 2 teste (29 cm circa). È impostato alla stessa quota dello zoccolo del plinto del pilastro. Tale muro, da uno scasso a semicerchio largo circa 90 cm e profondo circa 60 cm, sembrerebbe proseguire fino in fondo allo scasso di cui poc'anzi.

Una lacuna nella pavimentazione è presente nell'angolo sud di dimensioni pari a circa 168x150 cm.

La lacuna è seguita da una parte nuovamente in laterizio, di larghezza pari a 76 cm, non centrata con il pilastro presente circa in mezzeria della parete sud-ovest, e che appare come la sezione di un muro a sacco.

La parte nuovamente in laterizio è bordata con mattoni simili a mezzani disposti longitudinalmente, a lasciare a vista all'interno una specie di muratura a sacco.

La parte di fondazione esposta mostra nella sua parte inferiore della malta irregolare sulla muratura. Superiormente i due corsi di mattoni più nuovi aggettano rispetto ai sottostanti di circa 2 cm.

All'angolo sud della parete sud-est si nota ancora il cedimento fondale a circa 60-65 cm dallo spigolo.

Oltre il pilastro presente in mezzeria alla parete sud-ovest la fondazione è invece regolare e ben tessuta (forse anche intonacata).
C'è una porzione di circa 2,12 m lungo la parete sud-ovest senza pavimentazione con un tubo di diametro 10 cm che si approfondisce nel terreno; a circa 7 cm di profondità si restringe.

La canalina che corre parallela alla parete nord-ovest inizia a circa 38 cm dalla parete ed è larga 29 cm circa. È coperta con mattoni posti trasversalmente di piatto rispetto alla canalina.

Nella parete nord-ovest, presso l'angolo ovest, al di sotto del mobile con chiusura saliscendi, ricavato con una nicchia nel muro, non è presente fondazione regolare in laterizio fino a circa 70 cm dall'angolo e a cominciare da circa 18 cm dall'angolo. A 70 cm dall'angolo, per circa 60 cm, si nota, a circa 10 cm dal precedente piano di calpestio, un lamierino ripiegato verso il basso. Tal lamierino, nella stessa parete, si nota al di sotto dell'altra porta e in corrispondenza della canalina, si presume quindi che continuasse su tutta la parete.

Con centro a 2,60 m dall'angolo ovest un altro pezzo di canalina incrocia perpendicolarmente il muro descritto in precedenza (fig. 4.76) a una quota leggermente maggiore. Nella parte inferiore della parete nord-ovest è presente una piattabanda vicino all'angolo nord, estesa fino a circa 1,85 m dall'angolo.



lato sud-est della stanza GF13.

Figura 4.75: zoccolo del pilastro sul Figura 4.76: punto di incontro fra i resti di un muro e di una canalina (lato nord-ovest della stanza GF13).

Da osservazioni effettuate, la parete nord-est appoggia su quella nord-ovest.

Lungo la parete nord-est a 1,42 m dall'angolo nord è presente una crepa nella fondazione. A 1,30 m dalla precedente c'è un'altra crepa. Un'ulteriore crepa è presente a 1,23 m dall'angolo est.

È presente il lamierino di cui sopra anche nella parete nord-est. È inoltre presente un tubo da pavimento a 1,18 m dall'angolo nord; un ulteriore tubo si trova a 73 cm dall'angolo (diametro di circa 3 cm).

## Primo piano

Al primo piano i principali elementi di interesse riguardano le tipologie di solaio presenti. In due casi, la loggia 1F3 (fig. 4.77-4.78) e la stanza 1F8 (fig. 4.79-4.80), sono presenti due diverse tipologie di solaio nella stessa stanza, possibile indicatore della passata presenza di muri divisori, poi rimossi.

Nel primo caso, la loggia 1F3, è osservabile un diverso orientamento dei travetti posti nelle due porzioni di solaio definite da una trave posta da un lato sulla colonna fra le finestre W1F20 e W1F19 e dall'altro a sud-est dell'infisso W1F32. La passata presenza di un muro è confermata dalla già riportata documentazione fotografica (fig. 4.43) e dal rilievo eseguito nel 1988 (fig. 4.48).

Nel secondo caso, la stanza 1F8, è invece osservabile una parte di solaio con travetti lignei a vista (e travetti metallici superiori agli stessi visibili da un saggio presente nell'orizzontamento) ed una parte priva di elementi portanti visibili. La passata presenza di un muro divisorio è un possibile motivo dell'esecuzione di interventi sulle due parti di struttura in tempi diversi qualora fosse ritenuto necessario intervenire solo su alcune aree dell'edificio. L'ipotesi della presenza di una parete non è però l'unica plausibile essendo un'altra possibilità la necessità di intervenire su una sola parte di solaio, particolarmente danneggiata o deteriorata, che risulta quindi diversa da quella a fianco, senza la necessità di introdurre l'ipotesi della presenza di un muro divisorio.



Figura 4.77: porzione sud-est della Figura 4.78: porzione nord-ovest della loggia 1F3 con visibili le due tipologie stanza 1F3. di solaio presenti in tale locale.





Figura 4.79: solai presenti al di sopra Figura 4.80: stanza 1F8 con vista delle della stanza 1F8 (vista del lato nord- due tipologie di solaio presenti. ovest del locale).

Un ultimo elemento interessante è la disposizione di travi e travetti nelle stanze posteriori (1F4, 1F5, 1F6 e 1F7): essi, come reso particolarmente evidente una volta rimossi i muri divisori fra le stanze (fig. 4.81), sono posti con una regolarità che rende lecito formare l'ipotesi che il locale formato dall'unione delle 4 stanze oggi presenti sia nato come un elemento unico, probabilmente poi suddiviso e più volte modificato a formare i locali ritenuti necessari nelle varie fasi della storia della struttura.



Figura 4.81: solaio presente fra le stanze 1F4, 1F5, 1F6 e 1F7 ed il piano superiore visibile a seguito della rimozione dei tramezzi.

### Secondo piano

La struttura, esternamente alle stanze 2F5 e 2F6 non è, in generale, rifinita con intonaco. La minore cura estetica ha però permesso l'osservazione di diversi elementi che testimoniano i numerosi interventi, più o meno importanti, subiti dall'edificio quali:

- porzioni di muratura non originali, una delle quali visibile in fig. 4.82;

- canne fumarie parzialmente incassate nei muri, una delle quali visibile in fig. 4.83;

- strutture lignee costituite da elementi posizionati in diverse epoche e visibili in diverse stanze (fig. 4.84-4.87).



secondo piano dell'edificio.



Figura 4.82: porzione di muro al Figura 4.83: canna fumaria al secondo piano dell'edificio, angolo nord.



lignea del tetto in 2F4.



Figura 4.84: dettaglio dell'orditura Figura 4.85: dettaglio dell'orditura lignea del tetto in 2F5 (vista del lato nord-est della stanza).



nord-est della stanza).



Figura 4.86: dettaglio dell'orditura Figura 4.87: dettaglio dell'orditura lignea del tetto in 2F7 (vista della parte lignea del tetto in 2F7 (vista della parte nord-ovest della stanza).

#### Rilievo ammorsatura pareti

È stato tenuto traccia, grazie ai lavori di ristrutturazione in atto nell'edificio ed in particolar modo alla rimozione dell'intonaco, della condizione di incastro o appoggio delle pareti, desunta grazie all'osservazione dei punti di intersezione fra le stesse. Tale elemento può essere utile ad una ricostruzione dell'ordine cronologico di costruzione delle murature, nei casi ove queste risultino costruite per successive aggiunte. Sono riportati sulle piante dell'edificio (fig. 4.88-4.90) gli incastri e gli appoggi per ora accertati; sarà necessario attendare il proseguire dei lavori per avere una mappatura completa.



Figura 4.88: rilievo delle ammorsature delle pareti al piano interrato.



Figura 4.89: rilievo delle ammorsature delle pareti al piano terra.



Figura 4.90: rilievo delle ammorsature delle pareti al piano primo.

# 5 PALAZZINA DELLA VIOLA: RILIEVO GEOMETRICO ED IMPIANTISTICO

Sono stati eseguiti, diffusamente durante l'intero arco delle indagini, rilievi atti a migliorare la conoscenza dell'edificio. In particolare è stato eseguito un rilievo geometrico corredato da un rilievo degli impianti esistenti, in particolare impianto elettrico e impianto di riscaldamento, limitatamente alla posizione dei corpi scaldanti e delle tubazioni.

#### 5.1 Scopi

I rilievi effettuati sono utili ad approfondire la conoscenza dell'edificio sotto i punti di vista storico, strutturale e funzionale e dei modi d'uso. Grazie ad essi è infatti possibile ottenere informazioni sulla conformazione di ambienti ed elementi strutturali e sui loro punti di debolezza, e determinare la posizione dei muri portanti e delle aperture negli stessi.

I rilievi sono in questa sede particolarmente importanti perché necessari, o comunque di sostegno, alle altre indagini, a volte in fase di pianificazione e a volte in fase di interpretazione dei risultati.

In particolare una conoscenza dettagliata dell'edificio è stata utile nei seguenti ambiti:

- una puntuale interpretazione dei fenomeni di dissesto, tramite la conseguente formazione di fessure, in atto nell'edificio, per studiare i quali è necessaria una conoscenza della geometria degli elementi portanti, e quindi del funzionamento della struttura resistente (vedasi cap. 6 per maggiori dettagli);

- l'acquisizione di informazioni generiche riguardanti le condizioni statiche dell'edificio o di particolari elementi di criticità dovuti a tecniche costruttive presenti o a scelte non oculate di progettazione;

- l'acquisizione di informazioni di carattere storico sull'edificio in esame, in particolare su possibili interventi subiti dallo stesso;

- un'adeguata pianificazione dei test di permeabilità all'aria per l'esecuzione dei quali è necessaria una conoscenza delle volumetrie degli ambienti al fine di una prima stima sulla capacità delle macchine utilizzate di generare le differenze di pressione necessarie alle prove (per dettagli su tali test vedasi cap. 8);

- l'interpretazione di taluni risultati derivanti dalle prove non distruttive, termografica e GPR, eseguite all'interno dell'edificio. In tali casi il ruolo di un

rilievo eseguito in una prima fase sull'edificio integro ed in una seconda a seguito di interventi distruttivi sullo stesso è duplice: è cioè possibile simulare l'esecuzione di un test sul campo utilizzando i soli dati ottenibili dall'edificio integro e, successivamente all'interpretazione dei risultati, effettuare una verifica basata sugli elementi emersi a seguito delle demolizioni, testando quindi la potenzialità delle tecniche impiegate.

### 5.2 Strumentazione utilizzata

La scelta della strumentazione necessaria non ha seguito un rigido schema ma è stata spesso semplicemente usata quella disponibile al momento.

Essa è comunque riassumibile in:

- un distanziometro laser e delle bindelle metriche per eseguire le misure più importanti ma richiedenti minore precisione, quali il rilievo delle stanze di dimensioni maggiori;

- dei metri avvolgibili per la maggior parte delle misure, quali spessori murari e posizione delle aperture;

- dei calibri digitali per le misure ove fosse necessaria una maggiore precisione, quali il rilievo del diametro delle barre di armatura osservabili dai saggi presenti in un buon numero dei solai.

### 5.3 Acquisizione dati

Il rilievo è stato caratterizzato da un'esecuzione frammentaria funzionalmente alle misure reputate necessarie in un dato istante e all'avanzare dei lavori di demolizione, con la conseguente possibilità di ispezionare e rilevare nuovi elementi (fig. 5.15-5.16). È stato quindi necessario, a valle delle operazioni di rilievo, riassumere i risultati ottenuti in un ridotto numero di tavole e classificare le stesse in funzione dell'ambito di appartenenza.

L'attività di rilievo è stata sviluppata nei seguenti ambiti:

- rilievo della geometria dei locali, comprensiva di collocazione delle aperture nei maschi murari e loro dimensione, oltre che da lesene, ed altri elementi ritenuti rilevanti;

- rilievo degli spessori murari;

- rilievo dei solai eseguito, per tutto l'edificio ad esclusione della copertura, in modo qualitativo (fig. 5.4-5.5, 5.7), con il mero conteggio degli elementi visibili dal piano inferiore, a volte successivamente alla demolizione di un controsoffitto, che occultasse la vista di detti elementi. Ove fossero presenti, sono inoltre stati rilevati saggi presenti nei solai (fig. 5.12-5.13), dopo una preventiva ispezione visuale degli stessi (5.9-5.10), rivelando i dettagli dei solai studiati. In taluni casi sono inoltre state prese manualmente, dal piano inferiore, le misure delle parti visibili di travi e travetti.

- rilievo di alcuni elementi relativi agli impianti esistenti, in particolar modo funzionalmente all'impatto che tali elementi hanno sulle restanti strutture. Sono state quindi rilevate le posizioni delle scatole e delle relative tracce dell'impianto elettrico, oltre alle tubazioni dell'impianto idraulico.

Detta ultima parte riveste particolare importanza nell'interpretazione dei risultati delle prove non distruttive in quanto la presenza di tracce o tubazioni nelle zone indagate con le tecniche non distruttive può generare difficoltà di interpretazione, in particolar modo nei radargrammi.

Sono da subito state palesi alcune difficoltà nelle operazioni di rilievo dovute ai seguenti elementi:

- non perfetta ortogonalità delle pareti della quasi totalità delle stanze con conseguenti problemi nella definizione dell'esatta geometria dei locali;

- spessore dei muri non costante lungo l'intero sviluppo;

- infissi in alcuni casi di fattura artigianale e quindi leggermente diversi gli uni dagli altri;

- travetti e travi lignee presenti nei solai analogamente diverse le une dalle altre.

- necessità di non intralciare i lavori in atto sulle strutture, ponendo quindi vincoli sulle aree indagabili in un dato momento;

- presenza di elementi, di intralcio all'esecuzione delle misure quali affreschi appoggiati alle pareti ma distaccati dalle stesse oltre a teli protettivi in plastica posti al di sotto di alcuni solai che hanno impedito di eseguire alcune misure sugli stessi.

Non è stato ritenuto necessario l'impiego di procedure complesse con l'acquisizione di dati ridondanti e successive procedure di compensazione né questo sarebbe stato possibile stante la frammentarietà delle operazioni e il continuo aggiornamento della lista di misure necessarie. Ove fossero presenti misure in contrasto fra loro è stata scelta la più affidabile, ossia tipicamente quella più recente, o quella presa in condizioni più favorevoli. Ad esempio gli spessori murari sono stati rilevati sia mentre i telai delle porte erano ancora infissi nelle pareti che successivamente alla loro rimozione: le seconde misure sono da ritenersi più precise delle prime essendo possibile rilevare lo spessore della muratura con un'unica misura, senza la necessità di tenere conto dello spessore del telaio.

Misure in apparente disaccordo sono state talvolta conservate qualora fosse dubbia la reale geometria degli elementi misurati: ad esempio le dimensioni dei locali variano a seconda della posizione di misura in ragione delle pareti non parallele, solai non perfettamente orizzontali possono causare misure di altezza dipendenti dal punto di esecuzione con il distanziometro laser, oltre che imprecise in generale. Sono state quindi in generale conservate le misure prese in punti diversi qualora tutti i valori disponibili appaiano plausibili.

Un'eccezione è costituita dagli spessori murari che, benché varino in funzione del punto di misura probabilmente per non uniforme spessore dell'intonaco, sono stati assunti pari a un singolo valore per ogni maschio murario: tale accortezza, necessaria a disporre di un singolo valore di spessore necessario per l'elaborazione dei dati di alcune prove (vedasi cap. 10, relativo alle prove georadar eseguite sulle pareti).

Sebbene siano stati effettuati rilievi a seguito di interventi distruttivi eseguiti sulle strutture, nessun danno alle strutture è stato causato funzionalmente all'esecuzione dei rilievi: sono state giudicate preferibili lacune nelle misure a ulteriori danni arrecati alla struttura.

# 5.4 Presentazione dei risultati

I principali risultati verranno di seguito presentati in un formato compromesso fra la necessità di suddividere le misure per ambito e quella di raggruppare le stesse in un numero ridotto di tavole, onde non disperdere le stesse e semplificare la ricerca di specifiche misure e rendere possibile una visione d'insieme della geometria dell'edificio.

Le tavole seguenti sono da intendersi quali schizzi riportati al computer per facilitare la conservazione e la trasmissione delle informazioni nel seguito del progetto: sono infatti state usate, quando non diversamente specificato, quale base, tavole estratte dal progetto dell'edificio le quali sono state quotate con le misure rilevate. Il disaccordo fra le misure riportate e quelle del disegno sono quindi da imputarsi a detto motivo e all'insufficienza d'informazioni a ricostruire l'esatta geometria del fabbricato, in particolare sugli angoli formati dalle pareti incidenti.

## 5.4.1 Rilievo della geometria degli ambienti e delle aperture

Sono riportate, distintamente per quanto riguarda la parte planimetrica e altimetrica del rilievo, suddivise unicamente per ragioni di leggibilità, le misure disponibili rispettivamente nelle fig. 5.1-5.3, 5.6, 5.8 5.11, 5.14 e 5.17. Per quanto riguarda la seconda parte tale inusuale rappresentazione ha il pregio di fornire un quadro d'insieme delle misure dei vari piani dell'edificio.

Un cospicuo numero di sezioni quotate in modo tradizionale (con le misure necessarie ad una definizione degli spazi) sono comunque riportate nell'appendice II, unitamente ai risultati di altre indagini.



(1) larghezza di una nicchia localizzata nella parete sud-est della stanza UF6

Figura 5.1: misure rilevate al piano interrato, parte planimetrica.



Figura 5.2: misure rilevate al piano interrato, parte altimetrica.



<sup>(1)</sup> presenza di una tampaonatura fra 0.30 e 1.45 dal muro nord-ovest (2) definito un triangolo rettangolo in cui l'ipotenusa è il raccordo fra la finestra e la porzione di muro a pieno spessore e i cateti dei tratti ideali parellai alle murature l'ipotenusa è stata misurata pari a 0.28 ed i cateti a 0.17

*Figura 5.3: misure rilevate al piano terra, parte planimetrica.* 



Figura 5.4: ispezione visuale della parte Figura 5.5: ispezione visuale della sud-ovest del solaio fra la stanza 1F8 e parte nord-est del solaio fra la stanza la stanza sovrastante, condotta dal 1F8 e la stanza sovrastante, condotta locale inferiore.



dal locale inferiore.



Figura 5.6: misure rilevate al piano terra, parte altimetrica.



Figura 5.7: ispezione visuale del solaio sovrastante le stanze GF7, GF8 e GF9, successivamente alle demolizioni dei tramezzi divisori e del controsoffitto.



misura riferita alla distanza fra la porta e l'estremità più vicina di una canna fumeria incassata nella parete
nella parete è presente una rientranza, profonda 0.19, fra 0.34 e 1.04 dalla parete fra 1F8 e 1F3
rilevata lesenza nella parete fra 1.75 e 2.06 dalla parete nord-ovest che aggetta di 0.02 dalla parete stessa
rilevata lesena nella parete fra 1.73 e 2.03 dalla parete nord ovest che aggetta di 0.02 dalla parete stessa
rilevate due lesene, una per ogni lato del muro, fra 0.08 e 0.38 dall'estermità nord-ovest del muro stesso

*Figura 5.8: misure rilevate al piano primo, parte planimetrica.* 



Figura 5.9: fase dell'ispezione visuale Figura 5.10: fase dell'ispezione visuale del saggio S19 collocato nel solaio fra del saggio S11 nella stanza GF12. la stanza 2F5 e quella sottostante.



Figura 5.11: misure rilevate al piano primo, parte altimetrica.



Figura 5.12: fase del rilievo dello Figura 5.13: fase del rilievo del saggio scasso S02 presente nel solaio della S06 nel solaio della stanza 1F6. stanza 1F9.



Canne fumarie
Presente un'apertura nella parete sud-ovest larga 0.61
Distanza fra la parete ed il serrmento nella facciata sud-est 5.68

Figura 5.14: misure rilevate al piano secondo, parte planimetrica.



Figura 5.15: ispezione visuale della Figura 5.16: ispezione visuale della stanza GF6 dopo la demolizione del stanza GF17 dopo la rimozione del pavimento.

pavimento.



(2) presente un'apertura nella parete sud-ovest con la tezza pari a 1.21. Detta apertura inizia a 0.22 dal pavimento
(3) presente un gradino di 0.13 fra il pianerottolo delle scale e la stanza 2F5 (detta stanza è ad una quota inferiore del pianerottolo)

Figura 5.17: misure rilevate al piano secondo, parte altimetrica.

Da questa prima parte è possibile riscontrare caratteristiche di irregolarità localizzata che sono probabilmente da ritenersi acquisite a seguito di interventi, non proprie dell'edificio originario, quali, ad esempio:

- la posizione relativa del muro divisorio fra le stanze GF6 e GF8 e la finestra WGF26 che, per poter essere aperta, richiede una riduzione di spessore del muro in prossimità della stessa. È quindi plausibile ipotizzare che uno o entrambi detti elementi non si trovino nella loro posizione originale;

- la parete ortogonale al muro di cui al punto precedente, e collocata fra le stanze GF6 e GF7 da un lato e il corridoio GF3 dall'altro. È infatti presente, in corrispondenza di detto muro divisorio fra le stanze GF6 e GF8 una discontinuità nello sviluppo della parete, pari a circa lo spessore della parete stessa, che conduce a pensare che una delle due parti non sia originale.

È presente un gradino interno al primo piano, indicatore di interventi subiti dai solai di almeno una parte dell'edificio.

# 5.4.2 Rilievo degli spessori murari

Le misure relative agli spessori murari (fig. 5.18-5.21) sono state inizialmente rilevate con un calibro in un momento in cui i telai delle porte erano ancora montati nelle rispettive posizioni.

Successivamente, limitatamente al piano terra, a seguito della rimozione di detti telai, le misure sono state ripetute per controllare e migliorare i risultati precedenti.

Occasionalmente sono state inoltre ripetute misure, qualora insorgesse motivo di credere le precedenti inaccurate o a seguito della rimozione di elementi strutturali di intralcio alle misure stesse o all'esecuzione di fori nelle pareti, con il proseguire dei lavori di demolizione.

È comunque da notarsi che lo spessore di buona parte delle murature, ed in particolare di quelle più datate non è costante lungo lo sviluppo, probabilmente in ragione del non uniforme spessore dell'intonaco.

Le misure rilevate sono quindi da considerarsi indicative; l'approssimazione legata a ogni misura è da intendesi di circa  $\pm 0,5$  cm stimati sulla base del variare delle misure rilevate sulle stesse pareti in più posizioni.



Figura 5.18: spessori murari di riferimento del piano interrato.



Figura 5.19: spessori murari di riferimento del piano terra.



Figura 5.20: spessori murari di riferimento del piano primo.



Figura 5.21: spessori murari di riferimento del piano secondo.

È rilevabile come, sulla base dello spessore, la maggior parte dei muri portanti siano a due teste. Un singolo muro di spessore maggiore, pari a circa 52 cm, è presente a costituire la parete posteriore dell'edificio: detto muro è caratterizzato da tale spessore solo per quanto riguarda la parte in corrispondenza del piano terra mentre, già dalle misure acquisite in corrispondenza delle finestre al primo piano, presenta uno spessore ridotto e comparabile a quello degli altri muri portanti.

Le murature portanti sono un numero abbastanza ridotto; quelle che si estendono dalla base dell'edificio alla sommità sono sostanzialmente, oltre alle pareti perimetrali, i soli muri che definiscono il nucleo centrale dell'edificio, formato dalle stanze 1F8 e 1F9. Un rilevante numero di tramezzi è presente in entrambi i piani dell'edificio, a definire le stanze di dimensioni inferiori: è quindi lecito ipotizzare che in origine fossero presenti locali più grandi di quelli attualmente visibili, poi suddivisi a formare le stanze attuali.

## 5.4.3 Caratterizzazione dei solai

Un rilevante numero dei solai sono caratterizzati dalla presenza di travi e travetti lignei inferiormente, da travetti metallici superiormente. I primi elementi sono tipicamente visibili osservando il solaio dal piano inferiore ma non i secondi. In un numero limitato di stanze (GF6, GF7, GF8, GF9 e GF17) la presenza di un controsoffitto inibiva, fino alla rimozione dello stesso, l'esatto conteggio degli elementi.

Le informazioni sui solai provengono da più indagini: la mera osservazione dal piano inferiore, il rilievo di alcuni saggi presenti nei solai stessi e la misura, eseguita con una scala ed un metro avvolgibile, della porzione visibile di alcune travi e travetti negli scassi dei solai fra primo e secondo piano.

Onde tenere separati i risultati dei vari tipi di indagine, ognuna caratterizzata da propri pregi e difetti, le misure effettuate nei vari ambiti sono state mantenute separate di modo che ad ogni valore sia sempre associabile il momento dell'indagine cui questo è stato acquisito: questo ha portato in alcuni casi a valori discordi ma permette di avere sempre nota la fonte delle misure disponibili. È riportato nelle fig. 5.22-5.24 e 5.26-5.27 un sunto delle informazioni più importanti relative ai solai: sono rappresentati con delle linee indicanti la geometria reale tutti gli elementi la cui posizione sia nota singolarmente, sono invece indicate le sole orditure degli elementi cui sia nota l'esistenza e l'orientamento ma non l'effettivo numero e la collocazione di tutti gli elementi. Relativamente ai piani primo e secondo è indicata dapprima la situazione a priori

di ogni opera di demolizione, poi il complesso di tutte e informazioni disponibili tratte da ispezione visiva a seguito di opere di demolizione, prove non distruttive e rilievo di saggi nei solai. In tali rappresentazioni, essendo tipicamente il rilievo stato effettuato dalla stanza inferiore al solaio indagato, sono riportati, su ogni pianta, i solai fra il piano indagato ed il piano superiore. Eccezionalmente, per quanto riguarda le stanze al piano terra della parte di edificio anteriore, non essendo presente un piano interrato, ed essendo quindi ovviamente il rilievo stato eseguito dal lato superiore, eventuali elementi interessanti sulla pavimentazione sono riportati nelle note relative alle stanze del piano terra, specificando di volta in volta quando si sta trattando della pavimentazione e non del solaio superiore di tali stanze. I materiali costituenti sono stati indicati per le sole stanze ove è stata effettuata un'ispezione visuale dettagliata. Informazioni di completamento sono riportate in tab. 5.1-5.4, ove è indicata anche l'eventuale presenza di un saggio nel solaio in esame e le misure effettuate durante singole ispezioni di completamento ai rilievi.

Le informazioni ottenute dal rilievo dei saggi sono riportate nell'appendice I, stante il carattere ripetitivo di tali dati ma l'occasionale necessità di una loro consultazione per una completa comprensione del funzionamento della struttura, oltre che dei risultati delle prove presentate nei capitoli successivi. Ulteriori informazioni sulla geometria dei solai e sulle dimensioni degli elementi costitutivi sono riportate nel corrente capitolo, paragrafo 5.4.1 (misure in verticale di altezza dei locali dalle quali sono desumibili le altezze di alcuni elementi) e nell'appendice II (sezioni quotate, dalle quali è possibile avere un'idea della geometria delle strutture).



Figura 5.22: orditure dei solai fra piano interrato e piano terra.

Tabella 5.1: informazioni di completamento sui solai fra piano interrato e piano primo.

Stanza	NOTE
UF5	Presente il saggio S17
UF7	Presente il saggio S16 Successivamente alla demolizione dell'intonaco sono state acquisite ulteriori misure dal piano inferiore: sono state rilevate pignatte di 26 x 25 cm con altezza 18 cm e spessore dell'intonaco all'intradosso pari a 1 cm. È inoltre stata accertata visivamente la presenza di due ferri fra una pignatta e l'altra.
UF8	Presente il saggio S13



Figura 5.23: orditure dei solai fra piano terra e piano primo, situazione desunta dalla mera ispezione visiva a priori di qualsiasi opera di demolizione.



Figura 5.24: orditure dei solai fra piano terra e piano primo, sunto di tutte le informazioni attualmente disponibili.

Tabella 5.2: informazioni di completamento	sui	solai
fra piano terra e piano primo.		

Stanza	NOTE
	Presente il saggio S04.
	Presenti 4 travi lignee in corrispondenza delle colonne
	centrali del portico sul fronte con allineamento NO-SE;
	osservabili inoltre 6 travetti lignei ortogonali a dette travi.
GF1	Relativamente alle parti laterali sono invece osservabili 6
(portico sul fronte)	travetti lignei per ogni con allineamento NO-SE.
	È stata rilevata la presenza, osservando il solaio dal lato
	superiore in occasione di alcune demolizioni, in
	corrispondenza della porta divisoria fra le stanze 1F1 e 1F2 di
	una trave metallica all'interno del solaio. Detta trave è

STANZA	NOTE
	formata da due elementi paralleli divisi, di larghezza pari a 7
	cm, separati da 9 cm di vuoto e legati, almeno per la parte
	visibile di detta struttura, pari a 92 cm, posti in prossimità
	della parete sud-est dell'edificio, da un ulteriore elemento
	metallico largo 3,5 cm.
	Sempre nell'occasione di cui al punto precedente è stata
	osservata una trave metallica larga 10 cm nel solaio adiacente
	alla finestra W1F21 e parallela alla muratura sud-est.
	Presente il saggio S05
	Presenti travetti con allineamento NE-SO e travi ortogonali
	agli stessi; dette travi, poste in corrispondenza delle colonne
	della loggia nord-est, presentano una fodera pertanto non
GF2	sono probabilmente da ritenersi lignee, come potrebbero
(loggia d'ingresso)	apparire da un'ispezione affrettata. Il materiale costituente è
	al momento incerto.
	Sono inoltre presenti 6 travetti con allineamento NO-SE.
	In merito alla pavimentazione presente il saggio S09
	Presente il saggio S02
	Presenti travetti lignei con allineamento NO-SE. Travetti
	metallici sono posti superiormente, osservabili dallo scasso,
	con lo stesso allineamento.
GF3	In merito alla pavimentazione una volta rimossa la stessa
(corridoio)	sono emersi i resti di una muratura diretta secondo
	l'allineamento NO-SE, continuazione di un'altra parte della
	stessa struttura visibile nella stanza GF5. La sommità di detto
	muro è 18 cm al di sotto del pavimento rimosso.
	In merito alla pavimentazione presente il saggio S18
GF4	In merito alla pavimentazione presente il saggio S20
(corridoio verso sinistra)	Presenti travetti lignei con allineamento NO-SE.
	Presente il saggio S01
<b>A7-</b>	Presenti 2 travetti lignei con allineamento NO-SE ed una
GF3	trave ortogonale agli stessi.
(corridoio corto)	In merito alla pavimentazione di tale locale è presente il
	saggio S12, una volta rimossa la stessa sono inoltre emersi i

STANZA	ΝΟΤΕ
	resti di una muratura larga 44 cm e la cui sommità è posta a
	18 cm al di sotto del pavimento rimosso. Detta muratura è
	distante 44 cm dalla parete sud-ovest della stanza e 120 cm da
	quella nord-est. Un'antecedente pavimentazione è inoltre
	emersa 55 cm al di sotto di quella attuale. Una canalina larga
	29 cm è stata infine osservata fra il muro e la parete sud-
	ovest; tale elemento si trova a 38 cm di distanza dalla parete
	nord-ovest del locale.
	Nella stanza era presente un controsoffitto.
	Una volta rimosso lo stesso è stata eseguita un'accurata
	ispezione visiva del solaio ed è stata riscontrata la presenza
	dei seguenti elementi, elencati a partire da quelli più prossimi
	all'intradosso:
	- controsoffitto;
	- 9 travetti in legno lungo l'allineamento SE-NO;
	- 3 travi lignee lungo l'allineamento SO-NE;
GF6	- 4 travi metalliche lungo lo stesso allineamento;
	- 6 travetti metallici lungo l'allineamento SE-NO.
	In merito alla pavimentazione, in legno, del locale, a seguito
	della rimozione che, la stessa, costituita da assi lignee, era
	posata su 9 magatelli in legno lungo l'allineamento NO-SE di
	sezione circa 6,5 x 8 cm, con luce di circa 50,5 cm e
	caratterizzati dalla presenza di tre staffe metalliche ognuno
	che dividono ogni travetto in quattro parti
	approssimativamente uguali (fig. 5.25).
	Nelle stanze era presente un controsoffitto.
	Erano comunque visibili due travi delle quali quella nella
	stanza GF8 costituita da due profilati metallici affiancati e
	quella nella stanza GF9 in legno ma rinforzata da due travetti
	metallici posti lateralmente e caratterizzata da un elemento
GF7, GF8 e GF9	metallico appoggiato superiormente.
	Una volta rimosso detto controsoffitto ed i tramezzi fra le tre
	stanze è stata eseguita un'accurata ispezione visiva del
	solaio. È stato considerato il solaio stesso diviso in tre
	campate definite dalle due travi principali e, partendo da
	metallici posti lateralmente e caratterizzata da un elemento metallico appoggiato superiormente. Una volta rimosso detto controsoffitto ed i tramezzi fra le tre stanze è stata eseguita un'accurata ispezione visiva del solaio. È stato considerato il solaio stesso diviso in tre campate definite dalle due travi principali e, partendo da

STANZA	NOTE
	nord-est per le diverse campate è stata riscontrata la presenza
	dei seguenti elementi:
	- 10 travetti lignei e 9 metallici lungo l'allineamento SO-NE;
	- 9 travetti lignei e 9 metallici lungo lo stesso allineamento;
	- 9 travetti lignei e 9 metallici lungo lo stesso allineamento.
	Relativamente alla stanza GF8, <u>in merito alla</u>
	pavimentazione, presente il saggio S10. La pavimentazione
	nelle stanze GF7, GF8 e GF9 è a parquet.
	Presenti 6 travetti lignei inferiormente e putrelle
	superiormente, queste ultime osservabili dal saggio S03. I
CE14	primi elementi hanno allineamento NE-SO, mentre i secondi
GF10	sono ortogonali ai primi.
(loggia sinistra)	Presenti inoltre travi lignee con allineamento NE-SO in
	corrispondenza delle colonne.
	In merito alla pavimentazione presente il saggio S15
	Presente una trave con allineamento NE-SO e travetti lignei
<b>CE11</b>	ortogonali a detta trave. Dalle indagini ground penetrating
GFII	radar risulta probabile la presenza di travetti metallici
	paralleli a quelli lignei.
	Presente una trave con allineamento NE-SO. Dalle indagini
	ground penetrating radar risultata probabile la presenza di
	travetti metallici ortogonali a detta trave.
GF12	In merito alla pavimentazione a seguito della rimozione della
	stessa è emersa un'antecedente pavimentazione ed altri
	elementi di interesse storico trattati diffusamente al paragrafo
	4.5; è inoltre presente il saggio S11
CF13	Presente una trave lignea con allineamento NO-SE,
0115	osservabili inoltre 7 travetti lignei ortogonali a detta trave.
GF14 e GF15	Presente il saggio S07
	Presenti 6 travetti lignei con allineamento NE-SO.
	Superiormente sono presenti probabilmente travetti metallici
	ortogonali agli elementi lignei la cui presenza è rivelata dalle
	indagini ground penetrating radar.
GF15	Presenti 6 travetti lignei con allineamento NE-SO.
	Superiormente sono presenti travetti metallici, osservati a

STANZA	NOTE
	seguito di opere di demolizione, ortogonali agli elementi
	lignei.
	Presente il saggio S06
	Presenti 6 travetti lignei con allineamento NE-SO.
	Superiormente sono presenti travetti metallici ortogonali agli
GF17 (angolo ovest)	elementi lignei osservati a seguito di opere di demolizione.
	In merito alla pavimentazione, in parquet, di tale locale, una
	volta rimossa la stessa è stata confermata la presenza
	dell'assito e dei magatelli osservati con il saggio S14. È
	inoltre stato individuato un arco nella muratura sud-ovest,
	posto a circa metà della stanza la cui chiave è a circa 27 cm
	al di sotto del pavimento. Nella parte nord-est del locale è
	inoltre stato osservato l'estradosso della volta costituente il
	soffitto della galleria a sud-ovest della stanza UF8 la cui
	chiave è posta 25 cm al di sotto del piano di calpestio.



Figura 5.25: stanza GF6 dopo la rimozione delle assi lignee costituenti il pavimento.



Figura 5.26: orditure dei solai fra piano terra e piano primo, situazione desunta da una semplice ispezione visiva a priori di qualsiasi opera di demolizione.



Figura 5.27: orditure dei solai fra piano terra e piano primo, sunto di tutte le informazioni attualmente disponibili.

Stanza	Νοτε
1F1	Sono state eseguite misure a campione, mediante una scala e un metro avvolgibile, sulle dimensioni degli elementi lignei visibili e sono risultati presenti: - 6 travi a sezione rettangolare 22 x 25,5 cm; - 6 travetti 10 x 13 cm, luce libera 60,5 cm.
1F2	Sono state eseguite misure a campione, mediante una scala e un metro avvolgibile, sulle dimensioni degli elementi lignei visibili e sono risultati presenti:

Tabella 5.3: informazioni di completamento sui solai fra piano primo e piano secondo.

STANZA	NOTE
	- 4 travi 16-17,5 x 25 cm;
	- 6 travetti 7,5-9 x 9,5 cm, luce libera 58 cm.
	Sono state eseguite misure a campione, mediante una scala e
	un metro avvolgibile, sulle dimensioni degli elementi lignei
	visibili e sono risultati presenti, suddividendo idealmente la
	stanza in due parti definite dall'orditura dei travetti lignei:
1F3	a) nella 1° campata a sud-est travetti 9,5 x 12 cm, da NO a
	SE;
	b) trave 21 x 42 cm, con allineamento NE-SO;
	c) nelle rimanenti campate a nord-ovest travetti 9,5 x 10,5
	cm, luce libera 64,5-65,5 cm, con allineamento NE-SO
	Sono state eseguite misure a campione, mediante una scala e
	un metro avvolgibile, sulle dimensioni degli elementi lignei
	visibili e sono risultati presenti:
	- travi 18 x 35,5 cm (misura rilevata sulla trave posta fra le
1 <b>F</b> 4	finestre W1F13 e W1F14) con allineamento NO-SE;
	-7 travetti 9,5 x 13 cm, luce libera 67 cm.
	È stata inoltre rilevata una distanza fra la parete sud-ovest e
	la trave rilevata pari a 3,12 m e una distanza fra detta trave e
	la successiva, precedendo verso nord-est pari a 3,24 m.
	Sono osservabili travetti lignei analoghi a quelli presenti
115, 110 e 117	nella stanza 1F4 con analogo orientamento.
	Presenti i saggi S08 e S19 sui due diversi tipi di solaio
	presenti nella stanza. Sono state eseguite misure a campione,
	mediante una scala e un metro avvolgibile, sulle dimensioni
	degli elementi lignei visibili e sono risultati presenti (parte a
1F8	sud-ovest della stanza):
	- 11 travetti 14 x 19 cm con allineamento NO-SE;
	- una trave 29 x 26 cm con allineamento NO-SE.
	È stata rilevata una distanza fra la parete sud-ovest e la trave
	rilevata pari a circa 3,70 m.
	Sono state eseguite misure a campione, mediante una scala e
1F9	un metro avvolgibile, sulle dimensioni degli elementi lignei
(salone)	visibili e sono risultati presenti:
	- 13 travetti 12 x 10-13 cm, luce libera 57-60 cm,

STANZA	Note
	allineamento NE-SO;
	- 4 travi (catene delle capriate poste superiormente) 24 x 54
	cm, la sola parte lignea misura 37 cm in altezza, con
	allineamento NO-SE.

La quasi totalità dei solai seguono uno schema tipico: sono infatti presenti elementi lignei inferiormente ed elementi metallici, tipicamente con sezione a doppia T, superiormente.

Per ognuna di dette tipologie di elemento sono presenti a volte una sola orditura e a volte due orditure. I travetti in acciaio sono tipicamente annegati in un getto di calcestruzzo definito inferiormente da tavelle appoggiate sulle ali dei travetti e caratterizzato da un estradosso di qualche centimetro superiore rispetto alla sommità dei travetti.

All'interno di tale getto sono posti dei ferri di armatura, spesso costituiti da barre lisce appoggiate le une perpendicolarmente alle altre; non è quindi tipicamente presente una rete elettrosaldata propriamente detta. Inferiormente a tale struttura è tipicamente presente uno strato di tavole, seguito da travi e travetti lignei.

Non è identificabile una regolarità nell'orientamento relativo degli elementi dei due materiali presenti che sono a volte paralleli e a volte perpendicolari.

È comunque tipicamente presente uno spazio vuoto fra i travetti metallici e quelli lignei, osservato dal rilievo degli scassi presenti nell'edificio, a indicare che, almeno nella maggior parte dei casi, la funzione portante è svolta interamente dagli elementi metallici mentre quelli lignei hanno funzione esclusivamente estetica (ad esclusione, ovviamente, dell'autoportanza).

# 5.4.4 Rilievo degli impianti esistenti

È stato eseguito un sommario rilievo di alcuni elementi relativi agli impianti esistenti, in particolare funzionalmente all'impatto che essi hanno sulle restanti strutture. Sono stati in particolare individuati:

- posizione delle scatole dell'impianto elettrico e, dove possibile, delle tracce fra una scatola e l'altra;

- posizione delle tubazioni dell'impianto idraulico, con particolare riguardo alle tubazioni dell'impianto di riscaldamento - posizione dei corpi la cui presenza è indicativa della presenza di tubazioni nella zona limitrofa, quindi detto punto funge da integrazione di quello precedente.

Sono stati trascurati, non essendo in questa sede l'obiettivo uno studio del funzionamento degli impianti:

- caratteristiche dei corpi scaldanti e loro adeguatezza al volume servire;

- tipologia del generatore di calore presente nella stanza UF9;

- tipologia del sistema di distribuzione dell'acqua dell'impianto di riscaldamento e quindi efficienza ed eventuali criticità del sistema.

Le posizioni dei singoli elementi, ad eccezione delle posizioni dei corpi scaldanti (fig. 5.28-5.30), sono riportati in appendice II sulle sezioni della Palazzina della Viola. Verranno invece qui esposte alcune considerazioni generali, utili per avere un'idea di massima della conformazione dell'impianto di riscaldamento.

È innanzitutto riscontrabile un'importante quantità di tracce orizzontali o inclinate negli spessori murari dell'impianto elettrico: tali elementi, riducendo la sezione resistente delle murature per un tratto rilevante, non giovano alla capacità portante delle stesse.

Sono inoltre presenti elementi in posizione disordinata quali scatole dell'impianto elettrico poste ad altezze diverse da una stanza all'altra, elemento che porta a pensare che l'impianto utilizzato nell'ultimo periodo di utilizzo sia il risultato di successive integrazioni e modifiche di impianti precedenti e non un organismo creato ex-novo con un unico intervento.

Relativamente ai corpi scaldanti sono presenti più tipologie di radiatore, risalenti a periodi diversi; sebbene la maggior parte degli stessi sia stata rimossa preventivamente ai rilievi sono stati in particolare rinvenuti due corpi scaldanti particolarmente datati (fig. 5.31).

In merito alla collocazione sono stati rilevati radiatori nella massima parte delle stanze dell'edificio, a indicare che l'impianto era esteso sull'intero edificio. Limitatamente alle stanze 1F1 e 1F9 è anche stata individuata la presenza di bocche di un impianto di condizionamento.



Figura 5.28: schema della posizione dei radiatori al piano terra.



Figura 5.29: schema della posizione dei radiatori al piano primo.



Figura 5.30: schema della posizione dei radiatori al piano secondo.



Figura 5.31: esempio di corpo scaldante particolarmente datato rinvenuto nella Palazzina della Viola.

# 6 PALAZZINA DELLA VIOLA: RILIEVO DEL QUADRO FESSURATIVO E MONITORAGGIO DI ALCUNE FESSURE

Sono stati eseguiti, sulla Palazzina della Viola, alcuni rilievi tesi a studiare eventuali problemi che potrebbero pregiudicare la staticità di alcuni elementi dell'edificio o comunque fornire indizi sui problemi strutturali presenti.

È in particolare stato rilevato il quadro fessurativo presente sulle murature, principalmente nei mesi di marzo e aprile 2011, con alcune operazioni di controllo e completamento dei dati a luglio 2011.

Essendo chiara, da alcune ispezioni preliminari dell'edificio eseguite per condurre altre indagini, la presenza di diversi fenomeni fessurativi di importanza rilevante è stato inoltre eseguito un monitoraggio dell'ampiezza di alcune fessure.

## 6.1 Scopi

L'obiettivo dell'indagine è rivolto a due aspetti fondamentali:

- il primo è la determinazione degli eventuali problemi che affliggono l'edificio mediante lo studio delle manifestazioni fessurative. In particolare dal complesso di tali manifestazioni è possibile comprendere se sono presenti problemi strutturali rilevanti nell'edificio nel suo complesso o in aree localizzate.

L'esecuzione del rilievo prima di un importante lavoro di ristrutturazione, con le demolizioni ad esso associate, consente, e consentirà nel futuro con il proseguire dei lavori, da un lato la verifica di alcune ipotesi formulate in questa prima fase del rilievo, mettendosi in luce l'ammorsatura fra le murature e l'eventuale assenza di architravi sulle porte, dall'altro l'oggettivo miglioramento dei dati a disposizione divenendo osservabile la reale ampiezza delle fessure, altrimenti falsata da eventuali operazioni di intonacatura delle pareti successive all'innescarsi dei fenomeni oggi presenti.

- il secondo aspetto considerato è la tendenza evolutiva dell'ampiezza di alcune fessure presenti e quindi delle problematiche ad esse associate. In particolare è importante comprendere se sono presenti fenomeni ancora in evoluzione, o se si riattivano con le operazioni di cantiere, a causa delle vibrazioni e delle demolizioni.

#### 6.2 Rilievo del quadro fessurativo

### 6.2.1 Strumentazione utilizzata

Il rilievo è stato eseguito con la seguente strumentazione:

- stampa delle piante dell'edificio e di un congruo numero di bozze delle sezioni (pari a 20), preparate preliminarmente al rilievo sulla base delle piante disponibili scelte in modo da visualizzare la massima parte delle pareti dell'edificio;

- pastelli colorati per riportare sulle suddette sezioni le diverse tipologie di fessure osservabili, suddivise in classi di gravità.

### 6.2.2 Procedura operativa e acquisizione dati

Il rilievo ha interessato i piani terra e primo dell'edificio mentre sono stati esclusi il piano interrato, al momento del rilievo non accessibile causa l'esecuzione di lavori di demolizione e la conseguente necessità di non arrecare intralcio agli operatori, ed il piano secondo, causa malagevole agibilità di buona parte del piano, causa limitata altezza dei locali e presenza di materiali ingombranti stoccati negli stessi. Sono comunque presenti lacune anche nei rilievi eseguiti nei piani interessati dall'indagine: relativamente al piano terra la rimozione di buona parte dei pavimenti e dei sottostanti massetti in calcestruzzo precedentemente alle operazioni di rilievo ha limitato significativamente l'area analizzabile mentre al piano primo la presenza di affreschi sulle pareti in alcune stanze, collocati su tutte le pareti della stanza 1F9 e su parte della parete nord-est della loggia 1F3, ha impedito il rilievo in tali aree. È stato eseguito un rilievo sommario anche dall'esterno dell'edificio ma in ragione della presenza di alcune porzioni di ponteggio su tutti i lati della struttura ad eccezione di quello posteriore (nordovest) a limitare la visuale e sul quale non era consentito, almeno al momento del rilievo, l'accesso, i dati disponibili sono da considerarsi incompleti. Questi vengono ugualmente mantenuti in quanto dagli stessi sono desumibili alcuni elementi interessanti. Il rilievo è stato eseguito interamente in modo qualitativo, schizzando le fessure sulle piante e sulle sezioni dell'edificio (fig. 6.1). Sono stati utilizzati colori diversi ad indicare fessure di diversa gravità (cavillature, fessure medie e fessure gravi). La classificazione è stata eseguita per comparazione visiva delle fessure presenti nell'edificio ed assegnazione di una classe ad ogni fessura sulla base dell'ampiezza della stessa. Sono state successivamente restituite con un programma di CAD le fessure schizzate manualmente nelle suddette bozze delle sezioni, previa correzione delle stesse eseguita sulla base degli ulteriori elementi emersi durante le indagini quali la corretta posizione ed il numero di elementi quali travi e travetti oltre all'esatta collocazione delle porte nelle murature. È stato

necessario, onde non deteriorare i risultati nel passaggio dei disegni eseguiti a mano a quelli in formato elettronico, importare le tavole utilizzate in cantiere nel programma di disegno e ricalcarle. Ove fossero presenti errori significativi nelle bozze delle sezioni che non consentissero tale operazione per via, ad esempio, di porte in posizioni grossolanamente sbagliate o di errate proporzioni nelle dimensioni della muratura sono invece state riprodotte le fessure a occhio, rispettandone, per quanto possibile, la forma originaria. Il risultato (fig. 6.2) è, in ogni caso, da considerarsi qualitativo: sebbene la forma delle fessure sia fedele a quella reale non sono state eseguite misurazioni specifiche.



Figura 6.1: esempio di tavola utilizzata in cantiere per il rilievo del quadro fessurativo (sezione N-N).



Figura 6.2: esempio di restituzione delle fessure rilevate in cantiere (sezione N-N).
#### 6.2.3 Visualizzazione ed analisi dei risultati

Il rilievo completo del quadro fessurativo dell'edificio è riportato in appendice II ed una completa interpretazione dello stesso è prevista nel proseguire del progetto, anche a seguito degli ulteriori elementi riscontrabili con il proseguire delle demolizioni. Alcuni esempi di fessure con cause evidenti sono però già ora identificabili e di seguito riportati, ulteriore documentazione fotografica è reperibile in appendice III.

Sono presenti, in particolar modo al piano terra, numerose fessure nelle murature indice della presenza di tamponature nelle stesse come, ad esempio, nella stanza GF13, ove sono collocate due tamponature nelle pareti sud-ovest (fig. 6.3) e nordest (fig. 6.4).

È inoltre visibile una fessura sul prospetto sud-ovest dell'edificio (fig. 6.5), probabilmente indice di una rotazione relativa fra la parte posteriore dell'edificio e quella anteriore.

Segni di sfilamento presenti agli appoggi dei travetti presenti nella parte nordovest della stanza GF10 (fig. 6.6) sono probabilmente da mettersi in relazione con un'ulteriore fessura presente all'interfaccia fra l'infisso WGF17 e la colonna a sudest, possibile indice di una rotazione di tale colonna, accompagnata dalla trave sovrastante e quindi dai travetti in esame, che tenderebbero quindi a sfilarsi dalla muratura sul lato opposto.

Diverse fessure sono presenti al di sopra delle porte, a indicare l'insufficienza delle architravi o la mancanza della stesse: un esempio è costituito dalla porta fra le stanze GF5 e GF14 (fig. 6.7).



parete sud-ovest della stanza GF17.



Figura 6.3: tamponatura presente nella Figura 6.4: tamponatura presente nella parete nord-est della stanza GF17.



Figura 6.5: fessura visibile sul prospetto sud-ovest presumibilmente dovuta alla rotazione relativa fra la parte anteriore dell'edificio e quella posteriore.



Figura 6.6: tracce di sfilamento dei Figura 6.7: fessurazioni visibili al di travetti presenti nella parete nord-ovest sopra della porta fra la stanza GF5 e la della stanza GF10.

stanza GF14.

#### 6.3 Monitoraggio dell'ampiezza di alcune fessure

#### 6.3.1 Strumentazione utilizzata

L'indagine ha previsto l'impiego della seguente strumentazione:

- basette metalliche cilindriche con una superficie di base conica introflessa (fig. 6.8);

- colla per fissare le suddette basette alle pareti;

- carta vetrata ed un raschietto metallico per preparare la superficie delle murature all'incollaggio;

- un calibro centesimale digitale per la misurazione della distanza fra le basette.



Figura 6.8: basetta utilizzata nel monitoraggio.

#### 6.3.2 Procedura operativa

È stata preliminarmente eseguita, in data 11-03-2011, una prima ispezione visuale dell'edificio (fig. 6.9) al fine di scegliere le fessure da monitorare sulla base della loro significatività per uno specifico problema strutturale e per la possibilità di osservare fenomeni in evoluzione.



Figura 6.9: ispezione visuale dell'edificio preliminare alla scelta delle fessure da monitorare (lato sud-est).

Sono risultate scelte un totale di 12 fessure di cui 6 collocate al piano terra e 6 al primo piano. La totalità delle fessure è monitorata dal lato interno dell'edificio; costituiscono eccezioni due crepe poste sul prospetto sud-ovest al primo piano collocate al di sotto del davanzale della finestra W1F15. Per ognuna di dette crepe è stata scelta una zona da monitorare e sono state in tale area applicate (fig. 6.10-6.11), in parte in data 11-03-2011 ed in parte in data 14-03-2011, le basette assicurandole alla superficie mediante incollaggio. È stata preventivamente rimossa la tinteggiatura e, ove cedevole, un piccolo strato dell'intonaco sottostante. Sono state quindi misurate quota dell'area da monitorare rispetto al pavimento della stanza e relativa distanza da una parete (6.12-6.13).





Figura 6.10: fase di individuazione delle Figura 6.11: fase di applicazione di posizioni ove applicare le basette su di basette sulla parete sud-ovest della una muratura.

stanza GF17.



Figura 6.12: schema delle fessure da monitorare al piano terra.



Figura 6.13: schema delle fessure da monitorare al piano primo.

Sono state assegnate lettere identificative alle posizioni di misura mentre, nell'ambito di ogni zona, le basette sono riconoscibili da numeri progressivi. È stata quindi prodotta una documentazione fotografica delle zone da monitorare e, per facilitare la leggibilità, sono state restituite le posizioni delle basette con un programma di CAD (fig. 6.14-6.35). È stato tipicamente optato per l'utilizzo di tre basette per ogni zona da monitorare: due collocate su di un lato della fessura e la restante su quello opposto. Costituiscono eccezioni una fessura al piano terra, indicata con la lettera "A", ove sono state applicate quattro basette, le due fessure sul prospetto al primo piano ("G" e "H") ove sono state reputate sufficienti due basette, la fessura "F", al piano terra nella stanza GF14 ove, causa carente spazio dovuto alla vicinanza della fessura ad un angolo della stanza non è stato possibile applicare più di due basette. La disponibilità di almeno tre basette consente, in questa prima fase del monitoraggio, l'esecuzione di misure di controllo fra basette poste dallo stesso lato della fessura e che quindi non dovrebbero restare a distanza costante.



Figura 6.14: fessura "A" piano terra, stanza GF17 (parete sud-ovest).



Figura 6.15: schema delle basette applicate alla fessura "A".



Figura 6.16: fessura "B" piano terra, stanza GF17 (parete nord-est).



Figura 6.17: schema delle basette applicate alla fessura "B".





stanza GF15 (parete nord-est).

Figura 6.18: fessura "C" piano terra, Figura 6.19: schema delle basette applicate alla fessura "C".



Figura 6.20: fessura "D" piano terra, Figura 6.21: schema delle basette stanza GF13 (parete nord-est).



applicate alla fessura "D".



stanza GF12 (parete nord-est).



Figura 6.22: fessura "E" piano terra, Figura 6.23: schema delle basette applicate alla fessura "E".





Figura 6.24: fessura "F" piano terra, Figura 6.25: schema delle basette stanza GF13 (parete nord-est).



Figura 6.26: fessura "G" al di sotto del Figura 6.27: schema delle basette davanzale della finestra (prospetto sud-ovest) collocata alla destra della chiave dell'arco sottostante la finestra ad un osservatore frontale.



Figura 6.28: fessura "H" al di sotto del Figura 6.29: schema delle basette davanzale della finestra (prospetto sud-ovest) in corrispondenza della chiave dell'arco sottostante la finestra ad un osservatore frontale.

applicate alla fessura "F".



W1F15 applicate alla fessura "G".



W1F15 applicate alla fessura "H".





stanza 1F5 (parete nord-est).



Figura 6.32: fessura "L" piano primo, Figura 6.33: schema delle basette stanza 1F7 (parete nord-est).





applicate alla fessura "L".



stanza 1F8 (parete nord-est).



Figura 6.34: fessura "M" piano primo, Figura 6.35: schema delle basette applicate alla fessura "M".

### 6.3.3 Acquisizione dati

Sono state misurate più volte le distanze fra le basette onde studiare, dalle variazioni delle stesse nel tempo, l'andamento delle ampiezze delle fessure.

Non è stato osservato un intervallo di tempo costante fra una misura e la successiva causa la scarsa disponibilità di personale per eseguire l'indagine.

Nel complesso sono disponibili sette serie di misure (tab. 6.1), includendo la misura iniziale, eseguite in data 16-03-2011, 23-03-2011, 04-04-2011, 07-04-2011, 21-04-2011 e 22-04-2011 (il piano primo è stato in tale occasione rilevato in data 21-04-2011 ed il piano terra in data 22-04-2011 stante la non accessibilità dello stesso causa lavori in corso il giorno precedente), 30-50-2011 e 05-07-2011.

In ragione dei lavori di demolizione in corso nell'edificio alcune basette sono state rimosse prima del termine del monitoraggio a seguito della rimozione dell'intonaco o anche della demolizione della porzione di muratura sulla quale erano poste.

Inoltre non è stato possibile rilevare in talune giornate le misure relative ad alcune fessure per via della necessità di non intralciare i suddetti lavori, qualora questi ultimi fossero concentrati nell'area interessata, o in ragione della non raggiungibilità della zona da monitorare causa utilizzo della stanza ove le basette sono collocate quale deposito per mobilia, infissi rimossi da varie zone dell'edificio o altri materiali.

L'esecuzione di lavori di ristrutturazione nell'edificio durante il monitoraggio rende inoltre necessario porre estrema cautela nell'interpretazione dei risultati dello stesso in ragione delle vibrazioni prodotte nelle strutture a seguito delle demolizioni, eseguite anche in prossimità delle aree monitorate e quindi rendendo possibile l'osservazione di fenomeni fessurativi in apparente evoluzione solo in ragione delle sollecitazioni cui sono stati sottoposti nel periodo del monitoraggio.

L'esecuzione di un monitoraggio in questo momento rappresenta però l'unica opportunità di studiare l'evoluzione dei fenomeni fessurativi in questo specifico edificio essendo pianificato il rifacimento dell'intonaco in buona parte dello stesso e divenendo quindi le crepe non osservabili a valle di tale operazione, salvo fenomeni ancora in evoluzione per notare i quali è comunque necessario attendere il riaprirsi delle fessure con il conseguente tempo di attesa.

#### 6.3.4 Visualizzazione dei risultati

Le misure rilevate sono state riportate, separatamente per ogni fessura, su grafici indicanti l'andamento nel tempo dell'ampiezza della fessura, calcolata come differenza fra il valore al tempo considerato e la misura iniziale (fig. 6.36-6.46).

Unitamente alle misure eseguite fra basette poste sui due lati delle fessure (indicate in tali rappresentazioni con il colore rosso) sono riportate le misure effettuate fra basette poste dallo stesso lato (indicate con il colore verde). Tali ultime misure sono state utilizzate quale semplice controllo onde verificare la validità del procedimento utilizzato nell'esecuzione delle misure e accertare l'entità complessiva degli errori legati allo strumento utilizzato ed al tipo di basette scelte, onde accertare che tali elementi non facciano registrare apparenti modificazioni di ampiezza anche in situazioni stazionarie. Sono poi riassunte le sole misure eseguite fra le basette poste agli opposti lati di una fessura per visualizzare l'andamento complessivo delle ampiezze e vedere se una o più fessure destano particolari preoccupazioni (fig. 6.47).

e				DISTANZEMISURATE						
Zona da monitorare data di posizionamento basette	ate				[m	ım]				
	Basette consider	16/03/11	23/03/11	04/04/11	07/04/11	21/04/11	22/04/11	30/05/11	05-07-11	
	12	60,02	60,02	60,03	59,92		59,99	60,01	60,15	
	23	97,60	97,56	97,56	97,53		97,66	97,89	97,65	
A 11/02/2011	31	115,78	115,72	115,71	115,70	Miamon	115,74	114,28 <sup>2</sup>	115,87	
11/03/2011	34	60,37	60,45	60,45	60,45	eseguibili	60,41	60,50	60,50	
	24	109,90	109,97	109,98	110,24	causa lavori	110,01	$113,70^2$	110,11	
D	12	98,66	98,72	98,49	98,36	incorso 98,41		Basette rimosse a seguito		
<b>D</b> 11/03/2011	23	102,62 <sup>1</sup>	100,94	100,42	100,38		100,42	della demolizione della		
11/03/2011	31	100,78	100,72	100,69	100,75	100,64		muratura monitorata		
C	12	98,86	98,93	Basette rimosse a seguito di opere di demolizione dell'intonaco						
C 11/03/2011	23	99,48	99,38							
11/03/2011	31	100,37	100,09							
<b>D</b> 11/03/2011	12	100,21	100,16	100,39	100,10	Misurenon	100,12	100,54	100,14	
	23	99,31	99,12	99,23	99,25	eseguibili causa lavori	99,16	99,18	99,40	
	31	102,39	102,50	102,50	102,45	incorso	102,28	102,53	102,70	
E 14/03/2011	12	97,36	97,41					97,51	97,52	
	23	101,65	101,65	Basette non raggiungibili causa utilizzo della stanza quale 101,84 deposito materiali 102,06			101,84	101,96		
	31	101,96	101,92					102,06	101,86	

Tabella 6.1: misure di distanza fra le basette rilevate nel periodo fra il 16-03-2011 e il 05-07-2011.

ee	e			]	DISTANZE	MISURATI	Ξ				
Zora da monitore data di posizionamento basette	Basette considerat	16/03/11	23/03/11	04/04/11	07/04/11	21/04/11	22/04/11	30/05/11	05-07-11		
F 14/03/2011	12	97,68	97,70	97,73		97,66		97,56	97,60		
<b>G</b> 14/03/2011	12	99,26	99,10		99,23	99,19					
<b>H</b> 14/03/2011	12	101,00	101,09		101,05	101,05					
<b>I</b> 14/03/2011	12 23 31	100,20 101,12 100,59	100,08 101,18 100,61	100,17 101,05 100,55	100,12 101,06 101,01	100,21 101,32 100,60	Misure già eseguite il giorno precedente	Basette rimo della demo muratura i	osse a seguito lizione della monitorata		
L 14/03/2011	12 23 31	98,72 99,76 100,08	98,74 99,83 100,13	98,74 99,81 99,90	98,98 99,92 100,07	98,79 99,78 100,00	•	98,83 99,91 99,98	98,86 98,78 100,07		
<b>M</b> 14/03/2011	12 23 31	98,65 100,62 101,58	98,57 100,61 101,74	98,67 100,76 101,63	98,66 100,80 101,76	98,73 100,54 101,83		98,66 100,70 101,78	98,66 100,77 101,73		
1-il valore è un evidente error 2-il valore è un evidente error	1-il valore è un evidente errore di misura pertanto quale misura iniziale verrà considerata quella eseguita in data 23-03-2011 101,78 101,75   2-il valore è un evidente errore di misura pertanto verrà trascurato nelle successive elaborazioni 2-03-2011										



A - 12 (misure di controllo) A - 23 A - 31 A - 31 A - 34 (misure di controllo) A - 24

Figura 6.36: andamento dell'ampiezza della fessura "A" sita nella parete sudovest della stanza GF17.



Figura 6.37: andamento dell'ampiezza della fessura "B" sita nella parete nord-est della stanza GF17.



Figura 6.38: andamento dell'ampiezza della fessura "C" sita nella parete nord-est della stanza GF15.



Figura 6.39: andamento dell'ampiezza della fessura "D" sita nella parete nord-est stanza GF13.



Figura 6.40: andamento dell'ampiezza della fessura "E" sita nella parete nord-est della stanza GF12.



Figura 6.41: andamento dell'ampiezza della fessura "F" sita nella parete nord-est stanza GF14.



Figura 6.42: andamento dell'ampiezza delle fessure per la fessura "G" sita sul prospetto sud-ovest, al di sotto del bancale della finestra W1F17.



Figura 6.43: andamento dell'ampiezza della fessura "H" sita all'esterno dell'edificio, lato sud-ovest, al di sotto del bancale della finestra W1F17.



Figura 6.44: andamento dell'ampiezza della fessura "I" sita nella parete nord-est della stanza 1F5.



Figura 6.45: andamento dell'ampiezza della fessura "L" sita nella parete nord-est della stanza 1F7.



Figura 6.46: andamento dell'ampiezza della fessura "M" sita nella parete nordest della stanza 1F8.



Figura 6.47: andamento dell'ampiezza di tutte le fessure monitorate.

### 6.3.5 Commento ai risultati

Le misure fra le basette poste ai due lati di una fessura registrano, nella maggior parte dei casi, spostamenti più ampi rispetto a quelle poste dallo stesso lato: tale comportamento dovrebbe essere indice di modificazioni nell'ampiezza delle fessure nel periodo considerato.

Le variazioni di ampiezza massime osservate sono dell'ordine dei decimi di millimetro e riguardano diffusamente la maggior parte delle fessure considerate. È però interessante osservare che l'andamento delle spezzate rappresentanti l'ampiezza delle curve non è monotono: nella quasi totalità dei casi sono presenti più inversioni di tendenza.

Un'ipotesi per spiegare questo comportamento è che il fattore predominante influenzante l'ampiezza delle fessure nel periodo considerato sia costituito dai lavori in corso nell'edificio, che con forti vibrazioni impresse in posizioni costantemente variabili possono aver causato assestamenti repentini delle strutture variabili con le sollecitazioni applicate in ogni momento.

Un'altra possibile ipotesi, resa più forte dalla similitudine fra l'andamento delle misure fra più basette poste a monitorare la medesima fessura, è che siano presenti fonti di errore in grado di sovrastare le variazioni di ampiezza reali, dovute ad esempio, alla diversa pressione esercitata dall'operatore con il calibro sulle basette nelle diverse giornate.

# 7 PALAZZINA DELLA VIOLA: RILIEVO DEL MICROCLIMA INTERNO

Sono state eseguite, diffusamente durante l'intero periodo da gennaio a maggio 2011, operazioni di monitoraggio del microclima interno della Palazzina della Viola, attualmente priva di impianto di riscaldamento e condizionamento.

In particolare le misurazioni hanno interessato temperatura e umidità relativa dell'aria, oltre che la temperatura superficiale di alcune pareti. Dette operazioni sono state condotte con diversi strumenti e diverse modalità di rilievo.

# 7.1 Scopi

Il complesso delle indagini è stato teso a:

- saggiare l'uniformità della temperatura all'interno delle diverse aree dell'edificio in particolar modo in aree con caratteristiche differenti, quali le ampie logge vetrate presenti, al primo piano, su tre lati e le più piccole stanze sul retro. Un ulteriore elemento dagli effetti rilevati è l'irraggiamento solare diretto cui l'edificio è spesso sottoposto;

- ottenere informazioni dettagliate sui valori rilevabili all'interno delle singole stanze individuando eventuali elementi di particolare rilievo nelle condizioni interne, quali infissi o murature perimetrali;

- comprendere l'evoluzione giornaliera dei parametri monitorati in diverse stanze ed in diversi periodi, anche al modificarsi delle condizioni cui la stanza è mantenuta quali l'apertura (o chiusura) sistematica delle porte e, ove presenti, delle tende;

- effettuare, con il proseguire del progetto e quindi con tempistiche che esulano dalle possibilità del seguente elaborato, un confronto dei valori acquisiti in diverse stagioni e, se possibile una volta ultimata la ristrutturazione, con il sistema di riscaldamento attivo;

effettuare un ulteriore confronto con un sistema di monitoraggio basato su sensori wireless istallato da personale del dipartimento DEIS (Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica) dell'Università di Bologna.

### 7.2 Strumentazione utilizzata

Le indagini sono state eseguite essenzialmente con due strumenti:

- un termoigrografo analogico, modello MT1500 della SIAP (fig. 7.1, dettagli in tab. 7.2). Detto strumento funziona grazie ad appositi fogli di carta diagrammale

da montarsi su di un tamburo. Grazie alla rotazione di detto tamburo, previo caricamento dello strumento con un meccanismo a molla, due punte inchiostrate tracciano sul foglio altrettante linee indicanti l'andamento dei parametri monitorati. La durata dei fogli suddetti può essere scelta dall'utente modificando la velocità di rotazione del tamburo: nel caso dei monitoraggi in esame è stato sempre optato per una durata settimanale.

- un termoigrometro digitale, modello HD9216 della DELTAOHM. Tale strumento è dotato di due diverse sonde, una per la misura di temperatura e umidità relativa per immersione, utilizzata per le prove eseguite sull'aria, e una per misure di temperatura per contatto, utilizzata invece per le misure eseguite sulle pareti (fig. 7.2, dettagli in tab. 7.2);



Figura 7.1: termoigrografo analogicoFigura 7.2: termoigrometro digitaleMT1500 della SIAP.HD9216 della DELTAOHM.

	Temperatura: 60 °C o 90°C			
	Rapporto: 1,5 mm : 1°C o 1 mm : 1°C			
CAMPO DI MIISUKA	Umidità: 0-100 %			
	su scala di 82,5 mm			
DECISIONE	Temperatura: $\pm 1\%$ su tutta la scala			
FRECISIONE	Umidità: ±3% su tutta la scala			
	Giornaliero (30 ore): 9,5 mm/h			
PASSO	Settimanale (180 ore): 1,6 mm/h			
	Mensile (31 gg): 8,9 mm/g			
	Tamburo:Φ93 x 188 mm			
DIMENSIONI	Diagramma: 32 x 185 mm			
	Ingombro max: 375 x 290 x 230 mm			
PESO	4,750 kg			

Tabella 7.1: caratteristiche tecniche del termoigrografo analogico MT1500.

5%/90%	U.R.: ±2,5% U.R.			
90% / 98%	U.R.: +4 / -2% U.R.			
U.R. dal 45% al 90% a	al 63,3% del valore			
finale 2 secondi	finale 2 secondi			
+0.05% U.P./°C				
±0,0370 U.K./ C				
-10/+70°C (14°F/+158°F)				
			$\pm 0,1^{\circ}$ C più errore di linearizzazione (0,04°C)	
±1 digit				
0,1°C				
30 secondi al 63,3% de	el valore finale (aria in			
movimento velocità 1 m/s)				
$d_{2} = 50^{\circ}C_{2} = \pm 200^{\circ}C_{2}$				
ua-30 C a +200 C				
	5% / 90%   90% / 98%   U.R. dal 45% al 90% a   finale 2 secondi   ±0,05% U.R./°C   -10 / +70°C (14°F / +1   ±0,1°C più errore di lin   ±1 digit   0,1°C   30 secondi al 63,3% de movimento velocità 1   da -50°C a +200°C			

Tabella 7.2: caratteristiche tecniche del termoigrometro digitale HD9216.

### 7.3 Indagini effettuate

Sono state essenzialmente condotte indagini di tre tipi:

- una prima fotografia delle condizioni interne di temperatura e umidità relativa, eseguita in un tempo ridotto in tutto l'edificio, quindi indicativa delle condizioni generali all'interno dello stesso in un dato istante mediante l'esecuzione delle misure di temperatura e umidità relativa dell'aria in un punto approssimativamente al centro di ogni stanza ad una quota fissata e di un ridotto numero di temperature superficiali di parete. Sono disponibili tre di tali gruppi di misure eseguite fra la fine di gennaio e la metà di marzo 2011;

- una più dettagliata indagine, volta a mappare la distribuzione dei valori dei parametri monitorati all'interno di ogni stanza, è stata eseguita con la misurazione degli stessi lungo griglie appositamente create in ogni locale e con la successiva creazione di mappature in continuo dei valori in ogni stanza. In tale caso, per ragioni di tempo, non è stato possibile indagare tutto l'edificio in un tempo ridotto. Sono quindi disponibili mappe dei singoli piani, o di porzioni degli stessi, rilevati in un dato momento. Sono state prodotte almeno due mappe complete per piano, limitatamente ai piani primo e secondo una in condizione di porte chiuse ed una in condizione di porte aperte, oltre ad una serie di altre mappe di prova. Dette indagini sono state eseguite nei mesi di febbraio e marzo 2011;

- un monitoraggio in continuo di temperatura e umidità relativa dell'aria, esteso per buona parte del periodo compreso fra la fine gennaio e la prima decade di maggio 2011, sebbene con alcune lacune nei dati disponibili, eseguito in una stanza per volta, causa disponibilità di un solo strumento, spostando lo stesso a intervalli prestabiliti.

# 7.4 Distribuzione dei parametri sull'intero edificio

# 7.4.1 Procedura operativa

Le misure sono state eseguite con il termoigrometro digitale HD9216 (fig. 7.3) nell'arco di tre momenti:

- in data 31-01-2011, durante la mattinata (ore 09:50-11:25 circa), per tutti i piani dell'edificio limitatamente ai valori dell'aria al centro di ogni stanza ad una quota approssimativa di 2,00 m. Non è stata in questa occasione tenuta traccia della condizione di apertura o chiusura delle porte;

- in data 21-02-2011 durante la mattinata (ore 09:40-12:15 circa), per tutti i piani dell'edificio con misurazione, successivamente ai valori relativi all'aria al centro delle stanze rilevati alla quota approssimativa di 2,00 m, della temperatura superficiale di alcune pareti ritenute rappresentative delle stanze;

- in data 14-03-2011 nel pomeriggio (ore 15:10-16:15 circa), limitatamente ai piani primo e secondo, con misurazione dei valori relativi all'aria e di alcuni valori temperatura superficiale di parete. La quota approssimativa cui le misure sono riferite è pari a 1,50 m.

# 7.4.2 Visualizzazione dei risultati

Sono riportati sulle piante dell'edificio (fig. 7.4-7.13), separatamente per le tre giornate, i valori acquisiti nelle tre date di cui sopra. Per una migliore visualizzazione della distribuzione degli stessi sono indicate delle scale di colore, basate sul massimo e sul minimo misurati nella singola giornata, con cui le misure sono riportate. In appendice III sono invece presenti tabelle con tutti i valori disponibili: esse possono essere utili per studiare l'andamento dei valori misurati in una data stanza nel tempo e come riferimento nel proseguire del progetto.



Figura 7.3: esecuzione di misure di temperatura e umidità relativa dell'aria con il termoigrometro digitale al secondo piano dell'edificio (stanza 2F5).



Figura 7.4: misurazioni di temperatura e umidità relativa eseguite al piano interrato in data 31-01-2011 (ore 10:50 - 11:15).



Figura 7.5: misurazioni di temperatura e umidità relativa eseguite al piano terra in data 31-01-2011 (ore 10:15 - 10:50).



Figura 7.6: misurazioni di temperatura e umidità relativa eseguite al piano primo in data 31-01-2011 (ore 09:50 - 10:10).



#### Legenda: Unidità relative 73.9-79.0% / 79.1-84.3% / 84.4-89.5% / 89.6-94.8% / 94.9-100.0% Temperature 4.7-5.2°C / 5.3-5.7°C / 5.8-6.2°C / 6.3-6.7°C / 6.8-7.3°C

Figura 7.7: misurazioni di temperatura e umidità relativa eseguite al piano secondo in data 31-01-2011 (ore 11:10 - 11:25).



Figura 7.8: misurazioni di temperatura e umidità relativa eseguite al piano interrato, in condizione di porte aperte, in data 21-02-2011 (ore 10:15-10:20 relativamente all'aria e ore 12:00 relativamente alle pareti).



Figura 7.9: misurazioni di temperatura e umidità relativa eseguite al piano terra, in condizione di porte aperte fatta eccezione per quelle della stanza GF17, in data 21-02-2011 (ore 10:15-10:50 relativamente all'aria e ore 11:40-11:55 relativamente alle pareti).



Figura 7.10: misurazioni di temperatura e umidità relativa eseguite al piano primo, in condizione di porte chiuse, in data 21-02-2011 (ore 09:40-09:50 relativamente all'aria e ore 12:00 relativamente alle pareti).



Figura 7.11: misurazioni di temperatura e umidità relativa eseguite al piano secondo, in condizione di porta aperta fra 2F4 e 2F5 a porta chiusa fra 2F5 e 2F7, in data 21-02-2011 (ore 09:55 - 10:10 relativamente all'aria, e 12:15 relativamente alle pareti).



Figura 7.12: misurazioni di temperatura e umidità relativa eseguite al piano terra, in condizioni di porte aperte, in data 14-03-2011 (ore 15:10 - 16:15).



Figura 7.13: misurazioni di temperatura e umidità relativa eseguite al piano primo, in condizioni di porte aperte, in data 14-03-2011 (ore 15:10 - 16:15).

#### 7.4.3 Analisi dei risultati

Un sunto dei valori medi misurati per ogni piano in ognuna delle giornate considerate è riportato in tab. 7.3.

È evidente la presenza all'interno dell'edificio di un'elevatissima umidità, superiore al 70 % per tutte le stanze indagate. Sulla base delle misure eseguite nel portico frontale (stanza GF1), rilevate limitatamente alle prime due giornate, è verificabile che valori elevati erano presenti, al momento delle indagini, anche all'esterno.

In generale, ad eccezione della prima giornata di prova, al primo piano è presente un'umidità minore rispetto ai restanti piani indagati. Il piano interrato è invece, in media, il più umido della struttura.

I valori di temperatura dell'aria in media più alti, almeno relativamente ai primi due piani, sono presenti ove sono stati misurati valori di umidità minori.

Relativamente alla temperatura delle pareti è invece evidente come, durante la terza giornata, i valori più alti siano stati misurati nella parte anteriore dell'edificio, esposta a irraggiamento solare diretto nell'arco della mattinata.

Durante la seconda giornata non è invece riscontrabile alcuna regolarità evidente nei valori misurati ad eccezione dei valori misurati al piano interrato, sensibilmente più bassi degli altri.

	31/01/2011 ore 09:50 - 11:25		21/02/2011 or	e 11:40 - 12:15	14/03/2011 ore	e 15:10 - 16:15
	Temperatura [°C]	Umidità relativa [%]	Temperatura	Umidità relativa [%]	Temperatura [°C]	Umidità relativa [%]
Piano interrato	6,59	90,69	8,98	96,91		
Piano terra (interno)	6,95	78,51	8,70	89,60	10,67	91,83
Piano primo	6,36	81,17	9,96	78,71	11,12	84,59
Piano secondo	5,35	88,36	9,40	85,38		
Media interno	6,44	83,57	9,15	88,07	10,84	85,66
Esterno (GF1)	5,90	98,8	8,00	98,8		

Tabella 7.3: valori medi di temperatura e umidità relativa misurati all'interno della Palazzina calcolate per i vari piani.

# 7.5 Mappatura dei valori all'interno delle singole stanze

La presente parte dell'indagine ha seguito, in alcune sue parti, la norma UNI 10829:1999, che fornisce tecniche di misurazione ed analisi delle grandezze termoigrometriche per la conservazione di beni di interesse storico o artistico. Tale norma propone un monitoraggio molto più articolato di quello qui proposto, con l'esecuzione di misurazioni in continuo e il maggior numero di grandezze considerate, quali l'illuminamento. Tale norma è quindi stata usata semplicemente quale riferimento per le indagini, nella parte qui sviluppata, ma non è stata seguita in modo organico.

Un'ulteriore riferimento nella pianificazione dell'indagine è relativo ad uno studio compiuto sul santuario del Lavello a Calolziocorte (Rosina e Suardi, 1997) ove mappature come quelle qui elaborate sono state utilizzate congiuntamente alla termografia e a prove gravimetriche in particolare per la ricerca di elementi potenzialmente nocivi per l'apparato decorativo interno del Santuario.

# 7.5.1 Procedura preparatoria

Includendo la campagna d'indagine un elevato numero di misure da eseguirsi in ogni stanza in punti precisi sono state innanzitutto individuate in detti locali le stazioni di misura disposte a formare una griglia sul pavimento con passo fissato singolarmente per ogni vano ma, in linea di massima, caratterizzate da una distanza fra una stazione e l'altra di circa fra 1-2 m. Tali stazioni sono state segnate sul pavimento con l'utilizzo di gessi colorati o nastro adesivo (fig. 7.14).



Figura 7.14: fase della preparazione della griglia per le misure nella stanza 1F1.

Sono forniti, in tab. 7.4-7.7 (indicazione delle stazioni sulle piante in fig. 7.15-7.18), i passi delle griglie per ogni stanza dell'edificio ove sono state eseguite misurazioni: esse, oltre a essere indicative della risoluzione raggiunta, costituiscono anche utile riferimento per individuare l'eventuale corrispondenza di una stazione con fattori che possano aver influito sulla misura quali vicinanza di una finestra o possibile irraggiamento solare diretto.



Figura 7.15: piano interrato, disposizione delle stazioni di misura di temperatura e umidità relativa.

Tabella 7.4: passi delle griglie
utilizzate relativamente al piano
interrato.

STANZA	GRIGLIA NOMINALE					
	x [m]	y [m]				
LIE2	$x_1^{(*)} = 2,02$	$y_1^{(*)}=1,00$				
013	$x_2^{(*)} = 1,55$	$y_2^{(*)}=1,25$				
UF7	1,54	1,42				
UF8	1,40	1,42				
LIEO	Non rilevabile causa					
019	impianti					
(*) il pedice	'1' indica la	porzione di				
stanza a sud-	ovest mentre	il pedice '2'				
quella a nord-est. Le due parti sono						
idealmente divise dal restringimento						
del locale.						



Figura 7.16: piano terra, disposizione delle stazioni di misura di temperatura e umidità relativa.

Tabella 7.5: passi delle griglie	
utilizzate relativamente al piano terra	•

STANZA	GRIGLIA NOMINALE				
	x [m]	y [m]			
GF2	1,20	1,70			
GF3 e GF4	1,70	2,20			
GF5	2,15	1,56			
GF6	1,20	1,40			
GF8	1,20	1,45			
GF9	1,22	1,15			
GF10	1,22	1,61			
GF11	1,56	1,66			
GF12	2,00	1,55			
GF13	1,60	1,48			
GF14 e	1 46	1 / 8			
GF15	1,40	1,40			
GF16	1,30	1,46			
GF17	1,23	1,46			



Figura 7.17: piano primo, disposizione delle stazioni di misura di temperatura e umidità relativa.

Tabella 7.6: passi delle griglie utilizzate relativamente al piano primo.

STANZA	GRIGLIA NOMINALE						
	x [m]	y [m]					
1F1	1,25	2,10					
1F2	1,90	1,17					
1F3	1,95	1,80					
1F4	1,30	1,50					
1F5	1,55	1,55					
1F6	1,25	1,55					
1F7	1,23	1,53					
1F8	2,15	1,16					
1F9 (*)	1,95	2,13					
(*) fino al giorno 17-02-2011 compreso							
utilizzata una maglia provvisoria $x=2,00m$ y=2,00m							



Figura 7.18: piano secondo, disposizione delle stazioni di misura di temperatura e umidità relativa.

Tabella 7.7: passi delle griglie utilizzate relativamente al piano secondo.

STANZA	GRIGLIA NOMINALE				
	x [m]	x [m]			
2F5	1,50	1,25			

#### 7.5.2 Acquisizione dei dati

Le misure sono state effettuate con il termoigrometro digitale HD9216 della Deltaohm. L'operatore ha eseguito le misure lungo linee disposte secondo l'allineamento sud-est (asse y) e iniziando, per ogni stanza, dalla stazione più a sud e procedendo quindi verso est (asse x) fino al completamento della prima linea. Si è dunque passati alla linea parallela successiva ove le misure sono state eseguite in ordine opposto rispetto alla prima linea (procedendo a serpentina) fino al completamento del rilievo del locale. L'operatore ha proceduto tenendo lo strumento ad un'altezza, stimata ad occhio, pari a circa 2,00 m dal pavimento dall'inizio delle indagini al giorno 01-03-2011 e pari a circa 1,50 m successivamente.

Durante l'intera esecuzione delle misure un secondo operatore ha seguito il primo annotando manualmente le singole misure effettuate.

L'operazione è stata ripetuta più volte in diverse aree dell'edificio; stante la necessità di ottimizzare la procedura di acquisizione dati ed elaborare i primi risultati per verificare l'efficacia delle misurazioni preventivamente all'acquisizione di una mole massiccia di misure, sono state eseguite, nella prima fase dell'indagine, prove su un numero ridotto di stanze.

Nel seguito, oltre a testare almeno un intero piano per volta (sono comunque stati esclusi ambienti non rilevabili per via di materiale ingombrante posto nei locali, in particolar modo al piano interrato ed al piano secondo) per i piani terra e secondo le porte sono state tenute sistematicamente tutte aperte o tutte chiuse.

Sono quindi state selezionate, per quanto riguarda i piani terra e primo, due mappe per ogni piano, una ottenuta in condizione di porte aperte e una in condizione di porte chiuse a rappresentare il principale risultato dell'indagine.

Le rimanenti, derivanti della fase iniziale dell'indagine, fra il 14-02-2011 e il 17-03-2011, sono da considerarsi prove preliminari. In questa prima parte dell'indagine, essendo ancora limitato il numero di misure disponibili, tali risultati sono stati ugualmente elaborati onde incrementare i dati disponibili per le prime considerazioni.

Con il proseguire dei previsti monitoraggi sulla Palazzina verrà valutato se mantenere o scartare tali dati una volta disponibili una popolazione di misure più ampia.

In tab. 7.8 sono riassunte tutte le stanze indagate dal 14-02-2011 al 14-03-2011 suddivise per data e per piano.

Πάτα	PIANO	Ωρλ	CODICI STANZE (PAP $4$ 1)	Note
14-02-2011	Primo	<i>09:40-11:07</i>	1F2 e 1F9	Misure di prova
17-02-2011 (le singole stanze	Terra	10:00-10:15	GF6, GF8, GF9 e GF10	Misure di prova
sono state indagate senza seguire l'ordine	Primo	09:25-11:35	1F1, 1F2, 1F4, 1F5, 1F6, 1F7, 1F8 e 1F9	Misure di prova
dettato dal piano di appartenenza)	Secondo	10:35	2F5	
01-03-2011	Interrato	15:15-15:30	UF3, UF7 e UF8	
07-03-2011	Terra	10:50-12:15	GF2, GF3, GF4, GF5, GF6, GF6, GF8, GF9, GF10, GF11, GF12, GF13, GF14, GF15, GF16, GF17	Porte chiuse
09-03-2011	Terra	09:20-10:15	GF2, GF3, GF4, GF5, GF6, GF6, GF8, GF9, GF10, GF11, GF12, GF13, GF14, GF15, GF16, GF17	Porte aperte
	Primo	10:55-11:40	1F1, 1F2, 1F3, 1F4, 1F5, 1F6, 1F7, 1F8 e 1F9	Porte chiuse
	Secondo	10:20	2F5	
14-03-2011	Primo	12:55-14:00	1F1, 1F2, 1F3, 1F4, 1F5, 1F6, 1F7, 1F8 e 1F9	Porte aperte

Tabella 7.8: misure disponibili.

### 7.5.3 Visualizzazione dei dati

È stato utilizzato, per visualizzare i dati, il software SURFER della Golden Software (versione 9), previo inserimento delle coordinate delle stazioni e dei valori di temperatura e umidità relativa in fogli di calcolo appositamente formattati.

L'elaborazione è stata effettuata singolarmente per ogni stanza studiata e solo successivamente sono stati riuniti, in un'unica tavola, i risultati di ogni piano formati dall'unione di quelli dei singoli locali. La risoluzione scelta per la rappresentazione finale delle mappe tramite isolinee è di una linea ogni 0,05 °C per quanto riguarda la temperatura e dello 0,1% per quanto riguarda l'umidità relativa.

Tali valori, oltre ad essere adeguati alla sensibilità strumentale, sono stati specificatamente scelti in base a considerazioni essenzialmente grafiche, onde rendere leggibili tutte le mappe, ove sono presenti gradienti di temperatura molto diversi da un caso all'altro.

Causa la non perfetta perpendicolarità dei muri dei locali e il carattere rettangolare delle mappe prodotte, in un numero limitato di casi le mappe delle singole stanze sembrano estendersi su parte delle stanze adiacenti o su elementi quali bancali di finestre o canne fumarie. Essendo però le stazioni di misura state inserite in modo geometricamente corretto ossia tenendo conto dell'effettiva inclinazione dei muri, stimata con l'ausilio delle piante dell'edificio, tale problema non ha valenza pratica.

Stante la necessità, nata da software di elaborazione scelto, di avere valori di temperatura o umidità relativa disomogenei all'interno di una stanza onde costruire una mappa con isolinee nei casi in cui i valori misurati in un dato locale fossero perfettamente uniformi tale stanza è stata elaborata unitamente a quella adiacente.

Tale circostanza si è verificata, relativamente alla temperatura, in alcune delle stanze sul retro poste al primo piano (1F7 in data 09-03-2011 e 14-03-2011 e 1F6 in data 14-03-2011). Trattandosi comunque di una forzatura dei dati l'umidità relativa è stata elaborata separatamente per le varie stanze anche ove la temperatura fosse perfettamente uniforme, non essendosi mai presentato il problema suddetto.

I dati raccolti sono visualizzati in tre gruppi in ragione dei valori minimi e massimi delle scale di colore con cui sono rappresentati:

- nel primo gruppo (fig. 7.19-7.38) le scale di colore sono riferite alla singola stanza e le mappe risultanti sono quindi particolarmente utili per individuare i gradienti all'interno di ogni vano oltre che l'eventuale influenza che le singolarità presenti possono avere avuto sulle misure;

- nel secondo gruppo (fig. 7.39-7.58) le scale di colore sono costanti per la singola tavola in esame (un piano), quindi per le misure che si possono considerare essere state eseguite contemporaneamente. Le mappe sono quindi più indicate per considerazioni più generali quali l'influenza che l'irraggiamento solare esercita sull'edificio;

- nel terzo gruppo (fig. 7.59-7.78) le scale di colore sono costanti per l'intera indagine e le mappe risultanti sono particolarmente utili per un raffronto globale sulle condizioni dell'edificio nelle varie giornate ove sono state eseguite misure.



Figura 7.19: mappatura della temperatura del piano interrato (01-03-2011 ore 15:15-15:30), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.20: mappatura dell'umidità relativa del piano interrato (01-03-2011 ore 15:15-15:30), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.21: mappatura della temperatura del piano terra in condizione di porte chiuse (07-03-2011 ore 10:50-12:15), scala di colori riferita alla singola stanza. Il forte calore osservabile nella parte nord-ovest della stanza GF10 è dovuto al riscaldamento di tale porzione di locale per altre indagini.



Figura 7.22: mappatura della temperatura del piano terra in condizione di porte aperte (09-03-2011 ore 10:55-11:40), scala di colori riferita alla singola stanza.


Figura 7.23: mappatura dell'umidità relativa del piano terra in condizione di porte chiuse (07-03-2011 ore 10:50-12:15), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.24: mappatura dell'umidità relativa del piano terra in condizione di porte aperte (09-03-2011 ore 10:55-11:40), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.25: mappatura della temperatura del piano primo in condizione di porte chiuse (09-03-2011 ore 09:20-10:15), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.26: mappatura della temperatura del piano primo in condizione di porte aperte (14-03-2011 ore 12:55-14:00), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.27: mappatura dell'umidità relativa del piano primo in condizione di porte chiuse (09-03-2011 ore 09:20-10:15), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.28: mappatura dell'umidità relativa del piano primo in condizione di porte aperte (14-03-2011 ore 12:55-14:00), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.29: mappatura della temperatura del piano secondo (17-02-2011 ore 10:35), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.30: mappatura della temperatura del piano secondo (09-03-2011 ore 10:20), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.31: mappatura dell'umidità relativa del piano secondo (17-02-2011 ore 10:35), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.32: mappatura dell'umidità relativa del piano secondo (09-03-2011 ore 10:20), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.33: mappatura della temperatura del piano terra (17-02-2011 ore 10:00-10:15), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.35: mappatura della temperatura del piano primo (14-02-2011 ore 09:40-11:07), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.34: mappatura dell'umidità relativa del piano terra (17-02-2011 ore 10:00-10:15), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.36: mappatura dell'umidità relativa del piano primo (14-02-2011 ore 09:40-11:07), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.37: mappatura della temperatura del piano primo (17-02-2011 ore 09:25-11:35), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.38: mappatura dell'umidità relativa del piano primo (17-02-2011 ore 09:25-11:35), scala di colori riferita alla singola stanza.



Figura 7.39: mappatura della temperatura del piano interrato (01-03-2011 ore 15:15-15:30), scala di colori riferita alla singola tavola (9,3-13,1 °C).



Figura 7.40: mappatura dell'umidità relativa del piano interrato (01-03-2011 ore 15:15-15:30), scala di colori riferita alla singola tavola (71,0-81,7%).



Figura 7.41: mappatura della temperatura del piano terra in condizione di porte chiuse (07-03-2011 ore 10:50-12:15), scala di colori riferita alla singola tavola (7,6-11,0 °C). Il forte calore osservabile nella parte nord-ovest della stanza GF10 è dovuto al riscaldamento di tale porzione di locale per altre indagini.



Figura 7.42: mappatura della temperatura del piano terra in condizione di porte aperte (09-03-2011 ore 10:55-11:40), scala di colori riferita alla singola tavola (6,9-15,0 °C).



Figura 7.43: mappatura dell'umidità relativa del piano terra in condizione di porte chiuse (07-03-2011 ore 10:50-12:15), scala di colori riferita alla singola tavola (31,5-73,6%).



Figura 7.44: mappatura dell'umidità relativa del piano terra in condizione di porte aperte (09-03-2011 ore 10:55-11:40), scala di colori riferita alla singola tavola (43,1-60,9%).



Figura 7.45: mappatura della temperatura del piano primo in condizione di porte chiuse (09-03-2011 ore 09:20-10:15), scala di colori alla singola tavola (6,6-13,2 °C).



Figura 7.46: mappatura della temperatura del piano primo in condizione di porte aperte (14-03-2011 ore 12:55-14:00), scala di colori riferita alla singola tavola (10,9-11,8 °C).



Figura 7.47: mappatura dell'umidità relativa del piano primo in condizione di porte chiuse (09-03-2011 ore 09:20-10:15), scala di colori riferita alla singola tavola (33,5-69,3%).



Figura 7.48: mappatura dell'umidità relativa del piano primo in condizione di porte aperte (14-03-2011 ore 12:55-14:00), scala di colori riferita alla singola tavola (76,5-85,9%).



Figura 7.49: mappatura della temperatura del piano secondo (17-02-2011 ore 10:35), scala di colori riferita alla singola tavola (10,3-10,7 °C).



Figura 7.50: mappatura della temperatura del piano secondo (09-03-2011 ore 10:20), scala di colori alla singola tavola (6,3-6,4°C).



Figura 7.51: mappatura dell'umidità relativa del piano secondo (17-02-2011 ore 10:35), scala di colori riferita alla singola tavola (82,5-83,5%).



Figura 7.52: mappatura dell'umidità relativa del piano secondo (09-03-2011 ore 10:20), scala di colori riferita alla singola tavola (65,0-66,5%).



Figura 7.53: mappatura della temperatura del piano terra (17-02-2011 ore 10:00-10:15), scala di colori riferita alla singola tavola (10,0-11,1°C).



Figura 7.55: mappatura della temperatura del piano primo (14-02-2011 ore 09:40-11:07), scala di colori riferita alla singola tavola (11,1-12,0°C).



Figura 7.57: mappatura della temperatura del piano primo (17-02-2011 ore 09:25-11:35), scala di colori riferita alla singola tavola (10,3-14,0 °C).



Figura 7.54: mappatura dell'umidità relativa del piano terra (17-02-2011 ore 10:00-10:15), scala di colori riferita alla singola tavola (80,4-86,8%).



Figura 7.56: mappatura dell'umidità relativa del piano primo (14-02-2011 ore 09:40-11:07), scala di colori riferita alla singola tavola (76,8-84,5%).



Figura 7.58: mappatura dell'umidità relativa del piano primo (17-02-2011 ore 09:25-11:35), scala di colori riferita alla singola tavola (73,3-85,0%).



Figura 7.59: mappatura della temperatura del piano interrato (01-03-2011 ore 15:15-15:30), scala di colori riferita all'intera indagine (6,3-15,0 °C).



Figura 7.60: mappatura dell'umidità relativa del piano interrato (01-03-2011 ore 15:15-15:30), scala di colori riferita all'intera indagine (31,5-86,8%).



Figura 7.61: mappatura della temperatura del piano terra in condizione di porte chiuse (07-03-2011 ore 10:50-12:15), scala di colori riferita all'intera indagine (6,3-15,0 °C). Il forte calore osservabile nella parte nord-ovest della stanza GF10 è dovuto al riscaldamento di tale porzione di locale per altre indagini.



Figura 7.62: mappatura della temperatura del piano terra in condizione di porte aperte (09-03-2011 ore 10:55-11:40), scala di colori riferita all'intera indagine (6,3-15,0 °C).



Figura 7.63: mappatura dell'umidità relativa del piano terra in condizione di porte chiuse (07-03-2011 ore 10:50-12:15), scala di colori riferita all'intera indagine (31,5-86,8%).



Figura 7.64: mappatura dell'umidità relativa del piano terra in condizione di porte aperte (09-03-2011 ore 10:55-11:40), scala di colori riferita all'intera indagine (31,5-86,8%).



Figura 7.65: mappatura della temperatura del piano primo in condizione di porte chiuse (09-03-2011 ore 09:20-10:15), scala di colori riferita all'intera indagine (6,3-15,0 °C).



Figura 7.66: mappatura della temperatura del piano primo in condizione di porte aperte (14-03-2011 ore 12:55-14:00), scala di colori riferita all'intera indagine (6,3-15,0 °C).



Figura 7.67: mappatura dell'umidità relativa del piano primo in condizione di porte chiuse (09-03-2011 ore 09:20-10:15), scala di colori riferita all'intera indagine (31,5-86,8%).



Figura 7.68: mappatura dell'umidità relativa del piano primo in condizione di porte aperte (14-03-2011 ore 12:55-14:00), scala di colori riferita all'intera indagine (31,5-86,8%).



Figura 7.69: mappatura della temperatura del piano secondo (17-02-2011 ore 10:35), scala di colori riferita all'intera indagine (6,3-15,0 °C).



Figura 7.70: mappatura della temperatura del piano secondo (09-03-2011 ore 10:20), scala di colori all'intera indagine (6,3-15,0 °C).



Figura 7.71: mappatura dell'umidità relativa del piano secondo (17-02-2011 ore 10:35), scala di colori riferita all'intera indagine (31,5-86,8%).



Figura 7.72: mappatura dell'umidità relativa del piano secondo (09-03-2011 ore 10:20), scala di colori riferita all'intera indagine (31,5-86,8%).



Figura 7.73: mappatura della temperatura del piano terra (17-02-2011 ore 10:00-10:15), scala di colori riferita all'intera indagine (6,3-15,0 °C).



Figura 7.75: mappatura della temperatura del piano primo (14-02-2011 ore 09:40-11:07), scala di colori riferita all'intera indagine (6,3-15,0 °C).



Figura 7.77: mappatura della temperatura del piano primo (17-02-2011 ore 09:25-11:35), scala di colori riferita all'intera indagine (6,3-15,0 °C).



Figura 7.74: mappatura dell'umidità relativa del piano terra (17-02-2011 ore 10:00-10:15), scala di colori riferita all'intera indagine (31,5-86,8%).



Figura 7.76: mappatura dell'umidità relativa del piano primo (14-02-2011 ore 09:40-11:07), scala di colori riferita all'intera indagine (31,5-86,8%).



Figura 7.78: mappatura dell'umidità relativa del piano primo (17-02-2011 ore 09:25-11:35), scala di colori riferita all'intera indagine (31,5-86,8%).

## 7.5.4 Commento ai risultati

Relativamente ai gradienti all'interno delle singole stanze, quindi con riferimento alla prima serie di mappature, il principale risultato osservabile è una riduzione dell'umidità relativa nella parte frontale dell'edificio per le stanze dotate di una parete sulla facciata principale (sud-est), accompagnata spesso da un aumento di temperatura, sebbene detto aumento sia meno sistematico e meno evidente di quello dell'umidità relativa. Tale fenomeno è particolarmente ben osservabile nelle due logge laterali al primo piano (1F1 e 1F3). Essendo la parte sud-est esposta a irraggiamento solare diretto durante la mattinata la spiegazione di tale comportamento è probabilmente da ricercarsi in tale elemento. Nella loggia frontale tale fenomeno non pare manifestarsi in tutti i casi: non essendo disponibili informazioni sulla condizione delle tende al momento delle misure è probabile, sulla base dei dati, che queste fossero chiuse al momento dell'acquisizione.

Soprattutto per quanto concerne la temperatura, ma in buona parte dei casi anche l'umidità relativa, il gradiente presente all'interno di una singola stanza è però troppo modesto per essere interpretabile in ragione degli elementi che causano tali variazioni che appaiono, in massima parte, casuali: è quindi possibile concludere che, ad eccezione dei già descritti effetti sulle logge, i parametri misurati all'interno delle stanze non riscaldate, in condizioni invernali, sono pressoché uniformi.

Relativamente ai gradienti all'interno dei singoli piani (seconda serie di mappature) è possibile evidenziare, per i piani primo e secondo, una temperatura sensibilmente maggiore nella parte anteriore dell'edificio, accompagnata da una minore umidità relativa. Il gradiente che precedentemente non era visibile all'interno di una singola stanza è ora apprezzabile fra le diverse stanze. Tale comportamento è apprezzabile sia con porte aperte che con porte chiuse. Essendo tutti i dati stati acquisiti fra le ore 9:00 e le ore 14:00 non sono disponibili informazioni sulla distribuzione di temperature nel pomeriggio, una volta cessati gli effetti dell'irraggiamento solare diretto sulla facciata sud-est. I piani interrato e secondo sono invece stati indagati in modo troppo limitato per trarre considerazioni sui risultati ottenuti, almeno in questa prima parte del monitoraggio.

Relativamente ai gradienti misurati nell'intera indagine (terza serie di mappature) i risultati sono di difficile interpretazione essendo i dati stati acquisiti a orari diversi da un piano all'altro: è comunque evidenziabile, per via della scala utilizzata, una maggior uniformità dei valori misurati a porte aperte, in particolar modo al primo piano.

## 7.6 Monitoraggio in continuo

## 7.6.1 Procedura operativa

L'indagine è stata essenzialmente condotta ponendo il termoigrografo analogico MT 1500 all'interno di una stanza per un periodo di tempo minimo pari a 24 ore (fig. 7.79). Detto strumento è stato tipicamente posto su un cassetto appoggiato sul pavimento del locale ad un'altezza approssimativa di circa 20 cm dal pavimento.

Occasionalmente, in particolar modo con il proseguire delle indagini, è stata tenuta traccia della condizione di porte interne e tende: detti elementi sono infatti stati aperti (o chiusi) simultaneamente al posizionamento del termoigrografo in una data stanza. Non sussistono comunque garanzie, dal momento che all'interno della Palazzina è stato presente personale vario in relazione ai lavori di ristrutturazione in corso, che la condizione prescelta sia stata mantenuta per l'intero periodo della misura.

I fogli necessari al funzionamento dello strumento sono stati cambiati, quando possibile, con cadenza settimanale come necessario al normale funzionamento dello strumento: ove questo non sia stato fatto, tipicamente per mancanza di personale disponibile, ove la carica dello strumento non fosse esaurita esso ha proseguito a registrare valori sul foglio già montato sul tamburo, ripartendo quindi dall'inizio. Tali dati sono stati comunque utilizzati previo calcolo del momento di acquisizione dei valori eseguito a posteriori rispetto alla rimozione del foglio, eseguito assumendo una velocità di rotazione del tamburo costante e stimando quindi il tempo necessario affinché le punte inchiostrate, una volta terminato il foglio, superino una piccola lama metallica necessaria a reggere lo stesso (fig. 7.80), e ricomincino a registrare dati. Detto tempo è stato calcolato pari a cinque ore: sono così spiegabili le lacune di cinque ore nei dati presenti in molti fasi del monitoraggio. Ulteriori lacune sono presenti in ragione dell'esaurimento della carica dello strumento senza che fosse disponibile personale per verificare tale condizione e sostituite il foglio.

Un'ultima anomalia è costituita dal fatto che, sebbene le misurazioni di temperatura e umidità relativa vengano arrestate simultaneamente i valori finali delle due grandezze sono spesso riferiti a due momenti diversi: la differenza è

tipicamente limitata a una o due ore e probabilmente dovuta ad un'imperfezione nelle griglie presenti nei fogli nelle quali, per quanto riguarda la parte finale, è presente un disallineamento fra la parte relativa alla temperatura e quella relativa all'umidità; tale elemento è riscontrabile con la semplice osservazione del foglio. Essendo tale problema circoscritto ad un'area limitata del foglio di carta diagrammale e quindi ad una porzione limitata dei dati questi ultimi sono stati conservati con lo sfasamento originale, ritenendo che tale problema non infici la popolazione dei dati nel suo complesso.



Figura 7.79: termoigrografo analogico Figura 7.80: dettaglio della lamina in funzione al primo piano della Palazzina (stanza 1F2).



metallica causa di diverse lacune nei dati finali (evidenziata da un rettangolo rosso sulla foto).

È riportata in tab. 7.9 la cronologia completa degli spostamenti subiti dallo strumento dall'inizio delle indagini, in data 31-01-2011, alla fine delle stesse, in data 10-05-2011. Eventuali note aggiuntive sono anch'esse riportate. La ripetizione di più indicazioni uguali è indicativa di meri controlli delle condizioni interne per accertare che queste fossero ancora quelle prescelte; l'indicazione è ripetuta anche ad ogni cambiamento del foglio quale indicazione delle condizioni iniziali.

In una singola occasione, in data 21-02-2011, caratterizzata da nuvole con pioggia a tratti, contestualmente all'indagine con il termoigrografo, posto in tale occasione su un ponteggio posto nella stanza 1F9, a circa 3,20 m dal pavimento della stanza, sono state eseguite ulteriori misure con il termoigrometro digitale HD9216 (tab. 7.10), alla quota approssimativa di 2,00 m dal pavimento, ai piedi di detto ponteggio e all'esterno dell'edificio (angoli est e ovest del fabbricato). Tali misure saranno utili nel seguito delle indagini quale elemento di confronto con altre popolazioni di dati.

Tabella 7.9: posizioni del termoigrografo, elenco completo dall'inizio delle indagini.

DATA	Ora	Foglio		NOTE (le condizioni di apertura e chiusura di
			STANZA porte e finestre sono da intendersi realizzate al	
31-01-2011	10:00		1F9	momento del posizionamento dello sirumento)
01-02-2011	09:00		1F3	
02-02-2011	09:00	T	1F1	
02-02-2011	16:00	1	1F1	Porte interne e tende aperte
03-02-2011	09:00		1F2	
03-02-2011	16:00		1F2	Porte interne e tende chiuse
07-02-2011	09:00		1F6	Porte interne aperte
08-02-2011	12:00		1F2	
09-02-2011	15:00	II	UF7	
10-02-2011	17:00		2F5	
12-02-2011	09:00		GF8	
14-02-2011	15:00	III	GF15	
17-02-2011	09:00		GF10	
	11:00		Angolo	
19-02-2011			fra GF3 e	
			GF5	
21-02-2011	09:30		1F9	Porte interne chiuse (strumento su ponteggio
21 02 2011				alla quota di circa 3,20 m)
23-02-2011	09:30	IV	1F9	Porte interne chiuse (strumento spostato a terra)
24-02-2011	09:40		1F2	Porte interne e tende chiuse
25-02-2011	11:00		GF17	Porte interne chiuse
03-03-2011	12:30	V	GF17	
07-03-2011	10:00		GF17	
09-03-2011	12:15	VI	GF12	Porte interne aperte
11-03-2011	14:00		GF6	
14-03-2011	12:30		GF9	Porta interna aperta
16-03-2011	10:40	VII	1F2	Porte interne e tende aperte
18-03-2011	09:30		1F2	Porte interne chiuse e tende aperte
21-03-2011	14:00		1F4	Porte interne aperte
23-03-2011	18:15	VIII	1F4	Porte interne chiuse (una di esse non presenta
				però una chiusura imperfetta)

DATA	Ora	Foglio	NOTE (le condizioni di apertura e chiusura di		
			Stanza	porte e finestre sono da intendersi realizzate al momento del posizionamento dello strumento)	
25-03-2011	13:30		1F3Porte interne chiuse e tende aperte		
				Porte interne e tende aperte (nel tempo	
04-04-2011	09:30		1F3	intercorso dal 25-03-2011 non si è certi della	
		IX		condizione di porte e finestre)	
05-04-2011	10:00		1F2	Porte interne chiuse e tende aperte	
21-04-2011	09:50		1F2	Porte interne chiuse e tende aperte	
21-04-2011	09:55		1F2	Porte interne chiuse e tende aperte	
25-04-2011	09:50		1F2	Porte interne chiuse e tende aperte	
27-04-2011	09:00	X	1F9	Porte interne aperte	
27.04.2011	15:00	Λ	1E0	Porte interne chiuse (le porte erano ancora	
27-04-2011	13.00		11.2	aperte dallo spostamento precedente)	
28-04-2011	15:00		1F8		
03-05-2011	10:00		1F9		
	9:30	XI	1F3	Porte interne e tende chiuse. Lavori in corso	
09-05-2011				nella zona monitorata impediscono di tenere	
				conto della condizione di porte e tende	
	15:45		1F3	Temine monitoraggio con termoigrografo (al	
10-05-2011				momento del termine del monitoraggio tutte le	
				porte interne erano aperte ad eccezione della	
				W1F31)	

Tabella 7.10: misurazioni con termoigrometro (a 2,00 m di altezza) contestuali al monitoraggio con termoigrografo della stanza 1F9 (a 3,20 metri di altezza).

Ora	Esterno	INTERNO EDIFICIO	
	<b>ANGOLO EST</b>	ANGOLO OVEST	STANZA 1P9
9:30	T=8,6°C		T=10,5°C
	RH=100,0%		RH=77,0%
10:00	T=7,6°C	T=7,0°C	T=8,6°C
	RH=98,3%	RH=100,0%	RH=92,5%
10:30	T=7,2°C	T=7,3%	T=9,5°C
	RH=100,0%	RH=100,0%	RH=83,3%
11:00	T=7,3°C	T=7,4°C	T=8,3°C
	RH=100,0%	RH=100,0%	RH=93,4%
11:30	T=8,1°C	T=8,3°C	T=9,2°C
	RH=93,1%	RH=91,2%	RH=88,2%
12:00	T=8,0°C	T=7,9°C	T=9,2°C
	RH=87,5%	RH=89,3%	RH=85,3%

## 7.6.2 Visualizzazione dei risultati

Essendo le misure prodotte su fogli di carta diagrammale posti sullo strumento non è possibile alcuna operazione matematica su di essi, quale anche una semplice media dei valori, se non previo una digitalizzazione degli stessi.

È stato quindi necessario procedere alla ricopiatura dei valori letti sui fogli originali su supporto informatico e alla successiva ricostruzione dei grafici con un foglio di calcolo. La risoluzione prescelta nell'operazione è, per quanto riguarda il tempo, di un valore ogni ora mentre, per quanto riguarda i parametri misurati, il decimo di grado (relativamente alla temperatura) ed il punto percentuale per quanto concerne all'umidità relativa).

Essendo tutti detti intervalli più bassi del passo delle griglie presenti nei fogli dello strumento le misure sono stati assegnate previa valutazione visiva del valore più adeguato, senza nessuna procedura accessoria se non un ingrandimento del foglio per favorirne la lettura.

A seguito della digitalizzazione di più fogli è facilmente notabile che, sulla scala verticale, su cui sono poste le misure di temperatura e umidità relativa, soprattutto a seguito della sensibile dilatazione della stessa possibile nei fogli digitalizzati non essendo necessaria una rappresentazione dell'intero intervallo di misura dello strumento, la lettura dei grafici è molto facilitata. Sulla scala orizzontale invece, ossia quella su cui è rappresentato il tempo, cambiamenti repentini dei valori sono stati occasionalmente persi nella digitalizzazione, essendo la reattività dello strumento molto superiore ad un'ora. Osservando i dati nel loro complesso tale elemento non inficia comunque i risultati in modo significativo essendo la parte di dati eventualmente persa relativa a intervalli temporali molto limitati.

Sono stati considerati i fogli a partire dal foglio IV compreso, ossia dal giorno 21-02-2011, essendo la parte precedente già stata elaborata (vedasi Pulcini, 2011) e, per ognuno dei fogli sono di seguito mostrati i seguenti elementi (fig. 7.81-7.112):

- la scansione del foglio originale;

- un diagramma, con i valori di temperatura e umidità relativa, risultato della digitalizzazione del foglio originale;

- due ulteriori diagrammi, analoghi al precedente ma con una sola grandezza visualizzata.

Sono successivamente mostrati tre diagrammi costituenti un riepilogo di tutte le misure disponibili per i fogli IV-XI (fig. 7.113-7.115).



Figura 7.81: foglio di carta diagrammale n. IV.



Figura 7.82: diagramma digitalizzato relativamente al foglio IV (periodo dal 21-02-2011 al 01-03-2011).



Figura 7.83: monitoraggio della temperatura, foglio IV (periodo dal 21-02-2011 al 01-03-2011).



Figura 7.84: monitoraggio dell'umidità relativa, foglio IV (periodo dal 21-02-2011 al 01-03-2011).



Figura 7.85: foglio di carta diagrammale n. V.



Figura 7.86: diagramma digitalizzato relativamente al foglio V (periodo dal 03-03-2011 al 07-03-2011).



Figura 7.87: monitoraggio della temperatura, foglio V (periodo dal 03-03-2011 al 07-03-2011).



igura 7.88: monitoraggio dell'umidità relativa, foglio V (periodo dal 03-03-2011 al 07-03-2011).



Figura 7.89: foglio di carta diagrammale n. VI.



Figura 7.90: diagramma digitalizzato relativamente al foglio VI (periodo dal 07-03-2011 al 14-03-2011).



Figura 7.91: monitoraggio della temperatura, foglio VI (periodo dal 07-03-2011 al 14-03-2011).





Figura 7.93: foglio di carta diagrammale n. VII.



Figura 7.94: diagramma digitalizzato relativamente al foglio VII (periodo dal 14-03-2011 al 20-03-2011).



Figura 7.95: monitoraggio della temperatura, foglio VII (periodo dal 14-03-2011 al 20-03-2011).



Figura 7.96: monitoraggio dell'umidità relativa, foglio VII (periodo dal 14-03-2011 al 20-03-2011).


Figura 7.97: foglio di carta diagrammale n. VIII relativo al periodo dal 21-03-2011 ore 14:00.



*Figura 7.98: diagramma digitalizzato relativamente al foglio VIII (periodo dal 21-03-2011 al 03-04-2011).* 



Figura 7.99: monitoraggio della temperatura, foglio VIII (periodo dal 21-03-2011 al 03-04-2011).



Figura 7.100: monitoraggio dell'umidità relativa, foglio VIII (periodo dal 21-03-2011 al 03-04-2011).



Figura 7.101: foglio di carta diagrammale n. IX.



Figura 7.102: diagramma digitalizzato relativamente al foglio IX (periodo dal 04-04-2011 al 12-04-2011).



Figura 7.103: monitoraggio della temperatura, foglio IX (periodo dal 04-04-2011 al 12-04-2011).



Figura 7.104: monitoraggio dell'umidità relativa, foglio IX (periodo dal 04-04-2011 al 12-04-2011).



Figura 7.105: foglio di carta diagrammale n. X.



Figura 7.106: diagramma digitalizzato relativamente al foglio X (periodo dal 21-04-2011 al 02-05-2011).



Figura 7.107: monitoraggio della temperatura, foglio X (periodo dal 21-04-2011 al 02-05-2011).



(periodo dal 21-04-2011 al 02-05-2011).



Figura 7.109: foglio di carta diagrammale n. XI.



Figura 7.110: diagramma digitalizzato relativamente al foglio XI (periodo dal 03-05-2011 al 10-05-2011).



Figura 7.111: monitoraggio della temperatura, foglio XI (periodo dal 03-05-2011 al 10-05-2011).



Figura 7.112: monitoraggio dell'umidità relativa, foglio XI (periodo dal 03-05-2011 al 10-05-2011).



Figura 7.113: monitoraggio di temperatura e umidità relativa con termoigrografo nel periodo dal 21-02-2011 al 11-05-2011.



Figura 7.114: monitoraggio di temperatura con termoigrografo nel periodo dal 21-02-2011 al 11-05-2011.



Figura 7.115: monitoraggio dell'umidità relativa con termoigrografo nel periodo dal 21-02-2011 al 11-05-2011.

### 7.6.3 Analisi dei risultati

Da una prima analisi qualitativa dei dati ottenuti appare evidente come un irraggiamento solare diretto della stanza indagata causi un innalzamento immediato dei valori di temperatura misurati; detto comportamento è particolarmente evidente nelle logge al primo piano (stanze 1F2 e 1F3) durante la mattinata. Tali picchi sono tipicamente associati a riduzioni, seppur meno evidenti e meno sistematiche, dell'umidità relativa.

Sono presenti, ad un'osservazione attenta, due tipologie distinte di picchi quando il termoigrografo sia posto nelle logge in condizioni di tende aperte: nel foglio IX ad esempio, relativamente al periodo in cui lo strumento è stato posto nella loggia centrale 1F2 (dal 05-04-2011 al 12-04-2011) è possibile vedere innalzamenti di temperatura protratti per buona parte della mattinata, da cui è possibile desumerne che l'irraggiamento solare interessi la stanza nel suo complesso ma probabilmente non direttamente lo strumento.

Nel foglio IX invece, relativamente al periodo in cui lo strumento è stato posto nella loggia sinistra 1F3, è possibile vedere, oltre ai suddetti innalzamenti, picchi estremamente localizzati e pronunciati che sono probabilmente da mettere in relazione con l'irraggiamento solare diretto dello strumento.

Effettuate queste prime considerazioni qualitative sono stati quindi calcolati i valori medi per ogni stanza (tab. 7.11 e fig. 7.116-7.117), e condizione di apertura (o chiusura) di tende e porte interne per l'intero periodo cui lo strumento si è trovato consecutivamente in tali condizioni.

Sono stati considerati i soli spostamenti effettivi: elementi quali il cambiamento nel foglio dello strumento, o lacune nei dati dovute all'esaurimento del foglio montato sullo strumento, non sono stati considerati quali istanti in cui suddividere i dati in due popolazioni.

È evidente come, relativamente alle temperature medie, il contributo generale più importante sia dovuto, nell'ambito del periodo considerato, all'aumento stagionale nel passaggio fra febbraio e maggio.

Per quanto concerne l'umidità relativa invece il contributo predominante pare dovuto alla collocazione dello strumento, essendo in particolare i valori misurati nelle logge al primo piano in media inferiori ai rimanenti. Più estese considerazioni saranno possibili solo con il proseguire della campagna di monitoraggio nelle rimanenti stagioni e con la disponibilità di dati derivanti dalla rete di sensori attualmente in funzione, istallata dal dipartimento DEIS dell'Università di Bologna.

Stanza		Periodo monitorato	Temperatura media	Umidità relativa media
1F9	Porte interne chiuse	dal 21/2 al 24/2	8,9	67,1
1F2	Porte interne chiuse	dal 24/2 al 25/2	8,1	51,2
GF17		dal 25/2 al 9/3	6,3	70,9
GF12	Porte interne chiuse	dal 9/3 al 11/3	7,5	65,9
GF6		dal 11/3 al 14/3	10,3	76,4
GF9	Porte interne aperte	dal 14/3 al 16/3	11,4	88,5
1F2	Porte interne aperte	dal 16/3 al 18/3	13,1	70,2
1F2	Porte interne chiuse e tende parete	dal 18/3 al 21/3	14,7	47,4
1F4	Porte interne aperte	dal 21/3 al 23/3	13,0	48,4
1F4	Porte interne chiuse	dal 23/3 al 25/3	14,1	54,4
1F3	Porte interne chiuse e tende aperte	dal 25/3 al 3/4	17,9	49,3
1F3	Porte interne aperte	dal 4/4 al 5/4	21,0	46,5
1F2	Porte interne chiuse e tende aperte	dal 5/4 al 27/4	21,7	43,8
1F9	Porte interne aperte	27/4	19,0	61,5
1F9	Porte interne chiuse	dal 27/4 al 28/4	18,0	59,4
1F8		dal 28/4 al 3/5	17,7	64,5
1F9		dal 3/5 al 9/5	18,5	57,3
1F3		dal 9/5 al 13/5	19,8	37,7

Tabella 7.11: valori medi di temperatura e umidità relativa per le singole fasi del monitoraggio.



Figura 7.116: temperatura media misurata nelle varie condizioni di prova.





# 8 PALAZZINA DELLA VIOLA: PROVA DI PERMEABILITÀ ALL'ARIA DELL'EDIFICIO

Sono state eseguite prove di permeabilità all'aria 'blower door test' in data 23-03-2011 e 04-04-2011, in alcune zone ritenute significative della Palazzina della Viola. Le prove hanno interessato il piano terra durante la prima giornata di prova e il piano primo durante la seconda.

### 8.1 Scopi

L'indagine è tesa ad una stima della permeabilità all'aria dell'involuto edilizio del fabbricato. Mediante l'esecuzione del test su diverse porzioni di edificio sono individuabili aree più o meno efficienti dal punto di vista della tenuta all'aria. Essendo presenti numerose tipologie di infissi e solai nelle diverse aree testate è possibile, mediante un raffronto dei risultati relativi a diverse aree dell'edificio, individuare elementi particolarmente pregiudizievoli per la tenuta all'aria dell'edificio.

Essendo inusuale l'applicazione del blower door test ad edifici storici si valuterà inoltre l'idoneità intrinseca del test medesimo ad applicazioni di questo tipo.

### 8.2 Strumentazione utilizzata

La strumentazione impiegata consta di:

- ventola Minneapolis Blower Door Model 4 (fig. 8.1);

- telaio (fig. 8.3);

- software Tectite Airtightness per l'elaborazione dei risultati (fig. 8.2 e 8.4);

- un anemometro per la ricerca delle infiltrazioni d'aria;

- materiale di consumo per eseguire le sigillature quale teli di plastica e nastro adesivo.

Ogni test richiede il montaggio della ventola e del telaio atto ad accoglierla in un infisso dell'edificio. Questa macchina, atta a generare le differenze di pressione necessarie al test, prevede la possibilità di regolare la portata d'aria anche mediante il montaggio di tre anelli metallici concentrici (A, B e C) necessari in taluni casi a ridurre la portata stessa. Per le esigenze della prova in esame tuttavia, essendo la ventola spesso sottodimensionata, quest'operazione è stata raramente necessaria. Viene inoltre impiegata una centralina collegata ai vari elementi con tubi di piccolo diametro che raccoglie i dati e li invia all'elaboratore. Vengono in particolare rilevate:

- pressione interna, mediante un tubo bianco;

- pressione esterna, mediante un tubo verde a sua volta collegato ad un tubo bianco che viene posto all'esterno dell'edificio o dell'area dello stesso da testare;

- pressione del ventilatore, mediante un tubo rosso,

- pressione di un punto vicino al ventilatore, mediante un tubo blu.

Tutto il sistema di acquisizione è collegato a un computer che riceve i dati in tempo reale ed uno specifico software li elabora. Seguono alcune immagini della strumentazione nelle fig. 8.1-8.4.



Figura 8.1: ventola, e relativo telaio, montata ad una finestra dell'edificio in occasione dell'esecuzione del test al il piano terra (finestra WGF5).



Figura 8.2: esempio di misurazione con anemometro eseguita all'interfaccia fra telaio della porta d'ingresso principale dell'edificio e la trave in legno sovrastante.



montata ad una porta interna in anemometro eseguita sul pavimento occasione dell'esecuzione del test nella della stanza GF6. stanza GF6 (porta fra la stanza GF3 e la stanza GF6).



Figura 8.3: ventola e relativo telaio, Figura 8.4: esempio di misurazione con

### 8.3 Procedura preparatoria

Da un'ispezione visuale preventiva è stata constatata la palese scarsa tenuta all'aria dell'edificio. Questo, oltre a motivi legati alla storicità dell'edificio è in parte legato allo stato di abbandono in cui l'edificio stesso versa da alcuni anni. Sono stati, infatti, individuati elementi quali serramenti deteriorati e quindi non più perfettamente chiudibili, oppure semplicemente deteriorati e quindi con evidenti perdite fra vetro e telaio. Detti elementi, unitamente alla presenza di pavimenti a tenuta non ermetica, quali quello posato su magatelli in legno nella stanza GF6 hanno palesato una situazione critica per quanto riguarda la tenuta all'aria.

Lo stato di abbandono ha comunque richiesto la sigillatura di tutte le aperture presenti per portarlo nelle condizioni di permeabilità all'aria proprie dell'ultimo periodo di utilizzo. Tale operazione, dato il numero delle perdite, è stata eseguita per gli elementi ritenuti più importanti. Le condizioni di abbandono dell'edificio, unitamente alla complessità geometrica degli elementi da sigillare, non hanno favorito le operazioni di sigillatura eseguite con nastro adesivo.

Un consistente numero di sigillature sono state eseguite preventivamente alla prima giornata di prova con la sigillatura di:

- tutti i saggi nei solai presenti. Il numero di detti saggi ha richiesto di operare delle scelte su quali fosse opportuno sigillare: è stato in un primo tempo ritenuto sufficiente sigillare solo quelli fra gli orizzontamenti dell'edificio, trascurando quindi quelli contro terra presenti al piano terra dell'edificio.

- le mandate degli impianti di ventilazione eseguita, per comodità operativa, al secondo piano dell'edificio;

- tubi dell'impianto di riscaldamento e dell'impianto idraulico in generale;

- infissi presentanti vetri rotti o parzialmente mancanti, o non più chiudibili per via della fatiscenza del telaio e delle conseguenti deformazioni del materiale.

Durante la prima giornata di prova sono state operate sigillature integrative:

- le porte di volta in volta necessarie a isolare l'area in esame dal resto dell'edificio. Queste sono state a volte semplicemente chiuse e a volte sigillate mediante nastrature a seconda della bontà della fattura delle stesse valutata a occhio prima delle prove. La sigillatura è stata eseguita di volta in volta per le singole prove per non isolare aree dell'edificio e consentire la movimentazione del personale; - il vano scale in tutti i casi ove il volume da testare si affacci sul vano scale stesso. La sigillatura è avvenuta in tali casi mediante teli di plastica fissati con nastro adesivo alla parete. La scarsa adesività del nastro utilizzato, dovuto alla polvere presente in cantiere, unitamente all'elevata pressione sviluppatosi sul telo in plastica ha richiesto l'utilizzo di tavole in legno da tenere manualmente in posizione contro il telo onde scaricare parte della pressione per prevenire il distacco del nastro;

- è stata integrata la sigillatura degli scassi chiudendo anche quelli contro terra in un primo momento lasciati aperti. Sulla base di alcuni test preliminari sulle massime pressioni raggiungibili è stata infatti constatata l'opportunità di migliorare le sigillature nel tentativo di incrementare dette pressioni e sono quindi stati sigillati la totalità degli scassi. Dal confronto delle pressioni massime prima e dopo la sigillatura degli scassi contro terra è stata verificata la necessità di sigillare anche detti scassi. Tutti i risultati dei test qui presentati sono quindi ottenuti con gli scassi sigillati.

Durante la seconda giornata di prova sono stati inoltre sigillati:

- scatole dell'impianto elettrico: in questo caso è stata osservata minore sistematicità rispetto all'impianto idraulico ritenendo minore l'impatto sulla precisione dei risultati finali;

- le porte interne, per le quali è stata osservata una maggiore sistematicità rispetto al primo giorno di prove.

Non sono invece stati sigillati, giacché presenti nel normale funzionamento dell'edificio:

- soffitti a cassettoni (fig. 8.5). Alcuni dei quali al momento della prova presentavano protezioni di teli di plastica preposte a isolare dalla polvere in ragione dei lavori di ristrutturazione in corso. Tali teli non sono da ritenersi a tenuta d'aria ma è comunque probabile che interferiscano con la permeabilità all'aria del soffitto. In una singola stanza (GF13) è invece presente una protezione di carta giapponese.

- pavimenti in assito di legno su magatelli di legno al piano terra (fig. 8.6), non a tenuta ermetica (GF6 e GF17).

Ulteriori sigillature, o la mancanza delle medesime, sono indicate di volta in volta per le singole prove descritte nel seguito. Alcuni esempi di sigillature sono riportati nelle fig. 8.7-8.12.



Figura 8.5: esempio di soffitto a Figura 8.6: esempio pavimento posato cassettoni al piano terra dell'edificio (stanza GF12).



su magatelli in legno portati alla luce dopo una parziale demolizione delle assi costituenti la pavimentazione (stanza GF6).



uno scasso al piano terra dell'edificio. uno scasso passante al primo piano È visibile un modesto sollevamento dell'edificio. della plastica dovuto alla differenza di pressione indotta durante l'esecuzione del test.



Figura 8.7: esempio di sigillatura di Figura 8.8: esempio di sigillatura di



sinistra al primo piano.



Figura 8.9: esempio di sigillatura di Figura 8.10: esempio di sigillatura di una porta (W1F30) verso la loggia una porta (W1F32) tra salone e loggia sinistra al 1° piano.





Figura 8.11: esempio di sigillatura per Figura 8.12: esempio di sigillatura di un'imperfetta sanare infisso e davanzale lasciante un ampio primo piano dell'edificio (stanza 1F2). pertugio nella loggia sul fronte (stanza 1F2).

aderenza fra alcune scatole dell'impianto elettrico al

È presente un forte contrasto nella scelta di sigillare le porte interne ma non i solai dal momento che qualora si ricerchino unicamente le infiltrazioni fra l'area testata e l'esterno dell'edificio sarebbe opportuna la sigillatura tanto delle porte quanto dei solai. Se invece l'oggetto della ricerca è qualunque infiltrazione nell'area testata sarebbe opportuno lasciare nello stato in cui si trovano ambo gli elementi.

Il test è da ritenersi condotto con il secondo objettivo ma la scarsa tenuta d'aria di alcune delle porte presenti avrebbe influito troppo pesantemente sui risultati, occultando l'influenza degli altri elementi; si è quindi scelto, in alcuni casi, di sigillarle per annullare la loro influenza sui risultati finali ed evidenziare quella degli elementi ritenuti più interessanti quali solai a cassettoni e finestre.

#### 8.4 **Procedura** operativa

Ogni prova ha richiesto il montaggio preventivo della ventola su un infisso (una porta o una finestra) dell'edificio perimetrale rispetto al volume da testare.

La scelta dell'infisso per la ventola, vincolata dalle dimensioni del telaio della ventola, è stata spesso indirizzata verso una porta interna dell'edificio, elemento che presenta il vantaggio di consentire la presenza di un operatore all'esterno della stanza, necessario per coprire e scoprire la ventola e a volte per posizionare gli anelli metallici sulla ventola che, nel caso dei test in pressurizzazione, vanno obbligatoriamente montati dall'esterno.

Tale operazione non è invece possibile nel caso di montaggio su di una finestra in quota. Effettuata tale operazione viene eseguito un controllo delle principali perdite con anemometro, tipicamente alla massima pressione raggiungibile in depressurizzazione. Lo strumento viene passato sulle interfacce ipotizzate responsabili di infiltrazioni e la velocità dell'aria, se diversa da zero, testimonia la presenza di una perdita. Per comparazione fra i valori misurati in diversi punti è possibile, nell'ambito di una singola prova, individuare le maggiori criticità. Questa parte è da ritenersi esemplificativa, non essendo possibile studiare che un campione delle infiltrazioni presenti a causa dell'elevato numero delle stesse. Quando si è ritenuto opportuno procedere con questa parte, si è testato un infisso e, a volte, qualche altro elemento caratterizzante l'area di prova. Poiché la pressione massima raggiungibile, e quindi quella in cui sono state eseguite le misure, è differente di volta in volta, non è inoltre possibile confrontare i risultati di più infissi indagati durante prove diverse ma è necessario considerare le misure eseguite in ogni prova come una popolazione a sé stante.

Viene poi eseguito il test in depressurizzazione, consistente di step, a pressione decrescente (in valore assoluto) e viene costruito il diagramma d'infiltrazione d'aria. Per ogni step il software registra, ogni 100 misurazioni, un dato nel diagramma d'infiltrazione d'aria. Gli step vengono stabiliti sulla base del valore di pressione massima raggiunta nel test preliminare. In dipendenza del volume testato può essere necessario montare uno o più anelli sulla ventola per ridurre la portata: tale operazione è stata necessaria solo per le prove eseguite sui volumi più ridotti. Al termine del test il software fornisce il valore di ricambi orari alla pressione di riferimento di 50 Pa.

Viene poi eseguito il test in pressurizzazione, previa inversione del verso della ventola sul telaio. Detto test prevede step analoghi al test in pressurizzazione, semplicemente vengono generate pressioni con segno opposto. Viene anche in questo caso fornito il valore di ricambi orari alla pressione di 50 Pa.

### 8.5 Acquisizione dati

È stato eseguito un test preliminare sugli interi piani primo e secondo ed è stata constatata l'impossibilità tecnica di eseguire il test su tale volume per via delle insufficienti pressioni generabili all'interno con la strumentazione a disposizione. Si è optato per testare aree ritenute rappresentative di una certa tipologia di serramenti, soffitti o, comunque elementi costruttivi rilevanti ai fini della tenuta all'aria del fabbricato storico, costituite da un numero limitato di stanze per volta. Sebbene non ottimale dal punto di vista di un'indagine globale dell'edificio l'esecuzione di numerosi test su piccole porzioni dell'edificio ha però il pregio di consentire il confronto fra i risultati ottenuti in diverse zone dello stesso. Sono attesi risultati certamente molto diversi da una zona all'altra per via delle numerose tipologie di infissi e solai presenti.

Anche procedendo in questo modo non è però sempre possibile soddisfare la prescrizione della norma riguardante la pressione minima richiesta di 50 Pa; questo è probabilmente da imputarsi principalmente all'elevata quantità di infissi presenti, la maggior parte caratterizzati da palese scarsa tenuta d'aria, e ai soffitti in legno a cassettoni presenti in alcune stanze.

Anche nella UNI EN 13829 è però concepita la possibilità di eseguire il test con pressioni di almeno 25 Pa, sebbene solamente testare volumetrie superiori a 4000  $m^3$  (punto 5.3.4). Questo, anche se per nessuno dei test effettuati si presenta detta circostanza, dovrebbe essere indice di una qualche affidabilità, seppur limitata, anche per i risultati ottenibili con pressioni di questa entità.

Si indicherà caso per caso se le prescrizioni in merito alla pressione sono completamente soddisfatte o se è stata raggiunta solamente una pressione di almeno 25 Pa.

I dati acquisiti sono di tre tipi, per difficoltà tecniche di vario genere di volta in volta specificate, non tutti disponibili per tutte le aree di prova:

- misura preliminare delle velocità d'infiltrazione d'aria, eseguita alla massima differenza di pressione raggiungibile in depressurizzazione.

- esecuzione del test in depressurizzazione (sovente con deroga sui valori di pressione richiesti);

- esecuzione del test in pressurizzazione (sovente con deroga sui valori di pressione richiesti);

sono infine state eseguite alcune prove con fumogeni, posti all'esterno del'edificio, per ottenere un riscontro visuale delle infiltrazioni. Tali tentativi sono stati eseguiti sull'ultima configurazione di prova relativa al secondo piano.
Il complesso delle misure disponibili è riportato in tab. 8.1.

Il complesso dei test effettuati sulle volumetrie minori di un piano è riassunto nelle fig. 8.13-8.14.

N. DELLA PROVA	DATA	AREA INDAGATA (*)	POSIZIONE VENTOLA (*)	FASI DEL TEST ESEGUITE	INFISSI STUDIATI CON ANEMOMETRO (*)			
I	23-03-11	Piani primo e secondo (indagini relative ad un secondo tentativo di esecuzione del test essendo il primo stato interrotto per motivi tecnici)	WGF9	Controllo infiltrazioni (a circa 5 Pa)	WGF5 WGF28 W1F4 W1F25 Scasso S10 Pavimento in GF6 Foro sul pavimento davanti a WGF28			
Ш	23-03-11	Piano terra (indagini eseguite ad un secondo tentavo di esecuzione del test essendo il primo stato interrotto causa cedimento delle sigillature)	WGF5	Controllo infiltrazioni (a circa 30 Pa)	WGF28 WGF26			
ш	23-03-11	Piano terra (test ripetuto previo miglioramento delle sicillature)	WGF5	Controllo infiltrazioni (a circa 36 Pa)	Trave in GF9 Ispezione visiva dei saggi nei pavimenti			
		siguitutie)		Test pressurizzazione				
IV	23-03-11	GF6	Porta	Controllo infiltrazioni (a circa 70 Pa)	WGF27 WGF26 Controllo pavimentazione			
				Test depressunzzazione				
				1 est pressurizzazione				
v	23-03-11	GF7, GF8e GF9	Porta fra GF7 e GF3	Controllo infiltrazioni (a circa 70 Pa)	WGF24 Trave in GF9			
VI	23-03-11	GF13	Porta fra GF13 e GF14	Controllo infiltrazioni (a circa 70 Pa) Test depressurizzazione	WGF11 WGF12 Soffitto a cassettoni Fessure nelle murature Porta fra GF12 e GF13			
				Test pressurizzazione				
Test prelin pertantor	minari sull'int revisto alcuna	ero primo piano e sulle sole logg a misurazione.	e 1F2 e 1F3 hanno	generato differenze di pressione giudicate	insufficienti e non hanno			
VII	04-04-11	1F3	W1F21	Controllo infiltrazioni (a circa 50 Pa)	W1F18 Interfaccia travetti- parete esterna Fessura in intonaco			
				Test depressurizzazione				
			Portapiùa	Controllo infiltrazioni (a circa 40 Pa)	W1F25			
VIII	04-04-11	1F2 e 1F9	sud-ovest fra 1F9 e 1F8	Test depressurizzazione				
IX	04-04-11	1F9	Porta più a sud-ovest fra 1F9 e 1F8	Controllo infiltrazioni (a circa 50 Pa) Test depressurizzazione Test pressurizzazione	Camino Pareti			
X (*)icodic	04-04-11 i i dentificativi	1F4, 1F5e 1F6 i di stanze e infissi sano avelli imr	Porta di 1F5 con 1F8	Controllo infiltrazioni (a circa 50 Pa) Test depressurizzazione Test in pressurizzazione Prova con furnogeni dagini	W1F13 W1F10 W1F13eW1F10			
(*) i coaici iaentificativi di stanze e infissi sono quelli implegati per tutte le indagini.								



*Figura 8.13: pianta del piano terra con indicazione delle prove eseguite su alcune aree significative.* 



*Figura 8.14: pianta del piano primo con indicazione delle prove eseguite su alcune aree significative.* 

Seguono i dati raccolti nelle prove, unitamente ai diagrammi ottenuti ed ai risultati principali elaborati dal software utilizzato. Un commento ai risultati medesimi verrà esposto successivamente ai dati di tutte le prove.

Tentativo di esecuzione del test congiuntamente sui piani terra e primo (configurazione di prova n. I)

Previo posizionamento della ventola sulla finestra WGF9 (pianerottolo del vano scale) è stato condotto un primo test, volto a saggiare la possibilità di eseguire la prova simultaneamente con gli interi piani primo e secondo dell'edificio nonostante la scarsa tenuta d'aria, valutabile dalla mera osservazione, sia evidente e limiti le massime pressioni raggiungibili.

Il volume totale indagato è di circa 3450 m<sup>3</sup>, la superficie del pavimento di circa 783 m<sup>2</sup> e la superficie dell'involucro di circa 4468 m<sup>2</sup>. È stato eseguito un primo test con il settaggio del software secondo i seguenti parametri:

- temperatura interna 12,5 °C;
- temperatura esterna 14 °C;
- classe del vento: calma;
- metodo di test: B (edificio non in uso).

Alle ore 10:22 viene constatato che la massima pressione raggiungibile non supera i circa -5 Pa (test in depressurizzazione). Il test è stato momentaneamente interrotto per essere ripreso alle ore 10:34; la pressione massima raggiungibile è però invariata. Preso atto dell'impossibilità di eseguire il test con questi valori di pressione sono state comunque eseguite con anemometro in questa configurazione alcune misure di velocità d'infiltrazione degli infissi WGF5, WGF28 e W1F4 e W1F25; in tutti i casi si tratta di infissi con telaio metallico (fig. 8.15-8.30).





8.15: delle Figura misurazioni d'infiltrazione d'aria effettuate con anemometro dell'edificio, piano terra. sull'infisso WGF5 (vista dall'interno).

velocità Figura 8.16: lato nord-est La finestra WGF5 è quella più vicina al vano scale.



Figura 8.17: dettaglio di maniglia e tipologiaFiguradi telaio presenti nell'infisso WGF5.porzione



Figura 8.18: dettaglio della porzione nell'infisso WGF5 adiacente alla colonna in prossimità del vano scale.





Figura8.19:misurazionidellevelocitàFigura8.20:infissod'infiltrazioned'ariaeffettuateconanemometroWGF28(pianoterra,latosull'infissoWGF28(vista interna).sud-est).sud-est).



Figura 8.21: dettaglio della parte inferiore dell'infisso WGF28 (visto dall'interno).



Figura 8.22: dettaglio della parte superiore dell'infisso WGF28 e della trave sovrastante (visto dall'interno).





8.23: delle Figura misurazioni d'infiltrazione d'aria effettuate con anemometro (piano primo, lato nordsull'infisso W1F4 (vista dall'interno).

velocità Figura 8.24: infisso W1F4 est).





Figura 8.25 dettaglio di maniglia e Figura 8.26: dettaglio di gocciolatoio e tipologia di telaio degli infissi W1F4 e meccanismo di chiusura degli infissi *W1F25*.

*W1F4 e W1F25*.





Figura 8.27: misurazioni delle velocità Figura 8.28: infisso W1F25 d'infiltrazione d'aria effettuate con anemometro (piano primo, lato sud-est). sull'infisso W1F25 (vista interna).



Figura 8.29: dettaglio di meccanismo Figura quali W1F25.

8.30: della dettaglio di chiusura e tipologia di telaio degli conformazione degli infissi del primo infissi del primo piano (lato sud-est) piano (lato sud-est) in prossimità delle colonne) quali W1F25.

### Tentativo di esecuzione del test sul piano terra (configurazione di prova n. II)

Previo posizionamento della ventola sulla finestra WGF5 è stata esplorata la possibilità di eseguire il test sul solo piano terra. Questo ha richiesto la sigillatura del vano scale eseguita mediante teli di plastica al piano terra. Un primo tentativo di esecuzione del test, effettuato alle ore 12:15, è stato interrotto causa cedimento del nastro utilizzato per fissare i teli in plastica posti a sigillare il vano scale. Le sigillature sono state ripristinate e migliorate con l'utilizzo di assi poste in pressione contro detti teli di plastica fissati con nastro adesivo onde migliorare la resistenza della sigillatura stessa.

È stato quindi ripetuto il test alle ore 12:35 ed è stata raggiunta la pressione massima di circa -30 Pa (depressurizzazione). Alcune misure con anemometro sono state eseguite, alla massima differenza di pressione raggiungibile in depressurizzazione, sugli infissi WGF28 e WGF26, il primo con telaio metallico ed il secondo con telaio in legno (fig. 8.31-8.36).

Essendo dubbia la necessità di sigillare gli scassi contro terra sono state eseguite misure con anemometro su di un foro circolare nel pavimento in prossimità dell'infisso WGF28 (porta d'ingresso principale), sullo scasso S10 sito nella stanza GF8 e fra le assi costituenti il pavimento della stanza GF6. In entrambi i casi è stata misurata una velocità pari a 0,0 m/s; è dubbio se tali velocità nulle indichino perdite d'aria anch'esse nulle (o comunque infinitesimali) o se semplicemente le perdite medesime non siano misurabili poiché distribuite su una superficie molto ampia ma il loro totale sia comunque rilevante. È stato necessario quindi procedere per via empirica eseguendo il test in depressurizzazione (con pressione massima di circa -30 Pa) e ottenendo  $n_{50}=7,99/h$ : la ripetizione di un analogo test successivamente, previa sigillatura degli scassi contro terra, consentirà di verificare eventuali cambiamenti nei risultati. Tale test è stato eseguito alle ore 13:17 utilizzando, quale valore massimo 30 Pa e impostando step da 2 Pa; costituisce eccezione l'ultimo step scelto pari a 4 Pa. Per generare le differenze di pressione nell'intervallo 18-10 Pa è stato necessario l'utilizzo del cerchio A. è stato inoltre eseguito il test in pressurizzazione, alle ore 13:42, scegliendo, analogamente al test in pressurizzazione, quale valore di differenza di pressione massimo 30 Pa ed impostando step da 2 Pa ad eccezione dell'ultimo, pari a 4 Pa.



Figura 8.31: misurazioni delle velocità d'infiltrazione d'aria effettuate con anemometro sull'infisso WGF28 (piano terra, lato sud-est).



Figura 8.33: misurazioni delle velocità d'infiltrazione d'aria effettuate con anemometro sull'infisso WGF26.

velocità Figura 8.34: infisso WGF26 mometro visibile al centro dell'immagine (piano terra, lato sud-est).



velocità Figura 8.32: infisso WGF28 nometro (porta principale t). dell'edificio).





terra, lato sud-est).

Figura 8.35: dettaglio della parte Figura 8.36: dettaglio della parte superiore infisso WGF26 con visibile la superiore infisso WGF26 con visibile la vasistas nella parte superiore (piano vasistas nella parte superiore (piano terra, lato sud-est).

## Ripetizione del test al piano terra previo miglioramento delle sigillature (configurazione di prova n. III)

Sono stati sigillati tutti gli scassi contro terra, eseguita la sigillatura nella stanza GF11 e controllate le altre sigillature di scassi in comunicazione col piano interrato ed è stato quindi nuovamente eseguito il test mantenendo la ventola nella stessa posizione del test precedente. È stato eseguito, alle ore 14:45, un test sulla massima differenza di pressione raggiungibile in depressurizzazione che è stata riscontrata pari a 36 Pa. È stata eseguita una misurazione con anemometro nella stanza GF9 in uno scasso presente in una trave sul soffitto di detta stanza; la misura è stata in particolare eseguita all'interfaccia fra trave e parete ed è stato ottenuto un valore di 0,3 m/s. È stato osservato un rigonfiamento dei teli posti sugli scassi ora sigillati: detto comportamento è indice che durante la prova precedente erano presenti perdite attraverso i saggi. Nella stanza GF6 è stato in particolare osservato un rigonfiamento minore rispetto alle altre stanze; esso è stato attribuito al fatto che il pavimento è meno isolante, quindi le perdite sono diffuse su tutta la superficie e non sul solo scasso.

È stato quindi eseguito, alle ore 14:53, il test in depressurizzazione impostando un valore di differenza di pressione massimo pari a 36 Pa e sono stati scelti step da 3 Pa, ad eccezione dell'ultimo da 2 Pa. Il test in pressurizzazione, eseguito invece alle ore 15:06 con la scelta di analoghi step rispetto al test precedente.

I valori misurati sono riportati in tab. 8.2. Il diagramma d'infiltrazione d'aria è prodotto dal software impiegato per l'analisi, e riportato in fig. 8.37 mentre i principali risultati del test sono riportati in tab. 8.3.

Pressione	Pressione della	Portata d'aria	Portata d'aria	Errore	Configurazione				
nominale	ventola		corretta		della ventola				
edificio									
Pa	Pa	$m^3/h$	$m^3/h$	%					
	TEST IN DEPRESSURIZZAZIONE								
	$\Delta p_{01+} = -1, 1$			$\Delta p_{02+}=0,0$					
	$\Delta p_{01} = 0,0$	Γ	Γ	$\Delta p_{02} = 1, 1$					
-1,1	n/a								
-33,5	134,7	7896	7912	-0,6	Aperta				
-33,6	133,9	7873	7889	-1,0	Aperta				
-31,2	123,9	7573	7589	-0,7	Aperta				
-27,8	112,2	7209	7224	1,1	Aperta				
-25,4	101,2	6846	6860	1,4	Aperta				
-22,2	88,8	6415	6428	2,8	Aperta				
-18,8	69,8	5686	5698	0,3	Aperta				
-16,3	56,0	5093	5103	-2,5	Aperta				
-12,6	40,3	4325	4334	-3,5	Aperta				
-11,1	38,8	4243	4252	1,7	Aperta				
1,1	n/a								
TEST IN PRESSURIZZAZIONE									
	$\Delta p_{01+}=-0,2$			$\Delta p_{02+}=0,0$					
	$\Delta p_{01} = 0,5$	ſ	ſ	$\Delta p_{02} = 0,2$					
0,3	n/a								
36,7	125,3	7618	7575	-0,2	Aperta				
33,6	114,6	7284	7243	0,6	Aperta				
30,7	99,6	6791	6754	-1,0	Aperta				
26,7	87,2	6356	6321	0,7	Aperta				
24,0	77,1	5975	5942	0,9	Aperta				
21,1	66,9	5568	5537	1,5	Aperta				
18,5	54,4	5023	4995	-1,0	Aperta				
15,4	44,6	4548	4523	0,2	Aperta				
11,7	31,0	3793	3772	-1,7	Aperta				
10,0	27,5	3570	3550	-0,2	Aperta				
0,2	n/a								
CLASSE DEL V	/ENTO		0						
Temperatura [°C]			Interna 13						
VOLUME $[m^3]$									
VULUME [III]			1424						
SUPERFICIE DELL INVOLUCRO [m <sup>-</sup> ]			2080						
SUPERFICIE N	ETTA DEL PAVI	IMENTO [m <sup>-</sup> ]	541						

*Tabella 8.2: misurazioni eseguite per la configurazione di prova n. III (piano terra).* 



Figura 8.37: diagramma d'infiltrazione d'aria relativo al test eseguito al piano terra dell'edificio.

Tabella 8.3: risultati	del test in pressu	rizzazione	e depressurizzazione	per la
	configurazione	di prova n	. <i>III</i> .	

I PROVA	RISUL DEL TE 50 I	tati 2st a Pa	DIAGRAN	IMA D'INFILT	LEAKAGE AREAS (*)			
O TERRA FIGURAZIONE DI	Portata d'infiltrazione d'aria	Ricambiod'aria	COHPCIENTE DI PORTATA D'ARIA	COHPCIENTEDI NPL TRAZIONE D'ARIA	Esponentedi portatad'aria	COEFFCENTEDI CORRELAZIONE	CANADIANEqLA @10Pa	LBLELA@5Pa
	$V_{50}$	<i>n</i> <sub>50</sub>	$C_{env}$	$C_L$	п			
S C S	$m^3/h$	$h^{-1}$	$m^3/(h \cdot Pa^n)$	$m^3/(h \cdot Pa^n)$			$cm^3$	$cm^3$
Depress.	10058	6,24	1012,7	1019,9	0,585	0.00649	4377,9	3965.9
	±1,3%		±5,6%	±5,6%	±0,017	0,99040	$\pm l,7\%$	±0,9%
Press.	9150	5,67	909,3	918,4	0,588	0.00000	2470,7	2232,8
	±0,7%		±2,9%	±2,9%	±0,009	0,99900	±3,3%	±1,7%
Media	9604	5,95					4171,9	2351,7
(*) area equivalente alla somma di tutte le fessure, calcolabile secondo diversi standard.								

### Esecuzione del test nella stanza GF6 (configurazione di prova n. IV)

Il test è stato di seguito eseguito in alcune aree ritenute rappresentative dell'edificio e delle diverse tipologie di infissi e di solai presenti, al fine di comparare, una volta in possesso una quantità di dati rilevante, i risultati di diverse zone e individuare, almeno a livello qualitativo, le maggiori cause delle infiltrazioni.

Previo posizionamento della ventola nella porta fra le stanze GF3 e GF6 il test è stato eseguito nella stanza GF6; essa è caratterizzata soprattutto dal pavimento in assito di legno posato su magatelli (fig. 8.38). Tale struttura non è quindi da ritenersi a tenuta d'aria e si vuole comprendere come una situazione di questo tipo influisca sui risultati; sono inoltre presenti due infissi di evidente scarsissima tenuta all'aria e un controsoffitto in arellato.



Figura 8.38: stanza GF6 con visibile il pavimento in legno e gli infissi.

Alle ore 15:50 è stata eseguita una prova delle massime differenze di pressione raggiungibili: in questo caso è stato possibile arrivare al valore di 50 Pa. È stata condotta una ricerca di perdite d'aria nella parete rivolta verso l'esterno fra gli infissi WGF26 e WGF27.

Il maschio murario presenta una parte, quella più prossima all'infisso WGF26, particolarmente degradata, dove è stata misurata, all'interfaccia fra parete e pavimento, una velocità d'infiltrazione pari a v=0,40 m/s mentre nella parte più prossima all'infisso WGF27 la velocità è pari a v=0,1 m/s.

Fra le assi costituenti la pavimentazione è stata misurata, in taluni punti, una velocità di 0,7 m/s; ulteriori misure condotte durante l'esecuzione del test in depressurizzazione, alla pressione di 35 Pa, hanno invece dato valori di perdite nulle. Ulteriori misure sull'infisso WGF26 (infisso con telaio in legno) sono riportate in fig. 8.39-8.40.





Figura8.39:misurazionidellevelocitàFigura8.40:infissod'infiltrazioned'ariaeffettuateconanemometroWGF26visibilealcentrosull'infissoWGF26.(piano terra, lato sud-est).(piano terra, lato sud-est).

È quindi stato eseguito il test in depressurizzazione, alle ore 15:56, con l'impostazione della differenza di pressione massimo di 70 Pa e la scelta di step da 10 Pa. È stato quindi raggiunto il valore di 25 Pa al termine della prova. Il test in pressurizzazione è stato invece eseguito alle ore 16:09.

Il diagramma di infiltrazione d'aria è riportato in fig. 8.41 mentre i principali risultati del test sono riportati in tab. 8.4-8.5.

Pressione nominale	Pressione della ventola	Portata d'aria	Portata d'aria corretta	Errore	Configurazione della ventola	
Pa	Pa	$m^3/h$	$m^3/h$	%		
	Т	EST IN DEPRES	SSURIZZAZION	E		
	$\Delta p_{01+} = -0,0$		$\Delta p_{02+}=0,0$			
	$\Delta p_{01} = 0,0$			$\Delta p_{02} = 0,2$		
0,0	n/a					
-70,0	290,9	1377	1378	0,5	Anello B	
-65,0	265,7	1317	1318	0,8	Anello B	
-60,4	231,5	1230	1231	-1,2	Anello B	
-54,9	204,7	1157	1158	-1,1	Anello B	
-50,0	183,3	1095	1096	-0,5	Anello B	
-45,0	159,8	1023	1024	-0,4	Anello B	
-39,8	138,5	953	953	0,5	Anello B	
-34,7	115,5	870	871	0,3	Anello B	
-30,2	95,4	792	792	0,1	Anello B	
-25,2	75,4	704	705	0,1	Anello B	
0,2	n/a					

Tabella 8.4: misurazioni eseguite per la stanza GF6 (configurazione di prova n. IV).

Pressione	Pressione della	Portata d'aria	Portata d'aria	Errore	Configurazione	
nominale	ventola		corretta		della ventola	
edificio						
Pa	Pa	$m^3/h$	$m^3/h$	%		
		TEST IN PRESS	SURIZZAZIONE			
	$\Delta p_{01+}=-0,0$			$\Delta p_{02+}=-0,1$		
	$\Delta p_{01} = 0,3$			$\Delta p_{02} = 0,0$		
0,3	n/a					
70,3	207,6	1165	1158	0,4	Anello B	
64,4	188,8	1111	1105	0,9	Anello B	
60,0	172,1	1061	1055	0,5	Anello B	
54,8	153,2	1002	996	0,1	Anello B	
50,6	138,4	952	947	-0,2	Anello B	
44,8	120,2	888	883	0,2	Anello B	
39,9	97,9	802	797	-3,1	Anello B	
35,9	91,2	774	770	-0,3	Anello B	
29,7	75,8	706	702	1,9	Anello B	
25,3	63,2	645	642	2,7	Anello B	
-0,1	n/a					
CLASSE DEL V	/ENTO		0			
TEMDED A TUD	▲ [°C]		Interna 13			
IEMPERATUR			Esterna 15			
VOLUME [m <sup>3</sup> ]			94			
SUPERFICIE D	ELL'INVOLUCR	$O[m^2]$	126			
SUPERFICIE N	ETTA DEL PAVI	MENTO [m <sup>2</sup> ]	26			



Figura 8.41: diagramma d'infiltrazione d'aria relativo al test eseguito nella stanza GF6.
~	RISULTATI del test a 50 Pa		DIAGRAN	DIAGRAMMA D'INFILTRAZIONE D'ARIA				LEAKAGE AREAS	
<b>VZA GF6</b> <i>FIGURAZIONE I</i> 1	PORTATA D'INFILTRAZIONE D'ARIA	RICAMBIOD'ARIA	Coefficientedi portatad'aria	Coefficientedi Inflltrazione d'aria	Esponentedi portatad'aria	CORFICENTEDI CORRELAZIONE	CANADIANEqLA @10Pa	LBLELA@5Pa	
TAN 'ONI	V <sub>50</sub>	<i>n</i> <sub>50</sub>	$C_{env}$	$C_L$	п				
S O	$m^3/h$	$h^{-1}$	$m^3/(h \cdot Pa^n)$	$m^3/(h \cdot Pa^n)$			$cm^3$	$cm^{3}$	
Depress.	1099	11,70	84,5	85,0	0,654	0.00005	428,0	226,7	
	±0,3%		±3,5%	±3,5%	$\pm 0,009$	0,999923	$\pm 1,5\%$	±2,3%	
Press.	945	10,05	91,2	92,1	0,595	0.00772	404,5	226,2	
	$\pm 0,4\%$		$\pm 5,6\%$	$\pm 5,6\%$	±0,014	0,99772	±2,3%	±3,6%	
Media	1022	10,87					416,2	226,4	

Tabella 8.5: risultati del test in pressurizzazione e depressurizzazione per la configurazione IV.

<u>Esecuzione del test nelle stanze GF7, GF8 e GF9 (configurazione di prova n. V)</u> A seguire è stata quindi indagata un'area costituita dalle tre stanze GF7, GF8 e GF9 previo posizionamento della ventola sulla porta fra le stanze GF7 e GF3. Le tre stanze in esame presentano un diverso tipo di pavimento rispetto alla già indagata stanza GF6.

In questo caso il pavimento è in parquet di legno ma, come comprovato dallo scasso S10 nella stanza GF8, posato su uno strato di materiale impermeabilizzante (probabilmente bitume) che sovrasta uno strato di malta: la tenuta d'aria attesa da questo tipo di pavimento dovrebbe essere molto migliore del precedente.

Sono presenti complessivamente tre infissi di analoga fattura ai precedenti della stanza GF6 mentre un controsoffitto in arellato presenta due scassi.

È stato quindi eseguito il test in depressurizzazione, alle ore 16:49, scegliendo il valore di differenza di pressione massimo di 70 Pa e step da 10 Pa; il valore di 25 Pa è stato raggiunto alla fine della prova. Il test in pressurizzazione è stato invece eseguito alle ore 17:02.

I risultati ottenuti sono riportati in tab. 8.6 e 8.7 e in fig. 8.42.

Pressione	Pressione della	Portata d'aria	Portata d'aria	Errore	Configurazione			
nominale	ventola		corretta		della ventola			
edificio								
Pa	Pa	$m^3/h$	$m^3/h$	%				
TEST IN DEPRESSURIZZAZIONE								
$\Delta p_{01+} = -0,0$ $\Delta p_{02+} = 0,0$								
	$\Delta p_{01} = 0,3$			$\Delta p_{02} = 1,6$				
0,3	n/a							
-69,6	106,7	2761	2773	-0,3	Anello A			
-64,7	99,0	2659	2671	0,1	Anello A			
-59,4	87,9	2508	2519	-0,9	Anello A			
-54,3	79,3	2382	2392	-0,9	Anello A			
-48,9	73,7	2298	2308	1,4	Anello A			
-45,5	68,2	2212	2221	1,7	Anello A			
-39,5	55,2	1991	2000	-0,8	Anello A			
-34,4	47,0	1838	1846	-1,0	Anello A			
-29,6	41,3	1723	1730	1,0	Anello A			
-24,9	32,5	1531	1537	-1,4	Anello A			
1,6	n/a							
		TEST IN PRESS	SURIZZAZIONE					
	$\Delta p_{01+}=-0,0$		$\Delta p_{02+}=-2,3$					
	$\Delta p_{01} = 0,6$			$\Delta p_{02} = 0,3$				
0,6	n/a							
70,3	78,5	2371	2357	0,7	Anello A			
65,1	71,5	2264	2250	0,2	Anello A			
60,3	65,4	2166	2153	0,0	Anello A			
55,9	60,1	2077	2064	-0,1	Anello A			
50,4	54,4	1976	1964	0,5	Anello A			
45,8	48,0	1858	1847	-0,5	Anello A			
40,5	42,4	1746	1736	-0,1	Anello A			
35,7	36,4	1620	1610	-0,7	Anello A			
30,1	31,5	1509	1499	1,7	Anello A			
25,6	26,1	1372	1364	0,8	Anello A			
0,2	n/a							
CLASSE DEL V	/ENTO		1					
Temperatura [°C]			Interna 13 Esterna 16					
VOLUME [m <sup>3-</sup>			204					
SUPERFICIE D	ELL'INVOLUCE	$0 [m^2]$	352					
SUPERFICIE N	ETTA DEL PAVI	MENTO [m <sup>2</sup> ]	50					

Tabella 8.6: misurazioni eseguite per il test in depressurizzazione e pressurizzazione per la configurazione V.



Figura 8.42: diagramma d'infiltrazione d'aria relativo al test eseguito nella stanza GF6.

Tabella 8.7: risultati del test in pressurizzazione e depressurizzazione per la configurazione di prova n. V.

E GF8	RISULTATI del test a 50 Pa		DIAGRAM	DIAGRAMMA D'INFILTRAZIONE D'ARIA				KAGE EAS
<b>VZE GF6, GF7</b> <i>FIGURAZIONE V</i>	PORTATA D'INFILTRAZIONE D'ARIA	RICAMBIOD'ARIA	Coefficientedi portatad'aria	Coefficientedi Inflltrazione d'aria	Esponentedi portatad'aria	COEFFCENTEDI CORRELAZIONE	CavadianEqLA @10Pa	LBLELA@5Pa
TAN ONI	V <sub>50</sub>	<i>n</i> <sub>50</sub>	Cenv	$C_L$	п			
U Ň	$m^3/h$	$h^{-1}$	$m^3/(h\cdot Pa^n)$	$m^3/(h\cdot Pa^n)$			$cm^3$	$cm^{3}$
Doprose	2278	11,17	236,4	237,7	0,578	0.00225	1003,3	570,1
Depress.	±0,3%		±4,8%	$\pm4,8\%$	±0,012	0,99823	±2,0%	±3,1%
Press.	1958	9,60	237,7	40,3	0,536	0.00026	92,9	44,1
	±0,2%		±2,7%	±2,7%	±0,007	0,99930	±1,1%	$\pm 1,7\%$
Media	2118	10,38					962,6	557,1

#### Esecuzione del test nella stanza GF13 (configurazione di prova n. VI)

È stato infine eseguito il test nella stanza GF13 previo posizionamento della ventola nella porta fra la stanza in esame e la stanza GF4. La stanza è caratterizzata, a differenza delle precedenti, da un soffitto a cassettoni (al momento

del test però coperto da carta giapponese) e da due finestre di fattura apparentemente migliore delle precedenti. È inoltre presente un solaio in laterocemento fra la stanza oggetto di prova e il piano interrato dell'edificio. La porta fra la stanza in esame e la stanza GF12 è stata chiusa ma non sigillata mediante nastratura. Alcuni elementi caratterizzanti della stanza sono riportati nelle fig. 8.43-8.44.





Figura 8.43: ventola e relativo telaio Figura 8.44: soffitto a cassettoni nella montati per la prova nella stanza GF13. *Sono inoltre visibili il pavimento in parquet* e alcune delle fessure presenti sulle pareti.

stanza GF13.

Le delle ricerca infiltrazioni. eseguita simultaneamente al test in depressurizzazione, quindi con pressioni variabili con il proseguire del test stesso a partire da un massimo di circa 70 Pa, ha interessato principalmente le numerose crepe presenti nei muri della stanza (fig. 8.45-8.47 e tab. 8.8). Essendo tali fessure dotate di caratteristiche disomogenee nel loro sviluppo, i valori misurati sono caratterizzati da forti oscillazioni da un punto all'altro. Detto test in depressurizzazione, eseguito alle ore 17:30, è stato eseguito con la differenza di pressione massimo di 70 Pa e step da 10 Pa; il valore di 25 Pa è stato raggiunto al termine della prova. Un test della massima differenza di pressione raggiungibile è stato omesso in quanto, dai test precedenti, è stato assunto per certo il raggiungimento della differenza di pressione necessaria all'esecuzione del test. Il test in pressurizzazione è stato invece eseguito alle ore 17:41.

un problema al sistema di acquisizione dati durante il test in Per depressurizzazione sono disponibili i dati concernenti il solo test in pressurizzazione riportati in tab. 8.9 e 8.10. Il diagramma d'infiltrazione d'aria è invece riportato in fig. 8.48.



Figura 8.45: fase delle misure eseguite Figura 8.46: fase delle misure eseguite con anemometro sulle pareti della con stanza GF13.



prossimità anemometro in dell'angolo est della stanza GF13.



Figura 8.47: schema delle misure eseguite nella stanza GF13.

INFISSO W1F25								
	Misurazioni eseguite con anemometro							
CODICE Misura	VELOCITÀ [m/s]	NOTE AGGIUNTIVE						
Α	0,20-0,30	fessura tamponata presente nella parete a nord-est dal lato della stessa più in prossimità della finestra WGF11.						
В	2,0	perimetro della porta fra la stanza in esame e la stanza GF12.						
С	0,2-2,7	fessure presenti nella parete a sud-ovest dal lato più in prossimità della finestra WGF12 (la misura presenta un'elevata variabilità da punto a punto).						
D	0,75	all'angolo fra la parete a sud-ovest e quella a sud-est.						
Ε	2,0	interfaccia fra il telaio della finestra WGF11 e la parete.						
F	0,13	interfaccia fra il telaio della finestra WGF12 e la parete.						

Tabella 8.8: note alle misurazioni con anemometro eseguite nella stanza GF13.

Tabella 8.9: misurazioni eseguite per la stanza GF13 (configurazione di prova n. VI).

Pressione	Pressione della	Portata d'aria	Portata d'aria	Errore	Configurazione	
nominale	ventola		corretta		della ventola	
Pa	Pa	$m^3/h$	$m^3/h$	0/0		
1 4	1 u	TEST IN PRESS	M / M	/0		
	$\Delta p_{01+} = -0.0$	IESI IN IKESS	JUNIZZAZIONE	$\Delta p_{02+} = -2.3$		
	$\Delta p_{01} = 0,6$			$\Delta p_{02} = 0,3$		
-0,1	n/a			• · · · ·		
69,5	47,4	1846	1840	0,5	Anello A	
64,5	43,6	1770	1765	0,4	Anello A	
60,0	40,0	1697	1692	0,2	Anello A	
54,6	35,4	1597	1592	-0,7	Anello A	
49,4	30,9	1492	1488	-2,1	Anello A	
44,6	27,5	1410	1406	-2,0	Anello A	
39,0	291,0	1378	1374	3,1	Anello B	
35,7	256,6	1294	1290	1,6	Anello B	
30,2	209,6	1170	1167	0,6	Anello B	
24,9	161,0	1027	1024	-1,8	Anello B	
-0,1	n/a					
CLASSE DEL V	/ENTO		1			
Temperatur	A [°C]		Interna 13			
×× 5 3-			Esterna 14			
VOLUME [m <sup>3</sup> ]		27	93			
SUPERFICIE D	ELL'INVOLUCR	<u>.0 [m<sup>-</sup>]</u>	137			
SUPERFICIE N	ETTA DEL PAVI	MENTO [m <sup>2</sup> ]	21			



Figura 8.48: diagramma d'infiltrazione d'aria relativo al test eseguito nella stanza GF13.

	RISULTATI DEL TEST A 50 Pa		DIAGRAM	DIAGRAMMA D'INFILTRAZIONE D'ARIA				LEAKAGE AREAS	
<b>XZA GF 13</b> <i>FIGURAZIONE DI</i> 74 N. VI	PORTATA D'INFILTRAZIONE D'ARIA	RCAMBIOD'ARIA	Coefficientedi Portatad'aria	Cohpricientedi Infiltrazione d'aria	Esponentedi portatad'aria	COBPICENTEDI CORRELAZIONE	CanadianEqLA @10Pa	LBLELA@5Pa	
LAN ONI ROV	V50	<i>n</i> <sub>50</sub>	$C_{env}$	$C_L$	п				
F C S	$m^3/h$	$h^{-1}$	$m^3/(h \cdot Pa^n)$	$m^3/(h \cdot Pa^n)$			$cm^3$	$cm^3$	
Press.	1526 ±0,5%	16,41	175,5 ±6,9	177,4 ±6,9	0,550 ±0,018	0,99597	702,7 ±2,9%	409,5 ±4,5%	

Tabella 8.10: risultati del test in pressurizzazione per la configurazione di prova n. VI.

## Esecuzione del test sulla stanza 1F3 (configurazione di prova n. VII)

Nella seconda giornata di prova, previo montaggio della ventola sull'infisso W1F21 nella loggia di sinistra 1F3, è stato condotto un test preliminare per saggiare la capacità della ventola a disposizione di generare differenze di pressione sufficienti all'esecuzione del test sull'intero piano primo in modo da avere un valore medio di riferimento cui confrontare i valori di prove eseguite in singole aree del piano.

Tale tentativo, condotto alle ore 11:00, ha però purtroppo prodotto una pressione di circa 8 Pa (giudicati insufficienti per eseguire la prova); un ulteriore tentativo condotto con le sole stanze 1F2 e 1F3 ha portato a una pressione di 18 Pa, giudicati anch'essi insufficienti. Il test è quindi stato condotto con la sola stanza 1F3, alle ore 11:30 circa, con la scelta dei seguenti valori di differenza di pressione: 50, 47, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 15 e 10Pa.

La collocazione della ventola in una finestra al primo piano dell'edificio ha reso possibile l'esecuzione del solo test in depressurizzazione poiché il test in pressurizzazione avrebbe richiesto la presenza di un operatore al lato opposto dell'infisso ove è montata la ventola, cosa non possibile vista la quota rispetto al suolo di quest'ultimo. Essendo le prove al primo piano state condotte in una giornata diversa dalle precedenti le sigillature ritenute necessarie sono state scelte in modo leggermente diverso: per essere certi di eliminare qualunque possibile pertugio che possa inquinare i risultati sono state sigillate mediante nastratura, oltre agli elementi tipici di tutte le prove (scassi, tubi dell'impianto idraulico, ecc.) anche tutte le porte interne, le scatole dell'impianto elettrico fatta a volte eccezione di qualcuna difficilmente raggiungibile e i fori di drenaggio delle finestre. Alcune misure eseguite con anemometro sull'infisso W1F18 alla pressione di circa 50 Pa, caratterizzato da telaio metallico) sono riportate in fig. 8.49-8.52 (dettagli aggiuntivi in tab. 8.11).



Figura 8.49: misurazioni con anemometro eseguite sull'infisso W1F18.



Figura 8.50: l'infisso W1F18 l'ultimo alla sinistra dell'immagine (primo piano, lato sudovest).





maniglia degli infissi al primo piano (lato sud-ovest) quali W1F18.

Figura 8.51: dettaglio della tipologia di Figura 8.52: dettaglio di gocciolatoio e tipologia di telaio degli infissi al primo piano (lato sud-ovest) quali W1F18.

Tabella 8.11: note	e alle misurazioni	eseguite con	anemometro	sull'infisso	W1F18.
1 40 0114 0.111. 11010		eseguite con	anemomeno	Suu ingisso	,, 11 10.

CODICE	VELOCITÀ	NOTE AGGIUNTIVE
MISURA	[m/s]	
Α	0,20-0,30	
В	0,03-0,50	Misura all'interfaccia fra le due aste metalliche inferiori delle tre costituenti il telaio nel punto di misura. Le misure minori si hanno verso il centro dell'infisso
С	0,00-0,05	Misura eseguita all'interfaccia fra vetro e infisso.
D	0,03-0,05	Misura eseguita all'interfaccia fra vetro e infisso.
Е	1,50-3,50	Misura riferita all'interfaccia fra anta e telaio
F	4,00-5,00	Misura riferita all'interfaccia fra le due ante dell'infisso
G	4,00	Misura riferita all'interfaccia fra le due ante dell'infisso in corrispondenza della maniglia.
Н	5,50	Misura riferita all'interfaccia fra le due ante dell'infisso al centro della zona dove si chiude l'infisso.
Ι	5,00	Misura riferita all'interfaccia fra le due ante dell'infisso
L	0,50	La misura è da intendersi riferita all'interfaccia ove la parte di telaio orizzontale s'innesta in quella verticale.
М	0,10-0,20	La misura è da intendersi eseguita all'interfaccia fra le due aste metalliche inferiori delle tre costituenti il telaio nel punto di misura
Ν	3,00	La misura è da intendersi eseguita all'interfaccia fra vetro e infisso.
0	0,00-0,05	La misura è da intendersi eseguita all'interfaccia fra vetro e infisso.

Sono inoltre state eseguite alcune ulteriori misurazioni con anemometro:

- sull'interfaccia dove il secondo travetto (contando a partire dall'architrave più a sud-est) s'infigge nel muro perimetrale esterno si ha una v=0,05-0,32 m/s con valori nella maggior parte dei punti compresi fra 0,15-0,20 m/s;

- su di una crepa nell'intonaco del solaio situata fra il 2° e il 3° travetto si ha v=0,35 m/s;

- è stato quindi controllato il nono travetto (contando nello stesso modo di cui sopra) ottenendo risultati analoghi al precedente travetto.

È stato eseguito il test in depressurizzazione e in pressurizzazione (tab. 8.12). La pressione massima raggiunta è di 49,8 Pa contro i 50 Pa richiesti: il valore richiesto è stato quindi sostanzialmente raggiunto.

Il diagramma di infiltrazione d'aria riportato in fig. 8.53 mentre i principali risultati del test sono riportati in tab. 8.13.

Pressione	Pressione della	Portata d'aria	Portata d'aria	Errore	Configurazione	
nominale	ventola		corretta		della ventola	
edificio						
Pa	Pa	$m^3/h$	$m^3/h$	%		
	Т	EST IN DEPRES	SSURIZZAZION	E		
	$\Delta p_{01+} = -0,0$			$\Delta p_{02+}=-0,6$		
	$\Delta p_{01} = 0, 1$			$\Delta p_{02} = 0,0$		
0,1	n/a					
-49,8	107,8	7066	7055	0,0	Aperta	
-46,9	101,2	6846	6834	0,4	Aperta	
-45,2	96,3	6678	6666	0,1	Aperta	
-39,5	82,4	6177	6167	0,2	Aperta	
-35,4	71,4	5750	5741	-0,5	Aperta	
-29,8	58,5	5206	5198	-0,3	Aperta	
-24,7	46,4	4636	4628	-0,8	Aperta	
-19,8	35,2	4038	4031	-1,6	Aperta	
-14,9	182,6	3604	3598	4,0	Anello A	
-9,7	98,6	2655	2650	-1,5	Anello A	
-0,6	n/a					
CLASSE DEL V	/ENTO		0			
TEMPERATUR	A [9C]		Interna 21			
IEMPERATUR	A[C]		Esterna 20			
VOLUME [m <sup>3</sup> ]			279			
SUPERFICIE D	ELL'INVOLUCR	0 [m <sup>2</sup> ]	364			
SUPERFICIE N	ETTA DEL PAVI	MENTO [m <sup>2</sup> ]	66			

Tabella 8.12: misurazioni eseguite per la stanza 1F3 (configurazione di prova n. VII).



Figura 8.53: diagramma d'infiltrazione d'aria relativo al test eseguito nella stanza 1F3.

	RISULTATI DEL TEST A 50 Pa		DIAGRAMMA D'INFILTRAZIONE D'ARIA				LEAKAGE AREAS	
<b>NZA 1F3</b> FIGURAZIONE VII	Portatad'infiltrazione d'aria	Ricambiod'aria	Coefficiente diportata D'aria	COEFFICIENTEDI INFILTRAZIONED'ARIA	Esponentediportata D'aria	COEPPICENTED	CANADIANEqLA@10Pa	LBL ELA@5Pa
LA. ONI	V <sub>50</sub>	<i>n</i> <sub>50</sub>	$C_{env}$	$C_L$	п			
U S	$m^3/h$	$h^{-1}$	$m^3/(h \cdot Pa^n)$	$m^3/(h \cdot Pa^n)$			$cm^3$	$cm^{3}$
Depress	7086 ±0,5%	25,40	725,5 ±3,3%	725,5 ±3,3%	0,583 ±0,009	0,99903	3096,5 ±1,2%	1751,4 ±2,0%

Tabella 8.13: risultati del test in pressurizzazione e depressurizzazione per la configurazione di prova n. VII.

Esecuzione del test sulle stanze 1F2 e 1F9 (configurazione di prova n. VIII) Previo posizionamento della ventola sulla porta più a sud-ovest fra le stanze 1F9 e 1F8 è stato eseguito, alle ore 14:50 circa, il test sulle stanze 1F2 e 1F9 con la misurazione di alcuni valori con anemometro sull'infisso W1F25, caratterizzato da telaio metallico, alla pressione di circa 40 Pa (fig. 8.54-8.55, dettagli nella tab. 8.14). Le stanze suddette sono caratterizzate da soffitti con travi e travetti in legno e porte-finestre che è stato necessario sigillare tramite nastratura; le pareti della stanza 1F9 presentano affreschi al momento della prova ricoperti da teli protettivi.





Figura 8.54: misurazioni con anemometro eseguiteFigurasull'infisso W1F25.W1F25

Figura 8.55: l'infisso W1F25 è il terzo dallo spigolo (lato sud-est, piano primo).

Tabella 8.14: note alle misurazioni con anemometro	eseguite sull'infisso	W1F25.
----------------------------------------------------	-----------------------	--------

INFISSO W1F25						
	MISURAZIONI ESEGUITE CON ANEMOMETRO					
CODICE	VELOCITÀ	NOTE AGGIUNTIVE				
MISURA	m/s					
А	2,00-4,00	Misura riferita all'interfaccia fra telaio e anta				
В	4,00	Misura riferita all'interfaccia fra telaio e anta				
С	0,03-2,00	Misura riferita all'interfaccia fra telaio e anta. Il valore di 2,00 s si misura solo in punti localizzati.				
D	1,50-2,00	Misura riferita all'interfaccia fra le due ante				
Е	0,00-0,30	Le misure più alte sono riferite alla parte più prossima al centro.				
F	3,00-3,10	Misura riferita all'interfaccia fra anta e parte non apribile dell'infisso.				
G	2,50-3,50	Misura riferita all'interfaccia fra anta e parte non apribile dell'infisso.				
Н	0,00	Misura riferita all'interfaccia fra anta e parte non apribile dell'infisso.				
Ι	2,70	Misura riferita all'interfaccia fra le due ante dell'infisso.				
L	1,50-3,00	La misura è da intendersi riferita alla zona dove si chiude l'infisso.				
М	0,50-2,70	Misura riferita all'interfaccia fra le due ante dell'infisso.				

Infisso W1F25 Misurazioni eseguite con anemometro							
CODICE MISURA	NOTE AGGIUNTIVE						
		Le misure più basse sono riferite alla parte inferiore.					
Ν	0,00-0,50	Misura riferita all'interfaccia fra le due ante dell'infisso. Le misure più basse sono riferite alla parte inferiore.					
0	2,00-4,00	Misura riferita all'interfaccia fra anta e parte non apribile dell'infisso.					

È stato quindi eseguito, alle ore 15:35 circa il test in depressurizzazione con la scelta dei seguenti valori di differenza di pressione da applicarsi: 39, 36, 33, 30, 27, 24, 18, 15 e 10 Pa. Il test in pressurizzazione è stato invece eseguito alle ore 15:55. Non è stato possibile rispettare la prescrizione riguardante il valore di pressione richiesto. Il diagramma di infiltrazioni d'aria è riportato in fig. 8.56. I principali risultati del test sono riportati in tab. 8.15 e 8.16.

Pressione	Pressione della	Portata d'aria	Portata d'aria	Errore	Configurazione					
nominale	ventola		corretta		della ventola					
edificio										
Pa	Pa	$m^3/h$	$m^3/h$	%						
	TEST IN DEPRESSURIZZAZIONE									
$\Delta p_{01+} = -0,7$ $\Delta p_{02+} = -0,6$										
	$\Delta p_{01} = 0,5$			$\Delta p_{02} = 0,0$						
-0,3	n/a									
-40,3	123,8	7571	7621	0,3	Aperta					
-35,9	111,4	7180	7228	1,6	Aperta					
-33,2	101,0	6840	6886	1,4	Aperta					
-30,0	83,2	6207	6249	-2,4	Aperta					
-27,4	73,9	5851	5890	-2,9	Aperta					
-23,7	64,9	5486	5522	-1,0	Aperta					
-21,2	59,9	5270	5305	1,6	Aperta					
-18,2	48,5	4742	4774	-0,1	Aperta					
-15,5	40,6	4336	4365	0,6	Aperta					
-10,5	170,5	3483	3506	1,7	Anello A					
-0,4	n/a									
		TEST IN PRESS	SURIZZAZIONE							
	$\Delta p_{01+} = -1, 1$			$\Delta p_{02+}=-0,4$						
	$\Delta p_{01} = 18,6$			$\Delta p_{02} = 0,3$						
-0,4	n/a									
37,4	118,4	7404	7372	-1,4	Aperta					
35,2	113,4	7247	7215	-0,2	Aperta					
31,9	100,2	6812	6782	-0,9	Aperta					
29,6	97,9	6731	6702	2,0	Aperta					

Tabella 8.15: misurazioni eseguite per la configurazione di prova n. VIII.

Pressione	Pressione della	Portata d'aria	Portata d'aria	Errore	Configurazione
nominale	ventola		corretta		della ventola
edificio			••••••		
Pa	Pa	$m^3/h$	$m^3/h$	%	
26,1	80,6	6109	6082	-0,7	Aperta
23,4	71,5	5755	5730	-0,8	Aperta
19,9	59,8	5266	5243	-0,7	Aperta
17,3	49,5	4789	4768	-2,6	Aperta
15,0	43,7	4503	4483	-1,0	Aperta
8,6	157,0	3343	3329	-0,7	Anello A
0,1	n/a				
CLASSE DEL V	/ENTO		0		
TEMPERATUR	▲ [°C]		Interna 23		
IEMPERATUR	A[C]		Esterna 26		
VOLUME [m <sup>3</sup> ]			864		
SUPERFICIE D	ELL'INVOLUCR	$O[m^2]$	796		
SUPERFICIE N	ETTA DEL PAVI	MENTO [m <sup>2</sup> ]	159		



*Figura 8.56: diagramma d'infiltrazione d'aria relativo al test eseguito nelle stanze 1F2 e 1F9.* 

	RISULT. TEST A	ATI DEL 50 Pa	DIAGRAM	DIAGRAMMA D'INFILTRAZIONE D'ARIA				
NZE 1F2 E 1F9 <sup>4</sup> IGURAZIONE DI 14 N. VIII	PORTATA D'INHLIRAZIONE D'ARIA	RICAMBIOD'ARIA	Coeficientedi fortată âria	Coefficiente di Nfiltrazione D'aria	Esponentedi portatad'aria	COEFFICENTED	CanaDianEqLA @10Pa	LBLELA@5Pa
LAN ONI ROV	V <sub>50</sub>	<i>n</i> <sub>50</sub>	$C_{env}$	$C_L$	п			
$\mathbf{S}_{\mathbf{S}}$	$m^3/h$	$h^{-1}$	$m^3/(h\cdot Pa^n)$	$m^3/(h \cdot Pa^n)$			$cm^3$	$cm^3$
Dopross	8659	10,02	913,9	906,1	0,577	0.00655	3818,1	2170,6
Depress.	±1,2%		±5,7%	±5,7%	±0,017	0,99033	$\pm l,8\%$	±3,3%
Press.	8730	10,10	985,2	980,8	0,559	0.00220	3963,5	2291,2
	±0,8%		±3,8%	±3,8%	±0,012	0,99829	$\pm 1,2\%$	±2,2%
Media	8695	10,06					3890,8	2230,9

Tabella 8.16: risultati del test in pressurizzazione e depressurizzazione per la configurazione di prova n. VIII.

## Esecuzione del test sulla stanza 1F9 (configurazione di prova n. IX)

Lasciando la ventola posizionata nella stessa porta fra le stanze 1F9 e 1F8 sfruttata per la prova precedente è stato quindi ripetuto il test per la sola stanza 1F9. Sono state preventivamente sigillate le porte fra il salone 1F9, oggetto della prova, e la loggia frontale 1F2.

Da una sommaria ricerca, effettuata con anemometro, delle perdite risultano valori nulli attraverso la canna fumaria, chiusa, del camino presente nella stanza; analogamente risultano perdite nulle da pareti e pavimento.

Si vuole vedere se e quanto i risultati sono diversi rispetto al complesso delle stanze 1F2 e 1F9 giacché l'elemento principale imputato delle infiltrazioni d'aria nell'edificio, ossia i grandi infissi vetrati presenti nelle pareti esterne, non sono ora presenti e tutte le porte e porte-finestre sulla cui tenuta all'aria si hanno dubbi sono ora tutte sigillate mediante nastratura.

È stato quindi eseguito il test in depressurizzazione (ore 16:55) e in pressurizzazione; nel caso del test in depressurizzazione la prescrizione riguardante il valore di pressione è stata completamente soddisfatta mentre per quello in pressurizzazione si è molto prossimi al valore richiesto (49,8 Pa contro i 50 Pa richiesti).

I principali valori acquisiti sono riportati in tab. 8.17 ed i risultati ottenuti in tab. 8.18. Il diagramma di infiltrazione d'aria è riportato in fig. 8.57.

Pressione	Pressione della	Portata d'aria	Portata d'aria	Errore	Configurazione
nominale	ventola		corretta		della ventola
edificio					
Pa	Pa	$m^3/h$	$m^3/h$	%	
	Т	<b>EST IN DEPRE</b>	SSURIZZAZION	E	
	$\Delta p_{01+} = -0,6$			$\Delta p_{02+}=-0,2$	
	$\Delta p_{01} = 0,0$			$\Delta p_{02} = 0,0$	
-0,6	n/a				
-51,1	79,0	6048	6072	-2,6	Aperta
-46,1	75,0	5896	5920	0,4	Aperta
-42,8	71,7	5765	5788	2,3	Aperta
-39,3	62,7	5389	5410	0,2	Aperta
-34,8	55,6	5075	5096	1,0	Aperta
-30,3	47,6	4698	4717	0,8	Aperta
-26,8	40,1	4315	4332	-1,0	Aperta
-22,4	32,3	3873	3889	-1,7	Aperta
-15,5	143,9	3202	3215	-0,2	Anello A
-10,6	93,2	2582	2592	-0,2	Anello A
-0,2	n/a				
		TEST IN PRESS	SURIZZAZIONE		
	$\Delta p_{01+} = -0, 1$			$\Delta p_{02+}=-0,2$	
	$\Delta p_{01} = 0, 1$			$\Delta p_{02} = 0,0$	
-0,1	n/a				
49,8	76,1	5939	5921	-0,5	Aperta
45,8	71,2	5744	5727	1,0	Aperta
42,0	63,4	5421	5405	0,2	Aperta
37,9	56,6	5123	5107	0,4	Aperta
33,9	49,2	4775	4760	-0,2	Aperta
29,6	42,1	4418	4404	-0,2	Aperta
25,9	35,6	4063	4051	-0,8	Aperta
21,8	28,8	3657	3646	-1,4	Aperta
15,0	132,3	3071	3062	2,5	Anello A
9,9	77,8	2360	2353	0,3	Anello A
-0,2	n/a				
CLASSE DEL V	VENTO		0		
Temperatur	A [°C]		Interna 23		
VOLUME [3			Esterna 20		
VULUME [M]		$\sim$ [m <sup>2</sup> ]	552		
SUPERFICIE D	TELL INVOLUCE	10 [m]	333		
SUPERFICIE N	ETTA DEL PAVI	MENTO [m]	115		

Tabella 8.17: misurazioni eseguite per la stanza 1F9 (configurazione di prova n. IX).



Figura 8.57: diagramma d'infiltrazione d'aria relativo al test eseguito nella stanza 1F9.

Tabella 8.18: risultati del test in pressurizzazione e depressurizzazione per la
configurazione di prova n. IX.

	RISULT. TEST A	ATI DEL A 50 Pa	DIAGRAM	LEAKAGE AREAS				
<b>VZA 1F9</b> <sup>5</sup> IGURAZIONE DI A N. LX	PORTATA D'INFILTRAZIONE D'ARIA	RCAMBIOD'ARIA	Coefficientedi Portatad'aria	Coefficientedi Infl.trazione d'aria	Esponentedi portatad'aria	COEFFICENTEDI CORRELAZIONE	CanadianEqLA @10Pa	LBLELA@5Pa
TA ONI ROV	V <sub>50</sub>	<i>n</i> <sub>50</sub>	$C_{env}$	$C_L$	n			
r C S	$m^3/h$	$h^{-1}$	$m^3/(h \cdot Pa^n)$	$m^3/(h \cdot Pa^n)$			$cm^3$	$cm^{3}$
Depress.	6191 ±0,7%	9,18	740,6 ±5,1%	736,0 ±5,1%	0,544 ±0,014	0,99720	2876,9 ±1,9%	1685,2 ±3,2%
Dress	5959	8,84	627,5	625,7	0,576	0.00025	2631,2	1497,1
Pless.	±0,4%		±2,8%	±2,8%	±0,008	0,99923	$\pm 1,0\%$	$\pm l,7\%$
Media	6075	9,01					2754,0	1591,2

Esecuzione del test nelle stanze 1F4, 1F5, 1F6 (configurazione X)

Previo posizionamento della ventola sulla porta fra la stanza 1F5 e 1F8 è stato eseguito un test nelle stanze 1F4, 1F5 e 1F6, caratterizzate da soffitti in legno a cassettoni e da infissi di tipologia diversa rispetto a quelli testati precedentemente.

Sono stati in questo caso sigillati, oltre a tutte le scatole dell'impianto elettrico, alcuni fori presenti nel soffitto della stanza 1F5. Sono state eseguite alcune misure con anemometro sull'infisso W1F13, caratterizzato da telaio in legno, alla pressione di circa 50 Pa (fig. 8.58-8.61, e tab. 8.19). Dette misure sono state, di fatto, eseguite alle ore 18:20, successivamente ai test in depressurizzazione e pressurizzazione.





Figura 8.58: misurazioni con anemometro eseguite Figura sull'infisso W1F13.

8.59: infisso W1F13 (piano primo, lato nord-ovest).



gocciolatoio dell'infisso W1F13.

Figura 8.60: dettaglio di telaio e Figura 8.61: dettaglio della maniglia dell'infisso W1F13.

Tabella	8.19:	note	aggiuntive	alle	misurazioni	con	anemometro	eseguite
			sull	'infi	sso W1F13.			

CODICE Misura	VELOCITÀ <i>m/s</i>	NOTE AGGIUNTIVE
Α	0,00-0,40	Misura riferita all'interfaccia fra anta e telaio. Nella parte inferiore si misurano valori pari a 0,15-0,40 m/s mentre si scende zero nella parte superiore.

CODICE	VELOCITÀ	NOTE AGGIUNTIVE
MISURA	m/s	
В	0,20-0,40	Misura riferita all'interfaccia fra anta e telaio. I valori minori si sono misurati nella parte più bassa.
С	0,00-0,20	La misura è da intendersi riferita alla zona dove si chiude l'infisso. Si misura il valore di zero nella parte bassa per arrivare a 0,15 m/s salendo. In corrispondenza del listello di legno orizzontale si misurano 0,10-0,20 m/s.
D	0,10	Misura riferita all'interfaccia fra anta e telaio
Е	0,00	
F	1,00-2,75	Misura riferita all'interfaccia fra anta e telaio. Sopra la prima cerniera dell'infisso contando dal basso si arriva a valori di 1,50-2,00 m/s. Sotto la cerniera posta in mezzeria si misurano circa 2,50 m/s mentre sopra la stessa si arriva a valori di circa 2,75 m/s.
G	0,40	
Н	0,15	
I	0,20-3,30	Misura riferita all'interfaccia fra anta e telaio. Partendo da sinistra si hanno valori di 0,20-0,30 m/s per arrivare a 3,30 m/s in corrispondenza della chiusura. Si torna quindi a 0,40-0,20 m/s e si giunge a circa 0,50 m/s nella parte finale.
L	0,10-0,40	La misura è da intendersi eseguita all'interfaccia fra telaio e parete. Si misurano valori nulli nella parte più a sinistra per arrivare a circa 0,4 m/s in mezzeria. Si torna poi a calare a valori di 0,10-0,20 m/s.

Un test preliminare, eseguito alle ore 17:45, ha mostrato la possibilità di raggiungere differenze di pressione pari a 70 Pa: tale valore viene però giudicato inutile ai fini del test e vengono pertanto impostati, per il test in depressurizzazione, i seguenti step, 55, 50, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 15, e 10 Pa. Si riportano i valori acquisiti ed i risultati ottenuti (la prescrizione riguardate la pressione è stata soddisfatta) in tab. 8.20 e 8.21. Il diagramma di infiltrazione d'aria è riportato in fig. 8.62.

Tabella 8.20: misurazioni eseguite per le stanze 1F4, 1F5 e 1F6(configurazione di prova n. X).

Pressione	Pressione della	Portata d'aria	Portata d'aria	Errore	Configurazione			
nominale	ventola		corretta		della ventola			
edificio								
Pa	Pa	$m^3/h$	$m^3/h$	%				
TEST IN DEPRESSURIZZAZIONE								
	$\Delta p_{01+} = -0,7$			$\Delta p_{02+}=0,0$				
	$\Delta p_{01} = 0,0$			$\Delta p_{02} = 0, 1$				
-0,7	n/a							
-55,5	45,3	4584	4597	0,7	Aperta			
-50,8	40,1	4310	4323	-0,1	Aperta			

Pressione nominale	Pressione della ventola	Portata d'aria	Portata d'aria corretta	Errore	Configurazione della ventola
Pa	Pa	$m^3/h$	$m^3/h$	%	
-46,0	34,7	4012	4024	-1,3	Aperta
-40,4	29,7	3713	3724	-1,3	Aperta
-36,0	180,9	3587	3598	2,1	Anello A
-30,5	145,1	3215	3225	1,1	Anello A
-25,6	114,3	2856	2865	-0,2	Anello A
-20,7	88,3	2513	2521	0,0	Anello A
-15,8	62,5	2117	2124	-0,8	Anello A
-10,7	39,5	1686	1691	0,0	Anello A
0,1	n/a				
		TEST IN PRESS	SURIZZAZIONE		
	$\Delta p_{01+}=0,1$			$\Delta p_{02+}=-1,5$	
	$\Delta p_{01} = 0,3$			$\Delta p_{02} = 27,9$	
0,3	n/a				
55,3	42,2	4424	4420	1,5	Aperta
50,3	36,1	4090	4086	-1,1	Aperta
45,0	32,2	3862	3857	-0,6	Aperta
39,6	26,7	3520	3517	-2,7	Aperta
34,2	168,9	3466	3463	4,1	Anello A
30,2	143,9	3202	3199	3,1	Anello A
25,4	114,1	2854	2851	1,3	Anello A
20,3	90,5	2544	2541	2,4	Anello A
15,4	63,0	2126	2124	0,4	Anello A
10,2	37,3	1639	1637	-2,3	Anello A
-0,4	n/a				
CLASSE DEL V	/ENTO		0		
Temperatur	A [°C]		Interna 23 Esterna 24		
VOLUME [m <sup>3</sup> ]			287		
SUPERFICIE D	ELL'INVOLUCR	0 [m <sup>2</sup> ]	441		
<b>S</b> UPERFICIE N	ETTA DEL PAVI	MENTO [m <sup>2</sup> ]	67		



Figura 8.62: diagramma d'infiltrazione d'aria relativo al test eseguito nelle stanze 1F4, 1F5 e 1F6.

1F6 /	RISULTATI DEL TEST A 50 Pa		DIAGRAM	LEAKAGE AREAS				
<b>NZE 1F4, 1F5 e</b> figurazione di 7a n. X	PORTATA D'INFILTRAZIONE D'ARIA	RICAMBIOD'ARIA	COHPCIENTEDI PORTATA D'ARIA	Cohpictented Infl.trazione d'aria	Esponentedi portata d'aria	CORFECENTEDI CORRELAZIONE	CANADIANEqLA @10Pa	LBLELA@5Pa
TAT ONJ 20V	V50	<b>n</b> 50	Cenv	$C_L$	п			
$\mathbf{S}_{\mathbf{S}}$	$m^3/h$	$h^{-1}$	$m^3/(h \cdot Pa^n)$	$m^3/(h \cdot Pa^n)$			$cm^3$	$cm^3$
Donroad	4301	14,98	421,1	418,8	0,595	0.00202	1840,9	1029,1
Depress.	$\pm 0,5\%$		±3,5%	±3,5%	±0,010	0,99895	$\pm 1,3\%$	±2,2%
Press.	4132	14,40	469,6	467,5	0,557	0.00550	1881,6	1089,4
	±0,9%		±6,7%	±6,7%	±0,019	0,99559	±2,5%	$\pm 4,2\%$
Media	4216	14,69					1861,2	1059,3

Tabella 8.21: risultati del test in pressurizzazione e depressurizzazione per la configurazione di prova n IX

Limitatamente a quest'ultima configurazione di prova è stato tentato di visualizzare le perdite d'aria mediante fumogeni. Detti fumogeni sono stati collocati all'esterno dell'edificio ed è stato depressurizzato lo stesso con l'obiettivo di verificare se una parte del fumo penetra all'interno dell'edificio. Sono stati effettuati i seguenti tentativi:

- accensione di un primo fumogeno collocato al suolo all'esterno dell'edificio in corrispondenza della finestra W1F13;

- accensione di un secondo fumogeno, di dimensioni ridotte rispetto al primo, sul davanzale della stessa finestra;

- accensione di un terzo fumogeno, di dimensioni pari al primo impiegato, sul davanzale della finestra W1F10.

I primi due tentativi non hanno consentito l'osservazione di perdite causa carente posizionamento dei fumogeni e condizioni di vento non favorevoli. Il terzo invece ha portato ai risultati riportati in fig. 8.63-8.64.





Figura 8.63: tentativo di utilizzare un Figura 8.64: tentativo di utilizzare un fumogeno per visualizzare le perdite fumogeno per visualizzare le perdite d'aria dell'infisso W1F10. Dettaglio d'aria dell'infisso W1F10. Situazione della parte bassa dell'infisso.

alcuni secondi dopo la foto precedente.

# 8.6 Analisi dei risultati

Volendo ora procedere ad un'analisi dei risultati si riportano in tab. 8.22 i valori più importanti.

					RISULTATI		DIAGRAMMA D'INFILTRAZIONE			LEAKAGE		
		cro[m <sup>2</sup> ] vimento			DEL TEST A 50 Pa			D'ARIA			AREAS	
	JUME[m <sup>3</sup> ]	PERFICIE DELL'INVOLUC	PERFICIENEITADEL PAV 2]	ODTEST	PORTATA D'INFILIRAZIONE D'ARIA	RICAMBIOD'ARIA	COEFFCIENTEDI PORTATAD'ARIA	COEFFICIENTEDI D'ARIA D'ARIA	ESPONENTEDI PORTATAD'ARIA	COEFFICENTEDI CORRELAZIONE	CANADIANEqLA @10Pa	LBLELA@5Pa
	VC	Ŋ	<u> </u>	ŢĿ	$\frac{V_{50}}{m^3/h}$	$\frac{n_{50}}{h^{l}}$	C <sub>en</sub> m <sup>3</sup> /(h:Pa <sup>n</sup> )	$C_L$ $m^3/(hPd^n)$	n		cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
<b>I-</b> PIANO TERRA	3450	783	4468	Testnon es	Test non eseguiti causa differenze di pressione troppo scarse							
Ш-				Depress.	10058 ±1,3%	624	10127 ±5,6%	10199 ±5,6%	0,585 ±0,017	0,99648	43779 ±1,7%	3965, 9 ±0,9%
PIANO TERRA	PIANO 1424 2 TERRA	2080	341	Press.	9150 ±0,7%	5,67	9093 ±29%	9184 ±29%	0,588 ±0,009	0,99908	24707 ±3,3%	2232, 8 ±1,7%
		ا ا	Ļ!	Media	9604	595					41719	23517
IV-				Depress.	1099 ±0,3%	11,70	845 ±3,5%	850 ±3,5%	0,654 ±0,009	0,99925	4280 ±1,5%	2267 ±23%
GF6	94	126	26	Press.	945 0,4%	10,05	91,2 ±5,6%	92,1 ±5,6%	0,595 ±0,014	0,99772	404,5 ±2,3%	2262 ±3€%
		ا ا	$\square$	Media	1022	10,87	l			l	4162	226,4
V GFZ			352 50	Depress.	2278 ±0,3%	11,17	236,4 ±4,8%	237,7 ±4,8%	0,578 ±0,012	0,99825	10033 ±20%	570,1 ±3,1%
GF8E	204	352		Press.	1958 ±0,2%	9,60	237,7 ±2,7%	40,3 ±2,7%	0,536 ±0,007	0,99936	929 ±1,1%	44,1 ±1,7%
GF9			$\vdash$	Media	2118	10,38	Ļ	ļ	<u> </u>	I	9626	557,1
VI GF13	93	137	21	Press.	1526 ±0,5%	16,41	1755 ±69	177,4 ±69	0550 ±0,018	0,99597	7127 ±2,9%	4095 ±4,5%
<b>VII</b> 1F3	279	364	66	Depress	7086 ±0,5%	25,40	7255 ±3,3%	7255 ±3,3%	<b>0,583</b> ±0,009	0,99903	<b>30965</b> ±1,2%	1751,4 ±2,0%
VIII				Depress.	8659 ±1,2%	10,02	913,9 ±5,7%	9061 ±5,7%	0,577 ±0,017	099655	38181 ±18%	21706 ±33%
IF2E	864	796	6 159	Press.	8730 ±0,8%	10,10	9852 ±3,8%	9808 ±3,8%	0,559 ±0,012	0,99829	39635 ±1,2%	22912 ±22%
159	ا <sup> </sup>	 		Media	8695	10,06				·	38908	22309
IV				Depress.	6191 ±0,7%	9,18	740,6 ±5,1%	7360 ±5,1%	0,544 ±0,014	0,99720	28769 ±1,9%	16852 ±3,2%
<b>іх</b> 1F9	674	553	53 113	Press.	5959 ±0,4%	8,84	627,5 ±2,8%	625,7 ±2,8%	0,576 ±0,008	0,99925	26312 ±1,0%	1497,1 ±1,7%
		 		Media	6075	9,01					27540	1591,2
X		37 441		Depress.	4301 ±0,5%	14,98	421,1 ±3,5%	4188 ±3,9%	0,595 ±0,010	0,99893	18409 ±1,3%	1029,1 ±2,2%
1F4, 1F5e	1F4, 1F5E 287		1 67	Press.	4132 ±0,9%	14,40	469,6 ±6,7%	467,5 ±6,7%	0,557 ±0,019	0,99559	18816 ±25%	1089,4 ±4,2%
1F6			Media	4216	1469					18612	10593	

Tabella 8.22: riepilogo dei principali risultati derivanti dall'esecuzione del blower door test nella Palazzina dalla Viola (piani terra e primo).

È presente una estrema variabilità nei valori di ricambi orari essendo i valori stessi compresi fra i 5,67 ottenuti nel test effettuato sull'intero piano terra e i 25,40 relativi al test effettuato sulla stanza 1F3, al piano primo. Il valore medio misurato

supera i 10 ricambi orari con valori, in media, più alti al piano primo rispetto al piano terra; la mancanza di un valore globale per il piano primo rende però impossibile eseguire un solido confronto fra i due piani. In ogni caso è palese l'elevata permeabilità all'aria dell'edificio e quindi, da questo punto di vista, una scarsa efficienza energetica.

Si procede ora ad esaminare uno alla volta i risultati ottenuti nelle singole configurazioni di prova esponendo alcune considerazioni caso per caso.

In merito al test eseguito sull'intero piano terra (configurazione di prova n. III) il valore di ricambi orari ottenuto per il test in depressurizzazione è pari a 6,24, minore quindi del valore misurato in precedenza senza preventiva sigillatura degli scassi contro terra (dove si era ottenuto  $n_{50}=7,99/h$ ). Quindi aspetti anche apparentemente non cruciali nel numero o nella qualità delle sigillature possano avere un'influenza rilevante sui risultati. Questo comporta, soprattutto nello specifico caso dell'edificio indagato, una elevata incertezza associata ai risultati, essendo presenti molteplici elementi da sigillare ed essendo altamente probabile trascurare qualche elemento erroneamente ritenuto irrilevante o, comunque, essendo altresì probabile che parte delle sigillature non siano ermetiche per via delle complesse geometrie da sigillare dei limiti intrinseci della sigillatura mediante nastratura e dalla poca tenuta causa scarsa aderenza dei nastri adesivi causata dalla molta polvere presente in sito.

In merito ai test eseguiti sulla sola stanza GF6 (configurazione di prova IV) i valori dei ricambi d'aria ottenuti, maggiori di quelli medi di piano, sono imputabili principalmente a due elementi: la particolare tipologia del pavimento e la scarsissima tenuta all'aria delle due finestre presenti, per vetustà a malapena chiudibili ma lascianti ampi pertugi soprattutto nella parte superiore a vasistas.

In merito ai test eseguiti sulle stanze GF7, GF8 e GF9 (configurazione di prova V) i ricambi d'aria orari sono leggermente inferiori, anche se molto simili, a quelli dei test eseguiti in precedenza sulla stanza GF6. Essendo evidente come la tenuta d'aria del pavimento delle stanze ora in esame dovrebbe essere ermetica (o comunque, molto migliore di quello della stanza GF6) risultati molto simili ai precedenti sono probabilmente indice che la maggior parte delle perdite misurate in precedenza in GF6 sono da attribuirsi alle finestre e solo in minima parte al pavimento.

In merito al test eseguito sulla sola stanza GF13 (configurazione di prova VI) il valore ottenuto (16,41 ricambi orari per il test in pressurizzazione) è molto superiore rispetto a tutte le altre misure eseguite al piano terra. La giustificazione è probabilmente insita nel solaio a cassettoni e probabilmente a una concentrazione di fessure sulle pareti, maggiori che in altre aree dell'edificio.

In merito al test eseguito sulla sola stanza 1F3 (configurazione di prova VII) il valore di 25,40 ricambi d'aria orari è il più alto fra tutti quelli misurati. Non è chiaro se questo sia da attribuirsi principalmente alle finestre o al soffitto in legno, sopra il quale si trova un sottotetto non abitabile. È quindi plausibile che non siano presenti strati di materiali a tenuta d'aria nel solaio ma, essendo questa situazione tipica di numerose altre stanze del primo piano ove si sono misurati valori molto più bassi, si ritiene più probabile che una quota rilevante di infiltrazioni sia dovuta agli infissi.

In merito ai test eseguiti sulle stanze 1F2 e 1F9 (configurazione di prova VIII) il valore ottenuto è pari a circa 10 ricambi orari. Sebbene con grandi approssimazioni, questo valore è probabilmente la singola misura che meglio riflette lo stato generale del piano primo in quanto sono presenti, sebbene in quote variabili rispetto all'intero piano, tutti gli elementi distintivi dello stesso quali le grandi finestre vetrate (presenti in 1F2) e i soffitti a travi e cassettoni (in ambo le stanze).

In merito ai test eseguiti sulla sola stanza 1F9 (configurazione di prova IX) i valori sono solo moderatamente più bassi rispetto al test precedente: questo risultato è a prima vista illogico vista l'assenza, almeno teorica, di moti di filtrazione d'aria attraverso gli infissi essendo state sigillate mediante nastratura tutte le porte e porte-finestre della stanza. La spiegazione più plausibile, dal momento che l'oggetto da testare è un sottoinsieme di quello precedente e che non è stato operato cambiamento alcuno nelle sigillature eccetto l'aggiunta di quelle necessarie a isolare la stanza oggetto di prova dalla precedente, è che la maggior parte delle perdite della prova precedente sia da imputarsi alla stanza 1F9 e che il contributo dell'altra stanza indagata (1F2) fosse allora molto limitato. In particolare gli elementi della stanza 1F9 che potrebbero giustificare i risultati ottenuti sono due: il soffitto in legno e gli affreschi. I teli a protezione di questi ultimi si sono infatti sollevati durante le prove e questo è indice di moti di filtrazione d'aria attraverso gli stessi. La strumentazione utilizzata per la misura delle velocità dei moti di filtrazione (anemometro) non è però adeguata ad una verifica per via della troppo elevata superficie su cui i suddetti presunti moti di filtrazione si sviluppano.

In merito ai test eseguiti sulle stanze 1F4, 1F5 e 1F6 (configurazione di prova X) i valori calcolati sono superiori a quelli ottenibili per il solo salone. Essendo, almeno a prima vista, la fattura degli infissi buona si ritengono probabili elevate infiltrazioni attraverso il solaio.

Globalmente per l'intero edificio appare possibile trarre le seguenti conclusioni:

- i valori dei ricambi orari sono, sebbene variabili, molto elevati e la tenuta all'aria è quindi molto scarsa;

- gli infissi svolgono un ruolo importante nella quantità di infiltrazioni. Un altro elemento rilevante sono probabilmente i solai a cassettoni presenti fra il piano primo e il piano secondo essendo probabilmente possibili moti di filtrazione verticale fra un'asse e l'altra. Fra il piano terra e il piano primo tali moti non sono possibili essendo presenti materiali che dovrebbero assicurare una tenuta ermetica quali uno strato di calcestruzzo e la pavimentazione del piano primo.

Passando infine alla questione riguardante l'idoneità del blower door test all'investigazione dell'efficienza energetica degli edifici storici si rileva come la variabilità di elementi (infissi, solai, ecc ...) propria di questo caso ma, in generale, anche di ogni edificio storico che abbia subito multipli interventi di ristrutturazione parziale renda poco efficace l'applicazione di uno strumento, quale il blower door test, pensato per testare un singolo edificio (o appartamento) come un elemento unico e quindi per riassumerne il comportamento con un'unica serie di parametri.

### 9 PALAZZINA DELLA VIOLA: INDAGINI TRAMITE TERMOGRAFIA

Sulla Palazzina della Viola è stata eseguita un'indagine termografica articolata in più periodi, che ha visto coinvolto più soggetti del dipartimento DICAM dell'Università di Bologna, nell'intervallo compreso fra la fine di gennaio e l'inizio di maggio 2011, per un'analisi generale dell'edificio con l'ausilio di tale tecnica.

# 9.1 Scopi

Le indagini sono state condotte con il triplice scopo di indagare l'edificio dal punto di vista energetico, dal punto di vista strutturale e di testare sul campo le possibilità della tecnica termografica. Detto ultimo punto è stato reso possibile dai lavori di restauro conservativo, iniziati successivamente all'inizio delle prove e proseguiti parallelamente alle stesse che, prevedendo la parziale demolizione di svariati elementi strutturali e non, quali intonaci, pavimentazioni, solette in calcestruzzo e controsoffitti, hanno consentito una parziale verifica delle ipotesi formulate in fase di interpretazione dei risultati delle indagini termografiche.

È stata inoltre eseguita, durante la fase più consistente della campagna di indagini, attuatosi a gennaio e febbraio 2011, una sommaria ricerca della possibile presenza di affreschi al di sotto degli strati di tinteggiatura visibili, limitatamente ad alcuni ambienti.

Relativamente alla parte afferente gli aspetti strutturali l'attenzione è stata in particolare rivolta ai seguenti aspetti:

- tessiture delle murature e loro elementi costituenti (mattoni pieni o laterizi forati),

- orditure dei solai non definibili dalla mera osservazione. Numerosi solai sono infatti caratterizzati, oltre che da orditura di travetti lignei visibili osservando l'orizzontamento dal piano inferiore, da travetti metallici posti superiormente non individuabili senza operazioni distruttive sulla struttura;

- ricerca di elementi di degrado delle murature, quali fessure o altri segni di disagio meccanico oltre a elementi di eventuale criticità nelle strutture dal punto di vista della resistenza meccanica, quali la presenza di tamponature nelle pareti e di architravi alla sommità delle aperture, oltre ad un tentativo di discernimento delle murature ammorsate da quelle semplicemente appoggiate;

- caratteristiche che possono costituire aiuto nella ricostruzione della storia dell'edificio, quali, oltre a buona parte degli elementi indicati al punto precedente, tracce della passata esistenza di murature oggi non più presenti.

Per quanto riguarda le indagini relative all'efficienza energetica dell'edificio la termografica ha invece rivestito un ruolo nei seguenti aspetti:

- ricerca di ponti termici;

- ricerca di aree caratterizzate da una particolare concentrazione di umidità. Detto obiettivo è trasversale agli scopi energetici e a quelli relativi alla stima della salute delle murature;

- supporto alle prove di termoflussimetria eseguite all'interno dell'edificio, ove la tecnica in esame è stata impiegata quale strumento di controllo della qualità del posizionamento del termoflussimetro e delle termocoppie necessarie alle prove stesse;

- supporto alle prove di permeabilità all'aria 'Blower Door Test', trattate diffusamente nel capitolo 8, quale strumento di visualizzazione delle infiltrazioni tanto dall'interno dell'ambiente testato quanto dall'esterno.

## 9.2 Strumentazione utilizzata

Sono state utilizzate, nell'arco delle indagini, due termocamere unitamente a sistemi di riscaldamento utilizzati principalmente in funzione della disponibilità della strumentazione.

Le termocamere utilizzate sono state in particolare:

- Flir B250 Western (fig. 9.1, caratteristiche tecniche in tab. 9.1).

- Flir P620 (fig. 9.2, caratteristiche tecniche in tab. 9.2);

Le indagini sono state in parte condotte in modo passivo ed in parte con il supporto di un sistema di riscaldamento, onde forzare le condizioni termiche delle strutture in modo favorevole alle indagini. Tale ausilio è stato reso necessario dalla mancanza di un impianto di riscaldamento funzionante all'interno dell'edificio.

È stato utilizzato, nella massima parte dei casi e in particolare per le prime settimane d'indagine, durante le quali sono stati acquisiti la maggior parte dei termogrammi, un generatore di calore elettrico, modello "Stufy 15", impostabile per un funzionamento a 7,5 o a 15 KW (fig. 9.3). Per effettuare prove saltuarie sono stati occasionalmente impiegati anche un faretto (fig. 9.4) e una piccola stufa elettrica (fig. 9.5). Il faretto è stato in particolare utilizzato nelle prime giornate

della campagna d'indagine, causa mancanza del riscaldatore "Stufy 15", mentre la stufa elettrica è stata impiegata unicamente nelle prove tese a verificare l'ammorsatura delle pareti, condotte nell'arco di una sola giornata.





Figura 9.1: termocamera Flir B250 Figura 9.2: termocamera Flir P620 Western utilizzata nelle indagini.

utilizzata nelle indagini.

CARATTERISTICHEIMMAGINE						
Campo visivo (FOV)	25° x 19°/0,4 m					
Sensibilità termica / NETD	70 mK					
Messa a fuoco	Manuale / Automatica					
Zoom	Zoom digitale 1-2x continuo a funzione panorama					
Campo spettrale	7,5-13 μm					
Risoluzione IR	240 x 180 pixel					
PRESENTA	ZIONE DELLE IMMAGINI					
Display	LCD a colori da 3,5", touch-screen incorporato					
Madalità immagina	Immagini IR, immagini visive, Flir Picture-inPicture, galleri					
	immagini in miniatura					
Flir Picture-in-Picture	Scalabile					
MISURAZIONE						
Intervallo di temperatura	-20 °C a+120 °C					
Precisione	±2°C					
FOTOCAMERA DIGITALE						
Fotocamera digitale integrata	3,1 Mpixel (2048 x 1536 pixel), ed illuminatore					
DIMENSIONI/PESO						
Peso della termocamera inclusa la batteria	0,88 kg					
Dimensioni della termocamera (L x W x H)	106 x 201 x 125 mm					

Tabella 9.1: caratteristiche tecniche della termocamera Flir B250 Western.

IMAGING PERFORMANCE						
Field of view/min focus distance	24°x18°/0,3m					
Spatial resolution (IFOV)	0,65 mrad					
Thermal sensivity @ 50/60 Hz	65 mK at 30°C					
Electronic zoom	2xZoom					
Focus	Automatic or manual					
Digital image enhancement	Normal and enhanced					
Detectorstano	Focal plane array (FPA) uncooled microbolometer, 640x480					
Delector type	pixel					
Spectral range	7,5 to 13 µm					
Visual						
Puilt in digital video	3,2 Mpixel/full color/built-in target illuminator/					
	exchangeable lens					
Standard lens performance	f=8mm/FOV 32°					
IMA	GE PRESENTATION					
Luces frain	Picture in Picture (PIP) with full control of IR window,					
Image rusion	threshold above, threshold below, threshold interval					
Vifirelan	Built-in, tiltable, high-resolution color viewfinder (800x480					
ViewTinder	pixel)					
External display	Built-in 5,6" LCD (1024x600 pixel)					
Video output	RS170 EIA/NTSC or CCIR/PAL composite video					
MEASUREMENT						
Torrespondente and and a	-40°C to +500°C, in 2 ranges, up to -2000°C, optional (-40to					
remperaturerange	932°F with option to 3632°F)					
Accuracy (% of reading)	$\pm 2^{\circ}$ C or $\pm 2^{\circ}$ of reading					
Magarament modes	3 Spots/areas (Boxes, circles), isotherms (above, below,					
Weasurement modes	interval), Delta T					
	Palettes, load custom palletes, auto adjust (manual,					
Menu controls	continuous, based on histogram equalization), image gallery,					
	periodic storage					
Emissivity correction	Variable from 0,1 to 1,0 or select from listing in pre-defined					
Emissivity conceation	material list					
	Automatic correction based on user input for reflected					
Measurement features	ambient temperature, distance, relative humidity, atmospheric					
	transmission, and external optics					
Optics transmission correction	Automatic, based on signal s from internal sensors					
PHYSICAL CHARACTERISTIC						
Weight	1,7 kg w/battery					
Size	120 mm x 145 mm x 220 mm					
Tripod mounting	1/4"-20					

Tabella 9.2: caratteristiche tecniche della termocamera Flir P620.

Altro materiale ausiliario all'esecuzione delle prove è quello necessario alla misura dei parametri influenzanti i valori restituiti della termocamera ossia:

- temperatura e umidità relativa dell'aria misurate con il termoigrometro digitale HD9216 della Daltaohm (vedasi paragrafo 7.2 per le specifiche tecniche); - un distanziometro laser o, più raramente, un metro avvolgibile per la misura della distanza fra obiettivo della termocamera ed elemento al centro dell'inquadratura.



Figura 9.3: riscaldatore Figura elettrico utilizzato nelle utilizzato quale sistema di indagini eseguite gennaio e febbraio 2011.

9.4: faretto a riscaldamento nelle prime verificare l'ammorsatura giornate di prova.

Figura 9.5: stufa elettrica utilizzata per tentare di fra le pareti.

#### 9.3 Procedura preparatoria

Le indagini termografiche, se eseguite con un approccio qualitativo, quale quello seguito nella campagna d'indagine alla Palazzina, sono caratterizzate da semplice e rapida esecuzione, essendo le uniche operazioni propedeutiche necessarie all'acquisizione dei termogrammi costituite dalla misura di temperatura e umidità relativa dell'aria, oltre alla distanza fra obiettivo e strutture inquadrate.

Ritenendo necessario acquisire il massimo numero possibile di termogrammi, onde testare il maggior numero di aree dell'edificio possibile ed effettuare prove in diverse condizioni termiche, la misura dei parametri ambientali e della distanza sono state, per celerità, spesso omesse. Sono stati in tali casi utilizzati valori simbolici scelti come segue:

- temperatura e umidità relativa sono state desunte, in assenza di altri dati utilizzabili, dai valori misurati nel corso della campagna di monitoraggio in continuo del microclima con termoigrometro analogico (vedasi paragrafo 7.2) che, sebbene tipicamente relativi ad un'altra area dell'edificio rispetto a quella indagata con la termografia in quel momento, sono stati ritenuti un'approssimazione accettabile dei parametri presenti nella zona di prova;

- la distanza è stata assunta pari a 3,0 m per tutti i termogrammi acquisti all'interno dell'edificio e a 20,0 m per tutti quelli acquisti all'esterno (costituiscono eccezione alcuni termogrammi acquisti all'esterno ma in evidente prossimità dell'edificio per i quali è stata impostata una distanza pari a 3,0 m).

L'emissività è stata infine assunta, in tutti i casi, pari a 0,95, non essendo disponibili valori accurati variando l'emissività stessa con molteplici parametri non rilevabili in sito (vedasi cap. 3, paragrafi 3.3 e 3.4).

Tali impostazioni grossolane, sebbene degradanti la precisione dei valori assoluti di temperatura desumibili dalle immagini termografiche, non sembrano influenzare significativamente, o almeno non in misura tale da distorcere i risultati in modo qualitativo, il gradiente di temperatura fra le diverse aree del termogramma, e quindi, con esso, l'efficacia dell'indagine.

Qualora sia stato utilizzato un sistema di riscaldamento questo è stato acceso prima dell'inizio delle operazioni di ripresa termografica per un periodo di tempo variabile di volta in volta in funzione della qualità dei risultati ottenibili da prove preliminari effettuate di tanto in tanto durante la fase di riscaldamento o in ragione del momento in cui fossero disponibili operatori per l'esecuzione delle indagini.

# 9.4 Acquisizione dei dati e loro post-processing

Sono stati acquisiti, nell'arco dell'intera indagine, circa 393 termogrammi, di cui, circa 61 all'esterno dell'edificio e circa 313 all'interno. La ripartizione di questi ultimi in ragione del piano è riportata in tab. 9.3, ove sono stati conteggiati tutti gli scatti disponibili senza considerare la loro validità ai fini della ricerca.

Piano	NUMERO DI TERMOGRAMMI DISPONIBILI
Interrato	17
Terra	96
Primo	196
Secondo	4

Tabella 9.3: numero totale di termogrammi disponibili per ogni piano dell'edificio.

In tab. 9.4 è invece riportato un quadro riassuntivo più dettagliato dei termogrammi acquisiti indicante, in ordine cronologico di acquisizione, stanze investigate e il numero di termogrammi acquisiti in ognuna. Alcuni termogrammi acquisiti per evidente errore o dei quali la collocazione non fosse certa non sono stati considerati. Le posizioni approssimative, sulle piante dell'edificio, delle aree

investigate sono invece riportate nelle fig. 9.6, 9.9, 9.12 e 9.15, ove la sigla 'IR', indicante le immagini a infrarossi, è stata, per semplicità, omessa.

È osservabile come, sebbene il numero di termogrammi sia consistente, svariate aree dell'edificio sono rimaste non indagate, principalmente in ragione dei tempi tecnici necessari al riscaldamento di una stanza per le indagini e all'incalzare dei lavori di demolizione che hanno limitato la durata della campagna di indagini principale.

Alcune fasi dell'acquisizione dei termogrammi sono invece mostrate in fig. 9.7-9.8, 9.10-9.11, 9.13-9.14.

DATA ACQUISIZIONE	CODICI TERMOGRAMMI STANZA NUME			NUMERO
	DALFILE	ALFILE		TERMOGRAMMI
01-02-11	IR 1309	IR 1317	Esterno	9
	IR_1319	IR_1329	1F4	6
02-02-11	IR	1331	Esterno	1
03-02-11	IR_1333	IR_1347	1F4	8
03-02-11	IR_	1349	GF6	1
	IR_1351		GF2	1
	IR_1353	IR_1359	GF6	4
	IR_	1361	GF3	1
	IR_	1363	GF2	2
	IR_	1365	GF1	1
03-02-11	IR_1367	IR_1379	UF10	7
	IR_1381	IR_1389	UF8	5
04 02 11	IR_1391	IR_1399	UF7	5
04-02-11	IR_1401	IR_1417	UF3	9
	IR_1423	IR_1441	GF13	10
07.02.11	IR_1443	IR_1453	GF10	6
07-05-11	IR_1455	IR_1495	GF17	21
00.02.11	IR_1373	IR_1378	2F5	4
09-02-11	IR_1377	IR_1378	1F8	2
10-02-11	IR_1378	IR_1525	1F8	78
11-02-11	IR_1551	IR_1565	1F4	8
12 02 11	IR_1535	IR_1549	1F8	9
12-02-11	IR_1567	IR_1627	1F4	30
	IR_1629	IR_1639	1F5	6
14 00 11	IR_1641	IR_1655	1F6	8
14-02-11	IR_1657	IR_1683	1F7	14
	IR_1689	IR_1741	1F3	27
	IR_2	2220	GF10	5
07-03-2011	IR_2	2230	GF17	1
	IR_2232	IR_2234	GF13	2

Tabella 9.4: termogrammi acquisiti, in ordine cronologico, nelle varie stanze investigate.

DATA ACQUISIZIONE	CODICI TERMOGRAMMI		STANZA	NUMERO
	DALFILE ALFILE			TERMOGRAMMI
	IR_2236	IR_2240	GF11	3
	IR_2242	IR_2246	GF10	3
	IR	2248	GF17	1
	IR_2250	IR_2252	GF11	2
	IR_1899	IR_1903	GF2	3
	IR_1907	IR_1923	GF1	9
23-03-11	IR_1925	IR_1943	GF6	10
	IR_1945	IR_1954	GF1	6
	IR_1958	IR_1963	GF9	4
05-04-11	IR_2005	IR_2066	Esterno	61



Figura 9.6: schema dei termogrammi acquisiti al piano interrato.



fase delle indagini Figura 9.8: fase 9.7: Figura gennaio e febbraio 2011.



delle indagini sull'esterno dell'edificio eseguite a sull'esterno dell'edificio eseguite a gennaio e febbraio 2011.



Figura 9.9: schema dei termogrammi acquisiti al piano terra.



Figura 9.10: fase delle indagini al piano interrato eseguite a gennaio e febbraio 2011.



Figura 9.11: fase delle indagini eseguite al primo piano a gennaio e febbraio 2011.



Figura 9.12: schema dei termogrammi acquisiti al piano primo.



fase delle indagini Figura 9.14: fase Figura 9.13: lato sud-est dell'edificio.



delle indagini sull'esterno eseguite a maggio 2011, sull'esterno eseguite a maggio 2011, lato nord-ovest dell'edificio.



Figura 9.15: schema dei termogrammi acquisiti al piano secondo.

Il post-processing, eseguito con l'ausilio del programma Flir Quick Report (versione 1.2) è stato essenzialmente costituito, oltre che dal settaggio dei valori di temperatura e umidità relativa dell'aria (qualora non vi si fosse provveduto direttamente in fase di acquisizione) nell'ottimizzazione del campo di temperature visualizzate in modo da migliorare il contrasto di temperature dell'immagine per ottenere una più efficiente visualizzazione dei dettagli.

Qualora siano stati individuati elementi di particolare interesse in un dato termogramma, il campo è stato settato prioritariamente in modo da evidenziare in modo massimale tali elementi, trascurando spesso le restanti aree del termogramma, in taluni casi divenute illeggibili.
Qualora invece non siano presenti elementi di particolare rilievo i valori sono stati impostati in modo da aumentare il contrasto senza deteriorare eccessivamente alcuna area del termogramma.

Sono inoltre stati evidenziati alcuni elementi di particolare interesse per mezzo di puntatori (oppure linee o aree rettangolari) e della contestuale visualizzazione della temperatura del punto (o delle temperature minima e massima di tutti i punti considerati nel caso delle linee e delle aree). Tali elementi sono stati tipicamente posizionati in modo da essere il meno invasivi possibile nei riguardi dell'immagine, conservando comunque un posizionamento significativo in ragione degli elementi ritenuti interessanti. Tipicamente è stato indicato, oltre all'area d'interesse, un punto limitrofo, per consentire una lettura della differenza di temperatura fra l'area di interesse e la rimanente. Sebbene le temperature misurate siano, per via dei settaggi approssimativi, da ritenersi indicative, una stima dell'ordine di grandezza è comunque utile anche in un'indagine di questo tipo per avere un'idea dell'entità degli effetti causati da un certo tipo di difetto o per eseguire un confronto fra più elementi presenti nello stesso termogramma.

## 9.5 Esempi di termogrammi significativi

Stante l'elevata quantità di termogrammi acquisiti è stata operata una scelta di quelli ritenuti più interessanti, portando alcuni esempi di risultati per i vari obiettivi considerati fornendo, ove possibile, cenni generali ai risultati ottenuti in un dato ambito. Una particolare attenzione è stata posta alla parte strutturale con brevi cenni alla parte energetica.

# Studio della tessitura delle murature e dei loro elementi costitutivi

Risultati interessanti sono stati ottenuti in più aree dell'edificio, quali le stanze UF3, UF7, GF13, 1F5 e 1F6 (fig. 4.7, 4.10, 4.13 e 4.16), sebbene il riscaldamento della stanza da indagare sia tipicamente una condizione necessaria alla visualizzazione degli elementi costituenti la muratura. Un elevato spessore dell'intonaco è un fattore che può inibire detta visualizzazione. In generale gli elementi forati dei tramezzi sono stati individuati con maggiore facilità e nitidezza dei laterizi storici costituenti le murature più datate.

Risultati interessanti sono stati ottenuti, ad esempio, nella stanza UF7, ove sono presenti una muratura di laterizi tradizionali (parete sud-est, fig. 9.18) e una muratura di elementi forati (parete nord-est, fig. 9.16). Sono stati acquisiti, previo riscaldamento del locale con il riscaldatore elettrico da 15 KW, i due termogrammi

IR 1397 e IR 1399 (fig. 9.17-9.19, dettagli in tab. 9.5). Sono chiaramente visibili gli elementi forati costituenti la muratura nord-est la cui presenza era, in questo caso, desumibile dal ridotto spessore della parete, e gli elementi tradizionali costituenti la parete portante nord-est. Questi ultimi sono divenuti osservabili a seguito della rimozione dell'intonaco (fig. 9.20).

	TERMOGRAMMA	TERMOGRAMMA
	IR_1397	IR_1399
Momento di acquisizione	04-02-2011	04-02-2011
	ore 10:51:49	ore 10:53:35
Termocamera	Flir P620	
Temperatura [°C]	14,9	
Umidità relativa [%]	35,6	
Distanza obiettivo-centro dell'immagine [m]	2,36	2,25

Tabella 9.5: dati di acquisizione dei termogrammi IR 1397 e IR 1399.



Figura 9.16: parete nord-est della Figura 9.17: termogramma IR 1397 stanza UF7.



acquisito sulla parete nord-est della stanza UF7.



*UF7*.



Figura 9.18: parete sud-est della stanza Figura 9.19: termogramma IR 1399 acquisito sulla parete sud-est della stanza UF7.



Figura 9.20: parete sud-est della stanza UF7 a seguito della rimozione dell'intonaco e di alcune altre demolizioni.

Un altro esempio di muratura storica indagata con successo è costituito dalla parete nord-est della stanza GF13. In tale caso, l'acquisizione del termogramma IR\_1429 (fig. 9.21-9.22 dettagli in tab. 9.6) ha consentito di visualizzare parte dei laterizi costituenti la muratura, anche in questo caso previo riscaldamento della stanza con il riscaldatore elettrico.

È osservabile come, analogamente al precedente termogramma, anch'esso relativo a una muratura storica, i laterizi appaiano visualizzati con scarsa nitidezza. Tale effetto è probabilmente imputabile in parte alla non omogeneità del riscaldamento dell'ambiente ma, non interessando questo fenomeno le murature moderne in forati, è plausibile ipotizzare che sia in parte dovuto alle irregolarità geometriche presenti nella muratura, quali intonaco di spessore diverso da un punto all'altro. La presenza di 'sacche' d'aria, con caratteristiche termiche molto diverse dai laterizi, all'interno dei forati è un ulteriore elemento che facilita la visualizzazione di tali elementi. Nel termogramma in esame è inoltre identificabile una fessura nella muratura; detta fessura è visibile anche con la mera osservazione della parete e la termografia non è quindi in grado di fornire, in questo caso specifico, informazioni addizionali. In altre applicazioni è invece più agevole con l'applicazione della

	TERMOGRAMMA IR_1429
Momento di acquisizione	04-20-11 ore 17:39:26
Termocamera	Flir P620
Temperatura [°C]	18,5
Umidità relativa [%]	31,9
Distanza obiettivo - centro dell'immagine [m]	3,61

Tabella 9.6: dati di acquisizione del termogramma IR\_1429.





Figura stanza GF13.

9.21: parete nord-est della Figura 9.22: termogramma IR 1429 acquisito sulla parete nord-est della stanza GF13.

#### Studio delle orditure dei solai

Sono stati in alcuni casi acquisti dei termogrammi sui solai, al fine di investigare la capacità della termografia di individuare travi e travetti in diversi tipi di solai.

Nell'edificio sono infatti presenti molteplici tipologie di orizzontamento: in laterocemento, in legno e con più ordini di elementi in legno e acciaio sovrapposti. In virtù delle informazioni acquisite mediante altre fonti (indagini georadar, per le quali si veda il cap. 11, o semplici saggi presenti nei solai stessi, per il dettaglio dei quali si veda l'appendice I) è stato possibile verificare i risultati ottenuti.

Nella stanza UF8, ad esempio, è stato acquisito, previo riscaldamento del locale con il riscaldatore elettrico, il termogramma IR 1389 (fig. 9.23-9.24, dettagli in tab. 9.7). Sono risultati chiaramente distinguibili i travetti in calcestruzzo presenti nel solaio. La presenza, l'interasse e l'orientamento di detti travetti è stata poi verificata mediante un saggio (S13) presente nel solaio oggetto di indagine e, successivamente, a seguito della rimozione dell'intonaco (fig. 9.25).

Tabella 9.7: dati di acquisizione del termogramma IR 1389.

	TERMOGRAMMA IR_1389
Momento di acquisizione	04-20-11 ore 10:24:37
Termocamera	Flir P620
Temperatura [°C]	12,0
Umidità relativa [%]	53,5
Distanza obiettivo - centro dell'immagine [m]	3,30

È inoltre osservabile come difettosità o degrado superficiale, quali quelli presenti nella parete al di sotto del solaio indagato, inducano grandi differenze nelle

temperature misurate: in tali casi un'ispezione visuale della muratura semplifica notevolmente l'interpretazione dei risultati rispetto all'utilizzo del solo termogramma. Nel caso in esame ad esempio la porzione di muratura più calda, leggermente al di sotto dell'interfaccia fra parete e solaio, è dovuta alla presenza di un distacco d'intonaco, facilmente visibile.



sovrastante.

Figura 9.23: stanza UF8 e solaio Figura 9.24: termogramma IR 1389 acquisito per indagare il solaio al di sopra della stanza UF8.



Figura 9.25: area investigata con il termogramma IR 1389 a seguito di alcune demolizioni includenti intonaco, tramezzi e massetto in calcestruzzo.

Un altro esempio interessante è relativo alla stanza GF17, ove sono stati acquisiti, previo riscaldamento del locale con il riscaldatore elettrico da 15 KW, i due termogrammi IR 1491 e IR 1493 (fig. 9.26-9.29, dettagli in tab. 9.8). Successivamente alle indagini non distruttive il controsoffitto della stanza è stato rimosso (fig. 9.30-9.31); questo unitamente alla presenza di uno scasso (S06) nel solaio oggetto di indagine ha permesso di verificare le informazioni ottenute con la termografia.

Nel termogramma è in ogni caso immediatamente riscontrabile la presenza di travetti lignei ortogonali alla trave principale visibile. Unitamene a detti elementi ne sono presenti altri, caratterizzati da dimensioni più ridotte, da identificarsi con dei listelli lignei di irrigidimento (la presenza di tali elementi è stata verificata mediante il saggio suddetto). Travetti metallici sono presenti superiormente ai travetti lignei ed ortogonalmente agli stessi; tali elementi sono visibili nel termogramma IR 1493, come fasce a temperatura minore del resto della superficie.

Tabella 9.8: dati di acquisizione dei termogrammi IR 1491 e IR 1493.

	Termogramma IR_1491	Termogramma IR_1493
Momento di acquisizione	07-02-2011	07-02-2011
Womento di dequisizione	ore 17:24:56	ore 17:27:48
Termocamera	Flir P620	





sovrastante (angolo nord).

Figura 9.26: stanza GF17 e solaio Figura 9.27: termogramma IR 1491 acquisito per investigare il solaio al di sopra della stanza GF17.



Figura 9.28: stanza GF17 e solaio Figura 9.29: termogramma IR 1493 sovrastante.



acquisito per investigare il solaio al di sopra della stanza GF17.



Figura 9.30: stanza GF17, visto dall'intradosso dopo stanza GF17, visto dall'intradosso dopo alcune demolizioni, area indagata con il alcune demolizioni, area indagata con il termogramma IR 1491.

solaio sovrastante la Figura 9.31: solaio sovrastante la termogramma IR 1493.

Un ultimo esempio interessante è costituito dal termogramma IR 1723, acquisito nella loggia 1F3 (fig. 9.32-9.33, dettagli in tab. 9.9). La particolarità di detto termogramma è che mostra due tipologie di elementi ortogonali: il fatto che tali elementi si presentino alcuni più caldi ed alcuni più freddi del resto della superficie è fattore indicativo che si stanno osservando due materiali diversi, quindi una prima ipotesi potrebbe essere la presenza di due tipologie di travetti sovrapposte, metallici superiormente e lignei inferiormente.

Dal saggio S03 (fig. 9.34) presente nell'orizzontamento in esame la presenza dei travetti metallici è stata verificata: è inoltre osservabile come questi ultimi siano poco al di sotto della pavimentazione, tale fatto ha probabilmente favorito la loro individuazione.

Osservando invece il solaio in esame dal piano terra sono visibili travetti lignei con un orientamento compatibile con le fasce a temperatura maggiore, ma detti travetti sono solo 6 nell'intero solaio; essendo stata inquadrata un'area più ridotta non è plausibile che gli elementi visibili siano i suddetti travetti.

Senza demolizioni più estese non sarebbe possibile identificare la natura degli elementi ortogonali ai travetti lignei; solo a seguito della rimozione di pavimento e massetto in calcestruzzo in una fascia al di sotto della finestra W1F21 è stata constatata la presenza di testimoni lignei, disposti con l'orientamento osservato (fig. 9.35), di sezione 5 x 3,5 cm e lunghezza circa 48,5 - 50 cm, probabilmente necessari a definire dimensionalmente l'altezza del getto di calcestruzzo o la distanza fra taluni elementi

Tabella 9.9: dati di acquisizione dei termogrammi IR 1723.

	TERMOGRAMMA IR_1723
Momento di acquisizione	07-02-2011 ore 17:33:39
Termocamera	Flir B250 Western





Figura 9.32: stanza 1F3 e relativo Figura 9.33: termogramma IR\_1723 solaio.

acquisto per indagare il solaio della stanza 1F3.



Figura 9.34: dettaglio del saggio S03 e travetti metallici visibili poco al di sotto del piano di calpestio nella stanza 1F3.



Figura 9.35: ricostruzione dell'orientamento dei testimoni lignei osservati nel termogramma IR 1723 (al momento dello scatto l'esecuzione di ulteriori lavorazioni, quali un getto in calcestruzzo, impediscono di mostrare l'esatta posizione).

Ricerca di elementi afferenti alle condizioni statiche della struttura e di elementi costituenti prova di modifiche subite dall'edificio

Un primo elemento interessante è la possibilità di individuare, in alcuni casi e sotto talune condizioni termiche, le tamponature. Una tamponatura è stata ad esempio individuata, previo riscaldamento del locale con il riscaldatore elettrico da 15 KW, nella parete sud-ovest della stanza GF6 grazie ai termogrammi IR 1355 e IR 1357 (fig. 9.36-9.39, dettagli in tab. 9.10).

Sono chiaramente visibili in tali termogrammi elementi orizzontali allungati, immediatamente identificabili con tavelloni (o, comunque elementi simili). All'interfaccia fra tavelloni e parete è visibile del materiale più freddo della parete, identificabile con la malta, probabilmente cemento, utilizzata per assicurare i tavelloni in posizione.

A seguito della demolizione di un ripostiglio dal lato opposto della parete rispetto a quello oggetto di indagine la presenza di detta tamponatura e della malta cementizia è stata verificata (fig. 9.40).

	TERMOGRAMMA	TERMOGRAMMA
	IR_1355	IR_1357
Istanta di naguigiziona	03-02-2011	03-02-2011
Istante di acquisizione	ore 13:13:13	ore 13:15:56
Termocamera	Flir P620	
Temperatura [°C]	21,0	
Umidità relativa [%]	27,0	
Distanza obiettivo - centro dell'immagine	3 57	
[m]		51

Tabella 9.10: dati di acquisizione dei termogrammi IR 1355 e IR 1357.



13.0 °C

Figura 9.36: porzione superiore della Figura 9.37: termogramma IR 1355 parete sud-ovest della stanza GF6 presso l'angolo ovest.

acquisito sulla porzione superiore della parete sud-ovest della stanza GF6.





parete sud-ovest della stanza GF6.

Figura 9.38: porzione inferiore della Figura 9.39: termogramma IR 1357 acquisito sulla porzione inferiore della parete sud-ovest della stanza GF6.



Figura 9.40: tamponatura individuata con i termogrammi IR\_1355 e IR\_1357 vista dal lato opposto a quello di esecuzione dei termogrammi a seguito della rimozione di un ripostiglio che ne impediva l'osservazione.

Un altro elemento interessante è l'identificazione delle posizioni in cui in passato erano presenti pareti, successivamente demolite.

Nella stanza 1F4, ad esempio, è stata individuata sulla parete nord-ovest la traccia della presenza di una parete ortogonale alla parete nord-ovest della stanza 1F4. Un'altra parete rimossa aveva andamento ortogonale a questa e una traccia è visibile nella parete sud-ovest della stanza 1F4. Sono qui riportati due termogrammi (IR 1345 e IR 1347) acquisiti sulla parete nord-ovest (fig. 9.41-9.44, dettagli in tab. 9.11) che mostrano una delle aree ove il tramezzo si appoggiava alla muratura. Detti termogrammi sono stati acquisiti dopo un riscaldamento con riscaldatore elettrico del locale e mostrano fasce verticali, più fredde del resto della parete che, estendendosi dal soffitto al pavimento ed essendo state rilevate, grazie ad altri termogrammi, anche sulla parete opposta della stanza in esame rispetto a quella mostrata, rendono naturale la formulazione dell'ipotesi della presenza di un tramezzo. All'atto della rimozione di una parete la risarcitura dell'intonaco viene inevitabilmente effettuata con un materiale dalle caratteristiche termiche diverse da quello precedentemente presente. Nel caso le due murature siano ammorsate inoltre, alla demolizione di una delle due murature, l'altra viene inevitabilmente danneggiata nel punto di unione delle due pareti: in questo caso lo spessore dell'intonaco costituente la risarcitura sarà maggiore.

Una conferma della presenza di un tramezzo è giunta dall'attenta osservazione del saggio S06 presente nel solaio della stanza in esame: all'interno dello scasso è infatti stata riscontrata la presenza di alcuni mattoni pieni, residuato di una probabile parete in foglio ed evidentemente rimasti intrappolati all'interno del solaio durante passate operazioni di ristrutturazione dell'edificio (fig. 9.45).

Un'altra fonte che riporta la presenza di un tramezzo nella stanza in esame sono le piante di un rilievo dell'edificio risalenti al 1988 (vedasi paragrafo 4.4): da tali tavole risulta la presenza di due tramezzi ortogonali nell'attuale stanza 1F4 a formare un locale all'angolo ovest dell'edificio e un piccolo corridoio nella parte a sud-est.

Occorre prestare attenzione che, sebbene tracce di un tramezzo siano state osservate anche nella parete opposta a quella qui analizzata non dovrebbe trattarsi, secondo quest'ultima fonte, della stessa muratura visibile nei termogrammi IR\_1345 e IR\_1347, essendo presente uno sfalsamento fra la parete nord-est della stanza e del corridoio ipotizzati prima presenti (secondo il rilievo del 1988). È quindi necessario prestare attenzione all'esatta collocazione degli elementi individuati con la termografia onde ricostruire esattamente la conformazione dei locali. Sebbene siano in corso lavori di demolizione nell'edificio l'intonaco, almeno al momento, non è stato rimosso (fig. 9.46) ed una verifica dei dati non è quindi possibile.

Tabella 9.11: dati di acquisizione dei termogrammi IR 1345 e IR 1347.

	Termogramma IR_1345	Termogramma IR_1347
	03-02-2011	03-02-2011
Istante di acquisizione	ore 11:50:34	ore 11:57:19
Termocamera	FLI P620	
Temperatura [°C]	16,0	
Umidità relativa [%]	39,1	
Distanza obiettivo - centro dell'immagine [m]	non rilevata	4,00



Figura 9.41: parete nord-ovest della Figura 9.42: termogramma IR 1345 stanza 1F4, porzione superiore.



acquisito sulla parete nord-ovest della stanza 1F4, porzione superiore.



Figura 9.43: parete nord-ovest della Figura 9.44: termogramma IR 1347 stanza 1F4, porzione inferiore.



acquisito sul solaio al di sopra della stanza GF17.



Figura 9.45: saggio S06 presente nella stanza 1F4 (vista verso nord-ovest), con visibili alcuni mattoni posti di coltello costituenti il tramezzo individuato grazie alle indagini termografiche.



Figura 9.46: maschio murario ove sono presenti le tracce del tramezzo investigato con termogrammi IR\_1345 e IR\_1347 (scatto eseguito a seguito di alcune demolizioni nella stanza interessata).

È stato riscontrato, a seguito della parziale demolizione dell'intonaco all'interno dell'edificio, come alcune porte siano prive di architrave.

Pur non essendo inizialmente fra gli obiettivi primari dell'indagine è stata quindi effettuata una ricerca fra i termogrammi disponibili con inquadrate porte, onde vedere se la presenza di architravi è individuabile o meno con la termografia e con che facilità.

Trascurando in questa sede le porte ricavate in moderne murature di forati, in quanto la più recente fattura fa insorgere minori preoccupazioni sulla qualità costruttiva, e limitandosi alle murature storiche è rilevabile come, in alcuni casi, la presenza di architravi sia verificabile come ad esempio nella porta fra la stanza 1F7 e la stanza 1F8. Su tale parete è stato acquisito il termogramma IR\_1669 (fig. 9.47-9.48, dettagli in tab. 9.12).

In tale caso la presenza di un elemento posto al di sopra della porta è evidente ma il problema di un'estensiva analisi tesa alla ricerca di architravi in un edificio storico è insita nel fatto che la non individuazione di detti elementi può essere semplicemente dovuta a un più alto spessore dell'intonaco o a condizioni ambientali non favorevoli alle indagini.

Tabella 9.12: dati di acquisizione dei termogrammi IR 1669.

	TERMOGRAMMA IR_1669
Istante di acquisizione	14-02-2011 ore 13:48:55
Termocamera	Flir B250 Western



Figura 9.47: porta fra le stanze 1F7 e Figura 9.48: termogramma IR 1669 1F8 vista dal lato della stanza 1F7.

acquisto sulla parete fra le stanze 1F7 e 1F8 (dal lato della stanza 1F7).

Nell'ambito di una messa in sicurezza delle aperture la termografia può quindi avere unicamente il ruolo di ridurre l'invasività delle indagini distruttive di rimozione dell'intonaco escludendo dalle medesime tutte le aperture sicuramente dotate di architrave.

Sebbene nell'edificio siano in atto alcune demolizioni queste non hanno incluso, almeno al momento, la rimozione dell'intonaco nella stanza interessata (fig. 9.49); una verifica dei dati non è quindi possibile.

Nel precedente termogramma IR 1669 sono inoltre visibili numerose fessure nella muratura, individuabili anche tramite mera osservazione della parete; dette fessure appaiono più calde del resto della muratura per via dell'aria inclusa nelle medesime.

Essendo una parte delle indagini volta alla ricerca di fessure è possibile concludere, sulla base dei risultati ottenuti nelle varie aree dell'edificio, che, nella maggior parte dei casi ed escludendo le cavillature, la termografia è in grado di migliorare la visualizzazione delle fessure rispetto ad una semplice osservazione. Nel caso specifico delle cavillature queste ultime non sono state invece osservate con la termografia.



Figura 9.49: porta investigata con il termogramma IR\_1669 a seguito di alcune demolizioni.

Un altro esempio di fessura chiaramente visibile con la termografia è presente all'angolo sud della stanza 1F4 ed è stato osservato grazie al termogramma IR\_1337 (fig. 9.50-9.51, dettagli in tab. 9.13), previo riscaldamento con il riscaldatore elettrico del locale.

Un altro elemento d'interesse visibile in tale termogramma sono le tracce dell'impianto elettrico: dette tracce, previo riscaldamento delle stanze ed, in alcuni casi, anche acquisendo termogrammi nelle condizioni ambientali, sono tipicamente individuabili con facilità.

È riscontrabile come numerose tracce, quali alcune di quelle inquadrate nel termogramma IR\_1337, siano orizzontali, quindi riducenti la sezione resistente delle murature per un tratto rilevante.

La presenza di una notevole numerosità di tracce è un elemento cui prestare attenzione nella valutazione dello stato delle murature.

	TERMOGRAMMA IR_1337
Istante di acquisizione	03-02-2011 ore 11:07:15
Termocamera	Flir P620
Temperatura [°C]	16,0
Umidità relativa [%]	39,1
Distanza obiettivo - centro dell'immagine [m]	4,60

Tabella 9.13: dati di acquisizione dei termogrammi IR\_1337.





1F4.

Figura 9.50: angolo sud della stanza Figura 9.51: termogramma IR 1337 acquisto in corrispondenza dell'angolo sud della stanza 1F4.

Un altro elemento valutabile con la termografia è il deterioramento e la conseguente formazione di fessure nelle aree di muratura immediatamente sottostanti gli appoggi dei travetti lignei presenti in numerose stanze. Ad esempio nella parete nord-ovest della stanza GF10 vi sono alcuni travetti lignei che, dall'osservazione, mostrano segni di sfilamento. Il termogramma IR 1453 (fig. 9.52-9.53, dettagli in tab. 9.14), acquisito in tale area, mostra zone più calde al di sotto dei travetti; con un'osservazione attenta è possibile scorgere fessurazioni in tale zona (fig. 9.54), responsabili della maggiore temperatura. Un analogo comportamento è stato osservato, ad esempio, anche nella stanza GF13, elemento indicante che in diversi casi gli appoggi dei travetti non versano in condizioni ottimali.

	TERMOGRAMMA IR_1453
Istante di acquisizione	07-02-2011 ore 16:40:36
Termocamera	Flir P620





e GF17 vista dalla stanza GF10.



Figura 9.52: parete fra le stanze GF10 Figura 9.53: termogramma IR 1453 acquisito sulla parete fra le stanze *GF10 e GF17.* 



Figura 9.54: parete indagata con il termogramma IR\_1453 sono visibili alcuni fenomeni fessurativi al di sotto dei travetti (scatto eseguito a seguito di alcuni saggi nella muratura indagata).

Un tentativo di discernimento dei muri ammorsati dai meri appoggi è stato condotto previo riscaldamento di uno dei due muri convergenti con una piccola stufa elettrica e allo scopo di determinare se, sulla base del trasferimento del calore da una parete all'altra, le due murature fossero appoggiate oppure incastrate. Tale tentativo si è risolto nel più completo insuccesso non essendo presente alcuna differenza fra le diverse murature indagate.

# Cenni ad applicazioni relative all'efficienza energetica dell'edificio

Alcune indagini sono state condotte sulla struttura in esame per valutare la sua efficienza dal punto di vista energetico. Nell'ambito di tali indagini la termografia ha rivestito quattro ruoli principali: la ricerca di aree ad elevata umidità, la ricerca di ponti termici, il supporto alle misure di trasmittanza eseguite su pareti e solai dell'edificio ed il supporto ai test di permeabilità all'aria eseguiti sulla struttura. I primi tre punti esulano dagli scopi di questo elaborato e verranno pertanto trattati in modo sintetico con la sola esposizione dei risultati.

La ricerca di aree particolarmente umide ha dato risultati soddisfacenti solo in un numero limitato di zone, quali ad esempio al di sotto della finestra WGF9, dove peraltro un'elevata umidità era già riscontrabile con la semplice osservazione della muratura.

Il supporto alle misure di trasmittanza è consistito nell'accertamento che la parte di muratura o di solaio ove termoflussimetro e termocoppie sono state posizionate non presentasse caratteristiche singolari rispetto alle porzioni circostanti quali tamponature (relativamente alle murature) o travi e travetti (relativamente ai solai).

Essendo i locali indagati necessariamente riscaldati in modo consistente per l'esecuzione delle misure di termoflussimetria tale applicazione è risultata tipicamente agevole.

La ricerca di ponti termici ha dato risultati soddisfacenti, con l'individuazione di ponti termici nei punti attesi, tipicamente all'interfaccia fra pareti e solai o fra più pareti.

Un'ultima applicazione della termografia sulla Palazzina della Viola è costituta dal supporto fornito da tale tecnica alle prove di permeabilità all'aria eseguite in più parti della struttura (vedasi cap. 8 per maggiori dettagli su dette prove). La termografia è stata in particolare utilizzata per visualizzare le perdite d'aria di alcuni infissi in modo da visualizzare le zone ove dette perdite sono presenti e fornire un quadro complessivo delle zone più critiche per un dato infisso dal punto di vista della tenuta all'aria. Un primo esempio, costituito dal termogramma IR\_1909 (fig. 9.55-9.56, dettagli in tab. 9.15), acquisito durante l'esecuzione del test sull'intero piano terra, consente di trarre, almeno a livello qualitativo, numerose informazioni sullo stato dell'infisso, nel caso in esame la porta principale dell'edificio (WGF28, caratterizzata da telaio metallico).

	Termogramma IR_1909	Termogramma IR_1347
Istante di acquisizione	23-03-2011 ore 15:08:28	23-03-2011 ore 15:22:29
Termocamera	Flir B250 Western	

Tabella 9.15: dati di acquisizione dei termogrammi IR\_1909 e IR\_1347.





Figura 9.55: porta d'ingresso dell'edificio (WGF28) vista dall'esterno.

Figura 9.56: termogramma IR\_1909 acquisito sulla porta principale dell'edificio (WGF28).



Figura 9.57: infisso WGF26 presente Figura 9.58: termogramma IR\_1347 nella stanza GF6 visto dall'interno, acquisito sull'infisso WGF26. parte sinistra dell'immagine.

È osservabile una perdita d'aria all'interfaccia fra porta e pavimento localizzata in particolare al di sotto delle ante apribili e che non sembra interessare, o almeno non in modo consistente, le due porzioni di infisso non apribili né l'interfaccia fra ante e telaio fisso.

È inoltre riscontrabile, dall'osservazione della foto a corredo del termogramma, come sia presente una pavimentazione leggermente diversa nella parte destra dell'immagine: questa è con ogni probabilità responsabile della minore temperatura misurata in tale zona. Si conferma quindi come un accurato controllo delle aree indagate sia necessario a evitare erronee interpretazioni dei risultati.

Un'applicazione ad un altro infisso è stata condotta durante l'esecuzione del test di permeabilità all'aria all'interno della stanza GF6 ed è relativa alla tenuta all'aria dell'infisso WGF26 presente in detta stanza e caratterizzato da telaio in legno.

È in tale caso osservabile (fig. 9.57-9.58, dettagli in tab. 9.15) una perdita diffusa su tutto il perimetro dell'infisso ma particolarmente intensa all'interfaccia fra telaio e parete. È importante osservare come il telaio batta direttamente sulla parete, non essendo presente una porzione di telaio infisso nella parete stessa: è quindi evidente come la tenuta all'aria in tale zona non può essere buona.

È infine osservabile un'altra perdita, di minore intensità, all'interfaccia fra vetro e telaio.

# 10 PALAZZINA DELLA VIOLA: INDAGINE DELLE PARETI TRAMITE GPR

È stata eseguita, fra il giorno 08-02-2011 ed il giorno 14-02-2011, un'indagine con ground penetrating radar sulle pareti della Palazzina della Viola. Il giorno 30-05-2011 è stata acquisita un'ulteriore modesta quantità di radargrammi, in particolare al secondo piano dell'edificio, ad integrazione dei dati già disponibili.

Sono stati acquisiti circa 170 radargrammi indagando una quota importante, sebbene non la totalità, delle pareti dell'edificio.

Sono comunque state investite dall'indagine le molteplici tipologie di muratura presenti, costruite in epoche differenti, alcune formate da mattoni pieni, altre da forati. La maggior parte dei radargrammi, circa il 64% del totale, sono costituti da linee orizzontali mentre il 33% circa da linee verticali. In casi occasionali, in particolare quando sono state acquisite linee sulle pareti del vano scale, sono state acquisite linee inclinate (3% dei radargrammi disponibili) in ragione della necessità dell'operatore di trascinare l'antenna ad una quota tale da non richiedere l'utilizzo di ausili quali un ponteggio.

#### 10.1 Scopi

L'indagine è tesa al triplice scopo dell'analisi strutturale, di efficienza energetica e di ricostruzione della storia dell'edificio. Sono stati in particolare ricercati i seguenti elementi:

- tracce di aperture tamponate;

- presenza di zone di risalita di umidità all'interno delle murature;

- elementi relativi agli impianti quali canne fumarie inglobate all'interno delle murature o semplici tracce.

Elementi quali tamponature e canne fumarie sono particolarmente importanti nell'edificio in esame giacché consentono di evidenziare vulnerabilità in maschi murari altrimenti ritenuti integri. Questi ultimi per la massiccia presenza di porzioni mancanti di sezione resistente dovute alla presenza di tracce dell'impianto elettrico, spesso orizzontali o inclinate, e per la mancanza di ammorsatura fra diverse murature, versano spesso in condizioni non eccellenti.

Disponendo di una quantità massiccia di dati sono stati elaborati gli stessi in modo aggregato: previo calcolo di velocità delle onde, costante dielettrica relativa e lunghezza d'onda per tutte le murature ove fosse rilevabile lo spessore e la riflessione dal retro fosse chiaramente identificabile è stato infatti studiato se e come tali valori si differenziano secondo parametri quali il piano in cui è collocata la muratura o lo spessore della stessa.

Dovrebbe così essere osservabile una variazione in detti valori, in particolare nella costante dielettrica relativa, ad esempio, per le murature più sottili, costituite nella maggior parte dei casi da forati, e per le murature più spesse, costituite invece prevalentemente da mattoni pieni. Analogamente dovrebbe essere possibile verificare se le murature dei vari piani presentano, in media, un'umidità diversa.

## 10.2 Strumentazione utilizzata

Tutti i radargrammi sono stati acquisiti con un'antenna da 900 MHz (fig. 10.1 e 10.2), le cui dimensioni sono importanti per risalire alla posizione del centro antenna qualora questa si trovi a contatto con una parete perpendicolare a quella indagata all'inizio od alla fine della linea di misura.





Figura 10.1: antenna 900 MHz usata Figura 10.2: dimensioni dell'antenna per l'acquisizione dei radargrammi utilizzata. sulle murature.

#### 10.3 Procedura preparatoria

Due operazioni sono state eseguite propedeuticamente all'acquisizione dei radargrammi veri e propri:

- l'apposizione di segni sulle pareti a indicare i punti ove porre i marker;

- il rilievo dello spessore di tutte le murature ove tale operazione fosse possibile senza danneggiare la muratura stessa.

In merito al primo punto i segni, tipicamente alla distanza di 0,5 m l'uno dall'altro, permettono, con l'indicazione di marker da parte dell'operatore al momento

dell'acquisizione, la conoscenza della posizione dell'antenna sul radargramma a intervalli discreti.

Con l'ipotesi, non verificata nella realtà ma comportante approssimazioni ritenute accettabili, di velocità di trascinamento dell'antenna costante, la posizione di quest'ultima in ogni istante è quindi definita. I segni (es. in fig. 10.3) sono stati apposti con particolare celerità, utilizzando gessi colorati, essendo pianificato il rifacimento parziale dell'intonaco, ed in ogni caso la tinteggiatura delle pareti, non sussistendo la necessità di prendere particolari cautele per non sporcare la superficie.



Figura 10.3: esempio di marker posti sulla parete della stanza GF10.

In merito al secondo punto il rilievo dello spessore delle pareti, pur non essendo strettamente indispensabile all'indagine, ha consentito il calcolo della costante dielettrica delle murature aprendo quindi la possibilità di considerazioni sui valori medi di velocità raggiunti o sulla distribuzione dei valori stessi.

È necessario premettere che tale rilievo degli spessori parietali (vedasi cap. 5) è però avvenuto in modo frammentario e con strumenti diversi (calibro, metro avvolgibile, metro rigido), in parte in una fase dei lavori di cantiere ove i telai delle porte interne erano ancora presenti ed in parte successivamente. È necessario quindi tenere conto che le misure disponibili sono affette da un'incertezza.

# 10.4 Acquisizione dei dati

L'acquisizione dei dati, proceduta mediante profili di riflessione, ha richiesto il preventivo settaggio di alcuni parametri dell'antenna, riportati in tab. 10.1.

La popolazione di radargrammi acquisiti per piano, e per orientamento (orizzontale, verticale o inclinato) è riportato in tab. 10.2.

PARAME	TRO	Settaggio
Campioni per traccia	"samples/scan"	512
Bit per campione	"bits/sample"	16
Tracce al secondo	"scans/second"	64
Tracce al metro	"scans/meter"	200
Metri per marker	"meters/mark"	0
Costante dielettrica	"diel constant"	6
Einastra tamparala	"uguao"	variabile da un
r mestra temporale	runge	radargramma all'altro
Amplificaziona	"uango gain"	variabile da un
Amphilicazione	runge guin	radargramma all'altro
Correzione della posizione	"position correction"	2.17 ns
Filtro passa banda bassa IIR	"vert IIR LP"	N =1 F =2500 MHz
Filtro passa banda alta IIR	"vert IIR HP"	N =1 F =225 MHz

Tabella 10.1: impostazioni dell'antenna per le indagini.

Tabella 10.2: entità delle popolazion	i di radargrammi acquisiti.
---------------------------------------	-----------------------------

	Linee orizzontali		LINEE VERTICALI			LINEE INCLINATE			TOTALE		
	Numero	% (sul singolo piano)	% (sul totale)	Numero	% (sul singolo piano)	% (sul totale)	Numero	% (sul singolo piano)	% (sul totale)	Numero	% (sul totale)
Interrato	13	61,9	7,6	8	38,1	4,7	0	0,0	0,0	21	12,3
Scale da interrato a piano terra	2	40,0	1,2	3	60,0	1,8	0	0,0	0,0	5	2,9
Piano terra ed esterno edificio	47	57,3	27,5	35	42,7	20,5	0	0,0	0,0	82	48,0
Scale da piano terra a piano primo	4	50,0	2,3	0	0,0	0,0	4	50,0	2,3	8	4,7
Piano primo	26	81,3	15,2	6	18,8	3,5	0	0,0	0,0	32	18,7
Scale da piano primo a piano secondo	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	2	100,0	1,2	2	1,2
Piano secondo	17	81,0	9,9	4	19,0	2,3	0	0,0	0,0	21	12,3
Totale	109		63,7	56		32,7	6		3,5	171	

La localizzazione delle linee di rilievo radar è riportata sulle piante (fig. 10.4, 10.7, 10.10 e 10.13) ove la lunghezza indicata è quella percorsa dal centro antenna. Essendo la memoria dello strumento stata resettata quattro volte durante l'indagine sono presenti ambiguità dovute alla presenza dello stesso numero più volte: queste saranno risolte indicando, al momento dell'analisi dei risultati, anche la collocazione del radargramma oltre al semplice numero del file.



Figura 10.4: radargrammi acquisiti al piano interrato.





Figura 10.5: acquisizione di un Figura 10.6: acquisizione di un radargramma verticale su parete al radargramma verticale su parete al piano primo (stanza 1F2). piano secondo (stanza 2F5).



Figura 10.7: radargrammi acquisiti al piano terra.



10.8: Figura acquisizione di un piano terra (stanza GF1).



10.9: Figura acquisizione di un radargramma orizzontale su parete al radargramma orizzontale su parete al piano primo (stanza 1F7).



Figura 10.10: radargrammi acquisiti al piano primo.





Figura 10.11: acquisizione di radargramma al primo piano (stanza radargramma al secondo piano (stanza *1F4)*.

un Figura 10.12: acquisizione di un *2F5)*.



Figura 10.13: radargrammi acquisiti al piano secondo.

L'acquisizione dei dati è proceduta con i seguenti criteri:

- le linee orizzontali (fig. 10.8-10.9 e 10.11-10.12) sono state in massima parte acquisite all'altezza di circa 1,30 m dal pavimento. Dove l'acquisizione sia relativa a un'altezza diversa verrà esplicitamente indicato nei singoli radargrammi analizzati;

- le linee orizzontali sono state, a seconda dell'orientamento della parete, acquisite in massima parte nel verso da sud-est verso nord-ovest oppure da sud-ovest verso nord-est. Alcune eccezioni sono riconoscibili dalla punta delle frecce nelle piante appena riportate;

- le linee verticali (fig. 10.5-10.6) sono ascendenti.

#### 10.5 Esempi di radargrammi particolarmente significativi

La quantità di elementi visibili nei radargrammi, unitamente alla quantità degli stessi, rende necessaria la discriminazione dell'importanza dei vari elementi rilevati in relazione agli obiettivi perseguiti.

Gli elementi d'interesse sono comunque classificabili in quattro macrogruppi:

- tamponature;
- zone di risalita dell'umidità e umidità in generale;
- elementi relativi alla parte impiantistica quali canne fumarie e tracce;
- ulteriori elementi di interesse storici e strutturale.

Segue l'esposizione di alcuni risultati ritenuti rappresentativi per ognuna delle 4 categorie.

Ogni radargramma è mostrato dapprima originale, nello stato in cui si trova subito dopo l'acquisizione, poi post-processato. L'elaborazione, eseguita con il software RADAN (versione 6.6), è stata essenziale e ha previsto: la correzione della posizione del segnale (onde porre la riflessione superficiale nella posizione corretta), l'utilizzo del filtro background removal, (ove necessario) utilizzato in particolare per evidenziare eventuali elementi interessanti la cui presenza sia occultata dalla riflessione superficiale, e l'amplificazione del segnale, onde migliorare la leggibilità dei risultati. Sono inoltre indicate in tabelle poste prima dei radargrammi le impostazioni di acquisizione in termini di range e gain oltre ai dettagli del post-processing in termini di position correction, range gain e numero di scan utilizzati nell'applicazione del filtro background removal. Ulteriori note sull'acquisizione sono anch'esse riportate quale l'eventuale presenza del primo marker a 0,27 m dall'inizio del file invece di 0,50 m: tale elemento è indicativo che il retro dell'antenna a inizio file si trova in corrispondenza dello zero quindi il centro è 0,23 m più avanti. Dove possibile sono inoltre state calcolate velocità del segnale e costante dielettrica, riferite qualora siano presenti zone di particolare umidità o tamponature in una parte del radargramma alla zona meno umida o ad un punto esterno alla tamponatura (se non diversamente indicato).

#### <u>Tamponature</u>

La facile individuazione delle tamponature è probabilmente uno dei risultati più significativi dell'intera indagine in quanto tali elementi possono indurre a sovrastimare pesantemente la capacità portante dei maschi murari e difficilmente sono visibili ad occhio nudo su una muratura tinteggiata. Anche senza alcun tipo di

post-processing è però spesso possibile, anche se con alcune eccezioni, utilizzando il GPR, individuare la posizione di aree ove è possibile la presenza di tamponature ed, eventualmente, circoscrivere un numero limitato di aree da indagare più approfonditamente.

Nello specifico caso di studio, a seguito dell'acquisizione e dell'elaborazione dati georadar, sono stati demoliti parte degli intonaci delle murature indagate: questo ha consentito di verificare le supposte posizioni delle tamponature dedotte dai dati GPR ottenendo un'ottima corrispondenza delle posizioni ipotizzate con quelle effettive.

Considerati i buoni risultati ottenuti con le tamponature tale aspetto è stato qui trattato in modo più estensivo delle altre forme di risultati, arrivando a produrre una mappa delle tamponature presenti al piano terra costruibile essenzialmente a partire dai soli dati GPR, sebbene sottoposta a verifica una volta rimossi gli intonaci.

Un primo esempio è una porta tamponata fra le stanze GF6 e GF7. Questa non è visibile, ad un'osservazione sommaria, per via di una sorta di ripostiglio posto fra le due stanze in esame dal lato della stanza GF7, e per via della presenza dell'intonaco dal lato della stanza GF6. Acquisendo una semplice linea orizzontale, il "file 050" (fig. 10.14-10.15, dettagli in tab. 10.3) la tamponatura è però immediatamente individuabile. In particolare, anche dal radargramma originale, è possibile notare un'apparente interruzione nella riflessione dal retro della muratura, approssimativamente compresa fra il 7° e il 9° marker, in corrispondenza della quale la riflessione superficiale è particolarmente ampia: è quindi possibile desumere la presenza di un differente tipo di materiale. Il radargramma è stato elaborato correggendo la posizione del segnale, applicando un filtro background removal e aumentando l'amplificazione: risulta così ancora più evidente la presenza di un tratto di parete anomalo e viene quindi, essendo inoltre la larghezza compatibile con quella di una porta (o comunque un'apertura in generale), formulata l'ipotesi della presenza di una tamponatura. Una volta rimosso il ripostiglio suddetto la tamponatura è divenuta visibile nella posizione ipotizzata (fig. 10.16): è inoltre stato individuato il motivo della scomparsa della riflessione dal retro della muratura che è da ritenersi confusa con quella superficiale per via del troppo modesto spessore della parete nella zona interessata e dell'insufficiente risoluzione a risolvere entrambe le interfacce della stessa.

FILE050(09	9-02-2011	)-STANZ hin	AGF6-P. ghezza ej	ARETE SUI f <i>ettiva 4,8</i> :	D-OVEST- 5 m	-LINEAORIZ	ZONTALE	
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING				NOTE		
Danga [ng]	Desition correction [ng]			1 1 4	Spessore parete [cm]		33	
Kange [IB]	15	Position confection [18]			1,14	Riflessione da retro [ns]		3,90
Danga gain [dD]	-10,0	Range g	gain		5,0	Costante dielettrica		
Kange gain [ub]	13,0	Background removal [N]			1023	Velocità [m/s] 0		0,169
Marker 1 2 ns	?	3 	4	5 	6	7	8	9 10 
259 549	a					d -		
102 102	I	)						

Tabella 10.3: dati relativi al "file 050" acquisito in data 09-02-2011.

Figura 10.14: radargramma originale "file 050" acquisito fra le stanze GF6 e GF7 (lato GF6). Visibili: (a) riflessione superficiale, (b) riflessione dal retro dalla parete, (c) traccia dell'impianto elettrico, (d) tamponatura.



Figura 10.15: radargramma post-processato "file 050" acquisito fra le stanze GF6 e GF7 (lato GF6).



Figura 10.16: tamponatura presente fra le stanze GF6 e GF7 (vista dal lato della stanza GF7). Sono visibili la tamponatura e i resti dei tramezzi che costituivano il ripostiglio fra le due stanze.

Un altro esempio di tamponatura è quella presente sotto ad una finestra al piano terra (WGF10). Sono stati acquisiti due radargrammi nella zona in esame: il "file 097" (fig. 10.17-10.18) e il "file 098" (fig. 10.19-10.20). Dettagli di entrambi i file in tab. 10.4.

Nella linea orizzontale, il "file 097", è chiaramente visibile un'anomalia in prossimità dell'inizio del file (a partire dal primo marker per una lunghezza di circa 75 cm) ove pare di scorgere, sebbene non siano distintamente visibili, gli elementi costituenti la muratura.

In tale area la riflessione dal retro è caratterizzata da un tempo di transito inferiore, possibile indicatore di un materiale diverso da quello adiacente.

Nella linea verticale, il "file 098", la visibilità di tali elementi è migliore, sebbene non sia possibile il confronto, da questo solo file, di una porzione di muro costituente la tamponatura con una porzione di muratura originale.

È stata formulata l'ipotesi della presenza di una tamponatura, confermata dalla rimozione dell'intonaco come visibile in fig. 10.21.

FILE 097 (10-02-2011) - VANO SCALE DA PIANO INTERRATO A TERRA - PARETE NORD-OVEST L INEA OPIZZONITALE							
hinghezza effettiva 3,07 m - primo marker a 0,27 m dall'inizio del file - altezza da pavimento 1,00 m							
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING	ŕ	NOTE			
Pange [nc]	15	Desition correction [ng]	1 20	Spessore parete [cm]	52		
Range [16]	15	rositononetton[18]	1,20	Riflessione da retro [ns]	9,35		
Dongo com [dD]	0,0	Range gain	Range gain 2,5 Costante dielett				
Kange gant [uD]	13,0	Background removal [N]	Velocità [m/s]	0,111			
FILE098(10-02-201	1)-VAN	O SCALE DA PIANO INTERRATO	DAPIANO	TERRA-PARETE NORD-OVES	Г		
LINEA VERTICALE							
hınghezza effettiva 2,97 m							
presente un marker, posto per errore e pertanto non significativo, a 1,30 m							
lir	1ea acqui.	sita in corrispondenza del 2º 1	narker de	el ''file 097''			
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING	r	NOTE			
Range [ns]	15	Desition correction [no]	1 20	Spessore parete [cm]	52		
	15	rositononetton[18]	1,20	Riflessione da retro [ns]	5,05		
Dongo com [dD]	0,0	Range gain	2,5	Costante dielettrica	2,12		
Kange gan [uD]	13,0	Background removal [N]	519	Velocità [m/s]	0,206		

Tabella 10.4: dettagli relativi ai file 097 e 098 acquisiti in data 10-02-2011.



Figura 10.17: radargramma originale "file 097" acquisito nel vano scale (parete nord-ovest, linea orizzontale). Visibili: (a) riflessione superficiale, (b) riflessione dal retro della parete, (c) apparente riduzione di spessore dovuta al diverso materiale costituente la tamponatura, (d) tamponatura.



Figura 10.18: radargramma post-processato "file 097" acquisito nel vano scale (parete nord-ovest).



Figura 10.19: radargramma originale Figura "file 098" acquisito nel vano scale (parete processato "file 098" acquisito nel vano nord-ovest). Visibili: *(a)* superficiale, (b) riflessione dal retro, (c) elementi costituenti la tamponatura. posizione della tamponatura.



10.20: radargramma postriflessione scale (parete nord-ovest). Visibili (a) gli



Figura 10.21: tamponatura sotto la finestra WGF10 visibile all'estrema destra dell'immagine.

Un'ulteriore area d'interesse è il muro fra le stanze GF11 e GF16. Come riscontrabile dalle fig. 10.22-10.23 a occhio nudo l'unica particolarità visibile è una localizzata riduzione di spessore dal lato della stanza GF16.



Figura 10.22: muro fra le stanze GF11Figura 10.23: muro fra le stanze GF11e GF16 (lato stanza GF11).e GF16 (lato stanza GF16).

L'acquisizione di radargrammi sulla parete rivela però la presenza di due possibili tamponature: sono state innanzitutto considerate due linee orizzontali, una dal lato della stanza GF11, il "file 087", (fig. 10.24-10.25) e una dal lato della stanza GF16, il "file 016" (fig. 10.26-10.27). Sono visibili due anomalie, una collocata all'incirca fra il primo ed il quarto marker in ambo i file mentre l'altra è circa fra il 6° e 10° nel "file 087" e tra il 7° e la fine del radargramma nel "file 016", consistenti in un'apparente riduzione dello spessore della muratura accompagnato da una diversa riflessione superficiale: è quindi desumibile la presenza di un materiale differente da quello della muratura circostante.

Volendo approfondire l'indagine in corrispondenza di tali due anomalie sono state acquisite altre due linee verticali dal lato della stanza GF11: il "file 019" in corrispondenza dell'anomalia a sud-ovest e il "file 017" in corrispondenza dell'anomalia a nord-est (fig. 10.28-10.31, dettagli di tutti i file in tab. 10.5). Dai radargrammi, sulla base della probabile presenza di un materiale diverso per un'area discreta compatibile con le dimensioni di un'apertura, appare plausibile la presenza di due tamponature. L'ipotesi ritenuta più probabile è che fossero infatti presenti due aperture nella muratura e che la porzione di muro più sottile visibile dalla stanza GF16 sia stata lasciata all'atto della chiusa delle aperture medesime. La rimozione parziale dell'intonaco ha confermato la presenza delle tamponature ipotizzate (fig. 10.32-10.33).

Tabella 10.5: dettagli relativi ai file 087, 016 e 017	e 019
acquisiti in data 10-02-2011 e 14-02-2011.	

FILE 087 (10-02-2011) - STANZA GF17 - LATO SUD-EST - LINEA ORIZZONTALE							
lunghezza effettiva 4,80 m - primo marker a 0,27 m dall'inizio del file							
altezza da pavimento 1,50 m							
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING	ſ	NOTE			
Range [ns]	15	Position correction [ns]	1 17	Spessore parete [cm]	34,5		
- <del></del> - []	10		-,-,	Riflessione da retro [ns]	3,80		
Range gain [dB]	0,0	Range gain	2,5	Costante dielettrica	2,73		
Tange gant [aD]	13,0	Background removal [N]	499	Velocità [m/s]	0,182		
File016(14-0	02-2011)-	STANZA GF11-PARETENO	RD-OVES	Γ-LINEA ORIZZONTALE			
lungt	hezza effet	tiva 4,27 m – primo marker a	0,27 m da	all'inizio del file			
		altezza da pavimento 0,8	80 m				
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING	r	NOTE			
Range [nc]	12	Position correction [ns]	1 13	Spessore parete [cm]	34,5		
Range [ns]	12		1,13	Riflessione da retro [ns]	3,95		
Dongo goin [dD]	-8,0	Range gain	Costante dielettrica				
Range gain [ub]		Background removal [N]	1023	Velocità [m/s] 0,1			
FILE 019 (14-0-2-2011) - STANZA GF11-PARETE NORD-OVEST-LINEA VERTICALE							
lunghezza effet	tiva 2,15 r	n - primo marker a 0,27 m da	ull'inizio a	lel file – cross polarization			
ACQUISIZIONE POST-PROCESSING NOTE							
Dongo [ug]	12	Desition competion [ma]		Spessore parete [cm]	34,5		
Range [ns]	12	Position conection [ns]	1,13	Riflessione da retro [ns]	3,50		
Damag gain [dD]	-8,0	Range gain 4,0 Costante dielettrice			2,32		
Kange gain [ub]	17,0	Background removal [N]	779	Velocità [m/s]	0,197		
file017(14	-02-2011)	-STANZA GF11-PAREIEN	ORD-OVE	ST-LINEA VERTICALE			
lung	hezza effet	tiva 1,72 m - primo marker a	0,27 m de	all'inizio del file			
linea eseguita è in corrispondenza del marker a 4,00 m delle linee orizzontali sulla stessa parete							
ACQUISIZIONE POST-PROCESSING			NOTE				
	10	D:	1 1 2	Spessore parete [cm]	34,5		
kange [ns]	12	Position correction [ns]	1,13	Riflessione da retro [ns]	3,40		
	-8,0	Range gain	3,5	Costante dielettrica	2,19		
Range gain [dB]	17,0	Background removal [N]	1023	Velocità [m/s]	0,203		



Figura 10.24: radargramma originale "file 087" relativo alla stanza GF11 (parete sud-est). Visibili: (a) riflessione superficiale, (b) riflessione dal retro con (c) apparenti riduzioni di spessore dovute alle tamponature.



Figura 10.25: radargramma post-processato "file 087" relativo alla stanza GF11 (parete sud-est).



Figura 10.26: radargramma originale "file 016" relativo alla stanza GF11 (parete sud-est). Visibili: (a) riflessione superficiale, (b) riflessione dal retro con (c) apparenti riduzioni di spessore dovute alle tamponature.



Figura 10.27: radargramma "file 016" relativo alla stanza GF11 (parete sud-est).



"file 017" acquisito in corrispondenza processato "file 017" acquisito in dell'anomalia più a nord-est (stanza corrispondenza dell'anomalia più a *GF11*). Visibili: (a)superficiale, (b) riflessione dal retro, (c) riduzione di spessore della parete riscontrabile osservando la stessa dal lato opposto.



Figura 10.30: radargramma originale Figura 10.31: radargramma post-Visibili: *GF11*). (a)superficiale, (b) riflessione dal retro.



Figura 10.28: radargramma originale Figura 10.29: radargramma postriflessione nord-est (stanza GF11).



"file 019" acquisito in corrispondenza processato "file 019" acquisito in dell'anomalia più a sud-ovest (stanza corrispondenza dell'anomalia più a riflessione sud-ovest (stanza GF11).


Figura 10.32: tamponatura più a sudovest (stanza GF11). Figura 10.33: tamponatura più a nordest (stanza GF11).

In alcuni casi l'individuazione delle tamponature non è così agevole come nei casi appena trattati: seguono, ad esempio, due ulteriori tamponature entrambe relative alla stanza GF13 individuate solo al momento della rimozione dell'intonaco.

La prima tamponatura è presente nella parete più a sud-ovest di detta stanza: nel radargramma acquisito in tale parete, il "file 095", e sul quale è stata eseguita un'essenziale elaborazione (fig. 10.34-10.35, dettagli in tab. 10.6) è evidente una riflessione dal retro della muratura anomala rispetto al resto del file oltre il quarto marker probabilmente riconducibile alla tamponatura ma, senza una conoscenza a priori della presenza della stessa (fig. 10.36) probabilmente non sarebbe stato immediato determinare la natura del riflettore anche in ragione degli elementi impiantistici presenti in tale parete che rendono meno chiara la posizione della riflessione dal retro della muratura.

File 095 (10-02-2011) - Stanza GF13 - Parete sud-est – Linea orizzontale						
lungl	hezza effet	tiva 2,60 m – primo marker a	0,27 m da	all'inizio del file		
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING		NOTE		
Dongo [nc]	15	Desition correction [ng]	1.20	Spessore parete [cm]	33	
Kange [18]	15	rositionconection[hs]	1,20	Riflessione da retro [ns]	3,75	
Danga gain [dD]	0,0	Range gain	3,0	Costante dielettrica	3,29	
Kange gain [ub]	13,0	Background removal [N]	791	Velocità [m/s]	0,165	

Tabella 10.6: dettagli relativi al "file 095" acquisito in data 10-02-2011.



Figura 10.34: radargramma originale "file 095" relativo alla stanza GF13 (parete sud-ovest). Visibili: (a) riflessione superficiale, (b) riflessione dal retro, (c) tubo metallico, (d) probabile tubo metallico la cui presenza non è però verificabile in sito senza azioni distruttive sulla muratura, (d) traccia impianto elettrico, (e) area ove è presente la tamponatura.



Figura 10.35: radargramma post-processato "file 095" relativo alla stanza GF13 (parete sud-ovest).



Figura 10.36 tamponatura fra le stanze GF13 e GF15 (lato GF15).

Un altro esempio di tamponatura difficilmente individuabile è presente fra la stanza GF13 e il vano scale. In questo caso sono state acquisite linee orizzontali indagando ambo i lati del muro: il "file 092" dal lato della stanza GF13 e il "file 096" dal lato del vano scale (fig. 10.37-10.40, dettagli in tab. 10.7). Anche in questo caso, pur essendo visibile, soprattutto nel radargramma acquisito dal lato della stanza GF13, una riflessione anomala rispetto al resto del file nella parte finale dello stesso (comunque osservabile in ambo i file), non sarebbe probabilmente possibile associare la riflessione, senza una conoscenza a priori della presenza della tamponatura, alla stessa, sebbene sia ipotizzabile una qualche anomalia nella muratura. A seguito della rimozione dell'intonaco la tamponatura è stata resa visibile (fig. 10.41) e rilevata di larghezza pari a 79 cm, quindi di dimensioni compatibili con l'elemento visibile nei radargrammi.

Tabella 10.7: dettagli relativi ai file 092 e 096 acquisiti in data 10-02-2011.

FILE 092 (10-02-2011) - STANZA GF13 - PARETE NORD-EST-LINEA ORIZZONTALE						
hınghezza effettiva 4,10 m - primo marker a 0,27 m dall'inizio del file						
il doppio marker posto d	a 6,0 m raj	ppresenta un errore in fase a	li acquisizi	ione ed è pertanto non signific	ativo	
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING	Ĺ	NOTE		
Dongo [ng]	15	Desition connection [ng]	1.20	Spessore parete [cm]	33	
Kange [ns]	15	Position conection [ns]	1,20	Riflessione da retro [ns]	3,55	
Dongo goin [dD]	0,0	Range gain	4,0	Costante dielettrica	2,60	
Kange gain [db]	13,0	Background removal [N]	1023	Velocità [m/s]	0,186	
FILE 096 (10-02-20	11)-VAN	O SCALE DA PIANO INTERRA	TO A PIANO	) TERRA - PARETE SUD-OVEST	·	
		LINEA ORIZZONTAI	Е			
lunghezza effettiva 4	,20 m-pr	imo marker a 0,27 m dall'ini	izio del file	- altezza da pavimento 1,50 r	п	
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING		NOTE		
Dougo [us]	15	Desition connection [ma]	1 17	Spessore parete [cm]	33	
Kange [ns]	15	Position conection [ns]	1,17	Riflessione da retro [ns]	3,65	
Dourse asim [dD]	0,0	Range gain	3,5	Costante dielettrica	2,76	
Kange gain [dB]	13,0	Background removal [N]	1023	Velocità [m/s]	0,181	
					·	
Marker	1	2 3 4 5	6	7 8 9		
ns						



Figura 10.37: radargramma originale "file 092" relativo alla parete fra GF 13 e vano scale (lato stanza GF13). Visibili: (a) riflessione superficiale, (b) riflessione dal retro, (c) traccia dell'impianto elettrico, (d) tamponatura.



Figura 10.38 radargramma post-processato "file 092" relativo alla parete fra GF13 e vano scale (lato stanza GF13).



Figura 10.39: radargramma originale "file 096" relativo alla parete fra GF13 e vano scale (lato GF13). Visibili: (a) riflessione superficiale, (B) riflessione dal retro della parete, (c) tubi metallici, (d) traccia dell'impianto elettrico, (e) posizione della tamponatura.



Figura 10.40: radargramma post-processato "file 096" relativo alla parete fra GF13 e vano scale (lato GF13).



Figura 10.41: tamponatura presente fra le stanze GF13 e il vano scale (vista da lato vano scale).

Un'ultima tamponatura è presente fra la stanza GF9 e la stanza GF10. Nell'area interessata è stato acquisito il "file 067" dal lato della stanza GF10, ed il "file 055" dal lato della stanza GF9 (fig. 10.42-10.45, dettagli in tab. 10.8). In questo caso in nessuno dei due file è chiaramente distinguibile un elemento che possa far desumere la presenza di detta tamponatura ad eccezione di un'interruzione nella riflessione dal retro della parete nel "file 067" che, da sola, difficilmente avrebbe portato alla conclusione della presenza della tamponatura suddetta (fig.10.46).

FILE 055 (09-02-2011) - STANZA GF9 - PARETE SUD-OVEST linea orizzontale - lunghezza effettiva 4,32 m primo marker a 0,27 m dall'inizio del file						
ACQUISIZIONE	1	POST-PROCESSING	U	NOTE		
Rance [nc]	15	Position correction [no]	1 23	Spessore parete [cm]	35	
Kalige [16]	15	rositononetton[18]	1,23	Riflessione da retro [ns]	3,65	
Dongo com [dD]	-10,0	Range gain	5,0	Costante dielettrica	2,45	
Kange gant [ub]	13,0	Background removal [N]	1023	Velocità [m/s]	0,192	
Fi	LE <b>067(0</b> 9	9-02-2011)-STANZA GF10-1	PARETEN	ORD-OVEST		
		Linea orizzontale				
		Lunghezza effettiva 6,8	7 m			
	ŀ	Primo marker a 0,27 m dall'in	nizio del fi	le		
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING		NOTE		
Dongo [ng]	15	Desition correction [no]	1 20	Spessore parete [cm]	35	
Range [16]	15	rositononetton[18]	1,20	Riflessione da retro [ns]	4,00	
Panga gain [dB]	-3,0	Range gain	3,0	Costante dielettrica	2,94	
Range gain [dB]	10,0	Background removal [N]	1023	Velocità [m/s]	0,175	

Tabella 10.8: dettagli relativi ai file 055 e 067 acquisiti in data 09-02-2011.



Figura 10.42: file 055 originale (parete fra GF9 e GF10, lato GF9). Visibili: (a) riflessione superficiale, (b) riflessione dal retro, (c) tracce dell'impianto elettrico e (e) posizione della tamponatura.



Figura 10.43: file 055 post-processato (parete fra GF9 e GF10, lato GF9).



Figura 10.44: file 067 originale (parete fra GF9 e GF10, lato GF10). Visibili: (a) riflessione superficiale, (b) riflessione dal retro della muratura, (c) tracce dell'impianto elettrico, (d) parete fra la stanza GF9 ed il ripostiglio adiacente e (e) posizione della tamponatura.



Figura 10.45: file 067 post-processato (parete fra GF9 e GF10, lato GF10).



Figura 10.46: area ove è presente la tamponatura fra la stanza GF9 e la stanza GF10 (vista dal lato della stanza GF10).

Stante l'elevato numero di tamponature studiate è stata riportata in fig. 10.47 la loro collocazione approssimativa: è evidente che queste, per numero e dimensioni, abbiano effetti strutturali rilevanti sul complesso delle murature.



Figura 10.47: mappa delle tamponature presenti al piano terra in zone indagate con il ground penetrating radar.

Risalite di umidità e umidità in generale

Sono state considerate una serie di 4 linee acquisite in verticale su pareti e colonne al piano terra: una per ogni lato del fabbricato (dettagli in tab. 10.9).

Nello specifico sono state scelte:

- il "file 009" relativo a una colonna sul lato sud-est (fig. 10.48-10.49);
- il "file 015" relativo a una colonna sul lato sud-ovest (fig. 10.50-10.51);
- il "file 101" relativo a una muratura sul lato nord-est (fig. 10.52-10.53);
- il "file 077" relativo a una muratura sul lato nord-ovest (fig. 10.54-10.55).

Tabella 10.9: dati relativi ai file 101, 009, 015 e 077 acquisiti in data 10-02-2011 e 14-02-2011.

FILE009(14-02-2011)-E Loze	STERNO—COLO ero dei marker	ONNA LATO SUD-EST – LINEA VERTICALE è a 0,7 m dal suolo		
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING		
Range [ns]	12	Position correction [ns]	1,20	
Range gain [dB]	-8,0 17,0	Range gain	3,0	
FILE015(14-02-2011)-EST Loze	TERNO-COLON ero dei marker	NA LATO SUD-OVEST—LINEA VERTICALE è a 0,7 m dal suolo		
Acquisizione		POST-PROCESSING		
Range [nS]	12	Position correction [nS]	1,13	
Range gain [dB]	-8,0 17,0	Range gain	2,0	
FILE 101 (10	0-02-2011)-Es	STERNO-LATO NORD-EST		
	quota minore, i	nizio e fine finestra a quota maggiore		
ACQUISIZIONE		rusi-processing		
Range [ns]	15	Position correction [ns]	1,17	
Panga gain [dP]	0,0	Range gain	5,5	
	13,0	Background removal [N]	623	
FILE077(10-09-2011)	-ESTERNO-LA	TO NORD-OVEST-LINEA VERTICALE		
lunghezza effettiva 2,17 m - altezza dello z	zero rispetto al .	suolo 0,90 m -primo marker a 0,27 m dall'ir	nizio del file	
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING		
Range [nS]	15	Position correction [nS]	1,20	
Range gain [dB]	0,0 13,0	Range gain	1,5	



Figura 10.48: radargramma originale Figura lato sud-est. Visibile: (a) riflessione dal colonna sul lato sud-est. retro della colonna nella parte alta, (b) riflessione dal retro inferiormente. La riflessione scompare alla base per insufficiente capacità di penetrazione del segnale.



10.49: radargramma post-"file 009" relativo ad una colonna sul processato "file 009" relativo ad una



"file 015" relativo ad una colonna sul processato "file 015" relativo ad una lato sud-ovest. Visibile: (a) riflessione colonna sul lato sud-ovest. dal retro della colonna nella parte superiore, (b) riflessione dal retro della colonna nella parte inferiore. La riflessione scompare alla base per insufficiente capacità di penetrazione del segnale.



Figura 10.50: radargramma originale Figura 10.51: radargramma post-



Figura 10.52: radargramma originale "file 101" relativo ad un maschio murario sul lato nord-est. Visibile: (a) riflessione dal retro della colonna nella parte superiore, (b) riflessione alla base.



*Figura* 10.53: radargramma postprocessato "file 101" relativo ad un maschio murario sul lato nord-est.



Figura 10.54: radargramma originale Figura 10.55: "file 077" relativo ad un maschio processato "file 077" relativo ad un murario sul lato nord-ovest (esterno dell'edificio). Visibile: (a) riflessione (esterno dell'edificio). dal retro della parete nella parte superiore, (b) riflessione alla base, (c) tubazioni.



radargramma postmaschio murario sul lato nord-ovest

È possibile notare, su tutti e 4 i lati dell'edificio, un'umidità maggiore alle quote inferiori delle pareti. Questo è riscontrabile nei radargrammi come un aumento del tempo di transito del segnale (tab. 10.10) e, in taluni casi, come una sparizione

della riflessione dal retro dovuta all'insufficiente capacità di penetrazione del segnale dovuta alle maggiori perdite legate alla presenza di materiale umido. Essendo stato esaminato un radargramma per lato (fig. 10.56-10.59) è possibile concludere che una certa quantità di umidità, non quantificabile, probabilmente risale su tutto il perimetro o, comunque, sulla maggior parte di esso.

Tabella 10.10: riepilogo dei valori di umidità relativa misurati in un punto in prossimità della base ed in un punto in prossimità della sommità degli elementi.

RADARGRAMMA		Spessore	RIFLESSIONE		COSTANTE		VELOCITÀ	
		DELL'ELEMENTO	DAL RETRO		DIELETTRICA			
			DELL'ELEMENTO					
		[cm]	[n.	s]			[m.	/s]
			Parte	Parte	Parte	Parte	Parte	Parte
			superiore	inferiore	superiore	inferiore	superiore	inferiore
				(*)		(*)		(*)
File 009	Lato sud-est	30	4,70	5,00	5,52	6,25	0,128	0,120
File 015	Lato sud-ovest	30	4,10	5,00	4,20	6,25	0,146	0,128
File 101	Lato nord-est	52	6,00	6,65	3,00	3,68	0,173	0,156
File 077	Lato nord-ovest	52	6,25	6,50	3,25	3,52	0,166	0,160
(*) qualor	a la base dell'eleme	nto non sia visibile i	valori sono i	iferiti al nu	nto a quota i	nferiore ind	ividuabile	



Figura 10.56: colonna indagata con il *"file* 015" visibile centro al dell'immagine (lato sud-est dell'edficio).



Figura 10.57: colonna indagata con il "file 015" visibile nell'immagine, terza dalla facciata frontale al piano terra (lato sud-ovest dell'edficio).



10.58: Figura maschio murario le finestre WGF6 e WGF7 (lato nord- finestre (lato nord-ovest dell'edificio). est dell'edificio).



Figura 10.59: maschio murario indagato indagato con il "file 101" visibile fra con il "file 077" visibile fra le due

Una mera curiosità concernente l'umidità riguarda la porzione di parete perimetrale sul lato nord-est in prossimità della finestra WGF9.

Mentre al di sotto di tale finestra è immediatamente riscontrabile, con un'osservazione sommaria, un'elevatissima umidità, la parete perpendicolare a quest'ultima non mostra invece segni altrettanto evidenti.

Con il ground penetrating radar è invece possibile accertare la presenza di umidità anche in una porzione della parete nord-est come testimonia il maggior tempo di volo misurato in prossimità dello spigolo nord grazie all'acquisizione del radargramma "file 040" (fig. 10.60-10.61 e dettagli in tab. 10.11). Detto tempo è compreso fra 5,75 ns, in prossimità dell'angolo a 6,40 ns lontano da esso mentre la costante dielettrica relativa fra 3,23 e 4,00; la velocità infine è compresa fra 0,167 m/s (lontano dall'angolo) e 0,150 m/s (in prossimità dell'angolo).

FILE 040 (09-02-2011) - SCALE DA PIANO TERRA A PRIMO PIANO - PARETE NORD-EST – LINEA ORIZZONTALE						
lunghezza effettiva circa 1,5 m - primo marker a 0,27 m dall'inizio del file						
ACQUISIZIONE POST-PROCESSING						
Range [ns]	15	Position correction [ns]	1,20			
Range gain [dB]	-10,0 13,0	Range gain	2,0			

Tabella 10.11: dettagli relativi al file 040 acquisito in data 09-02-2011.



Figura 10.60: radargramma originale "file 040" relativo al pianerottolo delle scale fra piano terra e primo piano (parete nord-est). Visibile: (a) riflessione dal retro della muratura in prossimità dell'angolo nord dell'edificio, ove l'umidità presente è maggiore e (b) riflessione dal retro a maggiore distanza da tale angolo.



Figura 10.61: radargramma post-processato "file 040" relativo al pianerottolo delle scale fra piano terra e primo piano (parete nord-est).

#### Elementi relativi alla parte impiantistica

Nella parete fra le stanze 1F4 e 1F8 è presente una canna fumaria incassata nello spessore del muro. La parete in oggetto è visibile da ambo i lati nelle fig. 10.62-10.63. Un semplice radargramma orizzontale, il "file 017", consente una puntuale individuazione della canna fumaria (fig. 10.64-10.65, dettagli in tab. 10.12). Detta canna è osservabile come una riflessione superficiale particolarmente ampia, cui si accompagna, a circa 1,50 ns di tempo di transito, la riflessione relativa all'interfaccia fra muratura e cavità interna della canna fumaria.



Figura 10.62: parete in esame dal lato Figura 10.63: parete in esame dal lato della radargramma "file 017").

della stanza 1F4 (lato investigato con il stanza 1F8 (lato opposto a quello investigato con il radargramma "file 017").

FILE 017 (09-02-0211) - STANZA 1F4 PARETE SUD-EST – LINEA ORIZZONTALE lunghezza effettiva 3,77 m - primo marker a 0,27 m dall'inizio del file						
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING		NOTE		
Danga [ng]	15	Desition correction [rs]	1 20	Spessore parete [cm]	35	
Range [ns]	15	rositon conection [18]	1,20	Riflessione da retro [ns]	3,85	
Range gain [dB]	-2,0	р ·	20	Costante dielettrica	2,72	
	13,0	Range gain	2,0	Velocità [m/s]	0,182	

Tabella 10.12: dettagli relativi al file 017 acquisito in data 09-02-2011.



Figura 10.64: radargramma post-processato "file 017" relativo alla stanza 1F4 (parete sud-est). Visibili: (a) canna fumaria, (b) traccia dell'impianto elettrico, (c) riflettore ignoto (in prossimità della zona testata è però visibile, da una porzione di tinteggiatura rimossa, un diverso tipo di intonaco forse in relazione con la riflessione).



Figura 10.65: radargramma post-processato "file 017" relativo alla stanza 1F4 (parete sud-est).

L'altro elemento relativo agli impianti riscontrabile in tutto l'edificio sono le tracce dell'impianto elettrico e i tubi dell'impianto idraulico. Tali elementi sono visibili in quantità massiccia in un gran numero di radargrammi; sono qui mostrati solo alcuni esempi ritenuti interessanti.

Un primo risultato è l'individuazione di due canalette verticali dell'impianto elettrico presenti, al primo piano, nei maschi murari fra le due coppie di portefinestre fra la stanza 1F9 e la stanza 1F2 (fig. 10.66-10.67). La presenza di tali elementi è testimoniata da scatole visibili in prossimità del soffitto, e quindi difficili da notare con una semplice osservazione sommaria della parete. Le tracce sono distintamente visibili, quali parabole superficiali, in due linee orizzontali acquisite sui due maschi: il "file 009" acquisito in data 09-02-2011 fra gli infissi W1F33 e W1F34 (fig. 10.68-10.69) e il "file 005" fra gli infissi W1F35 e W1F36 (fig. 10.70-10.71) e. I dettagli dei file sono riportati in tab. 10.13. Per completezza informativa viene segnalato che la doppia riflessione dal retro è causata dalla presenza di affreschi sulla parete in esame dal lato opposto a quello indagato.





Figura 10.66: maschio murario fra gli Figura 10.67: maschio murario fra gli infissi W1F33 e W1F34. infissi W1F35 e W1F36.

FILE (05 (09-02-2011) - STANZA 1F2 PARETE NORD-OVEST-LINEA ORIZZONTALE							
hinghezza effettiva 0,94 m - primo marker a 0,27 m dall'inizio del file							
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING		NOTE			
Range [nc]	20 Desition correction [ma]		1 1 2	Spessore parete [cm]	34		
Range [IIS]	20		1,15	Riflessione da retro [ns]	3,80		
Dongo goin [dD]	-2,0	-2,0 13,0 Range Gain	20	Costante dielettrica	2,81		
Kange gant [uD]	13,0		2,0	Velocità [m/s]	0,179		
FILE009(09	-02-2011	)-STANZA 1F2-PARETENORD	-OVEST	-LINEA ORIZZONTALE			
		lunghezza effettiva 0,90 i	т				
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING		NOTE			
Dongo [nc]	20	Desition correction [nS]		Spessore parete [cm]	34		
Kange [16]	20	rosition contection [h5]		Riflessione da retro [nS]	3,90		
Dongo com [dD]	-2,0	Dongo Com		Costante dielettrica	2,96		
Range gain [dB]	13,0	0 Range Gain		Velocità [m/s]	0,174		

Marker

ns





1

Figura 10.68: radargramma originale Figura 10.69: "file 009" (acquisito fra gli infissi processato "file 009" (acquisito fra gli W1F33 e W1F34). Visibili: (a) traccia infissi W1F33 e W1F34). dell'impianto elettrico, (b) doppia riflessione dovuta alla presenza di affreschi dal lato opposto della parete rispetto a quello indagato.

radargramma post-

2



Figura 10.70: radargramma originale "file 005" (acquisito fra gli infissi W1F35 e W1F36). Visibili: (a) traccia infissi W1F35 e W1F36). dell'impianto elettrico. (b)doppia riflessione dovuta alla presenza di affreschi dal lato opposto rispetto a quello indagato.



Figura 10.71: radargramma postprocessato "file 005" (acquisito fra gli

Le canalette dei fili elettrici e i tubi più pregiudizievoli per la staticità di una muratura sono però quelli orizzontali, in quanto causano una diminuzione di sezione della muratura stessa su un tratto esteso.

Sebbene non siano disponibili dati in quantità tale da mappare tali elementi in modo sistematico la loro presenza in quantità rilevante è immaginabile dalla posizione, ad esempio, delle scatole dell'impianto elettrico.

Stante il limitato numero di linee verticali acquisite, un probabile tubo dovrebbe essere visibile, ad esempio, nel "file 016" acquisito nella parete nord-ovest della stanza 1F17 (fig. 10.72-10.73, dettagli in tab. 10.14). L'ipotesi che la riflessione poco prima del primo marker sia causata da un tubo è suggerita dalla presenza di un termosifone al di sotto della finestra W1F14 (fig. 10.74).

STANZA 1F4 PARETE NORD-OVEST						
linea verticale - primo mai	rker a 0,2	7 m dall'inizio del file – i mark	er sono a	20,77, 1,58 e a 2,10 m dal pav	rimento	
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING		NOTE		
Dongo [ng]	20	Desition correction [ns]	1 17	Spessore parete [cm]	32	
Kange [ns]	20	Posicion contección [18]	1,17	Riflessione da retro [ns]	4,25	
Range gain [dB]	-2,0	-2,0 13,0 Range gain	20	Costante dielettrica	3,97	
	13,0		2,0	Velocità [m/s]	0,151	

Tabella 10.14: dettagli relativi al file 016 acquisito in data 09-02-2011.



Figura 10.72: radargramma originale "file 016" relativo alla stanza 1F4 (parete nord-ovest). Visibili (a) un probabile tubo posto all'interno della muratura.



Figura 10.73: radargramma post-processato "file 016" relativo alla stanza 1F4 (parete nord-ovest).



Figura 10.74: maschio murario fra le finestre W1F14 e W1F13 su cui è stato acquisito il "file 016".

Ulteriori elementi di interesse storico e strutturale

È possibile talvolta riscontrare nei radargrammi particolarità degli elementi esaminati non visibili dalla mera osservazione.

Un primo elemento interessante è relativo alle colonne indagate al piano terra. Sono stati infatti acquisiti radargrammi su 8 colonne al piano terra, poste su tutti e tre i lati dell'edificio ove tali elementi sono presenti, e sono stati riscontrati due diversi tipi di risposta dell'elemento strutturale qui esemplificati da due radargrammi su due diverse colonne (fig. 10.75-10.78, dettagli in tab. 10.15): - il "file 006" acquisito su una colonna sul lato nord-est (fig. 10.79);

- il "file 012" acquisito su una colonna sul lato sud-est (fig. 10.80);

Tabella 10.15: dettagli relativi ai file 006 e 012 acquisiti in data 09-02-2011.

FILE016(14-02-2011)—ESTERNO—COLONNA LATO NORD-EST						
	linea ver	ticale – <u>p</u> rimo marker a 0,27 r	n dall'iniz	zio del file		
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING	i	NOTE		
Range [ns]	12	Desition correction [ns]	1 10	Spessore colonna [cm]	30	
Position correction [ns]	2,17	POSILION WITCHON [15]	1,10	Riflessione da retro [ns]	4,20	
Dongo min [dD]	-8,0	0 0 Range Gain	15	Costante dielettrica	4,41	
Kange gain [ub]	17,0		1,5	Velocità [m/s]	0,143	
F	ILE012(1	4-02-2011)-ESTERNO-COL	ONNA LA	TO SUD-EST		
	linea ver	tical <u>e – primo marker a 0,27 r</u>	n <u>dall'ini</u> z	zio del file		
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING		NOTE		
Range [ns]	12	Desition correction [ns]	1 10	Spessore parete [cm]	30	
Position correction [ns]	2,17	Position contection [18]	1,10	Riflessione da retro [ns]	3,45	
Dongo goin [dD]	-8,0	Dongo Coin	2.0	Costante dielettrica	2,98	
Range gain [dB]	17,0	Kange Gain	3,0	Velocità [m/s]	0,174	





Figura 10.75: radargramma originale "file 006" relativo ad una colonna sul lato nord-est.

Figura 10.76: radargramma postprocessato "file 006" relativo ad una colonna sul lato nord-est.





Figura 10.77: radargramma originale Figura 10.78: radargramma post-"file 012" relativo ad una colonna sul processato "file 012" relativo ad una lato sud-est.

colonna sul lato sud -est.



stato acquisito il "file 006".

Figura 10.79: colonna sulla quale è Figura 10.80: colonna sulla quale è stato acquisito il "file 012".

È evidente come siano presenti, nel "file 006", riflessioni al di sotto della superficie non riscontrabili nel "file 012", nel quale sono osservabili semplicemente la riflessione superficiale e quella dal retro dell'elemento. Quest'ultima non è visibile nella parte inferiore in ragione di un elevato contenuto di umidità. Analogo comportamento alla colonna analizzata con il "file 006" è mostrato dalle colonne studiate con il "file 009" (fig. 10.48-10.49) e con il "file 015" (fig. 10.50-10.51).

Un'ipotesi formulabile per spiegare le riflessioni visibili nel "file 006" è la presenza di elementi metallici, probabilmente barre di armatura, all'interno della colonna che risulterebbe quindi solo ricoperta da laterizi. Sarebbero quindi presenti due distinte tipologie di colonne, almeno relativamente al piano terra (ove sono stati acquisiti tutti i radargrammi):

1- colonne interamente in muratura;

2- colonne con un nucleo in calcestruzzo armato e rivestimento in muratura.

Dal complesso dei dati rilevati le colonne solamente rivestite in laterizi paiono presenti nella sola parte nord-est dell'edificio (fig. 10.81) mentre le altre sono presenti sul resto del perimetro.



Figura 10.81: schema delle colonne interamente in muratura e di quelle con probabile nucleo in acciaio o calcestruzzo armato.

La collocazione delle due tipologie delle colonne trova una spiegazione nei danni subiti dall'edificio a seguito del bombardamento del 1944 (vedasi cap. 4) quando la parte nord-est della struttura venne abbattuta. È quindi plausibile che le colonne ricostruite siano state prodotte con materiali diversi da quelle storiche ma rivestite in laterizi in modo da renderle simili a quelle già presenti. Un indicatore di due diverse tipologie di colonne sono i giunti fra un laterizio e l'altro, nelle colonne rivestite tinteggiato in modo da renderlo simile alle colonne originali.

Un'altra zona di interesse riguarda la stanza GF17, in prossimità della finestra murata WGF14 bis ove sono state acquisite, 4 linee orizzontali a 4 quote diverse: 0,20 m per il "file 075", 0,80 m per il "file 074", 1,20 m per il "file 072" e 1,90 m per il "file 073" (dettagli di tutti i file in tab. 10.16). Variando molto i radargrammi con l'entità del filtraggio applicato sono proposti dapprima i 4 file originali appena acquisiti (fig. 10.82-10.85) poi i file elaborati ai quali è stato applicato un filtro background removal sull'intero file (fig. 10.86-10.89).

FILE 075 (10-02-2011)- STANZA GF17-PARETE SUD-OVEST-LINEA ORIZZONTALE							
hınghezza effettiva 4,14 m - primo marker a 0,27 m dall'inizio del file							
altezza da pavimento 0,20 m							
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING	ŕ	NOTE			
Dongo [nc]	15	Desition correction [no] 117		Spessore parete [cm]	52		
Range [16]	15	rositononetton[18]	1,17	Riflessione da retro [ns]	6,55		
Dongo goin [dD]	0,0	Range gain	3,0	Costante dielettrica	3,57		
Kange gain [uD]	13,0	Background removal [N]	149	Velocità [m/s]	0,159		
FILE074(10	-02-2011)	)-STANZA GF17-PARETE SUI	D-OVEST-	-LINEA ORIZZONTALE			
hingl	hezza effet	tiva 4,14 m – primo marker a	0,27 m de	all'inizio del file			
		altezza da pavimento 0,8	80 m				
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING		NOTE			
Dongo [ng]	15	Position correction [ns]	1 17	Spessore parete [cm]	52		
Kange [16]	15		1,17	Riflessione da retro [ns]	5,70		
Dongo goin [dD]	0,0	Range gain	3,5	Costante dielettrica	2,70		
Kange gain [ub]	13,0	Background removal [N]	149	Velocità [m/s]	0,182		
FILE072(10	-02-2011)	)-STANZA GF17-PARETE SUI	D-OVEST-	-LINEA ORIZZONTALE			
hing	hezza effet	tiva 4,14 m – primo marker a	0,27 m da	all'inizio del file			
		altezza da pavimento 1,2	20 m				
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING	ſ	NOTE			
Range [nS]	15	Position correction [nS]	1 20	Spessore parete [cm]	52		
	15		1,20	Riflessione da retro [ns]	5,90		
Range gain [dB]	0,0	Range gain	3,0	Costante dielettrica	2,90		
	13,0	Background removal [N]	49	Velocità [m/s]	0,176		

*Tabella 10.16: dettagli relativi al file 073, 074, 075 e 076 acquisiti in data 10-02-2011.* 

FILE 073 (10-02-2011) - STANZA GF17- PARETE SUD-OVEST—LINEA ORIZZONTALE hinghezza effettiva 4.14 m - primo marker a 0,27 m dall'inizio del file							
altezza da pavimento 1,90 m							
ACQUISIZIONE	POST-PROCESSING	ŕ	NOTE				
Dongo [ng]	15	Desition correction [ns]	1 17	Spessore parete [cm]	52		
Nalige [IIS]	15	15 Position conection [its]	1,17	Riflessione da retro [ns]	5,45		
Danga gain [dD]	0,0	Range gain	2,5	Costante dielettrica	2,47		
Kange gain [ub]	13,0	Background removal [N]	199	Velocità [m/s]	0,191		



Figura 10.82: file 075 originale (h=0,20 m). Visibile (a) l'area ove è presente la tamponatura.



Figura 10.83: file 074 originale (h=0,80 m). Visibile (a) l'area ove è presente la tamponatura.



Figura 10.84: file 072 originale (h=1,20 m). Visibile (a) l'area ove è presente la tamponatura.



Figura 10.85: file 073 originale (h=1,90 m). Visibile (a) l'area ove è presente la tamponatura.



Figura 10.86: file 075 post-processato (h=0,20 m).



Figura 10.87: file 074 post-processato (h=0,80 m).





Figura 10.88: file 072 post-processato Figura 10.89: file 073 post-processato (h=1,20 m).

Sebbene dall'esterno appaia visibile una semplice finestra tamponata (fig. 10.90) dai radargrammi "file 075" e "file 074" acquisiti rispettivamente alle quote di 0,20 e 0,80 m, si palesa la presenza di una tamponatura anche a quote inferiori rispetto a quelle della finestra.

L'ipotesi è che la finestra oggi visibile derivi da una porta chiusa dapprima a formare una finestra, poi tamponata anch'essa.

Ad un'attenta osservazione dei file elaborati, in particolare del "file 072" e del "file 075" sono osservabili due porzioni di muratura, ai lati della tamponatura, ove sono visibili parabole non presenti una volta raggiunta una certa distanza dalla tamponatura: una possibile spiegazione è che una parte del muro sia stata rimossa al momento dell'esecuzione della tamponatura al fine di ammorsare i laterizi costituenti la stessa all'interno del muro e garantire una migliore solidità alla struttura.



Figura 10.90: finestra tamponata WGF14 bis.

#### 10.6 Analisi dei dati in forma aggregata

Sono state innanzitutto calcolate, per tutti i radargrammi ove la riflessione dal retro sia distinguibile e lo spessore della muratura sia noto, velocità di propagazione delle onde, costante dielettrica relativa, e lunghezza d'onda.

La velocità di propagazione delle onde è stata calcolata come:

$$v = (2s) / t$$

dove:

s $\rightarrow$  spessore della muratura (rilevato);t $\rightarrow$  tempo di riflessione del segnale (desunto dal radargramma).

La costante dielettrica relativa della muratura è stata calcolata come:

$$\varepsilon_r = (c/v)^2$$

dove:

 $c \rightarrow$  velocità della luce nel vuoto, assunta pari a 300000 km/s.

La lunghezza d'onda è stata infine calcolata come:

$$\lambda = v / f$$
  
 $f \longrightarrow$  frequenza dell'antenna (900 MHz)

È stato tipicamente considerato, qualora fossero visibili aree con diverso contenuto di umidità in un singolo radargramma, un punto al di fuori dell'area più umida. Qualora invece fossero presenti tamponature nella muratura è stato scelto un punto esterno alle stesse, fatta eccezione per i casi ove l'intera linea di rilievo radar sia stata acquisita su di una tamponatura.

È stato quindi uniformato il peso dei valori dei singoli radargrammi nelle elaborazioni statistiche successive con la scelta di un singolo valore per ogni radargramma.

Sono stati scartati i radargrammi ove il retro non fosse chiaramente distinguibile o lo spessore dell'elemento indagato fosse ignoto. I dati sono ordinati per piano e, nell'ambito di uno stesso piano, per data di acquisizione e per numero del file.

Nella colonna "localizzazione parete" è stato indicato con "P" una parete perimetrale e con "I" una parete interna. Nella colonna orientamento linea è stata invece indicata con "O" una linea orizzontale, con "V" una linea verticale e con "I" una linea inclinata (tab. 10.17).

n.	Data	Co	llocazione	Loc. Par.	Orient.	T Rif. <i>[ns]</i>	Spess. [cm]	v [m/s]	3	λ [m]
		DINTEF	RRATO	[]	<u>L</u>	[]		L		
79	10/02/2011	UF8	nord-est	Ι	0	2,05	18	0,176	2,92	0,20
82	10/02/2011	UF7	sud-est	Р	0	8,20	48	0,117	6,57	0,13
83	10/02/2011	UF7	sud-est	Р	V	6,50	48	0,148	4,13	0,16
84	10/02/2011	UF7	sud-est	Р	V	6,40	48	0,150	4,00	0,17
86	10/02/2011	UF3	nord-ovest	Р	V	9,00	52	0,116	6,74	0,13
90	10/02/2011	UF3	sud-ovest	Ι	0	7,00	54	0,154	3,78	0,17
91	10/02/2011	UF7	nord-est	Ι	0	1,35	10	0,148	4,10	0,16
31	14/02/2011	Galleria	sud-ovest	Ι	V	4,60	42	0,183	2,70	0,20
		S	CALE DA PIANO I	VTERR/	ATOAPIAN	10 TERRA				
96	10/02/2011	Scale	sud-ovest	Ι	0	3,65	33	0,181	2,75	0,20
98	10/02/2011	Scale	nord-ovest	Р	V	5,05	52	0,206	2,12	0,23
99	10/02/2011	Scale	nord-est	Р	V	6,10	52	0,170	3,10	0,19
	PIANO TERRA									
43	09/02/2011	GF2	sud-ovest	Ι	0	3,95	33	0,167	3,22	0,19
44	09/02/2011	GF2	sud-ovest	Ι	0	4,05	33	0,163	3,39	0,18
45	09/02/2011	GF2	nord-ovest	Ι	0	3,90	33	0,169	3,14	0,19
46	09/02/2011	GF2	sud-ovest	Ι	V	4,10	33	0,161	3,47	0,18
47	09/02/2011	GF2	sud-ovest	Ι	V	3,95	33	0,167	3,22	0,19
49	09/02/2011	GF6	sud-ovest	Ι	0	2,85	21	0,147	4,14	0,16
50	09/02/2011	GF6	sud-ovest	Ι	0	3,90	33	0,169	3,14	0,19
51	09/02/2011	GF6	sud-ovest	Ι	V	3,85	33	0,171	3,06	0,19
52	09/02/2011	GF6	nord-ovest	Ι	0	3,70	32,5	0,176	2,92	0,20
53	09/02/2011	GF3	sud-est	Ι	0	3,80	32	0,168	3,17	0,19
54	09/02/2011	GF7	nord-ovest	Ι	0	4,00	32	0,160	3,52	0,18
55	09/02/2011	GF9	sud-ovest	Ι	0	3,65	35	0,192	2,45	0,21
62	09/02/2011	GF4	nord-ovest	Ι	0	3,85	32	0,166	3,26	0,18
63	09/02/2011	GF4	nord-ovest	Ι	0	2,00	17	0,170	3,11	0,19
64	09/02/2011	GF4	nord-ovest	Ι	0	4,00	32	0,160	3,52	0,18
67	09/02/2011	GF10	nord-ovest	Ι	0	4,00	35	0,175	2,94	0,19
68	09/02/2011	GF10	nord-est	Ι	0	4,30	28	0,130	5,31	0,14

Tabella 10.17: velocità delle onde, costante dielettrica e lunghezza d'onda per i file ove tali quantità siano calcolabili.

n.	Data	Co	llocazione	Loc. Par.	Orient.	T Rif. [ns]	Spess. [cm]	v [m/s]	3	λ Iml
69	09/02/2011	GF10	nord-est	Ι	0	4,30	28	0,130	5,31	0,14
70	09/02/2011	GF17	sud-est	Ι	0	6,00	44,5	0,148	4,09	0,16
71	10/02/2011	GF17	sud-est	Ι	0	5,40	44,5	0,165	3,31	0,18
72	10/02/2011	GF17	sud-ovest	Р	0	5,90	52	0,176	2,90	0,20
73	10/02/2011	GF17	sud-ovest	Р	0	5,45	52	0,191	2,47	0,21
74	10/02/2011	GF17	sud-ovest	Р	0	5,70	52	0,182	2,70	0,20
75	10/02/2011	GF17	sud-ovest	Р	0	6,55	52	0,159	3,57	0,18
76	10/02/2011	Esterno	nord-ovest	Р	0	7,80	52	0,133	5,06	0,15
77	10/02/2011	Esterno	nord-ovest	Р	V	6,25	52	0,166	3,25	0,18
78	10/02/2011	Esterno	nord-ovest	Р	V	6,40	52	0,163	3,41	0,18
79	10/02/2011	Esterno	nord-ovest	Р	0	6,50	52	0,160	3,52	0,18
80	10/02/2011	Esterno	sud-ovest	Р	V	5,45	52	0,191	2,47	0,21
81	10/02/2011	Esterno	sud-ovest	Р	V	8,30	52	0,125	5,73	0,14
82	10/02/2011	Esterno	sud-ovest	Р	0	5,75	52	0,181	2,75	0,20
83	10/02/2011	GF17	nord-ovest	Р	0	6,35	52	0,164	3,36	0,18
84	10/02/2011	GF17	nord-ovest	Р	0	6,40	52	0,163	3,41	0,18
85	10/02/2011	GF16	sud-ovest	Ι	0	1,90	16	0,168	3,17	0,19
86	10/02/2011	GF16	nord-ovest	Р	0	6,20	52	0,168	3,20	0,19
87	10/02/2011	GF16	sud-est	Р	0	3,80	34,5	0,182	2,73	0,20
88	10/02/2011	GF17	nord-est	Ι	0	2,05	16	0,156	3,69	0,17
90	10/02/2011	GF13	sud-est	Ι	0	3,80	34,5	0,182	2,73	0,20
91	10/02/2011	GF13	sud-est	Ι	0	3,90	34,5	0,177	2,88	0,20
92	10/02/2011	GF13	nord-est	Ι	0	3,55	33	0,186	2,60	0,21
93	10/02/2011	GF13	nord-est	Ι	V	3,50	33	0,189	2,53	0,21
94	10/02/2011	GF13	nord-est	Ι	V	4,00	33	0,165	3,31	0,18
95	10/02/2011	GF13	sud-ovest	Ι	0	3,75	31	0,165	3,29	0,18
100	10/02/2011	Esterno	nord-est	Р		5,90	52	0,176	2,90	0,20
101	10/02/2011	Esterno	nord-est	Р	V	6,00	52	0,173	3,00	0,19
103	10/02/2011	Esterno	nord-ovest	Р	0	5,85	52	0,178	2,85	0,20
105	10/02/2011	Esterno	nord-ovest	Р	0	5,55	52	0,187	2,56	0,21
106	10/02/2011	GF1	nord-ovest	Р	V	3,60	35	0,194	2,38	0,22
107	10/02/2011	GF1	nord-ovest	Р	V	4,00	35	0,175	2,94	0,19
1	14/02/2011	GF2	nord-est	Р	V	5,65	30	0,106	7,98	0,12
4	14/02/2011	GF1	nord-est	Р	V	5,50	55	0,200	2,25	0,22
5	14/02/2011	GF1	sud-est	Р	V	5,35	55	0,206	2,13	0,23
6	14/02/2011	GF1	nord-est	Р	V	4,20	30	0,143	4,41	0,16
7	14/02/2011	Esterno	nord-est	Р	V	4,05	30	0,148	4,10	0,16
8	14/02/2011	Esterno	sud-est		V	5,80	55	0,190	2,50	0,21
9	14/02/2011	Esterno	sud-est		V	4,70	30	0,128	5,52	0,14
11	14/02/2011	Esterno	sud-est	Р	0	3,50	30	0,171	3,06	0,19
12	14/02/2011	Esterno	sud-est	Р	V	3,45	30	0,174	2,98	0,19
13	14/02/2011	Esterno	sud-est		V	5,90	52	0,176	2,90	0,20

n.	Data	Co	llocazione	Loc.	Orient.	T Rif.	Spess.	V [m/a]	3	λ []
14	14/02/2011	Esterno	sud-est	rai.	V	665	<i>[City</i> ]	0.156	3.68	017
15	14/02/2011	Esterno	sud-ovest	Р	V	4 10	30	0,130	4 20	0.16
16	14/02/2011	GF11	nord-ovest	I	0	3.95	34.5	0.175	2.95	0.19
17	14/02/2011	GF11 GF11	nord-ovest	I	V	340	34.5	0.203	2 19	023
18	14/02/2011	GF11	nord-ovest	I	0	3.95	34.5	0.175	2.95	0.19
19	14/02/2011	GF11 GF11	nord-ovest	I	V	3.50	34.5	0.197	2.32	0.22
20	14/02/2011	GF11	nord-ovest	I	V	3.35	34.5	0.206	2.12	0.23
21	14/02/2011	GF11	nord-ovest	Ι	V	3,55	34,5	0,194	2,38	0.22
22	14/02/2011	GF11	nord-ovest	Ι	V	4.40	34.5	0.157	3.66	0.17
23	14/02/2011	GF11	nord-ovest	Ι	0	3,90	34,5	0,177	2,88	0,20
24	14/02/2011	GF11	nord-ovest	Ι	0	5,10	34,5	0,135	4,92	0,15
25	14/02/2011	GF16	sud-est	Ι	0	3,85	34,5	0,179	2,80	0.20
26	14/02/2011	GF16	sud-est	Ι	V	3,35	34,5	0,206	2,12	0,23
27	14/02/2011	GF16	sud-est	Ι	V	3,45	34,5	0,200	2,25	0,22
28	14/02/2011	GF16	sud-est	Ι	V	3,35	34,5	0,206	2,12	0,23
29	14/02/2011	GF16	sud-est	Ι	V	3,30	34,5	0,209	2,06	0,23
		I	SCALE DA PIANO	OTERR	AAPIANO	PRIMO	-			
36	09/02/2011	Scale	sud-ovest	Ι	Ι	4,00	34	0,170	3,11	0,19
37	09/02/2011	Scale	sud-ovest	Ι	0	3,95	34	0,172	3,04	0,19
38	09/02/2011	Scale	nord-ovest	Р	0	5,80	48	0,166	3,29	0,18
39	09/02/2011	Scale	nord-ovest	Р	0	5,50	48	0,175	2,95	0,19
40	09/02/2011	Scale	nord-est	Р	0	5,75	48	0,167	3,23	0,19
42	09/02/2011	Scale	sud-ovest		Ι	3,80	31	0,163	3,38	0,18
			PIA	NOPR	MO					
1	09/02/2011	1F1	sud-ovest	Ι	0	3,55	34	0,192	2,45	0,21
2	09/02/2011	1F1	nord-ovest	Ι	0	3,70	30	0,162	3,42	0,18
4	09/02/2011	1F1	sud-ovest	Ι	0	3,65	34	0,186	2,59	0,21
5	09/02/2011	1F2	nord-ovest	Ι	0	3,80	34	0,179	2,81	0,20
6	09/02/2011	1F2	nord-ovest	Ι	V	3,90	34	0,174	2,96	0,19
9	09/02/2011	1F2	nord-ovest	Ι	0	3,90	34	0,174	2,96	0,19
10	09/02/2011	1F2	sud-est	Р	0	3,60	29	0,161	3,47	0,18
11	09/02/2011	1F3	nord-est	Ι	0	4,20	35	0,167	3,24	0,19
12	09/02/2011	1F3	nord-est	Ι	0	4,30	35	0,163	3,40	0,18
13	09/02/2011	1F4	sud-ovest	Р	0	3,85	32	0,166	3,26	0,18
14	09/02/2011	1F4	nord-ovest	Р	0	4,05	32	0,158	3,60	0,18
15	09/02/2011	1F4	nord-ovest	Р	0	4,35	32	0,147	4,16	0,16
16	09/02/2011	1F4	nord-ovest	Р	V	4,25	32	0,151	3,97	0,17
17	09/02/2011	1F4	sud-est	Ι	0	3,85	35	0,182	2,72	0,20
18	09/02/2011	1F6	sud-est	Ι	0	3,90	32	0,164	3,34	0,18
19	09/02/2011	1F7	nord-est	Ι	0	3,90	34	0,174	2,96	0,19
108	10/02/2011	1F8	nord-ovest	Ι	0	4,10	32	0,156	3,69	0,17
109	10/02/2011	1F8	nord-ovest	Ι	0	3,75	32	0,171	3,09	0,19

n.	Data	Co	llocazione	Loc. Par.	Orient.	T Rif. [ns]	Spess. [cm]	v [m/s]	3	λ Iml
110	10/02/2011	1F8	nord-ovest	Ι	0	4,15	32	0,154	3,78	0,17
111	10/02/2011	1F8	nord-ovest	Ι	0	3,90	32	0,164	3,34	0,18
112	10/02/2011	1F8	nord-est	Ι	0	3,95	34	0,172	3,04	0,19
113	10/02/2011	1F8	sud-est	Ι	0	3,75	30,5	0,163	3,40	0,18
114	10/02/2011	1F8	sud-est	Ι	0	3,95	30,5	0,154	3,77	0,17
116	10/02/2011	1F8	sud-est	Ι	0	3,90	30,5	0,156	3,68	0,17
117	10/02/2011	1F8	nord-ovest	Ι	V	3,90	32	0,164	3,34	0,18
118	10/02/2011	1F8	nord-ovest	Ι	V	3,60	32	0,178	2,85	0,20
			SCALE DA PIANO	PRIMO	A PIANO SI	CONDO				
23	09/02/2011	Scale	nord-est	Р	Ι	5,85	49	0,168	3,21	0,19
24	09/02/2011	Scale	sud-ovest	Ι	Ι	4,05	30,5	0,151	3,97	0,17
PIAN					ONDO					
25	09/02/2011	2F5	nord-est	Ι	0	3,65	30	0,164	3,33	0,18
26	09/02/2011	2F5	sud-est	Ι	0	3,95	33	0,167	3,22	0,19
27	09/02/2011	2F6	sud-ovest	Ι	0	3,65	31	0,170	3,12	0,19
28	09/02/2011	2F6	sud-ovest	Ι	0	3,65	31	0,170	3,12	0,19
29	09/02/2011	2F6	nord-ovest	Ι	0	5,65	49,5	0,175	2,93	0,19
30	09/02/2011	2F6	nord-ovest	Ι	0	3,80	31,5	0,166	3,27	0,18
31	09/02/2011	2F5	nord-ovest	Ι	0	3,85	31,5	0,164	3,36	0,18
32	09/02/2011	2F5	nord-ovest	Ι	V	3,25	31,5	0,194	2,40	0,22
34	09/02/2011	2F5	nord-ovest	Ι	V	4,05	33	0,163	3,39	0,18
6	30/05/2011	2F5	sud-est	Ι	0	4,05	33	0,163	3,39	0,18
7	30/05/2011	2F5	sud-est	Ι	0	4,05	33	0,163	3,39	0,18
8	30/05/2011	2F5	sud-est	Ι	0	3,90	33	0,169	3,14	0,19
9	30/05/2011	2F5	sud-est	Ι	0	3,90	33	0,169	3,14	0,19
10	30/05/2011	2F5	sud-est	Ι	V	4,45	33	0,148	4,09	0,16
12	30/05/2011	2F5	nord-est	Ι	0	3,50	31,5	0,180	2,78	0,20
13	30/05/2011	2F8	nord-est	Ι	0	3,60	31	0,172	3,03	0,19

Sono stati riportati in tab. 10.18-10.19 i valori medi di costante dielettrica e di velocità del segnale ottenuti per i vari piani, relativamente, oltre ai valori generali, alle singole popolazioni costitute dai radargrammi acquisiti sui muri perimetrali e su quelli interni. Le linee acquisite nel vano scale sono state considerate unitamente al piano inferiore in quanto alla stessa quota dei muri indagati a quel piano. Essendo la costante dielettrica e la velocità del segnale influenzate dall'umidità il calcolo è teso a studiare la distribuzione della stessa nelle murature dell'edificio. I valori medi (fig. 10.91-10.92) sono conformi alle aspettative; in particolar modo è riscontrabile una differenza rilevante fra i valori del piano interrato e quelli del piano terra a testimonianza dell'elevata umidità presente al piano interrato ed una sua progressiva diminuzione all'aumentare della quota.

Per quanto riguarda invece il confronto fra i valori relativi alle murature interne e a quelle perimetrali (fig. 10.93-10.94) i risultati, anche in questo caso, appaiono significativi, essendo in tutti i casi la costante dielettrica dei muri esterni minore di quelli interni essendo questi ultimi più protetti dall'umidità; la velocità del segnale è invece maggiore nei muri interni, meno umidi.

POPOLAZIONE DI RADARGRAMMI	MURATURE	MURATURE	MEDIA
	PERIMETRALI	INTERNE	GENERALE
Interrato e scale da interrato a terra	4,44	3,25	4,37
Piano terra, esterno edificio e scale da piano terra a primo	3,38	3,17	3,25
Piano primo e scale da piano primo a secondo	3,61	3,22	3,30
Piano secondo		3,19	3,18
Generale	3,52	3,19	3,31

Tabella 10.18: valori medi di costante dielettrica.

Tabella 10.19: valori medi di velocità del segnale, misure in metri al secondo.

POPOLAZIONE DI RADARGRAMMI	MURATURE	MURATURE	MEDIA
	PERIMETRALI	INTERNE	GENERALE
Interrato e scale da interrato a terra	0,151	0,168	0,149
Piano terra, esterno edificio e scale da piano terra a primo	0,168	0,172	0,17
Piano primo e scale da piano primo a secondo	0,158	0,168	0,166
Piano secondo		0,169	0,169
Generale	0,165	0,170	0,168







Figura 10.92: valori medi di velocità per i singoli piani.



Figura 10.93: confronto fra i valori medi di costante dielettrica per le murature perimetrali e interne.



Figura 10.94: confronto fra i valori medi di velocità del segnale per le murature perimetrali e interne.

L'altro parametro che potrebbe modificare significativamente la costante dielettrica (e la velocità del segnale) è la tipologia di laterizi delle murature ossia pieni o forati (o semipieni). Non essendo immediato classificare i radargrammi in quelli eseguiti su laterizi pieni e su forati è stata utilizzata l'unica informazione disponibile che potrebbe fungere da spia della tipologia di laterizi: lo spessore della muratura, essendo ipotizzabile che i forati siano relativi alle sole murature più sottili. Sono stati quindi divisi tutti i radargrammi in 4 popolazioni in base allo spessore. I valori medi sono riportati in tab. 10.20.

Appare evidente che operare su questi valori non produce risultati soddisfacenti, probabilmente per via dell'influenza dell'umidità e del troppo limitato numero di murature a ridotto spessore presenti. Quest'ultimo problema è aggravato dal fatto che, per diversi dei tramezzi più sottili, il retro non appare ben distinguibile dalla superficie probabilmente per insufficiente risoluzione. Una netta suddivisione fra laterizi forati e pieni non appare quindi possibile.

INTERVALLO DI SPESSORE DELLE MURATURE	DIELETTRICA	VELOCITÀ MEDIA
[ <i>cm</i> ]	MEDIA	[m/s]
s≤20	3,40	0,164
20 <s≤30< th=""><th>4,40</th><th>0,147</th></s≤30<>	4,40	0,147
30 <s≤35< th=""><th>3,09</th><th>0,173</th></s≤35<>	3,09	0,173
35 <s< th=""><td>3,39</td><td>0,168</td></s<>	3,39	0,168

Tabella 10.20: costante dielettrica media in relazione allo spessore delle pareti.

Nel tentativo di determinare, più in generale, se esiste una qualche relazione fra lo spessore delle murature e la costante dielettrica (o la velocità del segnale), dovuta, ad esempio, a laterizi di diversa fattura caratterizzati da dimensioni diverse, sono stati quindi rappresentati tutti i dati ed è stata calcolata la retta interpolante per definire se esiste un qualche tipo di tendenza (fig. 10.95-10.96).



Figura 10.95: costante dielettrica media in relazione allo spessore.



Figura 10.96: costante dielettrica media in relazione allo spessore.

Appare presente un leggerissimo decadimento della costante dielettrica (o, al contrario, un leggero incremento della velocità) con l'aumentare dello spessore ma questo è così modesto da non essere probabilmente significativo: si conclude che l'umidità è il fattore più importante nella definizione della costante dielettrica delle murature e che la sua presenza impedisce altri tipi di analisi, rese impossibili dalla non uniformità dell'umidità stessa.

# 11 PALAZZINA DELLA VIOLA: INDAGINE DEI PAVIMENTI TRAMITE GPR

È stata eseguita, primariamente fra il giorno 08-02-2011 ed il giorno 14-02-2011, un'indagine con ground penetrating radar sui pavimenti della Palazzina della Viola. Ulteriori dati, in quantità modesta, sono stati acquisiti il 30-05-2011.

Sono stati acquisiti quasi 100 radargrammi indagando la quasi totalità delle stanze dell'edificio comprendenti tipicamente almeno due linee di rilievo radar ortogonali per ogni stanza. Occasionalmente non sono state indagate stanze ove fossero presenti materiali ingombranti appoggiati sul pavimento che impedissero il trascinamento dell'antenna, in particolare al piano secondo, ed in misura minore, al piano interrato. Sono state saltuariamente acquisite più linee ove sia stato ritenuto necessario testare diversi parametri di acquisizione o eseguire l'indagine in più posizioni leggermente diverse, quale quando sorgesse il sospetto che l'antenna si trovasse direttamente al di sopra di un travetto durante l'acquisizione del primo radargramma.

#### 11.1 Scopi

L'indagine è tesa ad un'analisi qualitativa dei solai in questa sede con una particolare attenzione all'individuazione degli elementi portanti non visibili con la semplice osservazione della struttura.

In particolare, essendo presenti molteplici tipologie di solai nell'edificio, in laterocemento, in legno, molti dei quali con travetti metallici posti superiormente a quelli lignei, è stata indagata la possibilità di individuare detti elementi con il ground penetrating radar nelle diverse condizioni di prova.

Grazie ad informazioni ottenute grazie ad indagini distruttive sulla struttura, quali rimozione di controsoffitti o rilievo di saggi nei solai, è possibile un controllo delle informazioni ottenute con il radar, testando quindi le possibilità della tecnica ed inoltre, stante il carattere localizzato di alcuni tipi di indagini distruttive, quali i saggi negli orizzontamenti, persino integrare il complesso delle informazioni disponibili sui solai.

#### 11.2 Strumentazione utilizzata

L'indagine è stata eseguita primariamente con un'antenna da 900 MHz, la stessa impiegata per le indagini sulle pareti (fig. 10.1-10.2). Un numero ridotto di

radargrammi sono invece stati acquisiti con un'antenna da 400 MHz (fig. 11.1) qualora fosse necessaria una maggiore capacità di penetrazione. I radargrammi acquisiti con tale ultimo strumento non hanno però fornito risultati soddisfacenti e non saranno nel seguito trattati.



Figura 11.1: dimensioni dell'antenna da 400 MHz utilizzata per le indagini.

### 11.3 Procedura preparatoria

Preliminarmente alle indagini sono stati apposti, con semplici gessi colorati, sui previsti percorsi dell'antenna (fig. 11.3-11.4), dei segni ad intervalli di circa 0,5 m.

Detti segni, grazie all'inserimento, da parte dell'operatore, di marker sui file acquisiti, consentono la conoscenza della posizione dell'antenna in tali punti e quindi una stima della posizione di ogni elemento che sia riscontrabile nei dati acquisiti.

Dati sugli elementi presenti nei solai e sulle loro dimensioni, derivanti primariamente da indagini distruttive quali saggi nei solai e rimozione di controsoffitti, sono già stati acquisiti nell'ambito di altre indagini ed è quindi stata sufficiente una loro integrazione per un più completo controllo dei risultati.

## 11.4 Acquisizione dati

L'acquisizione dei dati, proceduta per profili di riflessione (fig. 11.3-11.4, 11.6, 11.8-11.9 e 11.11-11.12) necessita dell'impostazione di alcuni settaggi delle antenne (tab. 11.1). I radargrammi sono stati tipicamente acquisiti, in mancanza di diversa indicazione, approssimativamente equidistanti alle due pareti parallele alle linee di rilievo radar.

Dette linee sono, nella quasi totalità dei casi, rettilinee; occasionalmente per via della collocazione di porte attraverso le quali far passare l'antenna, o di altri ingombri presenti sul percorso, sono state acquisite linee inclinate: tale circostanza è indicata sulle piante con linee curve. La necessità di evitare ostacoli, quali saggi

nei solai, ha comportato inoltre la necessità, lungo alcune linee acquisite separatamente in più porzioni, di traslare l'antenna in direzione ortogonale a quella di trascinamento, di qualche decina di centimetri fra un file ed il successivo.

La popolazione dei radargrammi disponibili, suddivisi per i quattro piani indagati, è riassunta in tab. 11.2.

Param	ETRO	Settaggio per antenna 900 MHz	Settaggio per antenna 400 MHz
Campioni per traccia	"samples/scan"	512	512
Bit per campione	"bits/sample"	16	16
Tracce al secondo	"scans/second"	64	64
Tracce al metro	"scans/meter"	200	40
Metri per marker	"meters/mark"	0	0
Costante dielettrica	"diel constant"	6	6
Finestra temporale	"range"	variabile da un radargramma all'altro	variabile da un radargramma all'altro
Amplificazione	"range gain"	variabile da un radargramma all'altro	variabile da un radargramma all'altro
Correzione della posizione	"position correction"	tipicamente 2,17 ns, variabile per i dati acquisiti in data 30-05-2011	variabile da un radargramma all'altro
Filtro passa banda bassa IIR	"vert IIR LP"	N =1 F =2500 MHz	N =1 F =800 MHz
Filtro passa banda alta IIR	"vert IIR HP"	N =1 F =225 MHz	N =1 F =100 MHz

Tabella 11.1: impostazioni delle antenne per le indagini.

Tabella 11.2: numero di radargrammi disponibili per ogni piano indagato.

	Numero	Perceniuale (sultotale)
Interrato	8	8,2
Piano terra ed esterno edificio	55	56,7
Piano primo	23	23,7
Piano secondo	11	11,3
Totale	97	
La posizione delle linee è riportata sulle piante dell'edificio con l'indicazione della distanza percorsa dal centro antenna (fig. 11.2, 11.5, 11.7 e 11.10).

Similmente alle indagini relative alle pareti la memoria dello strumento è stata resettata quattro volte nel corso delle indagini: radargrammi caratterizzati dallo stesso numero sono indicativi di un'acquisizione in momenti diversi. In fase di analisi dei risultati tali ambiguità saranno sciolte con l'induzione della collocazione del singolo radargramma analizzato.



Figura 11.2: schema dei radargrammi acquisiti al piano interrato.



Figura 11.3: fase di preparazione dei marker sul pavimento della stanza 1F8 (primo piano).



Figura 11.4: fase di preparazione dei marker sul pavimento della stanza 1F6 (primo piano).



Figura 11.5: schema dei termogrammi acquisiti al piano terra.



Figura 11.6: acquisizione di un radargramma su pavimento della loggia frontale al piano terra (stanza GF1).



Figura 11.7: schema dei radargrammi acquisiti al piano primo.



Figura 11.8: acquisizione di un radargramma su pavimento al piano primo (stanza 1F1).

Figura 11.9: acquisizione di un radargramma su pavimento al piano primo (stanza 1F3).



Figura 11.10: schema dei termogrammi acquisiti al piano secondo.



radargramma su pavimento al piano radargramma su pavimento al piano secondo (stanza 2F5).



Figura 11.11: acquisizione di un Figura 11.12: acquisizione di un secondo (stanza 2F5).

## 11.5 Esempi di radargrammi particolarmente significativi

Sono di seguito riportati, separatamente per i quattro piani considerati, alcuni esempi di radargrammi particolarmente significativi perché rappresentativi di un risultato tipico ottenibile su di un certo piano, o al contrario di una particolarità di una certa stanza indagata. Tutti i radargrammi sono mostrati dapprima originali, come risultano dall'acquisizione dati, poi dopo un essenziale post-processing, eseguito con il software RADAN (versione 6.6), consistente tipicamente in:

- correzione della posizione del segnale, onde porre nella giusta posizione la riflessione superficiale;

- applicazione del filtro background removal (ove necessario) onde identificare elementi altrimenti nascosti dalla riflessione superficiale;

- riduzione del range, tipicamente approssimativamente dimezzando quello di acquisizione, ove migliorare la visualizzazione della parte più superficiale del solaio, ove sono concentrate la maggior parte delle informazioni;

- applicazione di gain aggiuntivo, onde migliorare il contrasto degli elementi visualizzati.

Sono inoltre indicate, similmente ai dati acquisiti sulle pareti (cap. 10), in tabelle poste prima dei radargrammi le impostazioni di acquisizione (range e gain) oltre ai dettagli del post-processing (position correction, range gain e numero di scan utilizzati nell'applicazione del filtro background removal, quando applicato). Ulteriori note sull'acquisizione sono anch'esse riportate quali la presenza, nel caso di radargrammi acquisiti con l'antenna da 900 MHz, ossia tutti quelli qui trattati, del primo marker a 0,27 m dall'inizio del file invece di 0,50 m che è indicativa che il retro dell'antenna a inizio file si trova in corrispondenza dello zero quindi il centro è 0,23 m più avanti.

Ove possibile generalizzare sono inoltre formulate considerazioni generali sui risultati ottenuti in un dato piano.

## Piano interrato

Il risultato principale dell'acquisizione di radargrammi al piano interrato è l'individuazione, chiaramente visibile nei radargrammi, come serie di parabole prossime alla superficie, di barre di armatura, poste in ambo le direzioni ortogonali indagate, quindi forse di una rete elettrosaldata.

Essa è visibile nei radargrammi acquisiti nelle stanze UF1, UF3 e UF7 mentre non è osservabile nei radargrammi acquisiti nelle stanze UF8, UF9 e nella galleria a sud-ovest della stanza UF8 (codici identificativi stanze in fig. 4.7, 4.10, 4.13 e 4.16). Tale elemento suggerisce l'esecuzione di alcuni lavori di ristrutturazione sul piano interrato successivi alla costruzione dello stesso che abbiano interessato la sola parte nord-est dell'edificio.

Nei radargrammi "file 072" e "file 073", ad esempio, acquisiti nella stanza UF1 ed in parte della UF3, sono visibili le suddette parabole, ad interasse approssimativo, dedotto dal radargramma, pari a 20 cm e profondità pari a circa 2,30 ns (fig. 11.13-11.16, dettagli in tab. 11.3). A seguito della demolizione del pavimento (fig.11.17) e del massetto in calcestruzzo tali barre ( $\Phi$ 10 mm) sono state esposte e l'interasse si è rivelato perfettamente coincidente con quello reale.

FILE hınghezza effettiva 4	:072 (08-02-20 4,05 m - primo	)11)-Stanza UF1 marker a 0,27 m dall'inizio del file	
ACQUISIZIONE	-	POST-PROCESSING	
Range [ns]	30	Position correction [nS]	1,29
	-2,0	Range gain	4,5
Range gain [dB]	41,0	Background removal [N]	499
FILE07. hinghezza effettiva 8	3 (08-02-2011 3, <i>42 m - primo</i>	)-STANZEUF1 EUF3 marker a 0,27 m dall'inizio del file	
ACQUISIZIONE		Post-processing	
Range [ns]	30	Position correction [ns]	1,23
Danga anin [dD]	-2,0	Range gain	3,5
	41,0	Background removal [N]	499

Marker 1

Tabella 11.3: dettagli dei file 072 e 073 acquisiti in data 08-02-2011.





2

3

5

6

7

Figura 11.13: radargramma originale Figura 11. "file 072" acquisito nella stanza UF1. processato Visibili: (a) riflessione superficiale, (b) stanza UF1. barre di armatura.

Figura 11.14: radargramma postprocessato "file 072" acquisito nella stanza UF1.



Figura 11.15: radargramma originale "file 073" acquisito nelle stanze UF1 e UF3. Visibili: (a) riflessione superficiale, (b) barre di armatura, (c) probabili tubi per gli impianti dei bagni situati nelle stanze UF4, UF5 e UF6.



Figura 11.16: radargramma post-processato "file 073" acquisito nelle stanze UF1 e UF3.



Figura 11.17: stanza UF1 dopo alcune demolizioni (vista parete nord-ovest).

#### Piano terra

Un'ampia quota dei radargrammi acquisiti sul piano terra sono relativi a pavimentazioni poste su semplici massetti in calcestruzzo, sotto i quali è presente uno strato di ghiaia, quindi il terreno. Tali radargrammi non forniscono, in generale, risultati particolarmente interessanti, essendo la risoluzione dell'antenna troppo bassa per risolvere il pavimento e lo strato di calcestruzzo e osservandosi tipicamente solo una seconda riflessione, oltre a quella superficiale, probabilmente relativa all'interfaccia fra ghiaia e terreno.

L'assenza di informazioni sulla planarità di tale interfaccia non consente nemmeno di dedurre informazioni sulla quantità di umidità presente basandosi su un aumento del tempo di volo che potrebbe essere relativo ad una maggiore umidità ma anche all'inspessirsi degli strati indagati.

Elementi di maggiore interesse sono presenti in due particolari stanze: la GF6 e la GF17 dal momento che in entrambe è presente un pavimento di tavole lignee poste su magatelli (travetti lignei). In tale caso con due semplici radargrammi ortogonali è possibile individuare orientamento e numero esatto di tali magatelli.

Nella stanza GF17 in particolare sono stati acquisti i radargrammi "file 122" e "file 123" (fig. 11.18-11.21, dettagli in tab. 11.4).

Nel primo radargramma sono visibili unicamente la soglia fra la stanza in esame e la stanza GF10, posta a sud-est del locale indagato, e una modificazione nella riflessione superficiale dovuta al cambiamento della pavimentazione, costituita da piastrelle nella stanza GF10 e assito ligneo nella stanza GF17.

Nel "file 123" ortogonale al precedente invece, specialmente previa applicazione di un filtro background removal, sono chiaramente visibili le singole parabole dovute all'orientamento dei magatelli: sulla base del radargramma è stimabile un interasse di circa 50 cm.

Successivamente ad un controllo effettuato grazie allo scasso S14 (fig. 11.22), presente nella stanza è stato misurato in un punto un interasse pari a 48 cm, perfettamente compatibile con quello desumibile dal radargramma.

Al seguito di alcune demolizioni nella stanza è stata effettuata una sommaria ispezione visiva di conferma basata sulle tracce dei magatelli osservabili sulle pareti (fig. 11.23).

FILE hmohezza effettiva 4	122 (08-02-20 1 80 m - primo	11)-STA marker	$\frac{1}{a}$	iF17 m dall'i	ini <del>z</del> io de	ol filo			
Acquisizione	,00 m prano	maner	u 0,271	PO	ST-PRC	CESSI	١G		
Range [ns]	22	Position correction [ns]							1,12
Developeration [JD]	-2,0	Range	gain						2,5
Range gain [dB]	25,0	Backg	round 1	emova	1[N]				1023
FILE 123 (08-02-2011) - STANZA GF17 hunghezza effettiva 3.77 m - primo marker a 0.27 m dall'inizio del file - attraversata la soglia du					da 3,65	m a 3,8	85 m		
ACQUISIZIONE				PO	ST-PRC	CESSIN	JG		
Range [ns]	22	Positio	on corre	ction [r	18]				1,20
Panga gain [dP]	-2,0	Range	gain						3,0
	25,0	25,0 Background			removal [N] 8			856	
Marker 1 2 ns     5.00 10.0 15.0 20.0	c d	4	5	6	7	8	9		

Tabella 11.4: dettagli dei file 122 e 123 acquisiti in data 08-02-2011.

Figura 11.18: radargramma originale "file 122" acquisito nelle stanze GF10 e GF17. Visibili: (a) soglia fra stanza GF10 e la stanza GF17, (b) riflessione superficiale per quanto riguarda la stanza GF10, (c) riflessione superficiale per quanto riguarda la stanza GF17, (d) strato d'aria.



Figura 11.19: radargramma post-processato "file 122" acquisito nelle stanze GF10 e GF17.



Figura 11.20: radargramma originale "file 123" acquisito nella stanza GF17. Visibile (a) la riflessione superficiale.



Figura 11.21: radargramma postprocessato "file 123" acquisito nella stanza GF17. Visibili (a) i singoli magatelli al di sotto del pavimento.





Figura 11.22: saggio S14 presente nella Figura 11.23: stanza GF17 dopo alcune demolizioni.

Un altro esempio interessante relativo al piano terra è rappresentato, ad esempio, dalla stanza GF16 ove sono presenti solai in laterocemento gettati in opera ove sono stati acquisiti i due radargrammi "file 065" e "file 067" in due direzioni ortogonali (fig. 11.24-11.27, dettagli in tab. 11.5). L'orientamento dei travetti di calcestruzzo (orientamento nord-ovest / sud-est) è chiaramente distinguibile.

Mentre nel secondo radargramma non sono visibili elementi nel primo sono osservabili le riflessioni dei ferri tra le pignatte e le singole pignatte costituenti il solaio, queste ultime rappresentate quali riflessioni superficiali nel radargramma: sulla base di quest'ultimo gli interassi di tali elementi sono stimabili in 25 cm, valore coincidente con le misure rilevate negli scassi passanti presenti nella stanza in esame e in quelle adiacenti, oltre che al seguito della demolizione dell'intonaco al piano inferiore (fig. 11.28-11.29). È inoltre visibile una riflessione, a circa 4,50 ns, probabilmente dovuta all'intradosso del solaio: in tale caso, essendo lo spessore

dello stesso stimabile, sulla base di alcuni rilievi effettuati, pari a 23,5 cm la velocità media del segnale è pari a 0,10 m/s mentre la costante dielettrica media dei materiali attraversati è pari a 8,25, valore relativamente alto per un solaio di questo tipo forse parzialmente giustificato da un'elevata umidità. Una parabola presente nel "file 067", approssimativamente al centro, è probabilmente dovuta alla presenza dello scasso S14 (collocato a 2,10 m rispetto alla parete coincidente con lo zero dei marker) mentre le due riflessioni all'inizio diagonali e alla fine del file sono dovute alla prosecuzione dei muri perimetrali della stanza indagata al piano interrato che generano tali effetti quando l'antenna vi si allontana e vi si approssima (per via del segnale emesso non solo direttamente al di sotto dell'antenna ma con una forma approssimativamente conica).

FILE Larache <del>n</del> a effettiva	065 (08-02-01	1)-STANZAGF16	
Acquisizione	5,50 m-primo	Post-processing	
Range [ns]	30	Position correction [ns]	1,17
Range gain [dB]	-2,0 41,0	Range gain	1,5
FILE hunghezza effettiva 3	067 (08-02-20 3,91 m - primo	11)- STANZA GF16 marker a 0,27 m dall'inizio del file	
ACQUISIZIONE	1	POST-PROCESSING	
Range [ns]	30	Position correction [ns]	1,11
Developeration [4]D1	-2,0	Range gain	3,0
Kange gam [CB]	41,0	Background removal [N]	763

Tahella	11 5.	dettaoli	dei file	065 е	067 act	auisiti in	data	08-0	2-201	1
Iuvenu	11.J.	uenugn		005 6	00/ucc	γαιδιιι ιπ	uuuu	00-04	2-2011	L,



Figura 11.24: radargramma originale Figura 11.2 "file 065" acquisito nella stanza GF16. processato " Visibili: (a) pignatte costituenti il stanza GF16. solaio, (b) riflessione dall'intradosso del solaio.



Figura 11.25: radargramma postprocessato "file 065" acquisito nella stanza GF16.



Figura 11.26: radargramma originale Figura Visibili: (a) riflessioni dovute alle stanza GF16. pareti perimetrali del piano interrato, (b) riflessione dovuta ad un saggio nel solaio (S14).



11.27: radargramma post-"file 067" acquisito nella stanza GF16. processato "file 067" acquisito nella



Figura 11.28: solaio indagato con i Figura 11.29: dettaglio del solaio radargrammi "file 066" e "file 067" indagato con visibili pignatte e ferri. visto dall'intradosso dopo la rimozione di parte dell'intonaco.



#### Piano primo

I solai indagati presentano tipicamente travetti lignei inferiormente e travetti metallici superiormente. I risultati sono caratterizzati da un'ottima regolarità negli elementi individuabili: i travetti metallici, ove presenti, sono visibili nella totalità dei casi mentre i travetti lignei non sono pressoché mai visibili, o, comunque, sono visibili con notevoli difficoltà. L'orientamento delle orditure metalliche è comunque individuabile con una facilità estrema: nelle stanze 1F8 e 1F5 è stato ad esempio acquisito il radargramma "file 095" incrociato perpendicolarmente dal "file 093" nella stanza 1F8 e dal "file 097" nella stanza "1F5" (fig. 11.30-11.35, dettagli in tab. 11.6). Nel radargramma "file 095" sono visibili parabole superficiali, troppo ravvicinate per essere relative a travetti: è quindi desumibile

che questi ultimi siano paralleli alla direzione di trascinamento dell'antenna. Un altro elemento interessante è una forte riflessione superficiale approssimativamente fra il 5° e il 7° marker. L'interpretazione di tale riflessione richiede di precisare che è stato ritenuto interessante acquisire la linea di rilievo radar sul massimo percorso possibile, in ambo le stanze 1F8 e 1F5. Per via della presenza di una canna fumaria sulla parete cui l'antenna era appoggiata a inizio file in corrispondenza della porta della stanza 1F5 il percorso dell'antenna non è però perfettamente rettilineo, onde attraversare la porta ponendo il retro dell'antenna a contatto con la parete a fianco della canna fumaria all'inizio del percorso. È quindi altamente probabile che per un certo tratto l'antenna si sia trovata direttamente al di sopra di un travetto metallico. Sebbene anche solo da tale indizio sia desumibile l'orientamento dei travetti è stato acquisito il "file 093", ortogonale al precedente, nella stanza 1F8; in tale caso i singoli travetti sono chiaramente distinguibili, quali parabole prossime alla superficie più ampie di quelle dovute alle barre di armatura. L'interasse stimabile dal radargramma è pari a circa 75 cm, valore perfettamente coincidente con quello rilevato dal saggio S01, presente nella stanza in esame. Sono inoltre osservabili due travetti ad interasse minore degli altri: questi sono posti in corrispondenza della parete fra le sottostanti stanze GF11 e GF5, informazione aggiuntiva non disponibile dal solo saggio. Nella stanza 1F5 è invece stato acquisito il "file 097", ortogonale al "file 095": in questo caso sono osservabili due diversi tipi di travetto, entrambi con orditura nella stessa direzione. Dall'inizio del file fino al quinto marker sono visibili tre travetti e, dopo una breve interruzione, altri travetti causa di diverse riflessioni. Tale comportamento è spiegabile se si osserva una modifica nelle riflessioni osservabili in ragione delle stanze presenti inferiormente; sono infatti attraversate la GF16 (prima parte del file) e la GF14 (seconda parte del file). Il tipo esatto dei travetti non è identificabile dal solo radargramma ma è possibile stimare l'interasse, pari a circa 1,00 m nel primo caso e a circa 0,80 m nel secondo. Da alcuni rilievi, eseguiti su saggi nei solai ed in parte a seguito di demolizioni più estese, sono stati misurati interassi pari a 1,04 m e 0,85 m rispettivamente, sebbene quest'ultimo in un punto nella stanza 1F7, nella quale, comunque, la struttura del solaio non sembra, sulla base dei dati acquisiti con il GPR in tale stanza, variare in modo rilevante rispetto alla stanza ora indagata. I due valori rilevati sono perfettamente allineati con quelli desumibili dai dati radar, discostandosi da questi ultimi per meno di 5 cm. Una spiegazione certa sul motivo della differenza delle riflessioni fra i due tipi di travetti presenti non è chiara dai soli radargrammi (dai quali potrebbe essere

ipotizzata una differenza nella forma della sezione degli elementi) ma i saggi S06 (stanza 1F4, ove i radargrammi acquisiti hanno dato risultati qualitativamente analoghi alla prima parte del file esaminato) e S07 (stanza 1F6, seconda parte del file), unitamente all'osservazione del solaio dal lato inferiore dopo la demolizione del controsoffitto (fig. 11.36) hanno consentito la formulazione di ipotesi a valle dell'acquisizione della dettagliata conoscenza del solaio. La differenza nelle riflessioni non sembra imputabile ai travetti: sono presenti in ambo i casi elementi metallici con sezione a doppia T, sebbene con dimensioni leggermente diverse, con un massetto di 5 cm di calcestruzzo posto fra il travetto ed il pavimento. Una possibile ipotesi è la presenza, solo relativamente alla seconda parte del file, di barre di armatura poste in detto massetto, superiormente quindi al travetto, mentre nella prima parte del file le barre sono poste su tavelle appoggiate alle ali inferiori dei travetti. Ulteriori differenze fra i due solai sono apprezzabili dall'osservazione dal piano inferiore: mentre nella parte relativa alla prima parte del "file 093" sono visibili le due orditure di travetti e delle pignatte in quella indagata con la seconda a parte del file sono visibili ed elementi lacunosi in legno: essendo però detti elementi posti nella parte inferiore del solaio non dovrebbero influire sulle riflessioni dei travetti metallici, posti superiormente. Questo esempio ricorda l'importanza di una certa cautela nell'interpretazione dei risultati.

FILE095(08-02-2011)-STANZA 1F8E1F5					
lunghezza effettiva 9	),22 m - primo	marker a 0,27 m dall'inizio del file			
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING			
Range [ns]	30	Position correction [ns]			
Range gain [dB]	-2,0 41,0	Background removal [N]			
FILE 093 (09-02-2011) - STANZA 1F8					
lunghezza effettiva 5,77 m - primo marker a 0,27 m dall'inizio del file					
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING			
Range [ns]	30	Position correction [ns]	1,29		
Range gain [dB]	-2,0 41,0	0 0 Background removal [N]			
FILE 09	07(08-02-2011	1)-STANZE1F5E1F6			
	lunghezza efj	fettiva 6,00 m			
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING			
Range [ns]	30	Position correction [ns]	1,23		
Pange gain [dB]	-2,0	Range gain	1,5		
Nange gann [uD]	41,0	Background removal [N]	1023		

Tabella 11.6: dettagli dei file 093, 095 e 097 acquisiti in data 08-02-2011.



Figura 11.30: radargramma originale "file 095" acquisito nelle stanze 1F8 e 1F5. Visibili: barre di armatura, nella stanza 1F8 (a) e nella stanza 1F5 (b) e (c) porzione di travetto metallico parallelo alla direzione di trascinamento.



Figura 11.31: radargramma post-processato "file 095" acquisito nelle stanze 1F8 e 1F5.



Figura 11.32: radargramma originale "file 093" acquisito nella stanza 1F8. Visibili: (a) travetti metallici, (b) travetti ad interasse particolarmente ridotto in corrispondenza della parete fra le sottostanti stanze GF11 e GF5, (c) barre di armatura.



Figura 11.33: radargramma post-processato "file 093" acquisito nella stanza 1F8.



Figura 11.34: radargramma originale "file 097" acquisito nelle stanze 1F5 e 1F6. Visibili: travetti metallici nella parte di solaio al di sopra della stanza GF16 (a) e della stanza GF14 (b) e barre di armatura (c).



Figura 11.35: radargramma post-processato "file 097" acquisito nelle stanze 1F5 e 1F6.



Figura 11.36: solaio fra le stanze GF16 e GF14 dopo la demolizione del controsoffitto e del tramezzo divisorio.

Un particolare caso di stanza ove elementi lignei sono visibili è la loggia 1F1: in tale solaio sono infatti presenti travi foderate ad interasse approssimativo di 2,50 m (in corrispondenza delle colonne presenti al piano terra) visibili osservando l'orizzontamento dall'intradosso al di sopra delle quali è collocato un assito ligneo, quindi uno strato di calcestruzzo con annegate delle barre di armatura, quindi il pavimento (ciò è osservabile dallo scasso S09).

Sono stati acquisiti nella parte sud-est della loggia i radargrammi "file 102" e "file 107", acquisiti su percorsi ortogonali (fig. 11.37-11.40, dettagli in tab. 11.7).

Nel "file 102" sono chiaramente visibili due travi (fra il sesto e il settimo marker e fra l'undicesimo e il dodicesimo) ad un interasse compatibile con quello delle suddette travi. In ambo i file sono inoltre visibili parabole dovute alle barre di armatura. Un ulteriore elemento interessante è la riflessione visibile fra primo e secondo marker nel "file 107": detta riflessione, che dal solo radargramma non consentirebbe una chiara interpretazione in particolare sulla forma della sezione dell'elemento metallico osservato, è da attribuirsi ad una trave composta da due profilati metallici paralleli collegati da ulteriori elementi metallici, rilevata a seguito della rimozione del pavimento (fig. 11.41). Esempi come questo indicano che sebbene l'individuazione della posizione degli elementi metallici sia semplice l'identificazione del tipo esatto dell'elemento, basata sul solo radargramma, non sia spesso possibile e quindi una stima della resistenza del solaio basata sui soli dati georadar non sia eseguibile senza un supporto, seppur minimale, di indagini distruttive.

FILE 102 (08-02-2011) - STANZA 1F1 hunghezza effettiva 5.77 m - primo marker a 0.27 m dall'inizio del file					
ACQUISIZIONE	, 1	POST-PROCESSING			
Range [ns]	22	Position correction [ns]	1,23		
Danga gain [dD]	-2,0	Range gain	1,5		
Range gain [dB]	25,0	Background removal [N]	1023		
File	107 (08-02-2) hinghezza efj	011)- STANZA 1F2 Fettiva 5,50 m			
Acquisizione		Post-processing			
Range [ns]	22	Position correction [ns]	1,25		
Range gain [dB]	-2,0 25,0	Background removal [N]	1023		

Tabella 11.7: dettagli dei file 102 e 107 acquisiti in data 08-02-2011.



Figura 11.37: radargramma originale "file 102" acquisito nella stanza 1F1. Visibili: (a) barre di armatura, (b) travi lignee.



Figura 11.38: radargramma post-processato "file 102" acquisito nella stanza 1F1.



Figura 11.39: radargramma originale "file 107" acquisito nelle stanze 1F2 e 1F1. Visibili: (a) barre di armatura, (b) trave metallica costituita da due elementi affiancati.



Figura 11.40: radargramma post-processato "file 107" acquisito nelle stanze 1F2 e 1F1.



Figura 11.41: trave metallica presente nella soglia fra le stanze 1F1 e 1F2 resa visibile a seguito di alcune demolizioni per il posizionamento dei nuovi impianti.

Un ultimo esempio di radargramma interessante acquisito al primo piano è costituito dal "file 115" acquisito nella stanza 1F9 (fig. 11.42-11.44, dettagli in tab. 11.8). Sono presenti due locali inferiormente rispetto a quella indagata: la GF6 e la GF7, entrambi controsoffittati.

In questo caso il radargramma è stato elaborato dapprima analogamente ai file precedenti poi è stata effettuata una migrazione per far collassare le parabole superficiali ed enfatizzare eventuali ulteriori elementi presenti.

Il complesso delle informazioni ricavabili con un singolo radargramma è il seguente:

- è presente una rete elettrosaldata, o comunque una serie di barre di armatura disposte a formare una maglia;

- sono presenti, nella stanza GF6, dei travetti metallici ortogonali rispetto alla direzione di trascinamento dell'antenna;

- nella stanza GF7 detti elementi non sono presenti. Dall'intensità della riflessione osservata alla profondità di circa 3,70 ns, comparabile a quella dei travetti, è presumibile la presenza di un elemento metallico, presumibilmente un travetto, parallelo alla direzione di trascinamento dell'antenna e collocato approssimativamente al di sotto della stessa. È quindi probabile la presenza di una serie di travetti paralleli alla direzione di trascinamento dell'antenna nella stanza GF7.

A seguito della rimozione del controsoffitto che impediva una completa visuale degli elementi strutturali (fig. 11.45) in entrambe le stanze la presenza dei travetti metallici in ambo le stanze è stata verificata (fig. 11.46-11.48) ed è risultata compatibile con i dati ottenuti dal GPR

FILE 115 (08-02-2011) - STANZA 1F9 lunghezza effettiva 7,25 m					
ACQUISIZIONE POST-PROCESSING					
Range [ns]	22	Position correction [ns]	1 20		
Position correction [ns]	2,17	rositon concetton [iis]	1,20		
Danga gain [dD]	-2,0	Range Gain	1,5		
Range gain [dB]	25,0	Background removal [N]	1023		

Tabella 11.8: dettagli del "file 115" acquisito in data 08-02-2011.



Figura 11.42: radargramma originale "file 115" acquisito nella stanza 1F9 Visibili: (a) barre di armatura, (b) travetto metallico parallela alla direzione di trascinamento, (c) travetti metallici ortogonali alla direzione di trascinamento.



Figura 11.43: radargramma elaborato "file 115" acquisito nella stanza 1F9 dopo la correzione dello zero, l'applicazione del filtro background removal e l'amplificazione del segnale.



Figura 11.44: radargramma elaborato "file 115" acquisito nella stanza 1F9 dopo la correzione dello zero e la migrazione.



Figura 11.45: stanza GF7 prima della rimozione del controsoffitto con alcuni saggi nello stesso.



Figura 11.46: ambiente formato dalle stanze GF7, GF8 e GF9 dopo la rimozione di tramezzi e controsoffitto (l'antenna è stata trascinata, al piano superiore, parallelamente ai travetti *metallici*).



Figura 11.47: dettaglio di parte della Figura 11.48: dettaglio della zona zona investigata del solaio fra la investigata del solaio fra la stanza 1F9 stanzalF9 e GF7 (l'antenna è stata trascinata, al piano superiore, dal lato sinistro dell'immagine al lato destro).



e GF6 (l'antenna è stata trascinata, al piano superiore, dal lato sinistro dell'immagine al lato destro).

#### Piano secondo

Relativamente al piano secondo la ridotta altezza dei locali e la presenza di elementi strutturali, oltre che di materiale di ingombro posto sui solai ha impedito un'indagine di molte stanze. Sono però stati acquisiti radargrammi in particolare nella stanza 2F7, al di sopra del salone 1F9 e nella stanza 2F5, al di sopra della stanza 1F8. Relativamente al solaio al di sopra del salone 1F9 sono stati ad esempio acquisiti i due radargrammi ortogonali "file 002" e "file 003" (fig. 11.49-11.52, dettagli in tab. 11.9). Nel primo radargramma, ortogonale ai travetti, sono chiaramente visibili i medesimi, ad un interasse, stimabile da radargramma, pari a

circa 57 cm. Dal rilievo, eseguito dal piano inferiore (fig. 10.53), risulta un interasse medio di 58 cm, quindi con una buona corrispondenza con i risultati della prova non distruttiva. Nel secondo, parallelo ai travetti ma ortogonale alle capriate, sono invece visibili le travi che costituiscono le catene delle capriate, in corrispondenza di doppi marker posti all'attraversamento delle capriate.

FILE002(30-05-2011)-STANZA2F7 linea acaujisita dal fronte verso il retro dell'edificio- hundrezza effettiva 3.83 m						
doppio marker inizio	doppio marker inizio e fine in corrispondenza della posizione dei monaci					
marker singolo ogr	i metro e man	ker addizionale a 0,5 m dall'inizio				
ACQUISIZIONE POST-PROCESSING						
Range [ns]	25	Position correction [rs]	1 09			
Position correction [ns]	-1,61	Position contection [18]	4,98			
	-17,0	Range gain	3,0			
Kange gain [dB]	+35,0	Background removal [N]	835			
File	2003 (30-05-20	011)-Stanza2F7				
lunghezza 9,0 m - la linea attraversa	tutte e quattro	le capriate, finendo un metro oltre l'ultima cap	riata			
doppio marker a ini	zio, fine e sopr	a ogni catena e marker ogni metro				
la linea inc	rrocia la prece	dente al marker dei 0,5 m				
mentre le linee pr	ecedenti incroc	ciano questa al marker dei 4,0 m				
ACQUISIZIONE		POST-PROCESSING				
Range [ns]	25	Desition correction [m]	5 12			
Position correction [ns]	-1,61	- Position correction [ns]				
	170	Panga gain	4,0			
Range gain [dB]	-1/,0		1,0			
	+55,0	Background removal [N]	1023			

Tabella 11.9: dettagli dei file 002 e 003 acquisiti in data 08-02-2011.



Figura 11.49: radargramma originale "file 002" acquisito nella stanza 2F7. Visibili (a) travetti lignei.



Figura 11.50: radargramma post-processato "file 002" acquisito nella stanza 2F7.



Figura 11.51: radargramma originale "file 003" acquisito nella stanza 2F7. Visibili (a) le travi in corrispondenza delle capriate.



Figura 11.52: radargramma post-processato "file 003" acquisito nella stanza 2F7.



Figura 11.53: solaio indagato visto dal lato inferiore (stanza 1F9).

Relativamente alla stanza 2F5 sono invece stati acquisiti più radargrammi essendo presenti due diversi tipi di solaio, uno dei quali caratterizzato dalla presenza di travetti lignei visibili osservando il solaio dal piano inferiore (fig. 11.54).

In tale area sono disponibili il "file 116" e il "file 119" (fig. 11.55-11.58, dettagli in tab. 11.10) che confermano i risultati ottenuti in tutti i casi ove fossero presenti travetti lignei sottoposti a travetti metallici: sono distintamente visibili i travetti metallici ma non è presente alcuna traccia di quelli lignei.

Detti travetti metallici presentano un interasse, stimato dal radargramma, pari a circa 90 cm. Dalla presenza di un saggio nel solaio (S19) è stato rilevato un interasse di 89 cm: perfettamente allineato con i dati radar.

Sono in questo caso state rilevate barre di armatura poste a due quote differenti: alcune di tali barre sono probabilmente visibili nel "file 116".



Figura 11.54: solai sottostanti la stanza 2F5, l'orizzontamento indagato con i radargrammi "file 166" e "file 119" è visibile in primo piano.

FILE 116 (08-02-2011) - STANZE 2F6 E 2F7 hinghezza effettiva 7,27 m - primo marker a 0,27 m dall'inizio del file					
ACQUISIZIONE POST-PROCESSING					
Range [ns]	22	Position correction [ns]	1,25		
Dongo min [dD]	-2,0	Range gain	1,5		
Range gain [dB]	25,0	Background removal [N]	1023		

Tabella 11.10:	dettagli dei i	file 116 e 119	) acauisiti in a	lata 08-02-2011.
1000000 11.10.	actuast act			<i>uiu</i> 00 02 2011.

FILE119(08-02-2011)-STANZA2F5						
lunghezza effettiva 4	lunghezza effettiva 4,27 m - primo marker a 0,27 m dall'inizio del file					
ACQUISIZIONE POST-PROCESSING						
Range [ns]	22	Position correction [ns]	1,2			
Panga gain [dP]	-2,0	Range gain	2,5			
Range gain [dB]	25,0	Background removal [N]	1023			



Figura 11.55: radargramma originale "file 116". Visibili: (a) travetti metallici, (b) primo strato di barre di armatura, (c) secondo strato di barre di armatura.



Figura 11.56: radargramma post-processato "file 116".



Figura 11.57: radargramma originale "file 119".



Figura 11.58: radargramma post-processato "file 119". Visibili (a) barre di armatura.

#### 11.6 Sommario delle orditure degli elementi portanti individuate

Un'analisi ed un controllo completo di tutti i dati georadar richiede un grado di conoscenza dei solai al momento non disponibile e per ottenere il quale sarà necessario attendere il proseguire delle demolizioni e raffinare l'elaborazione dei dati ma già ora, sulla sola base dei dati non elaborati, è possibile individuare le orditure portanti metalliche, in maggior parte non visibili a occhio nudo, e quindi conoscere la disposizione di tali elementi. Pur con elevate approssimazioni, essendo l'unico riferimento alla posizione dell'antenna i marker posti ogni 0,5 m, è inoltre stimabile l'interasse di detti elementi. In un'ipotetica indagine su di un edificio non in corso di ristrutturazione sarebbe quindi possibile utilizzare il GPR sull'intera struttura al fine di identificare cambiamenti rilevanti negli elementi portanti, quindi aprire scassi nel numero minimo di posizioni necessarie a definire completamente i solai. Sono riportate in fig. 11.59-11.62 le orditure individuate e l'interasse, stimato in modo qualitativo sulla base della posizione dei marker, oltre alla presenza di rete elettrosaldata (o comunque barre di armatura separate le une dalle altre disposte a formare una maglia); ove presenti saggi nei solai dove siano presumibilmente visibili gli stessi elementi osservabili con il GPR sono inoltre indicati gli interassi misurati dagli stessi, quale elemento di confronto con i risultati delle indagini georadar. Essendo i rilievi stati eseguiti dall'estradosso del solaio sono indicati in ogni pianta gli orizzontamenti fra il piano rappresentato e quello inferiore. In questa fase dell'indagine sono trascurati elementi quali singoli travetti ad interasse anormalmente alto (o basso) ed un conteggio esatto del numero degli elementi presenti.



Figura 11.59: elementi individuati tramite indagini GPR al piano interrato.



Figura 11.60: elementi individuati tramite indagini GPR al piano terra e interassi stimati, confronto con gli interassi misurati dai saggi nei solai.



Figura 11.61: elementi individuati tramite indagini GPR al piano primo e interassi stimati, confronto con gli interassi misurati dai saggi nei solai.



figura 11.62: elementi individuati tramite indagini GPR al piano secondo e interassi stimati, confronto con gli interassi misurati dai saggi nei solai.

In merito alle caratteristiche strutturali degli orizzontamenti analizzati, rispetto alle sole informazioni desumibili dall'osservazione della struttura integra, con l'indagine georadar dal complesso dei dati raccolti nell'intera indagine è possibile ottenere le seguenti informazioni addizionali:

- è presente una rete elettrosaldata (o, comunque, delle barre di armatura disposte a formare una maglia) nella massima parte delle stanze collocate al primo piano. Relativamente ai piani interrato e secondo detta rete è presente solo in alcuni locali mancando nelle stanze UF8, UF9 e galleria a sud-ovest della stanza UF8 oltre che nel solaio fra la stanza 2F7 e la 1F9 (salone). Nei solai fra il piano terra e l'interrato tale rete non è invece presente in nessun caso come non è presente nelle stanze, sempre al piano terra, situate nelle parti prive di un piano sottostante;

- tutti i solai presentati nel dettaglio, e la massima parte di quelli analizzati nell'intera indagine, fra il piano terra ed il primo sono caratterizzati da ulteriori elementi portanti oltre a quelli visibili ad eccezione della stanza 1F2 (loggia sudest). Elementi addizionali oltre a quelli visibili sono presenti anche fra la stanza 2F5 e la stanza 1F8. Detti elementi sono a volte paralleli agli elementi lignei e a volte perpendicolari agli elementi lignei visibili;

- sono presenti due stanze al piano terra, la GF6 e la GF17, ove sono presenti magatelli lignei al di sotto del pavimento.

In merito alle potenzialità della tecnica georadar, testata grazie alla possibilità di acquisire i dati subito prima delle demolizioni legate ad un'importante intervento di ristrutturazione, è possibile riassumere i risultati come segue:

- gli elementi metallici, siano essi barre di armatura, travetti o travi, sono facilmente individuabili. L'interasse è stimabile, anche con un'antenna di frequenza media, quale quella a 900 MHz usata, che richiede di ricorrere all'utilizzo di marker per identificare la posizione dell'antenna, con un errore che, tipicamente è inferiore ai 10 cm;

- qualunque struttura si trovi al di sotto di elementi metallici, viene rilevata con estrema difficoltà. I travetti e le travi lignee non sono quindi quasi mai visibili nei radargrammi, salvo alcune eccezioni;

- tubazioni relative agli impianti idraulici, essendo metalliche sono anch'esse facilmente individuabili, salvo la loro identificazione venga inibita dalla presenza di altri elementi metallici sovrastanti. È evidente come la bontà dei risultati ottenibili con un'indagine GPR sui solai di un edificio storico, quindi potenzialmente soggetto a più interventi successivi, sia fortemente legata al tipo di struttura da indagare: in questo caso, essendo gli elementi lignei già visibili con la semplice osservazione e quelli metallici occultati i risultati sono eccellenti consentendo la tecnica la localizzazione degli elementi altrimenti non identificabili. Sono da constare le eccellenti condizioni al contorno per l'applicazione del GPR in questo particolare caso di studio essendo l'oggetto della ricerca gli elementi metallici, notoriamente facilmente visibili nei radargrammi.

L'indagine di un tipo diverso di struttura ove siano presenti elementi metallici posizionati superiormente a quelli oggetto della ricerca vedrebbe i propri risultati seriamente compromessi.

# 12 PALAZZO MALVEZZI: PROVA DI CARICO SU TRAVE LIGNEA

È stata eseguita, a cura del laboratorio LISG (Laboratorio di Ingegneria Strutturale e Geotecnica) del dipartimento DICAM dell'Università di Bologna, una prova di carico diretto su di una trave lignea storica sita nel sottotetto di Palazzo Malvezzi (via Zamboni 13, Bologna), attuale sede della Provincia di Bologna. Tale prova, di flessione a 4 punti in campo elastico, è stata iniziata in data 28-03-2011 e terminata in data 29-03-2011.

# 12.1 Presentazione dell'edificio oggetto di indagini

Palazzo Malvezzi è situato all'angolo fra piazza Rossini e via Zamboni. Il corpo principale del Palazzo ha una forma pressoché rettangolare (fig. 12.1) e la sua estensione complessiva è di circa 1844 m<sup>2</sup>, di cui 1530 m<sup>2</sup> e 314 m<sup>2</sup> scoperti a cortile. L'edificio può suddividersi in due parti: quella prospiciente la Piazza Rossini (fig. 12.2) che prosegue a L sulla via Zamboni si compone di quattro piani fuori terra più un piano interrato e quella a sud del cortile principale interno ove sono presenti due ammezzati tra il piano terra ed il piano primo e fra il piano primo ed il piano secondo (Capobianchi, 2010).



Figura 12.1: pianta catastale dell'edificio. Visibile il corpo principale prospiciente via Zamboni e Piazza Rossini e la ex palazzina Malvezzi (oggi palazzina Lamberti) che si estende fra piazza Rossini e via Benedetto XIV.



catastale Figura 12.2: Palazzo Malvezzi, vista da corpo Piazza Rossini.

Il piano interrato è caratterizzato da volte a crociera mentre il piano terra risulta invece per lo più controsoffittato. Al piano primo, o "piano nobile", sono invece presenti "finte volte" costituite da solai in legno, con orditura principale costituita da capriate rovesce con controsoffittatura in arellato al quale sono incollate le decorazioni realizzate su carta a metà dell'ottocento. Il secondo piano è infine coperto da solai in legno.

I muri sono costituiti in mattoni e malta di calce e le fondazioni sono in pietra di gesso e con inserti in selenite (Capobianchi, 2010).

Relativamente alla storia dell'edificio sull'area ove sorge il Palazzo esistevano fin dal XV secolo case di proprietà della famiglia Malvezzi.

Nel 1559 iniziò la costruzione di Palazzo Malvezzi, a seguito del superamento di difficoltà non solo economiche ma anche legate a trattative con gli Agostiniani per la cessione di una porzione del sagrato della loro chiesa. La costruzione fu affidata nel 1560 Bartolomeo Tirachini, a cui si deve il cortile di Palazzo Poggi. Palazzo Malvezzi de'Medici è attribuito a tale architetto in quanto la partitura del cortile a ordini sovrapposti di Palazzo Poggi diviene il modello per il disegno delle due facciate dell'edificio in esame. La struttura divenne residenza della famiglia Malvezzi mentre la vecchia proprietà, la Palazzina Malvezzi, venne adibita a sede della servitù, a stalla, magazzini, rimessa per carrozze; essa aveva un ingresso dall'attuale Piazza Rossini (Capobianchi, 2010).

Fino al terzo decennio del secolo scorso il Palazzo restò nelle mani della famiglia Malvezzi, sebbene con passaggi di proprietà fra più rami della suddetta famiglia.

Numerosi interventi sono stati eseguiti sull'edificio fino a tale data, alcuni dei più importanti sono (Capobianchi, 2010):

- la realizzazione, promossa nel 1725 dal Marchese Giuseppe Malvezzi de' Medici, dello scalone di accesso al piano nobile (fig. 12.3);

- il restauro, nel 1730, del portico esterno, rinnovando, tra l'altro le lastre di arenaria di tre colonne ormai logore;

- la radicale trasformazione, con vari lavori di ornamentazione, dell'appartamento di rappresentanza del palazzo di famiglia sulla strada di S. Donato eseguita nel 1851-54. In tale occasione venne costruito il solaio con foro ovale (fig. 12.5) posto al di sopra dell'attuale Sala del Consiglio.

Nel 1931 il Palazzo venne acquisito dalla Provincia di Bologna onde adibirlo a sede della stessa. L'acquisto coinvolgeva originariamente la parte principale dell'edificio mentre la Palazzina Lamberti venne acquisita solo nel 1954 per adibirla ad uso ufficio (Capobianchi, 2010).





Figura 12.3: scalone di Palazzo Figura Malvezzi prima dell'insediamento della Malvezzi Provincia (Arbizzani, 2001). (Arbizza

Figura 12.4: scalone di Palazzo Malvezzi dopo i restauri del 1932 (Arbizzani, 2001).





Figura 12.5: odierna Sala del Consiglio I prima dei rimaneggiamenti del 1932 d (Arbizzani, 2001).

Figura 12.6: odierna Sala del Consiglio come appariva nel 1932 (Arbizzani, 2001).

Venne subito compiuto un dettagliato rilievo del fabbricato, onde predisporre un piano di ristrutturazione che comprese, fra le altre cose, modifiche allo scalone (fig. 12.4) e all'odierna Sala del Consiglio (fig. 12.6). L'edificio, se si escludono poche sale di buona capienza e decorosamente ornate, era costituito da un gran numero di vani in gran parte ricavati nei vecchi stabili situati ed est della struttura cinquecentesca. A fronte di un corpo di fabbrica con caratteristiche tali da renderlo idoneo alle nuove destinazioni d'uso erano presenti altri 4 corpi con distribuzione interna che mal si presta a tale utilizzo. Nel progetto venne cercato di conseguire tutta la possibile utilizzazione dei locali e dello spazio disponibile, in relazione alla loro attitudine all'adattamento, distribuzione interessò l'edificio negli anni '60 con lo scopo di trasformare l'adiacente "Palazzina" (corrispondente alle ex

scuderie di casa Lamberti) in estensione del Palazzo stesso. Nel 1992 i sotterranei furono oggetto di risanamento per ospitare la prima centrale informatica della provincia. Nel 1994-96 sono state ristrutturate le facce monumentali su via Zamboni e su piazza Rossini, fermandone il degrado conseguente all'azione di agenti atmosferici e consolidando l'intera superficie decorativa, a seguire è stato effettuato il risanamento delle facciate interne (Capobianchi, 2010).

## 12.2 Scopi

L'indagine è tesa all'analisi della risposta del manufatto al caricamento, e quindi ad una stima generale delle condizioni attuali in cui questo si trova, mediante le seguenti operazioni:

- misura della freccia in mezzeria con sensori micro-epsilon laser e suo confronto con i risultati attesi stimati mediante calcolo semplificato;

- misura della deformazione in mezzeria con sensore a corda vibrante e confronto con i risultati ottenuti con i calcoli di cui sopra;

- stima del modulo elastico della trave medesima e suo confronto con i valori presenti nella letteratura scientifica;

- controllo della stabilità di uno degli appoggi della trave, sulle cui condizioni non si è certi, e monitoraggio dei movimenti eventualmente innescabili durante il caricamento utilizzando comparatori centesimali.

# 12.3 Strumentazione utilizzata

Al fine dell'esecuzione delle misure richieste dalla prova è stata impiegata la seguente strumentazione:

- n. 1 sensore a corda vibrante mod. VSM-400 con campo di misura di 3000 microeps connesso ad una centralina digitale monocanale per la lettura di strumenti a corda vibrante. Il sensore è visibile in fig. 12.7,

- n. 2 sensori micro-epsilon laser optoNCDT 1401-10 con campo di misura di 10 mm e risoluzione nominale  $10^{-6}$  m connessi a personal computer. Uno di tali sensori è visibile in fig. 12.8,

- n. 6 comparatori centesimali dei quali i tre più prossimi alla trave oggetto di prova sono visibili in fig. 12.9.



Figura 12.7: corda vibrante utilizzata per la prova.





*Figura* 12.8: laser utilizzato nella prova.

sensori micro-epsilon Figura 12.9: comparatori centesimali utilizzati nella prova.

#### 12.4 Procedura preparatoria

Sono resi necessari, propedeuticamente alla prova:

1- più ispezioni visuali (fig. 12.10-12.16),

2- un rilievo geometrico (fig. 12.17-12.21),

3- un calcolo approssimato delle tensioni e delle deformazioni attese per stimare, in via approssimativa, i valori massimi a cui spingere il caricamento senza rischiare di compromettere l'integrità del manufatto. I risultati ottenuti saranno inoltre utili in sede di esame dei risultati sperimentali quali valori di confronto.

# 1- Ispezione visuale

L'oggetto della prova è una trave lignea storica sita nel sottotetto di Palazzo Malvezzi. Essendo il Palazzo suddetto un caso di studio del progetto europeo SMooHS ed essendo la prova svolta nell'ambito di tale progetto la scelta è rivolta a indagare un elemento di questo fabbricato; ulteriore elemento a favore della scelta è la facile raggiungibilità della trave con la strumentazione necessaria essendo il sottotetto collegato al piano inferiore per mezzo di una scala a chiocciola.

La trave 300, di lunghezza pari a quasi 4 m, presenta due appoggi costituiti da elementi lignei uno dei quali (elemento 104 visibile in fig. 12.11) è infisso in un muro, l'altro (elemento 106 visibile in fig. 12.12) è appoggiato su un monaco (elemento 2b) di una capriata a doppio monaco. Sulla trave sono appoggiati 5 travetti atti a sostenere il tavolato e il manto di copertura. In corrispondenza dell'appoggio dei travetti dal lato della gronda alcune porzioni di trave sono mancanti: questo comporta una riduzione della sezione significativa ma le conseguenze di tale aspetto sulla resistenza del manufatto sono difficilmente
quantificabili. Porzioni di materiale sono mancanti specularmente dal lato opposto della trave in prossimità dell'angolo inferiore.

La trave presenta una sezione rettangolare (circa 26x20 cm) poco regolare; la scarsità di regolarità è una caratteristica propria di tutti gli elementi lignei presenti e dovuta alla lavorazione manuale.



Figura 12.10: la trave oggetto di prova vista dal lato più prossimo al colmo della copertura.





Figura 12.11: appoggio della trave al Figura 12.12: appoggio della trave muro. sulla capriata.



Figura 12.13: appoggio dei travetti Figura 12.14: appoggio dei travetti sulla trave 300 visto dal lato del colmo sulla trave visto dal lato gronda. della copertura.







mensola 106.

Figura 12.15: muro su cui appoggia la Figura 12.16: vista del sottotetto di Palazzo Malvezzi.

#### 2- Rilievo geometrico

Constatata l'insufficienza delle misure disponibili alla pianificazione della prova è stato eseguito un rilievo geometrico della zona d'interesse eseguita con un semplice metro avvolgibile. Le misure rilevate, per via della lavorazione manuale di molti elementi e della scarsa precisione di messa in opera, sono affette da incertezze e di questo si dovrà tenere conto nei calcoli. Sono innanzitutto riportate nelle fig. 12.11-12.12 la collocazione della trave nel sottotetto e la conformazione di una delle capriate.

Segue il complesso delle misure rilevate riportate nelle fig. 12.17-12.21.



Figura 12.17: porzione di pianta del sottotetto di Palazzo Malvezzi con indicazione della trave da sottoporre alla prova (modificato da Capobianchi, 2009).



Figura 12.18: stralcio della sezione F-F' ove è visibile il sottotetto dell'edificio e il secondo piano (Capobianchi, 2009).



Figura 12.19: rilievo geometrico della trave 300 oggetto di prova (vista dal lato del colmo).



Figura 12.20: rilievo geometrico della trave (vista dal lato gronda), dettagli delle due mensole 104 e 106 e sezioni della trave 300 rilevate in prossimità delle testate.



### <u>3- Calcoli preliminari</u>

Segue una stima delle tensioni e delle deformazioni attese nel manufatto: gli impedimenti ad una solida conoscenza delle tensioni massime sopportabili dall'elemento, quali l'ignoranza circa la specie legnosa costituente la trave (che si suppone castagno o quercia), oltre agli effetti che fattori connessi alla prolungata permanenza in opera possono avere avuto sulla resistenza del materiale, suggeriscono cautela nell'utilizzo dei risultati. Il caricamento andrà comunque eseguito per incrementi graduali per valutare in tempo reale lo svilupparsi di pericolosi fenomeni non lineari esterni al campo elastico ed eventualmente interrompere la prova.

Sono innanzitutto stimati i carichi permanenti ipotizzati gravanti sulla trave oggetto di prova.

Carichi permanenti gravanti sui travetti

- coppi/tegole	$400 \text{ N/m}^2$	
- ondulina	$100 \text{ N/m}^2$	
- assito (non rilevabile - assunto	h=3  cm 8000 N/m <sup>3</sup> · 0,03 m =240 N/m	3
	Totale 740 N/m <sup>2</sup>	

Carichi permanenti trasmessi alla trave oggetto di prova dai travetti

Si stima che la striscia di copertura che si scarica sui travetti sia circa 1,60 m (metodo delle aree di influenza). Il peso per metro lineare di tale striscia larga 1,60 m è: 740  $N/m^2 \cdot 1,60$  m = 1184 N/m

Carico trasmesso alla trave dal travetto I

- Carico permanente sul travetto 1184 N/m $\cdot$ 0,75 m =	= 888 N
------------------------------------------------------------	---------

- Peso proprio travetto	0,13 m $\cdot$ 0,175 m $\cdot$ 1,60 m $\cdot$ 8000 N/m <sup>3</sup> =291 N
	<u>Totale 1179 N</u>

Carico trasmesso alla trave dal travetto II

- Carico permanente sul travetto	1184 N/m $\cdot$ 0,75 m = 888 N
- Peso proprio travetto	$0,125 \text{ m} \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 1,60 \text{ m} \cdot 8000 \text{ N/m}^3=240 \text{ N}$

Carico trasmesso alla trave dal tr	avetto III
- Carico permanente sul travetto	1184 N/m $\cdot$ 0,73 m = 864 N
- Peso proprio travetto	$0,10 \text{ m} \cdot 0,16 \text{ m} \cdot 1,60 \text{ m} \cdot 8000 \text{ N/m}^3=205 \text{ N}$
	<u>Totale 1069 N</u>

#### Carico trasmesso alla trave dal travetto IV

- Carico permanente sul travetto 1184 N/m  $\cdot$  0,70 m = 829 N
- Peso proprio travetto 0,125 m  $\cdot$  0,12 m  $\cdot$  1,60 m  $\cdot$  8000 N/m<sup>3</sup>=192 N Totale 1021 N

Carico trasmesso alla trave dal travetto V

- Carico permanente sul travetto 1184 N/m  $\cdot$  0,65 m = 770 N

- Peso proprio travetto  $0,10 \text{ m} \cdot 0,16 \text{ m} \cdot 1,60 \text{ m} \cdot 8000 \text{ N/m}^3 = 205 \text{ N}$ 

Peso proprio della trave oggetto di prova

A favore di sicurezza si assume una sezione pari a 20x26,5 cm (ossia i valori massimi fra le sezioni misurate) e una lunghezza pari a 3,87 m. Si ottiene: 0,20 m  $\cdot$  0,265 m  $\cdot$  3,87 m  $\cdot$  8000 N/m<sup>3</sup> = 1641 N

Per snellire il calcolo, senza tuttavia inficiarne significativamente la precisione, si è scelto di approssimare tutti i carichi permanenti con un unico carico uniformemente distribuito su tutta la lunghezza della trave. Tale carico è pari a:

(1179 + 1128 + 1069 + 1021 + 1641) / 3,87 = 1812 N/m

Gli elementi necessari per eseguire il calcolo di tensioni e deformazioni in modo semplificato sono essenzialmente quattro ossia la luce della trave, il modulo elastico, e la sezione resistente della stessa oltre agli incrementi di carico. Sono stati quindi misurati o ipotizzati alcuni valori sulla base delle seguenti motivazioni:

- un calcolo accurato richiederebbe una determinazione della luce accurata, non essendo nota la rigidezza degli elementi lignei 104 e 106, sui quali la trave poggia direttamente, che potrebbero avere una rigidezza relativa trascurabile rispetto a quella della trave oppure comportarsi come veri e propri appoggi. È stato eseguito il calcolo, operando in modo approssimato, con una luce di 3,00 m, ossia un valore leggermente maggiore della porzione di trave che non appoggia sugli elementi 104 e 106. La trave appoggia infatti sugli elementi suddetti solo per una porzione della loro lunghezza e la luce libera è stata misurata pari a 2,85 m. La scelta del valore di 3,00 m, leggermente a favore di sicurezza, ha inoltre il pregio di rendere confrontabili i valori del calcolo semplificato con i valori sperimentali per motivi che diverranno chiari in seguito.

- la sezione della trave varia sensibilmente da punto a punto. Inoltre la sezione è ridotta in maniera rilevante in corrispondenza degli appoggi dei travetti (e,

specularmente, anche dal lato opposto della sezione della trave). È stata qui assunta una sezione rettangolare pari a 26x19 cm (ossia ai valori minori fra quelli misurati ad ascisse diverse durante il rilievo) e sono state trascurate le suddette porzioni mancanti;

- il modulo elastico non è facilmente deducibile dalla letteratura scientifica. Si è quindi usato un intervallo di valori presente nell'appendice A della UNI 11119. Non essendo per ovvi motivi individuabile una classe di servizio ben definita, come sarebbe previsto dalla norma, si sono usati i valori estremi proposti per le due specie lignee ipotizzate per la trave (castagno o quercia) fra tutte e tre le classi previste ossia 8000-13500 MPa. È necessario tenere conto che i valori proposti dalla norma sono pensati per essere utilizzati per il metodo delle tensioni ammissibili e sono quindi un frattile minore della media. Questo, ai fini di pianificazione della prova, dovrebbe garantire un significativo fattore di sicurezza; - gli incrementi di carico sono vincolati dal peso delle piastre metalliche che si intende usare per la prova (25 kg circa cadauna). Essendo necessarie, per motivi di simmetria, due piastre per incremento sono stati considerati incrementi di carico pari a 50 kg. Essendo inizialmente necessario assicurare alla trave i supporti su cui porre le piastre si deve però tenere conto di un peso complessivo supplementare relativo ai due piatti pari a 74 kg.

Il calcolo di tensioni e deformazioni è stato ripetuto dapprima con i valori dei soli carichi permanenti più i piatti di carico poi per ogni incremento di carico ipotizzato per la prova. Per ogni situazione sono state calcolate:

- le tensioni in mezzeria stimate come  $\sigma = M/W$ ;

- la freccia in mezzeria stimata come somma degli effetti prodotti da due carichi concentrati come quello rappresentato in fig. 12.22.

A titolo esemplificativo, per il caso con il solo carico relativo ai piatti, il momento in mezzeria è pari a:

M = Pa +  $(ql^2)/8 = 363 \cdot 1,12 + (1812 \cdot 3,00^2)/8 = 407 + 2038 = 2445$  Nm Le tensioni in mezzeria sono ottenibili come:

 $\sigma = M/W = 2445000/1564333 = 1,56 \ N/mm^2$ 

La freccia in mezzeria risultante ipotizzato un modulo elastico pari a 8000 MPa è invece pari a:

$$f = \frac{2Pa(3l^2 - 4a^2)}{48EJ} = \frac{2 \cdot 726 \cdot 112(3 \cdot 3000^2 - 4 \cdot 1120^2)}{48 \cdot 8000 \cdot 148611667} = 1,92 \, mm$$

La freccia ipotizzando un modulo elastico di 13500 MPa è ottenibile analogamente.

I principali risultati del calcolo sono di riportati in tab. 12.1.



$$f = \frac{Pa(3l^2 - 4a^2)}{48EJ}$$

dove si è assunto:

a = 1,12 m

l = 3,00 m

Figura 12.22: schema di carico per calcolo della freccia. Si è considerato applicabile il principio di sovrapposizione degli effetti onde computare gli effetti prodotti dalle due forze presenti.

E = 8000-13500 MPa $J = (26 \cdot 19)^3 / 12 = 14861 \text{ cm}^4$ 

Tahella	121.	nrincinali	risultati del	calcolo	semplificato	propedeutico alla	nrova
I abciia		principair	isminuti aci	curcoro	semplificato	propenenties and	prova.

	CAR	RICHI	Mo	MENT	) IN	Те	TENSIONI IN			FRECCIA IN MEZZERIA					
			М	EZZER	IA	М	MEZZERIA E=800			8000 M	000 MPa E=			13500 MPa	
n. piastre utilizzate	< Piastre (*)	Permanenti W/W	Piastre	Permanenti	Totale	Piastre	Dermanenti N/mm <sup>2</sup>	Totale N/mm <sup>2</sup>	Biastre	m menti	ww Totale	m Piastre	Ermanenti	Totale	
0	726	1812	406	2039	2445	0,26	1,30	1,56	0,31	1,61	1,92	0,19	0,95	1,14	
2	1216	1812	681	2039	2719	0,44	1,30	1,74	0,52	1,61	2,13	0,31	0,95	1,26	
4	1706	1812	956	2039	2994	0,61	1,30	1,91	0,74	1,61	2,34	0,44	0,95	1,39	
6	2197	1812	1230	2039	3269	0,79	1,30	2,09	0,95	1,61	2,56	0,56	0,95	1,51	
8	2687	1812	1505	2039	3543	0,96	1,30	2,27	1,16	1,61	2,77	0,69	0,95	1,64	
10	3177	1812	1779	2039	3818	1,14	1,30	2,44	1,37	1,61	2,98	0,81	0,95	1,76	
12	3668	1812	2054	2039	4092	1,31	1,30	2,62	1,58	1,61	3,19	0,94	0,95	1,89	
14	4158	1812	2328	2039	4367	1,49	1,30	2,79	1,79	1,61	3,40	1,06	0,95	2,02	
16	4648	1812	2603	2039	4642	1,66	1,30	2,97	2,01	1,61	3,61	1,19	0,95	2,14	
18	5139	1812	2878	2039	4916	1,84	1,30	3,14	2,22	1,61	3,82	1,31	0,95	2,27	
20	5629	1812	3152	2039	5191	2,02	1,30	3,32	2,43	1,61	4,04	1,44	0,95	2,39	
22	6119	1812	3427	2039	5465	2,19	1,30	3,49	2,64	1,61	4,25	1,56	0,95	2,52	
(*) a consi	d ogn derare	ii incr e i piat	ement ti di ca	o è s arico.	tato a	pplica	ito un	caric	co sup	pleme	entare	di 72	26 N	onde	

Il valore massimo delle tensioni in mezzeria che si suppongono svilupparsi con 22 piastre (totali per carichi permanenti e carichi relativi alla prova) è stato ritenuto adeguato alle esigenze di sicurezza e di preservazione dell'integrità del manufatto; si pianifica quindi l'esecuzione della prova con un carico approssimativo di questa entità.

# 12.5 Allestimento della prova

Terminate le operazioni propedeutiche è stata allestita la strumentazione di prova. Sono stati innanzitutto assicurati alla trave, specularmente rispetto alla mezzeria utilizzata nel calcolo e posta a 185 cm circa dall'estremo di destra (guardando dal lato colmo), ed alla distanza di 38 cm dalla stessa, i due supporti metallici su cui sarebbero state collocate le piastre necessarie alla prova. La presenza degli appoggi dei travetti e delle biette in legno frapposte fra la trave oggetto di prova e i travetti pone, di fatto, vincoli sulla configurazione di carico: questo ha portato ad una configurazione con i carichi inusualmente vicini alla mezzeria. I supporti di cui sopra, come già accennato pesanti 37 kg cadauno, sono costituiti da due lastre metalliche con avvitate due barre filettate e fissati, nella parte superiore, ad un ulteriore elemento metallico orizzontale a sua volta appeso per mezzo di cinghie alla trave.

Un problema presentatosi in sede di progettazione della prova è la mancanza di punti considerabili fissi rispetto ai quali eseguire le misure della freccia, muovendosi percettibilmente l'assito costituente il piano di calpestio al semplice passaggio degli operatori. Quindi sono stati fissati due tasselli per ognuna delle facce laterali della trave alla distanza di 1,50 m dalla mezzeria che hanno costituito gli appoggi per sbarre metalliche al cui punto centrale è stato fissato un sensore micro-epsilon laser, in prossimità del punto della trave ove si intende misurare l'abbassamento. Sono poi stati assicurati piccoli angolari metallici alla trave in corrispondenza dello strumento in modo che possano fungere da punto di misura per lo strumento: la misura della freccia sarà quindi data dalla distanza relativa degli strumenti e degli angolari suddetti. Si avranno dunque i valori della freccia in mezzeria rispetto alla posizione dell'asta metallica di riferimento (considerata fissa); non è stato dunque valutato ogni abbassamento del resto della struttura.

La configurazione della trave oggetto di prova è illustrata nelle fig. 12.23-12.25.

Si è ritenuto necessario, per salvaguardare l'integrità del manufatto, monitorare eventuali spostamenti della mensola "106" durante la prova: a tale scopo sono stati

impiegati 6 comparatori centesimali. Anche in questo caso mancando punti fissi rispetto ai quali eseguire le misure è stata montata una struttura di supporto costituita da tre profilati metallici fissata in prossimità della base del monaco "2b": le misure non rileveranno quindi eventuali spostamenti del monaco "2b" ma solo quelli dell'elemento "106" rispetto al precedente.

I comparatori sono stati disposti a rilevare gli spostamenti lungo tre assi ortogonali per ognuno dei lati della mensola monitorata. Più precisamente sono state eseguite le seguenti misure (si veda anche la fig. 12.26):

- due misure lungo un asse orizzontale parallelo alla trave oggetto di prova (asse x successivamente) posizionando i comparatori lateralmente rispetto alla mensola da monitorare. Si potranno quindi cogliere eventuali traslazioni dell'elemento "106" verso la trave caricata;

- due misure lungo un asse verticale (asse y successivamente) posizionando i comparatori sotto all'elemento 106. Si potranno quindi cogliere eventuali rotazioni dell'elemento verso la trave oggetto della prova;

- due misure lungo un asse orizzontale perpendicolare alla trave oggetto di prova (asse z successivamente). Si potranno quindi cogliere eventuali rotazioni attorno ad un'asse verticale dell'elemento monitorato.

Per quanto riguarda le ultime due coppie di comparatori sono stati frapposti, fra lo strumento e la superficie dell'elemento monitorato, dei vetrini incollati alla trave stessa, per far sì che la scabrezza del legno non infici la precisione delle misure; per quanto riguarda invece la prima coppia di strumenti sono stati fissati piccoli angolari in metallo all'elemento "106" e questi fungono da superficie di riscontro su cui eseguire le misure. L'altro appoggio della trave oggetto di prova la mensola 104, costituito da un elemento ligneo analogo a "106" a sua volta infisso in un muro, non desta preoccupazioni e non è stato quindi monitorato.

Sono infine state effettuate, oltre alle misure connesse con la prova di carico vera e propria, le seguenti indagini non distruttive, qui però non discusse nel dettaglio (le posizioni di misura di tutte le prove sono riportate in fig. 12.23):

misure di velocità degli ultrasuoni con trasmittente e ricevente posti ambedue all'estradosso della trave con inclinazione di 30° rispetto all'orizzontale (fig. 12.27). Tale misura viene eseguita per risalire al modulo elastico ed alla resistenza della trave;

misurazioni dell'umidità relativa della trave e delle mensole 104 e 106 (fig. 12.28), eseguite prima della prova di carico, per un totale di cinque punti di misura
misure mediante sensori di emissione acustica (fig. 12.29) posti all'intradosso della trave in prossimità della mezzeria;



Figura 12.23: schema della strumentazione utilizzata e della posizione di esecuzione delle prove non distruttive.



Figura 12.24: vista della trave strumentata prima della prova.



Figura 12.25: dettaglio della mezzeria all'intradosso della trave con la strumentazione necessaria alla misura di freccia e deformazione. Sono visibili la corda vibrante, i sensori di emissione acustica all'intradosso e sensori microepsilon laser sulle facce laterali.



Figura 12.26: vista dei 6 comparatori centesimali posti a monitorare l'elemento 106. Sono indicati gli assi su cui sono effettuate le misure.



Figura 12.27: fase di esecuzione delle misure ultrasoniche.



Figura 12.28: fase di esecuzione delle misure dell'umidità relativa.



Figura 12.29: sensore di emissione acustica posto all'intradosso della trave in prossimità della corda vibrante.

## 12.6 Acquisizione dati

La storia di carico, perfezionata solo al momento della prova valutando in tempo reale la risposta del manufatto, è schematizzabile come quattro cicli di carico-scarico caratterizzati dall'impiego rispettivamente di 4, 8, 12 e 22 piastre da 25 kg ognuna.

L'acquisizione dei dati, eseguita dopo la posa di due piastre in fase di caricamento e ad intervalli scelti di volta in volta in fase di scaricamento, ha previsto, per ogni passo, le seguenti misure:

- le frecce in mezzeria misurate ai due lati opposti della sezione della trave (lato rivolto verso il colmo e lato rivolto verso la gronda) con i sensori micro-epsilon laser di spostamento. È stato considerato quale unico valore della freccia la media delle due misure;

- la misura dalla deformazione in mezzeria alla trave, all'intradosso;

- le letture dei 6 comparatori per il monitoraggio dell'elemento "106";

I principali risultati dell'indagine per ognuno dei passi di carico sono riportati in tab. 12.2.

				FRECCIA			E	LETTURE COMPARATORI (*)					
ОАТА	ORA	NUMERO PIASTRE	CARICO A APPLICATO	LATO GRONDA	a Lato J colmo	MEDIA	» DEFORMAZION	<b>X</b> a mm	ya ya	r Z <sup>a</sup> mm	Ab Xb	q M mm	q <b>z</b>
	14:00	0	74	0.00	0.00	0.00	0.000	0,00	0.00	0,00	0.00	0,00	0,00
	14:15	2	124	0,08	0,09	0,09	0,001	0,00	0,03	0,02	0,01	-0,02	0,00
	14:30	4	174	0,18	0,19	0,19	0,002	-0,01	0,05	0,02	0,01	-0,02	-0,01
	14:35	0	74	0,01	0,02	0,01	0,000	-0,01	0,02	0,02	0,01	-0,02	0,00
	14:41	6	224	0,27	0,28	0,28	0,003	-0,01	0,10	0,01	0,01	-0,02	-0,01
	14:44	8	274	0,36	0,38	0,37	0,004	-0,01	0,12	0,01	0,01	-0,02	-0,02
28	14:55	0	74	0,01	0,03	0,02	0,001	-0,01	0,02	0,01	0,02	-0,02	0,00
20	15:00	4	174	0,18	0,21	0,20	0,002	-0,01	0,06	0,00	0,02	-0,03	-0,01
marzo	15:05	8	274	0,36	0,39	0,38	0,004	-0,01	0,13	0,00	0,02	-0,03	-0,02
2011	15:08	10	324	0,47	0,51	0,49	0,005	-0,01	0,17	-0,01	0,02	-0,03	-0,03
	15:13	12	374	0,57	0,60	0,59	0,006	-0,01	0,21	-0,01	0,03	-0,03	-0,03
	15:19	6	224	0,32	0,35	0,34	0,004	-0,01	0,17	0,00	0,03	-0,03	-0,02
	15:20	0	74	0,03	0,05	0,04	0,001	-0,02	0,04	0,00	0,03	-0,03	0,00
	15:26	6	224	0,27	0,31	0,29	0,003	-0,02	0,10	0,00	0,02	-0,03	-0,02
	15:30	12	374	0,56	0,60	0,58	0,006	-0,02	0,21	0,00	0,02	-0,03	-0,03
	15:50	12	374	0,58	0,64	0,61	0,007	-0,02	0,24	0,00	0,04	-0,03	-0,03
	15:52	14	424	0,69	0,72	0,71	0,008	-0,02	0,25	0,01	0,04	-0,03	-0,03

Tabella 12.2: principali risultati della prova di carico.

				F	RECCL	A	E	Letture Comparatori (*)					
TA	ŁA	JMERO PIASTRE	CARICO APPLICATO	LATO GRONDA	LATO COLMO	MEDIA	DEFORMAZION	Xa	Уa	$\mathbf{Z}_{\mathbf{a}}$	Хb	Уb	Zb
DA	40	N	kg	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm	mm	mm	mm
	15:56	16	474	0,82	0,85	0,84	0,009	-0,02	0,30	0,01	0,04	-0,03	-0,03
	16:00	18	524	0,93	0,97	0,95	0,010	-0,02	0,34	0,01	0,04	-0,03	-0,04
	16:15	18	524	0,95	0,99	0,97	0,010	-0,03	0,35	0,01	0,06	-0,03	-0,04
	16:27	20	574	1,07	1,11	1,09	0,011	-0,03	0,39	0,00	0,06	-0,03	-0,04
	16:34	22	624	1,20	1,21	1,21	0,012	-0,03	0,44	0,00	0,06	-0,04	-0,04
	16:40	22	624	1,20	1,22	1,21	0,012	-0,03	0,44	0,00	0,06	-0,03	-0,04
	16:45	16	474	0,91	0,94	0,93	0,009	-0,03	0,39	0,03	0,07	-0,03	-0,02
	16:46	14	424	0,82	0,83	0,83	0,008	-0,03	0,34	0,03	0,07	-0,03	-0,02
	16:49	12	374	0,70	0,73	0,72	0,007	-0,03	0,30	0,03	0,06	-0,03	-0,01
	08:44	12	374	0,79	0,71	0,75	0,013	-0,03	0,29	0,07	0,05	-0,03	-0,03
29	09:00	8	274	0,56	0,50	0,53	0,010	-0,03	0,20	0,08	0,04	-0,03	-0,04
marzo	09:05	4	174	0,37	0,29	0,33	0,008	-0,03	0,11	0,08	0,03	-0,03	-0,03
0011	09:12	0	74	0,16	0,09	0,13	0,006	-0,03	0,04	0,08	0,02	-0,03	-0,02
2011	09:30	0	74	0,14	0,07	0,11	0,005	-0,03	0,01	0,06	0,01	-0,03	-0,02
	09:45	0	74	0,13	0,07	0,10	0,006	-0,03	0,01	0,06	0,01	-0,03	-0,02
(*) gli assi x, y e z identificano le letture nella direzione del relativo asse (vedasi fig.													
12.20) mentre i pedici indicano il lato dell'elemento "106" cui sono posti i comparatori													
essena	lo "a"	le mis	ure es	eguite	con i i	tre con	nparate	ori pos	ti dal l	lato de	ll'elen	iento '	'106"
più vic	cino all	a trave	e "300	", "b'	' le alti	re.							

I risultati delle prove non distruttive eseguite di cui si è accennato non sono attualmente disponibili, ad eccezione dei risultati del test per la misurazione dell'umidità relativa, riportati in tab. 12.3.

	PUNTO DI MISURA							
NUMERAZIONE	Elemento testato	[%]						
COME DA FIG.								
12.23								
9a	Mensola 104	14,5						
9b	Trave 300 (lato mensola 104)	16,9						
9c	Trave 300 (mezzeria)	19,0						
9d	Trave 300 (lato mensola 106)	17,8						
9e	Mensola 106	16,8						

Tabella 12.3: risultati del test per la misura dell'umidità della trave 300 e delle mensole 104 e 106.

## 12.7 Visualizzazione dei dati ed analisi dei risultati

Premesso che tanto il caricamento quanto le misure sono state eseguite ad istanti temporali ben definiti (non in continuo) è stato riportato in fig. 12.30 l'andamento approssimativo del carico applicato in funzione del tempo trascorso dall'inizio

della prova (costruito unendo i punti relativi ai valori misurati) onde fornire un'immagine qualitativa dei cicli di carico in termini di carichi massimi e durata delle fasi di carico e di scarico. Si ricorda che la prova è stata articolata su due giorni e questo spiega il lungo periodo trascorso senza che sia stato modificato il carico.

Volendo avere, a livello qualitativo, un'idea della risposta del manufatto sono stati sovrapposti al grafico precedente i valori della freccia misurati in mezzeria (fig. 12.31).



Figura 12.30: andamento dei carichi nel tempo.







Per facilitare la lettura si riporta la prima parte del grafico relativa alla sola parte della prova eseguita in data 23-03-2011 (fig. 12.32).

Figura 12.32: andamento nel tempo dei carichi e delle frecce in mezzeria limitatamente ai dati acquisiti durante la prima giornata.

È evidente come, oltre al valore del carico applicato, il tempo di permanenza dello stesso rivesta un ruolo modesto ma chiaramente rilevabile, non solo per il lungo periodo di giacenza del carico fra la prima giornata di prova e la seconda ma anche per tempi molto minori, come si può vedere da alcune misure eseguite, a carico costante, durante il quarto ciclo. Lo stesso fenomeno è riscontrabile anche all'atto della rimozione del carico, come si può notare alla fine della prova (fig. 12.31); questo porta a pensare che almeno una parte dei residui di freccia che sono stati misurati fra una fase e l'altra siano imputabili all'insufficiente tempo concesso alla trave per recuperare l'abbassamento più che a veri e propri fenomeni di plasticizzazione.

Avendo misurato due valori di freccia ai due lati della sezione della trave sono disponibili due valori di abbassamento per ogni step. Si riportano i risultati dapprima dei due lati separatamente (fig. 12.33) poi il valore medio (fig. 12.34).



Figura 12.33: valori di freccia misurati in mezzeria alla trave.



Figura 12.34: valore medio della freccia in mezzeria in funzione del carico applicato.

Si evidenzia come l'andamento dei valori sia simile solo qualitativamente; il fenomeno si può probabilmente imputare alla mancanza di simmetria del sistema

dovuta sia alle porzioni di trave mancanti nei punti di appoggio dei travetti sia alla sezione stessa della trave non perfettamente simmetrica e variabile lungo l'ascissa della trave.

Ad una prima analisi si osserva come per i primi tre cicli non si abbiano variazioni di rigidezza apprezzabili; per il quarto invece sembra visibile un, seppur modesto, decremento. Come già accennato sono presenti, seppur non apprezzabili dal grafico a causa della scala dello stesso, frecce residue misurate allo scarico dopo ogni ciclo; analogamente sono state misurate  $\varepsilon$  residue in mezzeria all'intradosso con la corda vibrante. Segue qualche osservazione supplementare sui residui sia delle frecce (fig. 12.35) sia delle  $\varepsilon$  (fig. 12.36) dopo i 4 cicli di carico.



Figura 12.35: residui delle misure della freccia in mezzeria dopo i 4 cicli di carico (valori rispetto all'inizio della prova).



Figura 12.36: residui delle misure della deformazione in mezzeria dopo i 4 cicli di carico.

Si nota, mediante un'osservazione anche solo sommaria, come i residui non siano proporzionali al carico massimo applicato, ma molto più alti dopo il 4° ciclo; questo è valido, qualitativamente, tanto per le misure della freccia quanto per quelle della deformazione. Quanto esposto, oltre al decremento della pendenza della spezzata nel grafico carico-freccia, rinforza l'ipotesi che durante il quarto ciclo l'elemento si sia allontanato da un comportamento elastico - lineare molto più che nei cicli precedenti.

Per analizzare con più attenzione la linearità del comportamento del manufatto sono stati costruiti grafici sfruttando indipendentemente le misure di freccia e quelle delle deformazioni:

- con i valori di freccia medi misurati dai due sensori micro-epsilon laser sono stati costruiti i grafici carico-spostamento dei quattro rami di carico avendo cura di depurare i valori di ogni ramo di carico dai residui lasciati dai cicli precedenti in modo che a carico zero per ogni ciclo corrisponda spostamento zero (fig. 12.37);

- operazione analoga è stata condotta con i valori di deformazione misurati con la corda vibrante costruendo quindi il grafico tensioni-deformazioni. Le tensioni utilizzate sono quelle ottenute con il calcolo semplificato depurate dal contributo dei carichi permanenti (fig. 12.38).

Sono state quindi individuate le rette interpolanti (con imposta intercetta all'origine) e, dal coefficiente di correlazione (tab. 12.4 e fig. 12.39), si intende quantificare l'eventuale entità di fenomeni non lineari.



*Figura 12.37: andamento carico-freccia in mezzeria per i quattro rami di carico e rette interpolanti.* 



Figura 12.38: and amento  $\sigma$ - $\varepsilon$  per i quattro rami di carico e rette interpolanti.

Tabella 12.4: coefficienti di correlazione per le rette interpolanti i valori di ogni ciclo (per i quattro cicli di carico - sole fasi di caricamento).

Ciclo	N. DI PIASTRE MASSIMO	DURATA FASE DI CARICAMENTO minuti	COEFFICIENTE DI Carico - spostamento	CORRELAZIONE R Tensione - deformazione
1	4	30	0,9986	0,9994
2	8	14	0,9998	0,9992
3	12	18	0,9988	0,9991
4	22	80	0,9925	0,9929



*Figura 12.39: coefficienti di correlazione delle rette interpolanti i punti relativi ai quattro cicli di carico.* 

Si evidenzia che i primi tre rami di carico non mostrano differenze di linearità rilevanti gli uni dagli altri mentre il quarto ciclo sembra meno lineare. Non è però chiaro se questo fenomeno, osservato con le misure di due strumenti diversi (freccia con i sensori micro-epsilon laser e deformazione con la corda vibrante) sia da imputarsi principalmente al più alto carico di picco o alla maggiore durata della fase di caricamento.

Dagli stessi grafici di fig. 12.37-12.38 è possibile calcolare un altro parametro interessante ossia il modulo elastico della trave. Questo è determinabile dalla pendenza delle rette nel caso del grafico tensione-deformazione (si rammenti la relazione  $\sigma = \varepsilon E$ ) mentre è facilmente deducibile dalla stessa formula impiegata per il calcolo delle frecce in mezzeria in sede di calcolo semplificato nel caso delle rette interpolanti i valori di carico e spostamento. Si otterrebbero così delle stime del modulo elastico, diverse per ogni ciclo, che tengono conto di tutte le misure eseguite nel ciclo in esame. Una differente possibilità di eseguire il calcolo, più penalizzante per i valori finali, è utilizzare i semplici valori di picco di  $\sigma$  o  $\varepsilon$ misurati ad ogni ciclo. I risultati sono riassunti in tab. 12.5.

CICLO	NUMERO	DURATA	Moduli	ELASTICI	MODULI ELAST	Moduli elastici desunti			
	DI	FASE DI	DESUNTI DALI	LE MISURE DI	DALLE MISU	RE DELLA			
	PIASTRE	CARICO	ε [Μ	[Pa]	FRECCIA	[MPa]			
	MASSIMO	minuti	Dalla	Dai	Dalla	Dai			
			pendenza	semplici	pendenza	semplici			
			delle rette	valori di	delle rette	valori di			
			interpolanti	picco	interpolanti	picco			
1	4	30	18276	18477	18577	18296			
2	8	14	20399	18477	19919	18296			
3	12	18	19903	17265	18241	17357			
4	22	80	18118	16090	16556	15385			
Media de	ei quattro cicli		19174	17577	18323	17333			

Tabella 12.5: valori di modulo elastico dedotti dalle misure effettuate.

La solidità dei risultati sembra garantita dal fatto che il calcolo è stato ripetuto con le misure di due strumenti diversi. Non è chiaro quanto le condizioni al contorno proprie dell'esperimento in esame, quali tutti gli altri elementi lignei presenti nei pressi della trave oggetto di prova, possano aver influito sulle misure, imponendo forse vincoli supplementari che rendono il caso in esame diverso dallo schema tipico previsto per una prova di flessione a 4 punti ossia una trave con due appoggi e due carichi concentrati. È stato quindi costruito il diagramma tensioni-deformazioni utilizzando unicamente i risultati sperimentali. È stata utilizzata la media dei valori del modulo elastico desunto per i quattro cicli dalla pendenza delle rette interpolanti del grafico carico-freccia quale valore del modulo elastico della trave. Tale valore viene considerato la migliore stima possibile del modulo elastico dal momento che sfrutta tutti i dati a disposizione. È stata quindi utilizzata la relazione  $\sigma = \varepsilon E$  per determinare le tensioni; i risultati ottenuti sono riportati tab. 12.6 ed in fig. 12.40. L'andamento è ovviamente rettilineo perché il valore di modulo elastico è stato assunto costante coerentemente con l'ipotesi che la trave resti in campo elastico lineare.

Si discutono poi le misure relative ai comparatori centesimali, e quindi alla stabilità dell'elemento "106" riportando tutti i valori misurati accompagnati dal carico presente in ogni momento (fig. 12.41).

DATA	ORA	CARICO	DEFORMAZIONE	TENSIONI
		Ν	%	N/mm <sup>2</sup>
	14:00	726	0,000	0,0
	14:15	1216	0,001	0,2
	14:30	1706	0,002	0,3
	14:35	726	0,000	0,1
	14:41	2197	0,003	0,5
	14:44	2687	0,004	0,7
	14:55	726	0,001	0,1
	15:00	1706	0,002	0,4
	15:05	2687	0,004	0,8
	15:08	3177	0,005	0,9
	15:13	3668	0,006	1,1
	15:19	2197	0,004	0,7
28 marzo 2011	15:20	726	0,001	0,2
	15:26	2197	0,003	0,6
	15:30	3668	0,006	1,1
	15:50	3668	0,007	1,2
	15:52	4158	0,008	1,4
	15:56	4648	0,009	1,6
	16:00	5139	0,010	1,8
	16:15	5139	0,010	1,8
	16:27	5629	0,011	2,0
	16:34	6119	0,012	2,2
	16:40	6119	0,012	2,2
	16:45	4648	0,009	1,7
	16:46	4158	0,008	1,5
	16:49	3668	0,007	1,4

Tabella 12.6: tensioni calcolate a partire dai valori sperimentali.

DATA	ORA	CARICO	DEFORMAZIONE	TENSIONI
		Ν	%	N/mm <sup>2</sup>
	08:44	3668	0,013	2,3
	09:00	2687	0,010	1,8
29 marzo 2011	09:05	1706	0,008	1,5
2) mai20 2011	09:12	726	0,006	1,1
	09:30	726	0,005	1,0
	09:45	726	0,006	1,0



Figura 12.40: grafico tensioni - deformazioni desunto dai dati sperimentali.





È immediato come gli spostamenti misurati da 5 comparatori su 6 non siano di entità degna di nota e non destino quindi preoccupazioni. Si ha però un abbassamento rilevante dell'elemento 106 dal lato della trave oggetto di prova (non accompagnato da un sollevamento dall'altro lato dell'elemento). L'entità del fenomeno è schematizzata in funzione del carico in fig. 12.42.



Figura 12.42: curva carico-spostamento relativa al comparatore preposto al monitoraggio dell'abbassamento dell'elemento "106" dal lato della trave oggetto di prova.

Si riporta infine, come mero elemento accessorio, un grafico di confronto delle frecce ottenute dal calcolo semplificato con le frecce medie misurate in mezzeria (fig. 12.43). Dal momento che le frecce desunte dal calcolo semplificato includevano il contributo dei carichi permanenti mentre lo zero sperimentale è posto in punto diverso (ossia la configurazione della trave subito prima di iniziare il caricamento) le curve ottenute con il calcolo semplificato sono state traslate in modo da far coincidere i due punti di zero. Si nota come, nel complesso, l'ordine

di grandezza degli spostamenti calcolati sia sostanzialmente corretto nonostante la semplificazione estrema del calcolo.



Figura 12.43: confronto dei valori di freccia misurati con quelli stimati mediante calcolo semplificato.

# 13 PALAZZO MALVEZZI: PROVA DI CARICO SU PORZIONE DI SOLAIO DELLA SALA OVALE

È stata eseguita, nei giorni 29-03-2011 e 01-04-2011, una prova di carico diretto su una porzione dell'orizzontamento di un locale sito in Palazzo Malvezzi (via Zamboni 13, Bologna). Il solaio interessato dalla prova (fig. 13.1-13.3) è caratterizzato dalla presenza di un foro ovale centrale che lo collega visivamente con il locale inferiore, quest'ultimo oggi adibito a Sala del Consiglio.



Figura 13.1: sala oggetto della prova.



Figura 13.2: sala sottostante quella oggetto di prova (Sala del Consiglio della Provincia di Bologna).

# 13.1 Scopi

L'obiettivo della prova di carico è un'analisi comparativa dei risultati ottenibili con diverse soluzioni tecnologiche volte al monitoraggio di una struttura durante il caricamento; verranno inoltre formulate alcune considerazioni sullo stato generale della struttura stessa basandosi sui dati raccolti.



Figura 13.3: pianta del terzo piano di Palazzo Malvezzi con indicazione della stanza ove è stata eseguita la prova (modificato da Capobianchi, 2009).

Il solaio oggetto di prova è caratterizzato da dimensioni totali 14,05x12,41 m e della presenza di un foro ovale al centro.

La storicità del manufatto e la conseguente esigenza di non danneggiarlo non consentono una dettagliata conoscenza delle dimensioni degli elementi portanti e del loro stato. È però noto che la struttura indagata è una volta, non un solaio controsoffittato come alcuni di quelli trattati al cap. 14: la struttura portante è quindi in muratura. Sussistono dubbi sulla bontà dello stato attuale in cui la struttura si trova, sorti a seguito di valori anomali di abbassamento, misurati con un sistema di monitoraggio permanente, rilevati in concomitanza con un momento in cui la stanza era stata utilizzata quale deposito per vari materiali e, quindi, con un elevato carico gravante sulla struttura. Sono inoltre presenti fenomeni fessurativi osservabili sulla struttura.

## 13.2 Strumentazione utilizzata

Al fine di ottenere una popolazione di risultati sufficiente ad un confronto significativo sono state ritenute necessarie numerose misure, qui suddivise in ragione del soggetto esecutore. I vari soggetti coinvolti si sono avvalsi ognuno di differenti sistemi di misura.

L'Università di Bologna, mediante la ditta 4 EMME Service S.p.A., ha eseguito misure di abbassamento, rispetto al solaio superiore, in tre punti (fig. 13.6) con aste telescopiche equipaggiate con trasduttori di spostamento (LVDT). Dette aste sono state appoggiate sul bordo del foro centrale della sala oggetto di prova.

Sono stati in particolare impiegati:

- trasduttori di spostamento di tipo LVDT (modello Schaevitz E 200 HQ) montati in sommità ad aste telescopiche (fig. 13.4-13.5 e 13.7-13.8).

- un'unità computerizzata di registrazione delle deformazioni (GS03 AD 24) visibile in fig. 13.5.

Le caratteristiche dei sensori utilizzati sono le seguenti:

- escursione 25,0 mm;
- sensibilità  $\pm$  0,002 mm;
- linearità 99,6%.

La catena di misura sensore - cavo - unità comporta, secondo la relazione 4454/BO dell'8 aprile 2011 fornita dalla 4 EMME, un errore massimo del  $\pm 1\%$ .





Figura 13.4: aste telescopiche posizionate nella sala oggetto di prova.

Figura 13.5: dettaglio di un'asta telescopica.



Figura 13.6: posizione delle aste telescopiche nella sala oggetto di prova (modificato da Scuro, 2010).



Figura 13.7: trasduttore di spostamento Figura 13.8: unità computerizzata di montato in sommità ad un'asta registrazione delle deformazioni. telescopica.

Per il secondo gruppo di misure, eseguite con un sistema di monitoraggio permanente Boviar, istallato nel 2004 da Provincia e Università, sono stati utilizzati trasduttori di spostamento fissati al soffitto con fili INVAR (fig. 13.9) e collegati ad un'unità centrale di acquisizione dati. È stata inoltre misurata la temperatura dell'aria, mediante un sensore PT100.

I sensori per la misura degli abbassamenti sono in particolare fissati lateralmente all'ultimo gradino di quattro delle otto scalinate presenti sul bordo del foro ovale. Sebbene il sistema completo consti di 4 sensori (fig. 13.10), il sensore numero 4 al momento della prova non era utilizzabile causa guasto consistente nel distacco del filo INVAR. I punti di misura disponibili sono stati quindi solo tre.

Le caratteristiche dei sensori sono le seguenti:

- spostamenti misurabili fra 0 e 100 mm;
- displacement trend di 0,025 mm;
- sensibilità di 0,25 mm.



Figura 13.9: sensore con filo INVAR fissato lateralmente a un gradino.



Figura 13.10: posizione dei sensori del sistema di monitoraggio permanente (modificato da Scuro, 2010).

TTI e Università di Stoccarda, partecipanti esteri al progetto SMooHS (terzo gruppo di misure), hanno istallato due sensori potenziometrici (fig. 13.11) collegati al soffitto superiore mediante i fili INVAR descritti in precedenza; in particolare sono stati utilizzati gli stessi fili cui sono collegati i sensori 6 e 7 del sistema di monitoraggio permanente (fig. 13.12). Detti sensori sono stati posizionati sull'ultimo gradino di due delle otto scale presenti sul foro ovale al centro della stanza e sono state quindi eseguite misure di abbassamento rispetto al solaio superiore. I sensori utilizzati sono in particolare dei Novotechnik TRS 75 con campo pari a 75 mm e accuratezza pari a 2  $\mu$ m.

Sono inoltre state eseguite misure di inclinazione, effettuate con un SEIKA SB2I N2 con una risoluzione di 0,002°, oltre a misure di temperatura e umidità relativa

dell'aria. Dette ultime misure sono state effettuate con tre sensori, posizionati uno in ognuno dei nodi utilizzati, Sensirion SHT15 caratterizzati da:

- relativamente alle misure di temperatura un campo di -40 $\div$  123,8°C, risoluzione di 0,01°C e accuratezza di ±0,3°C;

- relativamente alle misure di umidità un campo di  $0 \div 100\%$ , risoluzione dello 0,05% e accuratezza di ±2,0%.

È stato utilizzato, per la trasmissione dei dati, un sistema wireless "Smartmote", sviluppato nell'ambito del progetto europeo SMooHS.



Figura 13.11: sensore potenziometrico legato a filo INVAR e nodo per trasmissione wireless dei dati. Inclinometro SEIKA SB2I N2 visibile nell'angolo in alto a sinistra dell'immagine.



Figura 13.12: posizione dei sensori Smartmote nella sala oggetto di prova (modificato da Scuro, 2010).

La ditta Metamobile partecipante al progetto, ha eseguito ulteriori misure wireless di abbassamento, in questo caso rispetto al piano inferiore, unitamente a misure di inclinazione, di temperatura e umidità relativa dell'aria oltre che di temperatura superficiale (fig. 13.15).

Sono stati in particolare utilizzati un laser scanner e un'unità di acquisizione dati wireless detta "Smartbrick" (fig. 13.13).

Il laser scanner (fig. 13.14), modello LDM41 JENOPTIK laser optik systeme Gmbh, è stato rivolto verso il pavimento della stanza inferiore (sala del Consiglio della Provincia di Bologna). Esso presenta le seguenti caratteristiche:

- range di misure 0-100 m;
- accuratezza assoluta 1,5 mm;
- risoluzione 0,05 mm;
- ripetibilità 0,1.

Le misure di inclinazione, umidità relativa e temperatura dell'aria, oltre che temperatura superficiale, sono da intendersi riferite alla posizione dello Smartbrick, essendo i sensori collocati all'interno dello stesso. Le caratteristiche di tali sensori sono le seguenti:

il sensore di temperatura ha una risoluzione di 0,1°C e un'accuratezza assoluta di ± 1,8°C;

- il sensore per la misura dell'umidità relativa, un Sestosensor HiH 31100, è caratterizzato da campo 0-100% e accuratezza 1%;

- l'inclinometro, un Sestosensor SI2-02, è dotato di due assi strumentati (rollio e beccheggio) con risoluzione di 0,001° e deriva (-20 ÷ +80°C) di ±0,06°.





Figura 13.13: dettaglio dello Figura 13.14: laser scanner visibile Smartbrick. fissato al parapetto in muratura e Smartbrick appoggiato al gradino.



Figura 13.15: posizione dei sensori Smartbrick nella sala oggetto di prova (modificato da Scuro, 2010).

#### 13.3 Allestimento della prova

Il complesso dei sensori, ad eccezione di quelli adibiti da tempo al monitoraggio dell'edificio e quindi già presenti, è stato posizionato il giorno stesso dell'esecuzione della prova ed è schematizzato in fig. 13.16, ove è visibile anche l'area caricata. Un sunto dei sensori impiegati è riportato invece in tab. 13.1.

Come accennato le misure di abbassamento sono state prese rispetto alla posizione dell'orizzontamento superiore in tutti i casi ad eccezione delle misure con laser scanner, eseguite invece rispetto al solaio inferiore.

Il sensore 4, durante la prova, non era operativo causa guasto.



Figura 13.16: schema dei sensori presenti al momento della prova (modificato da Francesco, 2010).

I diversi sensori istallati hanno acquisito dati a intervalli temporali diversi inoltre alcuni sono stati mantenuti operativi durante l'intero periodo intercorso dall'inizio alla fine della prova, altri durante le sole fasi di carico e scarico effettive.

Sono di seguito forniti gli intervalli temporali di acquisizione dati per i vari tipi di sensori; detti intervalli sono da ritenersi indicativi in quanto sono presenti, in più popolazioni di dati, alcune misure a intervalli irregolari in concomitanza del cambiamento delle impostazioni della strumentazione oltre che occasionalmente in momenti casuali (tipicamente queste ultime eseguite a pochi secondi dall'orario nominale).

I tre sensori LVDT della ditta 4 EMME Service S.p.A. hanno raccolto dati durante il solo periodo effettivo di caricamento e di scaricamento ma non nella pausa fra la prima parte della prova e la seconda. Sono state in particolare eseguite:

- istallazione del sistema ed esecuzione di una prima misura alle ore 10:08;

- una misura di abbassamento ogni 10 secondi fra le 10:45 e le 12:07 del 29-03-2011

- una misura di abbassamento ogni 10 secondi fra le 11:23 e le 12:15 del 01-04-2011.

I sensori del sistema di monitoraggio permanente sono stati impostati in modo da eseguire una misura ogni 3 minuti dal 29-03-2011 (ore 10:48) al 05-04-2011 (ore 08:50).

I sensori del sistema wireless Smartmote hanno invece acquisito:

- una misura ogni 10 secondi fra le 10:05 e le 12:04 circa del 29-03-2011;

- una misura ogni 10 secondi dalle 09:01 e le 12:25 circa del 01-04-2011.

Essendo stati i sensori spenti uno alla volta è presente un intervallo di qualche decina di secondi fra l'ultima misura dei vari sensori suddetti.

Per quanto riguarda il quarto gruppo (sistema wireless Smartbrick) sono state eseguite le seguenti misure di abbassamento, inclinazione, temperatura e umidità relativa:

- la frequenza di acquisizione, tipicamente di un dato ogni 4 ore nel periodo precedente alla prova, è stata portata a un dato ogni 3 minuti alle ore 9:46 del 29-03-2011 circa;

- è stata eseguita una misura ogni 3 minuti dalle ore 9:46 del 29-03-2011 alle ore
11:55 dello stesso giorno circa;

- è stata quindi impostata una misura ogni ora dalle ore 11:55 del 29-03-2011 alle ore 11:03 del 01-04-2011 circa;

- la frequenza di acquisizione è stata quindi riportata a una misura ogni 3 minuti dalle ore 11:03 del 01-04-2011 alle ore 12:05 dello stesso giorno;

- successivamente il sistema è stato impostato per acquisire un dato ogni ora.

GRUPPO/OPERATORE	SOLUZIONE	N° SENS.	C	ARATTERISTICHE SEN <sup>®</sup>	SORI		Settaggio
			ESCURSIONE	SENSIBILITÀ	ERRORE	FREQUENZA ACQUISIZIONE	INTERVALLIACQUISIZIONE
1° UNIBO/4 EMME	LVDT	3	25 mm	±0,002 mm	±1%	1 dato/10°	10:45-12:07 del 29-03 11:23-12:15 del 01-04-2011
2°	Trasduttori INVAR	3	0-100 mm	0,25 m	displacement trend 0,025 mm	1 dato/3'	10:48 del 29/03 alle 8:50 del 05/04
Boviar	Temperatura	1				1 dato/3'	10:48 del 29/03 alle 8:50 del 05/04
30	Potenziometrici	2	75 mm		repeat accuracy 2 µm		
J TTT Università di	Inclinazione (2 assi)	1		risoluzione 0,002°		1 dato/10° 1 dato/10°	10:05-12:04 del 29-03-2011 9:01-12:25 del 01-04-2011
Sloccarda	Temperatura e umidītà relativa	3	-40-123,8°C 0 - 100%	risoluzione 0,01°C risoluzione 0,05%	accuratezza 0,5°C accuratezza di ±2,0%		
	Laser scanner	1	0 - 100 mm	1,5mm accuratezza assoluta 0,05 risoluzione	0,1 ripetibilità		
\$	Inclinazione (2 assi)	1		0,001° risoluzione	±0,06 deniva	1 dato/4 h 1 dato/3h	fino alla 9:46 del 29-03-2011 09:46-11:55 del 29-03-2011 11:45 44-10:02 2011 alla 11:02 44 01 04 2011
Metamobile	Temperatura	1		0,1°C risoluzione	±1,8°C accuratezza assoluta	1 dato 111 1 dato3' 1 dato/1h	11:03-12:05 del 01-04-2011 11:03-12:05 del 01-04-2011 successivamente alle 12:05 del 01-04-2011
	Umidità relativa	1	0 - 100%		accuratezza 1%		

Tabella 13.1: sunto dei sensori istallati e delle relative caratteristiche.
Il caricamento è stato effettuato mediante piastre quadrate d'acciaio di 25 kg cadauna di lato 40 cm e di altezza 10 mm posizionate manualmente da operatori a occupare complessivamente una fascia lunga circa 4,40 m e larga 0,80 m. L'area caricata è quindi pari a circa 3,52 m<sup>2</sup>. Sono state posizionate in prossimità del foro centrale, per la condizione di massimo carico, due file di piastre costituite ognuna da due strati. Di fatto, causa carenza nel numero di piastre necessarie, sono state usate un piccolo numero di piastre dal peso unitario di 125 N, utilizzandone quindi due al posto di una da 250 N. Non variando il carico per semplicità nel seguito si farà riferimento a "piastra" come a 250 N di peso indipendentemente dal numero effettivo di piastre.

Dovendo le piastre, stoccate al piano terra dell'edificio, essere trasportate al momento nella posizione richiesta, il caricamento, eseguito per incrementi di carico, non è avvenuto con velocità costante.

## 13.4 Esecuzione della prova

La prova è consistita in un singolo ciclo di carico-scarico svoltosi in parte in data 29-03-2011 ed in parte in data 01-04-2011:

- il giorno 29-03-2011 alle ore 10:45 circa è stata iniziata la prova, con il posizionamento delle prime piastre metalliche sul bordo del foro centrale;

- per il primo incremento di carico è stato posizionato, uno strato di piastre costituito da due file di 11 piastre cadauna per un totale di 22 piastre (fig. 13.17-13.18) a formare una fascia lunga 4,40 m circa e larga 0,80 m. Il carico totale di questo primo incremento è quindi pari a circa 5,5 KN, ossia circa 1,56 kN/m<sup>2</sup>. Detto strato è stato completato alle ore 11:00 circa;

- è stato quindi posizionato, attesi circa 5 minuti dal completamento del primo strato un secondo strato costituito da altre 22 piastre, quindi portando il carico totale a circa 11 KN (fig. 13.19-13.20) ossia 3,13 kN/m<sup>2</sup>. Detto strato è stato completato alle ore 11:35 circa;

- dopo una pausa di circa 15-20 minuti sono quindi stati aggiunti circa 9 KN di peso per un periodo di tempo limitato pari a circa 5 minuti (portando quindi il carico totale a 20 KN ossia 5,68 KN/m<sup>2</sup>), dopo di che il carico è stato riportato a 11 KN. Prima di rimuovere i 9 KN di carico extra, costituiti dagli operatori presenti in sala al momento della prova posizionandosi sull'area di carico in modo da distribuire il peso in modo uniforme, è stata impressa una sollecitazione

dinamica alla struttura mediante salti ripetuti di detto personale effettuatosi alle ore 11:58 circa:

- la condizione di carico con 11 KN è stata mantenuta per circa 72 ore fino alla seconda parte della prova eseguita in data 01-04-2011;

- in data 01-04-2011 alle ore 11:05 circa è stata ripresa la prova abbassando il carico da 11 KN a 5,5 KN e, dopo circa 5 minuti di pausa, rimuovendo tutte le piastre. Il carico nullo è stato raggiunto alle ore 12:15 circa.





Figura 13.17: fasi prime posizionamento delle piastre.

del Figura 13.18: primo strato di piastre completo (5,5 KN di carico).



Figura 13.19: fase di caricamento di Figura 13.20: secondo strato di piastre alcune piastre del secondo strato.

completo (11 KN di carico).

La storia di carico è stata registrata indipendentemente dalla ditta 4 EMME e dall'Università di Stoccarda per le fasi di caricamento e scaricamento, dalla ditta Metamobile limitatamente alla giornata del 01-04-2011 e da ulteriore personale dell'Università di Bologna, con annotazione del carico presente per determinati step di carico, limitatamente alla sola giornata del 29-03-2011 (fig. 13.21-13.22). Essendo i carichi movimentati manualmente e tenuto conto della confusione conseguente all'elevato numero di operatori presenti contemporaneamente nella

sala oggetto di prova tale storia di carico è da ritenersi approssimata. I valori forniti dall'Università di Stoccarda e dalla ditta 4 EMME sono in sostanziale accordo. I valori forniti dalla ditta Metamobile presentano invece uno sfalsamento di qualche minuto rispetto alle altre due storie di carico disponibili; il brusco aumento di carico alle ore 11:08, rilevato dalla ditta Metamobile, è da considerarsi dovuto ad una casuale elevata concentrazione di personale sull'area di prova riportato come carico aggiuntivo. Non cambiando sostanzialmente i risultati nel seguito sarà fatto riferimento unicamente agli incrementi indicati dalla ditta 4 EMME dal momento che appaiono i più completi e l'unica serie priva di mancanze grossolane. L'Università di Stoccarda non ha infatti indicato il momento dello scaricamento da 20 a 11 KN in data 29-03-2011, la ditta Metamobile non ha fornito i dati relativi alla prima giornata, mentre l'Università di Bologna non dispone di dati relativi alla seconda giornata, oltre a quelli forniti dalla ditta 4 EMME.



Figura 13.21: storia di carico, prima giornata di prova.



461

## 13.5 Visualizzazione dei dati ed analisi dei risultati

Una certa dispersione nei risultati è attesa e giustificata sulla base delle seguenti considerazioni:

- la collocazione attorno al foro dei vari sensori non è uniforme, essendo posti taluni sul parapetto in muratura e taluni sui gradini, elementi che possono aver reagito diversamente al caricamento,

- il punto di riferimento per le misure non è uniforme essendo talvolta il piano inferiore e talvolta quello superiore;

- gli istanti temporali in cui sono state eseguite le misure sono diversi per i vari sensori. Questo, unito al costante movimento di personale sull'area oggetto della prova, e quindi al repentino cambiamento del carico effettivo che questo comporta, fa sì che non si disponga di istanti certi ove il carico sia lo stesso per i vari sensori. Segue un commento dapprima dei risultati ottenuti dai singoli gruppi poi un confronto generale dei risultati.

### Sensori su aste telescopiche

Nelle fig. 13.23-13.24 è rappresentato l'andamento temporale dei valori di abbassamento misurati dai tre sensori istallati unitamente al carico presente in ogni momento. Per quest'ultimo è stato fatto riferimento ai valori indicati dalla ditta 4 EMME nella relazione 4454/BO dell'8 aprile 2011; per le ragioni sopraesposte questi valori di carico sono però da ritenersi puramente indicativi. Per quanto riguarda la fase di scaricamento i valori di partenza sono stati assunti pari agli ultimi misurati in fase di caricamento: è stato cioè trascurato ogni spostamento della struttura nel periodo privo di misurazioni.



Figura 13.23: andamento delle frecce rilevate dai tre sensori LVDT su aste telescopiche per quanto concerne la parte di prova eseguita in data 29-03-2011.



Figura 13.24: andamento delle frecce rilevate dai tre sensori LVDT posizionati su aste telescopiche per quanto concerne la parte di prova eseguita in data 01-04-2011.

Volendo verificare la linearità della risposta della struttura all'incremento di carico sono stati costruiti grafici riassuntivi carico - spostamento, separatamente per la fase di caricamento e per la fase di scaricamento (fig. 13.25-13.26) è stato considerato, onde sintetizzare il comportamento della struttura, un singolo valore per ogni incremento di carico indicato dalla ditta 4 EMME scegliendo, quale rappresentativo del comportamento della struttura, l'ultimo valore misurato per ogni condizione di carico, desumendo i valori dalla relazione fornita dalla ditta.

Sono state quindi individuate le rette interpolanti (nel caso della sola fase di caricamento con imposta intercetta all'origine) e sono stati calcolati i coefficienti di correlazione. Per la sola fase di scaricamento, essendo stata questa eseguita in parte in ognuna delle due giornate di prova (in particolare durante la prima giornata è presente lo step di scarico da 20 a 11 KN), le rette interpolanti sono state determinate sia per la totalità dei punti (considerando quindi come una popolazione unica le misure eseguite in data 29-03-2011 e quelle eseguite in data 01-04-2011 e trascurando quindi gli eventuali movimenti della struttura fra i due periodi monitorati) sia per i soli punti relativi alla seconda giornata onde cercare di verificare in modo indiretto se nel periodo trascorso fra le due serie di misure la struttura ha subito un ulteriore abbassamento. Nel secondo caso non è stato quindi considerato il punto per il carico di 20 KN.



Figura 13.25: valori minimi di abbassamento misurati per i singoli incrementi di carico per la fase di caricamento.



Figura 13.26: valori minimi di abbassamento misurati per i singoli incrementi di carico per la fase di scaricamento.

Sensore		FASE DI CARICAMENTO	FASE DI SCARICAMENTO Tutti i punti	FASE DI SCARICAMENTO Sola parte eseguita il 01-04-2011
Sensore 1	R <sup>2</sup>	0,7873	0,9538	0,9643
Sensore 2	R <sup>2</sup>	0,8077	0,9673	0,9231
Sensore 3	R <sup>2</sup>	0,8304	0,8033	0,4286

Tabella 13.2: coefficienti di correlazioni delle rette interpolanti i punti relativi alle fasi di caricamento e di scaricamento.

In generale le rette approssimano bene l'andamento dei risultati (tab. 13.2).

Per quanto riguarda la fase di scaricamento la maggiore pendenza delle rette interpolanti i punti relativi ai soli dati acquisiti in data 01-04-2011, ossia trascurando il punto relativo al carico massimo di circa 20 KN, è un indizio che ulteriori cedimenti, non misurati, possono essersi verificati fra le due parti della prova.

## Sensori del sistema di monitoraggio permanente

Sono riportate tutte le misure di cui si dispone, relative ad una finestra temporale più ampia di quella in cui è stata eseguita la prova onde ottenere una visualizzazione generale dei valori misurati dai sensori (fig. 13.27).



Figura 13.27: misure di spostamento raccolte dai sensori del sistema di monitoraggio permanente.

Per facilitare la lettura dei valori ottenuti durante la prova vengono visualizzati separatamente i soli dati misurati nelle fasi di caricamento e di scaricamento effettive (fig. 13.28-13.29).



Figura 13.28: andamento delle frecce rilevate dai tre sensori del sistema di monitoraggio permanente per la parte di prova eseguita in data 29-03-2011 (i dati del sensore 7 sono da considerarsi perfettamente coincidenti con quelli del sensore 8).



Figura 13.29: andamento delle frecce rilevate dai tre sensori del sistema di monitoraggio permanente la parte di prova eseguita in data 01-04-2011.

Appare evidente come le deformazioni dovute alla prova non siano state minimamente colte. Tale comportamento è spiegabile con la sensibilità di 0,25 mm dei sensori, ossia maggiore del probabile spostamento massimo raggiunto durante la prova. Un altro elemento degno di nota è che i sensori 6 e 7, a fronte di valori misurati estremamente stabili durante l'intero periodo della prova, hanno registrato, fra la misura delle 12:26 e quella delle 12:29 del 01-04-2011, spostamenti di 0,990 e 0,642 mm rispettivamente, non più recuperati dalla struttura. Gli spostamenti anomali misurati da entrambi i sensori sono stati rilevati subito dopo la fine della prova (entro 30 minuti dalla rimozione delle piastre). È possibile ipotizzare che le operazioni di distacco degli altri sensori attaccati agli stessi fili invar utilizzati da detti sensori abbiano causato perturbazioni ai fili stessi.

Il sensore 2 invece ha registrato, per tempi circoscritti, forti oscillazioni nei valori con escursioni di circa 0,3 mm fra i valori massimi e quelli minimi misurati nel tempo di pochi minuti. Nessuno dei due eventi anomali si è verificato durante le fasi di carico e scarico effettive. Essendo tali valori dello stesso ordine di grandezza di quelli ottenuti con la prova di carico ed essendo, in ogni caso, atteso un comportamento simile dai 4 sensori, le misure non sono probabilmente indicative di spostamenti reali.

È disponibile anche la misura della temperatura (fig. 13.30) misurata in corrispondenza della centralina di acquisizione dati.



Figura 13.30: temperatura misurata dal sistema di monitoraggio permanente.

## Sensori wireless montati dall'Università di Stoccarda

I dati disponibili per l'abbassamento sono riportati in fig. 13.31-13.32 mentre quelli relativi all'inclinazione in fig. 13.33-13.34. Essi sono stati acquisiti solamente per le fasi di caricamento e scaricamento effettivo.



Figura 13.31: andamento delle frecce rilevate dai due sensori potenziometrici per quanto concerne la parte di prova eseguita in data 29-03-2011.



Figura 13.32: andamento delle frecce rilevate dai due sensori potenziometrici per quanto concerne la parte di prova eseguita in data 01-04-2011.



--- Carico

Figura 13.33: andamento inclinazioni rilevate nelle due direzioni ortogonali per quanto concerne la parte di prova eseguita in data 29-03-2011, misure eseguite dall'Università di Stoccarda.



Figura 13.34: andamento inclinazioni rilevate nelle due direzioni ortogonali per quanto concerne la parte di prova eseguita in data 01-04-2011, misure eseguite dall'Università di Stoccarda.

L'abbassamento del solaio non è stato colto. Pare plausibile ipotizzare che il motivo di tale comportamento sia da attribuirsi alle caratteristiche dei fili INVAR; in particolare è possibile che non sia stato superato l'attrito statico fra il filo e lo strumento di misura. Una spiegazione certa non è al momento disponibile.

Anche per quanto riguarda le misure eseguite con inclinometro non è possibile osservare gli effetti prodotti dalla prova di carico. Una prima ipotesi potrebbe essere insita in un'elevata escursione termica durante le prove, essendo le misure fortemente dipendenti dalla temperatura alla quale vengono eseguite. Tale possibilità è però scartabile se si considerano le misurazioni di temperatura effettuate, ove sono state rilevate variazioni di appena 0,5°C circa durante la prova. Neanche in questo caso è quindi disponibile una spiegazione alle misure ottenute.

I dati relativi alla temperatura, disponibili per i soli periodi di carico e scarico effettivi, sono riportati in (fig. 13.35-13.36), misurati da tre sensori collocati ognuno in uno dei nodi disponibili.



Figura 13.35: misure di temperatura e umidità relativa eseguite dall'Università di Stoccarda, prima parte della prova (29-03-2011).



Figura 13.36: misure di temperatura e umidità relativa eseguite dall'Università di Stoccarda, prima parte della prova (29-03-2011).

### Sensori wireless montati da Metamobile

Tutti i risultati disponibili sono rappresentati in fig. 13.37, le sole fasi di carico e di scarico, ossia gli intervalli temporali già rappresentati in precedenza, sono invece rappresentati in fig. 13.38-13.39. I dati sono stati rappresentati, utilizzando quale singola misura, la media del valore misurato al tempo considerato, di quello precedente e di quello successivo.



Figura 13.37: misure di abbassamento disponibili dal laser scanner.



Figura 13.38: misure eseguite con laser scanner relative alla sola parte della prova eseguita il 29-03-2011.



Figura 13.39: misure eseguite con laser scanner relative alla sola parte della prova eseguita il 01-04-2011.

Neanche in questo caso i risultati appaiono descrivere un plausibile spostamento della struttura.

In particolare dall'esame dei dati sono riscontrabili i seguenti elementi anomali: - fra tutte le misure all'intervallo temporale fra le 11:35 del 28-03-2011 e le 12:05 del 01-04-2011, ossia all'incirca nel periodo di tempo in cui è stata svolta la prova di carico è stato rilevato uno spostamento, (fra la misura massima e quella minima) di circa 0,6 mm, valore eccessivo, almeno apparentemente. In alcuni casi inoltre gli spostamenti misurati della struttura appaiono estremamente rapidi. Ad esempio è stato misurato uno spostamento di circa 0,4 mm dalle ore 16:02 del 31-03-2011 alle ore 20:02 dello stesso giorno. È comunque abbastanza comune uno spostamento di 0,2 mm fra una misura e quella successiva anche in periodi esterni alle fasi di carico e scarico, misure eseguite a un'ora l'una dall'altra;

- fra l'inizio della prova e la fine della stessa l'orizzontamento oggetto di studi pare essersi alzato di 0,2-0,3 mm. I continui spostamenti di personale sull'area di carico, unitamente a incertezze su quale sia l'istante esatto cui sono state posizionate le prime piastre, rendono difficile stabilire quale valore sia da ritenersi esatto (è disponibile una misura ogni 3 minuti);

- nei circa 45 minuti precedenti la prova sono state misurate oscillazioni nelle misure di abbassamento nel campo 0-0,2 mm. Non è chiaro se questi possano essere attribuibili al movimento di personale nei pressi del laser scanner per il montaggio degli altri sensori e se questo può avere influito sulle misure.

Per quanto riguarda invece le misure di inclinazione (fig. 13.40) queste sono state eseguite lungo due assi: in direzione nord-sud (rollio) e in direzione est-ovest (beccheggio). I soli valori delle fasi di carico e scarico sono riportati in fig. 13.41-13.42.



Figura 13.40: misure con inclinometro eseguite con il sensore posto nello Smartbrick.



Figura 13.41: misure con inclinometro eseguite con il sensore posto nello Smartbrick per la parte di prova eseguita in data 29-03-2011.



Figura 13.42: misure con inclinometro eseguite con il sensore posto nello Smartbrick per la parte di prova eseguita in data 01-04-2011.

L'andamento inclinometrico non appare correlato ai carichi applicati, ad eccezione di una modifica nell'inclinazione nord-sud, probabilmente da ritenersi contemporanea al carico massimo di circa 20 KN considerate le incertezze relative agli orari. Temperatura e umidità relativa sono stati misurati (fig. 13.43) con sensori posti nello Smartbrick. I valori di umidità relativa sono disponibili per un periodo di tempo limitato.



Temperatura Aria — Temperatura superficiale — Umidità Relativa Figura 13.43: misure di temperatura e umidità relativa eseguiti con sensori posti nello Smartbrick.

## Confronto dei risultati

È ora proposto un confronto dei dati disponibili per le varie grandezze misurate in più di un gruppo di misure.

Per quanto riguarda gli abbassamenti i valori sono riportati in fig. 13.44-13.45.



Figura 13.44: riepilogo delle misure di abbassamento disponibili per la prima parte della prova.



Figura 13.45: riepilogo delle misure di abbassamento disponibili per la seconda parte della prova.

Sulla base delle tre popolazioni di risultati disponibili è possibile esporre le seguenti conclusioni.

I valori di spostamento misurati dai sensori montati dalla ditta 4 EMME sono plausibili per i vari carichi applicati. La buona reattività del sistema è verificata dal fatto che è stato prontamente rilevato un aumento dell'abbassamento con il carico massimo di 20 KN (mantenuto per soli 18 minuti circa).

I sensori del sistema di monitoraggio permanente non hanno colto minimamente le deformazioni dovute alla prova.

Questo comportamento è probabilmente da attribuirsi alle caratteristiche intrinseche del sistema di misura e da collegarsi ai fili INVAR dal momento che anche i sensori istallati dall'Università di Stoccarda, collegati ad analoghi fili, non hanno misurato valori attendibili.

Il laser scanner ha misurato valori fortemente anomali. A fronte di uno spostamento massimo misurato dalla 4 EMME di 0,13 mm, il laser scanner ha rilevato, fra tutte le misure disponibili, uno spostamento di 0,6 mm nell'arco della giornata del 31-03-2011, quindi in un periodo quando la configurazione di carico non è stata variata. A fronte di uno spostamento di questa entità ottenuto senza

variazione di carico, durante la prova non appaiono misurati valori crescenti (o calanti) con il carico ma piuttosto oscillazioni apparentemente casuali. Inoltre, dalle misure laser l'orizzontamento pare essersi alzato di 0,1-0,2 mm dall'inizio alla fine della prova.



Figura 13.46: riepilogo di tutte le misure di temperatura disponibili.



Figura 13.47: riepilogo di tutte le misure di umidità relativa disponibili.

Pur essendo state misurate quale semplice ausilio agli altri dati (fig. 13.46) il confronto delle temperature (misurate con strumenti dalla sensibilità molto elevata) mostra differenze sostanziali nei dati. In particolare nella seconda parte della prova mentre i sensori del sistema di monitoraggio permanente hanno registrato valori crescenti quelli Smartmote hanno misurato valori calanti per circa 1 ora e 20 minuti dall'inizio dell'acquisizione.

I sensori relativi del sistema di monitoraggio permanente e quelli integrati nello Smartbrick presentano invece un andamento qualitativamente simile, sebbene con uno sfalsamento di un paio di gradi.

Relativamente ai valori di umidità relativa (fig. 13.47) sono presenti anche in questo caso sfalsamenti, sebbene sia da tenere conto che la posizione di misura non è la stessa per i vari sensori e la massiccia presenza di personale nella sala al momento della prova può aver influenzato l'umidità relativa presente in varie zone della sala.

# 14 PALAZZO MALVEZZI: INDAGINE TRAMITE TERMOGRAFIA

È stata eseguita, nelle due giornate del 23-03-2011 e del 01-04-2011, una breve campagna d'indagine termografica sull'edificio.

# 14.1 Scopi

L'indagine è stata tesa specificatamente a due distinti obiettivi: il discernimento delle volte dalle mere controsoffittature e un'indagine generale dell'esterno dell'edificio.

Il primo obiettivo è stato perseguito durante ambedue le giornate di prova con la ricerca, in particolare, dei sostegni delle controsoffittature.

Sebbene la consapevolezza che la non visualizzazione di detti elementi può essere semplicemente dovuta a condizioni d'indagine non favorevoli o a un elevato spessore del controsoffitto è stato ritenuto interessante un test della tecnica termografica in tale campo in un edificio storico con decorazioni di pregio su molte volte, ammirabili con una semplice ispezione dell'edificio (alcuni esempi nelle fig. 14.1-14.4).

È stato cioè effettuato non uno studio estensivo delle volte dell'edificio bensì un rapido tentativo di determinare se la termografia è una tecnica efficace nell'individuazione dei controsoffitti testando in successione un elevato numero di stanze.

Un ridottissimo impiego di tempo e risorse, unitamente alla completa non invasività della tecnica, sono elementi, in caso di necessità effettiva di un'indagine sulle volte presenti, a favore della valutazione della termografia quale tecnica per individuare i controsoffitti certi, limitando le prove distruttive eventualmente necessarie a un numero il più limitato possibile di stanze.

L'indagine dell'esterno dell'edificio, eseguita specificatamente durante la seconda giornata di prova, ha invece ricercato generici elementi d'interesse non visibili con la mera osservazione indicativi dello stato dell'edificio o d'interventi subiti dallo stesso.

Contestualmente a tali attività sono stati acquisiti termogrammi di prova su svariati elementi strutturali, quali pareti o porzioni di scale.





Palazzo Malvezzi.

Figura 14.1: volta della Sala Rossa di Figura 14.2: volta della Sala della Giunta di Palazzo Malvezzi.

del



Figura 14.3: volta della Sala dello Figura 14.4: volta della Sala Zodiaco di Palazzo Malvezzi. Consiglio di Palazzo Malvezzi.

#### 14.2 Strumentazione utilizzata

È stata impiegata unicamente la termocamera Flir P620, utilizzata anche per le indagini alla Palazzina della Viola (per i dettagli tecnici vedasi cap. 9, specifiche tecniche in tab. 9.2).

Non è stato impiegato alcun tipo di strumentazione di supporto, quale un sistema di riscaldamento o strumenti di misura dei parametri ambientali (temperatura dell'aria e umidità relativa).

#### 14.3 Acquisizione dei dati e loro post-processing

L'idea di tentare un'indagine sull'edificio è scaturita a seguito della disponibilità della strumentazione simultaneamente ad altre indagini effettuate sull'edificio e, per quanto riguarda la data del primo aprile 2011, a una giornata dimostrativa sul monitoraggio degli edifici storici organizzata a Palazzo Malvezzi.

Non trattandosi quindi di un'indagine accuratamente organizzata non è stata seguita una rigorosa procedura in nessuna fase della stessa, né per quanto riguarda la scelta dei locali da testare né per quanto concerne il settaggio della strumentazione.

Le prove sono state eseguite unicamente in modo passivo sfruttando, quando possibile, per quanto riguarda la parte esterna, l'irraggiamento solare diretto, mentre, per quanto riguarda la parte interna, è stato fatto affidamento unicamente sul sistema di riscaldamento e d'illuminazione dei locali attivi al momento delle prove, testando quindi l'edificio nelle normali condizioni di utilizzo.

Per quanto riguarda la parte di ricerca delle controsoffittature sono state semplicemente ispezionate certe aree dell'edificio acquisendo termogrammi in alcune stanze ritenute, dalla semplice osservazione, potenzialmente interessanti.

Per quanto riguarda invece le indagini esterne all'edificio sono stati acquisiti termogrammi tanto sulla facciata dell'edificio su Piazza Rossini e tanto su quella su Via Zamboni.

Il risultato della ricerca consta di circa 130 termogrammi di cui 80 relativi all'esterno dell'edificio e 50 all'interno; la ripartizione per facciata dell'edificio dei primi e per piano dei secondi sono riportate in tab. 14.1.

PIANO	NUMERO DI TERMOGRAMMI DISPONIBILI	
Interrato	7	
Terra	30	
Scale da piano primo a piano secondo	5	
Primo	31	
Secondo	7	
Esterno (lato Piazza Rossini)	25	
Esterno (lato via Zamboni)	20	
Esterno (altro)	5	

Tabella 14.1: numero totale di termogrammi disponibili per ogni piano dell'edificio.

Sono state identificate le stanze con una codifica appositamente preparata e presentata nelle fig. 14.5-14-10, unitamente alle posizioni approssimative ove i termogrammi sono stati acquisiti (vedasi anche tab. 15.2). Le posizioni sono da ritenersi indicative: per facilitare la lettura più termogrammi, acquisiti di fatto in aree solo parzialmente sovrapposte, sono stati indicati come perfettamente coincidenti; per lo stesso motivo sono stati utilizzati, per quanto riguarda i due

prospetti, colori diversi. Qualora vengano inquadrate più di una stanza è stata indicata la principale indagata con una data immagine; i nomi con cui alcune stanze sono note sono stati anch'essi indicati.

DATA	CODICITER	MOGRAMMI	COLLOCAZIONE		NUMERO
ACQUISIZIONE	DALFILE	ALFILE	CODICE	DETTAGLI	TERMOGRAMMI
22-03-2011	IR_2726	IR_2728	GF1		2
	IR 2733		GF2		1
	IR 2735 IR 2734		GF3		5
	IR_2	2745	GF4		1
	IR_2747	IR_2751	GF5		3
	IR_2753	IR_2757	GF6		3
	IR_2759	IR_2763	GF4		3
	IR_2765	IR_2769	GF6		3
	IR_2771	IR_2773	GF7		2
	IR_2775	IR_2779	GF6		3
	IR_2781	IR_2783	1F1		2
	IR_2785	IR_2789	GF6		3
	IR_2791	IR_2795	Scale (1F1)		3
	IR_2797	IR_2799	1F3		2
	IR_2801	IR_2803	1F4		2
	IR_2805	IR_2807	1F5		2
	IR_2809	IR_2813	1F6	Sala Rossa	3
	IR_2815	IR_2823	Esterno		5
	IR_2829	IR_2833	2F1	Sala Ovale	3
01-04-2011	IR_3117	IR_3147	Esterno	Lato Piazza Rossini	16
	IR	3149	1F7	Sala del Consiglio	1
	IR_3151	IR_3157	2F1	Sala Ovale	4
	IR_3159	IR_3161	1F7	Sala del Consiglio	2
	IR_3165	IR_3169	Scale (1F1)		2
	IR_3171	IR_3175	1F8	Sala dello Zodiaco	3
	IR_3177	IR_3183	1F9	Sala della Giunta	4
	IR_3185	IR_3195	1F7	Sala del Consiglio	6
	IR_3197	IR_3235	Esterno	Lato Via Zamboni	20
	IR_3237	IR_3253	Esterno	Lato Piazza Rossini	9
	IR_3255	IR_3257	1F8	Sala dello Zodiaco	2
	IR_3259	IR_3271	UF1		7
	IR .	3277	GF3		1
	IR_3281	IR_3283	1F2		2

Tabella 14.2: termogrammi acquisiti, in ordine cronologico, nelle varie stanze investigate.



Figura 14.5: schema dei termogrammi acquisiti al piano interrato (modificato da Capobianchi, 2009).



Figura 14.6: schema dei termogrammi acquisiti al piano terra (modificato da Capobianchi, 2009).



Figura 14.7: schema dei termogrammi acquisiti al piano primo (modificato da Capobianchi, 2009).



Figura 14.8: schema dei termogrammi acquisiti al piano secondo (modificato da Capobianchi, 2009).



Figura 14.9: schema dei termogrammi acquisiti all'esterno, sulla facciata su via Zamboni (modificato da Capobianchi, 2009).



Figura 14.10: schema dei termogrammi acquisiti all'esterno, sulla facciata su piazza Rossini (modificato da Capobianchi, 2009).

Non essendo mai state misurate né temperatura e umidità relativa dell'aria né la distanza fra obiettivo e centro oggetto al centro dell'immagine in fase di postprocessing sono stati assegnati a tali parametri valori simbolici:

- la distanza fra obiettivo e centro dell'immagine è stata assunta pari a 3,0 m per tutti termogrammi acquisiti all'interno e a 20,0 m per tutti quelli acquisiti all'esterno;

- i valori di temperatura e umidità relativa sono semplicemente stati lasciati pari a quelli impostati nella termocamera (temperatura 15 °C e umidità relativa 38% per quanto riguarda la prima giornata e 20,8 °C e 38 % per quanto riguarda la seconda);

- l'emissività è stata assunta pari a 0,95.

L'utilizzo di puntatori in fase di post-processing ha seguito gli stessi criteri generali illustrati al paragrafo 9.4.

# 14.4 Esempi di termogrammi particolarmente significativi

Segue la presentazione di alcuni dei risultati più rilevanti dell'indagine, relativamente ai vari ambiti considerati.

Discernimento delle volte dalle mere controsoffittature

Un primo esempio di controsoffittatura identificata con successo è costituita dal corridoio GF4, indagato, ad esempio, con il termogramma IR\_2761 (fig. 14.11-14.12). In questo caso la presenza di una botola d'ispezione è chiaro segno della presenza di controsoffitto, che sarebbe quindi facilmente individuabile anche senza l'utilizzo della termografia.

Fasce più fredde, con ogni probabilità dovute dagli elementi di sostegno del controsoffitto, sono infatti chiaramente visibili. Questa applicazione positiva è un primo indice della validità di questo tipo di applicazione.



Figura 14.11: soffitto del corridoio GF4, Palazzo Malvezzi, piano terra.



Figura 14.12: termogramma IR\_2761 (acquisto il 22-03-2011 ore 15:22:29) per indagine il corridoio GF4.

Un'ulteriore esempio di applicazione coronata da successo è costituita dalla stanza indicata con la sigla GF3, apparentemente caratterizzata da una volta dipinta. Detta stanza, indagata ad esempio con termogrammi IR 2737 e IR 2743 (fig. 14.13-14.16), rivela la presenza di numerosi elementi indicanti con ogni probabilità la presenza di un controsoffitto e necessari al sostegno dello stesso.





Figura 14.13: stanza GF3, Palazzo Figura 14.14: termogramma IR 2737 Malvezzi piano terra.

(acquisito in data 22-03-2011 ore 14:57:52) per indagine il soffitto della stanza GF3.



Malvezzi, piano terra.

Figura 14.15: stanza GF3, Palazzo Figura 14.16: termogramma IR 2743 (acquisito in data 22-03-2011 ore 14:57:52) per indagine il soffitto della stanza GF3.

Le volte "vere", non semplici controsoffittature, rispondono in modo diverso all'indagine termografica. Ad esempio, una volta al primo piano, adiacente al vano scale (indicata con la sigla 1F2 sulle piante), è stata studiata con il termogramma IR 2793 (fig. 14.17-14.18).

È apprezzabile come non siano visibili i sostegni di un eventuale controsoffitto: è però presente l'ambiguità dovuta al fatto che tali elementi non siano osservabili in

quanto non presenti o in quanto non rilevabili dall'indagine termografica. Nel caso in esame è noto da precedenti sopralluoghi che quella inquadrata è una volta propriamente detta ma, dalla sola indagine termografica, non sarebbe possibile avere questa certezza. La termografia è quindi efficace nell'individuare le certe controsoffittature ma insufficiente nell'accertare l'assenza delle stesse.





scale fra piano primo e secondo.

Figura 14.17: volta al di sopra delle Figura 14.18: termogramma IR 2793 (acquisito in data 22-03-2011 ore 14:48:55).

Un ultimo esempio interessante è costituito dal solaio al di sopra della Sala Ovale (indicata nelle piante con la sigla 2F1), sulla quale è stata effettuata la prova di carico descritta al precedente capitolo 14.

In tale sede è stato illustrato che alcuni sensori sono collegati al solaio superiore mediante fori nel soffitto: la presenza di una controsoffittatura è quindi in questo caso, nota. Una documentazione fotografica dei fori effettuati per preparare dei sostegni ai sensori per il monitoraggio della stanza inferiore è riportata nelle fig. 14.19-14.20: è visibile un controsoffitto in arellato sorretto da listelli, una porzione di un travetto ligneo posto al di sopra di questi, quindi delle tavelle.

È stato effettuato un tentativo di individuare gli elementi costituenti il controsoffitto con la termografia e i risultati sono stati, per quanto riguarda i termogrammi acquisiti in data 23-03-2011, estremamente positivi. Grazie, ad esempio ai termogrammi, IR 2829 e IR 2893 (fig. 14.21-14.24), sono localizzabili una molteplicità di elementi di sostegno del controsoffitto, sebbene il contrasto non sia ottimale. Per quanto riguarda il termogramma IR 2833 paiono visibili perfino due tipologie di elementi di sezione diversa (ripresi orizzontalmente nel termogramma), con tre elementi di sezione minore fra due elementi di sezione maggiore. È interessante notare come la seconda giornata di prova siano stati acquisiti alcuni termogrammi (IR 3155 e IR 3157) in questa stanza ma non sia

stata in questo caso possibile la visualizzazione di alcun elemento: questo conferma l'importanza delle condizioni ambientali nelle indagini termografiche passive.



Figura 14.19: foro nel solaio della Sala Ovale visto dal piano superiore.



Figura 14.21: porzione di Sala Ovale, Palazzo Malvezzi.



Figura 14.20: dettaglio dell'arellato costituente il soffitto della Sala Ovale.



Figura 14.22: termogramma IR\_2829 (acquisto il 22-03-2011, ore 16:54:11) sul soffitto della Sala Ovale.



Figura 14.23: porzione di Sala Ovale, palazzo Malvezzi.



Figura 14.24: termogramma IR\_2833 (acquisto il 22-03-2011, ore 17:00:40) sul soffitto della Sala Ovale.

## Indagini eseguite all'esterno dell'edificio

Per quanto concerne le indagini sull'esterno dell'edificio il risultato più interessante è stato ottenuto sulla facciata rivolta verso piazza Rossini. Durante l'acquisizione di alcuni termogrammi detta facciata era infatti sottoposta a irraggiamento solare diretto: questo ha, con ogni probabilità, influenzato positivamente i risultati.

Specificatamente è stata rilevata la presenza, più o meno evidente, ma costante su tutte le finestre inquadrate, di un'area più calda del resto della superficie immediatamente al di sopra delle finestre stesse. Alcuni esempi sono i termogrammi IR 3121 e IR 3129 (fig. 14.25-14.28).



Figura 14.25: facciata di Palazzo Figura 14.26: termogramma IR 3121 Malvezzi su Piazza Rossini, parte a sudest.



(acquisto il 22-03-2011, ore 08:03:13) sulla facciata di Palazzo Malvezzi rivolta verso Piazza Rossini.



Figura 14.27: facciata di Palazzo Figura 14.28: termogramma IR 3129 Malvezzi su Piazza Rossini, parte a (acquisto il 22-03-2011, ore 08:45:25) nord-ovest.



sulla facciata di Palazzo Malvezzi rivolta verso Piazza Rossini.

La costanza della caratteristica anomala e la geometria della stessa, che si presenta approssimativamente come un semicerchio al di sopra delle finestre, porta a formulare l'ipotesi che originariamente fossero presenti archi a tuttosesto al di sopra delle finestre, poi modificati per dare loro la conformazione attuale.

Sebbene la sola termografia non sia sufficiente a dare una spiegazione definitiva, è stato comunque possibile determinare un possibile elemento importante per la ricostruzione della storia dell'edificio semplicemente e nell'arco di pochi minuti.

# Cenni all'individuazione di fessure

Dall'acquisizione di termogrammi su svariate volte dell'edificio, alcune delle quali con fessure chiaramente visibili con la mera osservazione, è stato cercato di determinare, a posteriori all'acquisizione dei termogrammi, se tali fessure siano visibili negli stessi.

Un esempio di fessura rilevata dalla termografia è presente nella stanza indicata nella pianta con la sigla 1F4. Tale stanza è stata investigata, ad esempio, con il termogramma IR\_2803 (fig. 14.29-14.30). La fessura è visibile nel termogramma, sebbene con un contrasto non ottimale a una facile osservazione.

Unitamente alle indagini effettuate alla Palazzina della Viola (vedasi cap. 9) questo risultato porta a concludere che le fessure chiaramente visibili a occhio nudo sono spesso, sebbene non sempre, individuabili con la termografia, soprattutto in caso di utilizzo di un sistema di riscaldamento, elemento che migliora sensibilmente il contrasto ottenibile. Con tale tecnica però non sono ricavabili risultati migliori, a meno di applicazioni più sofisticate di quelle tentate, di quelli desumibili della mera osservazione visuale.





Figura 14.29: stanza 1F4 Palazzo Malvezzi, primo piano.

Figura 14.30: termogramma IR\_2803 (acquisto il 22-03-2011, ore 16:01:09) relativo alla stanza 1F4.

# CONCLUSIONI

Questa tesi tratta il duplice aspetto dell'indagine degli edifici storici dal punto di vista dell'efficienza energetica e strutturale.

Detti edifici costituiscono un'importante quota del patrimonio edilizio presente nella Comunità Europea, ed in Italia in particolare, sono spesso caratterizzati da un'efficienza energetica sensibilmente minore di quella delle costruzioni moderne e a volte affetti da problematiche strutturali.

Essendo limitata la possibilità di interventi invasivi sul patrimonio edilizio storico, non è attualmente richiesta la certificazione energetica per tali edifici, a differenza del resto delle strutture.

È stato da poco iniziato il progetto europeo 3encult, onde esplorare le possibilità di miglioramento dell'efficienza energetica dei suddetti edifici, con riguardo alle esigenze di conservazione di tali fabbricati. Dai risultati del progetto sarà possibile acquisire le conoscenze necessarie a comprendere se in futuro sarà possibile richiedere la certificazione anche per gli edifici storici ed eventualmente con quali requisiti difformi da quelli richiesti per le altre strutture edilizie.

L'Università di Bologna, partner del progetto, con i dipartimenti DICAM (Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Ambientale e dei Materiali) e DEIS (Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica) ha un ruolo in due casi di studio localizzati a Bologna: la Palazzina della Viola e Palazzo D'Accursio. Questa tesi tratta in particolare delle indagini effettuate sulla Palazzina della Viola dove sono in corso indagini volte a testare l'edificio dal punto di vista dell'efficienza energetica.

Sono state anche effettuati, su questo stesso edificio, studi volti ad aspetti inerenti alla diagnostica strutturale.

Un secondo aspetto trattato è infatti l'indagine strutturale degli edifici storici; in particolare, il progetto europeo SMOOHS, volto al monitoraggio intelligente di tali edifici, vede quale partner l'Università di Bologna, con il caso di studio di Palazzo Malvezzi. Il progetto prevede in particolare lo sviluppo di metodi di monitoraggio intelligente di facile istallazione e ridotta invasività per le strutture, aspetto particolarmente importante per gli edifici storici, ad esempio con l'utilizzo di

sistemi wireless. Detto progetto si trova nelle sue fasi finali e una parte del lavoro è consistita su un test comparativo sul campo dei dispositivi wireless sviluppati.

Propedeuticamente alle indagini è stata svolta una ricerca bibliografica sulle principali tecniche non distruttive impiegate, in particolare ground penetrating radar e termografia, ed è stata constatata una loro applicabilità a molteplici scopi ed una loro continua evoluzione. Dalla più recente letteratura scientifica sull'argomento è evidente che detta evoluzione pare tesa, in particolar modo, in due distinti ambiti:

- l'ottenimento, grazie a innovative modalità di esecuzione delle prove o di elaborazione dei risultati, di un'informazione di tipo quantitativo sulle strutture indagate mentre tali tecniche, almeno nelle loro applicazioni meno sofisticate, sono tipicamente qualitative;

- lo sviluppo di più efficienti tecniche di elaborazione dei dati, essendo tale fase probabilmente la più delicata dell'intera indagine e richiedendo, almeno attualmente, un'approfondita conoscenza della tecnica da parte dell'utilizzatore;

Tali tecniche sono quindi state applicate sul campo: in merito al primo punto, l'applicazione di tali tecniche a casi pratici, e alla Palazzina della Viola in particolare, ha messo in luce, per facilitare l'interpretazione, l'importanza di disporre del maggior numero possibile di informazioni sull'oggetto di studio, da ottenersi con le più svariate modalità: dalla semplice ispezione visiva a più dettagliati rilievi a un'indagine storica sull'edificio. Subendo tipicamente gli edifici storici numerosi interventi nell'arco della loro esistenza la conoscenza, almeno parziale, di tali interventi è di un estremo aiuto alle indagini.

L'opportunità, limitatamente alla Palazzina della Viola, principale edificio indagato in questo elaborato, di acquisire buona parte dei dati immediatamente prima dell'inizio di un intervento di ristrutturazione ha consentito, in fase di verifica dei risultati, un test sull'efficienza delle tecniche, potendo, a seguito della rimozione di controsoffitti, intonaci, pavimenti e massetti in calcestruzzo, osservare direttamente la struttura interna degli elementi indagati. Tale possibilità, chiaramente preclusa nelle tipiche indagini sul campo, in particolare relativamente ad edifici storici, rendono parte del lavoro molto vicino ad un test di laboratorio condotto su un edificio reale.

La termografia in particolare, soprattutto se previo un riscaldamento delle strutture, è stata in grado di individuare la tessitura delle murature, dell'orditura dei solai, la presenza di architravi al di sopra di alcune aperture e la posizione di fessure, sebbene, in quest'ultimo caso, un'attenta osservazione delle strutture consente di trarre le stesse, se non maggiori, informazioni.

A fronte di un'estrema rapidità di esecuzione e di elaborazione dei dati è però doveroso riportare una certa aleatorietà nell'ottenimento dei risultati: anche a fronte di un riscaldamento non sussistono garanzie di visualizzare gli elementi ricercati, quali i laterizi costituenti la muratura o i travetti di un solaio, in quanto l'efficienza della tecnica risente molto di fattori quali lo spessore dell'intonaco o del massetto di calcestruzzo al di sotto del pavimento.

Un altro fattore importante è il momento di esecuzione delle indagini: come è stato constatato da alcune brevi prove a Palazzo Malvezzi, eseguite in due sole giornate, nella prima sono stati chiaramente visualizzati elementi quali sostegni di controsoffitti mentre nel secondo alcune immagini acquisite negli stessi punti non forniscono alcun tipo di risultato apprezzabile. La scelta del momento della giornata cui eseguire i rilievi è quindi da ponderarsi accuratamente, soprattutto in caso di indagini passive (senza riscaldamento) sfruttando i gradienti termici che vengono naturalmente a formarsi, nel caso di indagini esterne, grazie all'irraggiamento solare diretto, o, nel caso di prove eseguite all'interno, al normale funzionamento, se presente, dell'impianto di riscaldamento dell'edificio.

L'irraggiamento solare diretto ha probabilmente favorito, a Palazzo Malvezzi, la visualizzazione di aree approssimativamente semicircolari più calde al di sopra degli archi posti alla sommità di alcune finestre, indice che probabilmente gli elementi attuali sono il frutto della modifica di altri archi, presenti in precedenza, con raggio di curvatura diverso dagli attuali.

Il ground penetrating radar è invece applicato separatamente a pareti e solai della Palazzina della Viola.

Il principale risultato strutturalmente rilevante, per quanto concerne le pareti, è la spesso facile individuazione di tamponature: sebbene non sussista la garanzia assoluta di individuazione di detti elementi, essi si sono rivelati spesso chiaramente visibili, facilitando un'eventuale stima della capacità portante di maschi murari che, almeno dalla semplice osservazione, apparirebbero assolutamente integri. A seguito della rimozione dell'intonaco la presenza e posizione delle tamponature ipotizzate è stata verificata.
L'applicazione della stessa tecnica ai solai ha invece dimostrato la facile e sistematica individuazione di travetti metallici. La maggior parte dei solai dell'edificio presenta infatti orditure lignee inferiori, tipicamente visibili guardando l'orizzontamento dal piano inferiore e travetti metallici superiori, non osservabili senza azioni distruttive sulle strutture, essendo la loro vista occultata superiormente dal pavimento e inferiormente da un assito ligneo.

Benché il facile rilevamento degli elementi metallici sia un aspetto noto della tecnica è stata anche verificata l'impossibilità, nota anch'essa, di osservare alcunché posto al di sotto di detti elementi: le orditure lignee sono quindi non visibili in ragione della presenza di travetti e barre metalliche di armatura nella quasi totalità dei solai.

Nello stabilire l'efficacia dell'indagine è quindi importante la tipologia di edificio indagato: essendo nella Palazzina della Viola la quasi totalità delle orditure lignee già visibili con la semplice osservazione, senza bisogno di alcuna tecnica specifica, l'applicazione del radar è stata un completo successo consentendo l'individuazione, in modo non distruttivo, delle strutture portanti altrimenti non indagabili.

In altre tipologie di edificio, ove gli elementi di interesse siano collocati al di sotto di strutture metalliche, la stessa indagine si sarebbe però risolta nel più totale fallimento.

Il rilievo del quadro fessurativo della Palazzina pone in luce le principali problematiche strutturali dell'edificio, riassumibili in mancanza di ammorsatura fra diverse pareti, con conseguente formazione di fessure fra le stesse, e eccessiva differenza, in ragione di ampiezza delle strutture portanti e di peso complessivo, fra la parte anteriore, ricca di logge e ampi serramenti, e la parte sul retro, con infissi molto più piccoli e la presenza di un piano interrato. Le due parti non sembrano quindi comportarsi come un organismo unico ma piuttosto come due elementi separati che, deformandosi in modo disuguale, causano la formazione di fessure, anche di ampiezza importante, fra le due parti.

Alla Palazzina della Viola è inoltre stato eseguito un monitoraggio del microclima interno. Questo è da ritenersi la prima parte di più estese indagini che verranno condotte nel seguito, proseguendo detto monitoraggio in più stagioni ed eventualmente confrontando i risultati con quelli dell'edificio riscaldato, se questo sarà possibile, una volta ultimata la ristrutturazione.

Un'altra indagine riguarda l'applicazione, sulla Palazzina della Viola, di un test di permeabilità all'aria noto come Blower Door Test, relativo all'efficienza energetica degli edifici, utilizzato quindi in questo caso al di fuori del suo tipico campo di applicazione.

I risultati sono stati quasi certamente influenzati dallo stato di abbandono cui l'edificio versa da alcuni anni, con la conseguente non perfetta manutenzione degli infissi. Anche nelle attuali condizioni della struttura è stato comunque possibile costatare la scarsissima tenuta all'aria e, conseguentemente, una modesta, da questo punto di vista, efficienza energetica.

Un altro elemento interessante, dimostrato fortuitamente a seguito della necessità di testare singole zone dell'edificio, non essendo possibile con la strumentazione a disposizione eseguire la prova sull'intero complesso causa insufficienti pressioni generabili all'interno dello stesso, è costituito dalla significativa differenza fra i risultati relativi a diverse aree.

La dispersione dei risultati era deducibile anche a priori dai differenti elementi presenti nelle varie aree testate, quali tipologia di infissi e solai; tali valori pongono dubbi sull'adeguatezza del test a essere utilizzato su edifici storici o, comunque, edifici caratterizzati da aree con finiture o elementi strutturali molto diversi da una zona all'altra.

Sebbene l'edificio utilizzato sia considerabile, per futura utilizzazione e per conformazione della struttura, un organismo unico, quindi cui associare un solo valore di permeabilità all'aria, la presenza di risultati molto diversi da un punto all'altro rendono una stima della permeabilità all'aria complessiva della struttura poco rappresentativa delle singole aree della stessa.

Le indagini sono completate da due prove di carico diretto eseguite a Palazzo Malvezzi.

La prima prova, di flessione a 4 punti è stata eseguita su di una trave lignea sita nel sottotetto e ha evidenziato un buon comportamento complessivo della stessa, superiore alle aspettative iniziali. La scarsità di informazioni disponibili nella letteratura scientifica circa le massime tensioni sopportabili, e le caratteristiche meccaniche più in generale, degli elementi storici ha probabilmente portato a un eccesso di cautela nella stima del comportamento della struttura in fase preliminare.

La seconda prova, il caricamento diretto di una porzione di solaio della "Sala Ovale", stanza posta al di sopra della Sala del Consiglio Provinciale e a questa collegata mediante appunto un foro ovale nel solaio, ha previsto un confronto dei risultati ottenibili con diversi tipi di sensori. Detto confronto ha portato a risultati essenzialmente negativi in quanto su quattro soggetti esecutori di misure solo una popolazione di risultati appare descrivere un plausibile comportamento della struttura.

Un'oculata scelta del tipo di sensore, oltre che di tutti gli elementi che andranno a costituire il sistema di misura, è quindi estremamente importante: è particolarmente preoccupante che non sia stato rilevato alcun abbassamento anche da un sistema di monitoraggio permanente istallato nell'edificio dal 2004. È quindi evidente che, essendo il solaio stato caricato in modo consistente, pur se lontano da quello necessario ad arrecare danni allo stesso, detto sistema non appare, almeno dai dati disponibili, adeguato al monitoraggio continuo della struttura e delle deformazioni che la stessa subisce tipicamente.

Il complesso delle prove effettuate e delle tecniche impiegate, alcune delle quali utilizzate in modo innovativo per diagnosi strutturale o di efficienza energetica, costituisce un esempio di applicazione di indagini non distruttive a edifici storici, nei quali le prove sono limitate dai vincoli cui tali fabbricati sono sottoposti ma rese importanti dal numero e dal valore, architettonico, culturale ed artistico, di tali strutture. Apre inoltre possibilità di studio relativamente al miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici storici, ambito cui attualmente sono disponibili scarse informazioni.

## **BIBLIOGRAFIA**

#### 1 Il percorso conoscitivo delle costruzioni storiche

Dipartimento della Protezione Civile e il Dipartimento per i Beni Culturali e Paesaggistici (2006) 'Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni'

## 2 Dissesti statici nelle strutture edilizie

Mastrodicasa S. (1993) 'Dissesti statici nelle strutture edilizie. Diagnosi, consolidamento, istruzioni teoriche, applicazioni pratiche. Nona edizione riveduta e ampliata' Hopeli, Milano

## 3 Principi e stato dell'arte delle tecniche utilizzate

## 3.1 Test di permeabilità all'aria: principi della tecnica

UNI EN 13829:2002 'Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici. Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore'

## 3.2 Test di permeabilità all'aria: stato dell'arte della tecnica

DePani S., P.E., Fazio P. (2005) 'Airtightness testing of two- And three-unit buildings with a single fan', *Journal of Architectural Engineering*, v. 11, n. 1, pp. 19-24

EN ISO 13790 'Thermal performance of buildings. calculation of energy use for heating'

Kalamees T. (2007) 'Air tightness and air leakages of new lightweight singlefamily detached houses in Estonia', *Building and Environment*, v. 42, n. 6, pp. 2369-2377

Sfakianaki A., Pavlou K. (2008) 'Santamouris M., Livada I., Assimakopoulos M.-N., Mantas P., Christakopoulos, A. 'Air tightness measurements of residential houses in Athens, Greece', *Building and Environment*, v. 43, n. 4, pp. 398-405

UNI EN 13829:2002 'Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici. Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore'

## 3.3 La termografia: principi della tecnica

ASTM C1060 – 90 (Reapproved 2003) 'Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings'

ASTM C1153 – 10 'Standard Practice for Location of Wet Insulation in Roofing Systems Using Infrared Imaging'

ASTM D4788 – 03 (Reapproved 2007) 'Standard Test Method for Detecting Delaminations in Bridge Decks Using Infrared Thermography'

Maladague Xavier P.V., Moore Patrix O. (2001) 'Nondestructive testing handbook. Volume 3. Infrared and thermal testing.', *American Society of Nondestructive Testing* 

Rosina E. (2004) "La percezione oltre l'apparenza: l'architettura all'infrarosso", *Alinea Editrice*, Firenze

UNI 10351:1994 'Materiali da costruzioni. Conducibilità termica e permeabilità al vapore'

UNI 10824-1:2000 'Termografia all'infrarosso. Termini e definizioni'

UNI EN 13187:2000 'Prestazione termica degli edifici. Rivelazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi. Metodo all'infrarosso'

#### 3.4 La termografia: stato dell'arte della tecnica

Aggelis D.G., Kordatos E.Z., Soulioti D.V., Matikas T.E. (2010) 'Combined use of thermography and ultrasound for the characterization of subsurface cracks in concrete', *Construction and Building Materials*, v. 24, n. 10, pp. 1888-1897

Avdelidis N.P., Moropoulou A. (2003) 'Emissivity considerations in building thermography', *Energy and Buildings*, v. 35, n.7, pp. 663-667

Barreira E., De Freitas V. P. (2007) 'Evaluation of building materials using infrared thermography', *Construction and Building Materials*, v. 21, n. 1, pp. 218-224

Capitani D., Proietti N.; Gobbino M.; Soroldoni L., Casellato U., Valentini, M.; Rosina E. (2009) 'An integrated study for mapping the moisture distribution in an ancient damaged wall painting' Analytical and Bioanalytical Chemistry, v. 395, n. 7, pp. 2245-2253

Chia-Chi Cheng, Tao-Ming Cheng, Chih-Hung Chiang (2008) 'Defect detection using both infrared thermography and elastic waves', *Automation in Construction*, n. 18, pp. 87-92

Clark M.R., McCann D.M., Forde M.C. (2003) 'Application of infrared thermography to the non-destructive testing of concrete and masonry bridges' *NDT* &*E International*, v. 36, n. 4, pp. 265-275

Eads L.G., Epperly R.A., Snell J.R. Jr. (2000) 'Thermography', ASHRAE Journal, v. 42, n. 3, pp. 51-55

Gayo, E., de Frutos, J. (1997) 'Interference filters as an enhancement tool for infrared thermography in humidity studies of building elements', *Infrared Physics & Technology*, v. 38, n. 4, p 251-258

Grinzato E., Vavilov V., Kauppinen T. (1998) 'Quantitative infrared thermography in buildings', *Energy and Buildings*, v. 29, n. 1, pp. 1-9

Grinzato E. (2008) 'Controllare è necessario, il controllo termico è utile: introduzione alla termografia IR, potenzialità e limiti' *Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica n. 4,* pp. 23-29

Grinzato E., Bison P., Girotto M., Volinia M. (2009) 'Sull'intonaco e oltre: diagnostica non distruttiva per il monitoraggio storico-monumentale in situ dell'effusività termica', Atti del 13° congresso AIPnD, 47, Roma

Maierhofer C., Brink A., Röllig M., Wiggenhauser H. (2003) 'Detection of shallow voids in concrete structures with impulse thermography and radar', *NDT&E International*, v. 36, n. 4, pp. 257-263

Maierhofer C., Brink A., Röllig M., Wiggenhauser H. (2005) 'Quantitative impulse-thermography as non-destructive testing method in civil engineering – Experimental results and numerical simulations', *Construction and Building Materials*, v. 19, n. 10, pp. 731-737

Maierhofer C., Arndt R., Röllig M., Rieck C., Walther A., Scheel, H., Hillemeier, B. (2006) 'Application of impulse-thermography for non-destructive assessment of concrete structures', *Cement and Concrete Composites*, v. 28, n. 4, pp. 393-401,

Maierhofer C., Krause M., Wöstmann J., Rölling M., Arndt R., Streicher D., Kohl C. (2008) 'Influence of concrete properties on the calibration of radar, ultrasonic and active thermografy', *First RILEM Symposium On Site Assessment of Concrete, Masonry and Timber Structures*, edito da L. Binda, M. di Prisco e R. Falicetti, 1-2 settembre 2008, Varenna (Italia), volume 1, pp. 15-24

Meola C. (2007) 'Infrared thermography of masonry structures', *Infrared Physics* & *Technology*, v. 49, n. 3, pp. 228-233

Ocaña S.M., Guerrero I.G., Requena I.R. (2004) 'Thermographic survey of two rural buildings in Spain', *Energy and Buildings*, v. 36, n. 6, pp. 515-523

Titman D. J. (2001) 'Applications of thermography in non-destructive testing of structures', *NDT&E International*, v. 34, n. 2, pp. 149-154

### 3.5 Il ground penetrating radar: principi della tecnica

ASTM D 6087 - 08 'Standard test Method for evaluation asphalt-covered concrete bridge decks using ground penetration radar'

ASTM D6432 - 99 (Reapproved 2005) 'Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation' Conyers L.B., Goodman D. (2007) 'Ground penetrating radar. Un'introduzione per gli archeologi", *ARACNE*, Roma

Daniels D.J. (2007) 'Ground Penetrating Radar 2nd edition', IET, Londra

Reynolds J.M. (1997) 'An introduction to applied and environmental geophysics', *Wiley*, Chichester

#### 3.6 Il ground penetrating radar: stato dell'arte della tecnica

Barrile V., Pucinotti R. (2005) 'Application of radar technology to reinforced concrete structures: A case study', *NDT&E International*, v. 38, n. 7, pp. 596-604

Bavusi M., Loperte A., Lapenna V., Soldovieri F. (2010) 'Rebars and defects detection by a GPR survey at a L'Aquila school damaged by the earthquake of April 2009' *Proceedings of the XIII International Conference on Ground Penetrating Radar* edito da Crocco L., Orlando L., Persico R. e Pieraccini M., Lecce (Italia) 21-25 Giugno 2010, pp. 245-250

Binda L., Lenzi G., Saisi A. (1998) 'NDE of masonry structures: use of radar tests for the characterisation of stone masonries' *NDT&E International*, v. 31, n. 6, pp. 411-419

Binda L., Zanzi L., Lualdi M., Condoleo P. (2005) 'The use of georadar to assess damage to a masonry Bell Tower in Cremona, Italy' *NDT&E International*, v. 38, n. 3, pp. 171-179

Capizzi P., Cosentino P., Schiavone S. (2010) 'Can be GPR technique useful for strength characterization of concrete?' *Proceedings of the XIII International Conference on Ground Penetrating Radar* edito da Crocco L., Orlando L., Persico R. e Pieraccini M., Lecce (Italy) 21-25 Giugno 2010, pp. 230-233

Diamanti N., Giannopoulos A., Forde M. C. (2008) 'Numerical modelling and experimental verification of GPR to investigate ring separation in brick masonry arch bridges', *NDT&E International*, v. 41, n. 5, pp. 354-363

Dolce C., Masini N., Leucci G., Persico R., Quarta G. (2010) 'Integrated Prospecting in the Crypt of the Holy Spirit in Monopoli (Southern Italy)', *Proceedings of the XIII International Conference on Ground Penetrating Radar* edito da Crocco L., Orlando L., Persico R. e Pieraccini M., Lecce (Italia) 21-25 Giugno 2010, pp.423-426

Forde M. (2008) 'Georadar for the investigation of existing structures', *First RILEM Symposium On Site Assessment of Concrete, Masonry and Timber Structures*, edito da L. Binda, M. di Prisco e R. Falicetti, 1-2 settembre 2008, Varenna (Italia), volume 2, pp. 829-837

Giunta G. (2008) 'Indagini Ground Penetrating Radar (GPR) su Monumenti Architettonici: Facciata della Basilica di San Pietro e Duomo di Milano', *Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica n. 4*, pp. 54-60 Hugenschmidt J. (2008) 'Il Georadar per la valutazione non distruttiva di infrastrutture di trasporto', *Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica* n. 4, pp. 38-46

Hugenschmidt J., Kalogeropoulos A. (2009) 'The inspection of retaining walls using GPR', *Journal of Applied Geophysics*, v. 67, n. 4, pp. 335-344

Hugenschmidt J., Kalogeropoulos A., Soldovieri F., Prisco G. (2010) 'Processing strategies for high-resolution GPR concrete inspections', *NDT&E International*, v. 43, n. 4, pp. 334-342

Hugenschmidt, J., Loser R. (2008) 'Detection of chlorides and moisture in concrete structures with ground penetrating radar', *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, v. 41, n. 4, pp. 785-792

Lai W. L., Kind T., Wiggenhauser H. (2010) 'Detection of accelerated reinforcement corrosion in concrete by Ground Penetrating Radar', *Proceedings of the XIII International Conference on Ground Penetrating Radar* edito da Crocco L., Orlando L., Persico R. e Pieraccini M, Lecce (Italia) 21-25 Giugno 2010,.pp.198-202

Maierhofer C., Leipold S. (2001) 'Radar investigation of masonry structures', NDT&E International, v. 34, n. 2, pp. 139-147

Matsuyama K., Oota S., Kawamorita M., Tamura I. (2000) 'Radar technique for detecting voids under concrete pavement', *Non Destructive Testing in Civil Engineering 2000 (Seiken symposium No. 26)*, edito da Taketo Uomoto, Tokio (Giappone), 25-27 Aprile 2000, pp. 559-566

Orlando L., Slob E. (2009) 'Using multicomponent GPR to monitor cracks in a historical building' *Journal of Applied Geophysics*, v. 67, n. 4, pp. 327-334

Pérez-Gracia V., Di Capua D., González-Drigo R., Caselles O., Pujades L.G., Salinas V. (2010) 'GPR resolution in Cultural Heritage applications' *Proceedings of the XIII International Conference on Ground Penetrating Radar* edito da Crocco L., Orlando L., Persico R. e Pieraccini M., Lecce (Italia) 21-25 Giugno 2010, pp.389-303 Pérez-Gracia V., García García F., Rodriguez Abad I. (2008) 'GPR evaluation of the damage found in the reinforced concrete base of a block of flats: A case study', *NDT & E International*, v. 41, n. 5, pp. 341-353

Solla M., Lorenzo H., Rial F. I., Novo A. (2010) 'GPR evaluation of the Roman masonry arch bridge of Lugo (Spain)', *NDT&E International*, v. 44, n. 1, pp. 8-12, Gennaio 2011

Solla M., Lorenzo H., Rial F.I., Novo A., Riveiro B. (2010) 'Masonry arch bridges evaluation by means of GPR' *Proceedings of the XIII International Conference on Ground Penetrating Radar*, Lecce (Italia) 21-25 Giugno 2010, pp.394-399

Zanzi L., Lualdi M. (2008) 'Recenti progressi nella tecnologia GPR e loro impatto sulle applicazioni per la diagnostica' *Il Giornale per le Prove non Distruttive monitoraggio Diagnostica* n. 4, pp. 47-53

#### 4 Palazzina della Viola: ricerca storica

Barbacci A. (1977) 'Monumenti di Bologna: distruzioni e restauri', Cappelli editore, Bologna

Cammarota ? (2011), progetto di ricerca in corso

Costa T., Poli M. (2004) 'Conoscere Bologna', Costa editore; Bologna

Giordano (1988) "Domus Agrarie" La Palazzina della Viola per il circolo delle Facoltà. Ricerca storica. Relazione consultate presso l'Area Ufficio Tecnico dell'Università di Bologna (AUTC)

Misley (1988) "Domus Agrarie" La Palazzina della Viola per il circolo delle Facoltà. Stato attuale: quadro d'insieme, pianta piano terra, piante piano primo. Tavole consultate presso l'Area Ufficio Tecnico dell'Università di Bologna (AUTC)

Servizio Cartografico e Geologico della Regione Emilia-Romagna, Carta Storica Regionale scala 1:50000, foglio 221, edizione 1999

Vianelli Athos (1982) 'Le strade e i portici di Bologna', Newton Compton editori, Roma Zucchini D., Zucchini G. (1935) 'La Palazzina della Viola in Bologna', stabilimenti tipografici riuniti, Bologna

# <u>Sitografia</u>

http://www.archiviostorico.unibo.it/ (consultato a giugno 2011), sito dell'Archivio Storico dell'Università di Bologna

http://maps.google.it (consultato a luglio 2011)

# 7 Palazzina della Viola: monitoraggio del microclima

Rosina E, Suardi G. (2007) 'L'adeguamento impiantistico in edifici storici: procedure per il controllo degli effetti sulle superfici interne', Atti della 12° Conferenza nazionale AIPND, Milano, pp.1-9

UNI 10829:1999 Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi.

# 12 Palazzo Malvezzi: prova di carico su trave lignea

Arbizzani L. (2001), 'Palazzo Malvezzi fra storia arte e politica', Provincia di Bologna, Bologna

Capobianchi L. (2010), 'Diagnostica di strutture storiche: il caso di studio del palazzo Malvezzi De'Medici di Bologna', Tesi di Laurea, Università di Bologna, Facoltà di Ingegneria, anno accademico 2008-09, sessione I

# 13 Palazzo Malvezzi: prova di carico su porzione di solaio della Sala Ovale

Francesco Scuro (2010), 'Palazzo Malvezzi de' Medici: interpretazione strutturale della volta nella Sala del Consiglio', Tesi di Laurea, Università di Bologna, Facoltà di Architettura, anno accademico 2009-10, Sessione II

# APPENDICE I: RILIEVO DEI SAGGI PRESENTI NEI SOLAI DELLA Palazzina della Viola

È di seguito riportata la collocazione dei saggi presenti nei solai (fig. I.1-I.3) dell'edificio oggetto d'indagini.

Detti saggi, eseguiti preventivamente ai lavori di restauro conservativo previsti, erano già presenti all'inizio delle indagini di questo lavoro.

Sono stati comunque rilevati nuovamente tutti i solai e sono state considerate, quale risultato del rilievo, le sole misure effettuate nell'ambito di tali rilievi. Tali misure, unitamente ad una documentazione fotografica degli stessi, sono riportate in fig. I.4-I.40. Laddove più di un saggio riveli lo stesso solaio è riportata un'unica tavola recante l'indicazione di tutti i saggi cui è riferita. I saggi sono identificati dalla stanza posta al di sopra dell'orizzontamento nel quale sono eseguiti; similarmente nelle piante i saggi sono indicati nella pianta del piano al di sopra rispetto al solaio cui sono riferiti.



Figura I.1: collocazione e codifica dei saggi presenti al piano terra.



Figura I.2: collocazione e codifica dei saggi presenti al primo piano.



Figura I.3: collocazione e codifica dei saggi presenti al secondo piano.



Figura I.4: saggio S01 presente nel solaio della stanza 1F8.



Figura I.5: sezione del saggio S01 presente nel solaio della stanza 1F8.



Figura I.6: saggio S02 presente nel solaio della stanza 1F9 (salone).



Figura I.7: sezione del saggio S02 presente nel solaio della stanza 1F9.



Figura I.8: saggio S03 presente nel solaio della stanza 1F3.



Figura I.9: sezione del saggio S03 presente nel solaio della stanza 1F3.



Figura I.10: saggio S04 presente nel solaio della stanza 1F2 (loggia centrale).



Figura I.11: sezione del saggio S04 presente nel solaio della stanza 1F2.



Figura I.12: saggio S05 presente nel solaio della stanza 1F1.



Figura I.13: sezione del saggio S05 presente nel solaio della stanza 1F1.



Figura I.14: saggio S06 presente nel solaio della stanza 1F4 (angolo ovest).



Figura I.15: sezione del saggio S06 presente nel solaio della stanza 1F4.



Figura I.16: saggio S07 presente nel solaio della stanza 1F6.



Figura I.17: sezione del saggio S07 presente nel solaio della stanza 1F6.



Figura I.18: saggio S08 presente nel solaio della stanza 2F5.



Figura I.19: sezione del saggio S08 presente nel solaio della stanza 2F5.





Figura I.20: saggio S09 presente nella stanza GF2 (loggia destra).

Figura I.21: saggio S18 presente nella stanza GF3 (corridoio).



Figura I.22: saggio S12 presente nella stanza GF5 (corridoio centrale).



Figura I.23: sezione dei saggi S09, S12, S18 e S20 presenti rispettivamente nelle stanze GF2, GF5, GF3 e GF4.



Figura I.24: saggio S10 presente nel solaio della stanza GF8.



Figura I.25: sezione del saggio S10 presente nel solaio della stanza GF8.



Figura I.26: saggio S11 presente nella stanza GF12.



Figura I.27: sezione A-A<sup>I</sup> del saggio S11 presente nella stanza GF12.



Figura I.28: dettaglio del saggio S11 presente nella stanza GF12.



Figura I.29: sezione B-B<sup>I</sup> del saggio S11 presente nella stanza GF12.





Figura I.30: saggio S13 presente nella stanza GF16.

Figura I.31: saggio S16 presente nella stanza GF13.



Figura I.32: sezione dei saggi S13 e S16 dei saggi presenti rispettivamente nelle stanze GF16 e GF15.



Figura I.33: saggio S14 presente nella stanza GF17.



Figura I.34: sezione del saggio S14 presente nella stanza GF17.



Figura I.35: saggio S15 presente nella stanza GF10.



Figura I.36: sezione del saggio S15 presente nella stanza GF10.



Figura I.37: saggio S17 presente nella stanza GF13.



Figura I.38: sezione del saggio S17 presente nella stanza GF13.



Figura I.39: saggio S19 presente nella stanza 2F5.



Figura I.40: sezione del saggio S19 presente nella stanza 2F5.

# APPENDICE II: SEZIONI QUOTATE DELLA PALAZZINA DELLA VIOLA CON RESTITUZIONE DI QUADRO FESSURATIVO E IMPIANTI

Sono di seguito riportate piante e sezioni, queste ultime quotate, della Palazzina della Viola, con la restituzione del quadro fessurativo e della posizione degli elementi relativi agli impianti, quali scatole e tracce dell'impianto elettrico e tubazioni dell'impianto di riscaldamento indicati, qualitativamente nelle posizioni cui sono presenti, a seguito di un'ispezione dell'edificio (fig. II.1-II.29).

È poi riportata un'essenziale documentazione fotografica (fig. II.30-II.40) di alcune fessure presenti nell'edificio.

Le informazioni presentate sono di ausilio per tre scopi:

- ulteriore supporto al rilievo geometrico dell'edificio (vedasi cap. 5);

- rilievo degli elementi relativi agli impianti visibili sulle pareti (vedasi cap. 5);

- restituzione completa del quadro fessurativo (vedasi cap. 6).

Relativamente alle sezioni è importante notare che essendo state prodotte quale supporto alle operazioni di rilievo, e dal momento che numerose misure sono in contrasto fra loro, i disegni non sono compatibili con le quote sovrariportate: le misure esatte sono da ritenersi la parte numerica mentre la parte grafica è da ritenersi qualitativa.

Relativamente alla parte di rilievo geometrico è importante notare che:

- le quote riportate per quanto concerne le dimensioni dei locali sono da intendersi, qualora siano presenti più misure, quelle più prossime alla parete visibile in prospetto nella sezione,

- le distanze da pavimento agli elementi costituenti il solaio, tipicamente travi, travetti e assito, indicate con le quote lineari, sono da intendersi eseguite con un distanziometro laser utilizzato da pavimento;

- le misure indicate nel formato 'trave (o travetto) B x H' sono invece da intendersi eseguite con l'ausilio di una scala e di un metro avvolgibile. È stato in questo caso indicato il valore medio qualora fosse stato rilevato un intervallo di valori.

L'eventuale discordanza tra le due serie di misure è quindi insita nel metodo di rilievo: vengono qui riportante entrambe per completezza e per eventuali riferimenti futuri nel proseguire delle indagini sull'edificio.

Relativamente al rilievo degli impianti questo è qui proposto in particolare a fini interpretativi dei risultati delle prove non distruttive (termografia in georadar).

Relativamente a tali prove la conoscenza della posizione di tubi o guaine dei fili elettrici, nota perché rilevata qualora siano state rimosse porzioni di intonaco o qualora siano visibili discontinuità nell'intonaco, oppure ipotizzata sulla base della posizione di radiatori e scatole dell'impianto elettrico, consente, soprattutto nel caso del georadar, una maggiore sicurezza in fase di interpretazione.



Figura II.1: pianta piano interrato con indicazione delle sezioni.



Figura II.2: pianta piano terra con indicazione delle sezioni e quadro fessurativo.



Figura II.3: pianta piano primo con indicazione delle sezioni e quadro fessurativo.







Figura II.5: prospetto sud-est della Palazzina della Viola.


Figura II.6: prospetto nord-est della Palazzina della Viola.



Figura II.7: prospetto nord-ovest della Palazzina della Viola.



Figura II.8: prospetto sud-ovest della Palazzina della Viola.



Figura II.9: sezione A-A<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.



Figura II.10: sezione B- $B^I$  della Palazzina della Viola.



Figura II.11: sezione C- $C^{l}$  della Palazzina della Viola.



Figura II.12: sezione D-D<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.



Figura II.13: sezione E- $E^{I}$  della Palazzina della Viola.



Figura II.14: sezione F-F<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.



Figura II.16: sezione G-G<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.



Figura II.17: sezione H-H<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.



Figura II.18: sezione I-I<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.



Figura II.19: sezione L- $L^{I}$  della Palazzina della Viola.



*Figura II.20: sezione M-M<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.* 



Figura II.21: sezione N-N<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.



Figura II.22: sezione O-O<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.



Figura II.23: sezione P-P<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.



Figura II.24: sezione Q-Q<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.



Figura II.25: sezione R-R<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.



Figura II.26: sezione S-S<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.



Figura II.27: sezione T-T<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.



Figura II.28: sezione U-U<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.



Figura II.29: sezione V-V<sup>I</sup> della Palazzina della Viola.



Figura II.30: fessure presenti nel Figura II.31: fessura presente nel zona a nord-ovest degli infissi WGF15 e zona fra gli infissi WGF19 e WGF20. W1F17.

prospetto sud-ovest della Palazzina, prospetto sud-ovest della Palazzina,



Figura II.32: fessura presente nel Figura II.33: fessura presente nel di sotto dell'infisso WGF15.



prospetto nord-ovest della Palazzina, al prospetto nord-ovest della Palazzina, al di sotto dell'infisso W1F11.



stanza GF17, angolo est (piano terra).

Figura II.34: fessura presente nella Figura II.35: fessure presenti nella stanza GF11, angolo est, fra muratura e canna fumaria (piano terra).



Figura II.36: fessura presente nella Figura II.37: fessura presente nella stanza GF17, parete sud-ovest (piano stanza GF10, angolo nord (piano terra). terra).





Figura II.38: distacchi di tinteggiatura Figura II.39: fessura presente nella presenti nella parete nord-est della stanza 1F1, angolo ovest (piano primo). stanza 1F7 (piano primo).



Figura II.40: fessure presenti al di sopra dell'infisso W1F31 localizzato nella parete nord-est della stanza 1F3 (primo piano).

## APPENDICE III: MISURE PER IL RILIEVO DEL MICROCLIMA DELLA PALAZZINA DELLA VIOLA

Sono riportati in tab. III.1-III.4 i valori di temperatura e di umidità relativa misurati all'interno della Palazzina della Viola al centro di ogni stanza (per la codifica delle stanze vedasi fig. 4.7, 4.10, 4.13 e 4.16) ed eseguite con un termoigrometro digitale all'altezza di circa 2,00 m dal piano di calpestio per quanto riguarda i valori acquisiti in data 31-01-2011 e in data 21-02-2011 mentre, per quanto concerne il 14-03-2011, le misure sono relative all'altezza approssimativa di 1,50 m. Sono inoltre riportati i valori di temperatura superficiale misurati, in alcune stanze, sulla parete nella direzione indicata. Le celle lasciate in bianco sono da intendersi indice della non disponibilità di misure per la stanza o la parete in esame. È stato fatto uso delle seguenti abbreviazioni:

- N = nord;
- E = est;
- S = sud;
- O = ovest.

Tabella III.1: valori di temperatura e umidità relativa misurati al piano interrato della Palazzina della Viola. In data 21-02-2011 le porte interne erano tutte aperte. Informazioni relative alla data del 31-01-2011 non sono disponibili.

STANZE		ARIA		PAI	REII
	31-01-11 ORE	21-02-11 ORE	14-03-11	21-02-11 ORE 12:00	14-03-2011
	10:50-11:05	10:15-10:20			
				parete NO 9,2°C	
LIF1	T=6,5℃	T=8,9°C		parete NE 9,1°C	
UTI	UR=90,3%	UR <i>=</i> 96,8%		parete SE 8,8°C	
				parete SO 8,8°C	
LIE?	T=6,6°C	T=9,1°C			
UTZ	UR=100,0%	UR=100,0%			
LIE2	T=6,7°C	T=9,1°C		porata NO 8 8°C	
UIJ	UR=86,2%	UR=94,2%		parcie NO 0,0 C	
LIEA	T=6,7°C	T=9,0°C			
Ur4	UR=86,9%	UR=96,5%			
LIES	T=6,9°C	T=9,2°C			
UIS	UR=84,3%	UR=95,8%			
LIEK	T=6,6°C	T=9,1°C			
ULO	UR=87,7%	UR=94,0%			
T ID7	T=6,4°C	T=8,6°C		parete SE 8,9°C	
Ur/	UR=88,9%	UR=96.8%		parete SO 8,8°C	
TIEN	T=6,4°C	T=8,7°C		parete NO 8,8°C	
UFO	UR=91,9%	UR=98,7%		parete SO 8,8°C	
T IEO	T=6,5°C	T=9,1°C			
UFY	UR=100,0%	UR=99,4%			

Tabella III.2: valori di temperatura e umidità relativa misurati al piano terra della Palazzina della Viola. In data 21-02-11 e 14-03-11 le porte interne erano tutte aperte ad eccezione, solo per il 14-03-11, di quelle della stanza GF17. Informazioni relative al 31-01-11 non sono disponibili.

STANZE		Aria		PA	REII
	31-01-11 ORE	21-02-11 ORE	14-03-11 ORE		14-03-11 ORE
	10:15-10:50	9:55-10:10	15:10-16:15		15:10-16:15
GF0	T=6,7°C	T=9,0°C	T=11,2°C		
	UR=88,5%	UR=89,7%	UR=90,9%		
GF1	1=5,9°C	T=8,0°C			
	UK=98,8%	UK=98,8%			angele E 11 49C
CEY	T=6,9°C	T=8,9°C	T=11,2°C	parete NE 9,4°C	angolo $E 11,4 C$
012	UR <i>=</i> 82,9%	UR=91,8%	UR=91,9%	parete NO 9,6°C	narete SO 11 5°C
~~~	T=62℃	T=84°C	T=111℃		puece 50 11,5 C
GF3	UR=82,2%	UR=92,5%	UR=91,8%		
CE4	T=7,1°C	T=8,7°C	T=11,1℃		
Gf4	UR=77,5%	UR=93,0%	UR=92,5%	parete NO 9,4°C	
CF5	T=7,3°C	T=9,3°C	T=10,8°C		
015	UR=77,1%	UR <i>=</i> 87,3%	UR=93,0%		
<b>CP</b> (	T=6.4℃	T=9.1℃	T=11.1℃	parete NO 9.6°C	angolo E 11,4°C
GF6	UR=81,2%	UR=87,0%	UR=86,9%	parete SE 9,5°C	parete SE 11,5°C
	T-7.0°C	T-0 5°C	T-11.0°C	1 ·	angolo 511,4°C
GF7	1 = 7,0 C LIR=76.0%	1-8,5 C LIR=01.0%	1-11,0 C	parete NO 9,1°C	
	01(-70,770	01(-)1,0/0	01(-)0,070	parete NE 96°C	
GF8	T=7,1°C	T=8,5°C		parete SE 9.9°C	
	UR≓/5,8%	UR=94,0%		parete SO 9,2°C	
	T-7.2°C	T-9 5°C	T-10.0°C	parete NO 9,1°C	angolo E 11,4°C
GF9	I = 7,2 C I = 7/10/2	1 = 0,5 C	1-10,9 C	parete SE 9,3°C	parete SE 11,4°C
	UK /4,170	OK 71,070	OR 71,570	parete SO 9,4°C	angolo S 11,4°C
CIT10	T=7.1°C	T=8,6°C	T=11.0°C	parete NO 9,4°C	angolo E 11,4°C
GF10	UR=80,4%	UR=90,1%	UR=92,4%	parete SE9,4°C	angolo S 11,4°C
	T-7.2°C	T-0.1%	T-10.7°C	parele SO 9,4°C	
GF11	I = 7.2 C I = 73.4%	I=9,1 C I=87.4%	I = 10,7 C I = 94.3%		
	T=69°C	T=69°C	T=10.7°C	~~~~~~	
GF12	UR=77,3%	UR=86,6%	UR=91,8%	parere SE 9,7°C	
	T-6.0%C	T-9.09C	T-10.0°C	parete NE 9.4°C	angolo N 10,8°C
GF13	1-0,9 C LID-76 1%	1-0,9 C LID -88 1%	1-10,8 C	parere SE 9.4°C	parete NO 10,8°C
	010-70,170	UK-00,170	01(-91,070	parete SO 9.4°C	angolo O 10,7°C
GF14		T=8,9°C	T=10,9°C		
		UR=89,2%	UR=91,4%		1.2244.000
GF15	T=6,9℃	1=8,9°C	1=10,9°C		angolo N 11,0°C
	UK-/8,9%	UK-88,8%	UK-92,4%	parata NO 0.49C	
	T=71°C	T=8.0°C	T=10.9°C	parete NF 9.4°C	angolo N 11,0°C
GF16	UR=78.1%	UR=88.5%	UR=897%	parete SE 94°C	parete NO 11,0°C
	0,170	010 00,070		parete SO 9.4°C	angolo O 11,1°C
CE17	T=7,2°C	T=8,8°C	T=11,1℃		angolo N 11,2°C
GF1/	UR=75,8%	UR=87,2%	UR=89,5%	parete 509,5°C	parete NO 11,3°C

## Tabella III.3: valori di temperatura e umidità relativa misurati al piano primo della Palazzina della Viola. In data 21-02-2011 le porte interne erano tutte chiuse mentre in data 14-03-2011 tali porte erano aperte. Informazioni relative al 31-01-11 non sono disponibili.

STANZE		ARIA		PA	REII
	31-01-2011	21-02-2011	14-03-2011	21-02-2011	14-03-2011
	ORE	ORE	ORE	ORE 12:00	ORE
	9:50-10:10	9:40-9:50	15:10-16:15		15:10-16:15
1F0			T=11,2°C UR=90,9%		
1P1	T=6,7°C UR=76,8%	T=9,6°C UR=84,5%	T=11,1°C UR=89,7%	parete NE 9,1°C parete SE 9,3°C parete SO 9,2°C	angolo E 11,4°C parete SE 11,5°C angolo S 11,8°C
1F2	T=6,5°C UR=77,8%	T=10,4°C UR=78,4%	T=11,1°C UR=82,6%	parete NO 9,6°C parete SE 9,4°C	angolo E 11,7°C parete SE 11,7°C angolo S 11,7°C
1F3	T=6,1°C UR=79,9%	T=10,2°C UR=77,3%	T=11,2°C UR=81,8%	parete SO 9,6°C	angolo E 11,7°C parete SE 11,6°C angolo S 11,6°C
1F4	T=6,8°C UR=84,6%	T=10,0°C UR=75,3%	T=11,1°C UR=82,2%	parete NO 9,9℃ parete SO 9,7℃	angolo O 11,3°C parete NO 11,3°C angolo N 11,2°C
1F5	T=6,5°C UR=80,9%	T=10,0°C UR=77,2%	T=11,1°C UR=83,4%	parete NE 9,5°C	angolo O 11,2℃ parete NO 11,2℃ angolo N 11,1℃
1F6	T=5,9°C UR=79,2%	T=9,9°C UR=78,9%	T=11,0°C UR=83,3%	parete NE 9,7°C	angolo O 11,1℃ parete NO 11,1℃ angolo N 11,1℃
1F7	T=6,2°C UR=84,0%	T=9,8°C UR=78,5%	T=11,1°C UR=84,4%	parete NE 9,7°C	angolo O 11,1℃ parete NO 11,1℃ angolo N 11,1℃
1F8	T=6,3℃ UR=87,0%	T=9,9°C UR=78,8%	T=11,0°C UR=85,8%	parete NO 10,2°C parete NE 10,2°C parete SE 10,1°C parete SO 10.3°C	
1F9	T=6,2°C UR=80,3%	T=9,8°C UR=79,5%	T=11,3°C UR=81,8%	parete SO 9,7°C	

Tabella III.4: valori di temperatura e umidità relativa misurati al piano secondo della Palazzina della Viola. In data 21-02-2011 la porta fra la stanza 2F5 e la stanza 2F4 era aperta mentre la porta fra la stanza 2F5 e la stanza 2F7 era chiusa. Informazioni relative al 31-01-11 non sono disponibili.

STANZE		ARIA		PA	RETI
	31-01-2011	21-02-2011	14-03-2011	21-02-2011	14-03-2011
	ORE	ORE		ORE 12:15	
	11:10-11:25	9:50-9:55			
<b>2</b> F1	T=6,4°C	T=9,3℃		parate NE 0.5%	
<b>2</b> 1 1	RH=87,5%	RH=88,7%		partice TNE 9,5 C	
JEJ	T=6,2°C	T=9,0°C		porata NO 0.49C	
262	RH=90,1%	RH=86,0%		partie NO 9,4 C	
<b>2E</b> 2	T=5,5℃	T=9,4%		porto SO 0.4°C	
253	RH=86,4%	RH=86,5%		parete 50 9,4 C	
<b>)</b> E4	T=5,0°C	T=9,5°C			
264	RH=88,5%	RH=85,0%			
205	T=5,1°C	T=9,5°C		parete NO 9,4°C	
213	RH=88,5%	RH=84,0%		parete SE 9,5°C	
<b>)</b> EK	T=5,1°C	T=9,5°C		porto SO 0.4°C	
260	RH=88,5%	RH=84,0%		parete 50 9,4 C	
017	T=4,8°C	T=9,3°C			
2 <b>F</b> /	RH=90,2%	RH=85,5%			
200	T=4,7°C	T=9,7°C			
213	RH=87,2%	RH=83,3%			

Si riportano (tab. III.5) tutte le misurazioni eseguite nell'ambito delle indagini effettuate dal 14-02-2011 al 14-03-2011 ordinate in ragione alla giornata ove sono state eseguite le misure e, in subordine, in base al codice della stanza.

Esse costituiscono una base di dati utile nel seguito del progetto qualora si voglia eseguire un confronto dei valori misurati con quelli di altri sistemi di monitoraggio o seguire l'evoluzione delle misure relative ad una specifica stazione nel tempo.

Per i dettagli si rimanda al paragrafo 7.5. Le misure relative ad ogni stanza (per la codifica delle stanze vedasi fig. 4.7, 4.10, 4.13 e 4.16) sono riportate in una singola colonna della tabella dove la prima misura di ogni linea è indicata con carattere grassetto; i valori mancanti sono da considerarsi non misurati per impedimenti tecnici quali presenza di arredi non spostabili, affreschi appoggiati alle pareti o altri ingombri.

Eventuali informazioni disponibili sulla condizione di porte, tende o altri elementi di rilievo sono annotate anche'esse ad eccezione delle seguenti date, ove è stata osservata la sotto elencata regolarità nella condizione delle porte interne:

- 07-03-2011, porte interne chiuse;

- 09-03-2011, porte interne aperte limitatamente al piano terra e porte interne chiuse limitatamente al primo piano;

- 14-03-2011, porte interne aperte.

14-02	-2011	14-02	-2011	17-02	-2011	17-02	-2011	17-02	-2011	17-02-	2011
1F	72	11	<b>79</b>	G	F6	G	F <b>8</b>	G	F9	GF	10
ore 1	1:07	ore	9:40	ore 1	0:00	ore 1	0:05	ore 1	0:07	ore 1	0:15
				Porte aperte						Porte aperte	
										Tende d	chiusa
11,1	83,4	11,9	80,1	11,1	82,1	10,4	82,5	10,3	86,8	10,1	85,5
11,2	82,5	12,0	84,5	11,1	81,8	10,5	83,4	10,3	86,3	10,1	84,8
11,3	82,2	12,0	78,0	11,1	81,5	10,5	83,2	10,2	85,8	10,1	84,4
11,3	82,1	12,0	77,0	11,1	81,1	10,5	83,1	10,2	85,4	10,2	84,1
11,3	81,6	12,0	77,5	11	81,1	10,5	82,7	10,2	85,3	10,2	84,0
11,3	80,5	11,9	77,8	11,1	80,5	10,5	82,7	10,2	85,8	10,2	84,0
11,3	81,4	11,9	78,5	10,9	80,4	10,5	82,7	10,2	85,2	10,2	84,1
11,3	81,5	12,0	79,8	10,9	80,4	10,5	82,8	10,1	84,9	10,1	84,0
11,2	82,0	12,0	76,8	10,9	80,5	10,5	82,8	10,1	85,0	10,1	84,3
11,3	81,5	11,8	77,7	10,8	80,5	10,5	82,9	10,2	85,0	10,1	83,9
11,3	81,0	11,9	77,8	10,8	81,2	10,4	83	10,1	85,0	10,1	83,7
11,3	81,5	11,8	78,1	10,8	81,1	10,4	83	10,1	85,1	10,1	83,8
11,3	81,9	11,8	78,0	10,7	81	10,5	82,9	10,1	85,1	10,1	83,9
11,3	81,8	11,8	79,3	10,7	80,8	10,5	83	10,1	85,0	10,1	84,0
11,2	81,5	11,7	78,0	10,7	80,7	10,5	82,7	10,1	85,1	10,1	84,0
11,2	81,6	11,7	78,5	10,7	80,6	10,5	82,9	10,2	85,1	10,1	84,2
11,2	80,6	11,4	79,1	10,8	80,5			10,2	85,1	10,0	84,2
11,3	82,8	11,6	78,5	10,8	80,7			10,1	85,0	10,1	84,0
11,2	83,2	11,5	79,8	10,8	80,9			10,1	84,8	10,1	84,4
11,1	81,8	11,5	79,3	10,8	80,9			10,1	84,7	10,1	84,0
11,2	82,5	11,4	79,1	10,7	81,2			10,1	84,9	10,3	83,8
11,1	82,8	11,3	80,0	10,8	80,8			10,1	84,8	10,2	83,7
11,1	82,7	11,3	80,3	10,8	80,7			10,0	84,7	10,2	83,5
11,3	81,6	11,3	80,5	10,7	81			10,0	84,9	10,1	83,5
11,6	82,0	11,3	80,3	10,7	81			10,1	84,6	10,1	83,9
11,3	80,3	11,3	81,0							10,2	82,8

Tabella III.5: misure rilevate per la costruzione delle mappe del microclima interno della Palazzina della Viola fra il 14-02-2011 e il 14-03-2011.

11,3	81,5	11,2	81,0							10,2	82,4
11,3	81,4	11,2	82,0							10,2	82,5
11,2	83,0	11,3	80,8							10,2	83,1
11,3	81,8	11,2	82,3							10,2	82,8
11,2	82,5	11,3	81,4							10,2	82,9
11,3	82,0	11,3	81,0							10,2	82,8
		11,3	80,2							10,0	83,2
		11,3	80,5							10,1	83,3
		11,3	80,5							10,1	83,0
		11,4	81,0							10,1	83,2
		11,3	80,6							10,2	83,4
		11,1	81,0							10,2	83,4
		11,2	80,5							10,2	83,4
		11,4	82,3							10,2	83,3
17-02	-2011	17-02	-2011	17-02	-2011	17-02	-2011	17-02	-2011	17-02-	2011
1F	71	11	72	11	F <b>4</b>	11	F5	11	76	1F	7
ore	9:38	ore 1	0:50	ore 1	1:35	ore 1	1:30	ore 1	1:25	ore 1	1:15
Affre	eschi			Arma	dio di	Porte	chiuse				
appog	ggiati			front	e alla						
alla fi	nestra			finest	ra NE						
N	Έ			5							
10.5	82.2	10.7	78.6	10.8	77.9	11.1	78.5	11.0	78.3	11.0	78.8
10.5	81.7	10.8	78.2	10.8	73.3	11.1	77.8	11.0	78.1	11.0	78.5
10,5	81,6	10,8	77,3	10,7	77,1	11,1	77,7	10,9	78,0	11.0	78,5
10,5	81,5	10,9	77,3	10,8	77,3	11,0	77,3	10,9	77,8	11,1	78,5
10,5	81,6	10,9	77,0	10,8	77,4	11,0	77,2	10,9	77,7	11,0	78,3
10,5	81,8	11,0	77,0	10,8	77,1	10,9	77,8	10,8	77,7	11,0	78,3
10,5	82,5	11,0	76,8	10,8	76,7	10,8	77,6	10,8	77,4	10,9	78,5
10,5	82,8	11,0	76,7	10,8	76,7	10,8	77,1	10,8	77,4	10,9	78,8
10,4	84,0	11,0	76,6	10,8	76,7	10,8	77,5	10,8	77,7	10,9	78,8
10,4	83,7	11,1	76,7	10,8	76,8	10,9	77,8	10,8	77,8	10,9	78,7
10,4	83,6	11,1	77,2	10,7	76,8	10,9	77,7	10,9	77,7	10,9	78,8
10,4	83,7	11,1	77,5	10,7	76,9	10,9	77,4	11,0	77,8	10,9	78,8
10,4	83,7	11,1	77,4	10,6	77,0			10,9	78,0		
10,4	84,0	11,2	77,5	10,6	77,2			10,9	77,9		
10,4	83,9	11,2	77,5	10,6	77,2			10,9	78,0		
10,4	83,9	11,2	77,5	10,6	77,2			10,9	78,1		
10,4	84,7	11,3	77,3	10,6	77,2			10,8	77,9		
10,3	84,6	11,2	77,6	10,6	77,2			10,8	77,7		
10,4	84,6	11,2	77,6	10,6	77,3			10,8	77,8		
10,5	84,8	11,3	77,5	10,6	77,4			10,8	77,9		
10,4	84,9	11,3	77,6	10,6	77,0						
10,4	84,8	11,3	77,7	10,6	77,0						
10,4	84,6	11,3	77,6	10,6	77,0						
10,4	84,5	11,3	77,6	10,6	77,1						
10,3	85,0	11,3	77,8								
10,3	84,6	11,3	77,6								
10,3	84,5	11,4	77,4								

10.3	84 5	113	774								
10,5	8/1 8/1	11,3	773								
10,3	8/1	11,3	77.2								
10,3	84 1	11, - 11 <i>A</i>	77.6								
10,3	8/1	11,7	77.5								
10,5	<b>84</b> 6	11,5	11,5								
10,0	84.6										
10,0	84.6										
10,0	84.0										
17_02	-2011	17_02	_2011	17-02	2011	01_03	_2011	01_03	2011	01_03	2011
17-02	-2011	17-02	-2011	17-02	-2011	01-05	-2011	01-05	-2011	01-05-	-2011
1F	<b>78</b>	11	F <b>9</b>	21	75	U	F <b>3</b>	U	F <b>7</b>	UF	° <b>8</b>
ore 1	0:00	ore	9:25	ore 1	0:35	ore 1	5:35	ore 1	5:30	ore 1	5:15
Porte d	chiuse	Porte	chiuse	Porta n	er 2F7						
				chi	'						
				Cnii	<i>n</i> 5u		<b>a</b> :				
-	-	14,0	77,5	10,3	83,5	9,5	81,3	10,0	77,7	13,1	71,5
11,4	78,1	13,7	//,l	10,5	82,8	9,6	81,1	10,1	/9,0	12,8	72,3
11,1	/8,0	13,3	//,6	10,5	82,6	9,4	80,8	10,0	//,9	12,5	/1,4
11,1	//,0	13,0	//,l	10,4	82,5	9,4	80,6	10,0	//,/	12,4	/2,0
11,1	77.0	12,9	/8,1	-	-	9,5	81,7	9,9	//,8	12,4	/2,8
11,1	//,0	12,9	/8,1	10,3	83,3	9,4	80,7	10,0	11,2	12,0	/2,6
-	-	12,9	//,/	10,5	83,2	9,5	<b>80,</b> /	9,9	//,0	12,0	73,0
11,1	77.0	12,9	77,8	10,0	83,0	9,4	81,1	10,0	79.2	11,9	72,7
11,0	76.9	12,0	77.5	10,0	83,0 82.7	9,3	80,3	10,0	77.0	11,0	72,0
11,0	76,8	12,7	11,5	10,7	82,7	9,5	80,4	10,0	77.0	11,5	72,3
11,0	76.0	12,3 12.4	79.2	10,0	82,3			10,0	77.0	11,5	71.0
11,0	76.9	12,4	78,5	10,0	02,0			10,0	77,0	11,5	71,0
11,0 11.1	76,8	12,3 12.3	78,0	10,0	82.6			10,0	76.4	11,0	71,0
11,1 11 0	76.8	12,3 12.2	78.0	10,0	82,0			10,0	75.8	11,0	/1,/
11,0	76.8	12,2 12.2	78,0	10,5	82,5			10,0	75,8		
11,0	76,7	12,2	77,0	10,5	82,0						
11,0	77.0	12.1	77.0	10,5	82,0						
11,0	76.9	12,1 12.0	777	10,5	82.7						
11.0	77 1	11.9	777	10.5	82.6						
11.0	77.1	11.9	78.2	10.5	82.7						
11.1	77.1	11.9	78.3	10.5	82.7						
11,1	77,0	11.8	78.2	10,5	82,9						
11,0	77,2	11,8	78.3	10,5	82,9						
11,0	77,1	11,7	78,9	10,6	83,2						
11,0	77,2	11,7	78,2	10,6	83,0						
11,0	77,2	11,6	78,2	10,6	82,8						
10,9	77,1	11,5	78,3	10,5	82,5						
11,0	77,1	11,5	78,4	10,5	82,7						
10,9	77,0	11,4	78,3	10,5	82,7						
10,9	77,0	11,4	78,4	10,5	82,7						
10,9	77,1	11,4	78,3	10,5	82,5						
10,9	77,0	11,3	78,8								
10,9	77,0	11,3	78,4								

10.9	773	113	78 5								
10,7	11,5	11,5	78.7								
		11,2	78.8								
		11,2 11.2	78.8								
		11,2	78,6								
		11,2	70,0								
07.02	2011	11,2	70,0	07.02	2011	07.02	2011	07.02	2011	07.03	2011
07-03	-2011	07-03	-2011	07-03	-2011	07-03-2011		07-03-2011		07-03-2011	
G	F <b>2</b>	GF3 6	e GF4	G	F5	GF6		GF8		GF9	
ore 1	2:40	ore 1	1:30	ore 1	1:25	ore 1	ore 11:35		2:05	ore 1	2:07
Porte	aperte									Mancar	ite una
										porzio	ne del
										vetro	della
										fina	atra
										Jines	uru
11,0	34,9	8,3	53,0	8,2	58,1	8,6	43,8	8,5	47,0	8,0	35,6
9,2	33,1	8,3	53,5	8,2	58,0	8,7	43,5	8,5	46,9	8,1	35,7
10,4	31,5	8,3	52,9	8,2	58,0	8,7	43,5	8,4	46,6	8,1	35,6
10,1	31,5	8,3	53,7	8,1	57,5	8,6	43,6	8,4	46,6	8,1	35,4
10,2	31,6	8,0	54,2	8,1	57,8	8,6	43,7	8,4	46,8	8,1	35,3
10,1	31,8	8,0	53,8	8,1	57,3	8,6	45,9	8,4	46,8	8,2	35,4
10,1	32,5	8,0	54,4	8,1	57,5	8,6	45,4	8,4	46,8	8,2	35,7
10,0	32,3	8,7	54,0	8,1	59,2	8,7	44,8	8,4	46,7	8,1	35,7
10,0	32,3	8,1	53,5			8,8	44,7	8,3	46,9	8,1	35,5
10,0	33,2	8,2	54,4			8,9	44,6	8,3	47,1	8,1	35,4
10,0	33,5	8,2	54,7			8,7	44,7	8,3	47,1	8,0	36,2
10,0	33,2	8,2	55,2			8,7	44,8	8,3	47,1	8,1	36,0
10,0	33,4	8,2	55,0			8,7	45,1	8,3	47,2	8,1	35,9
9,8	34,9	8,1	55,3			8,7	45,1	8,3	47,4	8,0	35,8
9,7	35,9	8,1	55,6			8,7	45,1	8,3	47,4	8,0	35,8
9,6	36,1	8,1	55,0			8,7	45,2	8,2	46,7	8,1	35,8
9,5	37,0	8,1	54,9			8,7	45,7			8,1	35,9
9,6	37,4	8,2	55,3			8,8	45,8			8,1	35,9
9,6	36,6					8,7	45,4			8,1	35,9
9,6	36,3					8,8	45,3			8,0	35,9
9,5	35,0					9,0	45,4			8,0	36,8
9,5	35,0					9,0	45,3			8,0	36,6
9,7	34,9					8,9	45,3			8,0	36,4
9,6	35,2					8,9	45,3			8,0	36,4
9,9	35,5					8,9	45,6			8,0	36,5
9,4	35,0										
9,9	35,2										
07-03	-2011	07-03	-2011	07-03	-2011	07-03	-2011	07-03	-2011	07-03-	-2011
GF	510	GF	511	GI	F12	GI	F <b>13</b>	GF	14 e	GF	16
ore 1	2:15	ore 1	1:15	ore 1	1:55	ore 1	1:07	GI	F15	ore 1	0:53
Porta	verso			Porta	aperta	Scuri	aperti	ore	1:05		
GF4 d	aperta							_			
8,6	42,2	-	-	10,4	54,4	8,0	70,2	7,9	68,2	7,6	73,0

8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,8 43,5 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1 42,1 36,2 38,7 40,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8	09-03 GI ore 1	-2011 F2 0:45	09-03 GF3 d ore 1	-2011 e GF4 1:40	09-03 Gl	-2011 F5 1:35	09-03 GI ore 1 Prese riscala	-2011 F6 0:55 nte un datore	09-03- GH ore 1	- <b>2011</b> - <b>2011</b> - <b>78</b> 1:00
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,8 43,5 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1 42,1 36,2 38,7 40,8 42,3 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,5 32,9 2011 7 :50	09-03 GI ore 1	-2011 F2 0:45	09-03 GF3 0 ore 1	-2011 e GF4 1:40	<b>09-03</b> GI ore 1	-2011 F5 1:35	09-03 GI ore 1 Prese	-2011 F6 0:55 nte un	09-03- GF ore 1	
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4	44,1   44,0   44,0   43,8   43,5   43,3   43,4   44,6   45,5   42,1   36,2   38,7   40,8   42,3   42,8   42,8   42,8   42,8   42,6   32,9   2011   7   :50	09-03 Gl ore 1	-2011 F2 0:45	09-03 GF3 0 ore 1	-2011 e GF4 1:40	09-03 Gl ore 1	-2011 F5 1:35	09-03 G ore 1	-2011 F6	09-03- GH ore 1	-2011 -2011 78 1:00
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,7 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,8 43,5 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1 42,1 36,2 38,7 40,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8	09-03 Gl	-2011 F2	09-03 GF3 d	-2011 e GF4	09-03 G	-2011 F5	09-03 G	-2011 F6	09-03- GF	-2011 78
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,8 43,5 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1 42,1 36,2 38,7 40,8 42,3 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,6 32,9 2011 7	09-03		09-03 GF3 d	-2011 e GF4	09-03 G	-2011 F5	09-03 G	-2011 F6	09-03-	-2011
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,7 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,8 43,5 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1 42,1 36,2 38,7 40,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9 42,9	09-03	-2011	09-03	-2011	09-03	-2011	09-03	-2011	09-03-	-2011
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,7 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,8 43,5 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1 42,1 36,2 38,7 40,8 42,3 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,8 42,6 32,9										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,7 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,5 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1 42,1 36,2 38,7 40,8 42,3 42,8 42,8 42,8 42,8 42,6										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,7 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,8 43,5 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1 42,1 36,2 38,7 40,8 42,3 42,8 43,3 42,8 42,8 42,8										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,7 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,5 4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,8 43,5 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1 42,1 36,2 38,7 40,8 42,3 42,8 43,3 42,8 43,3 43,4 42,1 42,1 40,0 42,1 40,0 42,1 40,0 42,1 40,0 42,1 40,0 42,1 40,0 42,1 40,0 42,1 40,0 42,1 40,0 42,1 42,1 40,0 42,1 40,0 42,1 40,0 42,1 40,0 42,1 40,0 42,1 40,0 42,1 40,0 40,0 42,1 40,0 42,1 40,0 40,0 42,1 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0 40,0										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,5 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1 42,1 36,2 38,7 40,8 42,3 42,8										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,7 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,8 43,5 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1 42,1 36,2 38,7 40,8 42,3										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,7 4   10,4 4   10,4 3   10,4 3   10,4 3   10,4 4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,5 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1 42,1 36,2 38,7 40,8										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,5 4   10,5 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,5 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1 42,1 36,2 38 7										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,5 4   10,5 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,5 43,5 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1 42,1 36,2										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,5 4   10,5 4   10,4 4   10,4 4   10,4 4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,8 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1 42,1										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,5 4   10,5 4   10,5 4   10,4 4   10,4 4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,5 43,3 43,4 44,6 45,5 42,1										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,5 4   10,5 4   10,4 4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,8 43,3 43,4 44,6 45,5										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,5 4   10,5 4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,5 43,3 43,4 44,0										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,5 4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,5 43,3 42,4										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,5 4	44,1 44,0 44,0 43,8 43,5 42,2										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4	44,1 44,0 44,0 43,8 42,5										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4   10,6 4	44,1 44,0 44,0 44,0										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   10,6 4   10,6 4	44,1 44,0 44,0										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4	44,1 44,0										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4   9,1 4	44,1										
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4   9,1 4										7,8	71,9
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4	43,5									7,9	71,9
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   9,1 4	43,1									7,9	71,7
8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4	43,1									7,9	72,0
8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4	43,2	7,9	67,4	8,7	57,4	8,0	71,8			7,8	72,2
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4	43,2	7,8	68,2	8,8	55,2	8,0	71,8			7,7	72,4
8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4   8,8 4	43,2	7,9	68,7	8,9	56,9	8,0	71,5			7,8	73,0
8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4     8,8   4	43,5	7,8	69,2	8,9	56,4	8,0	71,4	- , -	- ,-	7,8	73,6
<b>8,8</b> 4 8,8 4 8,8 4	44,5	7,7	68,5	8,9	56,1	7,9	71.8	8,1	65,5	7.9	73.5
<b>8,8</b> 4	43.1	7.7	68.6	8.9	56.1	7.9	72.9	8.2	64.1	7,0	73.4
	43.0	77	68.9	9,2	<u> </u>	7,9	72.9	8,0	65 0	7,8	72.9
0,0 4	43,2 13 1	7,0 7.8	08,1 68,6	9,5	55,2 55 0	7,9	71,9	7,9	65.9	7,9	73,0
8,7 4	43,1	/,/	<u>68,2</u>	9,4	55.2	7,9	/1,1 71.0	7,9	<b>66,5</b>	7.0	$\frac{73,0}{73,0}$
8,/ 4	42,8	/,/	68,5	9,6	55,3	8,0	/1,2	8,0	65,8	7,9	72,9
8,7 4	42,8	7,7	<b>68,</b> 7	9,7	54,7	8,0	70,8	7,9	66,0	7,9	72,8
8,7 4	43,1	-	-	9,6	55,6	8,0	70,9	7,8	66,6	7,8	72,8
8,7 4	42,2	7,8	68,9	9,8	55,3	8,0	70,1	7,9	65,9	7,9	72,9
8,6 4	42,1	7,8	68,/	10,2	33,4	8,0	70,2	7,9	64,5	7,8	/3,0

8,2	71,3	13,5	43,3	7,2	53,2	7,2	55,4	9,9	48,4	9,2	48,9
8,2	70,3	13,4	45,0	7,3	54,2	7,2	55,7	9,9	47,7	9,2	48,8
8,2	69,9	13,1	45,5	7,3	54,5	7,2	56,0	9,9	47,7	9,3	48,6
8,1	70,0	12,7	46,6	7,3	54,9	7,2	56,2	10,0	47,2	9,3	48,5
8,1	70,1	12,7	46,8	7,3	55,0	7,2	56,2	10,0	47,1	9,3	48,7
8,1	70,5	12,2	47,3	7,3	54,9			10,1	47,0	9,1	48,7
8,0	71,7	12,2	48,1	7,3	54,9			10,1	46,8	9,1	48,9
8,0	70,6	12,0	49,5	7,3	54,9			10,1	46,8	9,1	48,8
8,0	70,0	12,0	49,3	7,3	54,9			10,1	46,9	9,1	48,7
8,0	70,0	11,9	50,0	7,3	54,9			10,1	47,0	9,0	48,8
8,1	69,6	11,9	50,3	7,3	54,6			10,1	46,9	9,0	48,7
8,1	69,0	11,7	50,1	7,3	54,7			10,1	46,2	9,0	48,8
8,1	68,8	11,4	49,2	7,3	54,7			10,1	46,1	9,0	48,9
		11,4	49,5	7,3	54,3			10,1	46,2		
		11,3	50,3	7,3	54,1			10,1	46,2		
		10,9	56,2					10,1	46,3		
		10,7	48,2					10,1	46,4		
		10,7	49,5					10,1	46,4		
		10.8	49,9					10,1	46,4		
		10,8	50,7					10,1	46,4		
		10,8	57,7					10,1	46,4		
		10.7	52.6					10.1	46.5		
		10.6	53.0					~ , _	,.		
		10.4	52.7								
		- )	- , .								
09-03	-2011	09-03	-2011	09-03-2011		09-03	-2011	09-03	-2011	09-03-	2011
09-03	-2011	09-03	-2011	09-03	-2011	09-03	-2011	09-03	-2011	09-03-	-2011
09-03 Gl	-2011 F9	09-03 GF	-2011 510	09-03 GF	-2011 F11	09-03 GF	-2011 12	09-03 GF	-2011 713	09-03- GF1	2011 4 e
<b>09-03</b> Glore 1	<b>-2011</b> F9 1:05	<b>09-03</b> GF ore 1	-2011 510 1:10	<b>09-03</b> GF ore 1	<b>-2011</b> 5 <b>11</b> 1:35	<b>09-03</b> GF ore 1	-2011 12 1:35	<b>09-03</b> GH ore 1	-2011 F13 1:30	09-03- GF1 GF	·2011 4 e 15
<b>09-03</b> Gl ore 1	<b>-2011</b> F <b>9</b> 1:05	<b>09-03</b> GF ore 1	<b>-2011</b> 7 <b>10</b> 1:10	<b>09-03</b> GF ore 1	<b>-2011</b> F <b>11</b> 1:35	<b>09-03</b> GF ore 1	-2011 12 1:35	<b>09-03</b> GI ore 1	-2011 F13 1:30	09-03- GF1 GF	-2011 4 e 15 1:25
<b>09-03</b> Glore 1	<b>-2011</b> F <b>9</b> 1:05	<b>09-03</b> GF ore 1	-2011 510 1:10	<b>09-03</b> GF ore 1	-2011 511 1:35	<b>09-03</b> GF ore 1	-2011 1:35	<b>09-03</b> GH ore 1	-2011 F13 1:30	<b>09-03</b> - <b>GF1</b> <b>GF</b> ore 1	-2011 .4 e 15 1:25
<b>09-03</b> Glore 1 <b>8,7</b>	-2011 F9 1:05 44,5	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 7,7	-2011 510 1:10 47,9	<b>09-03</b> GF ore 1 7,0	-2011 511 .1:35 59,1	<b>09-03</b> GF ore 1 7,1	-2011 1:35 56,8	<b>09-03</b> <b>GH</b> ore 1 7,2	-2011 713 11:30 59,4	<b>09-03</b> - <b>GF1</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,2</b>	-2011 4 e 15 1:25 58,6
<b>09-03</b> Glore 1 <b>8,7</b> 8,8	-2011 F9 1:05 44,5 44,5	<b>09-03</b> GF ore 1 7,7 7,8	-2011 510 1:10 47,9 48,0	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,0</b> 7,1	-2011 F11 1:35 59,1 58,8	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,1</b> 7,1	-2011 512 1:35 56,8 56,6	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,2</b> 7,1	-2011 713 1:30 59,4 59,8	<b>09-03</b> - <b>GF1</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,2</b> 7,2	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4
<b>09-03</b> G ore 1 <b>8,7</b> 8,8 8,8	-2011 F9 1:05 44,5 44,3	<b>09-03</b> GF ore 1 7,7 7,8 7,9	-2011 510 1:10 47,9 48,0 48,1	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,0</b> 7,1 7,1	-2011 511 1:35 59,1 58,8 58,4	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,1</b> 7,1 7,2	-2011 T12 1:35 56,8 56,6 55,6	<b>09-03</b> <b>GH</b> ore 1 <b>7,2</b> 7,1 7,1	-2011 713 11:30 59,4 59,8 59,9	<b>09-03-</b> <b>GF1</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,2</b> 7,2 7,2	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8
<b>09-03</b> Glore 1 <b>8,7</b> 8,8 8,8 8,8 8,9	-2011 F9 1:05 44,5 44,3 44,2	<b>09-03</b> GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9	-2011 510 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1	<b>09-03</b> GF ore 1 7,0 7,1 7,1 -	-2011 F11 1:35 59,1 58,8 58,4 -	<b>09-03</b> GF ore 1 7,1 7,2 7,2 7,2	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6	<b>09-03</b> <b>GH</b> ore 1 <b>7,2</b> 7,1 7,1 7,0	-2011 713 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0	<b>09-03-</b> <b>GF1</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,2</b> 7,2 7,2 <b>7,2</b> <b>7,2</b>	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,0
<b>09-03</b> G ore 1 <b>8,7</b> 8,8 8,8 8,8 8,9 8,9	-2011 F9 1:05 44,5 44,3 44,2 45,0	<b>09-03</b> GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9 <b>8,0</b>	-2011 510 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1 48,5	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,0</b> 7,1 7,1 - <b>7,2</b>	-2011 F11 1:35 59,1 58,8 58,4 - 58,2	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,1</b> 7,2 7,2 <b>7,2</b> <b>7,2</b>	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6 55,6 56,0 56,0	09-03 GF ore 1 7,2 7,1 7,1 7,0 7,0 7,0	-2011 F13 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0 60,1	<b>09-03-</b> <b>GF1</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,2</b> 7,2 <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b>	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,8 57,0 56,7
<b>09-03</b> Gl ore 1 <b>8,7</b> 8,8 8,8 8,8 8,9 8,9 <b>8,9</b> <b>8,9</b>	-2011 F9 1:05 44,5 44,3 44,2 45,0 44,5	<b>09-03</b> GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9 8,0 8,0	-2011 510 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1 48,5 48,8 100	<b>09-03</b> GF ore 1 7,0 7,1 7,1 7,2 7,2	-2011 511 1:35 59,1 58,8 58,4 - 58,2 58,0 -	<b>09-03</b> GF ore 1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6 55,6 55,9 55,9	09-03 GH ore 1 7,2 7,1 7,1 7,0 7,0 7,0	-2011 713 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0 60,1 60,1	09-03- GF1 GF ore 1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,0 56,7 56,4
<b>09-03</b> Glore 1 <b>8,7</b> 8,8 8,8 8,8 8,9 8,9 <b>8,9</b> <b>8,9</b> 8,9	-2011 F9 1:05 44,5 44,3 44,2 45,0 44,5 44,5	09-03 GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9 7,9 8,0 8,0 8,0	-2011 510 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1 48,5 48,8 48,8 48,8	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,0</b> 7,1 7,1 <b>7,2</b> 7,2 7,2	-2011 F11 1:35 59,1 58,8 58,4 - 58,2 58,0 57,8 7	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,1</b> 7,2 7,2 <b>7,2</b> 7,2 7,2 7,2	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6 55,6 55,9 55,9 55,4	09-03 GF ore 1 7,2 7,1 7,1 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0	-2011 F13 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0 60,1 60,1 60,1 60,1	09-03- GF1 GF ore 1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,0 56,7 56,4 55,5
<b>09-03</b> Gl ore 1 <b>8,7</b> 8,8 8,8 8,9 8,9 <b>8,9</b> <b>8,9</b> 8,9 8,9	-2011 F9 1:05 44,5 44,5 44,3 44,2 45,0 44,5 44,5 44,4	09-03 GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0	-2011 510 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1 48,5 48,8 48,8 48,8 48,4 15,5	<b>09-03</b> GF ore 1 7,0 7,1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 511 1:35 59,1 58,8 58,4 - 58,2 58,0 57,8 57,9	<b>09-03</b> GF ore 1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6 55,6 55,9 55,4 54,8 5,4	09-03 GF ore 1 7,2 7,1 7,1 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0	-2011 713 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0 60,1 60,1 60,3 60,3	09-03- GF1 GF ore 1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,1 7,1	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,0 56,7 56,4 55,5 55,2
<b>09-03</b> Gl ore 1 <b>8,7</b> 8,8 8,8 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9	-2011 F9 1:05 44,5 44,5 44,3 44,2 45,0 44,5 44,5 44,4 44,6	09-03 GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9 7,9 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0	-2011 510 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1 48,5 48,8 48,8 48,8 48,4 48,4 48,2	<b>09-03</b> GF ore 1 7,0 7,1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 F11 1:35 59,1 58,8 58,4 - 58,2 58,0 57,8 57,9 58,6 -	09-03 GF ore 1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6 55,6 55,9 55,4 54,8 54,7 2:011	09-03 GF ore 1 7,2 7,1 7,1 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0	-2011 F13 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0 60,1 60,1 60,1 60,3 60,9 60,9	09-03- GF1 GF ore 1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,1 7,1	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,0 56,7 56,4 55,5 55,2 55,2
<b>09-03</b> Gl ore 1 <b>8,7</b> 8,8 8,8 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9	-2011 F9 1:05 44,5 44,5 44,3 44,2 45,0 44,5 44,5 44,4 44,6 44,5	09-03 GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0	-2011 510 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1 48,5 48,8 48,8 48,8 48,4 48,2 48,2	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,0</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b></b>	-2011 F11 1:35 59,1 58,8 58,4 - 58,2 58,0 57,8 57,9 58,6 58,7 -	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b></b>	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6 55,9 55,4 54,8 54,8 54,8 54,8	09-03 GF ore 1 7,2 7,1 7,1 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0	-2011 F13 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0 60,1 60,1 60,1 60,3 60,9 60,6 60,6	09-03- GF1 GF ore 1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,1 7,1 7,1 7,1 7,2	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,8 57,0 56,7 56,4 55,5 55,2 55,2 55,2
<b>09-03</b> Gl ore 1 <b>8,7</b> 8,8 8,8 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9	-2011 F9 1:05 44,5 44,5 44,3 44,2 45,0 44,5 44,5 44,4 44,6 44,5 44,4	09-03 GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 7,0	-2011 510 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1 48,5 48,8 48,8 48,8 48,4 48,2 48,2 48,3 40,1	09-03 GF ore 1 7,0 7,1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 F11 1:35 59,1 58,8 58,4 - 58,2 58,0 57,8 57,8 57,9 58,6 58,7 58,3 50,1 58,3 50,1 58,2 58,0 57,8 57,9 58,6 58,7 58,3 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,1 50,2 50,1 50,2 50,1 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,2 50,	09-03 GF ore 1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6 55,9 55,4 54,8 54,7 54,8 55,0 55,0	09-03 GF ore 1 7,2 7,1 7,1 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 6,9	-2011 F13 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0 60,1 60,1 60,1 60,3 60,9 60,6 60,6 60,6	09-03- GF1 GF ore 1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,1 7,1 7,1 7,1 7,1 7,2 7,2	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,0 56,7 56,4 55,5 55,2 55,2 55,2 55,2 55,2
09-03 G ore 1 8,7 8,8 8,8 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9	-2011 F9 1:05 44,5 44,5 44,3 44,2 45,0 44,5 44,5 44,4 44,6 44,5 44,4	09-03 GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 9,0 8,0 9,0 9,0 9,0 9,0 9,0 9,0 9,0 9,0 9,0 9	-2011 510 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1 48,5 48,8 48,8 48,8 48,4 48,2 48,2 48,3 48,4	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,0</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b></b>	-2011 F11 1:35 59,1 58,8 58,4 - 58,2 58,0 57,8 57,9 58,6 58,7 58,3 58,0 57,8	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b></b>	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6 55,9 55,4 54,8 54,7 54,8 55,0 55,0 55,0	09-03 GF ore 1 7,2 7,1 7,1 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 6,9 6,9	-2011 F13 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0 60,1 60,1 60,1 60,1 60,3 60,9 60,6 60,6 60,8 60,8	09-03- GF1 GF ore 1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,1 7,1 7,1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,0 56,7 56,7 56,4 55,5 55,2 55,2 55,2 55,2 55,2 55,2 55
09-03 G ore 1 8,7 8,8 8,8 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9	-2011 F9 1:05 44,5 44,5 44,3 44,2 45,0 44,5 44,5 44,4 44,6 44,5 44,4 44,4	09-03 GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0	-2011 510 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1 48,5 48,8 48,8 48,4 48,2 48,2 48,3 48,4 48,3 48,4 48,5 48,4 48,5 48,5	09-03 GF ore 1 7,0 7,1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 F11 1:35 59,1 58,8 58,4 - 58,0 57,8 57,9 58,6 57,9 58,3 58,3 58,0 57,9 58,3 58,3 58,0 57,9	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b></b>	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6 55,6 55,9 55,4 54,8 54,8 54,7 54,8 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 54,8 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0	09-03 GF ore 1 7,2 7,1 7,1 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 6,9 6,9 6,9	-2011 F13 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0 60,1 60,1 60,1 60,1 60,3 60,9 60,6 60,6 60,6 60,8 60,8 60,8	09-03- GF1 GF ore 1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,1 7,1 7,1 7,1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,8 57,0 56,7 56,4 55,5 55,2 55,2 55,2 55,2 55,1 55,0 54,0
09-03 Gl ore 1 8,7 8,8 8,8 8,8 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9	-2011 F9 1:05 44,5 44,5 44,3 44,2 45,0 44,5 44,4 44,6 44,5 44,4 44,4 44,5 44,5	09-03 GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9 7,9 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0	-2011 F10 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1 48,5 48,8 48,8 48,8 48,4 48,2 48,2 48,2 48,3 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5	09-03 GF ore 1 7,0 7,1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 F11 1:35 59,1 58,8 58,4 - 58,2 58,0 57,8 57,9 58,6 58,7 58,3 58,0 57,9 58,3 58,0 57,7 58,3	09-03 GF ore 1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6 55,6 55,9 55,4 54,8 54,7 54,8 55,0 55,0 55,0 54,8 55,0 55,0 54,8 55,0 55,0 54,8 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0 55,0	09-03 GF ore 1 7,2 7,1 7,1 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 6,9 6,9 6,9 6,9	-2011 F13 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0 60,1 60,1 60,1 60,1 60,3 60,9 60,6 60,6 60,6 60,8 60,8 60,7 60,7	09-03- GF1 GF ore 1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,1 7,1 7,1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,0 56,7 56,4 55,5 55,2 55,2 55,2 55,2 55,1 55,0 54,0
09-03 G ore 1 8,7 8,8 8,8 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9	-2011 F9 1:05 44,5 44,5 44,3 44,2 45,0 44,5 44,5 44,4 44,6 44,5 44,4 44,5 44,5	09-03 GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0	-2011 F10 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1 48,5 48,8 48,8 48,8 48,4 48,2 48,2 48,2 48,3 48,4 48,5 48,4 48,5	09-03 GF ore 1 7,0 7,1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 F11 1:35 59,1 58,8 58,4 - 58,2 58,0 57,8 57,9 58,6 58,7 58,3 58,0 57,9 58,3 58,0 57,9 58,3 58,7 58,3 58,7 58,3 58,7 58,3 58,7 57,9 57,9 58,3 58,7 58,3 58,7 58,3 58,5 58,5 58,5 58,5 58,5 58,5 58,5 58,5 58,5 58,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,7 57,5 57,7 57,5 57,7 57,5 57,7 57,5 57,7 57,5 57,7 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,5 57,	09-03 GF ore 1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6 55,9 55,4 54,8 54,8 54,8 55,0 55,0 55,0 55,0 54,8 54,8 54,9 54,8	09-03 GF ore 1 7,2 7,1 7,1 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 6,9 6,9 6,9 6,9 6,9	-2011 F13 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0 60,1 60,1 60,1 60,1 60,3 60,3 60,6 60,6 60,6 60,8 60,8 60,7 60,5 60,5	09-03- GF1 GF ore 1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,1 7,1 7,1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,8 57,0 56,7 56,4 55,5 55,2 55,2 55,2 55,2 55,2 55,0 54,0
09-03 G ore 1 8,7 8,8 8,8 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9	-2011 F9 1:05 44,5 44,5 44,3 44,2 45,0 44,5 44,5 44,4 44,6 44,5 44,4 44,5 44,5	09-03 GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0	-2011 F10 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1 48,5 48,8 48,8 48,4 48,2 48,2 48,2 48,3 48,4 48,3 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,0</b> <b>7,1</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b></b>	-2011 F11 1:35 59,1 58,8 58,4 - 58,2 58,0 57,8 57,9 58,6 58,7 58,3 58,0 57,7 58,3 58,0 57,7 57,5 57,4	09-03 GF ore 1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6 55,6 55,9 55,4 54,8 54,7 54,8 55,0 55,0 54,9 54,8 54,9 54,8	09-03 GF ore 1 7,2 7,1 7,1 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 6,9 6,9 6,9 6,9 6,9 6,9 7,0	-2011 F13 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0 60,1 60,1 60,1 60,1 60,1 60,3 60,9 60,6 60,6 60,6 60,8 60,8 60,7 60,5 60,5	09-03- GF1 GF ore 1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,1 7,1 7,1 7,1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,0 56,7 56,4 55,5 55,2 55,2 55,2 55,2 55,1 55,0 54,0
09-03 G ore 1 8,7 8,8 8,8 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9	-2011 F9 1:05 44,5 44,5 44,3 44,2 45,0 44,5 44,5 44,4 44,6 44,5 44,4 44,5 44,4 44,5 44,5	09-03 GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0	-2011 F10 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1 48,5 48,8 48,8 48,4 48,2 48,2 48,2 48,2 48,3 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,6 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,0</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b></b>	-2011 F11 1:35 59,1 58,8 58,4 - 58,2 58,0 57,8 57,9 58,6 58,7 58,3 58,0 57,7 57,5 57,7 57,5 57,4	09-03 GF ore 1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6 55,6 55,9 55,4 54,8 54,8 54,8 55,0 55,0 55,0 54,8 54,8 55,0 55,0 55,0 54,8 54,9 55,0	09-03 GF ore 1 7,2 7,1 7,1 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 6,9 6,9 6,9 6,9 6,9 6,9 7,0	-2011 F13 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0 60,1 60,1 60,1 60,1 60,3 60,5 60,6 60,8 60,7 60,5 60,5 60,5	09-03- GF1 GF ore 1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,1 7,1 7,1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,0 56,7 56,7 56,4 55,2 55,2 55,2 55,2 55,2 55,2 55,2 55,0 54,0 
09-03 G ore 1 8,7 8,8 8,8 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9	-2011 F9 1:05 44,5 44,5 44,3 44,2 45,0 44,5 44,4 44,5 44,4 44,5 44,4 44,5 44,4 44,5 44,4 44,5	09-03 GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0	-2011 F10 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1 48,5 48,8 48,8 48,4 48,2 48,2 48,2 48,3 48,4 48,3 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,5 48,4 48,5 48,5 48,6 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 48,7 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 47,9 4	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,0</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b></b>	-2011 F11 1:35 59,1 58,8 58,4 - 58,2 58,0 57,8 57,9 58,6 58,7 58,3 58,0 57,9 58,3 58,0 57,9 58,3 58,0 57,9 57,5 57,5 57,4	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b></b>	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6 55,9 55,4 54,8 54,8 54,8 55,0 55,0 54,8 54,9 54,8 54,9 55,0 	09-03 GF ore 1 7,2 7,1 7,1 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 6,9 6,9 6,9 6,9 6,9 6,9 6,9	-2011 F13 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0 60,1 60,1 60,1 60,1 60,1 60,3 60,4 60,6 60,6 60,6 60,8 60,8 60,7 60,5 60,5 60,5	09-03- GF1 GF ore 1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,1 7,1 7,1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,0 56,7 56,7 56,4 55,2 55,2 55,2 55,2 55,1 55,0 54,0
09-03 G ore 1 8,7 8,8 8,8 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9 8,9	-2011 F9 1:05 44,5 44,5 44,3 44,2 45,0 44,5 44,5 44,4 44,6 44,5 44,4 44,5 44,5	09-03 GF ore 1 7,7 7,8 7,9 7,9 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0 8,0	-2011 F10 1:10 47,9 48,0 48,1 48,1 48,5 48,8 48,8 48,8 48,4 48,2 48,2 48,2 48,2 48,3 48,4 48,3 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,4 48,5 48,7 48,7 48,7 48,7 48,8 48,8 48,8 48,8 48,8 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 47,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9 48,9	<b>09-03</b> <b>GF</b> ore 1 <b>7,0</b> <b>7,1</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b>7,2</b> <b></b>	-2011 F11 1:35 59,1 58,8 58,4 - 58,2 58,0 57,8 57,8 57,9 58,6 58,7 58,3 58,0 57,7 57,5 57,7 57,5 57,4	09-03 GF ore 1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 1:35 56,8 56,6 55,6 55,6 55,6 55,4 54,8 54,8 54,8 55,0 55,0 54,8 54,8 55,0 55,0 54,8 54,9 54,8 54,9 55,0 	09-03 GF ore 1 7,2 7,1 7,1 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 7,0 6,9 6,9 6,9 6,9 6,9 6,9 7,0	-2011 F13 1:30 59,4 59,8 59,9 60,0 60,1 60,1 60,1 60,1 60,3 60,9 60,6 60,6 60,6 60,6 60,6 60,5 60,5 60,5	09-03- GF1 GF ore 1 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,2 7,1 7,1 7,1 7,1 7,1 7,2 7,2 7,2 7,2	-2011 4 e 15 1:25 58,6 57,4 57,8 57,0 56,7 56,4 55,5 55,2 55,2 55,2 55,1 55,0 54,0 
r											
-------	-------	------------	------	--------------	---------	--------------	------	------------	------	------------	------
8,8	44,9	8,0	48,6								
8,8	44,9	8,0	48,8								
8,8	44,7	8,0	48,5								
8,8	44,7	8,0	48,4								
8,7	45,0	8,0	48,5								
, í		8,0	48,4								
		8,0	48,2								
		8.0	48.2								
		7.9	48.2								
		79	48.3								
		8.0	47.9								
		8.0	48.0								
		8.0	48.1								
		8.0	47.9								
		8.0	47.7								
		8.0	47.6								
		8.0	47,0								
		8.0	47,0								
		8.0	47.7								
		8,0	47,7								
00.02	2011	0,0	3011	00.02	3011	00.02	2011	00.03	3011	00.02	3011
09-03	-2011	09-03-2011		09-03-2011		09-03-2011		09-03-2011		09-03-2011	
GF	F16	GF17		1F1		1F2		1F3		1F4	
ore 1	1:20	ore 11:15		ore 9:30		ore 9:20		ore 9:30		ore 10:10	
				Tende chiuse		Tende chiuse					
				sole	o in						
				faccio	ata SE						
				Juccia	iiu SE		1		1		
7,5	57,3	7,9	49,7	10,0	44,3	11,2	35,3	11,0	41,0	6,6	69,2
7,5	57,1	7,9	49,5	10,3	44,5	11,5	35,2	10,8	41,2	6,6	69,1
7,5	57,0	7,9	49,9	10,1	44,7	12,0	34,9	10,6	42,0	6,6	68,8
7,5	56,8	7,8	49,8	10,1	44,4	12,2	34,9	10,5	44,0	6,6	68,7
7,4	56,9	7,8	49,7	9,8	45,4	12,3	34,6	10,4	43,9	6,6	68,7
7,4	57,0	7,8	49,9	9,7	45,6	12,3	34,5	10,3	45,0	6,7	68,6
7,4	57,1	7,8	49,5	9,6	45,9	12,4	34,5	10,3	45,3	6,7	68,5
7,4	57,2	7,8	51,1	9,4	46,6	12,3	34,6	10,2	45,9	6,7	68,4
7,5	57,0	7,7	50,6	9,2	47,5	12,2	33,6	10,1	46,4	6,7	68,6
7,4	56,9	7,7	50,6	9,2	47,5	12,3	33,7	10,1	47,2	6,7	68,7
7,4	56,9	7,7	50,7	9,2	47,6	12,5	33,7	10,1	47,1	6,7	69,0
7,4	57,0	7,7	50,7	9,2	48,2	12,6	34,6	10,1	47,1	6,7	69,1
7,4	57,0	7,7	50,4	9,0	47,8	12,7	34,7	10,1	47,6	6,7	68,9
7,3	56,9	7,7	50,3	8,9	47,9	12,7	34,7	9,8	47,9	6,7	68,9
7,3	56,9	7,6	50,3	9,0	48,0	12,7	35,0	9,9	48,0	6,6	69,0
7,3	57,0	7,6	50,4	8,9	48,2	12,7	34,9	9,8	48,3	6,6	69,2
7,3	57,1			8,7	49,2	12,7	34,6	9,7	48,3	6,6	69,2
7,3	57,0			8,7	49,6	12,8	34,4	9,7	48,3	6,6	69,2
7,3	56,9			8,7	49,9	13,0	34,7	9,7	48,4	6,6	69,3
7,3	57,0			8,6	49,4	13,1	34,7	9,6	48,5	6,6	69,3
Ţ.				8,5	49,4	13,2	34,6	9,6	48,3	6,7	69,2
l				85	494	132	34.6	9.5	48.3	6.7	693
				0,0	• - , •		, -	- ,0		- , .	0,0

				8,6	49,9	13,1	34,7	9,4	48,5	6,6	69,3
				8,7	49,9	13,0	33,5	9,4	49,0	6,6	69,2
				8,6	50,1	12,9	33,7	9,4	50,1		
				8,6	50,2	12,9	34,4	9,4	50,1		
				8,5	50,2	13,0	34,5	9,4	50,0		
				8,5	50,0	13,1	34,6	9,4	50,4		
				8,4	49,8	13,2	34,6	9,3	50,4		
				8,3	49,9	13,2	34,6	9,3	50,1		
				8,3	50,0	13,2	34,7				
				8,2	50,1	13,2	35,3				
				8,2	50,3						
				8,0	50,3						
				8,0	50,3						
				8,0	50,3						
09-03	-2011	09-03	-2011	09-03	-2011	09-03	-2011	09-03	-2011	09-03-	·2011
1F	75	1F6		1F7		1F8		1F9		2F5	
ore 1	0:15	ore 10:10		ore 10:15		ore 10:00		ore 9:50		ore 10:20	
6,8	69,0	6,8	65,1	6,9	65,6	-	-	7,9	56,1	6,3	66,5
6,8	68,7	6,8	65,0	6,9	65,7	7,4	62,2	7,9	55,6	6,3	66,3
6,8	68,2	6,8	65,2	6,9	65,4	7,4	61,8	8,0	54,5	6,4	65,9
6,8	68,2	6,9	65,3	6,9	65,5	7,3	61,4	8,0	54,4	6,4	65,8
6,8	68,1	6,9	65,2	6,9	65,5	7,3	61,4	8,0	54,3	-	-
6,8	68,1	6,9	65,2	6,9	65,5	7,4	61,3	7,9	54,4	6,4	65,5
6,7	68,0	6,9	65,1	6,9	65,5	-	-	8,0	54,3	6,4	65,3
6,8	68,1	6,9	65,0	6,9	65,6	7,3	61,4	8,0	54,3	6,4	65,1
6,7	68,2	6,9	65,0	6,9	65,6	7,3	61,4	8,0	54,5	6,4	65,0
6,7	68,4	6,9	65,0	6,9	65,8	7,3	61,5	8,0	54,4	6,4	65,1
6,8	68,4	6,9	65,0	6,9	65,7	7,2	61,6	8,0	54,3	6,4	65,1
6,8	68,5	6,9	65,2	6,9	65,7	7,2	61,7	8,0	54,3	6,4	65,2
		6,9	65,4			7,2	61,9	8,0	54,5	6,4	65,2
		6,9	65,6			7,3	62,0	8,0	54,6	6,4	65,2
		6,9	65,5			7,3	62,0	8,0	54,7	6,4	65,3
		6,9	65,5			7,3	62,0	8,0	55,0	6,4	65,5
		6,9	65,4			7,3	61,3	-	-	6,4	65,6
		6,9	65,2			7,3	61,8	8,0	55,7	6,4	65,6
		6,9	64,8			7,3	61,6	8,0	55,5	6,4	65,5
		6,9	64,4			7,3	61,5	8,0	55,5	6,4	65,5
						7,3	61,4	8,0	55,3	6,4	65,6
						7,3	61,4	8,0	55,2	6,4	65,5
						7,2	61,1	8,0	54,2	6,4	65,4
						7,2	61,0	8,0	54,2	6,4	65,3
						7,3	61,1	8,0	54,3	6,4	65,3
						7,3	61,4	8,0	54,6	6,4	65,2
						7,2	61,5	8,0	54,8	6,4	65,2
						7,2	61,5	8,0	55,0	6,4	65,0
						7,2	61,6	8,0	55,1	6,4	65,4
						7,2	61,9	8,0	55,1	6,4	65,7
						7,2	61,5	8,0	55,2	6,4	65,7

						7 2	61.9	8.0	553	64	65.7
						7,2	61.5	8.0	55 3	0,7	05,7
						7,2	61 4	8.0	55 3		
						7,1	61 1	8.0	553		
						7,1	01,1	8,0	55.2		
								8,0	55,5		
								8,0	55,5		
								8,0	55,4		
								8,0	55,3		
11.00	0011	11.00		11.00	0011	11.00	0011	8,0	55,5	11.00	
14-03-2011		14-03-2011		14-03-2011		14-03-2011		14-03-2011		14-03-	2011
1F1		1F2		1F3		1F4		1F5		1F6	
ore 13:25		ore 13:00		ore 12:55		ore 13:45		ore 13:50		ore 13:55	
11,5	81,3	11,7	78,1	11,2	78,7	11,0	82,2	11,0	82,8	11,0	84,7
11,5	81,1	11,7	76,5	11,2	78,5	11,0	82,2	11,1	83,0	11,0	83,6
11,5	80,5	11,7	76,5	11,2	78,1	11,0	82,3	11,0	83,0	11,0	83,1
11,6	80,1	11,7	76,5	11,3	78,6	11,0	82,3	11,0	83,0	11,0	82,7
11,6	80,0	11,6	77,0	11,3	78,5	11,0	82,4	11,0	83,0	11,0	82,7
11,6	80,2	11,6	77,6	11,2	78,4	11,0	82,5	11,0	83,2	11,0	82,7
11,6	80,3	11,7	77,6	11,3	78,5	11,0	82,6	11,0	83,4	11,0	82,8
11,6	80,3	11,7	78,5	11,3	78,6	11,0	82,6	11,0	85,6	11,0	82,8
11,6	80,6	11,8	78,0	11,3	78,7	11,0	82,6	11,0	85,7	11,0	82,7
11,6	81,0	11,8	77,7	11,3	79,0	10,9	82,6	11,0	83,8	11,0	82,6
11,6	81,0	11,8	77,7	11,3	79,0	11,0	82,6	10,9	84,0	11,0	82,6
11,6	81,1	11,7	77,4	11,3	79,1	11,0	82,7	11,0	84,0	11,0	82,4
11,6	81,7	11,8	77,6	11,3	79,2	11,0	83,5			11,0	82,4
11,6	82,2	11,7	77,7	11,3	79,4	11,0	82,3			11,0	82,4
11,7	82,3	11,8	77,5	11,3	79,3	11,0	82,3			11,0	82,4
11,6	82,3	11,7	77,4	11,3	79,4	11,0	82,5			11,0	82,4
11,6	81,8	11,8	77,3	11,3	79,4	11,0	82,5			11,0	82,4
11,6	81,9	11,8	77,3	11,3	79,3	11,0	82,5			11,0	82,3
11,6	83,5	11,8	77,4	11,3	79,3	10,9	82,5			11,0	82,2
11,7	83,8	11,8	77,7	11,3	79,4	11,0	82,4			11,0	82,2
11,6	84,4	11,8	77,9	11,3	79,3	11,0	82,2				·
11,6	84,5	11,8	77,9	11,3	79,3	11,0	82,1				
11,6	84,5	11,7	78,8	11,3	79,3	11,0	82,1				
11,6	84,4	11,7	79,0	11,3	79,3	11,0	82,2				
11,6	84,1	11,7	79,4	11,3	79,4						
11,7	84,3	11,7	78,6	11,3	79,4						
11,6	84,8	11,7	78,3	11,3	79,4						
11,6	85,6	11,7	78,2	11,4	79,3						
11,7	85,5	11,8	78,1	11,4	79,5						
11,7	85,9	11,8	77,9	11,4	79,5						
11,7	85,3	11,8	77,8								
11,6	84,7	11,7	77,8								
11,7	84,1										
11,7	84,0										
11,7	84,0										
11,7	84,2										

14-03-2011		14-03-2011		14-03-2011				
1F	1F7		F <b>8</b>	1F	<b>19</b>			
ore 1	4:00	ore 13:30		ore 13:10				
11,0	82,7	11,3	83,4	11,5	77,6			
11,0	83,6	11,3	83,3	11,5	77,9			
11,0	83,5	11,3	83,2	11,5	78,0			
11,0	83,6	11,2	84,3	11,5	78,4			
11,0	83,6	11,2	84,7	11,5	78,8			
11,0	83,7	11,2	85,0	11,5	79,1			
11,0	83,9	11,2	85,3	11,5	79,4			
11,0	84,0	11,2	85,2	11,5	80,0			
11,0	83,9	11,2	85,1	11,5	79,4			
11,0	83,8	11,2	85,1	11,5	79,6			
11,0	83,7	11,2	85,1	11,5	79,6			
11,0	83,6	11,2	84,7	11,5	79,6			
		11,2	84,3	11,5	79,7			
		11,2	84,0	11,4	79,7			
		11,2	83,9	11,4	79,6			
		11,2	83,9	11,4	79,7			
		11,2	84,0	11,4	79,2			
		11,2	84,5	11,5	79,5			
		11,2	84,7	11,5	79,7			
		11,2	84,9	11,5	79,8			
		11,2	85,1	11,5	80,0			
		11,2	85,3	11,4	80,3			
		11,2	85,2	11,4	80,5			
		11,1	85,2	11,4	80,6			
		11,1	85,0	11,5	80,9			
		11,1	84,9	11,5	80,8			
		11,1	84,8	11,5	80,7			
		11,1	84,6	11,5	80,3			
		11,1	84,4	11,5	80,3			
		11,1	84,2	11,5	80,1			
		11,1	84,2	11,5	79,9			
		11,1	84,4	11,5	79,9			
		11,1	84,5	11,4	80,0			
		11,1	84,8	11,5	79,8			
		11,1	85,1	11,4	79,9			
				11,4	79,8			
				11,4	80,0			
				11,4	80,1			
				11,4	80,5			
				11,4	80,5			