

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA
INDIRIZZO ENERGIA**

D.I.E.N.C.A

Dipartimento di Ingegneria Energetica, Nucleare e del Controllo Ambientale

TESI DI LAUREA

in
Gestione dell'energia

*“Diagnosi e certificazione, efficienza energetica ed implementazione di sistemi di
produzione da fonti rinnovabili: Da rudere a masseria passiva.”*

CANDIDATO:
Gianluca Severo

RELATORE:
Chiar.mo Prof. Cesare Biserni

CORRELATORI:
Ing. Giovanni Pitta
Ing. Salvatore Di Croce

Anno Accademico 2011/2012

Sessione II

INDICE GENERALE

Capitolo 1. Edilizia ed energia.

1.1	Premessa.....	7
1.2	Le direttive CE in campo di risparmio energetico negli edifici...	17
1.3	Il panorama normativo europeo (cenni).....	31
1.4	La situazione italiana.....	41
1.5	Bibliografia e siti web.....	75

Capitolo 2. Un caso studio: la masseria Sant'Agapito.

2.1	Inserimento e contestualizzazione storico-geografica del territorio.	78
2.2	Descrizione della masseria e delle attività connesse.....	81
2.3	Reportage fotografico.....	83
2.4	Tavole planimetriche e catastali.....	83
2.5	Relazione tecnica sul contenimento dei consumi energetici (Legge 10/91).....	84
2.6	Relazione tecnica (in base alle attuali prescrizioni).....	84
2.7	Attestato di qualificazione energetica.....	84
2.8	Attestato di certificazione energetica (ACE).....	85
2.9	Diagnosi energetica sul campo (foto con termocamera, termoflussimetro, blower door test).....	85
2.10	Analisi conclusiva e strategie d'intervento volte alla riqualificazione energetica.....	91
2.11	Bibliografia e siti web di riferimento.....	93

Capitolo 3. Recupero funzionale del rudere – Edificio F.

3.1	Introduzione.	
3.1.1	Inquadramento planimetrico del rudere e descrizione della vecchia destinazione d'uso nel complesso masseria.	95
3.1.2	Stato attuale dell'edificio e utilizzo della parte semi-interrata.....	95
3.1.3	Rilevamenti fotografici.....	96
3.2	Progetto di recupero funzionale.	
3.2.1	Relazione tecnico-illustrativa 2004.....	96
3.2.2	Redazione di una nuova relazione illustrativa.....	97
3.2.3	Tavole di progetto.....	97
3.3	Recupero strutturale.	
3.3.1	Descrizione del progetto di recupero e delle fasi di realizzazione.....	98
3.3.2	Criteri generali di progettazione di involucri eco-efficienti.	99
3.3.3	Solaio di terra.....	102
3.3.4	Pareti perimetrali esterne:.....	107
	Generalità.....	108
3.3.4.1	Introduzione.....	110
3.3.4.2	Interventi di consolidamento strutturale.....	111
3.3.4.3	Isolamento termoacustico delle pareti.....	111
3.3.4.4	Criteri di scelta della tipologia d'isolamento.	112
3.3.4.5	Prove stratigrafiche ed individuazione della soluzione costruttiva ottimale.....	121
3.3.4.6	I materiali isolanti: classificazione, caratteristiche e proprietà, life cycling, soluzioni commerciali ed applicazioni.....	126
3.3.4.7	Scelta del materiale isolante.....	131

3.3.4.8	Definizione della stratigrafia di parete.....	133
3.3.5	Parete Sud/Ovest:.....	135
3.3.5.1	Parete ventilata.....	143
3.3.5.2	Muro di Trombe.....	150
3.3.6	Edificio N: il laboratorio-officina.	
3.3.6.1	Inquadramento generale.....	152
3.3.6.2	Parete esterna e divisori.....	153
3.3.6.3	Il tetto verde.....	154
3.3.6.4	Bibliografia e norme per le coperture a verde.	166
3.3.7	Torretta M - locali comuni: legno massiccio e blockbau...	173
3.3.8	Copertura a falde inclinate:	
	Generalità.....	180
3.3.8.1	Introduzione.....	184
3.3.8.2	Le travi.....	185
3.3.8.3	Fisica tecnica del tetto (cenni).....	193
3.3.8.4	Requisiti caratteristici delle chiusure orizzontali superiori.....	194
3.3.8.5	Considerazioni preliminari.....	197
3.3.8.6	La struttura interna della copertura.....	210
3.3.8.7	Il rivestimento esterno.....	215
3.3.9	Muri divisori interni e soppalchi: il legno lamellare ed i pannelli OSB.....	221
3.3.10	Serramenti.....	227
3.4	Certificazione energetica dell'edificio "F" e stima dei fabbisogni: il software TERMUS Acca.....	235
3.5	Bibliografia, sitografia e altre norme utili.....	241

Capitolo 4. Implementazione di sistemi di produzione di energia da fonti rinnovabili.

4.1	Introduzione: le fonti rinnovabili, la disponibilità in loco e lo sfruttamento.....	247
4.2	Fabbisogni stimati e consumi effettivi.	
4.2.1	Fabbisogno di energia termica per riscaldamento.....	254
4.2.2	Fabbisogno di energia termica per acqua calda sanitaria...	255
4.2.3	Consumi effettivi di energia elettrica.....	256
4.2.4	Analisi qualitativa dei consumi.....	257
4.2.5	Interventi, azioni e pratiche di razionalizzazione e riduzione dei consumi energetici.....	259
4.3	Energia solare.	
4.3.1	Sistemi attivi: solare termico.	
4.3.1.1	Collettori solari: classificazione, tipologie e principi di funzionamento.....	266
4.3.1.2	Impianti solari.....	271
4.3.1.3	Scelta dei collettori e dimensionamento.....	273
4.3.1.4	Valutazioni energetiche, economiche ed ambientali.....	282
4.3.1.5	Disegni tecnici.....	286
4.3.1.6	L'autocostruzione dell'impianto.....	286
4.3.1.7	Norme, bibliografia e sitografia.....	287
4.3.2	Sistemi di captazione solare attiva: la conversione fotovoltaica.	
4.3.2.1	Impianti fotovoltaici e componenti.....	290
4.3.2.2	Criteri e strumenti di progettazione esecutiva.	314
4.3.2.3	Principi di integrazione architettonica: tetti e facciate fotovoltaiche.....	326

4.3.2.4	Il dimensionamento.....	331
4.3.2.5	Relazione tecnica.....	332
4.3.2.6	Tavole di progetto e disegni tecnici.....	332
4.3.2.7	Documentazione ed autorizzazioni.....	333
4.3.2.8	Analisi di producibilità e simulazione della produzione annua.....	338
4.3.2.9	Piano di ammortamento dell’investimento e finanziamenti.....	342
4.3.2.10	Bibliografia e norme di riferimento per la progettazione.....	345
4.4	Energia eolica.	
4.4.1	Cenni storici.....	349
4.4.2	La tecnologia.....	352
4.4.3	Considerazioni generali.....	358
4.4.4	Criteri preliminari di progettazione.....	359
4.4.5	Producibilità specifica dei generatori eolici.....	363
4.4.6	Determinazione della potenza da installare e scelta del generatore eolico.....	367
4.4.7	“Risparmio ambientale”.....	370
4.4.8	Procedura autorizzativa.....	371
4.4.9	Leggi e norme di riferimento.....	372
4.4.10	Bibliografia essenziale e riferimenti web.....	374
4.5	Impianti termici alimentati a biomassa.....	375
	Conclusioni generali.....	390
	Allegati.....	395

*“ingegno è vedere possibilità
dove gli altri non ne vedono”*

E. Mattei.

Capitolo 1

Edilizia ed Energia.

1.1 Premessa.

“Una volta, qui si costruivano case assai comode, per una razza coraggiosa e rude, che per lo meno viveva all’aperto, ed erano fatte quasi interamente di materiali messi a portata di mano dalla natura. Con un po’ di acume potremmo usare questi materiali in maniera tale da diventar più ricchi di quelli che già adesso sono i più ricchi, e fare della nostra civiltà una benedizione.[...] Le loro case migliori, riparate e ben riscaldate, sono coperte molto acconciamente di corteccia d’alberi [...], le case più misere sono coperte di stuoie fatte di una specie di giunco e sono altrettanto ben riparate e calde. Gli indiani erano tanto progrediti da saper regolare l’effetto del vento per mezzo di una stuoia sospesa sopra un buco nel tetto e mossa da una corda. Tra i selvaggi ogni famiglia ha un tetto, e dei migliori, sufficiente ai loro bisogni. Il selvaggio possiede un suo rifugio perché gli costa assai poco, mentre l’uomo civile lo prende in affitto perché non può permettersi di fabbricarselo: e a lungo andare non può neppure più permettersi di prenderlo in affitto. [...] La vera semplicità e nudità della vita nelle età primitive implicavano questo vantaggio, per lo meno: lasciavano l’uomo ospite della natura”.

H. Thoreau, *Walden, ovvero vita nei boschi*.

L'edilizia in Europa è stata caratterizzata, fino a pochi anni fa, da una forte espansione, soprattutto nel settore residenziale, che rappresenta ad oggi il 70% del parco immobiliare totale. La maggior parte dei fabbricati residenziali sono stati realizzati tra il 1946 ed il 1970, in un periodo cioè di ampia disponibilità energetica, e nel quale l'edilizia prevedeva tempistiche e metodologie di costruzione atte solo a soddisfare la grande richiesta di alloggi, a discapito quindi della qualità dei manufatti edilizi stessi. Le basse prestazioni energetiche di questi fabbricati hanno difatti contribuito a far sì che, ad oggi, gli edifici sono responsabili del 40,7% (secondo i dati dell'IPCC) del consumo di energia finale nell'UE, e della stessa quota parte di emissioni dannose in atmosfera.

Ma ora la situazione è mutata a causa delle forti limitazioni nella disponibilità della risorsa energetica fossile, limitazioni di natura sia ambientale che economica; la concezione del costruire deve perciò adattarsi al nuovo contesto. Gli interventi volti all'efficienza degli impianti si accompagnano ad un nuovo efficace cambiamento riguardante la concezione dell'involucro edilizio, che deve essere capace di ridurre le perdite di calore verso l'esterno, sfruttare i guadagni di energia solare, includendo un uso più razionale dell'illuminazione naturale, ed evitare il surriscaldamento estivo degli ambienti. Ciò, insieme all'integrazione di tecnologie che consentono lo sfruttamento delle risorse energetiche rinnovabili, contribuisce significativamente alla riduzione dei consumi energetici, includendo in essi l'energia inglobata nei materiali e nei processi costruttivi. Il punto di arrivo del processo evolutivo, come dimostrano alcuni standard di certificazione (cfr. 1.3), vuole essere l'edificio che consuma meno energia di quanta ne produce: la "casa passiva".

Gli ingenti consumi energetici e le relative emissioni dannose si vanno ad inserire in un quadro più ampio di impatti ambientali che caratterizzano questo settore. Si è quindi reso necessario un approccio sostenibile per portare avanti lo sviluppo e la costruzione di edifici sempre più attenti alle politiche di salvaguardia ambientale.

Per ottenere questi obiettivi non è sufficiente che le pubbliche amministrazioni introducano delle leggi o dei regolamenti più stringenti; è

auspicabile invece stimolare l'adozione, da parte del mercato, di alcuni strumenti in grado di guidare il settore edilizio verso scelte più consapevoli dal punto di vista ambientale. Una possibile soluzione si esplica attraverso l'adozione volontaria, da parte dei soggetti che prendono parte alla filiera di realizzazione dell'opera edilizia, di uno dei possibili sistemi di certificazione che negli ultimi anni sono nati a livello internazionale, europeo, nazionale. Occorre inoltre sviluppare ed implementare strumenti idonei e metodologie appropriate.

Per attuare una valutazione dei potenziali impatti ambientali connessi all'edilizia è, *in primis*, necessario ragionare nell'ottica di uno studio Life Cycle Assessment (LCA)¹.

La valutazione del ciclo di vita è un metodo oggettivo di quantificazione dei carichi energetici ed ambientali e degli impatti associati ad un prodotto/processo/attività lungo l'intero ciclo di vita. L'argomento sarà trattato in via pratica al capitolo 3, per la scelta dell'isolante.

¹ Il Life Cycle Assessment rappresenta il principale strumento operativo del Life Cycle Thinking (LCT), impostazione di pensiero che propone di tener conto di tutti gli aspetti del ciclo di vita di un prodotto o servizio (dall'estrazione e trattamento delle materie prime, alla produzione, trasporto, distribuzione del prodotto, al suo uso, riuso e manutenzione, fino al riciclo) allo scopo di ridurre l'utilizzo delle risorse e le emissioni nell'ambiente (UNEP e SETAC, 2007). Questo strumento, permette di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, attraverso l'identificazione e la quantificazione dei consumi di materia, energia ed emissioni. La metodologia LCA è regolata dalla famiglia delle norme ISO 14040, in particolare la 14040:2006 e la 14044:2006. L'elaborazione di uno studio LCA si articola essenzialmente in quattro fasi: 1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio (Goal and scope Definition); 2. Analisi d'inventario (Inventory Analysis), nella quale si compila un inventario di input (materiali, energia, risorse naturali) e di output (emissioni in aria, acqua, suolo); 3. Valutazione degli impatti ambientali potenziali, diretti ed indiretti, associati a questi input e output (Impact Assessment); 4. Analisi dei risultati e valutazione delle possibili linee d'intervento (Interpretation). L'affermarsi della metodologia LCA è in qualche modo l'effetto simultaneo di tre eventi: *in primis* la crescente consapevolezza che i problemi ambientali non possono più essere affrontati per singoli comparti ma richiedono una valutazione e intervento globale, in secondo luogo la maggior attenzione alle politiche di prodotto quale parte integrante delle politiche ambientali orientate al sistema di processo, infine, la richiesta di maggiori informazioni ambientali. Esistono, tuttavia, una serie di limitazioni e di difficoltà nell'applicazione della metodologia: l'implementazione di uno studio di LCA richiede un intenso dispendio sia in termini di tempo che di risorse economiche e sociali. Si dovrà quindi condurre una preliminare valutazione su quali saranno i dati che si dovranno utilizzare. Inoltre la tecnica non consente la valutazione di impatti (potenziali) definiti a livello locale e riuscire a convertire la serie di risultati e informazioni ottenute in un unico punteggio finale richiede inevitabilmente il ricorso a semplificazioni. Il metodo LCA nasce in ambito industriale e solo recentemente è stato "trasferito" e applicato al settore delle costruzioni. Per effettuare l'analisi dell'impatto ambientale associato al ciclo di vita di un edificio sono disponibili sul mercato mondiale numerosissimi software di supporto (Athena Impact Estimator for Buildings, Canada, www.athenasmi.org; BEES, Stati Uniti; Eco-Quantum, Olanda, lct.jrc.ec.europa.eu; Envest 2, Regno Unito, invest2.bre.co.uk; LEGEP, Germania; l'unica banca dati italiana attualmente disponibile è la DIM, contenuta all'interno del software "eVerdEE" prodotto dall'ENEA, www.ecosmes.net). Nel settore delle costruzioni è stata elaborata una norma specifica sull'EPD dei prodotti edilizi: la ISO 21930:2007, e parallelamente sono state sviluppate norme relative alle certificazioni delle prestazioni dei prodotti: in particolare, la direttiva 89/106/CE.

Nel dettaglio edilizio, viene generalmente operato un distinguo tra edifici definiti “nuovi”, ed edifici definiti “esistenti”. Per la prima tipologia di costruzioni, il ciclo di vita generico comprende la "fase di costruzione", la "fase d'uso" e la "fase di fine vita" (dismissione). Queste fasi sono divise in diverse sezioni contenenti ognuna pertinenti processi; ad esempio la "fase di costruzione" si divide in "Produzione di materiali da costruzione" e "Trasporto dei materiali ", la “fase di utilizzo” raggruppa le procedure riferite al lasso temporale di usufrutto da parte degli utenti, quali “Heating & Cooling" ma anche azioni atte a mantenere in funzione il fabbricato (ristrutturazioni). Queste fasi del ciclo di vita dell’edificio comportano numerosi impatti sull’ambiente, i quali possono essere quantificati, nell’ottica LCA, mediante aggregazione degli stessi in diverse categorie d’impatto, come ad esempio:

- Potenziale di eutrofizzazione (EP);
- Potenziale di acidificazione (AP);
- Potenziale di creazione fotochimica dell'ozono (POCP);
- Potenziale di riscaldamento globale (GWP100).

Sono generalmente presi in considerazione anche altri impatti quali il depauperamento delle risorse, l’ecotossicità, l’utilizzo di territorio ed infine indicatori ambientali quali l’energia primaria utilizzata da fonti rinnovabili e non rinnovabili.

Tra questi è possibile ritenere comunque che il consumo energetico sia l’aspetto più importante da tenere in considerazione; basti pensare che, come detto, l’insieme degli edifici esistenti nei paesi europei rappresenta oltre il 40% del consumo finale di energia nell'Unione Europea (UNEP, 2007). Di questa ingente percentuale, ben il 63% è assorbito dal settore residenziale. La fase di utilizzo delle costruzioni ad uso residenziale è difatti dominata dalla necessità energetica, in particolare ad uso riscaldamento. Di conseguenza, un aumento del rendimento energetico in tale settore potrebbe risultare uno strumento importante negli sforzi per alleviare la dipendenza energetica dell'Unione Europea (UE) e per rispettare gli impegni presi col protocollo di Kyoto.

Prima di affrontare queste tematiche però, si è ritenuto opportuno fornire una breve descrizione del costruito in generale, focalizzando l'attenzione sulle costruzioni ad uso residenziale. Per quanto riguarda l'UE, esistono circa 220 milioni di abitazioni, il che significa circa 400 abitazioni per 1000 abitanti. La maggioranza delle abitazioni (85%) sono situate nell'ovest europeo (Rapporto Euro costruttori, 2008), anche se nelle regioni dell'est Europa si sta, negli ultimi anni, assistendo ad un notevole incremento dell'attività edilizia. Questa ha subito invece un brusco calo in Europa occidentale negli ultimi anni, dovuto principalmente alla crisi finanziaria internazionale, all'aumento dei tassi d'interesse, alla decrescita della domanda mondiale ed infine allo scoppio della bolla del mercato immobiliare avvenuta nel 2006-2007 e che ha interessato principalmente Spagna, Irlanda, Gran Bretagna.

Altro dato significativo è che la quota di nuovi alloggi (definiti tali in quanto completati dopo il 1980), è inferiore al 10%.

Per quanto concerne l'Italia, questa è caratterizzata da un'elevata densità edilizia, esplicabile in un totale di circa 12 milioni di edifici, dei quali l'88% ad uso abitativo (Fonte: Ministero delle infrastrutture). Le abitazioni sono per l'85% costituite da edifici plurifamiliari, e solo l'8% delle abitazioni è stato realizzato dopo il 1991.

In figura 1 è riportata in grafico l'analisi del patrimonio edilizio nell'UE-25, attraverso l'indicatore GWP (Global Warming Potential), per edifici nuovi ed esistenti. Ciò è in accordo con quanto detto precedentemente: difatti si noti come il contributo dei nuovi edifici sul potenziale di riscaldamento globale sia circa l'1%, ossia trascurabile, e come le specifiche prestazioni ambientali migliorino in relazione all'aumento delle dimensioni degli immobili (più basse per singole case e plurifamiliari rispetto ad edifici di grande altezza). Inoltre è possibile visionare che, apparentemente, le performance sono più elevate per gli edifici appartenenti alla zona climatica sud, ma esclusivamente perché riconducibili a migliori condizioni climatiche.

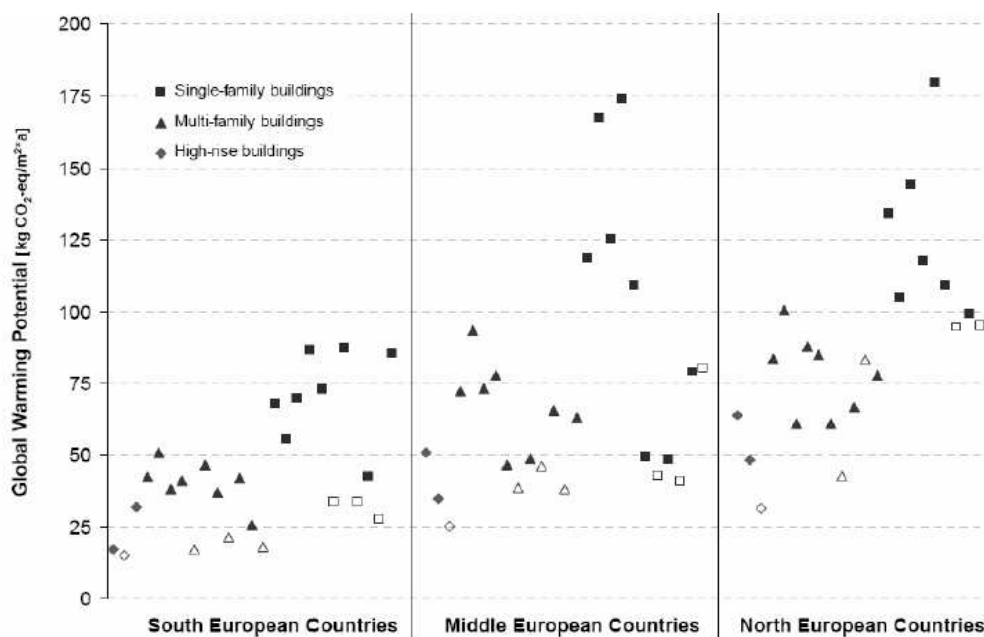


Fig. 1 (Fonte: IMPRO – Building).

Il World Sustainable Building Conference che si è tenuto nel Settembre 2002, ha concluso che non ci si dovrà aspettare una sensibile riduzione degli impatti attraverso la costruzione di nuovi e più efficienti edifici, bensì soprattutto attraverso la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente, che dovrebbe essere il principale punto di partenza per la riduzione del carico ambientale in modo significativo nei prossimi 20 o 30 anni. Basti pensare che a seguito di una previsione è scaturito che un aumento dell'efficienza energetica negli impianti di riscaldamento, raffreddamento, acqua calda ed illuminazione, dovuto alla ristrutturazione dell'intero parco immobiliare esistente, comporterebbe una riduzione annua delle emissioni di CO₂ pari a 450Mt, circa l'impegno totale del Protocollo di Kyoto (Norris M., Shiels P., 2004). Dal punto di vista della ristrutturazione sostenibile, questa dovrebbe essere indirizzata preferenzialmente al patrimonio abitativo monofamiliare e plurifamiliare realizzato tra il 1960 e il 1980, caratterizzato nella generalità da cattive condizioni tecniche quali la bassa qualità del fabbricato e il ritiro dello Stato dai lavori di manutenzione e di riparazione a seguito della privatizzazione di massa. Poiché nella maggior parte dei Paesi europei si sta attraversando un periodo di stasi del mercato edilizio,

questa congiuntura spinge alla ricerca di soluzioni mirate al recupero ed all'adeguamento tecnologico degli edifici costruiti nel recente passato. Tuttavia è di notevole importanza sottolineare il fatto che, fino ad ora, si è assistito ad una serie di barriere economiche e sociali che hanno frenato le operazioni di ristrutturazione, a cominciare dalla scarsa capacità di investimento dei proprietari degli immobili, la scarsa conoscenza di soluzioni tecniche e il complesso iter burocratico e decisionale manifestatosi. La ristrutturazione degli edifici è finora stata motivata essenzialmente dal passaggio di proprietà degli stessi, operazione che, negli ultimi anni, ha subito un notevole calo a seguito del rallentamento delle operazioni di compravendita immobiliare dovuto alla riduzione del potere d'acquisto delle famiglie (Nazioni Unite - Consiglio Economico e Sociale, 2008). Si può ritenere che la qualità degli edifici e delle attività di costruzione degli edifici stessi, hanno un notevole impatto non solo sull'ambiente ma anche sulla condizione sociale dei cittadini.

In questa direzione si sta muovendo lo sviluppo di strumenti metodologici atti a creare nuove opportunità per migliorare la progettazione di nuovi edifici secondo criteri di sviluppo sostenibile (quali la durabilità, la flessibilità e l'adattabilità) e promuovere i lavori di ristrutturazione del caso, applicando strumenti di valutazione per il ciclo di vita degli edifici.

Nel presente capitolo vengono affrontate le tematiche inerenti alla sostenibilità ambientale nel settore edile, attraverso i concetti e le normative che stanno alla base dell'edilizia sostenibile stessa. Viene inoltre proposto il percorso che ha portato alla nascita dei principali strumenti di studio e di valutazione della sostenibilità ambientale nel settore edile.

Prima di parlare di edilizia sostenibile tuttavia, si ritiene opportuno dare le definizioni di alcune terminologie di comune utilizzo, per comprenderne meglio il significato:

- **Sostenibilità;** formalmente la definizione di sostenibilità appare per la prima volta nella relazione elaborata dalla Commissione Brundtland del 1987 come “andare incontro alle esigenze del futuro senza

compromettere la possibilità per le prossime generazioni di affrontarle e soddisfarle in prima persona”. Il tema è poi ripreso nel “Vertice della Terra” di Rio de Janeiro (1992), fase di avvio dei processi di Agenda 21. Per quanto riguarda il settore edilizio l’Agenda 21 per le Costruzioni Sostenibili è un documento elaborato dal CIB allo scopo di fornire una guida ai principi della sostenibilità.

- **Architettura ecologica;** si tratta di un’espressione di origine anglosassone molto diffusa ed è riferita all’architettura “ambientalmente responsabile” (architettura = arte del costruire; eco = oikos = ambiente). Sulla scia delle direttive indicate nel 1992 dalla Conferenza ONU sullo Sviluppo Sostenibile, l’espressione «architettura ecologica» tende ad essere sostituita dall’espressione «attività costruttiva sostenibile», con più evidenti riferimenti agli aspetti socio-economici posti dalle emergenze ambientali globali. Volendo indicare le tematiche più specifiche dell’architettura ecologica, queste sono riferibili a: inquinamento indoor; ciclo di vita dei materiali e dei componenti; comportamento energetico degli edifici e delle soluzioni tecnologiche; valutazione eco-economica delle varie fasi del processo edilizio e del suo impatto sull’ambiente; riuso e riciclaggio dei materiali; ricerca di materiali e soluzioni; alternative rispetto a sostanze rivelatesi dannose per la salute o per l’ambiente (J.Yudelsen 2007).
- **Architettura bioclimatica;** come definizione si può adottare “complesso di soluzioni progettuali che consente di assicurare in un edificio il mantenimento di condizioni di benessere, facendo uso il meno possibile di impianti che richiedono consumi energetici da fonti esauribili. In altri termini, l’edificio deve essere in grado di stabilire un rapporto con l’ambiente esterno tale da produrre le inevitabili alterazioni delle condizioni ambientali solo a causa delle sue caratteristiche morfologiche, dimensionali, termofisiche”. La crisi energetica degli anni settanta ha indotto ad un ripensamento sulla

necessità di correlare i caratteri tipologici e tecnologici degli edifici con le caratteristiche climatiche del sito e con l'uso di risorse energetiche rinnovabili. L'Architettura bioclimatica si occupa dello studio delle soluzioni tipologiche e delle prestazioni dei sistemi tecnologici che rispondono maggiormente alle caratteristiche ambientali e climatiche del sito, e che consentono di raggiungere condizioni di benessere all'interno degli edifici (A. Hadrovic, 2008).

- **Bioedilizia;** il termine “bioedilizia” nasce come traduzione del termine tedesco “*bau biologie*” utilizzato dall'Istituto Indipendente di Ricerca fondato nel 1976 a Neubern (Germania) a sostegno di un "costruire biologico". Tal termine viene frequentemente utilizzato per indicare materiali, processi e metodi edilizi rispettosi della salute degli abitanti, possibilmente di origine naturale ed a basso impatto ambientale. Il merito principale dell'idea biologica è quello di aver spostato l'accento dall'oggetto costruito all'uomo che lo abita (forze magnetiche naturali, elettrosmog, emissioni nocive, forma e disposizione degli spazi, luce naturale e colori, simboli e significati) (J. Yudelsen 2007).
- **Edilizia sostenibile;** per quanto concerne la sostenibilità edilizia, può essere delineata attraverso una serie di principi guida. Questi si pongono l'obiettivo, al fine di produrre effetti concreti, di guidare l'intero processo di elaborazione di scelte normative regionali o locali ed indirizzare gli enti verso una programmazione ed attuazione delle diverse politiche concerni l'edilizia (G. Scudo, 2002). I principi sono dieci, raggruppati secondo aree di intervento:
 1. ricercare uno sviluppo armonioso e sostenibile del territorio, dell'ambiente urbano e dell'intervento edilizio;
 2. tutelare l'identità storica delle città e favorire il mantenimento dei caratteri storici e topologici legati alla tradizione degli edifici;
 3. contribuire, con azioni e misure, al risparmio energetico e all'utilizzo di fonti rinnovabili;
 4. costruire in modo sicuro e salubre;

5. ricercare e applicare tecnologie edilizie sostenibili sotto il profilo ambientale, economico e sociale;
6. utilizzare materiali di qualità certificata ed eco-compatibili;
7. progettare soluzioni differenziate per rispondere alle diverse richieste di qualità dell'abitare;
8. garantire gli aspetti di "safety & security" dell'edificio;
9. applicare la domotica per lo sviluppo di una nuova qualità dell'abitare;
10. promuovere la formazione professionale e la progettazione partecipata.

I mutamenti della società in rapporto ai modi di abitare sono influenzati anche da preoccupazioni rivolte al futuro e non solo legate all'economia, ma anche alla qualità della vita, intesa come qualità dell'ambiente, del clima e della natura. Su questo piano il ruolo di un'edilizia sostenibile diviene quello di riavvicinare l'uomo all'ambiente in cui vive. Particolare importanza assume in tale ambito la progettazione d'involucro, non solo nell'ottica del risparmio energetico ma anche, appunto, nella creazione del comfort degli ambienti interni in relazione a luce, ventilazione, qualità dell'aria, etc. La spinta verso livelli sempre maggiori di isolamento, lo sviluppo di tecnologie per il controllo attivo dei parametri climatici, la diffusione delle moderne tecnologie a secco, sta inevitabilmente trasformando il modo di costruire contemporaneo, investendo anche la sfera del recupero edilizio.

Il settore edilizio ha da tempo manifestato l'esigenza di orientarsi verso la sostenibilità e di avere a disposizione strumenti di supporto alla progettazione ambientale e di valutazione dell'edificio progettato. La risposta a queste esigenze è stata soddisfatta, in questi anni, tramite percorsi diversi dal LCT e più vicini a una impostazione "progettante". Si sono andati definendo infatti, requisiti e criteri progettuali orientati alla sostenibilità (risparmio energetico, risparmio e recupero dell'acqua, riciclaggio dei materiali), che hanno poi portato alla costruzione di veri e propri framework di criteri progettuali. I primi strumenti di

edilizia sostenibile scaturiscono per sollecitazione di costruttori inglesi e americani, con strumenti pratici di certificazione degli edifici. Le attuali carenze culturali tuttavia, evidenziate da banalizzazioni iterative di soluzioni costruttive standard, richiedono la formazione di nuove figure professionali che sappiano gestire in maniera completa ed innovativa le nuove problematiche connesse al progetto tecnologico-ambientale.

1.2 Le direttive CE in campo di risparmio energetico negli edifici.

A livello comunitario, l'energia impiegata nel settore residenziale e terziario, composto per la maggior parte di edifici, rappresenta circa il 40% del consumo finale di energia. La mancanza di un libero mercato effettivo, la frammentazione dei grandi insediamenti produttivi e delle reti di distribuzione, i regimi ancora sostanzialmente monopolistici e altre peculiarità, fanno sì che tale dato generale incida in maniera profondamente diversa sulle economie dei Paesi membri, tuttavia la Comunità Europea ha emanato nel corso degli anni una serie di norme e direttive con l'intento di disciplinare la materia, affidando poi ai singoli Stati il compito di recepire ed attuare a propria discrezione tali norme.

La politica comunitaria è stata fortemente incentrata sullo sviluppo di strumenti programmatici di indirizzo e coordinamento dei Paesi membri, atti a realizzare il significativo potenziale di risparmio esistente. L'efficienza energetica offre il campo di applicazione più ampio per la riduzione delle emissioni climalteranti in atmosfera e rappresenta un forte stimolo allo sviluppo sostenibile poiché si basa sul progresso tecnologico di attività e prodotti innovativi, a forte intensità di capitale e con un rilevante impatto occupazionale, anche in termini di sviluppo di competenze.

Come espresso nella Comunicazione della Commissione Europea n.772 (2008) "Efficienza energetica: conseguire l'obiettivo del 20%" la politica dell'UE in tema di efficienza energetica si fonda su cinque elementi:

- il quadro politico generale e le azioni intraprese nell'ambito del "Piano d'azione europeo per l'efficienza energetica";
- i piani nazionali d'azione per l'efficienza energetica che si basano sulla direttiva quadro concernente i servizi energetici;
- il quadro giuridico per il settore di consumo più importante - l'edilizia - e i prodotti che consumano energia;
- strumenti strategici di sostegno come i finanziamenti mirati, la fornitura di informazioni e le reti come il "Patto dei sindaci" e la Campagna europea per l'energia sostenibile;
- la collaborazione internazionale.

Gli strumenti di indirizzo e coordinamento degli Stati Membri dell'UE sono:

- il Pacchetto 20-20-20 - Portfolio di provvedimenti operativi con cui l'UE conferma la volontà degli Stati Membri di continuare ad impegnarsi nel processo negoziale per la lotta ai cambiamenti climatici per il post-Kyoto, ovvero dopo il 2012;
- il Libro verde sull'efficienza energetica - Strumento attraverso cui la Commissione europea invita le autorità pubbliche a rendere i cittadini e le imprese più responsabili in merito al risparmio energetico, premiando i comportamenti consapevoli;
- il Piano d'azione per l'efficienza energetica - Un set di proposte operative per migliorare del 20% l'efficienza energetica entro il 2020.

Il miglioramento dell'efficienza energetica nei differenti settori chiave è regolato dalle seguenti Direttive e Regolamenti:

- la Direttiva ESD (Energy Service Directive) concernente gli usi finali e i servizi energetici;

- la Direttiva EPBD (Energy Performance Building Directive) concernente il rendimento energetico in edilizia;
- le Direttive "EcoDesign" EuP (Energy using Products) e ErP (Energy related Products) riguardanti la progettazione di prodotti che consumano energia o che influiscono sul consumo di energia;
- la Direttiva per l'etichettatura dei prodotti che consumano energia;
- i Regolamenti per la progettazione ecocompatibile di lampade fluorescenti;
- la Direttiva sulla promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili.

Nel 1994 la Commissione europea ha promosso il programma Extern-E, per la valutazione dei costi esterni dell'energia con l'obiettivo di svilupparne e diffonderne i metodi per il calcolo applicati a casi concreti. I risultati di tali studi, pubblicati in una serie di volumi, costituiscono la base di importanti indicazioni in materia di politica energetica ed un primo importante passo verso l'introduzione di un sistema sostenibile di gestione dell'energia in edilizia.

La Direttiva cardine sul rendimento energetico degli edifici è senza dubbio la 2002/91/CE, che istituisce, come punto di svolta, l'obbligatorietà, per gli edifici di nuova costruzione o in caso di importanti ristrutturazioni sul patrimonio esistente, del certificato energetico, grazie al quale in caso di compravendita o locazione si possa valutare la prestazione dell'immobile in funzione dei parametri stabiliti dalla legge e di valori di riferimento standard. Il certificato energetico, che ha in genere validità decennale, è inoltre corredato da raccomandazioni per il miglioramento e l'efficientamento. Come specifica il testo della Direttiva, *“Il processo di certificazione può essere accompagnato da programmi per agevolare un accesso equo al miglioramento del rendimento energetico, basato su accordi tra associazioni di soggetti interessati e un organismo designato dagli Stati membri e attuato da società di servizi energetici”*.

La Direttiva comprende quattro elementi principali:

- una metodologia comune di calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici;

- i requisiti minimi sul rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione e degli edifici già esistenti sottoposti a importanti ristrutturazioni;
- i sistemi di certificazione degli edifici di nuova costruzione ed esistenti e l'esposizione negli edifici pubblici degli attestati di rendimento energetico e di altre informazioni pertinenti. Gli attestati devono essere stati rilasciati nel corso degli ultimi cinque anni;
- l'ispezione periodica delle caldaie e degli impianti centralizzati di aria condizionata negli edifici e la valutazione degli impianti di riscaldamento dotati di caldaie installate da oltre 15 anni.

In sostanza la Direttiva 2002/91/CE si prefigge i seguenti obiettivi:

- diminuire del 22% i consumi energetici comunitari entro il 2010;
- ottenere un risparmio di energia primaria pari a 55 milioni di tep;
- ridurre le emissioni di CO₂ di un valore pari a 100 milioni di tonnellate;
- introdurre nuovi standard progettuali.

La Commissione, assistita da un comitato, è responsabile dell'adeguamento dell'allegato, che contiene gli elementi da prendere in considerazione nel calcolo del rendimento energetico degli edifici e le prescrizioni relative al controllo delle caldaie e degli impianti centralizzati di aria condizionata, al progresso tecnico.

Al CEN, ovvero il comitato tecnico europeo che si occupa della redazione delle norme tecniche, è stato affidato il Mandato n.343 Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), nell'ambito del quale si definiscono gli strumenti operativi per implementare la metodologia comune di calcolo delle prestazioni energetiche. Essa dovrebbe tenere conto di tutti gli elementi che concorrono a determinare l'efficienza energetica, e non più soltanto della qualità dell'isolamento termico dell'edificio, e deve comprendere dunque almeno i seguenti aspetti (articolo 3):

- condizioni climatiche del sito;
- posizione ed orientamento dell'edificio;

- caratteristiche termiche dell'involucro edilizio;
- impianto di riscaldamento e di produzione dell'acqua calda sanitaria;
- impianto di condizionamento dell'aria e ventilazione;
- sistemi solari passivi e protezione solare;
- impianto di illuminazione;
- comfort termoigrometrico degli ambienti interni;
- utilizzo di fonti energetiche rinnovabili e cogenerazione.

La Direttiva riguarda il settore residenziale e quello terziario; alcuni edifici sono però esclusi dal campo di applicazione delle disposizioni relative alla certificazione, per esempio gli edifici storici, i siti industriali, etc. Gli edifici vengono classificati in categorie generali: abitazioni monofamiliari, condomini, uffici, strutture scolastiche, ospedali, alberghi e ristoranti, impianti sportivi, esercizi commerciali. Vengono poi distinte due modalità di valutazione, ovvero la valutazione standard (asset rating), basata sul calcolo del fabbisogno energetico in condizioni standard di utilizzo dell'edificio, e la valutazione funzionale (operational rating) che considera le condizioni effettive.

Il calcolo è strutturato in tre livelli:

- calcolo dell'energia netta utilizzata, considerando le caratteristiche termiche dell'involucro ed escludendo le prestazioni del sistema impiantistico;
- calcolo dell'energia fornita, prendendo in esame le caratteristiche degli impianti e dei sottoimpianti (produzione, distribuzione, regolazione, emissione), i rendimenti ed i contributi delle varie forme di energia;
- calcolo degli indicatori globali di prestazione energetica, quali energia primaria, emissioni di CO₂, che consentono un confronto fra edifici diversi.

Per il calcolo di questi ultimi vengono forniti in tabella 1 i fattori di conversione.

Combustibile	Fattore di energia primaria	Emissione di CO2
Carbone	1,53	467
Olio combustibile	1,35	330
Gas naturale	1,36	277
Legno	1,06	4
Energia elettrica (media europea)	3,31 (in Italia è 2,78 come da Allegato I al d.lgs. 311/2006)	617

Tabella 1. (Fonte: G.Cellai, G.Bazzini, M.Gai, *Le prestazioni energetiche degli edifici*, Maggioli).

L'energia primaria deriva dalla somma delle energie fornite per i diversi usi (riscaldamento, raffrescamento, ACS, ventilazione, illuminazione) dall'i-esimo vettore energetico, moltiplicate per il relativo fattore di conversione. Dividendo il risultato per la superficie climatizzata si ottiene l'indice di energia primaria specifica EP [kWh/mq/anno].

Le prestazioni energetiche devono necessariamente essere espresse in forma affidabile e comprensibile al fine di definire i requisiti minimi e consentire agli utenti una corretta valutazione. Si definiscono cioè con precisione i modi per esprimere requisiti energetici di edifici nuovi o esistenti, indicatori globali, valori di riferimento (benchmark) e schemi di certificazione energetica con contenuti dettagliati. Il requisito globale può essere integrato con requisiti specifici. I valori di riferimento, stabiliti per categorie di destinazione, possono essere:

- valori standard, corrispondenti ai valori che ci si attende per le nuove costruzioni a partire dal 2006 (in Italia tale valore è EP_{lim} definito dal d.lgs. n.311 del 2006);
- valori funzionali, corrispondenti ai valori medi riscontrati nelle tipologie del patrimonio esistente;
- valore di riferimento zero, corrispondente all'assenza di consumi o emissioni.

Le prestazioni di un edificio sono classificate in funzione di una scala prestazionale graduata dal miglior valore A al peggiore G, dove il valore standard è la soglia fra le classi B e C e il valore funzionale fra le classi D e E. Definita la

categoria di edificio, individuati i valori standard R_r e funzionale R_s e calcolati i rapporti EP/R_r ed EP/R_s , si determina dunque il valore dell'indice di classificazione C con le seguenti modalità:

- se $EP/R_r \leq 1$ si pone $C = EP/R_r$
- se $EP/R_r > 1$ si pone $C = 1 + EP/R_r$
- negli altri casi $C = 1 + [(EP - R_r)/(R_s - R_r)]$

La classe prestazionale dell'edificio è infine determinata come segue:

- Classe A se $C < 0,5$
- Classe B se $0,5 < C < 1$
- Classe C se $1 < C < 1,5$
- Classe D se $1,5 < C < 2$
- Classe E se $2 < C < 2,5$
- Classe F se $2,5 < C < 3$
- Classe G se $C > 3$

Gli aspetti illustrati in riferimento alla Direttiva Europea 2002/91/CE, come detto, vengono recepiti e modificati dai decreti attuativi emanati dagli Stati membri. Infatti, al comma 21 si stabilisce che *“Secondo i principi della sussidiarietà e della proporzionalità di cui all'articolo 5 del trattato, i principi generali e gli obiettivi della disciplina in materia di rendimento energetico devono essere fissati a livello comunitario, mentre le modalità di attuazione restano di competenza degli Stati membri, cosicché ciascuno di essi possa predisporre il regime che meglio si adatta alle sue specificità. La presente direttiva si limita al minimo richiesto e non va al di là di quanto necessario per il raggiungimento di tali obiettivi.”*

Ancora, all'art. 3 si precisa che *“Gli Stati membri applicano a livello nazionale e regionale una metodologia di calcolo del rendimento energetico degli edifici sulla base del quadro generale di cui all'allegato. Le parti 1 e 2 di tale quadro sono adeguate al progresso tecnico secondo la procedura di cui all'articolo 14, paragrafo 2, tenendo conto dei valori o delle norme applicati*

nella normativa degli Stati membri. Tale metodologia è stabilita a livello nazionale o regionale.”

Gli Stati membri sono responsabili dell'elaborazione delle norme minime e sono tenuti a garantire che la certificazione e il controllo degli edifici siano effettuati da personale qualificato e indipendente.

Per facilitare questo compito, i lavori dei Work Item (WI) afferenti a cinque Comitati Tecnici (TC 89, 156, 169, 228 e 247), coordinati dal Gruppo di lavoro (WG) 173 Energy Demand Management Committee (WG-EDMC), sono stati finalizzati alla redazione di circa 30 progetti di norma, di cui si elencano i principali:

- prEN ISO 13790rev, contenuto: Fabbisogno annuale di energia per riscaldamento e raffrescamento (tenuto conto di guadagni e perdite);
- prEN ISO 5927, contenuto: Dati climatici;
- prEN 15203/15315, contenuto: Energia globale utilizzata per riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, ACS (compreso i consumi ausiliari);
- prEN 15316, contenuto: Calcolo del rendimento degli impianti di riscaldamento;
- prEN 1316-3, contenuto: Fabbisogno annuale di energia per ACS;
- prEN 13947, contenuto: Calcolo prestazioni delle facciate continue;
- prEN 15193, contenuto: Fabbisogno annuale di energia per illuminazione;
- prEN 15217, contenuto: Modalità per esprimere prestazioni energetiche e requisiti, formato della certificazione energetica;
- prEN 15251, contenuto: Criteri di qualità dell'ambiente interno;
- prEN 15315, contenuto: Fattori di conversione in energia primaria ed emissione di CO₂;
- prEN 15378, contenuto: Modalità di ispezione per i boyler;
- prEN 15240, contenuto: Modalità di ispezione per sistemi di ventilazione e condizionamento dell'aria;
- prEN 15241, contenuto: Fabbisogno annuale di energia per ventilazione.

Questi progetti di norma arricchiscono il quadro generale delle norme pubblicate dal comitato tecnico TC 59/SC “Sostenibilità nell’edilizia.”, fra cui si ricordano:

- ISO 15392:2008 “Sostenibilità in edilizia - Principi generali.”
- ISO/TS 21931-1:2006 “Sostenibilità in edilizia - Quadro dei metodi di valutazione per le prestazioni ambientali nei lavori di costruzione.”
- ISO/TS 21929-1:2006 “Sostenibilità in edilizia - Indicatori di sostenibilità.”
- ISO 21930:2007 “Sostenibilità in edilizia - La dichiarazione ambientale dei prodotti da costruzione.”
- prEN 15804: Sostenibilità dei lavori di costruzione: Dichiarazioni ambientali di prodotto – Regole di categoria di prodotto.
- prEN 15941: Sostenibilità dei lavori di costruzione: Dichiarazioni ambientali di prodotto – metodi e dati generici.
- prEN 15643-1: Sostenibilità dei lavori di costruzione: Valutazione della sostenibilità degli edifici parte 1: Quadro generale.
- prEN 15643-2: Sostenibilità dei lavori di costruzione: Valutazione della sostenibilità degli edifici parte 2: Quadro per la valutazione delle prestazioni ambientali.
- prEN 15643-3: Sostenibilità dei lavori di costruzione: Valutazione della sostenibilità degli edifici parte 3: quadro per la valutazione delle performance sociali.
- prEN 15643-4: Sostenibilità dei lavori di costruzione: Valutazione della sostenibilità degli edifici parte 4: quadro per la valutazione dei risultati economici.

La Direttiva 2002/91/CE (abrogata dal 1° Febbraio 2012) è stata successivamente integrata dalla Direttiva 2010/31/UE (in vigore dal 9 luglio 2010) sulla prestazione energetica nell'edilizia, che ha i medesimi scopi della precedente ma con specifiche inerenti a:

- l'adozione di una comune metodologia di calcolo della prestazione energetica. Gli Stati membri applicano una metodologia di calcolo della prestazione

energetica degli edifici in conformità al quadro generale comune, definito dalla Direttiva;

- il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica. Gli Stati membri calcolano livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica avvalendosi del quadro metodologico comparativo stabilito dalla Direttiva e trasmettono alla Commissione una relazione contenente tutti i dati e le ipotesi utilizzati per il calcolo, con i relativi risultati. Con il Regolamento delegato n.244/2012 del 16 gennaio 2012 (pubblicato sulla GUCE L. 81 del 21 marzo 2012) la Commissione ha stabilito un quadro metodologico comparativo per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi. Gli Stati membri calcoleranno i livelli ottimali utilizzando tale quadro comparativo e raffronteranno i risultati di tale calcolo con i requisiti minimi di prestazione energetica in vigore;
- per gli edifici di nuova costruzione gli Stati dovranno garantire che sia valutata la fattibilità tecnica, ambientale ed economica di sistemi alternativi ad alta efficienza tra cui: sistemi di fornitura energetica decentrati basati su fonti rinnovabili, cogenerazione, teleriscaldamento o teleraffrescamento, pompe di calore. Per gli edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni di rilievo, la prestazione energetica dovrà essere migliorata al fine di soddisfare i requisiti minimi;
- "Edifici a energia quasi zero". Gli Stati membri provvedono affinché:
 - entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici a energia quasi zero;
 - a partire dal 31 dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione di proprietà e/o occupati da enti pubblici siano edifici a energia quasi zero;
 - elaborano piani nazionali destinati ad aumentare il numero di edifici a energia quasi zero e definiscono politiche e obiettivi, finalizzate a

incentivare la trasformazione degli edifici ristrutturati in edifici a energia quasi zero;

- la riqualificazione energetica di immobili esistenti, con eliminazione della soglia di 1000 mq. Requisiti minimi di efficienza per le ristrutturazioni per almeno il 25% della superficie o del valore. Il ruolo guida è affidato al settore pubblico. Gli edifici pubblici aventi una metratura totale di oltre 500 mq e aperti al pubblico dovranno esporre degli attestati di certificazione energetica. Entro cinque anni la metratura sarà ridotta a 250 mq. Gli Stati membri adottano gli opportuni provvedimenti per esaminare gli strumenti di finanziamento e di altro tipo necessari per migliorare la prestazione energetica degli edifici e il passaggio a edifici a energia quasi zero sulla base delle circostanze nazionali. A tal fine, entro il 30 giugno 2011 gli Stati membri redigono un elenco delle misure e degli strumenti esistenti ed eventualmente proposti, compresi quelli di carattere finanziario, diversi da quelli richiesti dalla direttiva ma che promuovono gli obiettivi della stessa. Tale elenco va aggiornato ogni tre anni.

Esiste attualmente una proposta di Direttiva in discussione, la cui bozza non ancora in vigore è la n.172 del 22/06/2011, a revisione delle Direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

Già nella Direttiva 89/106/CEE del Consiglio, del 21 dicembre 1988, relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati membri concernenti i prodotti da costruzione, modificata dalla Direttiva 93/68/CEE, si dichiara che *“l'edificio ed i relativi impianti di riscaldamento, condizionamento ed aerazione devono essere progettati e realizzati in modo da richiedere, in esercizio, un basso consumo di energia, tenuto conto delle condizioni climatiche del luogo e nel rispetto del benessere degli occupanti.”*

Tale Direttiva era stata anticipata dalla Risoluzione del Consiglio del 15 gennaio 1985, relativamente al miglioramento dei programmi di risparmio energetico, con la quale il Consiglio ha invitato gli Stati membri a proseguire e potenziare le azioni intese a promuovere un uso più razionale dell'energia, e dalla Risoluzione del Consiglio del 15 marzo 1985 per l'utilizzazione razionale dell'energia nel settore delle costruzioni.

La Direttiva 2002/91/CE inoltre fa seguito ai provvedimenti relativi alle caldaie (direttiva 92/42/CEE), ai prodotti da costruzione (direttiva 89/106/CEE) e alle disposizioni del programma SAVE sugli edifici. Nonostante esistesse una direttiva sulla certificazione energetica degli edifici (direttiva 93/76/CEE, intesa a limitare le emissioni di biossido di carbonio migliorando l'efficienza energetica e che impone agli Stati membri di elaborare, attuare e comunicare i programmi per il rendimento energetico nel settore dell'edilizia; successivamente abrogata dalla direttiva 2006/32/CE), si avvertiva l'esigenza di uno strumento giuridico complementare che potesse sancire interventi più concreti, al fine di realizzare il grande potenziale di risparmio energetico tuttora inattuato e di ridurre l'ampio divario tra le risultanze dei diversi Stati membri in questo settore. Si tratta di un provvedimento adottato in un contesto politico diverso, prima della conclusione dell'accordo di Kyoto e del clima di incertezza in relazione all'approvvigionamento energetico dell'Unione europea. La Direttiva 2006/32/CE non persegue gli stessi obiettivi della direttiva 2002/91/CE ma costituisce uno strumento complementare e propone interventi concreti per colmare le attuali lacune.

La Direttiva 2005/32/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 6 luglio 2005, inoltre è relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia e recante modifica della Direttiva 92/42/CEE del Consiglio e delle Direttive 96/57/CE e 2000/55/CE del Parlamento europeo e del Consiglio (Gazzetta ufficiale L.191 del 22.07.2005).

Nella Direttiva 2010/31/UE viene precisato che *“per i sistemi tecnici per l’edilizia, gli Stati membri dovrebbero avvalersi, se disponibili e appropriati, di strumenti armonizzati, in particolare dei metodi di prova e di calcolo e delle classi di efficienza energetica definiti nel quadro delle misure di attuazione della Direttiva 2009/125/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 ottobre 2009, relativa all’istituzione di un quadro per l’elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti connessi all’energia, e della Direttiva 2010/30/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010, concernente l’indicazione del consumo di energia e di altre risorse dei prodotti connessi all’energia, mediante l’etichettatura ed informazioni uniformi relative ai prodotti.”*

E ancora *“Sono in corso di istituzione o di adeguamento strumenti finanziari dell’Unione e altri provvedimenti con l’obiettivo di incentivare misure legate all’efficienza energetica. Tali strumenti finanziari a livello dell’Unione comprendono, tra l’altro, il regolamento (CE) n. 1080/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 5 luglio 2006, relativo al Fondo europeo di sviluppo regionale, modificato per consentire maggiori investimenti a favore dell’efficienza energetica nell’edilizia abitativa.”*

La Direttiva 2009/28/CE, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE, stabilisce un quadro comune per la promozione dell’energia da fonti rinnovabili.

Dopo la rassegna delle principali Direttive, si vogliono infine richiamare i seguenti Documenti Ufficiali Europei:

- EUR-Lex: “Energy Efficiency Plan 2011” (8 Marzo 2011);
- EUR-Lex: “Energy Efficiency for the 2020 goal”;
- Official Journal of the European Union: “Recast Energy Performance of Buildings Directive” (19 Maggio 2010);

- European Commission: “Energy infrastructure priorities for 2020 and beyond - A Blueprint for an integrated European energy network” (17 Novembre 2010);
- Official Journal of the European Union: “Co-generation Directive” (11 Febbraio 2004);
- European Commission: “Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential” (19 Ottobre 2006);
- European Commission: “Competitiveness and Innovation Framework Programme (CIP)” (2007-2013);
- European Commission: “Recommendation on mobilising ICT to facilitate transition to an energy-efficient, low-carbon economy” (9 Ottobre 2009);
- EUR-Lex: “Smart grids: from innovation to deployment” (12 Aprile 2011).

1.3 Il panorama normativo europeo (cenni).

Nonostante le precise indicazioni fornite dalle direttive CE menzionate nel precedente paragrafo, il recepimento delle stesse in abito nazionale ha portato ad esperienze e risultati assai diversi fra gli Stati membri. Nel seguito si intende fornire in maniera sintetica un quadro generale dei diversi standard normativi adottati nei Paesi della Comunità Europea, limitandosi ad analizzarne i principali e tentando di evidenziarne appunto i caratteri maggiormente distintivi. Alla certificazione energetica ed ambientale degli edifici come definita in Italia dagli attuali decreti e normative viene infine dedicato, con maggior dettaglio, il paragrafo successivo (cfr. 1.4).

In primis occorre osservare che quasi tutti i sistemi di certificazione energetico-ambientale messi a punto negli ultimi anni, già disponibili ed utilizzati o ancora in fase di elaborazione e perfezionamento, sono volti alla definizione delle prestazioni energetiche degli edifici durante tutto il loro ciclo di vita, e sebbene la certificazione energetica stessa sia stata resa obbligatoria solo in alcuni Stati, rappresentano in ogni caso strumenti assai validi per indirizzare il mercato immobiliare verso uno sviluppo sostenibile e, sempre più, verso l'impiego di tecniche e materiali ecocompatibili.

Parallelamente agli studi finalizzati ad estendere la certificazione a tutte le tipologie edilizie, si assiste ad un notevole sforzo per far convergere gli standard di valutazione verso quelli già adottati in Paesi caratterizzati da una legislazione più evoluta. Ma, come si vedrà, il panorama generale è ancora, purtroppo, molto complesso e difforme, cosa che genera incertezze e difficoltà per progettisti e certificatori. A partire dalla definizione stessa del termine "certificazione" che, date le numerose esperienze in merito, ha finito per assumere significati diversi, da procedura di calcolo finalizzata a misurare il livello di consumi (come previsto ad esempio dalla legge 10/91 italiana) a sottoprodotto dell'attività di diagnosi energetica intesa ad identificare prestazioni e ambiti di intervento, a pubblico riconoscimento conferito in virtù del soddisfacimento di determinati requisiti.

Naturalmente esistono anche aspetti comuni alle diverse normative, come ad esempio i principali parametri da prendere in considerazione ai fini delle valutazioni, che siano esse esclusivamente energetiche o, più in generale, ambientali. Tali parametri possono essere raggruppati in:

- consumo di risorse (energia, acqua, territorio);
- carichi ambientali prodotti (emissioni inquinanti, impatto ecologico);
- qualità ambientale e comfort abitativo;
- qualità del servizio (affidabilità, flessibilità, controllabilità).

Gli schemi che riguardano i metodi di valutazione del livello di sostenibilità possono essere distinti in tre categorie:

- strumenti che consentono di scegliere i materiali da costruzione in funzione di fattori economici ed ambientali (es. MRPI);
- strumenti che consentono di valutare l'impatto ambientale, i costi ed i consumi energetici di un intero edificio (es. Eco-Quantum);
- strumenti che considerano tutti gli aspetti legati alla realizzazione di un edificio in un approccio olistico (GBTool, BREEAM, LEED).

Per quanto concerne invece i metodi sviluppati per la certificazione esclusivamente energetica, anche qui si hanno tre categorie:

- metodi a punteggio, applicati a piccoli edifici ed in relazione a pochi parametri (livello di isolamento, tipi di infissi, impianti di riscaldamento, etc.);
- metodi di calcolo semplificati, che permettono una stima dei carichi energetici per il riscaldamento degli ambienti ottenuta da un bilancio fra perdite ed apporti di calore (approccio consigliato da EN 832 e da prEN ISO 13790);
- metodi di simulazione dinamica, molto più accurati ma, proprio per questo, spesso di applicazione non immediata.

Uno dei primi Paesi in Europa ad interessarsi della problematica è stato sicuramente il Regno Unito, che già nel 1970 stabilì un severo programma di efficienza energetica gestito direttamente dal Dipartimento per l'Ambiente. Nel 1992 la procedura SAP, basata principalmente sul calcolo della CO2 emessa, iniziò nell'ambito dell'edilizia residenziale a considerare i consumi energetici derivanti dal riscaldamento degli ambienti e dalla produzione di acqua calda sanitaria, avviando una proficua campagna di efficientamento degli impianti domestici. Con le rivisitazioni SAP 2001 e SAP 2005 venivano considerati finalmente aspetti come l'isolamento, gli apporti solari, la ventilazione, pur restando queste procedure per lungo tempo solo a carattere volontario. Al sistema di valutazione SAP, oggi si affiancano altri tre metodi: il National Home Energy Rating Profile (NHER), il Building Energy Performance Index Profile (BEPI) che non considera gli impianti e il Carbon Dioxide Profile, che fornisce la stima delle emissioni di CO2. Già prima invece, nel 1995, dopo la creazione delle Agenzie speciali ETSU e Conservation support unit in the building research establishment, si era intervenuti efficacemente sugli edifici pubblici con l'Home Energy Conservation Act e sugli edifici non residenziali con il sistema, anch'esso volontario, BREEAM. Il Building Regulations del 2002 infine, disponibile con i relativi schemi di certificazione sul sito governativo [http://: www.opsi.gov.uk](http://www.opsi.gov.uk) , stabilisce le modalità per ottenere i requisiti minimi richiesti per i suddetti aspetti ed apre la strada al certificato EcoHomes, che oltre a considerare le emissioni (non solo di CO2 ma anche di CFC NOx, SOx), il consumo di combustibile per riscaldamento ed ACS, l'isolamento ed i materiali usati, introduce requisiti relativi anche al consumo di risorse (acqua e territorio), all'illuminazione, alla produzione di rifiuti riciclabili e non, ai trasporti urbani. Altri siti internet validi per approfondimenti sono: www.bre.co.uk; www.gasman.fsbusiness.co.uk; www.practicalhelp.org.uk.

All'esperienza britannica presto seguì quella francese con la Regulamentation Termique del 1974, successivamente evoluta fino alla RT2000, che stima con una procedura semplificata e con il supporto di software per i calcoli più elaborati la prestazione globale dell'edificio, valutando grado di isolamento, ventilazione, riscaldamento, ACS, raffrescamento e climatizzazione, apporti solari, inerzia termica, consumi convenzionali. Tali parametri vengono ulteriormente affinati nello schema di certificazione HPE del 2003, che peraltro riprende il concetto sviluppato nel certificato HQE (1996), cioè la considerazione dell'intero processo edilizio dalla progettazione alla demolizione, con la definizione di 14 obiettivi inerenti all'impatto ambientale, alla gestione delle risorse, al comfort abitativo. Dal punto di vista politico infine, si assiste in Francia ad un marcato decentramento delle competenze, riflesso anche nell'applicazione delle normative nazionali, fin dal 1982, con la creazione di 24 agenzie territoriali coordinate e finanziate dagli organi ministeriali. Proprio da questo coordinamento nasce l'idea interessante di ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie) che ha sviluppato un software semplice da utilizzare per l'autodiagnosi energetica, coadiuvato dalla Despenche Conventionelle de Logement (DCL). Con la Legge n.96-1236 del 30/12/1996, si istituisce la certificazione energetica obbligatoria di tutti i tipi di edifici. Informazioni più dettagliate al riguardo si possono trovare agli indirizzi internet www.mediaterre.org/france oppure www.ademe.fr.

Un simile processo di decentralizzazione ha portato in Germania alla nascita delle Agenzie Regionali dei Lander, che in questo caso rispondono direttamente ad una sovrastruttura nazionale, l'Agenzia KFA, controllata direttamente dal Ministero Federale dell'Economia. La singolarità del programma energetico tedesco è rappresentata dall'introduzione, sin dalle prime fasi dell'implementazione, di principi di mercato oltre che di regole e limitazioni, con l'applicazione di sgravi fiscali, prestiti agevolati, finanziamenti ed incentivi, anche per gli ingegneri progettisti (Fee Table). Il primo schema di certificazione energetica degli edifici risale al 1995, in applicazione dell'articolo 12 del Rules

of Energy conservation del 16 agosto 1994. Le procedure di calcolo sono contenute nell'EPHW del 1997. Attualmente lo schema di certificazione, denominato LEE, è quello sostanzialmente ereditato dal sistema svizzero SIA 380/4. Alla Germania va anche imputato il merito di aver adottato, prima fra tutti gli Stati, lo standard ormai ampiamente conosciuto di Passivhaus (o i meno noti Plus Energie Haus e Minergie), unico standard che considera un valore negativo dell'indice di consumo di energia primaria (a cui corrisponde cioè un edificio in grado di produrre più energia di quanta ne consuma). L'adozione di tale standard ha portato ad esperienze molto significative, fra cui quelle realizzate dai comuni virtuosi di Hannover, Friburgo e Sachsen. Nel febbraio del 2002 è entrata in vigore la nuova "Energiesparverordnung", che sostituisce la normativa del 1995 e riduce ulteriormente del 30% il fabbisogno termico ammissibile per gli edifici. Oggi in Germania progettare abitazioni con un valore parametrico del consumo di energia per il riscaldamento minore di 75 kWh/mq anno, calcolato con il metodo Frankfurt Energiepass è una condizione necessaria per usufruire degli incentivi erogati dall'Assia. Per approfondimenti si possono consultare i siti www.gutex.de, www.dema.de, e www.enev-normen.de.

In Olanda invece, un'unica Agenzia nazionale, la Novem, ha messo a punto negli anni tre diversi standard di certificazione: EPL, inerente al sito di costruzione ed ai parametri ad esso connessi, EPN, obbligatorio per tutti gli edifici residenziali, ed EPA, a carattere volontario ma corredato di software molto accurati per l'applicazione delle Direttive europee (www.epa-ed.org e www.epa-nr.org). A questi si affianca lo standard NEN 2916, basato sulle normative prEN ISO 13790, che esprime le prestazioni energetiche degli edifici in termini di energia primaria e consumo di risorse. Fra le procedure di calcolo si segnala lo sviluppo del software Eco-Quantum che consente l'analisi dell'impatto ambientale dell'intero ciclo di vita di un edificio. Le pratiche virtuose sviluppate ad esempio dal piccolo comune di Zoetermeer sono una valida testimonianza dei risultati ottenuti. Si fa riferimento infine ai siti www.to-be.it e www.ecn.nl per ulteriori approfondimenti.

Non ultima è l'esperienza danese, iniziata nel 1981 e giunta già agli inizi del 2000 alla certificazione di più della metà degli edifici sul territorio nazionale, anche se in questo caso la validità dei certificati è limitata ad appena 3 anni, in confronto ai 10 generalmente stabiliti. Con la legge ACT 1-1-97 si dà origine a tre schemi di certificazione. Lo schema ELO, riferito a grandi edifici e contenente, oltre al certificato, un piano energetico con validità triennale per il monitoraggio ed il contenimento dei consumi di acqua, elettricità, gas, con stime e confronti su base pluriennale e per categorie di edificio. Tale schema è supportato dal software di calcolo ELO web, mentre la modulistica è visionabile all'indirizzo www.elosekretariat.dk oppure www.Energiledelsesordningen.dk. Lo schema EM è invece applicabile ai piccoli edifici e si può richiedere, a spese del proprietario, in caso di acquisto o locazione dell'immobile. Esso considera i consumi effettivi registrati dalle utenze, il calcolo dei fabbisogni annuali di acqua, elettricità e gas, le corrispondenti emissioni inquinanti, e anche in questo caso la redazione di un piano energetico con le soluzioni migliori per l'efficientamento e le simulazioni. I calcoli, illustrati nell'Energy Consultant Handbook (www.spareenergy.dk) e sviluppati con software tipo EK-PRO e TM-Energy, sono in rispondenza a quanto prescritto dalle norme CEN n. EN ISO 6946. Infine esiste uno schema specifico per industrie ed attività produttive. Tali schemi rappresentano uno dei più fedeli esempi di recepimento della Direttiva comunitaria 2002/91/CE. A cavallo fra il 1999 ed il 2000 inoltre il panorama si è arricchito con le Order on Energy Rating 717, 718 e 789; attualmente resta in vigore il nuovo regolamento energetico BR-2005, con il certificato EPDB. Nel 2000 la Danimarca si è dotata di un piano operativo con l'obiettivo di ridurre del 20% rispetto al 1998 le emissioni di CO₂ entro il 2005 e ridurre fino a 40 kWh/mq anno il consumo specifico per il riscaldamento degli edifici.

Il governo del Land dell'Alta Austria nel suo programma EnergieAusweis fissa annualmente il valore limite del parametro di consumo energetico specifico NEZ (NutzheizEnergiekennZahl) che rappresenta il limite massimo ammesso del consumo annuo di energia per unità di superficie. Esso è passato da 75 kWh/mq

all'anno del 1995 a 65 kWh/mq anno dal 1998. solo rispettando tale limite è possibile accedere al sistema di incentivi federali.

www.energiesparhaus.at/energieausweis. è uno dei tanti siti ufficiali dove trovare informazioni in merito.

Guardando oltreoceano vale la pena menzionare naturalmente l'esperienza statunitense, specialmente per le notevoli ripercussioni che questa ha scatenato sul mercato immobiliare. L'U.S. Building Council infatti ha da sempre adottato un metodo di certificazione a punteggio, denominato LEED, la cui struttura è divisibile in una parte contenente una serie di prerequisiti minimi obbligatori ed un'altra con requisiti suddivisi per sezioni tematiche (acqua, energia, risorse e materiali, rifiuti e riciclo, ambiente interno, emissioni, trasporti, infrastrutture e urbanizzazione), il cui volontario soddisfacimento comporta l'attribuzione di un punteggio; la somma dei punteggi ottenuti classifica il comportamento globale di un edificio e quindi il suo valore di mercato. Tratto fortemente distintivo è la notevole importanza conferita da questa specifica metodologia all'utilizzo di fonti di energia rinnovabili. Casi studio, corredati da soluzioni progettuali specifiche, sono contenuti nel LEED Reference Guide (www.usgbc.org/Docs/LEEDdocs/LEEDforLodging-AppGuide.pdf).

Questa complessa panoramica di metodologie, per quanto accurate ed elaborate, ha un forte limite rappresentato proprio dalla molteplicità e specificità delle esperienze. Per questo, nel tentativo di uniformare il più possibile gli indicatori, pur nel rispetto delle differenze climatiche, tecnologiche, di tradizione costruttiva dei vari Paesi, è stato fondato nel 1996 in Canada un network mondiale, il Green Building Challenge, i cui sforzi sono concentrati nella realizzazione di un sistema condiviso su scala globale: il GBTool. Tale sistema definisce alcuni indicatori di sostenibilità "assoluti" (ESI) come il consumo di energia primaria, di acqua, di suolo, le emissioni specifiche di inquinanti e gas serra, l'utilizzo di materiali certificati da norme mondiali. A questi indicatori se ne affiancano altri specificamente dipendenti dal luogo ed articolati in sottocriteri

con scale di punteggio da -2 a 5, dove 0 è rappresentato dallo standard costruttivo corrente per un dato Paese, non sempre univocamente determinato. Sebbene questo strumento rappresenti un'ottima sintesi aggregativa dei vari parametri, la sperimentazione della sua applicazione (ad esempio in Italia nel villaggio olimpico Torino 2006) ha dimostrato una notevole complessità con conseguenti costi elevati. Resta la straordinaria flessibilità del metodo, forse l'unico in grado di consentire un facile confronto fra esperienze internazionali. Per approfondimenti si consultino i siti www.iisbe.org e www.greenbuilding.ca.

D'altra parte, come già accennato, anche a livello europeo il problema fondamentale resta proprio la necessità di unificare i vari sistemi di certificazione (e auspicabilmente il sistema costi-incentivi), dal momento che, ad esempio, perfino i limiti di consumo di energia in termini di KWh/mq variano significativamente da stato a stato. La tabella 2, i cui dati sono ripresi dalla Guide for a building Energy label, fornisce un immediato confronto in tal senso.

PAESE	METODO	INDICATORE	VALORE (KWh/mq/anno)	
			Soglia min.	Soglia max.
Austria	BEC	Carico per riscaldamento	93	163
Belgio	K55/Be450	Trasmittanza U	174	237
Francia	RT2000	Energia primaria	144	210
Germania	Passivhaus	Energia primaria (+ illuminazione)	30	
Germania	EnEv	En. Primaria	80	153
Olanda	EPC	En. Primaria	110	140
Gran Bretagna	SAP	Costo energetico	108	117

Tabella 2.

I dati contenuti in tabella 3 alla pagina successiva invece, estrapolati dalla medesima guida, sono utili a riepilogare e precisare le caratteristiche principali dei sistemi di certificazione analizzati finora.

Le complesse discrepanze nell'ambito delle esperienze europee, si vanno sempre più colmando in seguito al recepimento della Direttiva 2002/91/CE, anche se molti strumenti indicati nella normativa stessa sono ancora oggi in fase embrionale e siamo ancora lontani da un certificato unico e condiviso. Tra gli Stati membri sicuramente all'avanguardia nel processo di implementazione della normativa europea si citano ancora la Germania, con l'ordinanza Energie-Einspar-Verordnung che adotta il metodo di calcolo proprio della DIN V 18599, la Danimarca con il suo BR-2005 e l'Olanda con gli EPA-NR ed EPA-ED.

PAESE	Danimarca		Francia	Germania	UK	Olanda		
Nome	ELO	EM	RT2000	EnEv	SAP	EPN	EPL	EPA
Data	1997	1997	2000	2002	2005	1995		2000
Autori	Govern		CSTB	Ministero	BRE, DEFR A	Nederlands Normalisatie Instituut		
Aspetti considerati								
Isolamento			X	X	X			
Riscaldam.	X	X	X	X	X	X	X	X
Ventilazione			X	X	X	X	X	X
Climatizzaz.			X	X	X	X	X	X
Acqua calda	X	X	X		X			
Illuminazione			X	X	X	X	X	X
Apporti solari				X	X			
Sistemi CHP					X			
Combustibile					X			
Elettricit�	X	X			X			
CO2	X	X			X			
Tipologia di edifici	A>1500 mq	A<1500 mq	Residenziali e terziario		Nuovi o in ristruttur	Resid. e non; nuovi o esist.	Nuovi siti	Non resid.
Modello base	A punti basato su CEN n.EN ISO 6946		A punti basato su EN 13790	A punti basato su EN 832	A punti basato su EN 832	EN 13790 e NPR 5129 2002		
Applicazione	Obbligatorio.	Volontario				Obblig.	Obblig.	Volontario
Limiti	Ricorso a valori standard; discordanza con la Direttiva europea		Non tiene conto del progetto architetton.	Non permette simulaz.	No simulazioni	Dipendenza dalle modalit� di occupazione		
Vantaggi	Contiene il piano energetico		Valutazione e comfort invernale ed estivo		Facile uso	Consente simulazioni		
Indicatore	Costi energetici		En. primaria	En. primaria trasmittanza	Costi energ.	Energia primaria		
Contenuto	Certificato e piano energetico		Prestazione energetica	Certificato	Prestazione energ.	Certificato		
Forma del risultato	A-M= (71-200) KWh/mq a	AI-C5	Stima compresa fra 18 e 31		Stima SAP in scala 1-100;		0<EP L<10	0<EI <2
Software	ELO-PC	EK-PRO TM-Energy	Sviluppati da CSTB		Approvati dal BRE			
Incaricati all'esecuzione	Consulenti autorizzati			Consulenti energetici	Organizzazioni autorizzate.			
Validit�	1 anno	3 anni						

Tabella 3.

1.4 La situazione italiana.

Le normative sul risparmio energetico trovano la loro prima apparizione nello scenario nazionale nel lontano 1976. La necessità di creare delle linee guida tramite una normativa sul risparmio energetico nacque dopo la crisi mondiale del petrolio del 1973 che riportò l'attenzione sui consumi energetici mondiali e sulla dipendenza dalle fonti non rinnovabili. In particolare, nel 1976 fu emanata la prima legge sul risparmio energetico negli edifici, la Legge n.373, che tentava di limitare i consumi energetici in edilizia e che imponeva limiti alla dispersione termica degli involucri. La sua applicazione nell'edilizia fu scarsa se non addirittura assente, a causa dei pochi controlli e della poca sensibilità sociale e dei costruttori edili. Essa portò in luce il conflitto di interesse tra chi costruiva per vendere con massimo profitto, e chi acquistava sobbarcandosi nel tempo l'elevato onere del riscaldamento di edifici costruiti in modo non idoneo, ma non risolveva il problema. Nel corso degli anni questa legge è stata abrogata e sostituita completamente.

In linea di principio la certificazione energetica è stata di fatto introdotta in Italia dalla Legge 10/91 "Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia", nell'articolo 30. Essa trovò la sua totale attuazione con il Decreto Presidenziale DPR del 26 agosto 1993 n.412, "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art.4, comma 4 della legge 9 gennaio 1991, n.10" e con il DPR n.551 del 1999. La legge introduce importanti nuove documentazioni, in particolare (art.28) l'obbligo della relazione tecnica sul rispetto delle prescrizioni in materia di contenimento dei consumi energetici e (art.30) la Certificazione energetica degli edifici.

Come visto, nei primi anni del 2000 l'Unione Europea ha intrapreso il percorso normativo per il raggiungimento degli obiettivi posti dal Protocollo di Kyoto del 1997. Le leggi europee vengono considerate delle direttive che devono essere recepite e trasformate in legge da ogni singolo stato membro. In questo ambito, dopo uno stop lungo quasi 15 anni, la normativa italiana sul risparmio energetico si sta muovendo per il recepimento di tali normative, anche se con significativo ritardo. Con la Legge n.306 del 31 ottobre 2003, recante "Disposizioni per l'adempimento di obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia alle Comunità europee – Legge comunitaria 2003", il Parlamento ha delegato il Governo a recepire la Direttiva 2002/91/CE. Il Governo ha esercitato tale delega con l'emanazione del d.lgs. 19 agosto 2005, n.192 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico in edilizia".

Il d.lgs. 192/2005 stabilisce i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica, contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra posti dal protocollo di Kyoto, promuovere la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico. Il presente decreto disciplina in particolare:

- la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici;
- l'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici;
- i criteri generali per la certificazione energetica degli edifici;
- le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione;
- i criteri per garantire la qualificazione e l'indipendenza degli esperti incaricati della certificazione e delle ispezioni agli impianti;
- la raccolta di informazioni ed esperienze, delle elaborazioni e degli studi necessari all'orientamento della politica energetica del settore;

- la promozione dell'uso razionale dell'energia anche attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali, la formazione e l'aggiornamento degli operatori del settore.

L'articolo 11 "Requisiti della prestazione energetica degli edifici" è stato sostituito dal Dpr 59/09 ("Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b)") e abrogato dal DM 26/06/09 ("Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici").

Il d.lgs. 192/2005 prevedeva infatti l'emanazione di diversi provvedimenti attuativi in relazione alla certificazione energetica degli edifici. E cioè:

- un regolamento con le metodologie di calcolo e i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici per la climatizzazione invernale e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, in materia di progettazione di edifici e di progettazione, installazione, esercizio, manutenzione e ispezione degli impianti termici. Il regolamento è stato varato con il Dpr 2 aprile 2009, n.59 "Rendimento energetico in edilizia", pubblicato in gazzetta ufficiale 10 giugno 2009;
- un Decreto Ministeriale per l'emanazione delle Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici. Il DM "Sviluppo economico" del 26 giugno 2009 contiene le Linee guida e i loro numerosi allegati;
- un regolamento con i criteri di riconoscimento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti e degli organismi a cui affidare la certificazione energetica degli edifici e le ispezioni degli impianti di climatizzazione. Il d.lgs. 115/2008 detta, nell'allegato III, i requisiti per i certificatori. Resterà valido fino alla pubblicazione del Dpr richiesto come attuativo dal d.lgs. 192/2005.

Poiché la disciplina in tema di certificazione è contenuta in una serie eterogenea di fonti normative, quali la direttiva comunitaria 2002/92/CE, nonché il d.lgs. 192/2005 e le legislazioni regionali, si pone un primo problema di coordinamento delle citate normative, dovuto soprattutto alla necessità di

stabilire quale sia il diverso ambito applicativo delle medesime. Sul punto, con riguardo al rapporto fra normativa comunitaria e nazionale, si deve dire che, in base a quanto affermato dalla Corte di Giustizia della Comunità europea (V. Corte Giustizia CE, 22 maggio 2003, n. 462/99; Corte giustizia CE, 5 ottobre 2004, n. 397/01-403/01; Corte giustizia CE, 27 giugno 2000, n. 240, 241, 242, 243, 244/98) e dalla Corte Costituzionale italiana (V. Corte Cost., 25 ottobre 2000, n. 440; Corte Cost., 25 giugno 1996, n. 216) le disposizioni nazionali non possono porsi in contrasto con quanto stabilito dalle disposizioni comunitarie. E questo perché, secondo quanto affermato dalle Corti, le disposizioni normative contenute nelle fonti del diritto interno (quindi nelle disposizioni nazionali) devono essere interpretate coerentemente con la lettera e lo scopo delle direttive e, più in generale, della normativa comunitaria, non potendosi ad esse attribuire altro significato se non quello da queste ultime risultante (principio di attuazione conforme).

Anche per questo motivo il d.lgs. 192/2005 è stato successivamente modificato da una serie di ulteriori provvedimenti legislativi, fra i quali devono ricordarsi:

- D.lgs. 311/06, in vigore dal 2/2/2007: "Disposizioni correttive ed integrative al d.lgs.192/05", che reintroduce la obbligatorietà della certificazione energetica. Le principali novità introdotte dal d.lgs. 311/2006 sono:
 - stabilisce che gli edifici immessi nel mercato immobiliare debbano dichiarare il proprio consumo energetico;
 - prevede che le Regioni, in accordo con gli enti locali, predispongano (entro il 31 dicembre 2008) un programma di sensibilizzazione dei cittadini e di riqualificazione energetica del parco immobiliare territoriale;
 - ha reso più severo l'obbligo di avere determinati livelli di prestazione energetica e isolamento su tutti gli edifici nuovi e su quelli ristrutturati di determinate dimensioni e determinati livelli di isolamento su tutte le parti ristrutturate di quelli esistenti (pareti, tetti, pavimenti);

- impone che l'acqua domestica venga riscaldata con l'energia solare nei nuovi edifici o in occasione di nuova installazione di impianti termici o di ristrutturazione degli impianti termici esistenti, per una frazione almeno del 50% del fabbisogno di acqua calda;
- introduce l'obbligo di "protezioni solari" esterne per i nuovi palazzi, riducendo il ricorso a condizionatori;
- introduce nella pianificazione del territorio il parametro energetico;
- anticipa al 1° gennaio 2008 i livelli di isolamento termico previsti per il 1° gennaio 2009. Introduce poi un livello di isolamento molto più incisivo dal 1° gennaio 2010 che garantirà la riduzione dei fabbisogni termici dei nuovi edifici del 20-25% rispetto ad oggi.

L'articolo 11 del d.lgs. 311/2006 indica inoltre che fino all'entrata in vigore dei decreti attuativi (Art.4), il calcolo della prestazione energetica degli edifici nella climatizzazione invernale e, in particolare, del fabbisogno annuo di energia primaria, è disciplinato dalla legge 9 gennaio 1991, n.10, come modificata dal d.lgs. 192/05, dalle norme attuative e dalle disposizioni dell'Allegato I.

In questa fase di transizione si introdusse uno strumento sostitutivo, la qualificazione energetica che rimase in vigore fino all'uscita delle "Linee Guida nazionali per la Certificazione Energetica" (D.M. 26/06/2009). Le norme attuative (in realtà mancano ancora quelle sui certificatori energetici) vengono infine pubblicate con il DPR 59/2009 ("Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettera a) e b), del Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia");

- D.lgs. 30 maggio 2008, n.115, recante "Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE", di cui devono segnalarsi l'art.11, rubricato "Semplificazione e razionalizzazione delle procedure amministrative e regolamentari", il quale detta disposizioni volte ad

incentivare gli interventi di riqualificazione energetica e di ricorso ad energie alternative e l'art.18, il quale stabilisce la disciplina applicabile in via transitoria alle fattispecie precedenti l'emanazione dei decreti previsti dall'art. 4, comma 1, lettere a), b), c) del d.lgs. 192/2005. Si ricorda che la 2006/32/CE (recepita in Italia dal d.lgs. 115/2008, che introduce le UNI TS 11300) ha l'obiettivo di migliorare l'efficienza degli usi finali di energia sotto il profilo costi/benefici negli stati membri, riducendo i consumi del 9%. Il Decreto 115/2008, al fine di contribuire al miglioramento della sicurezza dell'approvvigionamento energetico e alla tutela dell'ambiente attraverso la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, stabilisce un quadro di misure volte al miglioramento dell'efficienza degli usi finali dell'energia sotto il profilo costi e benefici. Per tali finalità, il presente decreto:

- definisce gli obiettivi indicativi, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico necessari ad eliminare le barriere e le imperfezioni esistenti sul mercato che ostacolano un efficiente uso finale dell'energia;
- crea le condizioni per lo sviluppo e la promozione di un mercato dei servizi energetici e la fornitura di altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica agli utenti finali;

In sintesi le principali novità previste dal DLgs 115/2008 sono:

- stabilisce che in attesa dei decreti attuativi, in materia di diagnosi energetica e di certificazione energetica valgono le norme tecniche nazionali UNI TS 11300. Questo per le regioni che ancora non abbiano adottato un loro regolamento specifico e fino a che non saranno pubblicati di decreti di cui al d.lgs. 192/05, art.4;
- questo decreto, all'Articolo 11, comma 1 e 2, introduce l'esclusione dai computi per la determinazioni dei volumi, delle superfici e dei rapporti di copertura, lo spessore delle murature esterne, delle tamponature o dei muri portanti, superiori ai 30 centimetri (per i nuovi interventi, oltre i 20 cm per quelli esistenti), il maggior spessore dei

solai e tutti i maggiori volumi e superfici necessari ad ottenere una riduzione minima del 10 per cento dell'indice di prestazione energetica;

- per quanto riguarda la semplificazione delle procedure autorizzative, il d.lgs. 115/08, sancisce che per l'installazione di pannelli solari termici e fotovoltaici, nel caso che siano integrati architettonicamente o complanari alla copertura, e che comunque non modificano la sagoma dell'edificio, non è necessario presentare la DIA (Denuncia Inizio Attività) al Comune;
 - all'ENEA viene assegnato il compito di Agenzia per l'Energia, con funzioni di supporto al Ministero dello Sviluppo Economico, di monitoraggio, di rafforzamento dell'azione del Legislatore;
 - vengono definite chiaramente le ESCO, come società che forniscono servizi energetici ovvero altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica nelle installazioni o nei locali dell'utente e, ciò facendo, accettando un certo margine di rischio finanziario;
 - vengono definiti il contratto servizio energia ed il contratto servizio energia plus introdotto dal DPR 412/93, e si specifica l'importanza per il settore pubblico di individuare una controparte;
 - vengono definiti quali sono i soggetti abilitati alla certificazione energetica, ovvero tecnici operanti in veste di dipendenti di enti, organismi pubblici società di servizi pubblico o privata, professionisti liberi o associati, iscritti ai relativi ordini e collegi ed abilitati. Inoltre, nel caso in cui il tecnico abbia competenze specifiche, dovrà operare in collaborazione con un altro tecnico abilitato, al fine di costituire un gruppo di lavoro che copra tutti gli ambiti necessari.
-
- D.l. 25 giugno 2008, n.112, convertito nella Legge 6 agosto 2008, n.133, il cui art.35, comma 2-bis, ha disposto l'abrogazione dei commi 3 e 4 dell'art.6 e dei commi 8 e 9 dell'art.15 del d.lgs. 192/2005, i quali prevedevano, a pena di nullità del contratto, l'obbligo di allegazione dell'attestato di certificazione

energetica agli atti traslativi a titolo oneroso, nonché l'obbligo di consegna e/o messa a disposizione dello stesso a favore del conduttore;

- DPR 59/09, “Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettera a) e b), del d.lgs. 19 agosto 2005, n.192.”, in vigore dal 25/06/09. Il presente decreto definisce i criteri generali, le metodologie di calcolo e i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici per la climatizzazione invernale e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, di cui all'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n.192, rimandando a successivi provvedimenti i criteri generali, le metodologie di calcolo e i requisiti minimi per la prestazione energetica degli impianti termici per la climatizzazione estiva.

Una breve sintesi delle principali novità introdotte dal DPR 59/2009 è:

- all' articolo 2 vengono introdotte nuove definizioni come: Sistemi Filtranti delle superfici trasparenti, Trasmittanza Termica Periodica (Yie), Copertura a Verde;
- vengono adottate (articolo 3) le norme tecniche nazionali ad oggi disponibili ed in particolare le UNI TS 11300-1 e le UNI TS 11300-2. Non essendo possibile determinare il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva, per tale aspetto il decreto fissa solo i valori limite del fabbisogno termico;
- gli strumenti di calcolo applicativi delle metodologie di cui sopra (software commerciali), devono garantire che i valori degli indici di prestazione energetica calcolati abbiano uno scostamento massimo di più o meno il 5% rispetto ai corrispondenti parametri determinati con l'applicazione dello strumento nazionale di riferimento predisposto dal CTI;
- per tutte le categorie di edifici (art. 3 DPR 412/93), nel caso di edifici di nuova costruzione e nei casi di ristrutturazione di edifici esistenti si procede in sede progettuale alla determinazione dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EP_i), e alla

verifica che lo stesso risulti inferiore ai valori limite riportati nell'allegato C al d.lgs. 192/2005 e s.m.e i.;

- vengono introdotti nuovi limiti di legge per quanto riguarda la prestazione energetica per la climatizzazione estiva dell'edificio e la trasmittanza periodica Y_{ie} per il controllo dell'inerzia dell'involucro;
 - all'articolo 4 comma 9, viene indicata la preferenza, al mantenimento di impianti termici centralizzati, se già esistenti, per edifici con un numero di unità abitate superiore a 4, di categoria E1 o E2, con potenze nominali superiori a 100 kW;
 - come già disposto dal d.lgs. 192/2005, la relazione tecnica deve essere depositata in Comune in doppia copia contestualmente alla Denuncia Inizio Lavori.
-
- DM 26 giugno 2009 (Linee guida nazionali) che costituisce la piena attuazione della Direttiva 2002/91/CE e dell'articolo 4, comma 1 del d.lgs. 192/2005. Il presente decreto infatti definisce le Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici e gli strumenti di raccordo, concertazione e cooperazione tra lo Stato e le Regioni. Il campo di applicazione delle linee guida nazionali riguarda gli edifici che rientrano nelle categorie indicate all'articolo 3 del DPR 412/93. Il DM 26/06/2009 è composto da 8 articoli e 2 allegati. Nell'allegato A sono contenute le linee guida che a loro volta sono suddivise in altri 7 allegati. Nell'allegato B sono elencate le norme tecniche di riferimento. Vediamo in sintesi i punti principali del DM:
 - l'attestato di certificazione energetica deve contenere l'efficienza energetica dell'edificio, i valori di riferimento a norma di legge e le classi prestazionali, oltre a indicazioni economicamente sostenibili per interventi di riqualificazione energetica;
 - nell'articolo 6 viene definita la validità dell' Attestato di Certificazione Energetica in 10 anni, purchè siano rispettate le prescrizioni normative vigenti per le operazioni di controllo di efficienza energetica,

compreso le eventuali conseguenze di adeguamento, degli impianti di climatizzazione asserviti agli edifici, ai sensi dell'articolo 7, comma 1, del decreto legislativo 192/2005. Nel caso di mancato rispetto delle predette disposizioni l'attestato di certificazione decade il 31 dicembre dell'anno successivo a quello in cui è prevista la prima scadenza non rispettata per le predette operazioni di controllo di efficienza energetica. L'attestato di certificazione energetica è aggiornato ad ogni intervento di ristrutturazione, edilizio e impiantistico, che modifica la prestazione energetica dell'edificio;

- o la prestazione energetica complessiva dell'edificio è espressa attraverso l'indice di prestazione energetica globale EP_{gl} , dato dalla somma dei seguenti termini:

$$EP_{gl} = EP_i + EP_{acs} + EP_e + EP_{ill}$$

dove:

EP_i è l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale;

EP_{acs} l'indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria;

EP_e l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva;²

EP_{ill} l'indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale.

- Le classi energetiche proposte (come nel d.lgs. 192/05), determinate impiegando valori multipli del fabbisogno energetico primario limite, o $E_{Pi,lim}$, vigente a partire dal 1 gennaio 2010, risultano essere funzione dei Gradi Giorno della località e del rapporto di forma S/V dell'edificio. Si rammenta a proposito, che con "rapporto di forma", si intende il rapporto tra la superficie disperdente dell'edificio e il volume lordo riscaldato;

² Nella fase di avvio dell'applicazione delle Linee Guida vengono considerati i soli contributi per la climatizzazione invernale, la produzione di acqua calda sanitaria, mentre per l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva è prevista per ora solo una valutazione qualitativa dell'involucro.

- sulla base delle finalità, dell’esperienza e delle opportunità offerte dalla certificazione energetica possono essere usate diverse metodologie di riferimento per la determinazione della prestazione energetica degli edifici, differenti per utilizzo e complessità. Sono pertanto considerati il Metodo calcolato di progetto, che prevede la valutazione della prestazione energetica a partire dai dati di ingresso del progetto energetico dell’edificio come costruito e dei sistemi impiantistici a servizio dell’edificio come realizzati, per gli edifici di nuova costruzione e per quelli completamente ristrutturati ed il Metodo di calcolo da rilievo sull’edificio standard, che prevede la valutazione della prestazione energetica a partire dai dati di ingresso ricavati da indagini svolte direttamente sull’edificio esistente;
- D.lgs. 29/03/2010 n. 56, “Modifiche ed integrazioni al Decreto 30 maggio 2008, n.115, recante attuazione della direttiva 2006/32/CE, concernente l’efficienza degli usi finali dell’energia e i servizi energetici e recante abrogazioni della direttiva 93/76/CEE.”;
- DM 6 agosto 2010, “Incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare.”;
- Decreto 10 settembre 2010, “Linee guida per l’autorizzazione alla costruzione e all’esercizio degli impianti di produzione elettricità alimentati da fonti rinnovabili, nonché linee guida tecniche per gli impianti stessi.” (10A11230) (GU n. 219 del 18-9-2010);
- D.lgs. 3 marzo 2011, n.28 in vigore dal 27/03/11: "Attuazione della Direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE." (11G0067);

È importante sottolineare che lo stesso d.lgs. 192/2005, all’Art.17, rubricato “Clausola di cedevolezza”, stabilisce che *“[...] in relazione a quanto disposto dall’articolo 117, quinto comma, della Costituzione, e fatto salvo quanto previsto dall’articolo 16, comma 3, della legge 4 febbraio 2005, n.11, per le norme*

affendenti a materie di competenza esclusiva delle Regioni e Province autonome, le norme del presente decreto con s.m. e i. e dei decreti ministeriali applicativi nelle materie di legislazione concorrente si applicano per le Regioni e Province autonome che non abbiano ancora provveduto al recepimento della direttiva 2002/91/CE fino alla data di entrata in vigore della normativa di attuazione adottata da ciascuna Regione e Provincia autonoma". A questo proposito, nel periodo di transizione, diverse Regioni hanno emanato le proprie leggi che definiscono le regole per l'attuazione della certificazione energetica sul proprio territorio. Queste sono: Lombardia, Liguria, Piemonte, Emilia Romagna, Valle d'Aosta, Bolzano, Trento, Puglia, Sicilia e Toscana. Abruzzo, Molise, Basilicata, Sardegna, Calabria e Veneto al momento non hanno ancora legiferato in materia di certificazione energetica, mentre Campania, Friuli Venezia Giulia, Lazio, Marche e Umbria hanno adottato un protocollo di sostenibilità energetico ambientale volontario. In allegato 1.1 si offre una breve panoramica delle norme sviluppate in alcune delle Regioni sopra citate. Tra i casi di implementazione più significativi a livello nazionale è riportata l'esperienza della Provincia Autonoma di Bolzano, che ha messo a punto lo standard di certificazione CasaClima.

Al riguardo, deve dirsi che, fermo restando il rispetto dei principi stabiliti dalle disposizioni nazionali, in materia di certificazione energetica degli edifici la competenza legislativa spetta alle Regioni. Pertanto, in tale ambito, occorre fare riferimento alle leggi regionali; infatti, in base all'Art.117, comma 3, della Costituzione, la materia riguardante l'energia, o più precisamente, la «produzione, trasporto e distribuzione nazionale dell'energia» rientra fra le materie di legislazione concorrente fra Stato e Regioni. Inoltre, ai sensi dei successivi commi 5 e 6 del citato Art.117, le Regioni provvedono *“all'attuazione e all'esecuzione degli atti dell'Unione europea, nel rispetto delle norme procedurali statali”* e sono dotate di potestà regolamentare, oltreché legislativa. Nel dettare la normativa di attuazione le Regioni e le Province autonome sono tenute al rispetto dei vincoli derivanti dall'ordinamento comunitario e dei principi fondamentali desumibili dal suddetto decreto e dalla stessa direttiva 2002/91/CE. Alla luce di quanto detto, allora il quadro che si presenta è il

seguito: 1) la disciplina di cui al d.lgs. 192/2005 e successive modifiche ed integrazioni, troverà applicazione fino all'entrata in vigore delle leggi regionali. Pertanto, per tutte le Regioni che non abbiano ancora provveduto all'emanazione di detti provvedimenti, si applicheranno le disposizioni della normativa nazionale; per le altre, invece, troveranno applicazione le disposizioni regionali; mentre in quelle che abbiano già legiferato, si applicheranno le relative leggi regionali; 2) ai sensi del citato Art.117, rimarranno in vigore i principi fondamentali desumibili dal medesimo decreto, ovvero dal d.lgs. 192/2005 e successive modifiche ed integrazioni; 3) le disposizioni regionali dovranno essere interpretate alla luce di tali principi fondamentali e in ossequio a quelli contenuti nella direttiva comunitaria 2002/91/CE.

In generale, sembra si possa affermare che rientri nella competenza dello Stato, l'emanazione di norme disciplinanti la forma e la struttura dei contratti in connessione con gli obblighi di dotazione della certificazione energetica, e l'attribuzione di sanzioni civilistiche in caso di violazione degli obblighi stabiliti dalla normativa energetica. Mentre, per quanto concerne le competenze delle Regioni, si può invece affermare che spetta loro stabilire le fattispecie per le quali sorge l'obbligo di dotazione della certificazione energetica, vale a dire cioè stabilire i presupposti oggettivi e negoziali in presenza dei quali sorge l'obbligo di allegazione. Rientra negli ambiti delle competenze regionali anche la determinazione dei requisiti, di forma e di contenuto, dell'attestato di certificazione energetica e l'individuazione dei soggetti abilitati alla redazione e al rilascio dello stesso.

Definito il complesso panorama legislativo e normativo, si intende fornire indicazioni generali sugli schemi di certificazione (dopo aver già visto il metodo CasaClima) che attualmente si possono adottare a livello nazionale, in particolare il Sistema LEED, il Protocollo ITACA, e l'Ecolabel europeo (i cui criteri sono ad oggi ancora in fase di definizione). Questi nuovi sistemi di certificazione, considerano non solo le prestazioni energetiche dell'edificio, ma anche gli altri aspetti legati ad esempio alla qualità dei materiali da costruzione, al consumo

delle risorse, ai trasporti, all'interazione con l'ambiente circostante; insomma tutti quegli elementi che messi a sistema consentono di effettuare una valutazione più completa e più compatibile con il concetto di "edilizia sostenibile". Tutti questi sistemi di certificazione infatti, contengono strumenti di valutazione concepiti in modo tale da considerare l'edificio nelle diverse fasi del ciclo di vita (progettazione preliminare, definitiva ed esecutiva; costruzione dell'edificio; esercizio dell'edificio; dismissione). Il sistema di certificazione deve essere strutturato attraverso la realizzazione di processi in grado di garantire il corretto utilizzo degli strumenti di valutazione, l'adeguata applicazione delle procedure ed il rispetto di ruoli e responsabilità. Il processo di valutazione consente di oggettivare le prestazioni dell'edificio garantendo una base comune di riferimento per tutti i soggetti interessati. Per consentire al sistema di certificazione di mantenere e di migliorare le proprie caratteristiche nel tempo, è necessario attuare sia meccanismi di monitoraggio dell'applicazione sia metodologie di valutazione dell'efficacia dello stesso.

L'Ecolabel europeo rappresenta uno dei tanti marchi ambientali di prodotto europei regolati dalle norme ISO serie 14020. Nello specifico, L'Ecolabel EU è regolato dalle norme ISO della serie 14024. Questo tipo di etichettatura che accompagna il prodotto, garantisce il rispetto, da parte del prodotto, di "limiti di soglia" (più stringenti dei limiti di legge) riferiti alle prestazioni ambientali del prodotto stesso. Il marchio, attestante che il prodotto o il servizio ha un ridotto impatto ambientale nel suo intero ciclo di vita, fu istituito con il regolamento comunitario 880/92, poi sostituito con il regolamento comunitario 1980/2000 ed infine con il nuovo regolamento CE 66/2010 (il cui art.9 riporta la procedura per l'assegnazione del marchio). Sull'eventuale prodotto certificato appare il numero di registrazione del marchio Ecolabel UE, che adotta il seguente formato: EU Ecolabel xxxx/yyy/zzzz, dove xxxx indica il paese di registrazione, yyy il gruppo di prodotti e zzzz il numero assegnato dall'organismo competente. Le caratteristiche principali del sistema Ecolabel sono tre: la volontarietà, la selettività (è destinato solo ai prodotti migliori per quel gruppo di prodotto) ed il fatto che definizione dei criteri ecologici è basata sull'analisi del ciclo di vita

LCA e riguarda aspetti quali il consumo di energia, l'inquinamento idrico e atmosferico, la produzione di rifiuti nonché l'inquinamento acustico e del suolo. Sebbene dunque Ecolabel sia una certificazione di prodotto o di servizio e non di processo, il Settore Ecolabel di ISPRA, su mandato della Commissione Europea, sta sviluppando i criteri Ecolabel per il gruppo di prodotti Edifici. La possibilità di certificare edifici con il marchio Ecolabel europeo nasce dall'idea di affiancare una certificazione ambientale volontaria e complementare a quella energetica obbligatoria esistente, prevista dai d.lgs. n.192 del 19 agosto 2005 e n.311 del 29 dicembre 2006. Il settore Ecolabel di APAT si sta occupando di realizzare l'intero percorso necessario per la definizione dei criteri che prevede fasi di studio seguite da fasi di confronto con le parti interessate a livello europeo. Il secondo articolo della relativa Decisione della Commissione della Comunità Europea (ancora in forma di bozza giunta ormai alla terza versione) sancisce che per l'assegnazione del marchio Ecolabel UE, un edificio deve soddisfare una serie di requisiti quali:

- rientrare nel gruppo di prodotti "edifici nuovi/esistenti";
- essere conforme ai criteri indicati nella parte A dell'allegato 1 o2;
- essere conforme con un numero sufficiente di criteri citati nel punto B dell'allegato 1 o sezione D dell'allegato 2, al fine di acquisire un punteggio minimo richiesto.

L'Allegato Quadro del regolamento definisce l'obiettivo dei criteri ecologici, i quali mirano a limitare i principali impatti ambientali (limitare i consumi di energia, acqua e materiali; limitare la produzione dei rifiuti e migliorare il riciclaggio; favorire l'utilizzo di materiali con elevate prestazioni ambientali; favorire l'utilizzo di fonti rinnovabili e di sostanze meno pericolose per l'ambiente; favorire il benessere indoor; promuovere l'informazione e l'educazione su una corretta gestione del fabbricato).

Nello specifico della struttura il documento può essere suddiviso in due parti principali, l'allegato 1, i cui criteri fanno riferimento ai nuovi edifici, e l'allegato 2, i cui criteri riguardano invece gli edifici esistenti. Questi due a loro

volta, sono suddivisi in due sezioni, una contenente requisiti il cui rispetto è obbligatorio (A.1 sezione A, A.2 sezione C) e una che riporta requisiti il cui soddisfacimento è facoltativo e che consentono l'ottenimento di punti per il raggiungimento della soglia minima definita (A.1 sezione B, A.2 sezione D). Il sistema di punteggio è stato elaborato tenendo conto, per ciascun criterio, sia dell'efficacia ambientale che delle difficoltà tecniche ed economiche per l'attuazione del criterio stesso; inoltre, è espressa la valutazione dell'efficacia ambientale e delle difficoltà d'implementazione dello stesso, attraverso una scala qualitativa (basso, medio, alto).

Il sistema di certificazione LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) è quello sviluppato dall'USGBC, di cui già si è detto al paragrafo 1.3. Questo sistema è costituito da diversi standard che fanno riferimento a diverse tipologie di edificio; esistono quindi certificazioni per le nuove costruzioni (Building Design & Construction – Schools – Core & Shell), per edifici esistenti (EBOM, Existing Buildings) e per piccole abitazioni (LEED for Homes). Per quanto riguarda la struttura, i requisiti sono organizzati in cinque categorie ambientali: Sostenibilità del Sito, Gestione delle Acque, Energia e Ambiente, Materiali e Risorse, Qualità ambientale Interna. Una ulteriore categoria, Innovazione nel Processo di Progettazione, si interessa delle pratiche innovative indirizzate alla sostenibilità.

Infine esistono altri requisiti applicabili a livello di area (categoria Priorità Regionale). Il soddisfacimento dei requisiti porta all'acquisizione di una serie di punti validi per il conseguimento della certificazione mentre i prerequisiti sono crediti il cui soddisfacimento è obbligatorio e non porta all'acquisizione di punti. Per quantificare l'importanza delle diverse categorie d'impatto su ciascun credito è stata utilizzata una combinazione di approcci, inclusi la modellazione energetica, la valutazione del ciclo di vita, l'analisi dei trasporti. La conseguente distribuzione dei punti tra i crediti definisce il peso di ciascun credito. LEED Italia utilizza come base per la pesatura di ogni credito le categorie di impatto ambientale definite dall'agenzia governativa ambientale EPA (U.S. Environmental Protection Agency) all'interno del software TARCHI (Tools for Reductions and

Assesment of Chemical and Other Enviromental Impacts). LEED Italia prende in considerazione anche il sistema di pesatura implementato dal NIST (National Institute of Standards and Tecnology) che consente di comparare reciprocamente le diverse categorie d'impatto. Il processo di valutazione è effettuato attraverso il supporto dell'ultima e più aggiornata versione del Manuale LEED presente ad oggi in Italia (Manuale LEED Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni, "Green Building ", Edizione 2009), redatto a cura dell' associazione GBC Italia, nata nel 2008 grazie alla collaborazione tra aziende, enti e associazioni e allo stimolo della Provincia autonoma di Trento e di Habitech Distretto Tecnologico Trentino.

LEED offre inoltre la possibilità di suddividere la certificazione in due fasi: progettazione e costruzione. La documentazione necessaria per dimostrare il conseguimento di prerequisiti e crediti nella Fase di Progettazione (identificata in LEED Online), può essere inviata per la revisione alla conclusione delle attività di progettazione. I crediti non vengono aggiudicati in via definitiva a seguito della fase di revisione della Fase di Progettazione, ma rappresenta un processo utile al gruppo di progettazione per valutare le potenzialità di ottenimento dei crediti. La tabella 4 riporta l'elenco riassuntivo dei crediti per il sistema di valutazione specifico a cui il gruppo di progettazione deve far riferimento per individuare i crediti che possono essere presentati per la revisione della fase di progetto e i crediti che devono essere presentati solo per la revisione della fase di costruzione, con l'indicazione del punteggio raggiungibile. La certificazione LEED 2009 Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni è aggiudicata in accordo con la seguente scala di valutazione:

- Base: 40 - 49 punti conseguiti
- Argento: 50 – 59 punti conseguiti
- Oro: 60 – 79 punti conseguiti
- Platino: 80 o più punti conseguiti

La tipologia di marchio varia a seconda del livello di certificazione raggiunto.

Credito o Prerequisito	Titolo	Punteggio
PI 1	Requisiti minimi di programma	Obb.
PI 2	Principali dati di progetto	Obb.
PI 3	Occupazione ed utilizzo	Obb.
PI 4	Documentazione generale	Obb.
SOSTENIBILITÀ DEL SITO (SS)		
SS P.1	Prevenzione Dell'inquinamento Legato Alle Attività Di Costruzione	Obb.
SS credito 1	Selezione Del Sito	1 punto
SS credito 2	Densità Edilizia e Vicinanza Ai Servizi	5 punti
SS credito 3	Recupero E Riqualificazione Dei Siti Contaminati	1 punto
SS credito 4.1	Trasporti Alternativi: Accesso Ai Trasporti Pubblici	6 punti
SS credito 4.2	Trasporti Alternativi: Portabiciclette E Spogliatoi	1 punto
SS credito 4.3	Trasporti Alternativi: Veicoli A Bassa Emissione e a Carburante Alternativo	3 punti
SS credito 4.4	Trasporti Alternativi: Capacità Dell'area Parcheggio	2 punti
SS credito 5.1	Sviluppo Del Sito: Proteggere E Ripristinare L'habitat	1 punto
SS credito 5.2	Sviluppo Del Sito: Massimizzare Lo Spazio Verde	1 punto
SS credito 6.1	Acque Meteoriche: Controllo Della Qualità	1 punto
SS credito 6.2	Acque Meteoriche: Controllo Della Qualità	1 punto
SS credito 7.1	Effetto Isola Di Calore: Superfici Esterne Non Coperte	1 punto
SS credito 7.2	Effetto Isola Di Calore: Coperture	1 punto
SS credito 8	Riduzione Inquinamento Luminoso	1 punto
GESTIONE EFFICIENTE DELLE ACQUE (GA)		
GA P.1	Riduzione dell'uso dell'acqua	Obb.
GA credito 1	Gestione Efficiente Delle Acque A Scopo Irriguo	2-4 punti
GA credito 2	Tecnologie Innovative Per Le Acque Reflue	2 punti
GA credito 3	Riduzione dell'uso dell'acqua	2-4 punti
ENERGIA E AMBIENTE (EA)		
EA P.1	Commissioning Di Base Dei Sistemi Energetici Dell'edificio	Obb.
EA P.2	Prestazioni Energetiche Minime	Obb.
EA P.3	Gestione Di Base Dei Fluidi Refrigeranti	Obb.
EA credito 1	Ottimizzazione Delle Prestazioni Energetiche	1-19 punti
EA credito 2	Energie Rinnovabili In Sito	1-7 punti
EA credito 3	Commissioning Avanzato Dei Sistemi Energetici	2 punti
EA credito 4	Gestione Avanzata Dei Fluidi Refrigeranti	2 punti
EA credito 5	Misure E Collaudi	3 punti
EA credito 6	Energia Verde	2 punti
MATERIALI E RISORSE (MR)		
MR P.1	Raccolta E Stoccaggio Dei Materiali Riciclabili	Obb.
MR credito 1.1	Riutilizzo Degli Edifici: Mantenimento delle murature, solai e coperture esistenti	1-3 punti
MR credito 1.2	Riutilizzo Degli Edifici: Mantenimento Del 50% degli elementi non strutturali interni	2 punti
MR credito 2	Gestione Dei Rifiuti Da Costruzione	1-2 punti
MR credito 3	Riutilizzo Dei Materiali	1-2 punti
MR credito 4	Contenuto Riciclato	1-2 punti
MR credito 5	Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata (materiali regionali)	1-2 punti
MR credito 6	Materiali Rapidamente Rinnovabili	1 punto
MR credito 7	Legno Certificato	1 punto
QUALITÀ AMBIENTALE INTERNA (QI)		
QI P.1	Prestazioni Minime Per La Qualità Dell'aria (IAQ)	Obb.
QI P.2	Controllo Ambientale Del Fumo di Tabacco	Obb.
QI credito 1	Monitoraggio Della Portata D'aria Di Rinnovo	1 punto
QI credito 2	Incremento Della Ventilazione	1 punto
QI credito 3.1	Piano Di Gestione Della Qualità Dell'aria Indoor: Fase Costruttiva	1 punto
QI credito 3.2	Piano Di Gestione Della Qualità Dell'aria Indoor: Prima Dell'occupazione	1 punto
QI credito 4.1	Materiali Basso Emissivi: Adesivi E Sigillanti	1 punto
QI credito 4.2	Materiali Basso Emissivi: Vernici e Rivestimenti	1 punto
QI credito 4.3	Materiali Basso Emissivi: Sistemi Con Pavimentazioni Resilienti	1 punto
QI credito 4.4	Materiali Basso Emissivi: Prodotti in Legno Composito e Fibre Vegetali	1 punto
QI credito 5	Controllo Delle Fonti Chimiche E Degli Inquinanti Indoor	1 punto
QI credito 6.1	Controllo E Gestione Degli Impianti: Illuminazione	1 punto
QI credito 6.2	Controllo E Gestione Degli Impianti: Comfort Termico	1 punto
QI credito 7.1	Progettazione Del Comfort Termico	1 punto
QI credito 7.2	Verifica Del Comfort Termico	1 punto
QI credito 8.1	Luce Naturale E Visuale Verso L'esterno: Luce Naturale per il 75%	1 punto
QI credito 8.2	Luce Naturale E Visuale Verso L'esterno: Luce Naturale per il 90% d	1 punto
INNOVAZIONE NELLA PROGETTAZIONE (IP)		
IP credito 1.1-1.4	Innovazione Nella Progettazione	1-5 punti
IP credito 2	Professionista Accreditato LEED	1 punto
PRIORITÀ REGIONALE (PR)		
PR Credito 1	Priorità regionale	1-4 punti

Tab. 4.

Un altro sistema di certificazione accreditato è quello introdotto con il protocollo ITACA. ITACA (www.itaca.org) è un istituto nato nel 1996 come associazione di tipo federale per impulso delle Regioni italiane, originariamente con la denominazione di “Istituto per la trasparenza, l’aggiornamento e la certificazione degli appalti” modificata, nel 2005, in “Istituto per l’innovazione e trasparenza degli appalti e la compatibilità ambientale”. Tra i suoi obiettivi vi sono: lo sviluppo e promozione della trasparenza nelle diverse fasi del ciclo degli appalti e delle concessioni pubbliche, la definizione di procedure qualificate per la gestione e/o l’affidamento di appalti, (tramite l’introduzione di sistemi qualità nelle procedure amministrative ispirati ai principi della normativa UNI EN ISO), la promozione e diffusione delle buone pratiche nei servizi, forniture e lavori pubblici per la qualità urbana e la sostenibilità ambientale. L’attività è esercitata attraverso comitati e gruppi di lavoro costituiti, oltre che dai tecnici regionali, anche da rappresentanti delle amministrazioni statali, locali e organismi rappresentativi delle categorie di settore.

Nel 2004, la conferenza dei presidenti delle Regioni e delle Province Autonome italiane, ha approvato uno strumento di valutazione, denominato appunto “Protocollo ITACA”, che consente di effettuare la valutazione della sostenibilità degli edifici per destinazioni d’uso. Il suddetto sistema, è basato sul sistema di certificazione SBTool, a sua volta nato dal processo Green Building Challenge GBC (poi evoluto in Sustainable Building Challenge SBC). Lo strumento nasce sia per valutare le prestazioni generali di edifici con qualsiasi destinazione d’uso, collocati anche in aree geografiche differenti definendo degli specifici indicatori di sostenibilità ambientale (ESI), sia per determinare le peculiari prestazioni degli edifici in correlazione al contesto nel quale sorgono, valutate per confronto rispetto a quelle degli edifici benchmark (di riferimento), anche in dipendenza dal quadro legislativo e normativo e dalla pratica costruttiva locale. Il protocollo è conforme alla specifica tecnica internazionale ISO/TS 21931-1. ITACA, attraverso un accordo di collaborazione, ha identificato l’associazione no-profit iiSBE Italia, International Initiative for the Sustainable Built Environment (www.iisbeitalia.org), quale partner tecnicoscienfifico per

supportare, sviluppare e mantenere il sistema di certificazione delle Regioni italiane. Il Ministero dello Sviluppo Economico ha identificato il Protocollo ITACA come un possibile riferimento nell'ambito delle Linee Guida nazionali per la certificazione energetica. Il Protocollo è utilizzato nei processi di valutazione e certificazione da molte regioni italiane (Piemonte, Lombardia, Toscana, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Liguria, Lazio, Basilicata, Calabria, Marche e Puglia) per definire il livello di performance ambientale degli edifici e, nel contesto pubblico, per definire le politiche e promuovere la sostenibilità attraverso gli incentivi finanziari, i regolamenti edilizi, i programmi di pianificazione del territorio.

Dal punto di vista dell'organizzazione il Protocollo ITACA presenta, in linea di massima, una struttura simile a Ecolabel e Leed (cfr. tabelle di confronto in allegato 1.2): le macro esigenze sono state codificate prioritariamente tramite le cosiddette "Aree di Valutazione", le quali abbracciano gli obiettivi e le strategie in materia per mezzo di singoli temi. Le aree di valutazione sono 7, e ognuna contiene una serie di categorie, all'interno delle quali vengono individuati i singoli requisiti, caratterizzati dalla presenza di indicatori di controllo o parametri necessari per la verifica del soddisfacimento qualitativo o quantitativo. In alcuni casi si riscontra una suddivisione dei requisiti in sottorequisiti in quanto legati, ad esempio, al rispetto di norme che ne imponevano la differenziazione. Le 7 aree di valutazione definiscono, nella totalità, 70 criteri di valutazione, corrispondenti ad altrettante schede di valutazione e caratterizzati da una serie di elementi fondanti, quali:

- hanno valenza economica, sociale e ambientale di un certo rilievo;
- sono quantificabili o definibili anche solo a livello qualitativo ma comunque secondo criteri quanto più precisi possibile;
- perseguono obiettivi di ampio respiro;
- hanno comprovata valenza scientifica;

I punteggi, in analogia con il sistema GBC, oscillano all'interno di una scala di valori che va da -2 a +5, dove lo zero rappresenta il valore del punteggio

o lo standard di paragone (benchmark) riferibile a quella che deve considerarsi come la pratica costruttiva corrente, nel rispetto delle leggi o dei regolamenti vigenti. Gli edifici nuovi dovranno presentare sempre punteggi non negativi, mentre punteggi negativi potranno essere considerati accettabili solo in occasione di interventi su edifici oggetto di ristrutturazione.

Per la valutazione globale vera e propria di un edificio o di un complesso di edifici appare necessario che le singole aree di valutazione vengano a loro volta “pesate” in modo tale da consentire che l’espressione della valutazione avvenga attraverso un unico valore. Ogni amministrazione inoltre ha la possibilità di correggere il peso di ogni singolo requisito per adattarlo alla propria realtà locale, avendo a disposizione in ogni caso una serie di parametri standard comuni.

Criteri Protocollo ITACA "semplificato"			
1- QUALITÀ AMBIENTALE ESTERNA		4- QUALITÀ AMBIENTALE INTERNA	
1.2.2	Inquinamento atmosferico	4.1.1	Illuminazione naturale
1.2.5	Inquinamento delle acque	4.2.1	Isolamento acustico di facciata
1.2.6	Inquinamento luminoso	4.2.4	Isolamento acustico dei sistemi tecnici
1.3.1	Integrazione con l'ambiente circostante	4.3.1	Temperatura dell'aria nel periodo invernale
2- CONSUMO DI RISORSE		4.3.3	Inerzia termica
2.1.1	Isolamento termico	4.4.2.1	Controllo degli agenti inquinanti (fibre minerali)
2.1.2	Sistemi solari passivi	4.4.4.1	Inquinamento elettromagnetico (campi 50Hz)
2.1.3	Produzione acqua sanitaria	4.4.4.2	Inquinamento elettromagnetico
2.1.4	Energia elettrica (fonti non rinnovabili)	5- QUALITÀ DEL SERVIZIO	
2.3.1	consumo netto acqua potabile	5.1.1	Regolazione locale della temperatura dell'aria
2.4.1	Riutilizzo strutture esistenti	5.2.3	Accessibilità ai sistemi tecnici
2.4.3	Utilizzo materiali locali e regionali	5.3.1	Monitoraggio dei consumi
2.4.5	Riciclabilità dei materiali	6- QUALITÀ DELLA GESTIONE	
3- CARICHI AMBIENTALI		6.1.1	Disponibilità di documentazione tecnica dell'edificio
3.1.1.	Emissione di CO2	7- TRASPORTI	
3.2.1	Gestione acque piovane	7.3.1	Prossimità dei servizi locali

Tabella 5.

E’ stato accertato che per alcuni aspetti il metodo risulta piuttosto articolato e più adeguatamente applicabile a contesti edilizi di consistente dimensione. Considerata l’effettiva complessità di alcune parti del metodo è stata valutata la possibilità di affiancare ad esso un sistema di valutazione ridotto, composto da 28

schede: il “Protocollo semplificato” ha fatto propri quei requisiti che sono stati ritenuti fondamentali ed indispensabili per la realizzazione di interventi aventi caratteristiche minime di sostenibilità (vedi tabella 5).

Dopo l'emanazione delle varie leggi sul tema del risparmio energetico in edilizia, e dopo la definizione degli strumenti e dei metodi di attuazione, in Italia si è cercato il metodo migliore per la loro diffusione e applicazione. Ciò è avvenuto principalmente seguendo due direttrici, con l'inserimento, all'interno delle finanziarie annuali, di incentivi mirati e agevolazioni fiscali dai quali possono trarre vantaggio sia i costruttori che i proprietari di immobili nuovi e/o esistenti.

A proposito di agevolazioni fiscali per l'efficienza energetica ad esempio, la Legge n.296/2006 (Finanziaria 2007, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 299 del 27 dicembre 2006) stabilisce la possibilità di detrazione del 55% in 3 anni per interventi di riduzione dei consumi energetici per la climatizzazione invernale di almeno il 20% rispetto ai valori previsti dal D.lgs. n.192 per i nuovi edifici (importo fino a 100.000 €), per interventi specifici su pareti e finestre (importo fino a 60.000), per i sistemi solari per la produzione di acqua calda, per la sostituzione di vecchie caldaie con altre ad alta efficienza energetica (fino a un ammontare di 30.000 €) e anche, per le imprese del settore del commercio per interventi di efficienza energetica nell'illuminazione (detrazione del 36%). Per favorire la costruzione di nuovi edifici di medie e grandi dimensioni (volumetria superiore a 10.000 mc) con un fabbisogno energetico minore del 50% rispetto a quanto dispone il D.lgs. 192, la Finanziaria prevede un contributo pari al 55% degli extra costi sostenuti, oltre alla creazione di un fondo annuale di 15 milioni di euro. Inoltre, ai fini del rilascio delle concessioni edilizie, stabilisce l'obbligatorietà, per gli edifici di nuova costruzione, dell'installazione di impianti fotovoltaici per una potenza non inferiore a 0,2 kWp per ciascuna unità abitativa. Sempre in finanziaria vengono previsti contributi per frigoriferi ed elettrodomestici ad alta efficienza, incentivi per i biocarburanti (Direttiva europea

2003/30/CE) e Iva agevolata (aliquota 10%) per forniture di energia da rinnovabili.

Con il decreto legge 6 dicembre 2011 n. 201, "Disposizioni urgenti per la crescita, l'equità e il consolidamento dei conti pubblici", cosiddetto "Salva Italia" è stato approvato in via definitiva il provvedimento che proroga le detrazioni fiscali del 55% sino al 31 dicembre 2012, con tre sostanziali novità:

- all'articolo 4 comma 4, nel testo coordinato con la legge di conversione, l'agevolazione è prevista anche per la sostituzione di scaldacqua tradizionali con quelli più efficienti a pompa di calore dedicati alla produzione di acqua calda sanitaria;
- è annunciato che dal 2013 detti incentivi saranno sostituiti con le detrazioni fiscali del 36% già ora utilizzate per le ristrutturazioni edilizie;
- le agevolazioni così diminuite al 36% dal 1° Gennaio del 2013 assumeranno la natura di detrazione strutturale e pertanto permanente.

La norma prevede che possono essere detratte fiscalmente le spese sostenute per la realizzazione e la progettazione di tutti gli interventi volti al contenimento dei consumi energetici degli edifici esistenti, introdotta dall'art. 1, commi 344-349, della Legge 296/2006 e successive integrazioni, purché l'unità immobiliare sia dotata di un impianto di riscaldamento/termico come definito dal D.Lgs. 192/05 modificato dal D.Lgs. 311/06 – allegato A comma 14. Non è prevista alcuna agevolazione per le nuove costruzioni o per gli ampliamenti. L'agevolazione per la riqualificazione energetica - a differenza di quella del 36% per le ristrutturazioni, riservata ai soli edifici con destinazione abitativa - interessa i fabbricati esistenti di tutte le categorie catastali (anche rurali e le sue pertinenze).

Anche il decreto Monti, convertito in legge il 22 dicembre 2011, riconferma le detrazioni Irpef del 55% delle spese sostenute entro il 30 giugno 2013 (D.l. n. 83/2012) per la riqualificazione energetica degli edifici fino alla fine del 2012,

che scenderanno al 36% a partire da gennaio 2013. La decisione di stabilizzare la misura ma di ridurla al 36% a partire dal 2013 non ha lasciato tutti soddisfatti, e in Parlamento sono già arrivate le prime richieste di un impegno a ripristinare il 55% per poi mantenerlo stabilmente. L'Agenzia delle Entrate ha reso disponibile un vademecum che spiega nei dettagli tutte le novità.

Per quanto concerne gli incentivi dedicati all'efficienza energetica, i programmi sono attualmente stabiliti dal "Conto Energia". Più propriamente, Conto Energia è il nome comune assunto dal programma europeo di incentivazione in conto esercizio (a differenza del passato, in cui l'incentivazione all'utilizzo delle fonti rinnovabili avveniva mediante assegnazioni di somme a fondo perduto) della produzione di elettricità da fonte solare mediante impianti fotovoltaici permanentemente connessi alla rete elettrica. Esso arriva in Italia attraverso la Direttiva comunitaria per le fonti rinnovabili 2001/77/CE, che viene recepita con l'approvazione da parte del Parlamento italiano del Decreto legislativo n.387 del 2003. L'avvio del Conto Energia passa per altre due tappe, l'approvazione del D.M. 28 luglio 2005 (che fissa i tempi e i termini di attuazione) e la Delibera n.188 del 14 settembre 2005 (che stabilisce i modi di erogazione degli incentivi) prodotta dalla Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas. Così dal 2005 è possibile presentare la domanda al Gestore del sistema elettrico nazionale (GRTN), diventato Gestore dei Servizi Elettrici (GSE) a seguito del passaggio a Terna Spa del ramo d'azienda dedicato alla gestione della rete elettrica, per accedere al Conto Energia. La copertura finanziaria necessaria all'erogazione di questi importi è garantita da un prelievo tariffario obbligatorio (cod. A3), presente da 1991 in bolletta, a sostegno delle fonti rinnovabili di energia. Con la componente A3 sono finanziati anche gli impianti CIP6, tra cui sono presenti non solo quelli alimentati da fonti rinnovabili ma anche quelli alimentati da fonti "assimilate" (cogenerazione, fumi di scarico, scarti di lavorazione e/o di processi industriali, fonti fossili prodotte da giacimenti minori isolati, inceneritori, ecc.). Da gennaio 2007 non possono più essere finanziati nuovi impianti a fonti "assimilate", ma solo quelli già autorizzati.

In regime di Conto Energia il proprietario dell'impianto percepisce somme in modo continuativo, con cadenza tipicamente mensile, per i primi 20 anni di vita dello stesso. Condizione indispensabile all'ottenimento delle tariffe incentivanti è che l'impianto sia connesso alla rete elettrica (grid connected) e che la potenza nominale sia superiore a 1 kWp. Dal lato economico i soggetti pubblici interessati da questa campagna sono GSE Spa e il gestore di rete che prende in carico l'energia.

Con l'entrata in vigore del Decreto pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 38 del 15 febbraio 2006, si è istituita un'importante distinzione:

- I privati possono essere intestatari di impianti da 1 a 20 kWp, installati su suolo o tetto di proprietà, esclusivamente nel caso di concomitanza del punto di consegna con il punto di prelievo, ovvero solo nel caso di applicazione di scambio sul posto a livello fisico. Il beneficiario percepisce 0,445 €/kWh da parte del GSE limitatamente a quanto reso disponibile alle proprie utenze, ovvero soltanto la parte di produzione autoconsumata viene incentivata. Il meccanismo di scambio sul posto consente di operare un saldo annuo tra l'energia elettrica immessa in rete dall'impianto medesimo e l'energia elettrica prelevata dalla rete: sulla base di tale saldo avviene il calcolo e l'erogazione dell'incentivo. L'energia elettrica immessa in rete e non consumata nell'anno di riferimento costituisce un credito, in termini di energia, che può essere utilizzato nel corso dei tre anni successivi a quello in cui matura. Può usufruire dell'incentivo su tutta l'energia prodotta se rinuncia al servizio di scambio sul posto; l'eventuale eccesso di produzione non autoconsumato (in questo caso però l'eccesso è quello istantaneo e non quello calcolato a fine anno) può essere rivenduto ad un gestore (Enel o società analoga), alle tariffe fissate dall'Autorità per l'energia elettrica e il gas (AEEG). In tal caso però è necessario possedere partita IVA. Dal 1 luglio 2010 anche i privati possono vendere su richiesta l'eccedenza di produzione. La durata dell'incentivo è pari a 20 anni. La tariffa iniziale, per chi viene ammesso agli incentivi a partire dal 2007, viene

determinata a partire dal valore dell'anno precedente con una riduzione del 5% annuo, corretta dall'adeguamento ISTAT. Determinata la tariffa iniziale, essa è mantenuta fissa per i 20 anni di incentivazione. A questo meccanismo si aggiungono le possibilità offerte dallo scambio sul posto, cioè la possibilità di autoconsumare senza alcuna spesa la propria produzione energetica, portandola in decurtazione dalle proprie bollette della corrente elettrica. In questo modo oltre all'incentivazione si guadagna non il prezzo di mercato all'ingrosso ma il prezzo al dettaglio, sensibilmente superiore. Anche qui l'eventuale surplus di produzione rispetto ai consumi viene portato a credito. È previsto un incremento della tariffa del 10% nel caso di integrazione architettonica, ma in questo caso viene perso l'adeguamento ISTAT fino al 2012.

- Le persone giuridiche, soggetti titolari di partita IVA possono beneficiare di un'incentivazione sull'intera produzione fotovoltaica, e non solo sulla parte auto consumata, con tariffe di 0,445 €/kWh per gli impianti da 1 a 20 kWp che optano per lo scambio sul posto, 0,46 €/kWh per gli impianti da 1 a 50 kWp che optano per l'intera cessione in rete, 0,49 €/kWh (da sottoporre a ribasso d'asta) per gli impianti da 50 kWp a 1 MWp. Nel caso di cessione in rete, l'eventuale eccesso di produzione non viene portato a credito, ma istantaneamente rivenduto ad un gestore, alle tariffe fissate dall'AEEG, ovvero 0,095 €/kWh per impianti dalla produzione annua inferiore a 500 MWh, 0,08 €/kWh per impianti dalla produzione annua compresa tra 500 MWh e 1 GWh (1000 MWh); e 0,07 €/kWh per impianti dalla produzione annua maggiore di 1 GWh. Anche in questo caso, la durata dell'incentivo è pari a 20 anni.

Di fatto reso operativo il 19 settembre 2005, il conto energia ha avuto un successo inaspettato, esaurendo in soli 9 giorni lavorativi il monte impianti finanziabile secondo il Ministero fino al 2012, di 100 MWp. Con il decreto del 6 febbraio 2006, il Ministero delle Attività Produttive ha deliberato l'innalzamento del tetto massimo a 500 MWp sino al 2015.

Questo successo al di là di ogni previsione, secondo alcuni avrebbe rappresentato la prova dalle esigenze del mercato da troppo tempo disattese nelle precedenti legislature. Secondo altri avrebbe invece rappresentato la prova della mancanza di cognizione di causa da parte del Parlamento, che avrebbe risposto alle richieste del mercato ponendo un contingentamento di settore immotivato e deleterio (inesistente nella già citata realtà tedesca). Secondo altri ancora, il prematuro raggiungimento del contingentamento sarebbe da attribuirsi ad una non meglio chiarita operazione di "inquinamento di mercato" da parte di grandi compagnie energetiche estranee al settore fotovoltaico, le uniche che secondo costoro sarebbero dotate di sufficienti agganci politici per ottenere le informazioni necessarie a produrre migliaia di domande in così poco tempo; domande le cui specifiche erano coperte da assoluta segretezza fino ad 9 giorni prima della scadenza. Alla data odierna, tuttavia, nessun soggetto si è prodotto in dichiarazioni ufficiali circa la fondatezza o meno di questi sospetti. Nessun soggetto privato ha infatti accesso alle informazioni relative alle identità dei beneficiari degli incentivi, senza le quali queste ed altre voci non possono essere considerate attendibili.

Con il D.M. del 19 febbraio 2007 il Ministero dello Sviluppo Economico ha fissato i nuovi criteri di incentivo. Il provvedimento consente di eliminare parte delle lungaggini burocratiche, in particolare non è più necessario attendere l'accoglimento da parte del GSE delle tariffe incentivate, poiché una volta richiesto l'allaccio al Gestore di rete locale, si potrà procedere direttamente alla realizzazione dell'impianto, e dopo averlo collegato alla rete elettrica ottenere il riconoscimento per 20 anni della tariffa incentivante in base al tipo di impianto realizzato. Vengono ovviamente incentivate tariffe su impianti che favoriscono l'accorpamento architettonico all'edificio per piccole produzioni. Un'importante novità introdotta, confermata dopo alcune controverse interpretazioni dalla circolare n.66/E del 06/12/2007, riguarda il fatto che contrariamente a quanto previsto per la vecchia normativa, ora la tariffa incentivante è applicata su tutta l'energia prodotta e non solamente a quella prodotta e consumata in loco. La potenza massima incentivabile con il secondo conto energia è di 1200 MW.

Lo scambio sul posto (o SSP), inizialmente previsto per gli impianti di potenza non superiore a 20 kW, è stato esteso agli impianti di potenza fino a 200 kW con la legge finanziaria 2008 (Legge n.244 del 24 dicembre 2007). Con successivi provvedimenti attuativi, per tali impianti (tra 20 e 50 kW) l'accesso al SSP è stato previsto a partire dal 1° gennaio 2009 (Circolare Entrate n.46/E/2007 aggiornata dall'Agenzia con risoluzione n. 13/E del 20 gennaio 2009). La ratio del SSP si concretizza nella ri-attribuzione del bene energia auto-prodotto, cosicché dal 1° gennaio 2009 l'utente che fruisce del SSP conferisce tutta l'energia auto-prodotta nella rete gestita dal GSE, senza fatturazione al momento della sua devoluzione in rete. Il GSE, che funge da intermediario esclusivo verso la Borsa Elettrica, vende sul mercato l'energia ricevuta e l'utente acquista l'energia presso l'impresa fornitrice (Enel Servizio Elettrico SPA o gli altri operatori sul mercato libero), pagando il relativo corrispettivo, maggiorato delle accise e imposte aggiuntive. Il GSE riconosce al produttore un contributo in conto scambio per rimborsarlo del costo di acquisto di energia che non avrebbe dovuto sostenere, nei limiti di quella auto-prodotta³.

La Legge n. 99/2010: “Conversione in legge del d.l. 67/2010 recante disposizioni urgenti per la salvaguardia della stabilita' finanziaria dell'area euro. Ordine di esecuzione dell'accordo Intercreditor Agreement”, pubblicata sulla G.U. n.150 del 30/06/2010, ha modificato il comma 2 della legge 387/2003 che vietava la vendita di energia per gli impianti in regime di SSP (scambio sul posto), e quindi ha determinato di fatto la possibilità di liquidazione dell'eventuale credito risultante dal conteggio SSP, mediante richiesta da farsi annualmente, nel mese di marzo dell'anno successivo, al GSE.

Con il D.M. 6/8/2010 viene cambiata la classificazione degli impianti fotovoltaici e vengono definiti limiti di potenza incentivabile in relazione al tipo

³ Ulteriori chiarimenti sono stati forniti con i documenti dell'Agenzia Entrate: n.269/E del 27/9/2007: aliquota IVA sulla cessione di kit per impianti termici solari; n.66/E del 6/12/2007: precisazione sulla disciplina fiscale degli incentivi per impianti fotovoltaici; n.22/E del 28/1/2008: disciplina fiscale degli incentivi per gli impianti fotovoltaici; n.61/E del 22/2/2008: tariffa incentivante – trattamento ai fini IVA e della ritenuta d'acconto; n.474/E del 5/12/2008: contratti d'opera per impianti fotovoltaici - IVA agevolata; n.20/E del 27/1/2009: agevolazioni fiscali, credito d'imposta, Visco – Sud, benefici e cumulabilità.

di impianto. Il terzo conto energia, che si applica per gli impianti di potenza superiore a 1 kW che entrano in esercizio dal 1/1/2011, prende inoltre in considerazione la significativa riduzione del costo dei componenti fotovoltaici, prevedendo una progressiva diminuzione della tariffa incentivante. L'obiettivo nazionale è quello di installare complessivamente 8000 MW di potenza nominale (di picco) fotovoltaica entro il 2020. Gli incentivi partono dalla data di entrata in esercizio dell'impianto, sempre per un periodo di 20 anni. Per velocizzare i tempi, la documentazione necessaria va inviata unicamente per via telematica al sito del GSE.

Le tariffe incentivanti del terzo conto energia vengono definite secondo le varie tipologie di impianto e 6 diversi intervalli di potenza nominale (1-3 kW, 3-20 kW, 20-200 kW, 200 kW-1 MW, 1-5 MW, oltre i 5 MW). Sono anche previsti alcuni "premi" aggiuntivi sulle tariffe incentivanti:

- una maggiorazione della tariffa incentivante per gli edifici sui quali vengono effettuati interventi che consentono una riduzione di almeno il 10% degli indici di prestazione energetica sia estiva (raffrescamento) che invernale (climatizzazione), per una maggiorazione massima del 30%, che verrà concessa nel caso in cui si realizza una riduzione del 50% degli indici energetici;
- un incremento del 5% per gli impianti ubicati in zone industriali, commerciali, cave o discariche esaurite, area di pertinenza di discariche o di siti contaminati;
- un incremento del 5% per gli impianti realizzati dai comuni con popolazione inferiore ai 5000 abitanti, in cui il comune stesso è il soggetto responsabile;
- un incremento del 10% per impianti installati in sostituzione di coperture in eternit o comunque contenenti amianto;

Per gli impianti che entrano in esercizio negli anni successivi al 2011, è prevista una decurtazione del 2% annua della tariffa incentivante. La tariffa

incentivante, come per il secondo conto energia, è applicata su tutta l'energia prodotta.

Lo scambio sul posto o la vendita dell'energia prodotta in eccesso (non autoconsumata) sono benefici aggiuntivi alla tariffa incentivante. Gli impianti di potenza inferiore a 200 kW possono beneficiare dello scambio sul posto, che continua anche dopo lo scadere dei 20 anni della tariffa incentivante. Si continuerà a pagare la bolletta del proprio gestore dell'energia elettrica, mentre il GSE compensa economicamente la quantità di energia "scambiata" con la rete (l'ammontare minimo tra l'energia immessa e quella prelevata dalla rete nel periodo di riferimento). Nel rimborso non sono incluse le imposte pagate per l'energia prelevata dalla rete. Se l'energia immessa in rete dovesse superare quella prelevata, l'utente può scegliere tra due opzioni, tenere l'energia in eccesso per compensare quella prelevata negli anni successivi oppure venderla (nel qual caso verrà pagata dal GSE al valore di mercato corrente). In alternativa, e obbligatoriamente per gli impianti superiori ai 200 kW, l'energia immessa in rete può essere venduta indirettamente tramite il GSE oppure direttamente in borsa o ad un grossista.

Anche il terzo Conto Energia è stato superato con il D.M. 5 maggio 2011, che stabilisce le regole per l'accesso agli incentivi per l'installazione di impianti fotovoltaici nel periodo dal 1 giugno 2011 fino al 2016, data entro la quale si presume venga raggiunta la Grid parity. L'ulteriore riduzione delle tariffe incentivanti (fig.2) rispetto al terzo conto energia è stata prevista sia per allinearsi alle direttive della CE, sia per adeguare gli incentivi al progredire della tecnologia e alla diminuzione dei prezzi della componentistica. L'obiettivo indicativo di potenza fotovoltaica totale installata a livello nazionale entro il 2016 è di 23 GW, corrispondente ad un costo indicativo cumulato annuo degli incentivi stimabile tra 6 e 7 miliardi di euro.

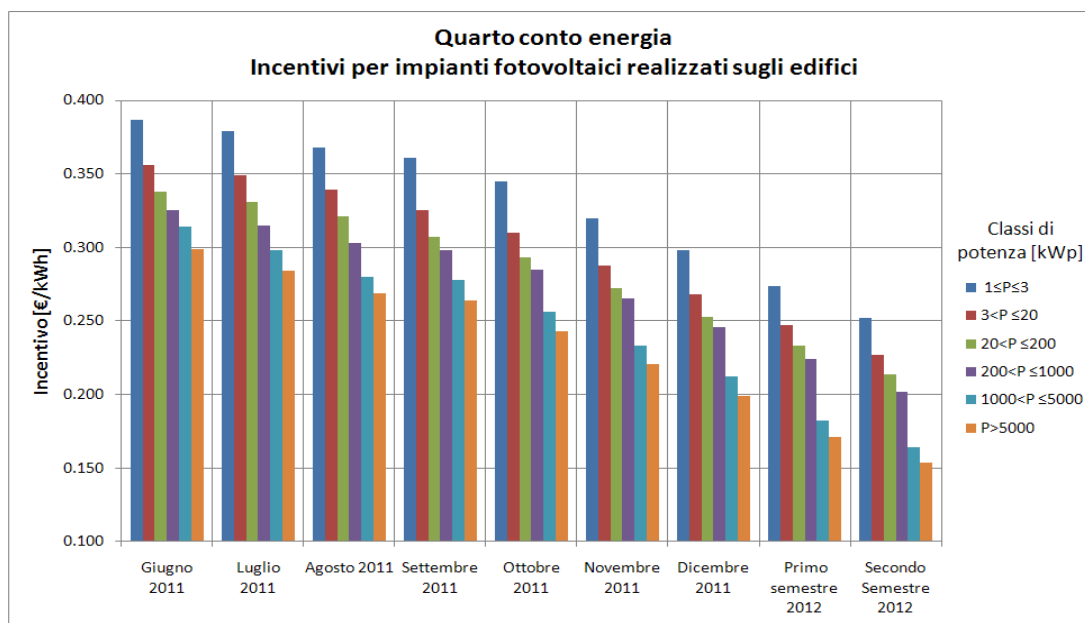


Fig. 2 (Fonte: Wikipedia)

Vengono introdotte alcune novità, di cui le più significative sono:

- Distinzione tra piccoli e grandi impianti. I piccoli impianti sono quelli realizzati su edificio di potenza non superiore ad 1 MW, oppure altri impianti fotovoltaici di potenza non superiore a 200 kW e in regime di scambio sul posto, nonché impianti fotovoltaici di qualsiasi potenza realizzati su edifici e aree delle amministrazioni pubbliche. Vengono distinti anche gli impianti fotovoltaici integrati con caratteristiche innovative e gli impianti a concentrazione. Tutti gli altri impianti rientrano tra quelli "grandi".
- Limiti per l'accesso alle tariffe. Per i piccoli impianti che entrano in esercizio dal 1° giugno 2011 al 31 dicembre 2012, non è previsto alcun limite di potenza massima incentivabile, mentre per i grossi impianti il limite è di 1,2 GW per il 2011, 770 MW per il primo semestre 2012 e altri 720 MW per il secondo semestre 2012. Per i piccoli impianti, nel periodo 2013-2016, il superamento dei limiti di massimo costo/potenza incentivabile non determina l'esclusione all'accesso alla tariffa incentivante, ma determina una riduzione della tariffa sulla base del periodo successivo. L'obiettivo indicativo per il periodo 2013-2016 è di 9,77 GW di potenza incentivabile. Gli impianti integrati innovativi e quelli

a concentrazione, sempre per il periodo 2013-2016, hanno dei limiti di potenza massima incentivabile separati (320 MW in totale per ognuna delle 2 categorie).

- Il premio relativo alla sostituzione di coperture in eternit o contenenti amianto viene cambiato con un incremento fisso di 0,05 €.
- Viene aggiunto un premio del 10% se almeno il 60% dei componenti (esclusa la manodopera) è prodotto all'interno dell'Unione europea.
- Il prezzo della tariffa incentivante, fissato dall'entrata in esercizio dell'impianto fotovoltaico, verrà progressivamente ridotto, con cadenza mensile per il 2011 e semestrale per il 2012. Gli impianti che entreranno in funzione a partire dal 2013, avranno accesso a 2 diverse tariffe in sostituzione dello scambio sul posto, ovvero la Tariffa di autoconsumo e la Tariffa omnicomprensiva, maggiore della precedente.
- Dal collaudo dell'impianto, il gestore della rete ha tempo 30 giorni per l'allacciamento dell'impianto. Nel caso che un eventuale ritardo comporti la perdita del diritto ad una tariffa incentivante, il gestore è tenuto a fornire l'indennizzo previsto dalla delibera ARG/elt 181/10 e successiva integrazione ARG/elt 225/10.
- Gli impianti realizzati su aree agricole possono accedere al quarto conto energia solo se la potenza nominale non è superiore a 1 MW. Inoltre la superficie occupata dall'impianto fotovoltaico non dovrà essere superiore al 10% della superficie totale coltivabile. Questa disposizione non si applica ad aree agricole incolte da più di 5 anni.

Essendo esauriti gli obiettivi posti dal IV Conto Energia e con il raggiungimento del tetto fissato (6 miliardi di € annui), è stato approvato con D.M. 5 luglio 2012, pubblicato sulla gazzetta ufficiale n°159 del 12 luglio 2012, il V Conto Energia che è attivo a decorrere dai 45 giorni dalla data di pubblicazione, ovvero il 27 agosto 2012.

In Allegato 1.3 si riporta in versione integrale il testo (bozza) del decreto relativo al V Conto Energia.

Senza soffermarsi oltre sugli aspetti normativi, si rimanda all'applicazione pratica dei criteri di incentivo agli impianti analizzati al capitolo 4.

Si riportano di seguito alcune delibere utili per chiarimenti ed approfondimenti:

- Regole applicative per l'iscrizione ai registri e per l'accesso alle tariffe incentivanti: tale documento definisce i criteri, le modalità e le regole di presentazione, valutazione e gestione della documentazione da trasmettere al GSE per poter accedere agli incentivi.
- Delibera 292/12: l'AEEG con la presente delibera ha stabilito la data di avvio del V C.E. italiano.
- Delibera 88/07 del 13/4/2007: contiene le disposizioni in materia di misura dell'energia prodotta da impianti di produzione elettrica.
- Delibera n. 89/07 del 13/4/2007: contiene le condizioni tecnico-economiche per la connessione di impianti di produzione di energia elettrica alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi a tensione nominale minore o uguale ad 1 kWp.
- Delibera n. 90/07 del 13.04.2007: contiene disposizioni importanti sul secondo C.E.
- Delibera AEEG n 40.06 del 24.02.06: tale documento riporta modifiche e integrazioni alla Deliberazione dell'AEEG n. 188.05 del 14 settembre 2005.
- Delibera AEEG n. 28/06 del 13.02.2006: delibera relativa allo scambio sul posto contenente le condizioni tecnico-economiche del servizio applicabili a impianti alimentati da fonti rinnovabili di potenza nominale non superiore a 20 kWp (ai sensi dell'art.6 del Dlg n. 387).
- Delibera AEEG n_188.05 del 14.09.2005: L'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas ha definito con tale documento il soggetto attuatore e le modalità per l'erogazione delle tariffe incentivanti degli impianti FV (in attuazione dell'art. 9 del Decreto Ministeriale del 28.07.05).

Si accenna infine ai finanziamenti che riguardano il risparmio energetico, suddivisibili in tre categorie:

- autofinanziamento;
- debito-finanziamento;
- finanziamento tramite terzi, da parte delle ESCO (Energy Service Companies).

L'Autofinanziamento è il mezzo più semplice, che rende immediatamente disponibili le riduzioni dei costi che si realizzano. Con il finanziamento invece si rimborsa il capitale chiesto in prestito, con una quota di interesse (dedotta fiscalmente dall'azienda) e i guadagni che si ottengono derivano da reddito netto. Con la terza formula infine, gli interventi materiali e finanziari necessari a conseguire gli obiettivi di risparmio energetico sono sostenuti dalle stesse Esco e non dal cliente o utente finale, sgravato quindi da ogni forma di investimento. La Esco si ripaga l'investimento, e il costo dei servizi erogati, con una parte del risparmio energetico (rilevato a consuntivo) effetto dell'intervento. I rischi, sia finanziari sia tecnici, dell'operazione, sono a carico della Esco. La differenza tra la bolletta energetica pre e post intervento migliorativo spetta contrattualmente alla Esco, in toto o pro-quota, fino alla fine del periodo di pay-back previsto nel programma o contratto. Allo scadere del contratto (generalmente 8-12 anni), l'utente diventerà proprietario delle parti di impianto migliorate e, quindi, beneficerà della maggiore efficienza del proprio impianto.

1.5 Bibliografia e siti web.

- [1] A. Magrini, L. Cattani, L. Magnani, P. Zampiero, *Prestazioni energetiche degli edifici residenziali*, Ed. EPC Libri, Roma, 2009.
- [2] G. Cellai, G. Bazzini, M. Gai, *Le prestazioni energetiche degli edifici*, Ed. Maggioli, 2007.
- [3] F.P.R. Marino, M. Grieco, *La certificazione energetica degli edifici ed il D.lgs. 192/2005 e 311/2006*, IV edizione, ed. EPC Libri, Roma, 2007.
- [4] AA.VV., *Certificazione energetica degli edifici*, Ed. DEI, IV edizione , 2010.
- [5] W. Pedrotti, *Il grande libro della bioedilizia*, Ed. Demetra, Colognola ai colli (UR), 1998.
- [6] S. Bruno, *Manuale di bioarchitettura*, Ed. Flaccovio, 2009.
- [7] C. Benedetti, *Manuale di architettura bioclimatica*, Ed. Maggioli, 1994.
- [8] D.L. Jones, *Atlante di bioarchitettura*, Ed. UTET, 2002.
- [9] G. Minguzzi, *Architettura sostenibile*, Ed. Skira, 2006.
- [10] F. Peron, *Principi base del costruire sostenibile*, IUAV
- [11] R. Serra, H. Coch, *L'energia nel progetto di architettura*, Città studi, Milano, 2001.
- [12] L.E.Malighetti, *Recupero edilizio e sostenibilità*, Ed. Il Sole 24 Ore, 2004.
- [13] M. Imperadori, *Costruire sul costruito*, Ed. Carocci, 2001.
- [14] S. e N. Lupica Spagnolo, *Il manuale del certificatore energetico*, Ed. Maggioli, Marzo 2012.
- [15] N. Lantschner, M. Bancher, R. Erlacher, N. Klammsteiner, *La mia CasaClima. Progettare, costruire e abitare nel segno della sostenibilità*, Ed. Raetia, 2009.
- [16] N. Lantschner, *CasaClima – il piacere di abitare 2008*, Ed. Athesia, 2008.
- [17] N. Lantschner, *CasaClima – vivere nel più*, Ed. Raetia, 2007.
- [18] Rivista KlimaHaus-CasaClima Bolzano.

Siti web:

- http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/ ,IPCC, Ginevra 2001
- <http://www.iuav.it/artec>
- <http://www.cnr.it>
- <http://www.ipcc.ch>
- <http://www.epbd-ce.eu>
- http://europa.eu/documentation/official-docs/index_it.htm
- http://europa.eu/documentation/legislation/index_it.htm
- http://europa.eu/documentation/statistics-polls/index_it.htm
- <http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/>
- <http://www.unep.org>
- <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC46667.pdf>
- <http://www.un.org/en/ecosoc/>
- <http://www.certificazioneleed.com>
- <http://certificatienergia.it>
- <http://www.itaca.org>
- <http://www.agenziacasaclima.it>
- <http://www.fire-italia.it/edilizia/>
- <http://www.isesitalia.it>
- <http://www.ceiweb.it>
- <http://www.mygreenbuildings.org>
- <http://www.zeroemission.tv/portal/home>
- <http://www.infobuildenergia.it>
- <http://www.bioediliziaitalia.org>
- <http://www.architetturaecoostenibile.it>
- <http://www.minambiente.it>
- <http://www.infrastrutturetrapianti.it>
- <http://www.camera.it/parlamento/leggi/>
- <http://www.despuglia.it>

- <http://www.regione.puglia.it>
- <http://www.regione.liguria.it>
- <http://www.regione.lombardia.it>
- <http://www.regione.emilia-romagna.it>
- <http://www.regione.piemonte.it>
- <http://www.regione.toscana.it>

Capitolo 2

Un caso studio: la masseria Sant'Agapito.

2.1 Inserimento e contestualizzazione storico-geografica del territorio.

“Vaste distese di campi fanno da cornice alla masseria agrituristica Sant'Agapito, che accoglie il viaggiatore alla ricerca di un angolo di campagna dove poter vivere a stretto contatto con la natura e gustare i genuini sapori di un tempo, in uno splendido angolo di Tavoliere compreso tra Foggia, Lucera e Troia. La masseria è inserita in un territorio ad alta vocazione agricola, specializzato nella produzione cerealicola, olivicola e vitivinicola, nonché dedicato alla pastorizia. E dalla purezza di questi luoghi, unita alla sapiente maestria di chi la coltiva nascono produzioni di indiscussa qualità ed eccellenza”.

Angelica Maria Colucci,
proprietaria Masseria Sant'Agapito.

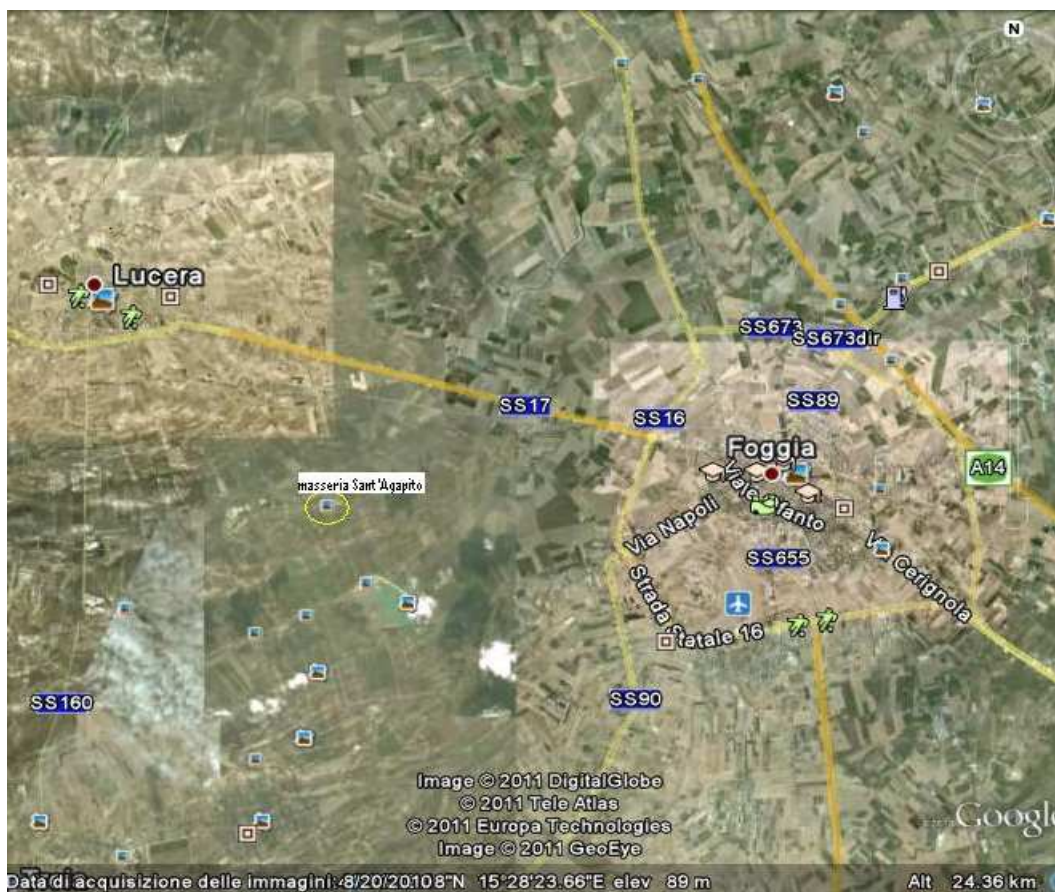
Percorrendo la S.S. N°17 che collega i comuni di Foggia e Lucera si imbecca il bivio al Km 333, nei pressi di Masseria Ferula, e, superato il ponte, si procede lungo la S.P. N°117 fra il torrente Celone ed il torrente Vulgano, verso Borgo San Giusto, in direzione Troia, fino ad incontrare, al Km 6, il sentiero segnalato che giunge alla Masseria Sant'Agapito.

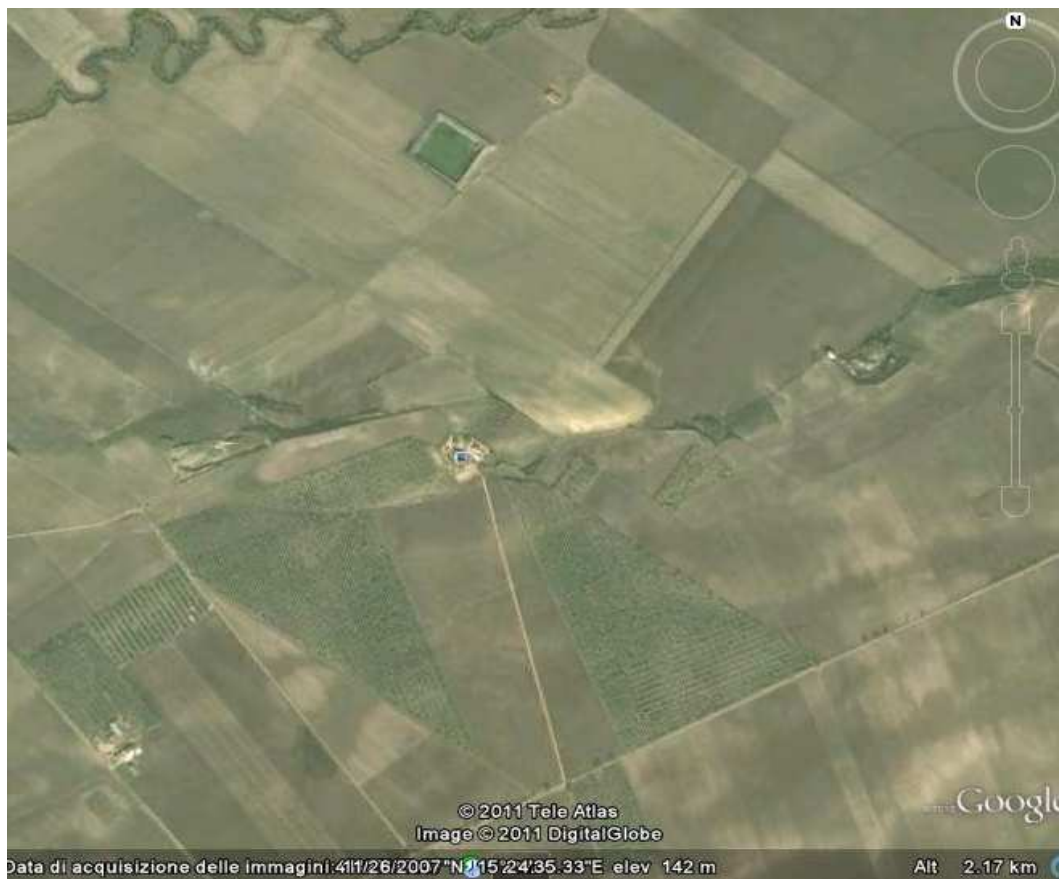
La posizione geografica esatta del complesso rurale risulta chiaramente dalle cartografie GIS, nonché dalle ortofoto presenti nella Tavola 1 in Allegato 2.1 al presente capitolo. Per maggiore chiarezza si riportano di seguito le immagini dell'area riprese dal satellite di Google Earth, con le relative indicazioni ed il tracciato stradale.

Rif. Geografico: LAT 42.423422 N ; LON 15.408669 E ; alt. 148 m.

Rif. Catastale: N.C.T. Comune di Lucera – foglio 129.

Uno stralcio del foglio 129 è presente nella suddetta Tavola 1. Altre versioni sono inserite nell'Allegato 2.2, in cui si riporta anche il tipo mappale, con le informazioni censuarie e geometriche relative alle particelle in oggetto, depositato presso il Comune di Lucera, come previsto dall'art.30, comma 5, del DPR 380/2001.





*“Un genere umano fu quello nei campi molto più duro, /
come si addiceva a chi fosse da dura terra creato / (...) e non
cedeva facilmente né a caldi né a geli / né a cibi inconsueti, né a
qualche malanno del corpo. / Per innumeri cicli compiuti nel
cielo dal sole, / traevano in perpetuo errare una vita da belve. /
Nessuno reggeva con forza il ricurvo aratro, / nessuno col ferro
sapeva dissodare le zolle, / piantare nel suolo novelli virgulti,
recidere dai grandi / alberi a colpi di falce i rami vetusti. / Ciò
che il sole e la pioggia donavano, e la terra creava / come
offerta spontanea, bastava a placare quei petti. / Per lo più
ristoravano le membra tra le querce / cariche di ghiande; e quei
frutti che ancora tu vedi / d’inverno divenire maturi, le purpuree
corbezzole, / allora la terra li produceva abbondanti e più
grossi. / (...) Non sapevano ancora trattare col fuoco gli oggetti,
/ servirsi di pelli, vestirsi di spogli ferine, / ma abitavano i
boschi, le selve, gli anfratti montani, / e celavano le ruvide
membra in mezzo ai cespugli, / costretti a fuggire i rovesci di
vento e di pioggia. (...) Allora la penuria di cibo conduceva a
morte le membra / consunte, adesso le sommerge l’eccesso dei
beni. Ma poi, quando si procurarono capanne, pelli e fuoco,
allora il genere umano cominciò a ingentilire i costumi.”*

Lucrezio, *De rerum natura* (libro V, vv. 925 e sgg.)

2.2 Descrizione della masseria e delle attività connesse.

Masseria Sant'Agapito è un complesso rurale costituito da 5 corpi di fabbrica principali, distinti e posizionati come indicato nelle tavole planimetriche riportate in Allegato 2.2, con annessi 11.94.71 Ha di terreno coltivato.

Riferendosi alla planimetria generale (Allegato 2.2) si individuano:

- Edificio A – B1 (in planimetria catastale particella X-3): posizionato all'estremo sud del complesso è costituito da un fabbricato ad un unico piano in muratura leggera, con tetto bifalda a capriate in legno e copertura di tegole in cotto (vedi reportage fotografico in Allegato 2.3). Il locale, originariamente utilizzato come legnaia, è stato adibito dopo il recupero a sala ristoro; risulta suddiviso in tre ambienti principali, cioè la cucina (B1), attrezzata e a norma per il servizio di ristoro, un disimpegno con magazzino e servizi igienici, ed un'ampia sala (A) in grado di ospitare fino a 50 coperti per il servizio di pranzo e cena. Lo stabile è dotato di impianto elettrico verificato secondo le norme, di rete telefonica e wireless per la connessione internet, e riscaldato da un camino a legna con integrazione, raramente necessaria, costituita da un impianto di derivazione con radiatori a muro. La caldaia a GPL, di potenza nominale pari a 29 kW, a servizio anche dell'edificio B a cui il locale ristoro è direttamente collegato tramite corridoio interno e scalinata, è alimentata mediante serbatoio interrato di capacità 800 litri. Lo stesso alimenta i fornelli della cucina. Il consumo di GPL registrato negli ultimi anni, per il riscaldamento degli edifici A e B, la produzione di acqua calda sanitaria e le esigenze di cottura dei cibi, si aggira intorno ai 1200 litri/anno. Pregio della masseria è la particolare attenzione verso una cucina tipica e genuina, con prodotti locali a filiera corta e km 0 (provenienti dalle coltivazioni della masseria stessa o di aziende del territorio), legati alla stagionalità ed alla produzione di conserve "fatte in casa". In particolare, il punto di eccellenza, oltre alla disponibilità di piante selvatiche di campagna e alla coltivazione di prodotti ortofrutticoli di varia natura destinati all'autoconsumo, è sicuramente

rappresentato dalla produzione di un ottimo olio extravergine di oliva, etichettato e messo in commercio.

- Edificio B (particella X-3): adiacente al locale A e, come precisato, direttamente collegato ad esso, è stato il primo edificio ristrutturato in ordine cronologico, ed occupato fin dal principio dal titolare e proprietario della masseria con il suo nucleo familiare di tre persone. L'edificio, a due piani fuori terra (vedi reportage fotografico) con cantina interrata, è realizzato in muratura di laterizio e tetto piano accessibile, con impianti a norma e termo camino a legna per il riscaldamento degli ambienti. Sebbene posseda uno scarso grado di isolamento, ad una prima analisi, non risulta fortemente dispersivo o energivoro, anche in funzione delle abitudini degli occupanti. Lo stabile, come del resto la sala ristoro, non saranno oggetto di diagnosi e certificazione energetica, limitata in prima istanza unicamente all'edificio C. Valide informazioni al riguardo possono comunque essere desunte dalla relazione presentata al paragrafo 2.5, benché la stessa sia abbastanza datata ed ulteriori modifiche siano state apportate nel corso degli anni, specie in relazione all'impianto termico (sostituzione della caldaia Baltur, potenziamento dell'impianto, etc.).
- Edificio C (particella X-1): anticamente scuola rurale, oggi ospita gli alloggi del b&b "Il Crogiuolo". Per ulteriori approfondimenti si veda oltre, in particolare i paragrafi da 2.5 a 2.10 e gli allegati.
- Locali D – E (particella 6): già oggetto di recupero funzionale, da stalle sono stati trasformati rispettivamente in sala concerti, dotata di bar, e sala polivalente per la realizzazione di eventi, dotata di servizi igienici (vedi reportage fotografico). I locali, accessibili da più fronti e collegati tra loro da un corridoio interno, possono essere considerati come piano seminterrato dell'edificio F.
- Edificio F (particella 6-1): originariamente cantina, rimessa (ancora presente) e ricovero per animali, risulta nei piani fuori terra parzialmente diroccato (vedi reportage fotografico). Esso pertanto sarà oggetto di interventi di

recupero e ricostruzione, come ampiamente descritto al capitolo 3, al fine di creare nuovi alloggi residenziali.

- Edificio G (particella 21): tale edificio di antica fattura, con funzione di chiesa, versa in condizioni di abbandono, con la copertura interamente crollata e le murature in stato fortemente degradato (reportage fotografico). Tuttavia non sono previsti al momento interventi di alcun genere sul fabbricato. Nell'area prospiciente al lato sud-ovest è stata invece realizzata la piscina balneabile, con annesse strutture per il servizio bar, cabine-spogliatoio, docce e wc.
- Strutture H – I – L (particelle 29-1, 29-2, 25-1, 54-1, 54-2): pollai, attualmente non utilizzati.

Inoltre, non riportati in planimetria ma visibili dalle fotografie in allegato, vi sono la guardiania ed un'uccellaia all'ingresso dell'aia, la “casetta” con il forno a legna ed un recinto con un piccolo ricovero per animali, situati di fronte alla facciata sud-est dell'edificio A. Attualmente la masseria non ha allevamento di animali, che si prevede reinserire nel medio-lungo periodo, pur mantenendo ovviamente, come già detto, il carattere di azienda agricola.

2.3 Reportage fotografico.

Un'ampia sequenza di fotografie aeree e scattate da diverse angolazioni, utile a fornire una visione completa di tutti gli edifici che costituiscono la Masseria Sant'Agapito, con delle panoramiche sull'agro circostante, viene presentata all'Allegato 2.3.

2.4 Tavole planimetriche e catastali.

In Allegato 2.2 si riportano invece le tavole planimetriche e, come già detto, quelle catastali.

2.5 Relazione tecnica sul contenimento dei consumi energetici (legge 10/91).

Fra le tavole planimetriche dell'allegato indicato al precedente paragrafo è presente l'elaborato grafico relativo alla prima e più significativa ristrutturazione dell'edificio C, che attualmente ospita il b&b "Il Crogiuolo" (cfr. scheda descrittiva in Allegato 2.4). A tale elaborato grafico, redatto dal geometra G. Bianco, responsabile del progetto, in data 9 gennaio 2003, è associata, oltre alla D.I.A. necessaria per i lavori di manutenzione straordinaria (regolarmente depositata nello stesso anno), una relazione tecnica sul rispetto delle prescrizioni in materia di contenimento del consumo energetico negli edifici, come previsto dalla Legge n.10/91, art. 28. Tale relazione, redatta in conformità al D.M. 13/12/1993 e ai Dpr. n.412 del 26/08/1993 e Dpr. 06/08/1994, nel rispetto delle relative norme UNI, ad opera dell'ing. progettista G. Di Croce in data 9 marzo 2001, è interamente riportata all'Allegato 2.5. Essa vuole costituire, alla luce anche delle analisi svolte al paragrafo 1.4 del precedente capitolo, la base per il reperimento di alcuni dati e per un utile confronto con la relazione tecnica presentata al paragrafo successivo (cfr. 2.6).

2.6 Nuova relazione tecnica.

La relazione tecnica, relativa al solo edificio C e redatta in base alle attuali disposizioni normative, è riportata in Allegato 2.6. Per commenti e valutazioni qualitative si rimanda al paragrafo 2.10.

2.7 Attestato di qualificazione energetica.

L'attestato di qualificazione energetica redatto con l'ausilio del software DOCET, messo a punto dall'ENEA ed ampiamente utilizzato per tale pratica, è all'Allegato 2.7.

2.8 Attestato di certificazione energetica (ACE).

Analogamente il certificato di qualificazione energetica, come risulta dalle elaborazioni di DOCET, è all'Allegato 2.7. Occorre sottolineare che la semplicità di utilizzo del software DOCET va a discapito della precisione dei risultati forniti, a causa della limitatezza dei parametri considerati nel calcolo e delle approssimazioni introdotte. Esistono software molto più elaborati ed accurati (MC4, Termus Acca, Termolog Epix, etc.) tuttavia, avendo aprioristicamente scartato la possibilità di interventi sulle componenti opache dell'involucro dell'edificio C, per l'attuale livello di analisi, si ritiene sufficiente l'impiego del software DOCET.

2.9 Diagnosi energetica.

La certificazione energetica rappresenta, in realtà, la conclusione di un lungo ed articolato percorso di reperimento e studio di dati inerenti al comportamento energetico, utili a qualificare un edificio. In genere tali dati vengono desunti dai capitolati e dai progetti dell'edificio (incluse modifiche, ristrutturazioni, manutenzioni), dai riferimenti standard delle normative tecniche (banche dati, abachi, manuali), da attività di metering e monitoraggio dei consumi (cfr. par. 4.2), oppure ancora, da indagini *in situ* e prove diagnostiche. D'altra parte la diagnosi energetica sul campo, che prevede l'analisi strumentale, di tipo qualitativo o quantitativo, delle caratteristiche e delle patologie dell'edificio, non è finalizzata alla sola certificazione, rilevando tutte quelle informazioni che non è possibile ricavare da altre fonti e confrontando i valori dichiarati o tabulati con quelli effettivamente misurati.

L'indagine diagnostica può distinguersi in una fase di campagna diagnostica ad ampio spettro, condotta generalmente per identificare lo stato di fatto ed eventualmente supportare la pianificazione di interventi, ed una fase di indagine dettagliata su patologie e difetti già noti o identificati. Gli obiettivi sono molteplici, dai rilievi fotografici e geometrici (dimensioni, spessori,

localizzazioni), a quelli strutturali, dall'analisi tecnologica dei materiali a quella funzionale, nonché alla raccolta delle opinioni degli utenti⁴, specie per edifici di uso collettivo come nel caso di un b&b o di un agriturismo. La misurazione dei parametri caratteristici d'involucro, degli scambi termici e della permeabilità all'aria dello stesso, e, in genere dell'ergonomia degli ambienti⁵, può essere condotta con indagini distruttive o non distruttive, a seconda delle necessità e delle condizioni.

Una delle prove invasive, benché facile da realizzare, è l'analisi endoscopica, che necessita l'esecuzione di un foro passante di 4-6mm sulla parete oggetto di studio al fine di inserire la sonda endoscopica a fibre ottiche. Tale strumento consente di valutare gli spessori stratigrafici, la consistenza, la densità effettiva e lo stato di conservazione. Per la determinazione del contenuto di umidità serve anche il prelievo di un campione da laboratorio. Dalla conoscenza dello spessore e della conduttività di ogni singolo layer è possibile ricavare la resistenza $R_i = s_i/\lambda_i$ (e la conduttanza che ne è il reciproco).

Il valore della trasmittanza U si ottiene di conseguenza aggiungendo le resistenze superficiali definite dagli standard nazionali. Essendo noti in questo caso i parametri di caratterizzazione (s , λ , ρ , U) delle pareti è stata evitata l'esecuzione della prova endoscopica.

Un'altra prova per la corretta determinazione del valore di trasmittanza U di un componente opaco è la prova con termo flussimetro, parzialmente invasiva a causa dell'uso della pasta conduttiva, che lascia inevitabilmente traccia sulle murature. Il termoflussimetro è costituito da una lastra solitamente in gomma, dotata di termocoppia differenziale (un avvolgimento di fili in rame e costantana

⁴ Mediante indici normalizzati, come ad esempio il PMV o il PPD, si tenta di definire espressioni depurate dal carattere fortemente soggettivo a cui sono legate le opinioni personali, rendendo tali indici rappresentativi di un determinato parametro, ad es. il comfort termoisometrico.

⁵ La misurazione dei parametri microclimatici e dell'ergonomia termica prevede l'impiego di dispositivi e strumenti (termometri, sensori, anemometri, psicrometri, globo termometri, radiometri, etc.) il cui elenco, con le caratteristiche di tutta la strumentazione, è fornito nella norma UNI EN ISO 7726. Le grandezze fisiche misurabili sono: la temperatura, l'umidità assoluta (o titolo) e la velocità dell'aria, la temperatura e la temperatura media radiante delle superfici delle pareti, la composizione e la qualità dell'aria negli ambienti (IAQ).

con diametro inferiore a 0,25mm, come da UNI EN 1934) con le giunzioni distribuite su entrambe le superfici della lastra. Misurando con un voltmetro la differenza di potenziale ai capi dell'avvolgimento, direttamente proporzionale alla differenza di temperatura (almeno 10°C), si ha, con adeguato fattore di scala e sfruttando la relazione di Fourier, un'indicazione sul flusso termico attraverso la parete (considerati gli scambi convettivi e radianti). Dal rapporto fra il flusso passante nell'elemento e la differenza di temperatura superficiale interna ed esterna si ottiene la conduttanza e quindi la trasmittanza U. Tale valore tuttavia non è preciso ma rappresenta una media progressiva ottenuta da varie osservazioni (la prova deve durare almeno 72 ore, ad intervalli di 24 ore, come prescritto nella norma ISO 8301, fino alla convergenza asintotica dei risultati) e generalmente può non essere quello usato nei calcoli di dispersione termica (ricodotto alle condizioni al contorno), dipendendo il primo dalle condizioni di misura. Peraltro la stabilizzazione di tali condizioni (in particolare equilibrio igrometrico e termico, omogeneità e planarità del provino, assenza di irraggiamento diretto, monodirezionalità del flusso) rappresenta un fattore critico per l'esecuzione della prova, che in questo caso non è stata condotta.

Alla prova con termoflussimetro spesso si fa precedere una prova termografica, ed eventualmente quella endoscopica. L'indagine termografica, utile per evidenziare irregolarità macroscopiche, consiste nella determinazione della temperatura superficiale degli elementi d'involucro attraverso la misurazione della temperatura apparente di radiazione per mezzo di un sistema sensibile alla radiazione infrarossa. La termocamera è composta da un sensore di radiazioni infrarosso operante con lunghezza d'onda maggiore di 2µm e risoluzione di 0,1°K, un dispositivo con il quale rendere l'immagine ed uno per la registrazione dei dati. Il sistema deve essere conforme alle normative, posizionato ed utilizzato in accordo con le istruzioni fornite dal produttore e sotto determinate condizioni di prova (strutture non esposte alla radiazione diretta, temperature di regime costanti e salto termico fra interno ed esterno superiore ad almeno 10°C, regime permanente di pressioni).

L'interpretazione dei dati di distribuzione della temperatura è utilizzata per individuare irregolarità termiche dovute a difetti di isolamento e presenza di ponti termici, presenza di umidità, infiltrazioni di aria, perdite degli impianti, estensione dei difetti. Considerando contorni e forma delle zone più calde o di quelle più fredde, le differenze di temperatura superficiale, le discontinuità e l'uniformità delle zone stesse, si possono facilmente individuare difetti che mostrano forme caratteristiche nell'immagine termica (come appunto ponti termici e discontinuità costruttive, zone umide, difetti d'isolamento). Le tipologie di difetti devono essere identificate anche con metodi complementari ed esaminate ulteriormente per verificare il reale grado di importanza e pianificare gli interventi da eseguire. Gli esiti della prova condotta devono essere elaborati (mediante software o altri strumenti) e presentati nel report della diagnosi in sito, che deve contenere, oltre ai dati relativi all'edificio, agli elaborati grafici e fotografici, alle schede tecniche e alle certificazioni dei materiali, le condizioni di svolgimento e le variazioni avvenute durante la prova, i risultati e le relative incertezze/tolleranze, le valutazioni finali ed ogni altra valida indicazione.

Nel caso in esame, la prova termografica, eseguita in data 09/03/2012 alle ore 17:30 circa, con impianto di riscaldamento funzionante a regime e temperatura interna di circa 20°C, e successivamente ripetuta, ha prodotto i risultati contenuti nell'Allegato 2.8, da cui è immediato trarre le seguenti conclusioni:

1. l'involucro non presenta eccessive dispersioni termiche e mostra un comportamento piuttosto uniforme (temperatura superficiale esterna compresa tra 6 e 7°C circa). Ciò è dovuto da un lato alla struttura portante in muratura massiccia e dall'altro all'impiego del tufo (foto 9, 10 e 11);
2. le dispersioni termiche maggiori sono localizzate in corrispondenza di porte, balconi e finestre, il cui spettro rivela una temperatura di 9°C con zone che arrivano a superare i 10°C (foto da 3 a 8);
3. i ponti termici in corrispondenza di spigoli e solai hanno un comportamento sufficientemente buono, con differenze di temperatura superficiale di soli 1-2°C rispetto alla parete continua. Anche ciò è

- riconducibile principalmente alla struttura in muratura massiccia (foto 12, 13 e 14);
4. le finestre mostrano dall'interno un buon livello di isolamento per l'infisso in legno ma una scarsa tenuta all'aria dello stesso, con infiltrazioni di aria fredda ben visibili sul contorno. Anche il vetro, la cui temperatura superficiale interna è localmente inferiore anche ai 17°C, mostra una trasmittanza elevata, trattandosi in effetti di un vetro singolo (foto 17);
 5. i ponti termici in corrispondenza degli spigoli di parete e solaio comportano una temperatura superficiale significativamente inferiore a quella di parete esclusivamente per quanto concerne le facciate esposte a nord. Ciò lascia il sospetto di una possibile formazione di condensa, cosa del resto testimoniata dall'insorgere, anche nel recente passato, di piccole macchie di umidità con formazione di muffe (foto da 18 a 26);
 6. sul solaio di copertura, benché evidenti (foto 27, 28 e 29), le tracce in corrispondenza delle travi non suscitano preoccupazioni. Il solaio stesso mostra un buon grado di isolamento (temperatura superficiale 16-17°C).

Tra le norme utili all'attività di diagnosi, infine, si richiamano:

- UNI TS 11300-1
- UNI 10351:1994 “Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore.”
- UNI 10355 “Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodi di calcolo.”
- UNI EN 12524:2001 “Materiali e prodotti per l'edilizia-proprietà igrometriche-valori tabulati di progetto.”
- UNI 14683 “Ponti termici in edilizia-coefficiente di trasmissione termica lineica-metodi semplificati e valori di riferimento.”
- UNI EN 10211-1-2 “Ponti termici in edilizia-flussi termici e temperature superficiali-metodi generali di calcolo.”
- UNI 1745 “Muratura e prodotti per muratura-metodi per determinare i valori termici di progetto.”

- UNI EN 6946:2008 “Componenti ed elementi per edilizia-resistenza termica e trasmittanza termica-metodo di calcolo.”
- UNI 10077-1-2 “Prestazione termica di finestre, porte e chiusure-calcolo della trasmittanza termica-metodo semplificato e metodo numerico per i telai.”
- UNI EN 15251 “Criteri per la progettazione dell’ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell’aria interna, all’ambiente termico, all’illuminazione e all’acustica.”
- UNI EN 1934:2000 “Determinazione della resistenza termica per mezzo del metodo della camera calda con termoflussimetro Muratura.”
- UNI 9252:1988 “Rilievo ed analisi qualitativa delle regolarità termiche negli involucri degli edifici. Metodo della termografia all’infrarosso.”
- UNI EN ISO 10012:2004 “Sistemi di gestione della misurazione-requisiti per i processi e le apparecchiature di misurazione.”
- UNI EN ISO 6946:1996 “building components and building components- Thermal resistance and thermal transmittance-Calculation method.”
- UNI EN ISO 8990 “Determinazione delle proprietà di trasmissione termica in regime stazionario. Metodo della termografia all’infrarosso.”
- UNI EN 13187:2000 “Prestazione termica degli edifici-Rivelazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi-Metodo all’infrarosso.”
- ISO 9869:1994 “Thermal insulation-Building elements.”
- UNI CEI EN IS/IEC 17025 e UNI CEI ENV 13005 per la taratura degli strumenti di misura.
- UNI EN ISO 7726.
- UNI EN ISO 9251.
- UNI EN ISO 9288.
- UNI EN 9346.
- UNI EN 12207.
- UNI 10351.
- UNI 7345.

2.10 Analisi conclusiva e strategie d'intervento volte alla riqualificazione energetica.

Come risulta dall'ACE (cfr. 2.8), la prestazione energetica dell'edificio "C" risulta globalmente insufficiente, con una classificazione generale in classe G.

Gli ambiti di intervento, volutamente omessi nell'attestato, sono molteplici e riguardano sia l'involucro edilizio che l'impianto termico; nel presente paragrafo si tenta di individuare i punti di maggiore criticità e delineare in via sintetica e generica una strategia di intervento per la riqualificazione energetica del b&b.

In via aprioristica si opta per non intervenire sui ponti termici, che come osservato non presentano un comportamento eccessivamente negativo, e di rinunciare anche a migliorare il grado di isolamento dell'involucro opaco. In quest'ultimo caso infatti, l'intervento tecnicamente più idoneo e fattibile sarebbe un isolamento esterno "a cappotto", il che, oltre ad assorbire un cospicuo investimento economico, renderebbe necessario un completo restyling delle facciate non proprio in linea con i principi di un recupero estremamente conservativo quale quello che si è deciso di operare. Non bisogna infatti dimenticare che l'edificio è inserito in un contesto e, nelle caratteristiche architettoniche e costruttive, testimonia la tradizione edilizia tipica del luogo. In particolare l'uso della pietra locale, il tufo, che richiama una costruzione tipica della Puglia: il trullo, splendido esempio di architettura bioclimatica. Infatti il tufo, pietra porosa di origine calcarea, con un significativo spessore di parete, in questo caso 55 cm, compreso di intonaci, è in grado di offrire un valore di trasmittanza di 0,981 [W/mq°K], sicuramente lontano dagli attuali limiti di legge, ma non pessimo. Inoltre bisogna considerare che tale tipologia di muratura in tufo mostra i maggiori pregi e vantaggi non in relazione alle dispersioni termiche per trasmissione in regime invernale ma alle sue caratteristiche inerziali, che consentono di mantenere gli ambienti interni freschi durante le calde giornate estive nell'assolata campagna pugliese (funzione principale dei trulli). Anche il

grado di isolamento dei solai, ed in particolare della copertura, è giudicato per il momento sufficiente.

Un intervento sicuramente necessario è la sostituzione degli elementi finestrati che, come mostra evidentemente l'indagine termografica, rappresentano un punto di notevole dispersione termica in conseguenza dell'elevata trasmittanza dei vetri singoli, oltre che della scarsa tenuta all'aria degli infissi. Tale intervento è da realizzarsi in concomitanza con la posa in opera degli infissi nell'edificio "F" e il tipo stesso di finestra è del tutto identico nei due casi (cfr. cap. 3), il che consente un leggero abbattimento nei costi dell'intervento di sostituzione nell'edificio "C" in oggetto.

Per quanto riguarda l'impianto termico, utilizzato in prevalenza a scopo riscaldamento, si suggerisce una sostituzione del generatore, oramai obsoleto, con una caldaia a condensazione di ultima generazione, scelta fra i modelli disponibili in commercio. La progettazione e il dimensionamento di una caldaia a biomassa a servizio dell'edificio "F" (cfr. 4.5) può essere inoltre una valida occasione per integrare i due impianti, ottenendo dal generatore a biomassa una derivazione dedicata alla copertura di parte del fabbisogno termico dell'edificio "C". Se così fosse la presenza di una caldaia nell'edificio sarebbe giustificata solo con funzione ausiliaria rispetto ai problemi di gestione del carico termico riconducibile all'impianto principale (alimentato a biomassa). Per la produzione di acqua calda sanitaria si prevede l'eliminazione dei boiler elettrici, o meglio, la riconversione dell'impianto operata a partire dal dimensionamento di collettori solari termici in grado di coprire una percentuale vicina alla totalità del fabbisogno energetico del b&b, come è illustrato dettagliatamente al paragrafo 4.3.1.

In Allegato 2.7 la cartella "Analisi interventi" riporta i risultati di calcolo, nell'ipotesi di realizzazione degli interventi proposti, mostrando i miglioramenti conseguibili negli indici prestazionali e nella classificazione energetica (dalla G si arriva alla E, con indice globale più che dimezzato).

2.11 Bibliografia e siti web di riferimento.

- [1] K.Fabbri, *Prestazione energetica degli edifici*, Ed. DEI, 2009.
- [2] M.Carta, S.Nobili, *Calcolo energetico degli edifici*, Ed. Grafill, 2011.
- [3] Analist Group, *Certificazione energetica: dalla teoria alla pratica*, Ed. Grafill, 2010.
- [4] S.De Marzi, *Prestazione e certificazione energetica con Excel*, Ed. DEI, 2011.
- [5] C.Massaia, G.Mutani, L.Raimondo, *La procedura di certificazione energetica dal sopralluogo all'attestato*, Ed. Maggioli, Marzo 2012.
- [6] D. Lanzoni, *Diagnosi e certificazione energetica: prove strumentali sugli edifici.*, Ed. Maggioli, ottobre 2010.
- [6] K.Fabbri, Boscolo, *Diagnosi energetica.*, Ed. DEI, Roma, 2009.
- [7] G.Roche, *Prontuario operativo per la Certificazione Energetica. L'edificio Esistente*, Ed. Maggioli, 2011.
- [8] Trevisi, Laforgia, Ruggiero, *Efficienza energetica in edilizia*, Ed. Maggioli, 2007.
- [9] E.De Angelis, M.Fiori, T.Poli, *Le pareti perimetrali opache*, Ed. Maggioli, 2009.
- [10] L.Bianchi, *Le prestazioni termiche dei serramenti*, Ed. Maggioli, 2009.
- [11] V.Radi, *Edifici a risparmio energetico nelle regioni mediterranee*, Ed. Maggioli, 2011.
- [12] *Atlante delle facciate.* – Herzog – Ed. UTET

Siti web:

- www.masseriasantagapito.it
- www.enea.it
- www.acca.it/Prodotti/termus.asp
- www.logical.it/software_termolog.aspx
- www.mc4software.com
- www.uniroma2.it/didattica/.../Lezione_1_tipologie_muratura.pdf
- [www.sanageb.it/public/archivio/Tufo - definizioni e caratteri.pdf](http://www.sanageb.it/public/archivio/Tufo_-_definizioni_e_caratteri.pdf)
- www.casaclima.com
- www.buildup.it
- www.mygreenbuldings.org
- www.ferroli.it
- www.ariston.com/it
- www.riello.it

Capitolo 3

Recupero funzionale del rudere – Edificio F.

3.1 Introduzione.

3.1.1 Inquadramento planimetrico del rudere e descrizione della vecchia destinazione d'uso nel complesso masseria.

Il rudere oggetto dell'intervento di recupero strutturale e funzionale è lo stabile individuato dalla lettera F nella planimetria generale presentata all'Allegato 2.2 del capitolo precedente.

L'edificio consiste in una struttura a pianta rettangolare con dimensioni lineari di 32,60m x 14,65m, composta da un piano seminterrato e due piani fuori terra. Originariamente, mentre il piano parzialmente interrato era adibito a cantina e rimessa, i piani superiori ospitavano le case coloniche.

Il recupero coinvolgerà anche i locali annessi al corpo principale F, e precisamente i locali contrassegnati dalla lettera N, nonché la “torretta” M (cfr. planimetria generale in Allegato 3.4 -2).

3.1.2 Stato attuale dell'edificio e utilizzo della parte semi-interrata.

Attualmente l'edificio F risulta in evidente stato di degrado e parzialmente crollato, come visibile anche dai rilevamenti fotografici. Solo il piano seminterrato ha subito interventi di consolidamento e ristrutturazione, rendendosi disponibile come sala polivalente per la realizzazione di incontri, spettacoli ed eventi enogastronomici e culturali. Tale impiego resterà inalterato anche dopo il recupero dei piani superiori.

La sala, dotata di buon isolamento acustico e di un naturale “effetto grotta”, con temperature comprese fra 10 e 25°C, non è climatizzata, ma servita da riscaldamento a radiatori con caldaia autonoma (utilizzato in poche occasioni) e da un sistema di ventilazione meccanica. L’impianto di riscaldamento verrà asservito all’impianto termico dell’edificio F.

3.1.3 Rilevamenti fotografici.

In aggiunta al reportage fotografico della masseria presentato al capitolo 2, si riportano in Allegato 3.1 alcune fotografie maggiormente dettagliate dell’edificio F, per evidenziarne lo stato delle pareti esterne fuori terra e l’interno del piano seminterrato. Si consulti infine la tavola 1 (Stato di fatto) in Allegato 3.4.

3.2 Progetto di recupero funzionale.

3.2.1 Relazione tecnico-illustrativa (2004).

Il progetto di recupero funzionale del rudere, in riferimento ai due piani fuori terra, con la creazione di 9 unità abitative, era inizialmente legato all’ampliamento dell’offerta agrituristica della masseria, attualmente costituita dai 20 posti letto dell’edificio C (cfr. capitolo 2). In allegato 3.2 si riporta la prima relazione tecnico-illustrativa che risale al concepimento del progetto, ovvero all’anno 2004.

3.2.2 Redazione di una nuova relazione illustrativa.

Ad oggi, rispetto al 2004, nuove esigenze hanno imposto cambiamenti non radicali ma comunque significativi nel progetto; sia, come si vedrà in questo capitolo, per quanto riguarda le modalità e le tecniche di recupero strutturale, con l'applicazione ove possibile dei principi dell'architettura bioclimatica, sia per quanto riguarda la destinazione d'uso delle unità abitative, avendo rinunciato ad una semplice espansione dei servizi di b&b e agriturismo. Nella relazione illustrativa all'Allegato 3.3, redatta in data 30/10/2011, si tenta di far luce su quest'ultimo aspetto.

3.2.3 Tavole di progetto.

Le tavole di progetto, eseguite in Cad e disponibili in formato .pdf, sono inserite nell'Allegato 3.4, che contiene:

- Planimetria;
- Stato di fatto;
- Piante (piano seminterrato, piano primo, soppalchi).

A queste si aggiungono quelle contenenti i prospetti e le sezioni, riportate in Allegato 4.12 al prossimo capitolo.

3.3 Recupero strutturale.

3.3.1 Descrizione del progetto di recupero e delle fasi di realizzazione.

Gli interventi di recupero saranno realizzati prendendo in considerazione alcuni parametri fondamentali:

- Consolidamento strutturale;
- Conservazione e valorizzazione dell'esistente;
- Impiego di materiali naturali e a basso impatto ecologico;
- Esigenze termoacustiche delle chiusure;
- Comfort abitativo;
- Estetica ed integrazione paesaggistica.

Nei paragrafi successivi verranno presentate soluzioni innovative dal punto di vista tecnologico-costruttivo per il recupero delle strutture murarie esistenti e per la parziale ricostruzione dell'edificio. Tali soluzioni sono conformi ai più recenti dettami della bioarchitettura, sia in termini di materiali impiegati che di risparmio energetico. Obiettivo del progetto cioè, è quello di realizzare un edificio con lo standard Passive house, curandone attentamente la progettazione d'involucro e, come mostrato nel capitolo 4, assicurandone un approvvigionamento energetico il più possibile basato sull'impiego di sistemi non convenzionali e sullo sfruttamento delle risorse rinnovabili.

Tutti gli impianti (idrico, elettrico, di riscaldamento, di condizionamento e di ventilazione), eseguiti a regola d'arte, si avvarranno delle più recenti innovazioni tecnologiche, al fine di rispondere ai crismi sopracitati. Il sistema fognario e delle acque reflue sarà integrato con l'attuale impianto di smaltimento, illustrato all'Allegato 3.5, dotato di vasca Imhoff con smaltimento per subirrigazione. Tale impianto sarà ovviamente ampliato e dimensionato in base alle nuove esigenze.

Le fasi di realizzazione del progetto, sviluppate nei paragrafi seguenti, possono essere sintetizzate in:

- Rifinitura del solaio fra piano seminterrato e primo piano;
- Interventi di parziale ricostruzione, consolidamento strutturale ed isolamento termoacustico delle pareti esistenti;
- Ricostruzione delle pareti crollate;
- Rifacimento delle coperture a falde (edificio F) e a verde (edificio N);
- Riedificazione della torretta M;
- Realizzazione degli impianti di servizio;
- Suddivisione degli ambienti interni e finiture;
- Installazione delle chiusure trasparenti e degli schermi solari;
- Diagnosi e certificazione energetica;
- Verifiche e collaudi;

3.3.2 Criteri generali di progettazione di involucri eco-efficienti.

Dal Terzo Rapporto sul cambiamento climatico dell'International Panel on Climate Change (IPCC) emerge che il solo settore degli edifici residenziali contribuisce per oltre il 21% alle emissioni globali di CO₂, e la maggior parte dei consumi sono dovuti alla necessità di riscaldamento degli ambienti (fig. 1), senza considerare il contributo sempre crescente del condizionamento estivo.

Il Rapporto Energia e Ambiente redatto dall'ENEA nel 2006, conferma i dati, evidenziando come negli anni compresi fra il 1995 e il 2005 si sia verificato in Italia un notevole aumento (+ 25%) dei consumi energetici nel settore civile.

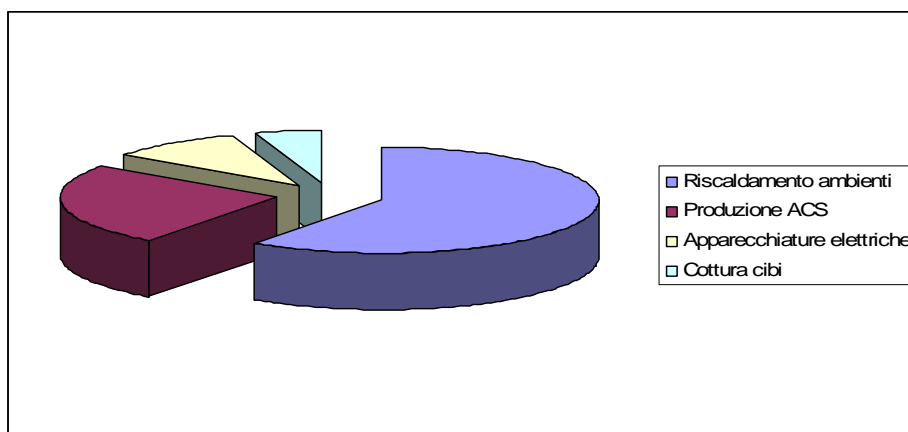


Fig. 1: consumi energetici del settore residenziale.

Appare evidente come, per ridurre significativamente i consumi del settore edilizio, occorra intervenire sicuramente sugli impianti, migliorandone prestazioni ed efficienza, ma contemporaneamente su un altro parametro fondamentale: l'involucro edilizio. Infatti una consapevole ed accurata progettazione dell'involucro garantisce notevoli benefici dal punto di vista del risparmio energetico, ma anche del comfort abitativo. In questa direzione si muove la Direttiva 2002/91/CE emanata dal Parlamento Europeo in data 16/12/2002 e recepita dai paesi membri.

L'involucro edilizio costituisce il diaframma fra ambiente interno ed esterno, regolando fra le altre cose il flusso di calore. Un'analogia interessante è quella proposta da Herzog, che considera l'involucro come una "terza pelle" umana, con esigenze prestazionali crescenti dallo strato esterno a quello interno.

L'aspetto cardine della progettazione d'involucro è rappresentato dall'isolamento termico, che determina la trasmittanza delle chiusure, nonché la massa, l'inerzia e, dunque, le caratteristiche di sfasamento ed attenuazione dell'onda termica.

L'isolamento termico è diventato uno dei temi centrali del progettare secondo i principi dell'energy conscious design e costituisce l'elemento chiave per il miglioramento del comportamento energetico dell'edificio, non solo per quanto riguarda il periodo di riscaldamento ma anche in relazione al regime estivo, al comportamento igrometrico, al controllo delle temperature superficiali, alla riduzione delle fluttuazioni di temperatura. In tal senso il comportamento

dell'elemento d'involucro è correlato anche alla caratterizzazione stratigrafica complessiva ed alla posizione dello strato isolante rispetto alla massa. Particolare rilievo sarà dato alla cura di tali aspetti nei paragrafi successivi.

La progettazione di un involucro ecoefficiente tuttavia passa anche attraverso la necessità di organizzare planimetricamente e volumetricamente l'edificio in maniera coerente con il contesto climatico locale, sfruttando gli apporti solari con sistemi passivi e attivi, la ventilazione e le altre caratteristiche microclimatiche del sito.

Anche tali aspetti saranno analizzati dettagliatamente nel seguito, portando all'impiego di sistemi e tecnologie innovative. D'altra parte, anche analizzando le soluzioni tecnologiche e tipologiche degli edifici tradizionali (come si è fatto per i trulli, al capitolo 2) è possibile riscontrare una serie di caratteristiche che corrispondono ad invarianti nella realizzazione di architetture vernacolari mediterranee. Queste si possono sintetizzare nelle seguenti:

- presenza di masse murarie a forte inerzia, spesso costituite da pietra locale di origine sedimentaria o vulcanica (tufo);
- ottimizzazione della dimensione e della localizzazione delle aperture, con riguardo sia al trasferimento termico che luminoso;
- riduzione del rapporto tra l'area superficiale esterna ed il volume contenuto dall'edificio;
- utilizzo di sistemi di ombreggiamento naturale ed inibizione, per determinate esposizioni e latitudini, dell'apporto diretto di radiazione solare;
- sfruttamento della radiazione solare e della ventilazione naturale grazie a particolari elementi architettonici (logge, patii, etc.)

Il punto di arrivo di questo processo evolutivo è l'edificio passivo, ossia che consuma meno energia di quanta è in grado di produrne (mediante F.E.R.), includendo nei consumi l'energia necessaria per realizzarlo, quella inglobata nei materiali e quella per la dismissione. Tale edificio assume la connotazione di "sostenibile".

3.3.3 Solaio di terra.

Il solaio presente fra il piano seminterrato ed il primo piano dell'edificio F non mostra evidenti segni di instabilità (crepe, fessurazioni, infiltrazioni, crolli localizzati), risultando nel complesso solido e stabile. Esso è altresì caratterizzato da un buon livello di isolamento termoacustico, dovuto al notevole spessore (50cm) creato dal soffitto con volte a botte del piano seminterrato, oltre che dalle particolari condizioni termoigrometriche di quest'ultimo, che costituisce una zona termica in cui, come già osservato, la temperatura non scende mai al di sotto dei 10°C.

Tuttavia si rende necessario un rifacimento del massetto cementizio, nonché la realizzazione di una pavimentazione di rifinitura, che sarà realizzata con tavole in legno di olivo di spessore 10mm (fig. 2).



Fig. 2. (fonte: www.laborlegno.it).

La realizzazione del massetto alleggerito, di spessore 100mm, conforme alla norma DIN 18560, è occasione per la posa di un sistema di riscaldamento radiante a bassa temperatura, integrato appunto nella pavimentazione.

Il tipo di guida e il metodo di posa (flottante o incollato), uniti al riscaldamento a pavimento, devono rispettare le istruzioni del fornitore della guida e dell'impianto di riscaldamento. Per ottenere una distribuzione omogenea del calore sull'intero pavimento, la distanza tra gli elementi riscaldanti non deve superare i 30 cm. La profondità degli elementi sarà stabilita dall'operaio addetto all'installazione dell'impianto. La posa della pavimentazione deve avvenire sul sottopavimento sufficientemente asciutto attraverso l'intero spessore. I valori di

riferimento massimi sono dell'1,5% secondo il metodo CM per i pavimenti legati con cemento e massimo dello 0,3% per le guide legate con anidrite.



Posa del riscaldamento a pavimento

Il riscaldamento a pavimento è un impianto di riscaldamento a bassa temperatura (30-40°C) che consente un considerevole risparmio energetico, proprio in virtù della minore temperatura dell'acqua, e genera un elevato comfort termico, derivante da una minore influenza sull'umidità relativa dell'aria e da una più omogenea stratificazione dell'aria riscaldata.

Le soluzioni disponibili in commercio sono molteplici e comprendono pannelli isolanti già stampati con le guide per le tubazioni (cfr. Allegato 3.23). Dopo la posa dei pannelli è necessario realizzare un massetto di copertura con spessore di 45mm prima di posare il parquet.

Si osserva che il funzionamento del sistema radiante non preclude la scelta del rivestimento della pavimentazione in tavolato di legno (o, più in generale, parquet); in ogni caso, nella scelta della pavimentazione, è bene accertarsi che sia esplicitamente dichiarata la sua compatibilità con il riscaldamento a pannelli radianti.

Anche le membrane antiumidità poste al di sotto della pavimentazione in legno devono essere conformi a tutti gli standard europei in materia e testate per garantire che una volta riscaldate non producano odori sgradevoli né gas nocivi.

La resistenza massima al calore consentita per una pavimentazione è di 0,15 mq°K/W, come da norma EN 4725.

La tabella seguente fornisce indicazioni sulla resa dell'impianto con diverse tipologie di pavimentazione.

Tipologia pavimentazione	RλB m²K W	v _{nl} 5 W/m²	T °C Pav.	v _{nl} 7,5 W/m²	T °C Pav.	v _{nl} 10 W/m²	T °C Pav.	v _{nl} 15 W/m²	T °C Pav.	v _{nl} 20 W/m²	T °C Pav.
Solo cemento	0.000	147	32.8	137	32	127	31.2	110	29.8	96	28.7
Ceramica ≤ 15mm	0.015	132	31.6	123	30.8	115	30.2	100	29.0	88	28.0
Ceramica ≤ 25mm	0.030	119	30.5	111	29.9	104	29.3	92	28.3	81	27.4
Parquet/Legno 10mm	0.050	105	29.4	99	28.9	93	28.5	83	27.6	74	26.9
Moquette s/za gomma	0.100	82	27.5	78	27.2	74	26.9	67	26.3	61	25.7
Linoleum-riv. elast.	0.150	67	26.3	64	26.0	62	25.8	57	25.4	52	25.0

Legenda: RλB m²KW = resistività termica del pavimento
v_{nl} (5-20) W/m² = resa impianto (dove da 5 a 20 indica l'interasse tra i tubi in cm)

(Fonte: http://web.tiscali.it/risparmio_energetico/resa_impianto.jpg)

Per la progettazione degli impianti a pannelli radianti si può fare riferimento alla norma tecnica UNI EN 1264, che li divide in tre tipologie:

- Impianti con tubi annegati nello strato di supporto.
- Impianti con tubi sotto lo strato di supporto.
- Impianti annegati in uno strato livellante, in cui lo strato aderisce ad un doppio strato di separazione.

La stessa norma indica una resistenza termica minima per pavimento su locale non riscaldato di 1,25 mq°K/W. Un'altra norma di riferimento è la DIN EN 13813.

Tale sistema di riscaldamento può essere alimentato da una caldaia a condensazione alimentata a GPL o da un generatore a biomassa (cfr. paragrafo 4.5) posto in un apposito locale tecnico al piano terra. Nonostante la ripartizione del circuito di distribuzione in 9 settori indipendenti, corrispondenti agli ambienti

da riscaldare, a causa delle caratteristiche prestazionali dell'impianto radiante e del regime di funzionamento del generatore termico a biomassa, sorgono notevoli problemi in caso di occupazione parziale e temporanea degli appartamenti o, più in generale, di regimi fortemente transitori.

Al fine di risolvere queste problematiche, ogni appartamento sarà comunque dotato di pompe di calore elettriche (una per ciascuna abitazione, di potenza assorbita pari a 1kW), in grado di riscaldare in maniera indipendente e quasi istantaneamente gli ambienti, in caso di emergenza. Nel dimensionamento di massima della pompa di calore si può considerare che per ogni metro cubo da climatizzare occorrono 30 kcal/ora in riscaldamento, e 25 kcal/ora in raffreddamento. Conviene poi effettuare un controllo sul volume d'aria trattato, verificando che l'impianto sia in grado di trattare un minimo di 3 volumi d'aria l'ora. Indicazioni più precise si possono desumere dalla norma EN 15316, nonché dalla nuova UNI-TS 11300-4.

Il vantaggio nell'uso della pompa di calore deriva dalla sua capacità di fornire più energia ambientale (65%) di quella elettrica (35%) impiegata per il suo funzionamento, in quanto estrae calore dall'ambiente esterno. La figura 3 aiuta a comprenderne il principio di funzionamento.

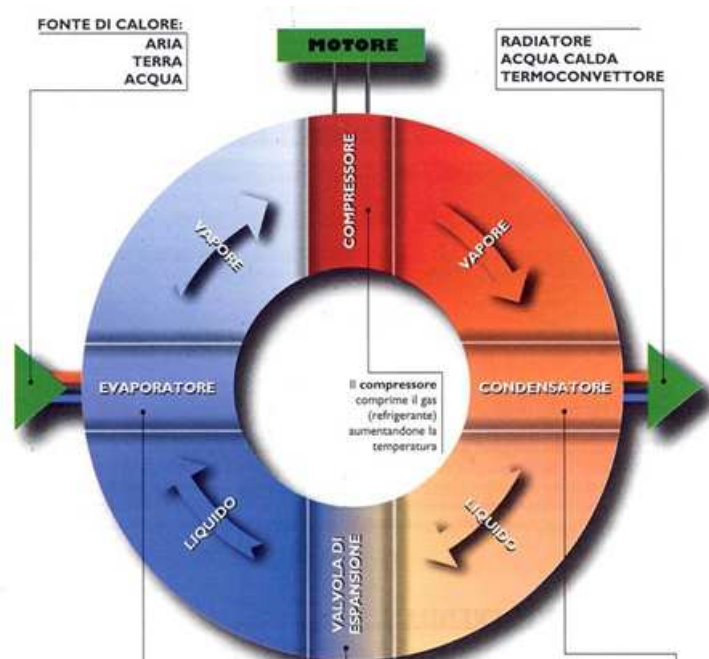


Fig. 3. (fonte: ENEA).

L'efficienza di una pompa di calore è misurata dal coefficiente di prestazione (C.O.P.) che misura il rapporto tra energia fornita (calore ceduto al mezzo da riscaldare) ed energia elettrica consumata e che varia a seconda dei tipi di pompa di calore e delle condizioni di funzionamento (in genere, esprime valori prossimi a 3, ossia per 1 kWh di energia elettrica consumato, verranno forniti 3 kWh, ovvero 2580 kcal, di calore al mezzo da riscaldare).

Il C.O.P., misurato secondo la norma EN 16147 (come disposto al punto 3c dell'Allegato 2 del D.Lgs. 28/2011) sarà tanto maggiore quanto più bassa è la temperatura a cui il calore viene ceduto (nel condensatore) e quanto più alta è la temperatura della sorgente da cui viene assorbito (nell'evaporatore). In un intervallo di temperatura compresa tra - 2°C e 2°C, la pompa di calore si disattiva per evitare una significativa riduzione delle sue prestazioni. Non va dimenticato che la potenza termica resa dalla pompa di calore dipende dalla temperatura a cui la stessa assorbe calore.

Il mezzo esterno da cui si estrae calore è detto "sorgente fredda" e può essere costituita da:

- l'aria esterna al locale dove è installata la pompa di calore o, in questo caso, l'aria dei locali seminterrati;
- l'acqua di falda, di fiume o di lago;
- l'acqua accumulata in appositi serbatoi e riscaldata dalla radiazione solare;
- il terreno nel quale vengono inserite le tubazioni relative all'evaporatore.

L'aria o l'acqua da riscaldare sono detti "pozzo caldo". Nel condensatore, il fluido frigorifero cede al pozzo caldo sia il calore prelevato dalla sorgente fredda che l'energia fornita dal compressore. Il calore può essere ceduto all'ambiente attraverso:

- ventilconvettori;
- serpentine inserite nel pavimento, nelle quali circola acqua calda;

- canalizzazioni, che trasferiscono direttamente il calore prodotto dalla pompa di calore ai diversi locali.

Nel caso in esame, si opterà per non integrare le pompe con il riscaldamento a pavimento ma, per facilitare una risposta più immediata del sistema, si utilizzeranno i ventilconvettori.

La verifica sul rendimento sarà condotta secondo le disposizioni del D.p.r. 59/2009 (art.4, comma 6). Sulla base dell'Art.1, comma 347 della Legge Finanziaria 2007 (aggiornato al 10/05/2012), l'ENEA ha redatto un vademecum per l'uso delle pompe di calore e per il riconoscimento delle detrazioni fiscali previste.

http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/tecno/pompe_calore.pdf

L'impianto di riscaldamento a pavimento, infine, può essere integrato con un sistema per il raffrescamento estivo.

3.3.4 Pareti perimetrali esterne.

“[...] non è una comodità se la casa è fresca in estate e calda in inverno? Dopo aver approvato anche questo, egli continuò: non è forse vero che nelle case esposte a sud il sole penetra in inverno sotto il portico, mentre in estate passa sopra di noi e sopra i tetti in modo da procurarci ombra? Se ci fa comodo che questo avvenga, non dovrebbero le stanze esposte a sud essere più alte affinché il sole invernale non ne sia escluso, mentre quelle sul lato nord più basse affinché i venti freddi non possono nuocere? Detto in breve: questa dovrebbe essere veramente la dimora più bella e più confortevole, in cui sentirsi a proprio agio in tutte le stagioni e in cui vivere più al sicuro.[...]”

[Senofonte: Memorabilia]

Generalità

La chiusura di un edificio è quella parte dell'organismo edilizio che divide l'interno dall'esterno. Per chiusura verticale si intende l'unità tecnologica che separa verticalmente l'interno dell'edificio dall'esterno. La separazione serve ad ottenere le condizioni necessarie allo svolgimento delle attività umane all'interno dell'edificio attraverso la regolazione dei flussi di materia e di energia.

Le chiusure verticali possono essere classificate secondo due classi di elementi tecnici:

- Pareti perimetrali verticali (PPV): classe di elemento tecnico che impedisce il passaggio di persone, animali e oggetti anche nei casi di choc meccanico. Controlla il passaggio di sostanza liquide e gassose e il passaggio di energia tra l'interno e l'esterno.
- Infissi verticali: a differenza delle PP, classe di elemento tecnico che controlla il passaggio di persone, animali, oggetti, sostanze liquide e gassose e il passaggio di energia fra l'interno e l'esterno.

Classificazione relativa alla complessità morfologica

- Pareti integrate: sono quelle in cui l'elemento tecnico, prefabbricato, comprende tutti i componenti necessari allo svolgimento delle loro funzioni.
- Pareti complesse: sono formate dall'unione di più elementi tecnici che vengono uniti e, in alcuni casi, gettati in opera.
- Pareti semplici: l'elemento tecnico è costituito da uno strato principale.

Classificazione funzionale

- Parete opaca
- Parete trasparente
- Parete doppia
- Parete ventilata
- Parete isolata

Classificazione relazionale

- Parete inserita
- Parete seminserita
- Parete a cortina

Classificazione relativa alla morfologia degli elementi

- PPV composta da piccoli elementi definiti
- PPV composta da pannelli autoportanti
- PPV gettata
- PPV a struttura ausiliaria

Requisiti connotanti

Sicurezza

Resistenza meccanica ai carichi statici, resistenza meccanica ai carichi sospesi (UNI 8326), resistenza meccanica ai carichi dinamici (DM 12-2-82) (ISO 7895), resistenza agli urti di sicurezza, comportamento in caso d'incendio, resistenza alle deformazioni, resistenza alle intrusioni (umane e animali), sicurezza alle esplosioni, sicurezza al contatto.

Benessere

Permeabilità all'aria, Tenuta all'acqua, Isolamento termico e controllo delle condensazioni superficiali.

L'isolamento termico è la capacità della parete di conservare la superficie interna a temperature vicine a quelle dell'aria ambiente, evitando l'effetto sgradevole di "parete fredda" ed il rischio di condensazioni superficiali o fenomeni di termoforesi (trasmissione del calore). Risulta decisiva, specialmente nelle regioni a clima freddo, la presenza di uno strato di isolamento termico, la continuità del quale garantisce l'uniformità delle temperature. Un'eterogeneità della temperatura superficiale (il cosiddetto ponte termico) aumenta i rischi sopra menzionati.

La valutazione del rischio di condensazione interna può essere condotta mediante il diagramma di Glaser (Circolare Min. LLPP 3151 del 3-4-67).

Controllo dell'inerzia termica, controllo delle condensazioni interstiziali, isolamento acustico, assorbimento acustico, non emissione di sostanze nocive.

Inoltre, altri requisiti sono: aspetto (regolarità d'aspetto), fruibilità, attrezzabilità, gestione, contenimento dei consumi energetici, durabilità e manutenzione.

Modelli funzionali ed alternative tecniche

Si possono individuare sette famiglie funzionali in cui si possono far rientrare gli elementi componenti la parete:

1. Strati di tenuta al vapore e all'acqua
2. Strati di isolamento termico e acustico
3. Strati di ventilazione e di diffusione del vapore
4. Strati di rivestimento esterno ed interno
5. Strati resistenti
6. Strati di collegamento e di regolarizzazione
7. Strato di protezione al fuoco

3.3.4.1 Introduzione.

Le opere murarie interessate dall'intervento in esame sono, come già specificato, ed in relazione all'edificio F oggetto del recupero, le facciate anteriore (prospetto principale) e posteriore (prospetto secondario), esposte rispettivamente a sud-est e nord-ovest, e la facciata laterale esposta a nord-est.

Seppur di notevole importanza, l'orientamento delle pareti non viene preso in considerazione fra i parametri per la definizione del tipo di intervento da realizzare, che pertanto risulterà identico nei tre casi. Ci si riserva tuttavia di approfondire in seguito tale aspetto, con considerazioni in merito ad

ombreggiamento e controllo solare, dispersioni maggiorate nel lato nord, apporti passivi e sistemi di recupero.

3.3.4.2 Interventi di consolidamento strutturale.

Al paragrafo 3.1.2 si è descritto lo stato in cui versano attualmente le mura perimetrali, che è peraltro facilmente desumibile dal reportage fotografico ed in particolare dai dettagli evidenziati. Sebbene la struttura appaia solida e priva di evidenti tracce di cedimenti strutturali, si provvede in via preliminare ad una verifica statica sui pilastri, sui muri portanti e sulle tamponature, con eventuale messa in sicurezza e consolidamento (già effettuato per le fondamenta) delle parti che lo necessiteranno.

I giunti di malta e calce saranno ispezionati e si procederà, dove possibile, alla sostituzione dei mattoni mancanti o danneggiati e alla riallocazione, ove necessario, delle aperture (vani infissi) come da tavole di progetto. E' inoltre previsto il rifacimento completo dei cordoli superiori delle facciate in calcestruzzo armato, che si predisporranno ad accogliere, come meglio specificato in seguito, le travi e le giunzioni della copertura a falda (cfr. paragrafo 3.3.8).

Gli intonaci e le finiture esterne infine saranno grossolanamente ripulite e lasciate pressoché inalterate, volutamente, al fine di preservare l'aspetto esterno del rudere, il carattere rustico conferito dal laterizio a vista, antichizzato dal vecchio intonaco degradato, che gli conferisce l'aspetto di "macerie".

3.3.4.3 Isolamento termoacustico delle pareti.

Le pareti in esame sono costituite da una struttura portante in mattoni pieni UNI 1606 (5,5 x 12 x 25cm) disposti "a blocco", per uno spessore complessivo di 25cm. Benché tale tipologia costruttiva non sia tipica delle regioni meridionali ed in particolare della Puglia (cfr. abaco delle strutture murarie in appendice A.5

della raccomandazione n°1 CTI) è frequente per l'epoca di edificazione del rudere, in contesti rurali in cui il mattone ha sostituito la pietra (tufo).

Tralasciando i muri divisorii interni delle partizioni prospicienti alle facciate laterali e la parete di mezzeria che divide la pianta ortogonalmente ai prospetti principali, dunque limitatamente alle pareti esterne è previsto un intervento di isolamento, di natura termica più che acustica, visto il contesto isolato di ubicazione dell'edificio.

3.3.4.4 Criteri di scelta della tipologia di isolamento.

Si menzionano di seguito le principali caratteristiche, i vantaggi e svantaggi, le modalità e le tecniche di realizzazione per le diverse tipologie di isolamento termico di un involucro edilizio, ovvero di coibentazione.

Con il termine coibentazione si intende appunto l'isolamento termico di una parete che divide due ambienti. Significa cioè aumentarne la resistenza termica (diminuire trasmittanza o conduttanza) attraverso l'impiego di materiali che presentano una elevata resistenza termica (cfr. 3.3.4.5.), della tecnica di costruzione o posa utilizzata e di alcuni accorgimenti costruttivi.

IL RISANAMENTO ENERGETICO IN 3 PASSI	
1 - Ridurre le dispersioni	Attraverso il migliore isolamento termico
2 - Migliorare l'efficienza	Una bassa dispersione significa meno energia da reintrodurre nell'ambiente da climatizzare. Minor funzionamento ed usura dei dispositivi dedicati (caldaie, pompe, climatizzatori, etc).
3 - Ottimizzare la gestione	Utilizzare temperature non troppo diverse da quelle esterne (il minor salto termico giova anche alla salute, oltre a ridurre le dispersioni) e climatizzare solo gli ambienti nei quali si soggiorna. Una soluzione grossolana ma efficace: zona giorno e zona notte. Utilizzare termostati o valvole termostatiche.

Tra gli accorgimenti costruttivi sono da evidenziare i seguenti:

- Intercapedine ridotta. A differenza di quanto adottato in passato, l'intercapedine vuota presente tra mura esterne ed interne deve essere di ridottissima entità. Va cioè adottata una intercapedine a "lama d'aria" (il termine aiuta a visualizzare la reale consistenza della metodologia). Questo perché un'intercapedine di grandi dimensioni peggiora l'isolamento, dal momento che al suo interno si verificano facilmente moti convettivi d'aria che fisicamente trasportano più facilmente il calore da un ambiente all'altro. Meglio quindi uno spessore esiguo, pochi millimetri, che riesca a facilitare lo smaltimento di eventuale umidità ma senza peggiorare l'isolamento termico. Come regola empirica considerare che oltre i 5 centimetri i moti convettivi all'interno delle pareti vengono sensibilmente facilitati. Questo vale anche se tra le pareti è presente uno strato di materiale isolante; anche una piccola interruzione, in presenza di troppa aria libera di circolare, è in grado di peggiorare sensibilmente l'isolamento.
- Ponti termici interrotti. Con il termine "ponte termico" si intende la presenza di una zona di discontinuità che a causa della sua elevata conduttività termica, aumenta le dispersioni termiche tra due ambienti. Uno dei ponti termici più comuni è costituito dalla presenza di parti di cemento armato non rivestite. Un classico è l'interruzione dello strato isolante (lana di roccia o pannelli di vari materiali) in corrispondenza di colonne o travi in cemento armato. Anche se tale ponte non è in vista, ma è presente all'interno di una intercapedine troppo ampia, facilita comunque il trasferimento del calore tra gli ambienti. La presenza di un ponte termico ovviamente influisce in maniera negativa e significativamente sulle prestazioni termiche della chiusura verticale opaca, e quindi dell'intero involucro edilizio, come si vede chiaramente in figura 4.

abitativo. Questo, anche se può sembrare strano, non influenza però il consumo energetico che a conti fatti è lo stesso. Il sistema a cappotto per l'isolamento termico, che può essere utilizzato sia in edifici di nuova costruzione, sia in interventi di restauro, garantisce l'eliminazione totale dei "ponti termici" e rappresenta una soluzione alla formazione di condensa, macchie e muffe sulle superfici interne delle pareti.

Nelle sue linee essenziali il sistema d'isolamento a cappotto consiste nel fissare all'esterno delle pareti, tramite collanti e tasselli, dei pannelli coibentanti che successivamente vengono rasati con una speciale colla ed armati con una rete in fibra di vetro prima dell'applicazione finale del rivestimento di protezione per gli strati sottostanti.

In generale la stratigrafia di una parete isolata dall'esterno prevede la seguente successione di strati (fig.5):

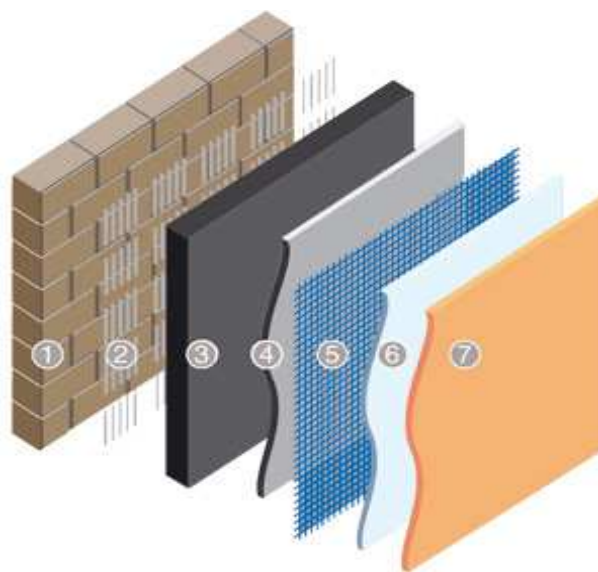


Fig. 5. (fonte: Edilportale)

- 1 Muratura
- 2 malta collante
- 3 strato isolante
- 4 malta rasante
- 5 rete di armatura
- 6 malta rasante
- 7 spatolato – rivestimento a spessore

Una variante dell'isolamento a cappotto è caratterizzato da un rivestimento sottile di intonaco su isolante della facciata ventilata. Il principio fisico di funzionamento è quello basato sull'“effetto camino” (moto ascensionale legato alla variazione di temperatura) che si crea nell'intercapedine ventilata posizionata tra isolante e il paramento esterno di protezione.

Esiste infine un'altra modalità di isolamento dall'esterno, detto “a vèture”, che a differenza del cappotto prevede l'uso di un procedimento costruttivo semiprefabbricato, essendo rivestimento esterno ed isolante preaccoppiati in pannelli.

- Isolamento intermedio (in intercapedine).

Se l'edificio è in costruzione o in caso di importanti ristrutturazioni è possibile inserire lastre di polistirene, lana di roccia o materiali naturali vari come sughero, fibra di canapa, lana di legno etc. In muri già esistenti è possibile inserire dei materiali isolanti sfusi per insufflazione (come sughero, sughero tostato, perlite, polistirolo, etc.) o per pompaggio (è il caso delle resine sintetiche).

Si tratta di un intervento che non necessita di opere accessorie per l'esecuzione dei lavori, quali le impalcature, risultando in genere più agevole ed economico rispetto al cappotto esterno. Con questo tipo di soluzione, l'inconveniente maggiore è relativo alla mancata correzione dei ponti termici; inoltre, va attentamente valutato il pericolo di formazione di condensa, che può rendere necessario l'utilizzo di una barriera al vapore.

Questo sistema esclude dal riscaldamento la massa perimetrale delle pareti, rendendo più rapido il raggiungimento della temperatura di comfort in quanto le pareti perimetrali non partecipano al calcolo dell'inerzia termica dell'edificio.

L'intervento può essere effettuato applicando direttamente sulla parete un isolante che sarà a sua volta rivestito con intonaco su rete

(magari additivato con elementi isolanti) o con l'applicazione di pannelli in cartongesso nelle configurazioni di controparete.

Un'altra metodologia di intervento, destinata a pareti con intercapedine, è rappresentata dalla possibilità di effettuare un riempimento della cavità utilizzando materiali isolanti sfusi quali argilla o vermiculite espansa, sughero in granuli, fibra di cellulosa, lana di vetro nodulata o mediante schiume espansive ureiche o poliuretaniche. I vantaggi di tale tecnica sono legati all'economicità, e comunque rappresenta un intervento non complesso poiché questi materiali possono essere insufflati nell'intercapedine agendo dall'interno mediante piccole aperture praticate nelle pareti. Anche in questo caso non è possibile eliminare eventuali ponti termici.

- Isolamento interno.

Un sistema come quello a cappotto sopra citato può essere applicato anche internamente, ad esempio in quei casi dove la facciata esterna rende sconsigliabile o impraticabile l'isolamento a cappotto esterno. L'isolamento dall'interno non pone vincoli sul dimensionamento degli spessori di coibente da porre all'interno, se non quello di una riduzione degli spazi abitati.

Valori di trasmittanza confrontabili con il precedente caso si possono raggiungere con identici spessori di isolamento, anche se in questo caso la capacità di accumulo termico della struttura risulta sensibilmente inferiore.

La soluzione di isolamento dall'interno inoltre, specie quando applicata a pareti preesistenti, produce un inevitabile decremento della traspirabilità della chiusura, con possibilità di formazione di condense interstiziali.

Nella figura 6 si mostrano soluzioni per i tre tipi di isolamento in corrispondenza di un pilastro o di una parete interna.

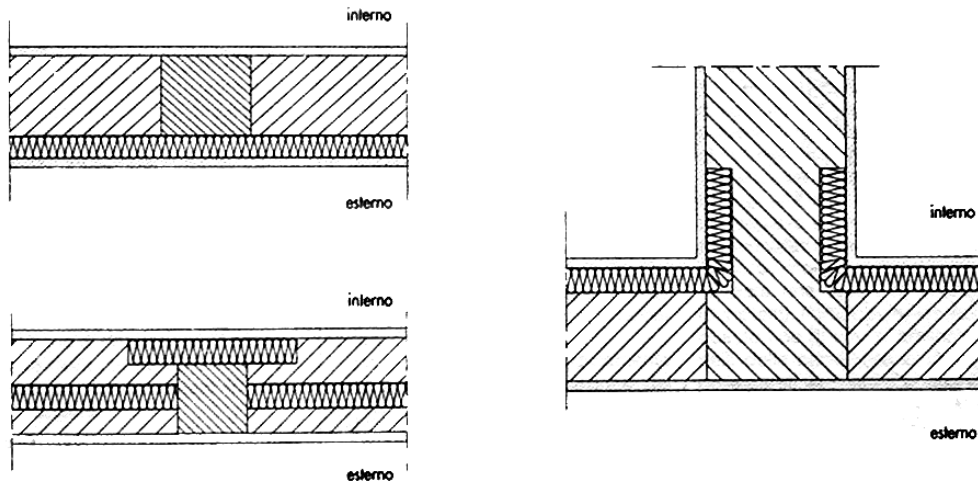


Fig. 6

Per valutare meglio l'influenza della tipologia di isolamento delle pareti sulla variazione delle prestazioni termiche, specie in regime variabile, si esegue una valutazione comparativa su una chiusura verticale esterna in laterizio forato con isolante in sughero. Nel grafico di figura 7 sono riportate le variazioni percentuali dei valori delle caratteristiche termiche rispetto alla soluzione base di involucro non coibentato.

Si osserva come la disposizione dell'isolante, sebbene non modifichi i valori di trasmittanza e di massa superficiale in regime stazionario, determini significative differenze in caso di regime variabile, intervenendo in particolare sullo sfasamento dell'onda termica e ancor di più sul fattore di decremento, che risulta incrementato in quelle soluzioni che prevedono l'isolamento dall'interno. Il fattore che varia maggiormente, d'altra parte, è proprio l'ammittenza interna, che subisce viceversa un notevole decremento nelle soluzioni in cui l'isolante è posto internamente a schermatura della massa d'accumulo.

Ciascuna di queste tecniche ha i suoi pro e contro, comprendenti gli aspetti economici, gestionali e realizzativi. La tabella fornisce delle generiche indicazioni.

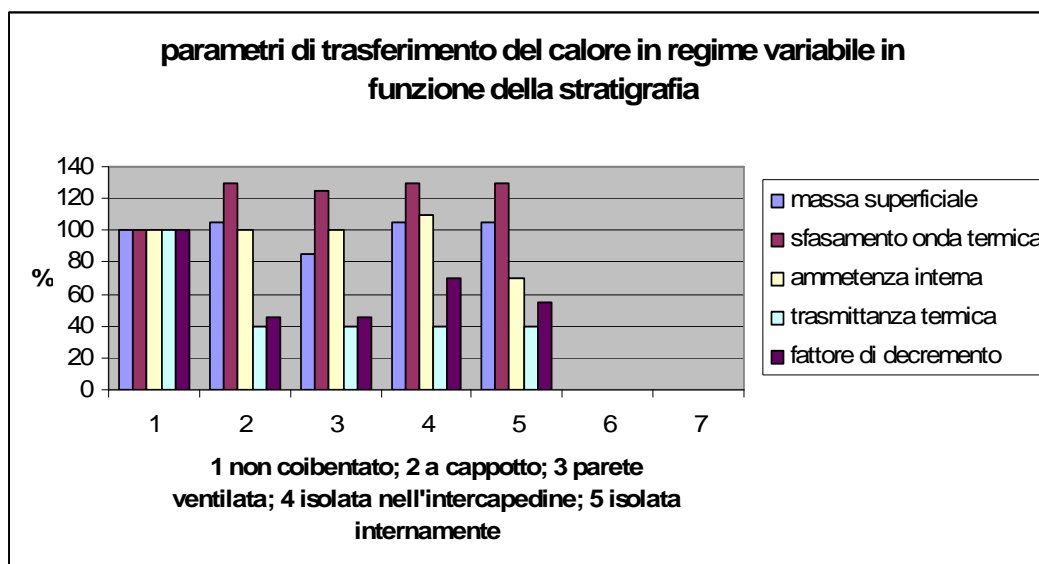


Fig. 7.

	Isolamento a cappotto delle pareti perimetrali	Isolamento dall'interno delle pareti perimetrali
Spessore medio isolante da impiegare (cm)	6	Da 1 a 6
Costo medio materiale (euro/mq)	15 – 25	11 – 15
Costo medio manodopera (euro/mq)	25	15 – 25
Risparmio energetico ottenibile (% , rispetto a prima dell'intervento)	20 – 25	15 – 20
Convenienza	***	**

Nelle figure in Allegato 3.6 – Esempi di stratigrafie sono mostrati alcuni esempi stratigrafici di interventi di isolamento interno ed esterno su pareti esistenti comunemente adoperati nella pratica corrente.

Si esclude, anche per la citata scelta progettuale di restituire l'aspetto esterno del rudere, nell'ottica di un intervento di natura estremamente conservativa, la possibilità dell'applicazione di un "cappotto" esterno o di una "seconda pelle" all'edificio.

Inoltre l'isolamento esterno non risulta avere una capacità di accumulo marcatamente superiore (a causa della piccola massa della parete in laterizio) rispetto all'isolamento dall'interno, che peraltro meglio risponde a regimi di funzionamento degli impianti di riscaldamento e condizionamento intermittenti e saltuari, come la destinazione d'uso del complesso richiede.

Infine l'intervento di isolamento proposto ben si sposa con le esigenze di natura architettonica che prevedono la creazione di ambienti interni in legno; di qui l'idea delle contropareti.



Fig. 8: applicazione della controparete in legno.

Alla luce di queste brevi considerazioni appare evidente come la scelta debba ricadere su un tipo di isolamento dall'interno, in questo caso anche più semplice da realizzare tecnicamente, sebbene tale scelta riduca il volume utile dell'edificio.

3.3.4.5 Prove stratigrafiche ed individuazione della soluzione costruttiva ottimale.

Le schede dell'Allegato 3.7 - Prove stratigrafiche pareti esterne, contenenti in formato foglio di lavoro excel le specifiche ed il calcolo dei principali parametri termofisici inerenti a diverse ipotesi di stratigrafie realizzabili, compresa la parete corrente non isolata, offrono una panoramica sintetica delle opzioni attuabili per l'isolamento interno delle pareti. A titolo di esempio si fornisce anche una soluzione di isolamento a cappotto (non proprio ineccepibile dal punto di vista tecnico) con impiego di un ugual spessore di strato isolante.

Il confronto fra i dati raccolti nelle schede, in primis gli spessori finali, i valori di trasmittanza, gli sfasamenti e le attenuazioni, le capacità termiche areiche, le costanti di tempo e le masse superficiali, importanti per i fenomeni connessi all'inerzia termica delle murature, mettono in evidenza chiaramente gli effetti della presenza di un'intercapedine d'aria e di un opportuno strato di materiale isolante.

Tale isolante, posto a ridosso dell'intercapedine, rappresenterà dunque una modalità di isolamento intermedio in realtà, dal momento che il rivestimento interno della parete sarà ottenuto tramite la costruzione di una seconda parete di tamponamento.

Quest'ultima sarà realizzata, sia per motivi termotecnici e di benessere igrometrico degli ambienti interni, sia per motivi estetici ed architettonici, come detto, in legno.

Tra i legnami usualmente impiegati in edilizia si preferirà il legno di pino, specie autoctona e caratteristica del paesaggio, verificato e classificato secondo le norme UNI. Diverse sono le tipologie di prodotti impiegabili.

Sicuramente adatti allo scopo sono i pannelli stratificati in legno massiccio, preferibili anche per motivi estetici oltre che strutturali a quelli in compensato di tavole. La struttura di questi pannelli è in linea di principio la stessa: singoli strati composti ciascuno da tavole dello stesso spessore vengono incollati uno sull'altro, generalmente sotto un angolo di 90° (fig. 9). Si ottiene così un

elemento di forma piana compensato. Il numero di strati è dispari, in modo tale da avere una struttura simmetrica che garantisca la stabilità nella forma del prodotto.



Fig. 9: pannello di legno massiccio a 3 strati (sin.) e compensato di tavole a 5 strati (des.).

Fonte: Promolegno.

Particolare importanza assumono gli elementi costruttivi piani di tipo compensato (tavole, piallacci e trucioli), caratterizzati dalla capacità di trasmettere carichi nelle due direzioni principali del loro piano e di assumere, in base alle condizioni di carico, funzione portante di piastre e/o lastre oltre a rendere possibile in ogni punto l'assorbimento di carichi concentrati.

Un pregio in confronto al legno massiccio è rappresentato dalle notevoli dimensioni che possono raggiungere i pannelli, con la possibilità di realizzare elementi piani di grandi dimensioni con una buona stabilità dimensionale (fig. 10).

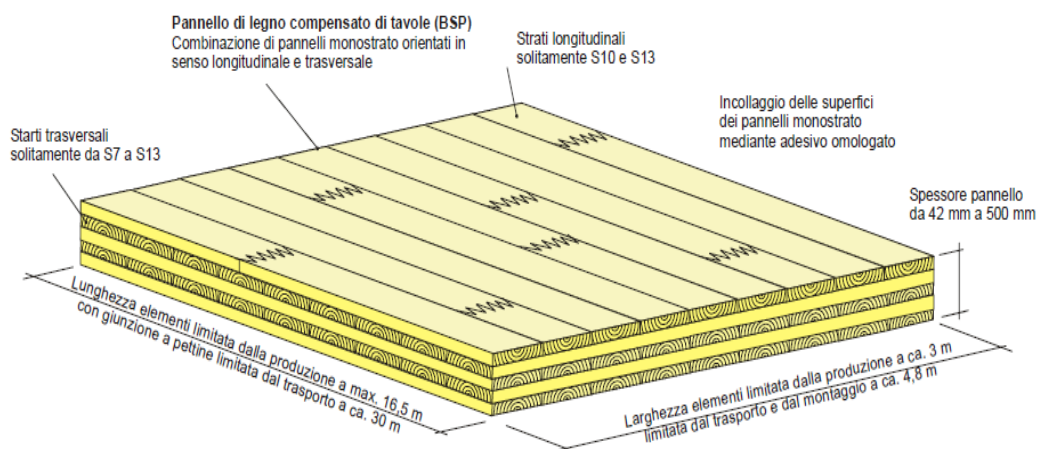


Fig. 10. (fonte: Promolegno.)

I pannelli di legno massiccio multistrato vengono prodotti con legno di Conifere e Latifoglie. In edilizia si utilizzano prevalentemente legni di Conifere quali abete rosso, abete bianco, pino, larice e douglasia. Almeno il 90% delle lamelle deve essere conforme alla classe S10 secondo la norma DIN 4074-1:2003: "Classificazione del legno di Conifere in base alla resistenza; segati di Conifere", mentre le lamelle restanti devono essere conformi alla classe S7.

Per la produzione dei pannelli si utilizzano lamelle di spessore compreso fra 4 mm e 12 mm per gli strati esterni e da 4 mm a 56 mm per gli strati interni. La sola definizione di tavola come prodotto di base non è del tutto corretta in questo caso. Poiché secondo la norma DIN 4074-1:2003 si può parlare di segati, categoria che comprende anche le tavole, a partire da uno spessore di 6 mm, nel caso dei pannelli di legno massiccio multistrato realizzati con strati esterni a partire da 3,5 mm di spessore, conformemente alla norma prEN 13017, bisognerebbe parlare di prodotto di base piallaccio. I pannelli di legno massiccio multistrato vengono fabbricati prevalentemente in lunghezze fino 6,0 m, in quanto le singole lamelle non vengono giuntate di testa, e larghezze fino a 2,5 m. Gli spessori di pannello più comunemente utilizzati variano da 15 mm a 35 mm, ma si possono raggiungere anche spessori di 75 mm. Tutti i tipi di pannelli devono avere una struttura simmetrica.

I pannelli di legno massiccio multistrato vengono utilizzati soprattutto per elementi a vista con funzione portante e di irrigidimento (tamponature a vista, tetti a capriata semplice a vista, solai con trave inflessa a vista), in quanto il loro prezzo è sensibilmente superiore ai materiali a base di legno alternativi.



Fig. 11. (fonte: G.Schickhofer.)

Grazie alle loro caratteristiche di resistenza e rigidità simili a quelle dei segati, i pannelli di legno massiccio possono essere impiegati con funzione portante in collegamento con i prodotti di tipo lineare dei sistemi intelaiati. Gli elementi massicci di parete, solaio e copertura possono essere prodotti esattamente e singolarmente in base alle indicazioni di progetto e possono essere collegati con sistemi di connessioni semplici e standardizzati.

I particolari costruttivi riportati in figura 12 vogliono mostrare alcune possibilità per le più importanti giunzioni degli elementi. I singoli connettori devono essere disposti in base alle esigenze di natura statico-costruttiva.

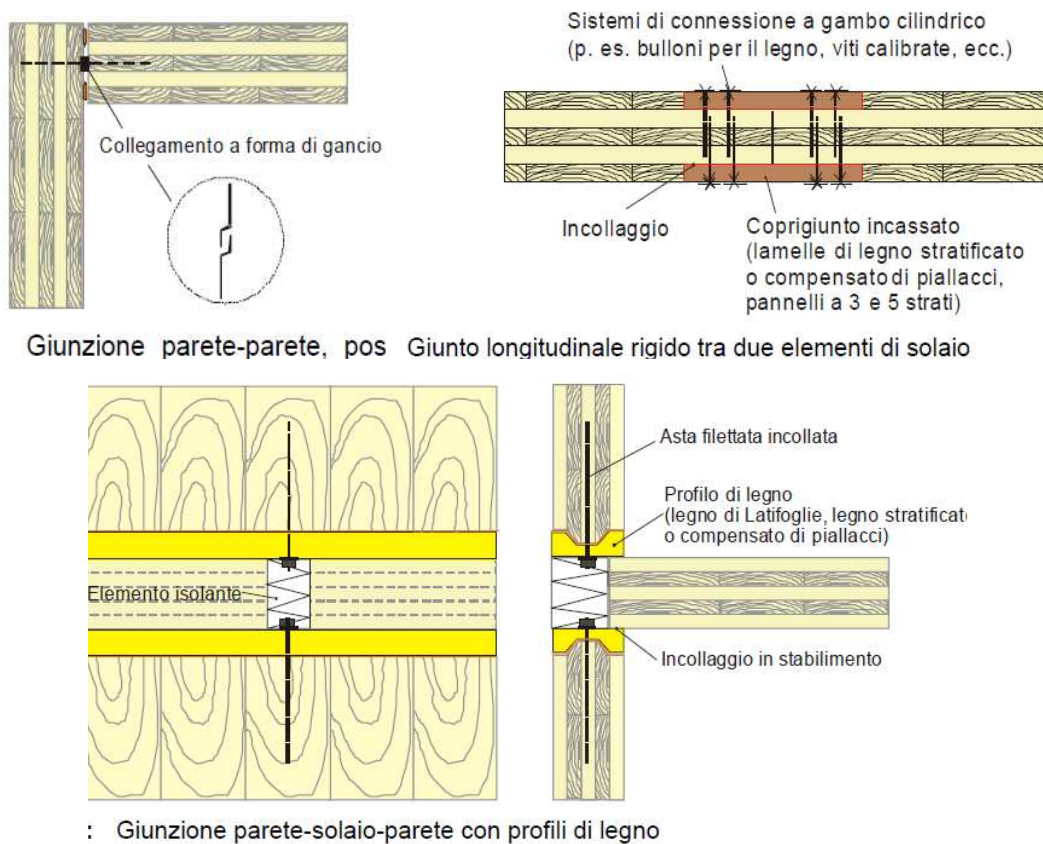


Figura 12.

I valori per il dimensionamento e per le verifiche della sicurezza strutturale presenti nelle singole omologazioni devono essere applicati con la dovuta cautela. Se si confrontano infatti le tensioni ammissibili dei diversi produttori, si può osservare un ampio spettro di variabilità, dal quale si deduce che i produttori stessi impiegano per i loro prodotti legno delle più differenti categorie di classificazione, un aspetto del quale non si trova traccia nell'omologazione. Per

maggiori chiarimenti è opportuno richiedere informazioni direttamente alle ditte produttrici.

A titolo di esempio si riporta in Allegato 3.8 la scheda tecnica dei pannelli Dataholtz. Naturalmente esistono sul mercato numerose aziende e per la fornitura dei pannelli se ne individuerà una tra quelle operanti sul territorio.

La parete singola pertanto assumerà la stratigrafia di una parete doppia a sacco, o meglio a cassa vuota, con una sottile intercapedine d'aria e lo strato di materiale isolante inserito fra muratura portante e controparete in legno. La controparete sarà opportunamente fissata alla struttura in mattoni con montanti e distanziatori in legno ed appropriati sistemi di ancoraggio (figura 13), curandosi di evitare la formazione di significativi ponti termici.

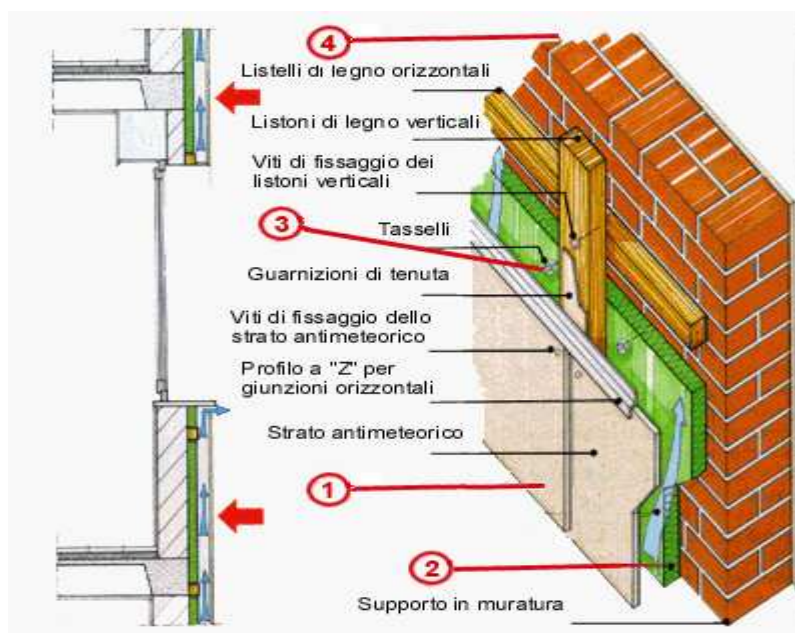


Figura 13.

3.3.4.6. I materiali isolanti: classificazione, caratteristiche e proprietà, life cycling, soluzioni commerciali ed applicazioni.

Una volta definita la stratigrafia opportuna ed il tipo di isolamento da realizzare, prima di procedere con l'ottimizzazione degli spessori e con le altre valutazioni, occorre naturalmente scegliere il materiale isolante da impiegare.

La classificazione dei materiali isolanti, in particolare quelli impiegati nell'edilizia, può essere condotta in base a diversi aspetti; sicuramente fondamentali sono l'origine e la struttura, in base alle quali si distinguono le famiglie riportate in tabella alla pagina successiva.

Questa prima suddivisione, tuttavia, non descrive in modo completo la vasta gamma di materiali oggi disponibili sul mercato. Esiste infatti una ricca casistica di materiali misti:

- Minerali-sintetici, in particolare le lane minerali di vetro e di roccia, in cui alla materia prima minerale (sabbie quarzifere, vetro riciclato, rocce di origine vulcanica) si aggiungono resine sintetiche con funzione di legante;
- Animali/vegetali-sintetici, come i pannelli di fibre di cellulosa, lino, lana di pecora, costituiti in percentuali variabili dal 10 al 50% da fibre sintetiche che ne aumentano la rigidità;
- Vegetali-minerali, fra cui la lana di legno mineralizzata con magnesite o cemento Portland che ne incrementa la resistenza meccanica;

Esistono infine altri criteri di classificazione in base ad esempio alla consistenza, o al processo produttivo ed al consumo energetico associato.

ORIGINE VEGETALE	STRUTTURA FIBROSA	Fibra di legno
		Lana di legno e leganti minerali
		Fibra di cellulosa
		Fibra di kenaf
		Fibra di canapa
		Fibra di lino
		Fibra di mais
		Fibra di cocco
		Fibra di juta
	Canna palustre	
	STRUTTURA CELLULARE	Sughero
ORIGINE ANIMALE	STRUTTURA FIBROSA	Lana di pecora
ORIGINE SINTETICA	STRUTTURA CELLULARE	Polistirene espanso estruso
		Polistirene espanso sinterizzato
		Poliuretano espanso
		Polietilene espanso
	STRUTTURA FIBROSA	Fibra di poliestere
ORIGINE MINERALE	STRUTTURA FIBROSA	Fibra di vetro
		Fibra di roccia
	STRUTTURA CELLULARE	Pomice naturale
		Argilla espanso
		Perlite espansa
		Vermiculite espansa
		Vetro granulare espanso
		Calce-cemento cellulare
Vetro cellulare		

Naturalmente importantissime sono le proprietà termofisiche, igroscopiche e le altre caratteristiche prestazionali (comportamento meccanico, classe di resistenza al fuoco, indice acustico) dei materiali isolanti; e non ultimo il comportamento in regime dinamico, nel quale la struttura d'involucro interviene attenuando o ritardando l'onda termica grazie alla sua inerzia. Se il regime termico stazionario infatti, è sicuramente rappresentativo dei fenomeni di trasmissione del calore nel periodo invernale o in presenza di edifici con scarsa inerzia termica, ed il parametro fondamentale per descrivere la prestazione di una superficie è la trasmittanza U, la sempre maggiore influenza del raffrescamento sui consumi energetici impone di considerare alti fattori, quali la massa volumica, il calore specifico e la diffusività termica.

In breve si può sintetizzare dunque che un buon materiale deve:

1. essere il più possibile traspirante, antistatico e igroscopico;
2. essere esente da emissioni nocive, tossiche o radioattive;
3. comportare meno oneri possibili di tipo ambientale o sociale per costi energetici elevati, estrazione problematica, nocività per i lavoratori, produzione inquinante, difficoltà di trasporto, eliminazione alla fine della vita utile, impossibilità di riciclaggio;

D'altra parte appare evidente come per un materiale da costruzione, e nello specifico un materiale isolante, sia importante approfondirne ogni aspetto, dalla fase della produzione a quella dell'utilizzo, a quella dello smaltimento, poiché in ogni fase vi sono problematiche connesse al consumo di energia, risorse e materie prime e problematiche connesse al confort e alla salubrità degli ambienti.

Proprio al fine di tale approfondimento, si passa in rassegna la descrizione dei materiali isolanti di comune impiego (vedi Allegato 3.9 - Schede materiali isolanti).

Nella selezione, sono stati raccolti quei materiali che, sia per livello prestazionale che per rispondenza a criteri di biocompatibilità, ci sembrano offrire una valida rosa fra cui scegliere l'isolante da impiegare; ovviamente ne

sono stati esclusi tanti altri, fra cui però sembra doveroso citarne alcuni in particolare, per la notevole diffusione che essi trovano nella pratica edilizia:

- Pannelli in polistirene estruso o sinterizzato: (vedi schede in Allegato 3.9)
- Pannelli in calcio-silicato: i pannelli di silicato di calcio (ingl. "calcium silicate"), o calcio-silicato, igroscopici, in grado di assorbire temporaneamente l'umidità che potrebbe formarsi all'interno, sono prodotti da calce (ossido di calcio), sabbia (ossido di silicio) e un legante, per esempio cellulosa o silicato di potassio. I pannelli ricevono la loro solidità con l'ausilio di vapore acqueo, mantengono la forma, sono resistenti alla pressione, insensibili all'umidità e non infiammabili. Inoltre possiedono un alto valore pH e pertanto impediscono la formazione delle muffe. Corrispondono dunque ai criteri della bioedilizia. La loro capacità termoisolante (λ ca. 0,065 W/(m·K)) è simile a quella del vetro cellulare. La superficie dei pannelli calcio-silicato non esige un ulteriore rivestimento e può essere direttamente intonacata con un tipo di intonaco consigliato dal produttore. I pannelli hanno normalmente la dimensione di 1000/1250 mm e sono disponibili in vari spessori che vanno dai 30 ai 200 mm. Per ottenere un effetto termoisolante soddisfacente bisogna utilizzare pannelli che abbia uno spessore di almeno 50 mm. Gli spigoli dei pannelli sono morbidi e fragili, porosi, come del resto tutto il materiale. Questo però rappresenta il suo pregio. Una parete rivestita con questo materiale "respira"; non si forma né condensa né muffa. Il materiale, inoltre, è totalmente riciclabile. I pannelli calcio-silicato si trovano in commercio solo da pochi anni e sono ancora relativamente costosi. Il metro quadrato di rivestimento termoisolante con pannelli dello spessore di 10 cm costa circa 85 Euro (in Germania), inclusi l'intonaco e tutti gli altri lavori necessari. I pannelli calcio-silicato possono essere anche combinati

con un altro materiale ecologico preferito in bioedilizia: l'argilla, ossia la terra cruda. Con i pannelli e un intonaco di argilla, le pareti perimetrali di un antico edificio possono essere termicamente ottimizzate e anche il riscaldamento può essere integrato nella parete, infatti prima di ricoprirla con l'intonaco si possono montare sulla parete le serpentine di riscaldamento (figura 14).



Fig. 14: a sin. rivestimento con pannelli calcio-silicato di una parete già intonacata con argilla, a destra pareti termicamente con le serpentine dell'impianto di riscaldamento.

(fonte: Autzen & Reimers)

Vantaggi:

- Lavorazione semplice.
- Non necessita una barriera a vapore.
- "Tollera errori": forare il pannello provoca l'immissione di vapore acqueo che va temporaneamente assorbito per essere poi restituito.
- Grazie all'alto valore pH non consente la formazione di muffa.
- Facilmente riciclabile.
- Termoisolante; accumula calore.
- Grazie alla sua capacità termoisolante, la temperatura della stanza aumenta rapidamente in inverno quando è acceso il riscaldamento.

Svantaggi:

- La bassa capacità di accumulo del calore favorisce la formazione di un “clima da baracca“, quando solai e pareti interne non assorbono e accumulano il calore.
- Possiede una minore capacità termoisolante rispetto ad altri materiali termoisolanti.
- Non reggono oggetti pesanti (ad es. armadietti pensili).
- Prezzo elevato, ma rapido e facile montaggio.

Dati tecnici:

- Classe: A1 non combustibile.
- Conduttività termica: λ ca. 0,065 W/(m·K).
- Resistenza alla pressione del vapore μ : 5–20.
- Resistenza alla pressione: 0,5–1,5 N/mm².
- Resistenza al fuoco: REI 180.
- Densità: ca. 300 kg/m³.
- Norma Europea: EN 1436.

Numerose sono infine le soluzioni tecnologiche per un isolamento efficiente proposte da aziende specializzate, a partire da prodotti come l’isolante multiriflettente Actis, ai blocchi cassero legno-cemento Isotex, ai biomattoni Equilibrium in calce-legno di canapa, capaci di racchiudere in sé caratteristiche meccaniche vicine ai laterizi e proprietà termiche simili agli isolanti (vedi schede di prodotto in Allegato 3.9).

3.3.4.7 Scelta del materiale isolante.

In una così complessa panoramica di soluzioni ed impieghi come quella appena mostrata, prima di definire il materiale isolante da impiegare, giustificandone la scelta, può essere utile riepilogarne, con l’ausilio di grafici ed

istogrammi, i parametri fondamentali. (vedi Allegato 3.10 - Confronto proprietà materiali isolanti).

Viene inoltre fornito, agli Allegati 3.11 e 3.12, un elenco aggiornato al 2009 di aziende e fornitori operanti nel settore ed un prezzario in cui trovare indicazioni di massima a supporto delle scelte commerciali.

Il materiale che si è scelto di utilizzare per l'isolamento termico delle chiusure verticali opache perimetrali del rudere, fermo restando che il discorso non cadrebbe qualora si impiegasse un altro genere di isolante, è la fibra di kenaf, o fibra di canapa.

Essa infatti oltre a presentare un valore ottimo di conducibilità termica, pari a $0,04 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ (addirittura $0,039$ per il kenaf), superiore solo a polistirene e poliuretano, presenta un buon compromesso fra densità e calore specifico ($1,7 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$), valori medi rispetto ad altri isolanti di origine vegetale.

E' un materiale traspirante ed igroscopico, il che, specie se si considera anche la controparete in legno, permette un ottimo grado di regolazione dell'umidità interna.

Come si osserva nella tabella in allegato, il suo ciclo di vita comporta bassissimi impatti in ogni sua fase e, anche se il consumo di energia primaria associato, circa 15 MJ/Kg , non è basso in confronto ad esempio a fibra di cellulosa, sughero, argilla espansa, canna palustre, (essendo paragonabile a fibra di legno e lana di pecora, e comunque quasi un decimo dei consumi associati a polistirene, poliuretano e polietilene) si osserva come il picco in tale consumo sia quasi totalmente imputabile all'approvvigionamento, essendo oggi la canapa poco coltivata.

Si rimanda nuovamente alle già citate schede dei materiali isolanti in appendice (All.3.9) per una più dettagliata descrizione della fibra di canapa e del kenaf.



Fig. 15: pannello in canapa Celenit LC30.

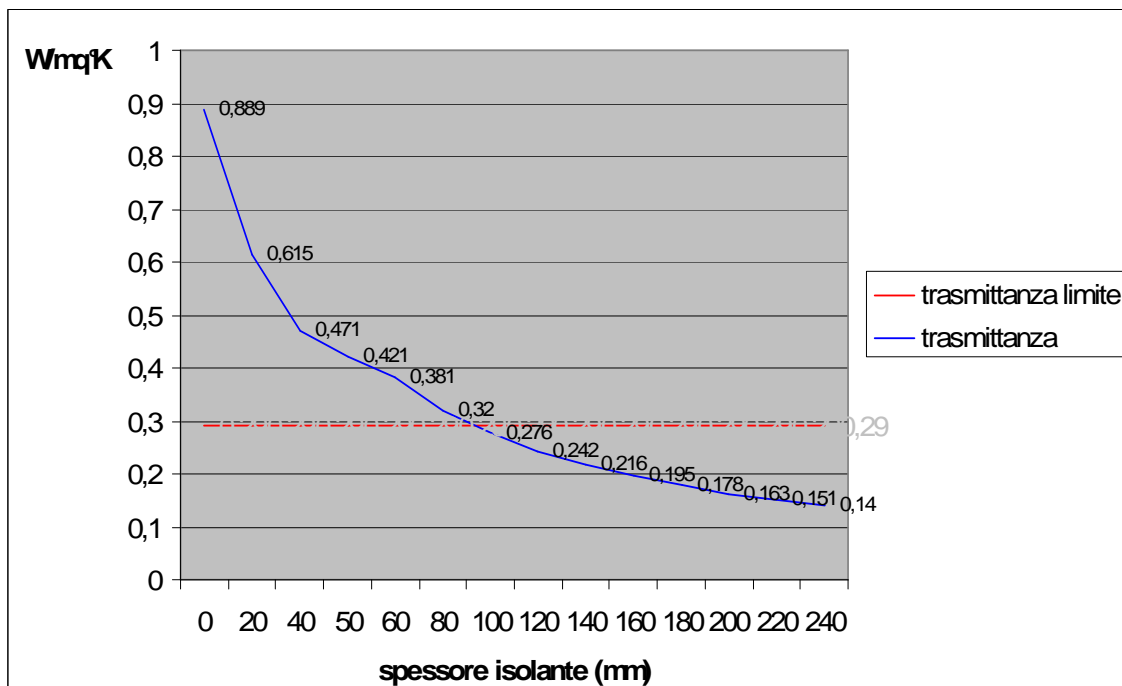
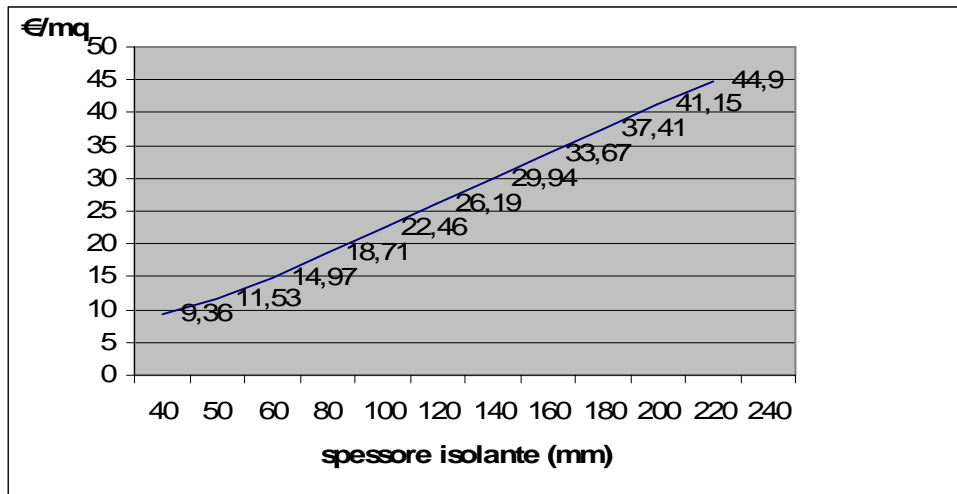
Fra i prodotti in commercio sicuramente interessante è il Celenit LC30, pannelli in lana di canapa, le cui caratteristiche sono disponibili nel catalogo in Allegato 3.13, nel quale peraltro viene evidenziato come la canapa, a parità di conducibilità e permeabilità, seppur con valori leggermente inferiori di calore specifico e densità, rispetto alle fibre di legno o sughero, sia naturalmente resistente agli insetti e ai roditori, privo di formaldeide e sostanze nocive, aspetto non secondario in un edificio rurale. Rispetto ai prodotti Celenit N, S, P, L, CG, non è legato con cemento Portland, per cui ha una resistenza termica superiore, mentre rispetto ai pannelli di tipo E, G ha il vantaggio ambientale di non contenere polistirene.

Altri produttori di pannelli in canapa sono Geosana (Canaton) e La Maison Verte (Isolcanapa), mentre per il kenaf possiamo menzionare i pannelli di Euchora e quelli prodotti da La Casa di Terra, entrambi certificati ANAB, o quelli Eraclit, Maiano, Nafco, Ennat e Tecnosugheri. Ulteriori riferimenti e specifiche sono disponibili nelle schede delle aziende in allegato.

3.3.4.8 Definizione della stratigrafia delle pareti.

Una volta effettuata la scelta dei materiali più idonei al caso specifico, resta da definire la stratigrafia delle pareti perimetrali esterne, senza prescindere da considerazioni di natura economica. I grafici seguenti mostrano l'andamento del

prezzo al mq per l'isolante Celenit LC30 al variare dello spessore impiegato e la trasmittanza termica della parete, sempre in funzione dello spessore di isolante.



Fissata la dimensione dell'intercapedine e lo spessore della controparete in legno, entrambi pari a 50mm, dalla sovrapposizione dei grafici si trova lo spessore ottimale dello strato isolante, che risulta pari a 160mm. Infatti, sebbene lo spessore di 100mm rappresenti il miglior compromesso fra prezzo e valore di trasmittanza (appena al di sotto del limite di legge), uno spessore maggiorato a 160mm consente, con un modesto incremento di costo, il raggiungimento del valore di trasmittanza di 0,195 W/mq°K, tipico degli involucri "passivi".

La stratigrafia definitiva viene studiata nell'Allegato 3.7.

3.3.5 Parete sud/ovest.

“[..]e quando non si volevano i camini, facevano nella grossezza del muro alcune canne, o' trombe, per le quali il calore del fuoco, ch'era sotto quelle stanze saliva e usciva fuori per certi spiragli, o' bocche, fatte nella sommità di quelle come quasi nell'istesso modo i Trenti gentiluomini vicentini a Costoza lor ville rinfrescavano l'Estate le stanze [...]”

A. Palladio, I quattro libri dell'architettura.

La chiusura opaca verticale con esposizione a sud/ovest, esclusa dalla trattazione svolta sinora, risulta quasi completamente crollata, per cui ovviamente non può essere oggetto di interventi di recupero, bensì di totale ricostruzione.

Data la particolare esposizione della parete stessa, si è cercato di studiare tipologie e criteri progettuali tali da permettere significativi guadagni solari e contemporaneamente risolvere problematiche come l'ombreggiamento e l'eccessiva insolazione durante i periodi estivi, riducendo di fatto la disomogeneità degli scambi radiativi sia in estate che in inverno. L'idea cioè è quella di creare una facciata in grado di interagire con le condizioni climatiche, di essere una frontiera dinamica in grado di intervenire non solo sull'aspetto termico ma anche sulla ventilazione, l'acustica e l'illuminazione naturale, affidando tutto ciò ad un sistema selettivo multistrato che oltre a consentire un maggior controllo prestazionale offre anche notevoli vantaggi dal punto di vista della realizzazione e della manutenzione (soprattutto se montati a secco e sostituibili), della demolizione e del riciclo. Questo per altro in linea con le attuali tendenze architettoniche, secondo cui le potenzialità nel campo del recupero legate al risparmio energetico si concretizzano nella realizzazione di involucri stratificati, ad elevate prestazioni termiche, attive o passive, eventualmente con sistemi captanti integrati.

Per sistemi passivi (a guadagno diretto, indiretto o isolato) si intendono quei sistemi tecnologici che sfruttano l'energia solare per un determinato scopo - in

questo caso contribuire al riscaldamento o raffrescamento dell'ambiente - senza utilizzare sistemi meccanici alimentati da fonti energetiche esterne. La stessa configurazione dell'edificio viene sfruttata per accumulare calore o per attivare la ventilazione naturale. Questo significa, ovviamente, che queste scelte sono state valutate già in fase progettuale, in stretta relazione con l'orientamento dell'edificio e con la disposizione interna dei vari ambienti.

In specie, dopo aver escluso la riedificazione della parete in laterizio (da rivalutare economicamente in un secondo momento l'impiego dei poroton e dei biomattoni) si è presa in considerazione la possibilità di integrare una struttura semi-leggera intelaiata o, in alternativa, massiccia, in legno con funzione di parete ventilata. Analogamente si analizzerà la costruzione di un muro di Trombe.

In entrambi i casi (parete ventilata o muro Trombe) la struttura della parete portante dovrà avere, naturalmente buone caratteristiche di isolamento termico, ma anche un comportamento inerziale che le permetta di assolvere al ruolo di massa d'accumulo.

Come evidenziato in figura 16, la differenza fondamentale tra i due sistemi costruttivi risiede nel fatto che, nella realizzazione di tipo massiccio, lo strato isolante è separato dalla struttura portante mentre, nelle costruzioni di legno di tipo leggero, isolamento e struttura portante si trovano nello stesso piano.

Inoltre la costruzione intelaiata si presta sicuramente meglio alla possibilità di prefabbricazione essendo realizzata con un telaio di legno rivestito di pannelli di compensato od altro materiale a base di legno (per esempio OSB, gessofibra), con lo scopo di controventamento del telaio. All'interno della parete è quindi possibile inserire uno strato di materiale isolante (con un notevole risparmio di dimensione del pacchetto costruttivo), ed anche il passaggio delle canalizzazioni per gli impianti.

Come detto, una parete costituita da un telaio rivestito con pannelli di compensato di tavole ed isolamento nell'intercapedine è sicuramente una soluzione applicabile. I pannelli del rivestimento interno sono in legno di pino, identici a quelli utilizzati per le altre pareti perimetrali, mentre per il rivestimento

esterno si dovrebbe preferire un legno più scuro, (castagno, robinia, larice) in accordo con le prescrizioni relative alla realizzazione della parete ventilata (cfr. seguito).

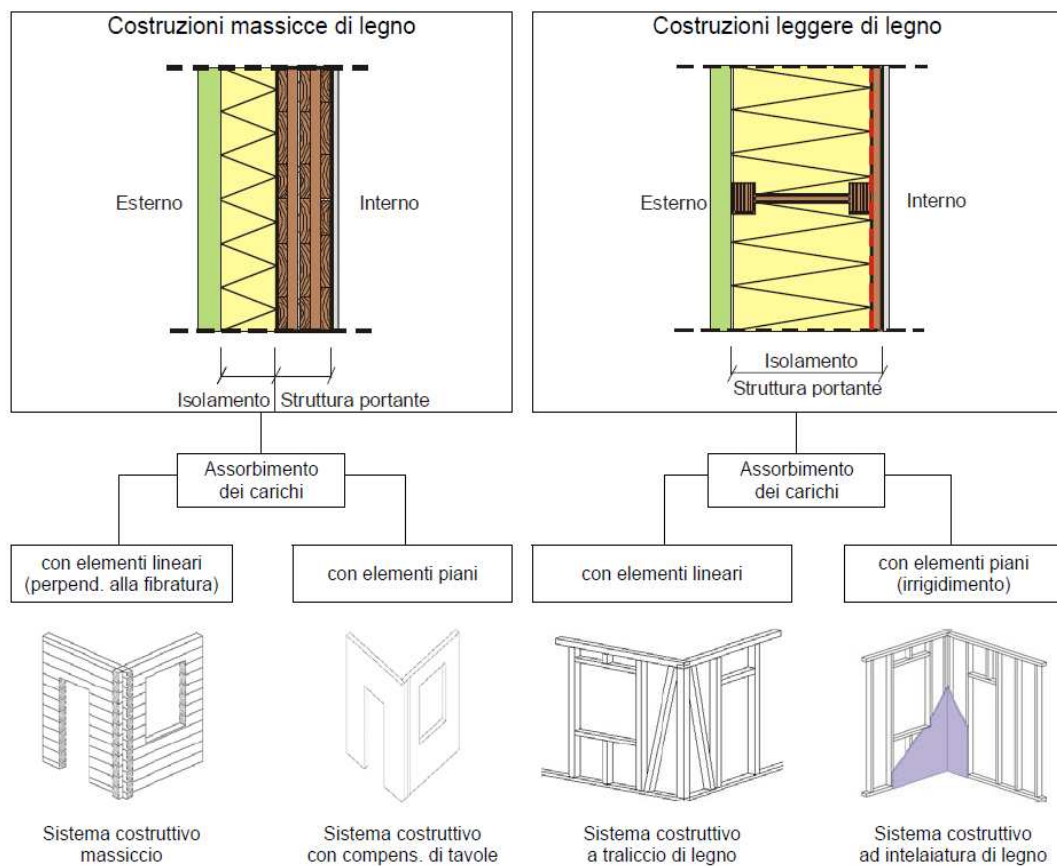


Fig. 16: suddivisione di base dei sistemi costruttivi in legno (sezione ed assonometria). Fonte Schickhofer.



Fig. 17: preassemblaggio del telaio.

Proprio la conformazione di parete ventilata consente di avere uno spessore di strato isolante limitato ed eventualmente di escludere la presenza di un'intercapedine d'aria. Una possibile composizione potrebbe essere quella mostrata in figura 18.

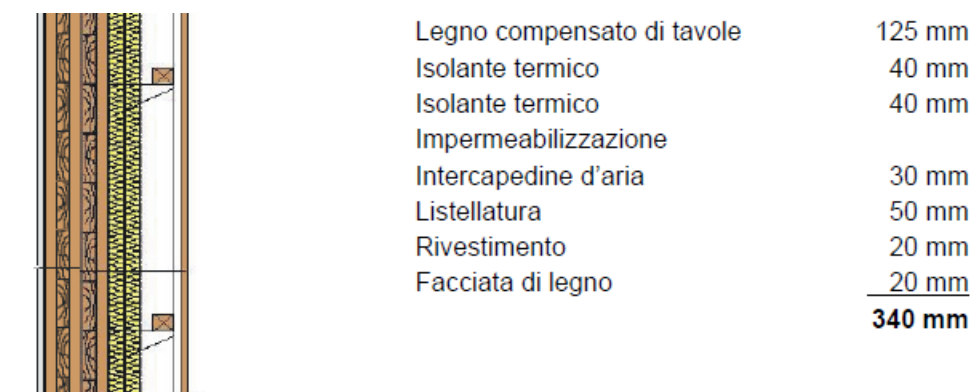


Fig. 18: composizione stratigrafica della parete intelaiata.

Volendo rinunciare all'intercapedine, ottenendo peraltro uno spessore di parete più contenuto, si può fare riferimento alla stratigrafia della figura 19, sostituendo i rivestimenti in cartongesso ed intonaco con compensato di tavole.

Il compensato di tavole è composto da almeno tre strati di tavole di legno di conifera o latifolia, incrociate e incollate (o collegate tramite spinotti) fra loro. Prima di essere incollate, le singole tavole vengono piallate e classificate secondo la resistenza in modo visivo o meccanico. La sezione deve avere una struttura simmetrica. Le singole tavole possono essere incollate sui bordi e giuntate in direzione longitudinale mediante giunti a pettine.

Spessore	Materiale da costruzione	Protezione termica				Combust. EN
		λ	μ min - max	ρ	c	
A	40,0 Legno di abete Tavolone (spessore > 40 mm) di protezione dal fuoco	0,130	50	500	1,600	D
B	Barriera antivento sd ≤ 0,3m			1000		
C	160,0 Legno da costruzione (60/.,; e=625)	0,130	50	500	1,600	D
D	160,0 Fibra di cellulosa [0,040; R=55]	0,040	1 - 2	55	2,000	B
E	barriera antivapore sd ≥ 9m			1000		
F	18,0 Pannello gessofibra oppure	0,320	21	1000	1,100	A2
F	18,0 Gessofibra (Cartongesso) (GKF)	0,250	10	800	1,050	A2

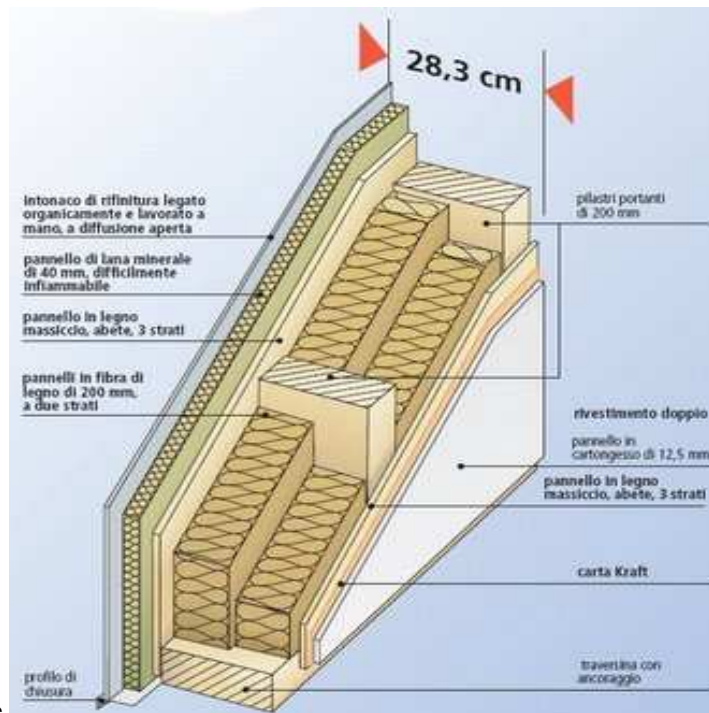
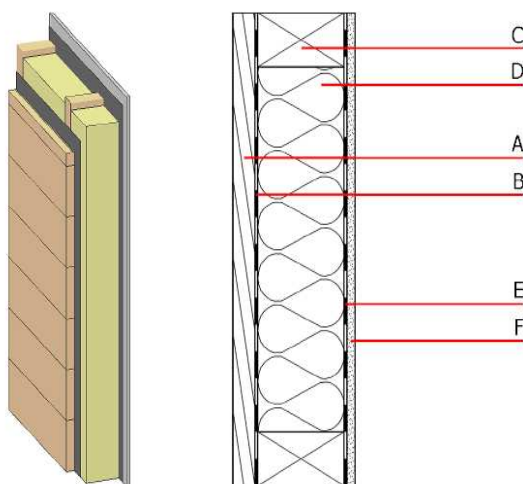


Fig. 19: parete senza intercapedine.

Tra le numerose soluzioni praticabili se ne illustra ancora una in figura 20, corredata di scheda tecnica (fonte Holzforschung Austria).



Valutazione fisico-costruttiva ed ecologica

Protezione dal fuoco	REI	60
----------------------	-----	----

la altezza massima della stanza = 3 m; carico massimo Ed,fi = 32,0 kN/m
Classificazione per MA39

Protezione termica	U[W/m ² K]	0,26
	Comportamento alla diffusione	idoneo
	m _{w,BA} [kg/m ²]	13,8

Calcolo effettuato da HFA

Protezione dal rumore	R _w (C; C _{tr})	45 (-3; -10)
	L _{n,w} (C _i)	-

Valutazione effettuata da MA39

Fig.20.

*Valutazione ecologica dettagliata

GWP [kg CO ₂ Äqv.]	AP [kg SO ₂ Äqv.]	PEI ne [MJ]	PEI e [MJ]	EP [kg PO ₄ Äqv.]	POCP [kg C ₂ H ₄ Äqv.]
-46,5	0,104	280,0	762,6	0,016	0,005

Massa per unità di superficie

m [kg/m ²]	calcolato con
46.0	pannello gessofibra

L'ultima soluzione presentata, sebbene consenta di ottenere un valore accettabile di trasmittanza (ulteriormente ridotto dal funzionamento come parete ventilata) con il minimo spessore totale, risulta avere una massa troppo piccola per l'accumulo termico e uno sfasamento di sole 6 ore. Modificandone la stratigrafia (compensato 80mm, fibra di cellulosa 100mm + telaio in listelli di pino, barriera antivento, compensato 80mm), con un spessore di 28cm, la trasmittanza resta pressochè invariata mentre la massa superficiale arriva a 94 Kg/mq e lo sfasamento a 11,40 ore. Tali valori risultano accettabili.

Un confronto fra i parametri più significativi, calcolati per le diverse soluzioni finora descritte e opportunamente modificate, offre i seguenti risultati:

	Stratigrafia	1	2	3	4	5
Parete con intercap. (fig. 18)	Compensato 125mm, cellulosa 80mm, impermeabil. 15mm, intercapedine 80mm, rivestimento 20mm, facciata 20mm.	340	0,287	95	0,252	10,72
Parete senza intercap. (fig. 19)	compensato 40mm, carta Kraft, cellulosa 200mm, compensato 40mm.	280	0,174	55	0,501	9,35
Parete Holzfor chun (fig. 20)	Gessofibra 18mm barriera antivapore, cellulosa 160mm, barriera antivento, compensato 40mm	240	0,260	46	0,732	6,04

LEGENDA: 1 - spessore totale (mm), 2 - trasmittanza (W/mq°K), 3 – massa superficiale (Kg/mq), 4 – attenuazione, 5 – sfasamento (h).

La parete così ottenuta, preassemblata, viene posata in opera facilmente in un unico blocco e raccordata, senza problemi di collegamento o di formazione di ponti termici, alle altre pareti perimetrali e al solaio di terra.



Fig. 21: posa in opera della parete portante.



Realizzazione
del collegamento
fondazione-parete



Posa del
dormiente
in larice e
delle staffe

Sicuramente migliore, sia per prestazioni che per estetica, è la soluzione che prevede la realizzazione della parete in legno massiccio con tecnica di costruzione Blockbau. Tale tecnica sarà analizzata in dettaglio nei prossimi paragrafi.

Inoltre, le costruzioni di legno di tipo massiccio, di regola, non necessitano di alcuna barriera al vapore, non potendo sussistere, specie nelle condizioni di parete ventilata, pericolo di formazione di condense, e possiedono generalmente una massa più elevata e quindi anche un'alta capacità di immagazzinamento di energia. Infatti, in questo caso, senza l'impiego di materiali isolanti, con uno

spessore di soli 35 cm in legno massiccio di pino si hanno prestazioni eccellenti, come mostrano i risultati.

Regime stazionario		
Massa superficiale	Ms [kg/m ²]	193
Resistenza termica totale	Rt [m ² K/W]	2,862
Trasmittanza	U [W/m ² K]	0,349
Conduzzanza	C [W/m ² K]	0,371
Capacità termica areica	Cta [kJ/m ² K]	320
Costante di tempo	τ [h]	254

Regime periodico stabilizzato		T =	24
Fattore di decremento (attenuazione)	Fd [-]		0,044
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)	Φ [h]		19,46
Trasmittanza termica periodica	 Yie [W/m ² K]		0,016
Ammetenza termica lato interno	Yii [W/m ² K], [h]		2,26 2,20
Ammetenza termica lato esterno	Yee [W/m ² K], [h]		2,70 2,71
Capacità termica areica lato interno	k1 [kJ/m ² K]		30,9 40,2
Capacità termica areica lato esterno	k2 [kJ/m ² K]		37,0 40,2
Fattore di smorzamento superficiale interno			
<i>Parete disperdente</i>	Fsd [-]		0,706 0,648
<i>Parete interna</i>	Fsi [-]		0,708 0,650
Indice potere fono isolante	Rw (dB) [dB]		43,69

3.3.5.1 Parete ventilata.

Un intervento di rivestimento con parete ventilata è indicato quando al risanamento della facciata si vogliono unire i vantaggi di un isolamento termico dinamico, ed offre diversi vantaggi dal punto di vista termoenergetico, quali:

- la possibilità di ridurre, nella stagione calda, il carico termico sull'edificio grazie alla parziale riflessione della radiazione incidente sulla facciata da parte del rivestimento ed alla ventilazione nell'intercapedine;
- la possibilità di realizzare un miglior isolamento, omogeneo e continuo, con facile eliminazione dei ponti termici;
- il miglioramento del comportamento inerziale dell'intero edificio;
- la protezione, attraverso il rivestimento esterno, degli elementi della chiusura dagli agenti atmosferici e dalle infiltrazioni di acque meteoriche;
- la possibilità di migliorare il grado di assorbimento acustico.

Il concetto di base delle facciate ventilate è quello di concepire un involucro formato da due differenziati e opportunamente distanziati pacchetti di parete, uno strato di supporto ed un rivestimento con funzione di tenuta, resi solidali da sistemi di graffaggi metallici e separati da un intercapedine a spessore variabile.

L'intercapedine d'aria è in comunicazione diretta con l'esterno, alla base ed alla sommità, in modo da formare un camino di risalita per l'aria con moti naturali (dovuti appunto all'effetto camino).

Il medesimo risultato, potenziato da un effetto serra, lo si ottiene realizzando una facciata a "doppia pelle", nella quale lo strato di rivestimento (o volendo entrambi gli strati) è in vetro. Eventualmente il simultaneo impiego di materiali isolanti trasparenti (TIM – Trasparent Insulation Materials, cfr. Scheda progetto TIM in Allegato 3.14) può offrire buone possibilità dal punto di vista della riqualificazione energetica ed architettonica, riassumendo in sé il concetto sia di conservazione che di guadagno solare. Per contro i modelli attualmente in commercio (Lexan termoclear structure, Ocalux Kapipane) sono costituiti in materiale plastico (acrilico o policarbonato) e inoltre il bilancio energetico della

facciata potrebbe non giustificare l'elevato costo dell'investimento (da 200 a 600 euro/mq), dato che tali materiali meglio si esprimono in climi freddi.

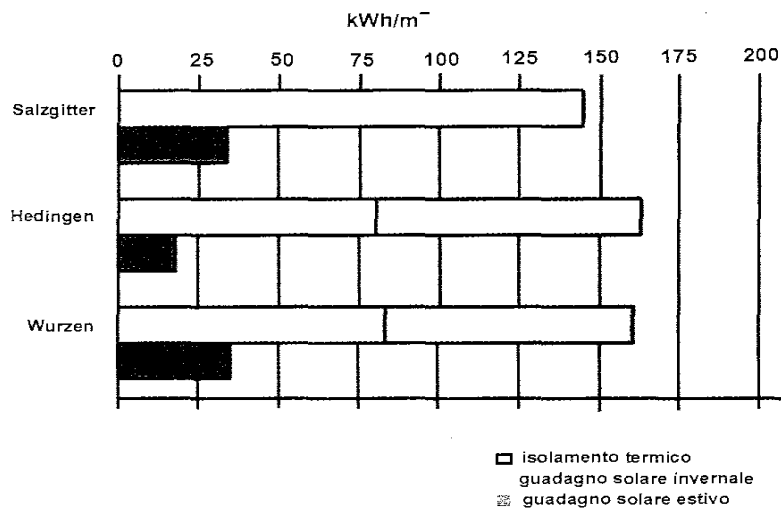
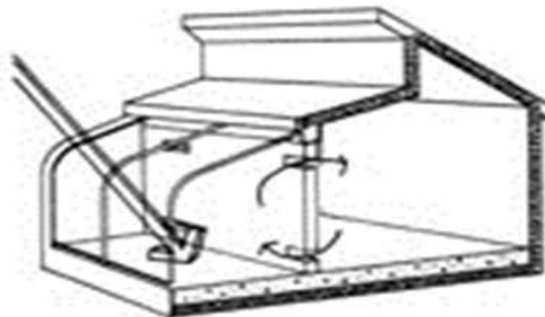


Fig. 22: Risparmio energetico ottenibile con l'impiego dei TIM. (Fonte: S. Brunoro, Efficienza energetica delle facciate, Maggioli).

Si potrebbe addirittura pensare di realizzare un sistema di captazione solare passivo a guadagno isolato, come una serra solare o giardino d'inverno, sull'intero volume antistante alla facciata, (senza eccedere il 10% del volume totale del rudere) e comprendente l'area occupata in pianta dalla copertura a verde dei locali adibiti a laboratorio (cfr. par. 3.3.6). Il guadagno solare e di isolamento aggiuntivo con la serra dovrebbe aggirarsi intorno al 25% (il risparmio fino a 50 kWh/mq all'anno) ma anche qui i problemi si avrebbero d'estate per l'eccessiva insolazione tipica del clima in oggetto.



Alcuni criteri validi per un PREDIMENSIONAMENTO delle aperture di ventilazione possono essere:

PORTE: 10% della superficie vetrata

FINESTRE: 15% della sup. vetrata

BOCCHETTE: 6% della sup. vetrata

L'applicazione di una facciata ventilata rappresenta sicuramente una delle soluzioni più efficaci in termini di costi, tempi e prestazioni, per l'adeguamento degli edifici agli standard di efficienza energetica. Il sistema, interamente montato a secco, come già accennato è composto da un rivestimento esterno che può essere di differenti forme (lastre, pannelli, piastrelle, doghe) e materiali (legno, ceramica, pietra, laterizio, metallo), aggrappato alla parete per mezzo di telai (montanti/traversi) in acciaio inossidabile, al carbonio, o in alluminio, che sostengono anche i pannelli isolanti (se presenti).

Dal punto di vista costruttivo l'ancoraggio rappresenta uno dei punti di maggiore criticità, anche se la parete di supporto è di nuova edificazione, per cui priva di difetti di planarità o di problemi di resistenza meccanica. Si escludono anche problematiche relative ad infiltrazioni e permeabilità dello strato isolante, appositamente concepito in fase progettuale. Un'accurata realizzazione dei giunti di facciata quindi è sufficiente al controllo delle tensioni sul rivestimento.

Fra i rivestimenti in legno più utilizzati si citano i pannelli Parklex in legno stratificato ad alta densità, formati internamente da carta kraft o fibre di legno trattate con resine fenoliche compresse ad elevata pressione, e i pannelli Trespa – Wood Decors, composti al 70% da fibre di legno e al 30% da resine termoindurenti con superficie indurita per induzione di scariche elettriche (procedimento EBC).

La scelta del rivestimento, che nel caso in oggetto sarà realizzato in vetro, è tra i prodotti commerciali. In particolare, escludendo l'impiego di vetri attivi, si consiglia l'impiego di vetrocamera con trattamenti superficiali agli ossidi metallici o vetri con rivestimento selettivo.

Ma oltre ai già citati TIM, nuovi prodotti sono sempre disponibili sul mercato, considerato che ormai da anni la ricerca si sta orientando verso la messa a punto di "vetrate intelligenti", in grado di rispondere dinamicamente ai cambiamenti di luminosità e temperatura dell'ambiente esterno (vetri a cristalli liquidi, foto e termocromici; ad esempio questi ultimi sono rivestiti da una pellicola di triossido di tungsteno che li rende opachi superata una temperatura critica) e, con un onere aggiuntivo di costi, possono trovare impiego in questo

caso, risolvendo l'eventuale problema del surriscaldamento eccessivo nell'intercapedine.

All'interno dell'intercapedine il flusso dell'aria, regolato dalle condizioni climatiche esterne e dalle caratteristiche tecniche e dimensionali del sistema che genera l'effetto camino, permette la riduzione dell'apporto termico indesiderato durante la stagione estiva, la limitazione delle dispersioni e delle perdite di calore attraverso i ponti termici e della formazione di vapore e di condensa interstiziale durante la stagione invernale. L'effetto camino è fortemente connesso all'incidenza della radiazione solare: più questa è intensa, più è significativo il moto ascensionale dell'aria ed il conseguente raffreddamento della parete retrostante, con aumento dell'efficienza di facciata, e un quasi dimezzamento della trasmittanza effettiva. Si escludono sistemi meccanici di ventilazione forzata.

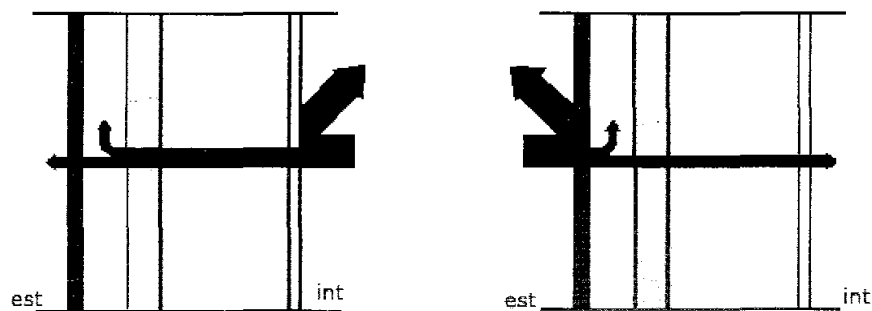


Fig. 23: Schemi di funzionamento della parete ventilata in regime invernale (sin.) ed estivo (des.).

I fattori da cui dipendono le prestazioni del sistema in definitiva si possono così classificare:

- parametri climatici e geografici: intensità di radiazione solare, temperatura esterna, velocità e direzione del vento;
- caratteristiche dei materiali: coefficienti di assorbimento e trasmissione, conducibilità e capacità termica;
- geometria del sistema, che influisce sulla portata d'aria nell'intercapedine: spessore dell'intercapedine, dimensione, disposizione/orientamento e conformazione delle aperture d'imbocco e di uscita.

Per una corretta progettazione di questi ultimi si fa riferimento alla normativa UNI 11018/2003 "Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico- Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione." Nella stessa norma è riportato il prospetto di calcolo del rapporto tra la sezione delle griglie superiori e inferiori e l'altezza totale della parete funzione della ventilazione desiderata. In particolare per il dimensionamento di massima delle aperture si fa riferimento alla tabella della pagina successiva.

Le griglie di imbocco e di uscita, dimensionate in linea di massima in modo che la superficie d'ingresso risulti circa il doppio di quella d'uscita, possono chiudersi (manualmente o elettronicamente attraverso dei sensori) durante la stagione fredda, trasformando così l'intercapedine ventilata in uno strato che contribuisce all'isolamento della parete.

Tipo di ventilazione	Tipo di disposizione	
	Pareti verticali o inclinate meno di 60° sull'orizzontale (mq/m)	Pareti orizzontali o inclinate più di 60° sull'orizzontale (mq/m)
Pareti debolmente ventilate	< 0,002	< 0,0003
Pareti mediamente ventilate	0,002/0,05	0,0003/0,003
Pareti fortemente ventilate	> 0,05	> 0,003

Lo spessore dell'intercapedine è fissato in 30 cm, al fine di assicurare una portata significativa di aria circolante ed una velocità di 0,7-0,9 m/s.

La stratigrafia ottenuta per la parete ventilata, con il calcolo dei parametri termofisici correlati, è inserita nell'Allegato 3.7.

Sarebbe inoltre possibile, come intervento fortemente innovativo, prevedere alla base della facciata dei canali di spillamento dell'aria immessa nell'intercapedine in comunicazione, sempre tramite aperture regolabili, con l'ambiente interno del piano interrato, che con il suo effetto "grotta" costituirebbe un notevole volume di accumulo termico, rendendo disponibile aria ad una temperatura (pressoché costante in estate o inverno) di circa 10-20° C.

Data la modesta altezza della parete si preferisce un sistema a tutta superficie (a sinistra nella figura seguente), rispetto ad un sistema a canali (al centro) o a celle (a destra). Eventualmente la facciata sarà suddivisa da partizioni verticali.

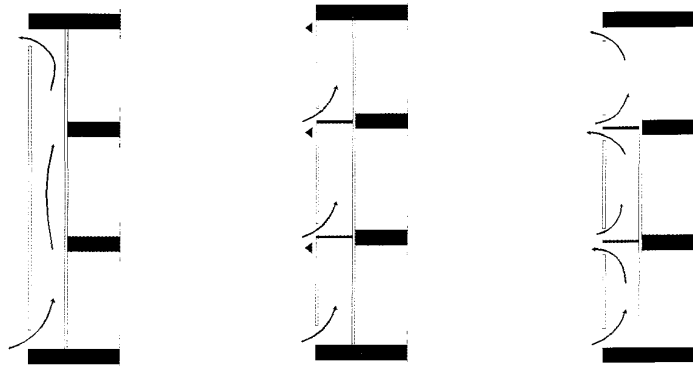


Figura 24.

All'interno dell'intercapedine, in corrispondenza delle aperture degli elementi finestrati nella parete di sostegno, saranno alloggiati, al riparo dagli agenti atmosferici, le schermature e i dispositivi di controllo solare, la cui attenta progettazione può garantire da un lato un alto valore del fattore di luce diurna, dall'altro valori del fattore solare prossimi a 0,10. L'oscuramento delle superfici vetrate sarà realizzato attraverso "veneziane fotovoltaiche" (fig. 25) inclinate, montate con il lembo superiore a contatto con la parete di sostegno e quello inferiore sul rivestimento, e naturalmente in grado di scorrere orizzontalmente sul piano della finestra. Si esclude l'impiego di ulteriori paramenti frangisole.



Fig. 25: persiane ed oscuranti a celle fotovoltaiche integrate.

La valutazione economica dell'intervento, considerato che dovrebbe garantire una riduzione del consumo energetico per la facciata del 15-25%, risulta complessa, in quanto dipende da numerosi parametri costruttivi e dalla scelta dei materiali.

La tabella seguente, elaborata dall'università di Harvard, mostra un confronto di massima fra le prestazioni ottenibili con una facciata doppia ventilata con rivestimento in vetro isolante ed una facciata tradizionale, in cui oltre ai risparmi conseguibili si nota il significativo miglioramento dell'indice di confort degli ambienti adiacenti alla parete stessa.

	Confort termico (PPD)	Riscaldamento KW/mq	Raffrescamento KW/mq	Risparmio energetico
Facciata tradizionale	59%	36.500	14.500	0
Facciata doppia ventilata	31%	18.000	7.250	50%

(Fonte: Maurya McClintock, "Case study analysis and comparison of naturally vented, double skin facade performance.")

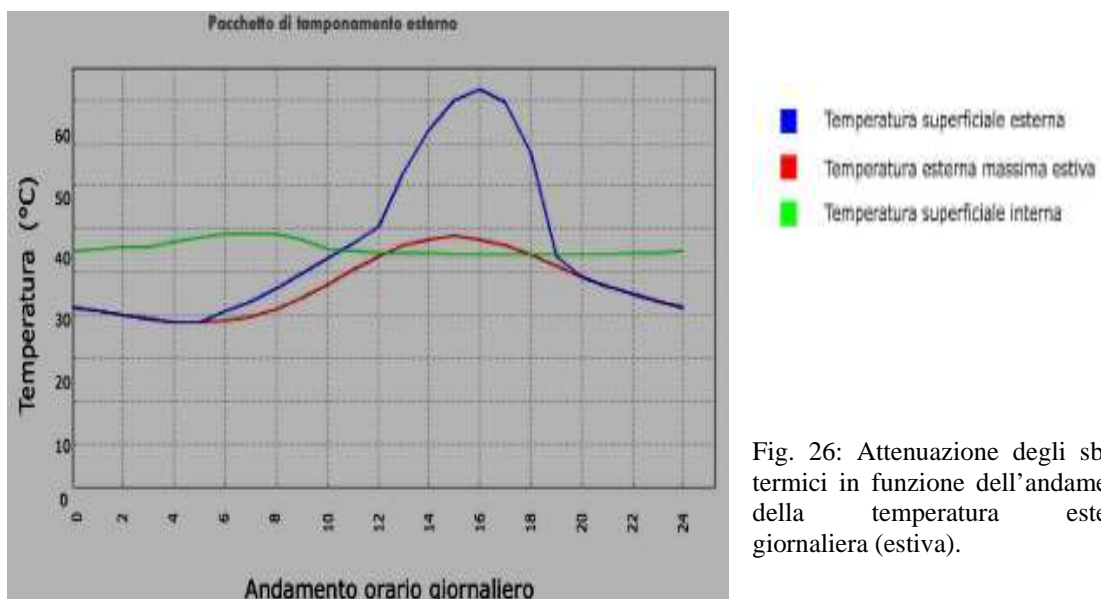


Fig. 26: Attenuazione degli sbalzi termici in funzione dell'andamento della temperatura esterna giornaliera (estiva).

3.3.5.2 Muro di Trombe.



Fig. 27: Casa Trombe , Odeillo, Francia.

Un'altra valida soluzione per sfruttare gli apporti solari derivanti dall'esposizione a sud-ovest della facciata è il muro di Trombe.

Come tutti i sistemi a guadagno indiretto esso è caratterizzato dalla presenza di un'apposita massa termica che, collocata fra il sole e l'ambiente da riscaldare o raffrescare, trasmette il calore accumulato per convezione e irraggiamento, con possibilità di regolare il flusso termico.

Costituita da una superficie trasparente posta a dieci o più centimetri, a formare un'intercapedine d'aria, da una parete scura a forte inerzia termica e con grande capacità d'accumulo (nei climi temperati con temperatura media invernale da 2 a 7°C occorrono da 0,3 a 0,6 mq di parete solare rivolta a sud per ogni mq di superficie abitata o, in altre parole, ogni mq di muro di Trombe è in grado di riscaldare 10 m³ di edificio). Il guadagno e lo sfasamento dell'onda termica dipendono dallo spessore del muro, dalla massa superficiale, dal coefficiente di conducibilità termica e dal calore specifico del materiale con cui il muro d'accumulo stesso è realizzato.

In questo caso però, a differenza della parete ventilata, l'intercapedine è posta in comunicazione, attraverso delle aperture regolabili, (la superficie delle bocchette di ventilazione è pari a 1-3% della superficie vetrata) direttamente con l'ambiente interno.

Durante la stagione estiva il muro Trombe può funzionare quale "camino solare" per rinfrescare la superficie esterna dell'elemento murario e per evitare quindi fenomeni di surriscaldamento. A tal fine è necessario praticare delle aperture anche sulla superficie vetrata, che consentano una circolazione convettiva inversa a quella invernale.

Le figure aiutano a comprenderne il principio di funzionamento:

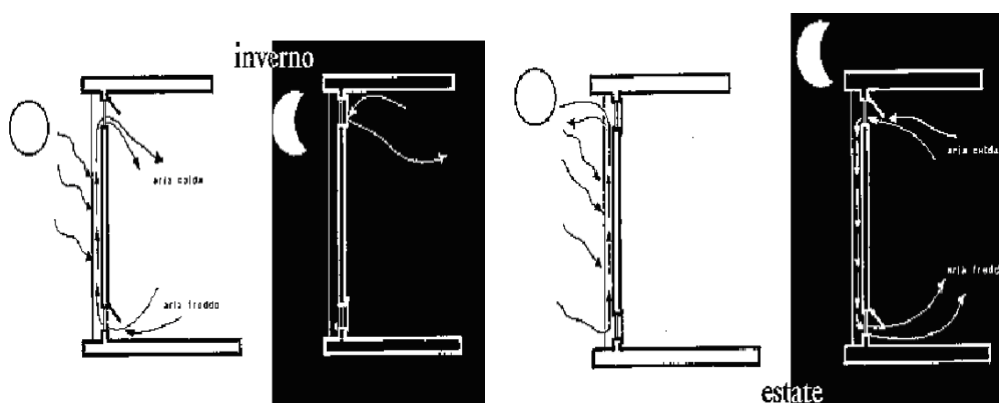
1. Inverno *giorno* le aperture di aerazione interne vengono alzate per permettere il passaggio dell'aria fredda che dal basso si riscalda e sale (per effetto camino) per tornare nella stanza più calda.

notte le aperture interne vengono chiuse per impedire che l'aria ceda calore a contatto con la superficie vetrata più fredda.

N.B.: Le aperture di aerazione esterne sono sempre chiuse.

2. Estate *giorno* vengono chiuse le aperture interne per impedire all'aria interna di surriscaldarsi, mentre vengono aperte quelle esterne per drenare il calore accumulato.

notte vengono aperte le aperture interne per fare in modo che l'aria interna si raffreschi a contatto con il vetro esterno.



In conclusione possiamo affermare che con le soluzioni offerte la parete si integra perfettamente nella struttura sia dal punto di vista architettonico che energetico, soddisfacendo una serie di requisiti, che comuni come Bologna ormai

indicano nei propri regolamenti edilizi come volontari ma fondamentali in interventi di riqualificazione sul patrimonio esistente, fra cui: controllo dell'apporto energetico da soleggiamento estivo (ombreggiamento), sfruttamento dell'apporto energetico da soleggiamento invernale, risparmio energetico nel periodo invernale, protezione dai venti invernali, ventilazione naturale estiva, uso dell'inerzia termica per la climatizzazione estiva (cfr. estratto dal regolamento edilizio del Comune di Bologna in Allegato 3.15).

La scelta progettuale definitiva sarà indirizzata naturalmente anche da valutazioni economiche più precise, che in questa sede tralasciamo.

3.3.6 Edificio N: il laboratorio-officina.

3.3.6.1 Inquadramento generale.

Sul versante esposto a sud/ovest, adiacente al corpo principale del rudere (edificio F) ma ad un livello inferiore rispetto al solaio di terra dell'edificio stesso, vi è ubicata un'appendice, a pianta rettangolare e ad un solo piano. Dai rilevamenti fotografici è possibile constatare l'esistenza della parete esterna in muratura, identica a quelle perimetrali del corpo principale, mentre dalle tavole di progetto si individua la pianta ed il prospetto del locale ricostruito.

Sempre da progetto si è deciso di suddividere il locale in due ambienti, da adibire a laboratori permanenti che permettano lo svolgimento di attività artistiche come pittura, scultura, fotografia, oppure di artigianato quali falegnameria, ceramiche e terracotta, etc.

3.3.6.2 Parete esterna e divisori.

L'intervento da eseguire sulla parete perimetrale, effettuabile in maniera simultanea con le altre pareti (cfr. 3.3.4), non presenta aspetti di particolare interesse, trattandosi principalmente di un consolidamento strutturale e di parziale rifacimento.

In particolare, conservando l'accesso presente (tramite un arco con scalinata) al piano seminterrato, si procede alla muratura di alcune aperture non funzionali e alla creazione di nuovi vani per porte e finestre.

Ricordando l'utilizzo a cui il locale è destinato, cioè laboratorio-officina, appare evidente come l'allocazione e le dimensioni delle aperture, tenendo conto anche dell'esposizione della parete, rivestano un ruolo fondamentale ai fini dell'illuminazione naturale degli ambienti interni. Pur prevedendo sistemi di schermatura mobili per evitare l'eccessivo soleggiamento e fenomeni di abbagliamento (eventualmente ancora persiane fotovoltaiche), gli infissi devono avere una superficie adeguata, dal 30 al 40% della superficie totale della chiusura, garantendo così un fattore di luce diurna pari al 5%.

Per gli infissi, così come del resto per la parete stessa, non si adoperano particolari accorgimenti in relazione all'isolamento termico. Si esclude l'impiego di costosi sistemi, ripiegando su semplici doppi vetri e infissi in legno. La parete rimane priva di strati di isolante. Questo perché, come già specificato, il locale costituisce una zona termica indipendente, con un profilo occupazionale del tutto particolare (occasionale e di attività fisica) e con esigenze dunque legate all'illuminazione ed alla ventilazione più che al comfort termico. D'altra parte il locale verrà servito da una termostufa alimentata a legna o pellets, nonché appunto da un sistema di ventilazione meccanica opportunamente dimensionato per garantire la salubrità dell'ambiente di lavoro.

Le pareti interne che dividono gli ambienti saranno realizzate con pannelli OSB autoportanti, le cui caratteristiche saranno esaminate nel paragrafo 3.3.9. Il parametro chiave per la progettazione e l'esecuzione delle suddette pareti è l'isolamento acustico, necessario per garantire la non interferenza nell'utilizzo

dei laboratori, anche in occasione di lavorazioni con impiego di macchinari molto rumorosi (seghe a banco, trapani, tornio, etc.). Tale isolamento si ottiene grazie all'impiego di pannelli in fibra di canapa o kenaf, che grazie all'elevato potere fonoassorbente consente di raggiungere un elevato indice di assorbimento con spessori esigui.

Senza soffermarsi ulteriormente sui particolari, si procede con la descrizione del rifacimento completo della copertura.

3.3.6.3 Il tetto verde.



Fig. 28: Tetto a giardino.

Nel precedente paragrafo si è specificato come l'isolamento termico dei locali adibiti a laboratorio non rivesta un ruolo fondamentale nella progettazione dell'involucro della rispettiva porzione di edificio. Tuttavia, in particolare per la copertura, non si può dimenticare la costante e pressoché totale esposizione della stessa alla radiazione solare diretta durante tutto l'arco della giornata.

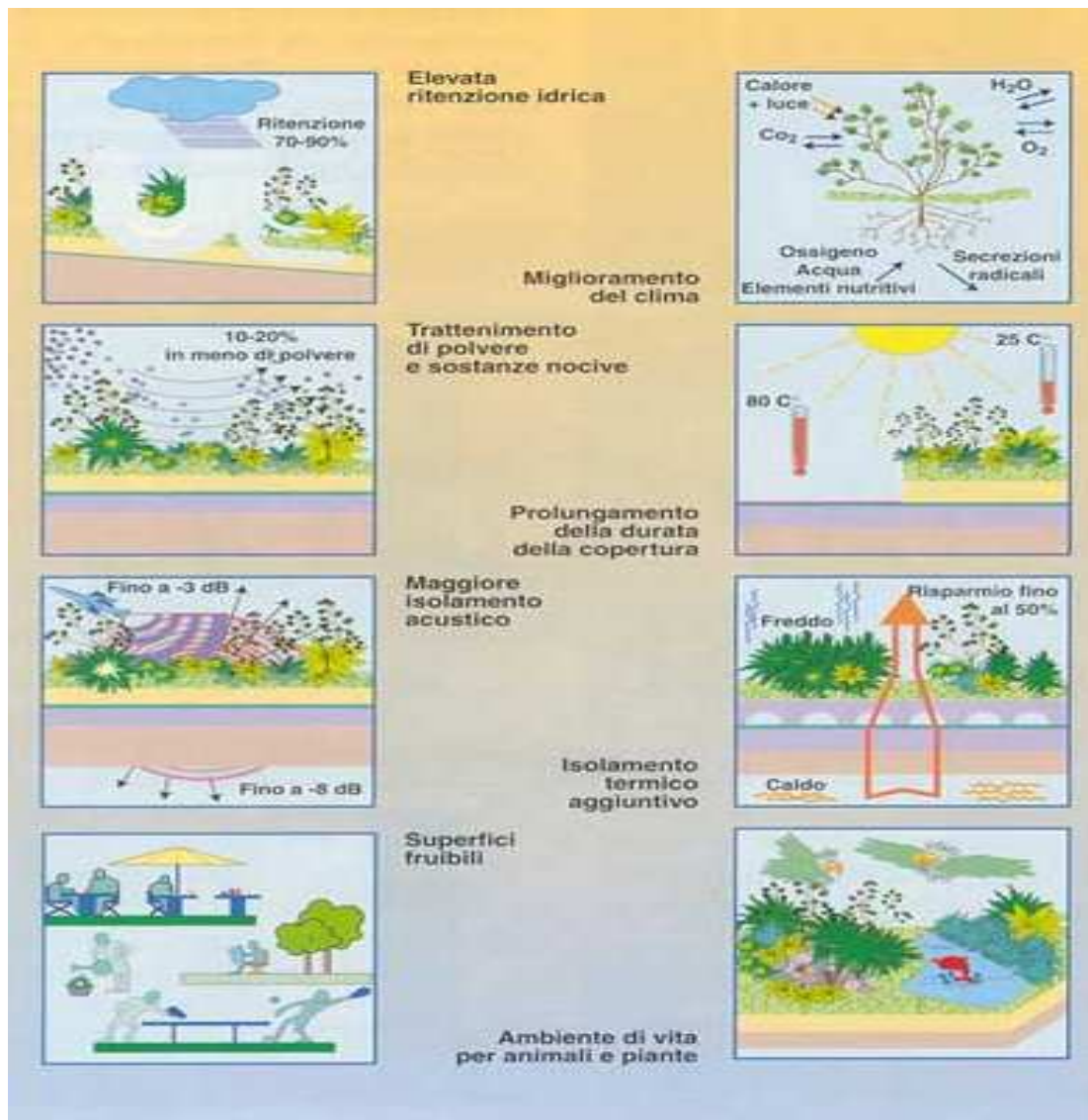
Si è sottolineata di contro l'esigenza di un ottimo isolamento acustico fra i laboratori adiacenti, ma naturalmente anche verso l'esterno, vista la contiguità con l'edificio principale che ospita gli appartamenti e con la torretta adibita invece ad area comune di relax ed intrattenimento.

La copertura dell'ala di edificio N, dotata di camminamenti che consentano l'accesso al corpo F e il collegamento con il corpo M, risulta costituire lo spazio

antistante agli appartamenti, ed è dotato pertanto di notevoli esigenze relative alla fruibilità, al comfort microclimatico e all'aspetto estetico.

In fase di analisi i suddetti aspetti si sono configurati come i parametri chiave nella progettazione della chiusura orizzontale, che è stata indirizzata di conseguenza verso la realizzazione di una "copertura piana a verde", pur avendo rinunciato, per i motivi esposti in precedenza, alla possibilità di edificare una serra solare a ridosso della parete sud/ovest del corpo principale del rudere.

Si comprende come un'alternativa totalmente pavimentata non avrebbe offerto i vantaggi di una soluzione a verde pensile (fig. 29).



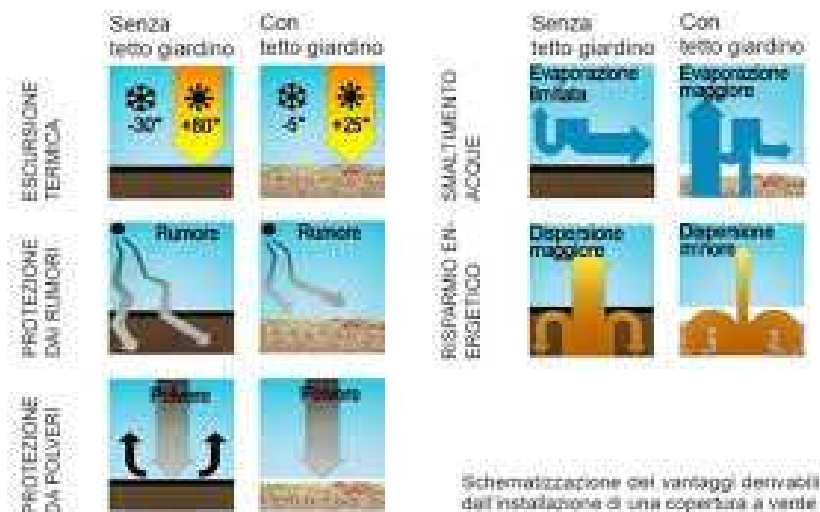


Fig. 29: I principali vantaggi ottenibili con una copertura a verde.

Negli ultimi anni, specialmente nei contesti fortemente urbanizzati e in modo sempre più strutturato, si è affermato un modo diverso di concepire il verde in copertura.

Il caricare la copertura di nuove funzionalità e, nello specifico, il collocare uno strato colturale e di vegetazione esteso per una parte consistente di copertura risulta principalmente connesso alle necessità di:

- incrementare notevolmente la capacità isolante (termica e acustica) e inerziale della copertura;
- compensare la sottrazione di verde a “quota zero”;
- mitigare il fenomeno “isola di calore”, soprattutto in caso di superfici molto esposte, incidendo direttamente sul microclima, ossia su valore e distribuzione spaziale della temperatura, sul vettore vento grazie alla presenza di alberi ed arbusti, e sul parametro umidità relativa (legata all’evaporazione dell’acqua presente nello strato di coltura e ai processi evapotraspirativi della vegetazione);
- filtrare una quota parte delle polveri inquinanti e del particolato sottile, “depurando” l’aria;
- regimentare il deflusso delle acque piovane mediante assorbimento e drenaggio, alleggerendo il carico idrico sulla superficie;
- ridurre i costi per le attività manutentive e di sostituzione della impermeabilizzazione;

- favorire condizioni di biodiversità;
- realizzare spazi fruibili all'aperto e caratterizzarne l'impatto visivo-ambientale;
- ri-generare una progettazione orientata alla percezione sensoriale per aumentare il grado di soddisfacimento dei fruitori.

Progettare il verde in copertura richiede un approccio più colto che va oltre il riequilibrio tra natura e artificio, e sin dalle prime fasi progettuali sono molteplici i fattori che entrano in gioco (architettura, agronomia, meteorologia, tecnologia). Si tratta di progettare un insieme di strati ed elementi tecnici che, nei confronti del sistema di copertura, si presentano con una forte interfaccia fisica (il posizionamento dell'impianto di irrigazione ne è un esempio) e prestazionale (quanto incide la capacità termica del terreno sui rendimenti energetici in inverno e sulla riduzione delle temperature superficiali – e di conseguenza delle forzanti climatiche che insistono sulla copertura – nel periodo surriscaldato). E considerando d'altra parte anche le interferenze strutturali, l'incremento dei carichi, che non dipendono solo dal terreno ma soprattutto dalla presenza di acqua e dallo sviluppo nel tempo delle specie vegetali, parametri molto ostici da controllare puntualmente.

Una copertura a verde può essere progettata con vari obiettivi prevalenti e principali:

- fruibilità fisica – si tratta di realizzare uno spazio atto allo svolgimento di attività all'aperto. E' questo il caso di veri e propri giardini pensili . In questo caso le principali attenzioni sono legate alla precisa definizione del tipo di attività per una corretta valutazione dell'usura dello strato di vegetazione, dei carichi agenti su di esso e la conseguente intensità della manutenzione;
- fruibilità visiva – si tratta di realizzare un elemento avente valenza puramente architettonica. Le scelte vengono quindi fatte, in primis, sulla tipologia di specie vegetali ed adeguando, di conseguenza, la stratificazione. E' quindi probabile che si debba ricorrere ad interventi

agronomici manutentivi di media ed elevata intensità per mantenere nel tempo le “prestazioni visive” richieste;

- controllo dell’impatto ambientale;
- controllo della temperatura superficiale e di quella operante interna. Il calcolo delle prestazioni in tal caso dovrebbe venire effettuato mediante software specifici al fine di una loro quantificazione esatta. Molte sono le ricerche e le sperimentazioni già realizzate, soprattutto all’estero, che valutano l’influenza delle coperture a verde e delle variabili ad esse connesse;
- controllo del potere fonoisolante, il cui aumento dipende dal fatto di avere una massa consistente costituita dallo strato colturale;
- controllo dei flussi idrici, la cui riduzione comporta un dimensionamento della rete di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche, maggiormente ridotto rispetto a quello che si avrebbe senza copertura a verde;

Le finalità aggiuntive rispetto ad un sistema di copertura tradizionale, indipendentemente dalla tipologia, richiedono un’implementazione della lista dei requisiti caratterizzanti il comportamento delle chiusure superiori aggiungendo a quelli caratteristici (isolamento termoacustico, inerzia termica, controllo della condensazione interstiziale, tenuta all’acqua, resistenza meccanica ai carichi statici e dinamici, permeabilità all’aria) altri specifici (capacità agronomica, drenante, di aerazione, di accumulo idrico e resistenza agli attacchi biologici).

La selezione della tipologia di copertura a verde dipende dalla messa a sistema di una serie di fattori tra cui:

- la conformazione morfologica dell’organismo edilizio e la complessità geometrica della copertura (fattore significativo soprattutto negli interventi di recupero);
- la pendenza e la tipologia della copertura (piana o a falde);
- le caratteristiche meccaniche della copertura;
- l’altezza dell’organismo edilizio, fattore trascurabile quando l’edificio è basso;

- le modalità di fruizione della copertura;
- le attività manutentive necessarie per garantire il naturale accrescimento delle specie vegetative;
- la necessità di controllare il deflusso idrico;
- il clima (la scelta della specie dipende dalla verifica della compatibilità di questa con il clima);
- la disponibilità di luce e di radiazione diretta (è necessaria l'analisi della geometria solare rispetto al posizionamento della copertura);
- il tipo di effetto scenico che si desidera ottenere (in questo caso è necessario conoscere il ciclo vegetativo stagionale).

Per quanto attiene alla regimentazione idrica questa viene determinata in funzione del coefficiente di deflusso che indica il rapporto fra la quantità di acqua che incide sulla copertura e quella che viene rilasciata (vedi tabella).

Spessore dello strato colturale [cm]	Coefficiente di deflusso	
	Inclinazione copertura < 15°	Inclinazione copertura > 15°
8 < S < 10	0,60	0,65
10 < S < 15	0,45	0,50
15 < S < 25	0,35	Da definirsi secondo i casi
25 < S < 35	0,25	
35 < S < 50	0,20	
S > 50	0,10	

Coefficienti di deflusso in funzione dello strato colturale e dell'inclinazione della copertura. Il coefficiente è determinato con $r(15) = 300 \text{ l/(s x ha)}$ dopo l'evento meteorico, per 24 ore dallo stato di massima imbibizione, secondo DIN EN 12056-3 (fonte UNI 11235:2007).

In generale si possono distinguere differenti modi di impiegare il verde in copertura classificabili in funzione dell'apporto energetico (nutritivo e idrico) delle attività manutentive, dello spessore dello strato colturale, della messa a dimore, della distribuzione e dell'estensione dello strato vegetativo.

La normativa UNI 11235: 2007, considera come “coperture a verde”, i seguenti due tipi:

- a verde estensivo: un sistema che utilizza specie vegetali in grado di adattarsi e svilupparsi nelle condizioni ambientali in cui sono poste, senza richiedere interventi di manutenzione;
- a verde intensivo: un sistema che utilizza specie adattabili pur con il necessario ausilio di una manutenzione di intensità media e alta.

Le differenze sostanziali consistono nell’apporto energetico richiesto e nel costo globale della soluzione pesato sul ciclo di vita. Nel caso in esame si opterà per una copertura a verde estensivo caratterizzata da un ridotto fabbisogno nutritivo, spessori e pesi contenuti e costi per l’installazione e la gestione misurati.

Le specie vegetative generalmente impiegate, ad elevata capacità di rigenerazione, di autopropagazione e di resistenza allo stress idrico e termico, sono sedum, piante perenni ed erbacee. Le tipologie funzionali sono con o senza accumulo idrico. Fra gli aspetti più importanti vi sono:

- la progettazione dell’elemento portante, che deve tenere in conto dei carichi (la densità di uno strato colturale saturo è pari a circa 1,0 – 1,2 kg/dmc);
- la scelta dell’elemento di protezione dall’azione delle radici integrato o meno nell’elemento di tenuta (riferimenti norme UNI EN 13948 e UNI EN ISO 846);
- la compartimentazione dell’elemento di tenuta al fine di permettere, nel caso di infiltrazioni, una facile e rapida ricerca del punto d’infiltrazione;
- la scelta dell’elemento drenante, realizzato mediante elementi prefabbricati e preformati o in aggregati (perlite espansa, argilla espansa, etc.) che deve essere in grado di smaltire l’acqua in eccesso e che normalmente ha anche funzione di accumulo idrico;
- la scelta dell’elemento di accumulo idrico;
- la scelta dell’elemento filtrante che deve avere una permeabilità almeno dieci volte superiore a quella dello strato colturale. La permeabilità

all'acqua in aggregati naturali, verificata secondo la norma DIN 18035 e con LK 100 deve comunque essere maggiore di 0,3 cm/s, mentre la permeabilità all'acqua perpendicolare al piano deve essere verificata secondo la norma UNI EN ISO 11058;

- la scelta dello strato colturale, e in particolare:
 - controllo del PH secondo UNI EN 13037;
 - conducibilità elettrica secondo UNI EN 13038;
 - controllo della permeabilità secondo DIN 18035;
 - controllo della capacità di ritenzione idrica secondo UNI EN 13041;
 - controllo della curva di ritenzione idrica secondo UNI EN 13041;
- la scelta della vegetazione in relazione a tipo estetico, esigenze di manutenzione, assorbimento delle polveri, controllo dei flussi termici e idrici, acustica. Tra gli arbusti, le ricadenti e le erbacee perenni si segnalano come idonee le seguenti specie: *Agapanthus umbrellatus*, *Cistus purpureus* o *salvifolius*, *Hypericum patulum*, *Laurus nobilis*, *Malva alcea*, *Mirthus tarentina*, *Rosa chinensis*, *Rosmarinus officinalis*, *Thymus officinalis*.

Anche nel regolamento *LEED* è previsto l'impiego del tetto verde:

- *SS Credit 5.1: Site Development - Protect or Restore Habitat*
Tetto verde con materiali e sistemi INDEX inerbiti con vegetazione locale, evitando la monocoltura e privilegiando la biodiversità, di minima manutenzione ed irrigazione, che non richieda l'uso di fertilizzanti, pesticidi ed erbicidi.
- *SS Credit 6.1: Stormwater Design - Quantity Control*
Controllo della quantità dell'acqua piovana con coperture a verde e pavimentazioni permeabili, prevedendone la raccolta per usi non potabili (acque grigie).
- *SS Credit 6.2: Stormwater Design - Quality Control*

Controllo della qualità dell'acqua piovana con coperture a verde e raccolta in vasche di fitodepurazione.

- *SS Credit 7.2: Heat Island Effect - Roof OPTION 2*

Riduzione degli effetti delle isole di calore delle coperture degli edifici con giardino pensile estensivo o intensivo.

Una copertura a verde viene realizzata con i seguenti elementi e strati:



Figura 30.

Nella figura seguente si evidenzia, al di sotto dell'elemento di tenuta, la presenza di un massetto alleggerito in CLS in grado di garantire una pendenza dal 2 al 5%, indispensabile per evitare zone di ristagno.

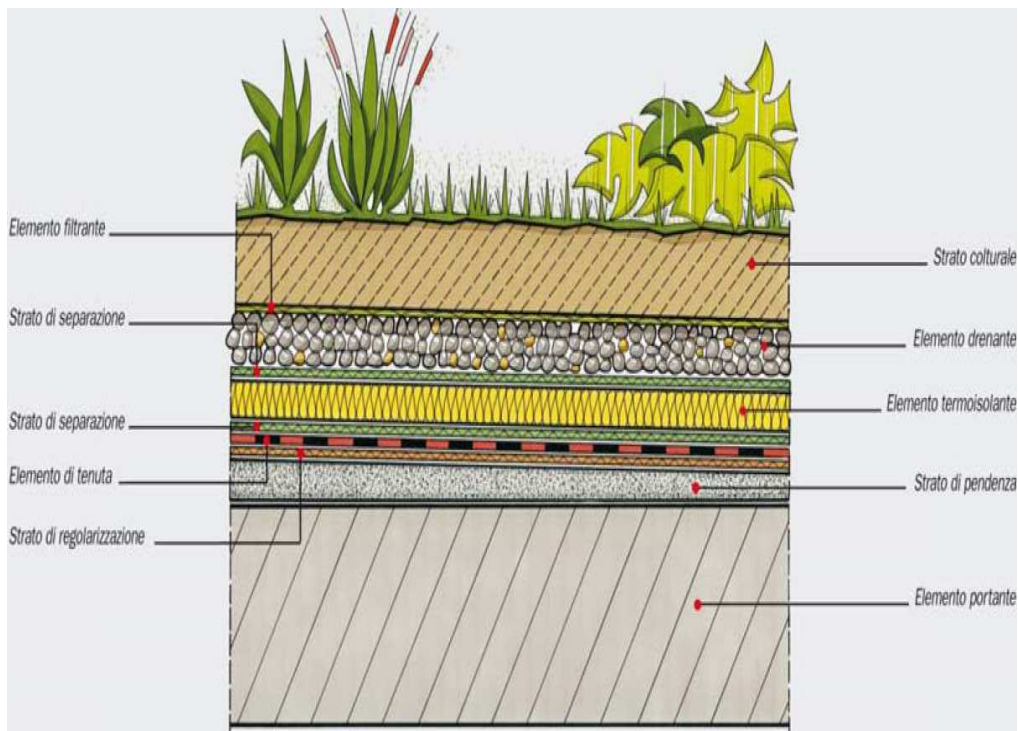


Figura 31.

Si elencano le soluzioni proposte per i singoli strati nel caso in esame:

1. Elemento portante. Solaio in laterocemento di spessore 28 cm. In alternativa il solaio può essere realizzato in lastre predalles.
2. Strato di pendenza. Massetto in calcestruzzo alleggerito a spessore variabile con pendenza pari al 3%. La disposizione ravvicinata degli scarichi e la modesta estensione della copertura, unitamente alla sezione drenante, garantiscono anche con lievi pendenze la portata per la percolazione delle acque.
3. Elemento di tenuta. Manto bituminoso antiradice armato con supporto in velo-vetro avente spessore di 5 mm.
4. Elemento termoisolante. Assente.
5. Strato di separazione. Evita interazioni di carattere chimico/fisico tra lo strato antiradice e la membrana impermeabilizzante.
6. Elemento di protezione dall'azione delle radici. Integrato nell'elemento di tenuta.
7. Elemento di protezione meccanica.

8. Elemento drenante. Lapillo alveolare a cellule aperte, vulcanite e vulsina minerale magmatico effusivo calcinato ad alta temperatura. Tale strato permette la risalita capillare dell'acqua, permette di livellare eventuali depressioni del solaio e regola la penetrazione e lo sviluppo radicale. La capacità di accumulo idrico risulta di 250 lt/mq, l'assorbimento di 2 lt/mq/cm, il peso pari a circa 900 Kg/mc. Lo spessore dello strato è 10 cm. In alternativa l'elemento drenante, posato a secco, può essere realizzato in polietilene riciclato. La portata minima del sistema di drenaggio deve essere 0,46 lt/sec/m, come previsto nella normativa DIN 4095. La conducibilità termica è di 0,50 m²K/W. In tal caso lo spessore sarà 5 cm.
9. Elemento di accumulo idrico. Perlite espansa di granulometria massima 5 mm, con densità a secco pari a circa 450 Kg/mq, racchiusa in sacchi di non tessuto. La capacità di accumulo arriva fino a 3,5 lt/mq per centimetro di spessore. Lo spessore di riferimento per lo strato è 5 cm.
10. Elemento filtrante. Impedisce all'acqua di dilavare le particelle fini del terriccio ed è realizzato con un telo filtrante in geotessile non tessuto polietilene/polipropilene di massa aerica 230 gr/mq (EN 965) e spessore 1,20 mm (EN 964-1), ottenuto mediante agugliatura e coesionato termicamente senza collanti o leganti chimici. I rotoli hanno una dimensione di 100m x 2,10m. Le prestazioni sono: permeabilità pari a circa 35 l/(mq * s); apertura efficace dei fori: Dw = 100 micron; resistenza alla pressione (secondo DIN 54307) > 500 N; grandezza dei pori = 0,055 mm; resistenza a trazione longitudinale = 777 N/10 cm; allungamento = 90% = 1350 N/10 cm; resistenza al punzonamento CBR = 1503 N (EN ISO 10319).
11. Strato colturale. Terreno di riporto da zone limitrofe a cui si può miscelare lapillo, pomice, perlite espansa Agrilit, torbe, cortecce, sostanze ammendanti, concimi organici. La densità in condizioni di saturazione deve essere prossima a 900 Kg/mc, la porosità pari a 65% v/v, il fattore di compattazione circa del 20%. Il valore del Ph deve essere compreso fra

5,8 e 6,5 mentre il contenuto di Sali inferiore a 3,5 g/lit. Lo spessore medio dello strato è 20 cm.

12. Strato di vegetazione.

I dettagli tipo maggiormente significativi nelle coperture a verde sono quelli in corrispondenza di una apertura (lucernario), di un pozzetto di ispezione, della parete perimetrale.

In tutti i casi le attenzioni progettuali sono rivolte al controllo dei seguenti aspetti principali:

- il risvolto verticale dell'elemento di tenuta;
- la differenza altimetrica fra il livello dello strato colturale e l'estremo superiore dell'elemento di tenuta che, in generale, non deve essere inferiore ai 10-15 cm;
- la protezione verticale dell'elemento di tenuta, ottenuta mediante il risvolto dello strato di protezione in sezione corrente;
- la presenza di un elemento drenante (ghiaia o simile) in corrispondenza di tutti i rilievi (lucernari, pareti, bordo perimetrale) e dei pozzetti;
- l'ispezionabilità dei pozzetti ottenuta mediante elementi che devono giungere fino alla superficie del terreno.

Si segnalano infine le seguenti attenzioni progettuali:

- riduzione del carico permanente dello strato colturale mediante l'impiego di materiali a bassa densità;
- la raccolta delle acque per il riutilizzo, legata alle necessità idriche delle specie vegetali. Una riserva idrica aggiuntiva può risultare dal serbatoio di accumulo del sistema di recupero del tetto a falde (edificio F);
- la raccolta delle acque di infiltrazione e ruscellamento;
- la riduzione degli interventi di manutenzione, favorendo uno sviluppo naturale e spontaneo;
- impianto di irrigazione a pioggia costituito da: irrigatori statici in resina sintetica a scomparsa, programmazione elettronica, tubi di distribuzione in

polietilene ad alta densità Hdpe (UNI 7611/76 e 7615/76 tipo 312).

L'assorbimento è di 5 l/min;

- modalità di posa in opera dei vari elementi, in particolare dello strato di tenuta;
- continuità del sistema di drenaggio: sulla copertura sono presenti dei camminamenti realizzati con pannelli di legno IPE Lapacho posati con sistema galleggiante con sottostruttura in legno;
- costo contenuto (50-80 euro/mq);

3.3.6.4 Bibliografia e norme per le coperture a verde.

Per ulteriori dettagli ed approfondimenti sulle coperture a verde si consiglia di consultare le seguenti norme:

- **UNI 11235: 2007.** “Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione delle coperture a verde” (Codice di pratica).

Per il progetto delle coperture continue:

- **UNI 8089: 1980.** “Edilizia. Coperture e relativi elementi funzionali. Terminologia funzionale”.
- **UNI 8090: 1980.** “Edilizia. Elementi complementari delle coperture. Terminologia”.
- **UNI 8091: 1980.** “Edilizia. Coperture. Terminologia geometrica”.
- **UNI 8178: 1980.** “Edilizia. Coperture. Analisi degli elementi e strati funzionali”.
- **UNI 9307-1: 1988.** “Coperture continue. Istruzioni per la progettazione. Elemento di tenuta”.

Per il progetto del sistema di raccolta acque meteoriche:

- **UNI 10724: 2004.** “Coperture. Sistemi di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche – Istruzioni per la progettazione e l’esecuzione con elementi discontinui”.
- **UNI EN 12056-3: 2001.** “Sistemi di scarico funzionanti a gravità all’interno degli edifici – Sistemi per l’evacuazione delle acque meteoriche, progettazione e calcolo”.

Per l’elemento di tenuta - membrane impermeabilizzanti:

- **UNI 8629-1: 1992.** “Membrane per impermeabilizzazione di coperture. Caratteristiche prestazionali e loro significatività”.
- **UNI 8629-2: 1992.** “Membrane per impermeabilizzazione di coperture. Limiti di accettazione dei tipi BPP per elemento di tenuta”.
- **UNI 8629-3: 1992.** “Membrane per impermeabilizzazione di coperture. Limiti di accettazione dei tipi BPE per elemento di tenuta”.
- **UNI EN 1107-1: 2002.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Membrane bituminose per l’impermeabilizzazione delle coperture – Determinazione della stabilità dimensionale”.
- **UNI EN 1107-2: 2002.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Determinazione della stabilità dimensionale – Membrane di materiale plastico e gomma per l’impermeabilizzazione delle coperture”.
- **UNI EN 1108: 2006.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Membrane bituminose per l’impermeabilizzazione delle coperture – Determinazione della stabilità di forma in condizioni di variazioni cicliche di temperatura”.
- **UNI EN 1109: 2002.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Membrane bituminose per l’impermeabilizzazione delle coperture – Determinazione della flessibilità a freddo”.
- **UNI EN 1110: 2006.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Membrane bituminose per l’impermeabilizzazione delle coperture – Determinazione dello scorrimento a caldo”.

- **UNI EN 12039: 2001.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose per l’impermeabilizzazione delle coperture – Determinazione dell’adesione dei granuli”.
- **UNI EN 12310-1: 2001.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose per l’impermeabilizzazione delle coperture – Determinazione della resistenza alla lacerazione (metodo del chiodo)”.
- **UNI EN 12310-2: 2001.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Determinazione della resistenza alla lacerazione – Membrane di materiale plastico e gomma per l’impermeabilizzazione delle coperture”.
- **UNI EN 12311-1: 2002.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose per l’impermeabilizzazione delle coperture – Determinazione delle proprietà a trazione”.
- **UNI EN 12311-2: 2002.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Determinazione delle proprietà a trazione - Membrane di materiale plastico e gomma per l’impermeabilizzazione delle coperture”.
- **UN EN 12316-1: 2001.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose per l’impermeabilizzazione delle coperture – Determinazione della resistenza al distacco delle giunzioni”.
- **UNI EN 12316-2: 2001.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Determinazione della resistenza al distacco delle giunzioni - Membrane di materiale plastico e gomma per l’impermeabilizzazione delle coperture”.
- **UNI EN 12317-1: 2001.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose per l’impermeabilizzazione delle coperture – Determinazione della resistenza alla trazione delle giunzioni”.
- **UNI EN 12317-2: 2001.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Determinazione della resistenza al taglio delle giunzioni - Membrane di materiale plastico e gomma per l’impermeabilizzazione delle coperture”.
- **UNI EN 12691: 2006.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose, di materiale plastico e di gomma”.

- **UNI EN 12730: 2002.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose, di materiale plastico e di gomma – Determinazione della resistenza al carico statico”.
- **UNI EN 1296: 2002.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose, di materiale plastico e di gomma – Metodo di invecchiamento artificiale tramite esposizione a lungo termine ad elevate temperature”.
- **UNI EN 1297: 2005.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose, di materiale plastico e di gomma – Metodo di invecchiamento artificiale tramite esposizione combinata di lunga durata alle radiazioni UV, alla temperatura elevata e all’acqua”.
- **UNI EN 13583: 2003.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose, di materiale plastico e di gomma – Determinazione della resistenza alla grandine”.
- **UNI EN 13707: 2007.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose armate per l’impermeabilizzazione delle coperture – Definizioni e caratteristiche”.
- **UNI EN 13859-1: 2005.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Definizioni e caratteristiche dei sottostrati – Parte 1: sottostrati per coperture discontinue”.
- **UNI EN 13897: 2005.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose, di materiale plastico e di gomma – Determinazione della tenuta all’acqua dopo allungamento per trazione a bassa temperatura”.
- **UNI EN 13948: 2007.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose, di materiale plastico e di gomma – Determinazione della resistenza alla penetrazione delle radici”.
- **UNI EN 13956: 2006.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose, di materiale plastico e di gomma – Definizioni e caratteristiche”.

- **UNI EN 1844: 2002.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Determinazione della resistenza all’ozono – Membrane di materiale plastico e gomma per l’impermeabilizzazione delle coperture”.
- **UNI EN 1847: 2002.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane di materiale plastico e di gomma per l’impermeabilizzazione delle coperture – Metodi per l’esposizione agli agenti chimici liquidi, acqua inclusa”.
- **UNI EN 1848-1: 2002.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Determinazione della lunghezza, della larghezza e della rettilineità – Membrane bituminose per l’impermeabilizzazione delle coperture”.
- **UNI EN 1848-2: 2002.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Determinazione della lunghezza, della larghezza, della rettilineità e della planarità - Membrane di materiale plastico e di gomma per l’impermeabilizzazione delle coperture”.
- **UNI EN 1849-1: 2002.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Determinazione dello spessore e della massa areica - Membrane bituminose per l’impermeabilizzazione delle coperture”.
- **UNI EN 1849-2: 2002.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Determinazione dello spessore e della massa areica - Membrane di materiale plastico e di gomma per l’impermeabilizzazione delle coperture”.
- **UNI EN 1850-1: 2001.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Determinazione dei difetti visibili – Membrane bituminose per l’impermeabilizzazione delle coperture”.
- **UNI EN 1850-2: 2001.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Determinazione dei difetti visibili - Membrane di materiale plastico e di gomma per l’impermeabilizzazione delle coperture”.
- **UNI EN 1928: 2002.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Membrane bituminose, di materiale plastico e di gomma per impermeabilizzazione di coperture – Determinazione della tenuta all’acqua”.

- **UNI EN 495-5: 2002.** “Membrane flessibili per impermeabilizzazione – Determinazione della piegabilità a basse temperature - Membrane di materiale plastico e di gomma per l’impermeabilizzazione delle coperture”.
- **UNI EN ISO 846: 1999.** “Materie plastiche – Valutazione dell’azione dei microrganismi”.

Per lo strato di coltura:

- **UNI EN 13652: 2001.** “Ammendanti e substrati per coltura – Estrazione di nutrienti ed elementi solubili in acqua”.
- **UNI EN 13037: 2002.** “Ammendanti e substrati per coltura - Determinazione del PH”.
- **UNI EN 13038: 2002.** “Ammendanti e substrati per coltura - Determinazione della conducibilità elettrica”.
- **UNI EN 13041: 2002.** “Ammendanti e substrati per coltura - Determinazione delle proprietà fisiche – Densità apparente secca, volume d’aria, volume d’acqua, coefficiente di restringimento e porosità totale”.
- **DIN 18035-1-2-3-4-5.**

Per l’elemento termoisolante:

- **UNI EN 826: 1998.** “Isolanti termici per edilizia – Determinazione del comportamento a compressione”.

Per l’elemento drenante:

- **UNI EN 1097-6: 2002.** “Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati – Determinazione della massa volumica dei granuli e dell’assorbimento d’acqua”.
- **UNI EN 13055-1: 2003.** “Aggregati leggeri – Aggregati leggeri per calcestruzzo, malta e malta per iniezione”.
- **UNI EN 1367-1: 2001.** “Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati – Determinazione della resistenza al gelo e al disgelo”.

Per l'elemento filtrante:

- **UNI EN 1897: 2003.** “Geotessili e prodotti affini – Determinazione delle proprietà di viscosità a compressione”.
- **UNI EN 12225: 2001.** “Geotessili e prodotti affini - Metodo per la determinazione della resistenza microbiologica mediante prova di interramento”.
- **UNI EN ISO 11058: 2002.** ” Geotessili e prodotti affini - Determinazione delle caratteristiche di permeabilità all’acqua perpendicolare al piano, senza carico”.
- **UNI EN ISO 12958: 2002.** “Geotessili e prodotti affini - Determinazione della capacità drenante nel piano”.
- **UNI EN ISO 13438: 2005.** “Geotessili e prodotti affini - Metodo di prova per la determinazione della resistenza all’ossidazione”.
- **UNI EN ISO 9863-1: 2005.** “Geosintetici - Determinazione dello spessore a pressioni specificate – Parte 1: Strati singoli”.
- **UNI EN ISO 9863-2: 1998.** “Geotessili e prodotti affini - Determinazione dello spessore a pressioni stabilite – Procedura per la determinazione dello spessore dei singoli strati di prodotti multistrato”.
- **ISO 9863** “Geosynthetics – Determination of thickness at specified pressures – Part 1: Single layers”.
- **UNI EN ISO 10319: 1998.** “Geotessili – Prova di trazione a banda larga”.
- **UNI EN ISO 12236: 1999.** “Geotessili e prodotti affini – Prova di punzonamento statico (metodo CBR)”.
- **UNI EN ISO 12956: 2001.** “Geotessili e prodotti affini - Determinazione della dimensione di apertura (opening size) caratteristica”.

Altri riferimenti normativi

Di particolare interesse risulta il regolamento edilizio della Provincia autonoma di Bolzano che introduce l'indice R.I.E. (Riduzione dell'Impatto

Edilizio) per certificare la qualità degli interventi rispetto alla permeabilità del suolo.

Bibliografia

“Coperture a verde – Esempi di progettazione.” – Matteo Fiori, Tiziana Poli – Ed. Maggioli, 2008.

“Progettazione e realizzazione di terrazzi e giardini pensili.” – M. Vietti – Il sole 24 ore, Edagricole, Roma, 2001.

Riviste Aketipo – Il sole 24 ore.

3.3.7 Torretta M - locali comuni: Il legno massiccio e il sistema blockbau.



Figura 32.

Lo stabile denominato torretta M, riedificato sulla vecchia pianta adiacente allo spigolo ovest dell'edificio F, su due livelli fuori terra con tetto mansardato, e accessibile da entrate situate a livello della copertura a verde dei locali N, una comunicante con i laboratori ed una secondaria sulla facciata nord-ovest, sarà

destinato, come detto in precedenza, a spazio comune, dotato di sala lavanderia-stireria e magazzino al piano terra, e sala intrattenimento e studio al primo piano.

Costituendo una zona termica indipendente, la specifica destinazione d'uso non presuppone un'attenzione particolarmente spinta verso la progettazione d'involucro ed il suo grado di isolamento termico. Piuttosto si cerca di creare un ambiente confortevole ed accogliente da un punto di vista estetico e funzionale, prediligendo aspetti legati al cromatismo, con la scelta di una tonalità di legno chiara come quella di pino, e all'illuminazione naturale, con la disposizione sui quattro fronti di superfici vetrate e schermature solari (fig. 33). E affidando le esigenze relative al comfort termico ad un impianto di climatizzazione estiva e ad un termocamino a legna o pallets per il riscaldamento invernale.



Fig. 33.

Come accennato, la scelta del materiale da costruzione ricade sul legno massiccio di pino, in accordo con la parete sud-ovest e con gli interni dell'edificio "F". Tuttavia la particolarità risiede nel sistema costruttivo che si è deciso di impiegare: il sistema Blockbau (o Blockhaus).

Tale tecnica costruttiva, che si basa sulla disposizione di elementi in legno massiccio, sia esso segato o semplicemente tondame scortecciato, a formare una parete piena di legno, è fregiata di un notevole pregio estetico, oltre che di una notevole solidità strutturale. Un ruolo chiave da un punto di vista strutturale gioca il collegamento di due pareti ortogonali tra di loro, ottenuto tramite la

lavorazione delle estremità degli elementi lignei in modo tale da formare un vincolo allo sfilamento o al disassamento dei tronchi (figura 34).



Figura 34.

Inoltre occorre un'attenta considerazione di alcuni fenomeni che possono insorgere nel tempo, legati proprio al particolare modo in cui sono utilizzati gli elementi lignei.

In particolare, una caratteristica tecnologica ben nota è il differente ritiro del materiale legnoso in direzione trasversale (cioè ortogonale alla direzione delle fibre), la cui entità è maggiore rispetto alla direzione longitudinale. Solitamente i valori di ritiro totale (cioè di variazione dimensionale del legno allo stato fresco, con contenuto di acqua pari al 30%, allo stato anidro, con contenuto di acqua pari a zero) variano secondo le differenti direzioni anatomiche con i seguenti valori:

tra lo 0,2% ed il 0,5% in direzione assiale, tra il 3% ed il 6% in direzione radiale, tra il 6% ed il 12% in direzione tangenziale.

Il parametro di utilizzo per i calcoli è quindi il coefficiente di variazione dimensionale, riportato nella seguente tabella.

Coefficienti di variazione dimensionale e per variazioni percentuali unitarie, $Dm = 1\%$ di umidità all'interno del campo igroscopico

	ε_T	ε_R	ε_L
Conifere	0,24	0,12	0,01
Latifoglie	0,40	0,20	0,01

Le deformazioni longitudinali sono, come si vede, di un ordine di grandezza inferiori a quelle trasversali (radiali e tangenziali), pari, secondo la precedente tabella, ad 1/10000 per variazione di un grado di umidità (questo significa una variazione di 0,3 mm per un asta di 3 m). Nel caso in cui gli elementi lignei siano posti in opera con valori di umidità prossimi a quelli di equilibrio con l'ambiente, è chiaro che variazioni di questa entità non sono di per sé preoccupanti.

Diverso è il caso delle deformazioni trasversali (radiali e tangenziali): nel caso di deformazioni radiali si ha 1/1000 per variazione di un 1% di umidità. La valutazione di tali deformazioni trasversali diventa quindi determinante nel caso della parete in blockbau, dove i tronchi scortecciato sono soggetti a deformazioni tangenziali (responsabili della formazione dei cretti da ritiro) e deformazioni radiali (responsabili della diminuzione del diametro del tronco) di cui occorre tenerne conto in maniera corretta. Se consideriamo per esempio una parete di blockbau di 2,5 m (pari circa alla altezza della parete fino alla quota di imposta del tetto) una variazione di un 1% di umidità si traduce in una deformazione di circa 2-3 mm nel caso di materiale posto in opera con stagionatura corretta (cioè con valori di umidità prossimi a quelli di equilibrio in opera). Se però il legname non è correttamente stagionato, con variazioni di umidità anche superiori al 10%, si possono avere deformazioni dell'ordine di 2-3 cm. Ne consegue che un prerequisito importantissimo per tale tipologia costruttiva è la corretta

stagionatura del materiale utilizzato, tale da richiedere approfondite valutazioni da parte di chi adotta tale tecnica costruttiva.

Nel caso i blocchi in legno siano realizzati con prodotti a base di legno dotati di una certa stabilità dimensionali e correttamente stagionati, i fenomeni di ritiro in direzione trasversale possono essere sufficientemente contenuti da non provocare cedimenti globali eccessivi della parete. Se, al contrario, non fosse possibile ottenere una stagionatura del materiale sufficiente a limitare il fenomeno, occorre prevedere le conseguenze di tale fenomeno sugli altri elementi presenti nel fabbricato. In ogni caso, dopo un tempo sufficientemente lungo (almeno sopra i 3 anni), il processo di essiccazione naturale dovrebbe essere piuttosto avanzato, e quindi tale da non doversi più verificare ulteriori apprezzabili cedimenti sulle pareti di blockbau.

Come visto, il restringimento dei tronchi è legato anche al livello di umidità contenuta nel legno. Cioè più il legno è umido, meno si ritira (il legno bagnato addirittura si gonfia), mentre più si essicca, più la sezione del tronco si restringe. Il risultato è che le pareti esposte al sole (sud, est e ovest) si abbassano di più rapidamente di quelle in ombra (o esposte a nord). Ovviamente ciò comporta gravi conseguenze nei giunti soprattutto in corrispondenza degli infissi ed ancor più nell'attacco fra parete di legno e tetto in legno. Il Blockhaus nel tempo, per sua natura, genera infiltrazioni di aria e continui piccoli assestamenti, pertanto possono essere necessari nel corso della sua vita ripetuti interventi di manutenzione.

In aggiunta si pone il problema della condensa (si pensi al locale lavanderia), particolarmente critico proprio in corrispondenza delle fessure, oltre che naturalmente di tutti i ponti termici. Una casa in legno a tronchi sovrapposti deve essere lasciata libera di smaltire l'umidità in eccesso tramite consistenti ricambi di aria e che il legno non deve essere trattato con prodotti, preferibilmente non chimici, che ne inibiscano la possibilità di respirare (ovvero assorbire umidità quando l'aria è carica di vapore acqueo e rilasciarla quando invece l'aria è troppo secca).

La verifica dei ricambi d'aria per infiltrazione si effettua, secondo quanto previsto dalla norma UNI 10344 (Appendice C) sommando il contributo dovuto alle modalità di occupazione dell'edificio (cfr. Istruzioni tecniche del Ministero dei LL.PP., art.4, comma 1,2 della Legge 10/91) pari a $0,25 \cdot (V/3600)$ [m³/s], al contributo di ventilazione naturale attraverso infiltrazioni ed elementi finestrati. Quest'ultimo si calcola come $P_o \cdot (V/3600)$, dove V è il volume riscaldato e P_o la permeabilità all'aria dell'involucro, pari a $(\Delta P/V) \cdot (\Sigma m \cdot A)$, essendo m il coefficiente di permeabilità dei serramenti e A l'area degli stessi.

Valgono inoltre:

$$\Delta P = \sqrt{(P_v^2 + P_c^2)}; \quad P_v = b \cdot h^a; \quad P_c = b \cdot h^a$$

in cui h è l'altezza dell'edificio ed i coefficienti a e b forniti dalla norma sono:

per P_v

Contesto territoriale	B			A
	Velocità vento < 2 m/s	Da 2 a 5 m/s	> 5 m/s	
Centro urbano	0,0076	0,0475	0,190	0,91
Periferia	0,0146	0,0913	0,356	0,69
Campagna	0,0332	0,2075	0,830	0,42

per P_c

Permeabilità verticale dell'edificio	B			A
	Temperatura media esterna < 7°C	Da 7 a 10°C	> 10°C	
Elevata	0,0526	0,0404	0,0280	1,00
Media	0,0263	0,0202	0,0140	0,69
Bassa	0,1526	0,1170	0,0814	0,00

A questo punto si verifica che la somma dei contributi calcolati sia maggiore della portata convenzionale, pari al prodotto di V per un coefficiente tabulato nella norma in funzione del tipo di schermatura e della permeabilità dei

serramenti. Nel caso in cui la disuguaglianza non risultasse verificata bisognerebbe ricorrere ad un impianto di ventilazione forzata.

Occorre infine sottolineare che, generalmente, i fenomeni citati determinano danni esclusivamente di carattere tecnologico, e non tali quindi da pregiudicare la stabilità globale dell'edificio in condizioni di carichi agli stati limite ultimi oppure il soddisfacimento delle condizioni di esercizio.

Tutta la struttura sarà impregnata con appositi impregnanti certificati di colore pino mediterraneo che renderanno il legno idrorepellente, antibatterico, antimuffa, preservandolo nel tempo (esclusi secondi trattamenti o ritocchi di cantiere).

Il solaio intermedio è formato da travi opportunamente dimensionate, perlinato piallato non levigato di pino da 30mm, tessuto traspirante, listelli in legno di pino da 40mm posti ogni 60cm, isolamento in lana di vetro ecologica da 40mm, tavolato di pino da 30mm, piallato non levigato. La scala interna è realizzata da una struttura portante in legno di pino e gradini in larice da 45mm (figura 35).



Figura 35.

La copertura spiovente a quattro falde, con struttura a travi in legno massiccio e tavole a vista (figura 36), e stratigrafia identica alla copertura dell'edificio F (cfr. 3.3.8), vedrà predisposti, sul rivestimento esterno delle falde orientate a sud-est e sud-ovest, i moduli per l'ancoraggio dei collettori solari

termici a servizio degli edifici F, M e N (cfr. capitolo 4). In relazione alla copertura non si segnalano ulteriori necessità progettuali.



Figura 36.

3.3.8 Copertura a falde inclinate.

Generalità.

Una copertura si definisce continua quando la tenuta all'acqua non dipende dalla pendenza o dalla particolare configurazione geometrica della chiusura ma viene garantita da un elemento - membrana impermeabile - posato in soluzione di continuità. La collocazione dell'elemento di tenuta rispetto ai differenti strati costituenti la soluzione tecnica determina differenti modelli funzionali (UNI 8178):

- tetto rovescio con l'elemento di tenuta posto sotto lo strato di isolamento termico;
- tetto caldo con elemento di tenuta posto sotto lo strato di protezione;
- tetto caldo con elemento di tenuta posto all'estradosso della copertura, che può essere lasciato a vista.

A garantire la funzionalità delle coperture discontinue, a differenza delle coperture continue, è la pendenza del piano di posa. L'elemento di tenuta, singolo sotto forma di membrana o costituito da più elementi distinti e messi in

opera sovrapposti (tegole, coppi, lastre in spessore o sottili – metalliche), può essere collocato:

- sotto lo strato di protezione;
- all'estradosso della copertura.

Il tetto a falda (singola, doppia o multipla) permette un maggior controllo dei sovraccarichi “statici” (componente verticale del carico dovuto alla permanenza di neve) mentre maggiore attenzione deve essere riservata a eventuali sollecitazioni di tipo dinamico (solo vento, vento + acqua meteorica, acqua dovuta allo scioglimento della neve, eventi sismici). I punti critici, oltre i raccordi con le superfici verticali, sono correlati al controllo delle pendenze (per evitare la traslocazione degli elementi di tenuta), alle linee di raccordo tra le falde a differente pendenza, alla realizzazione dei canali di gronda, delle converse e dei pluviali (posizionamento, dimensionamento e tipologia di fissaggio).

Matrice delle soluzioni tecniche in funzione dell'elemento di tenuta (Rielaborazione UNI 8627)

	Pendenza			Accessibilità, fruibilità e vivibilità							Posizione elemento tenuta			Caratteristiche elemento tenuta		
	Copertura orizzontale, pendenza < 1 %	Copertura suborizzontale, 1%<- pendenza<5%	Copertura inclinata, pendenza > 5%	Accessibile per manutenzione copertura	Accessibile per manutenzione impianti	Accessibile a pedoni	Copertura a verde	Coperture a distrazione speciale	Copertura per parcheggio mezzi leggeri	Copertura per parcheggio mezzi pesanti	Estradosso della copertura	Sotto strato protezione	Sotto strato isolante	Grandi elementi	Piccoli elementi	Membrane
Copertura continua	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•
Copertura discontinua			•	•	•			•			•	•		•	•	

In relazione al grado di isolamento termico della copertura e alla modalità di evaporazione della condensazione interstiziale è possibile compiere un'ulteriore classificazione delle chiusure orizzontali superiori. E' così possibile distinguere in:

- copertura continua isolata;

- copertura continua isolata e ventilata;
- copertura continua non isolata;
- copertura discontinua isolata;
- copertura discontinua isolata e ventilata;
- copertura discontinua ventilata;
- copertura discontinua non isolata;
- copertura discontinua ventilata sottotetto.

Ad ogni specifico modello funzionale corrisponde una sequenza e una presenza di strati. Si riportano le indicazioni fornite dalla norma UNI 8627.

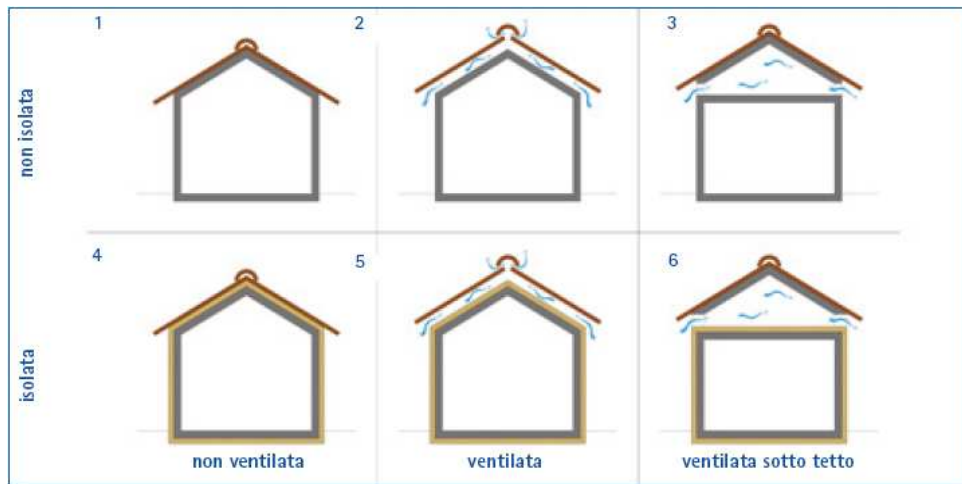


Fig. 37: Schema funzionale delle coperture a falda.

Sistemi di copertura continui e discontinui: modelli funzionali e strati o elementi funzionali

Coperture discontinue	Schemi Funzionali			
	Copertura con elemento termoisolante		Copertura senza elemento termoisolante	
	Con strato ventilazione	Senza strato ventilazione	Con strato ventilazione	Senza strato ventilazione
Elemento o strato funzionale				
Strato di schermo al vapore/barriera al vapore	eventuale			
Elemento termoisolante	fondamentale	fondamentale		
Strato di tenuta all'aria	eventuale		eventuale	
Elemento di collegamento	eventuale			
Strato di ventilazione	fondamentale		fondamentale	
Strato di pendenza	integrato	integrato	integrato	integrato
Elemento portante	fondamentale	fondamentale	fondamentale	fondamentale
Elemento di collegamento		eventuale		
Strato di supporto		eventuale		
Strato di schermo vapore/barriera vapore		fondamentale		
Elemento termoisolante		fondamentale		
Strato di irrigidimento		eventuale		
Elemento di collegamento	eventuale	eventuale	eventuale	eventuale
Elemento di tenuta		eventuale	eventuale	eventuale
Elemento di supporto*	fondamentale	fondamentale	fondamentale	fondamentale
Elemento di collegamento	eventuale	eventuale	eventuale	eventuale
Elemento di tenuta	fondamentale	fondamentale	fondamentale	fondamentale
Strato di protezione	eventuale	eventuale	eventuale	eventuale

Coperture continue	Schemi Funzionali			
	Copertura con elemento termoisolante		Copertura senza elemento termoisolante	
	Con strato ventilazione	Senza strato ventilazione	Con strato ventilazione	Senza strato ventilazione
Elemento o strato funzionale				
Elemento portante	fondamentale	fondamentale	fondamentale	fondamentale
Elemento di collegamento		eventuale		eventuale
Strato di continuità		eventuale		eventuale
Strato di imprimitura		eventuale		eventuale
Strato di pendenza		fondamentale		fondamentale
Strato di regolarizzazione	eventuale	eventuale		
Strato di imprimitura		eventuale		
Strato di diffusione pressione vapore		migliorativo		
Strato barriera al vapore/schermo vapore	migliorativo	fondamentale		
Elemento di collegamento (strato incollaggio)	eventuale	eventuale		
Elemento termoisolante	fondamentale	fondamentale		
Elemento di collegamento	eventuale	eventuale		
Strato di irrigidimento/strato di continuità	fondamentale/ complementare	eventuale		
Strato di ventilazione	fondamentale		fondamentale	
Elemento portante	fondamentale		fondamentale	
Elemento di collegamento	eventuale		eventuale	
Strato di continuità	eventuale		eventuale	
Strato di imprimitura	eventuale		eventuale	
Strato di pendenza	fondamentale		fondamentale	
Strato di regolarizzazione	eventuale	eventuale	eventuale	eventuale
Strato di imprimitura	eventuale	eventuale	eventuale	eventuale
Elemento di collegamento	eventuale	eventuale	eventuale	eventuale
Strato di diffusione pressione al vapore	migliorativo	migliorativo	migliorativo	migliorativo
Elemento di collegamento/strato di separazione	migliorativo	migliorativo	migliorativo	migliorativo
Elemento di tenuta	fondamentale	fondamentale	fondamentale	fondamentale
Strato di separazione	migliorativo	migliorativo	migliorativo	migliorativo
Strato drenante	fondamentale/ migliorativo	fondamentale/ migliorativo		
Elemento termoisolante	fondamentale	fondamentale		
Strato filtrante	fondamentale	fondamentale		
Strato di protezione	fondamentale	fondamentale	fondamentale	fondamentale

3.3.8.1 Introduzione.

Essendo la precedente copertura completamente crollata, si provvede alla totale ricostruzione del tetto, ripristinando la copertura a falde inclinate; e cercando sempre di impiegare i criteri dell'architettura bioclimatica per raggiungere, oltre che l'integrazione dal punto di vista architettonico, le migliori prestazioni energetiche, ponendo grande attenzione ai sistemi costruttivi ed ai materiali impiegati.

Naturalmente si ripropone la scelta del legno e di materiali isolanti naturali, con l'innovazione di progettare uno strato ultimo esterno rivestito non in tegole di laterizio, ma in paglia.

La stratigrafia, pur presentando delle peculiarità proprio in relazione all'isolamento termico, rispecchia i dettami generali delle più comuni tipologie di tetto ventilato.

3.3.8.2 Le travi.

La struttura più semplice della copertura a due falde è quella cosiddetta "a puntoni", basata su un'unica struttura portante, orientata perpendicolarmente alla linea di colmo e formata da una coppia di travi - i puntoni - che formano una struttura portante a tre cerniere in un piano verticale e perpendicolare al colmo.

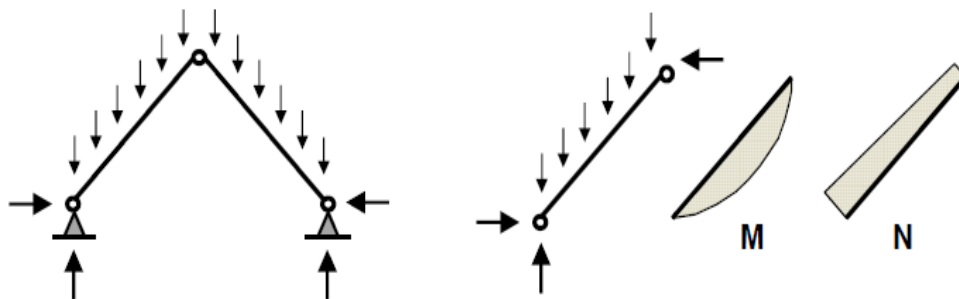


Fig. 38: Principio del tetto a puntoni e sistema statico della coppia di puntoni.

La particolarità di questo sistema è la sua natura spingente, che necessita cioè di un appoggio orizzontale fisso e rigido ad entrambe le sue estremità, senza il quale la struttura non è stabile. La struttura è formata dai due puntoni, che in caso di forze agenti verso il basso sono compressi o appoggiati uno sull'altro, mentre in caso di forze orientate verso l'alto (risucchio del vento) devono essere collegati fra loro mediante un giunto teso. La spinta orizzontale provocata dai puntoni è rappresentata da forze di grandezza piuttosto importante, che non possono essere assorbite dalle pareti della costruzione; è quindi indispensabile la presenza di un altro elemento strutturale con funzione di catena.

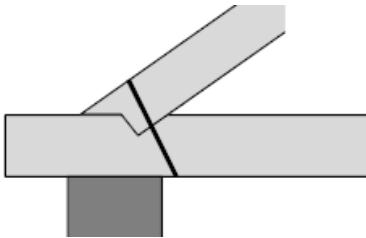


Fig. 39: Sistema di ripresa della spinta orizzontale dei puntoni.

Anche se questo sistema strutturale si adatta principalmente a tutte le dimensioni, il tetto a puntoni appena descritto è formato da coppie di puntoni di sezioni ridotte e con interassi che non superano di regola gli 80 cm, in modo da permettere la posa della copertura direttamente sui puntoni. Sviluppato per l'uso di sezioni di legno massicce di facile trasporto e montaggio, si tratta di un sistema adatto per campate ridotte, che di regola non superano i 7 m. Oltre i 7 m di luce, la tradizione delle coperture di legno ha sviluppato diversi sistemi di strutture a puntoni rinforzate in modo diverso, con controcatene o appoggi intermedi sulla struttura sottostante.

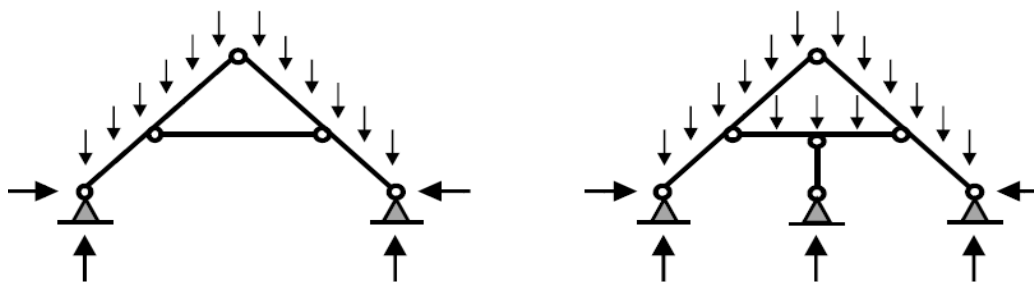


Fig. 40: Tetto a due falde con puntoni e controcatena (sin.) e con appoggio intermedio (destra).

La struttura ad arcarecci o con “falsi puntoni” è stata probabilmente l’evoluzione del tetto a puntoni, nell’intento di semplificare la struttura portante principale, costruita con travi di legno massiccio o lamellare, e di renderla più flessibile ed efficace sotto tutti i punti di vista. Ai puntoni si aggiunge una struttura portante di ordine superiore, formata da travi inflesse parallele al colmo, orizzontali e disposte a livello del colmo, delle pareti esterne e, eventualmente anche fra quest’ultime, in modo da ridurre la campata dei puntoni. Gli arcarecci sono di regola appoggiati sulle pareti frontali (timpani), sulle quali scaricano le forze rivenienti dal tetto.

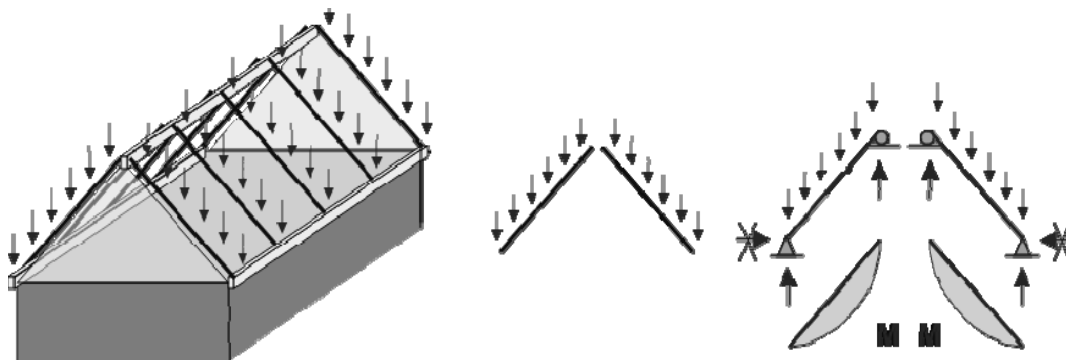


Fig. 41: Tetto a due falde con struttura ad arcarecci e falsi puntoni quali travi inflesse.

Gli arcarecci sono fissati orizzontalmente, mentre i puntoni, che non formano più un sistema a tre cerniere ma svolgono la loro funzione secondo il sistema statico della trave inflessa con semplice appoggio sugli arcarecci stessi, sono disposti ortogonalmente ad essi nel piano inclinato delle falde, formando un piano comune e perpendicolare alle falde. La struttura portante del tetto è così formata da due ordini di travi disposte ortogonalmente, tutte sollecitate a flessione e le reazioni trasferite alla sottostruttura sono esclusivamente verticali. Il numero di arcarecci non è limitato e dipende dalle dimensioni della copertura; di regola è sempre presente un arcareccio di colmo, in modo da poter realizzare anche costruttivamente il colmo del tetto appoggiandosi direttamente sulla struttura, mentre in concomitanza delle pareti esterne l’arcareccio di base è spesso rimpiazzato dalle pareti stesse, o funge da cordolo e architrave per queste ultime.

Il sistema strutturale degli arcarecci è, nel miglior caso quello di trave semplice, eventualmente con uno o due sbalzi alle estremità a formare l'avantetto; in caso di dimensioni più grandi dell'edificio gli arcarecci formeranno una trave su più appoggi (pareti interne o pilastri): in tal caso è possibile fare uso di sistemi di trave Gerber o di più travi indipendenti.

L'introduzione di una struttura portante di ordine ancora superiore, nei casi di luci molto ampie, porta infine all'impiego delle capriate, vere e proprie strutture formate da più elementi, disposte ortogonalmente rispetto agli arcarecci.

Nel caso in esame la struttura portante della copertura è costituita da un sistema di travi a vista in legno massiccio di pino (classe di resistenza C24 da UNI EN 338/2004), appoggiate ed opportunamente fissate, mediante l'impiego di dormienti in legno o di forcelle in acciaio realizzate con due profili UPN saldati su una piastra di base ancorata al cordolo con barre metalliche (figura 42), alla struttura di sostegno attraverso la realizzazione dei cordoli sulle pareti perimetrali del rudere e sulla muratura centrale che corre a spina dorsale dalla facciata principale a quella posteriore.

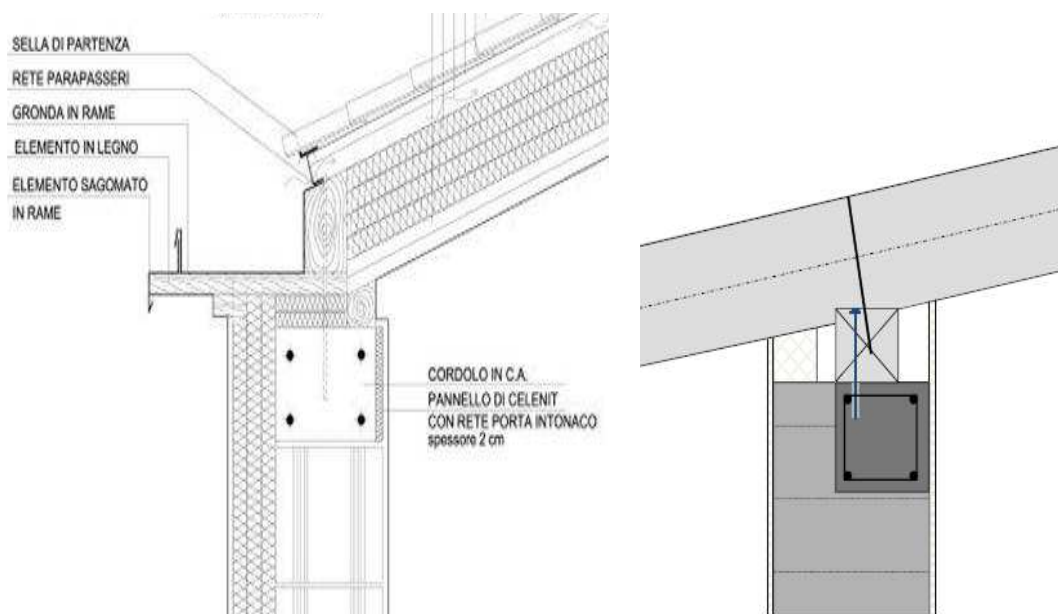


Fig. 42: Possibili soluzioni di ancoraggio fra copertura e parete verticale.

Il cordolo è per definizione l'elemento di collegamento fra le pareti e gli elementi orizzontali della struttura, cioè assicura la connessione strutturale e di conseguenza la trasmissione delle forze e la ripartizione dei carichi. Il cordolo deve dunque garantire la corretta introduzione delle forze nell'elemento di parete, sia per quanto concerne le forze verticali provenienti da solai, solette e coperture, che per quanto concerne le forze orizzontali dovute alla funzione di controventatura degli elementi orizzontali. In alcuni casi il cordolo assume anche la funzione di "centina" della parte superiore delle pareti.

E' opportuno ricordare che la normativa italiana più recente (NTC 2008) impone per le strutture a setti portanti in muratura la presenza obbligatoria di un cordolo continuo all'intersezione fra pareti e solai, descrivendone poi le caratteristiche minime. Sebbene per le costruzioni in legno non sia imposta la presenza del cordolo, appare evidente oltre che logica la sua importanza funzionale. In caso di tetto a falde per di più occorre tenere in considerazione l'inclinazione ed il fatto che la trasmissione di forze verticali tramite pressione di contatto richiede una superficie di contatto orizzontale fra gli elementi della copertura ed il cordolo.

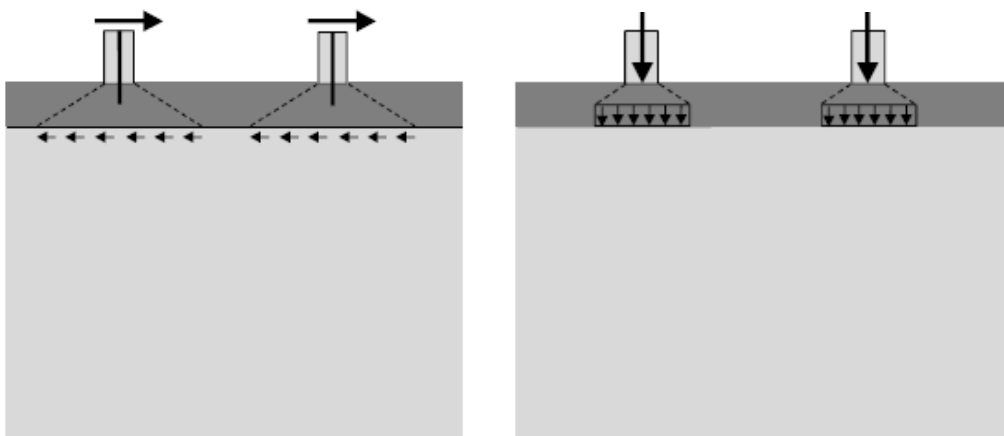


Fig. 43: distribuzione delle forze nel cordolo.

La notevole luce da coprire nel caso in esame esclude l'impiego di capriate preassemblate in legno a spessore sottile come quelle illustrate in figura 44, durante la fase della posa, o di tetti a mansarda con contraffisso orizzontale.

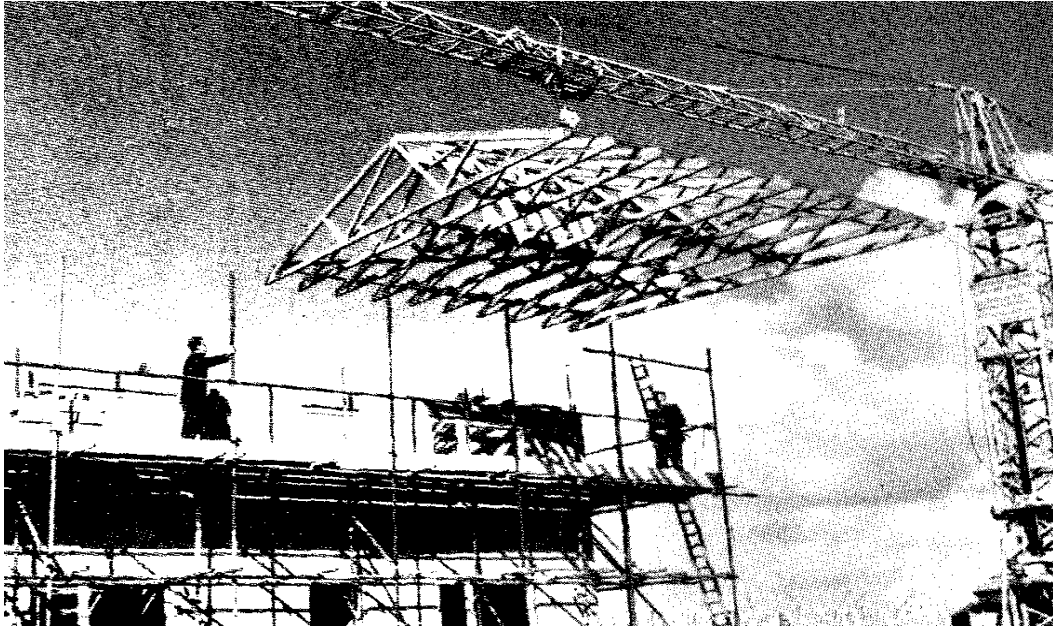
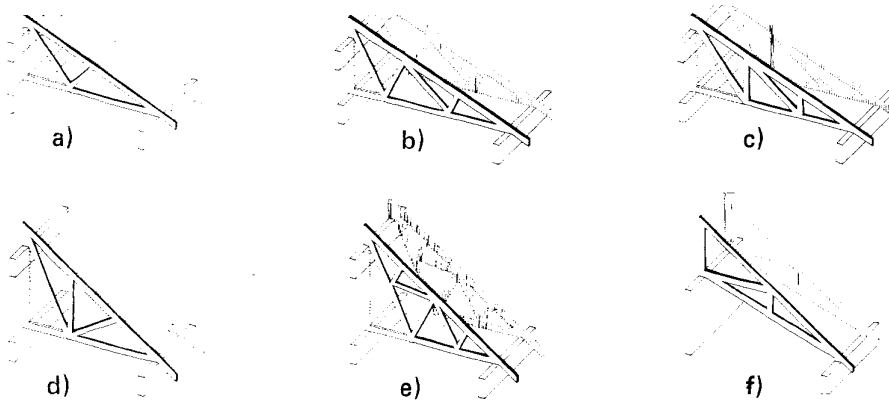


Fig. 44: posa in opera di capriate in legno a spessore sottile.

Per motivi di ingombro, essendo gli spazi interni soppalcati (vedi tavole di progetto e paragrafo 3.3.9), e al fine di soddisfare dunque l'esigenza di avere un ampio spazio sottotetto vivibile, si sceglie di realizzare la struttura con capriate monofalda "a forbice" (fig. f), le quali, a parità di resistenza meccanica, offrono una disposizione delle travature più consona all'impiego rispetto ad altri tipi di capriata (vedi figura: alla francese, a ventaglio, rovescia, ecc...).



I collegamenti fra le travi vengono eseguiti in maniera standard e verificati secondo le disposizioni delle normative vigenti, scegliendo fra le soluzioni che comportano il minor indebolimento delle sezioni resistenti (cfr. Allegato 3.16).

Un aspetto sicuramente essenziale nell'analisi strutturale della copertura è quello della stabilizzazione della struttura e della realizzazione di un'adeguata controventatura. Gli elementi formanti la controventatura sono sempre elementi piani (superfici) e devono poter assumere la funzione strutturale di lastra, con buone caratteristiche di resistenza e rigidità. Ciò si può ottenere attraverso la realizzazione di strutture reticolari con montanti, correnti e diagonali solitamente appaiate sotto forma di croci di Sant'Andrea, oppure tramite un rivestimento strutturale che permetta l'effetto di lastra, oppure ancora tramite un tavolato inchiodato obliquamente alla travatura principale e secondaria.

Può essere utile ricordare che il semplice rivestimento con uno strato di tavole non permette la creazione di una struttura reticolare ed è quindi da considerare come non efficace ai fini dell'irrigidimento. La considerazione delle sole sollecitazioni numeriche, risultanti dalle ipotesi di carico, non dà alcuna indicazione sulla stabilità globale effettiva della struttura, anzi, a causa della modesta entità delle forze in gioco, spesso strutture di questo genere non manifestano nessuna instabilità, grazie soprattutto all'attrito fra i vari elementi, che permette di ottenere rigidità e resistenza sufficienti almeno per lo stato di servizio normale (esclusi carichi eccezionali come uragani, sismi).

Con tali premesse, e sfruttando l'esperienza, il dimensionamento e la verifica numerica delle esigenze strutturali diventa relativamente semplice.

La presente trattazione del resto esula dal riportare i risultati dei calcoli strutturali e delle verifiche agli stati limite, rimandando alla bozza "NICOLE", alla ricca letteratura specializzata in strutture di legno e alle norme, citate in bibliografia.

Inoltre, come richiamato al paragrafo 2.2.3 del testo "Strutture in legno-calcolo e costruzione secondo DIN 1052" di G.Cenci la normativa afferma che *"[...] non è necessaria alcuna verifica di stabilità per quegli elementi costruttivi le cui caratteristiche siano note per esperienza o possano essere tratte da altre"*

prescrizioni [...]”. Nello stesso testo si trova un’importante indicazione di massima per il dimensionamento delle strutture: “Le sezioni di elementi portanti di parti costruttive in legno massiccio, ciascuna costituita da un sol pezzo, devono avere uno spessore minimo di 4 cm e una sezione minima di 40 cm², sempre che a causa dei sistemi di collegamento le misure minime necessarie debbano essere maggiori. Fanno eccezione a questa regola i listelli sottomanto di copertura.[...] I compensati strutturali devono avere spessore minimo di 10 cm ed essere composti da almeno 5 strati [...].”

Segue una lunga trattazione, molto utile, del calcolo di travi, aste e pilastri, coperture reticolari e collegamenti (bullonati, chiodati, incollati, con piastre e caviglie, etc.), nonché un interessante riferimento al British Standard CP112 per le modalità di esecuzione dei controlli e della manutenzione sulle strutture.

Per la definizione dei carichi agenti sulla struttura si fa riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni – NTC (DM 14.01.08 e DM di integrazione 06.05.08) di cui se ne riporta un estratto in Allegato 3.17. Sempre in allegato (All. 3.18) si include un esempio di dimensionamento e verifica di un tetto a falde inclinate tratto dal corso di approfondimento della Promolegno, in collaborazione con il Dipartimento di ingegneria meccanica dell’Università di Trento, tenutosi a Bologna in data 20/4/2012.

Per quanto concerne il calcolo dell’effetto delle azioni sismiche va precisato che, esplicandosi sul comportamento dinamico dell’intera struttura, risulta praticamente impossibile isolare un elemento dal complesso. La domanda sulla sicurezza sismica della sola copertura non può quindi, per principio, ricevere una risposta formalmente corretta. Solo in caso di coperture di piccole dimensioni può essere applicato il principio di calcolo definito al paragrafo 7.2.4 delle NTC.

Non si può prescindere invece dal richiamare brevemente alcune nozioni di fisica tecnica del tetto, data l’importanza che tali aspetti rivestono in un approccio progettuale volto essenzialmente all’efficienza energetica della copertura e dell’involucro edilizio in genere.

3.3.8.3 Fisica tecnica del tetto (cenni).

In base alle diverse funzioni che una copertura deve assolvere, di barriera contro i flussi di calore che fuoriescono (dispersioni) in inverno e che penetrano in estate, di impermeabilizzazione e di protezione contro vento e rumore, si possono individuare alcuni elementi fondamentali che ne caratterizzano la stratificazione (fig.45):

- Struttura portante (orditura in legno, X-Lam, legno lamellare,...)
- Tenuta all'aria/ elemento freno al vapore
- Coibentazione contro freddo, caldo e rumore
- Tenuta al vento/ elemento traspirante
- Secondo strato impermeabilizzante (sicurezza)
- Ventilazione per asciugare l'isolante, l'orditura e la copertura, e per ridurre lo scambio termico
- Primo strato impermeabilizzante/ copertura (tegole, pietre, legno,...)

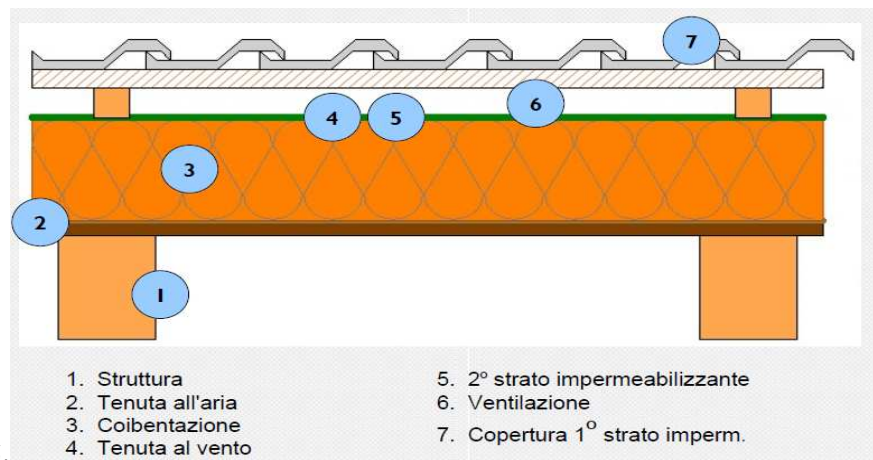


Fig. 45.

La realtà progettuale è, al contrario, molto più complessa e articolata, e tale complessità è legata a molteplici aspetti tra cui i principali sono:

- la compatibilità fisica, meccanica e chimica degli elementi/strati che garantiscono la funzionalità della copertura;
- la compatibilità prestazionale degli elementi/strati in funzione della prestazione obiettivo di progetto rispetto a specifiche esigenze di safety e security, di benessere per chi vive e occupa l'ambiente costruito, di

riduzione del fabbisogno energetico dell'edificio, di durabilità e manutenibilità, di aspetto;

- la compatibilità in termini di tempo di vita utile di ogni singolo elemento/strato rispetto alla durata dell'intero sistema.

Indipendentemente dalla soluzione tecnica o architettonica, la necessità di definire un'identità prestazionale del sistema, prima ancora della sua identità formale, è il punto di partenza per un buon progetto.

3.3.8.4 Requisiti caratteristici delle chiusure orizzontali superiori.

L'identità prestazionale del sistema di copertura non può prescindere dall'identificazione, in funzione del contesto di riferimento, di una serie di requisiti che caratterizzano il comportamento di una chiusura orizzontale superiore. Tra i requisiti critici si identificano:

Requisiti relativi a safety e security

Requisito		di sistema	di elemento/strato
<i>Resistenza meccanica</i>	Resistenza ai carichi statici (carico permanente e sovraccarico determinato dalla presenza di acqua e neve)	•	•
	Resistenza ai carichi dinamici (vento, sisma)	•	•
	Resistenza alle deformazioni	•	•
<i>Sicurezza al fuoco</i>	Resistenza al fuoco	•	
	Reazione al fuoco		•
	Tossicità fumo		•
<i>Sicurezza nell'uso</i>	Sicurezza da caduta	•	
	Visibilità degli elementi trasparenti	•	
	Scabrosità superficiale		•
<i>Protezione contro le azioni esterne</i>	Resistenza alle intrusioni		•
	Resistenza alle esplosioni	•	
	Resistenza all'abrasione		•
	Resistenza agli agenti chimici, biologici e radiativi		•
	Resistenza agli urti (da corpo duro e molle)	•	

Requisiti relativi alla sostenibilità e al contenimento dei consumi energ.

Requisito		di sistema	di elemento/strato
Contenimento dei consumi energetici	Embodied Energy	•	•
	Emissione CO ₂	•	•
	Riciclabilità	•	•

Requisiti relativi a benessere e igienicità

Requisito		di sistema	di elemento/strato
<i>Comfort termico e controllo condensa interstiziale</i>	Isolamento termico		•
	Controllo dell'inerzia termica	•	•
	Controllo della condensazione interstiziale	•	•
	Controllo della temperatura superficiale	•	•
	Controllo della temperatura aria-sole		•
<i>Comfort acustico</i>	Isolamento acustico	•	•
	Non rumorosità (in caso di fruibilità, pioggia battente o grandine)	•	•
	Assorbimento acustico		•
<i>Tenuta</i>	Tenuta all'acqua		•
	Permeabilità all'aria		•
	Assorbimento capillare		•
	Capacità di deflusso acque meteoriche	•	•
<i>Greenability</i>	Recupero acqua meteorica	•	•
	Attrezzabilità a verde	•	•
<i>Comfort tattile</i>	Interno ed esterno (se copertura praticabile)		•
<i>Qualità dell'aria</i>	Non emissione di sostanze nocive (VOC, ozono, radon)		•

Requisiti relativi alla sicurezza in fase di costruzione

Requisito		di sistema	di elemento/strato
<i>Trasportabilità dei componenti/materiali</i>	Dimensione e volume		•
<i>Stoccaggio in cantiere</i>	Stoccaggio		•
	Inflammabilità	•	•

Requisiti relativi all'aspetto

Requisito		di sistema	di elemento/strato
<i>Regolarità di aspetto</i>	Uniformità di colore		•
	Planarità		•
	Uniformità della superficie		•

Requisiti relativi alla durabilità e alla manutenibilità

Requisito		di sistema	di elemento/strato
<i>Resistenza agli agenti naturali</i>	Resistenza alle temperature		•
	Resistenza agli agenti radiativi		•
	Resistenza ai raggi UV		•
	Resistenza allo shock termico		•
	Resistenza agli agenti biologici (muffe)		•
	Resistenza alle piogge acide		•
	Controllo dei depositi differenziali di polveri	•	
<i>Resistenza agli agenti chimici e alle azioni meccaniche</i>	Resistenza all'usura da calpestio (veicolare e pedonale)		•
	Resistenza agli agenti chimici		•
<i>Compatibilità fisico-chimica degli strati</i>	Resistenza ai carichi (distribuiti e concentrati)		•
	Compatibilità chimica		•
<i>Manutenzione</i>	Pulibilità	•	•
	Sostituibilità	•	•
<i>Flessibilità</i>	Sostituibilità finitura interna	•	•
	Up-grading prestazionale dal punto di vista termico	•	•
	Compatibilità tecnologica con elementi/superfici verticali	•	
	Compatibilità architettonica con elementi/superfici verticali	•	

Sintetizzando si può affermare che, per quanto concerne la prestazione invernale, sicuramente il parametro chiave è la trasmittanza ($W/mq^{\circ}K$) calcolata con l'ausilio della norma UNI EN ISO 6946, mentre la norma di riferimento per la determinazione della trasmittanza dinamica ($W/mq^{\circ}K$) utile a descrivere la prestazione della chiusura in regime estivo è la UNI EN ISO 13786.

3.3.8.5 Considerazioni preliminari.

Al fine di limitare il fabbisogno per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti (esigenza che trova peraltro riscontro anche nelle disposizioni legislative attualmente in vigore), è opportuno verificare il comportamento “inerziale” della chiusura. Durante la stagione estiva, inoltre, il calcolo degli apporti solari sulla parte opaca (che di solito viene trascurato nei calcoli in stagione invernale) può assumere un significativo contributo nel bilancio energetico.

Il comportamento inerziale delle strutture che definiscono l’ambiente in esame può essere verificato attraverso la valutazione di due parametri: il fattore di attenuazione f_a ed il coefficiente di sfasamento Φ . Il riferimento normativo per il calcolo di questi fattori è la UNI EN ISO 13786:2001.

- Il fattore di attenuazione f_a è uguale al rapporto fra il massimo flusso della parete capacitiva ed il massimo flusso della parete a massa termica nulla; esso dunque qualifica la riduzione di ampiezza dell’onda termica nel passaggio dall’esterno all’interno dell’ambiente attraverso la struttura in esame (vedi figura 46).
- Il coefficiente di sfasamento Φ (espresso in ore) rappresenta il ritardo temporale del picco di flusso termico della parete capacitiva rispetto a quello istantaneo, nel passaggio dall’esterno all’interno dell’ambiente attraverso la struttura in esame (fig. 46).

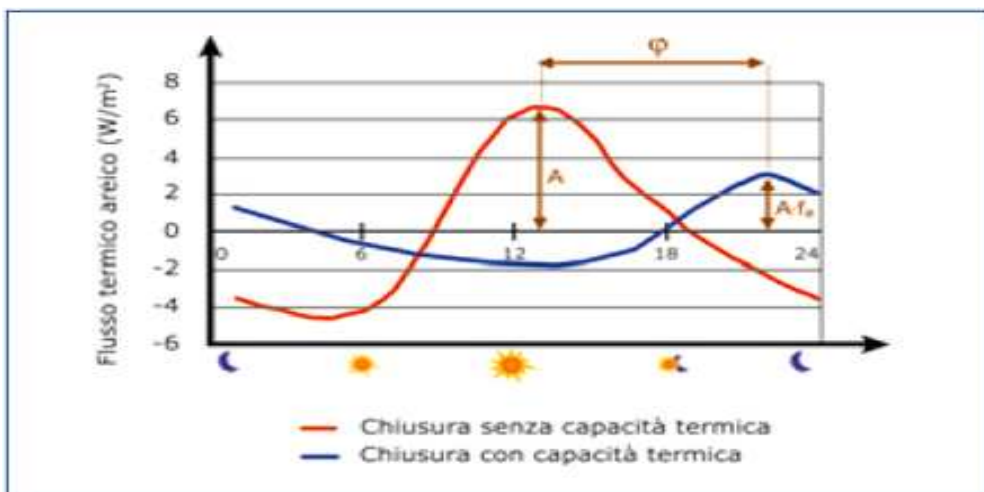


Figura 46.

Il DPR 59/09, attuativo del DLgs 192/05, integrato e coordinato dal Dlgs 311/06, dà delle prescrizioni molto precise sulla prestazione estiva delle strutture, con particolare attenzione alle coperture. In particolare viene prescritto che tutte le strutture opache orizzontali ed inclinate abbiano un valore del modulo della trasmittanza termica periodica Y_{ie} inferiore a $0,20 \text{ W/mq}^\circ\text{K}$ (nelle località con valori consistenti di irraggiamento solare). La trasmittanza termica periodica Y_{ie} è il parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore, definita e determinata secondo la norma UNI EN ISO 13786 e successivi aggiornamenti.

Nonostante la legge prescriva come limite accettabile della trasmittanza periodica Y_{ie} un valore inferiore a $0,20 \text{ W/mq}^\circ\text{K}$, per assicurare migliori condizioni di comfort e riduzione di consumi relativi al condizionamento estivo è necessario migliorare le prestazioni delle coperture opache progettandole con valori di trasmittanza termica periodica Y_{ie} inferiori a $0,12 \text{ W/mq}^\circ\text{K}$.

Dal parametro prescritto dipende il coefficiente di sfasamento dell'onda termica: in dipendenza dalle caratteristiche delle strutture intercorre infatti un certo tempo tra il momento in cui si verifica la massima temperatura sulla superficie esterna e quello in cui tale picco (attenuato) si manifesta sulla superficie interna. Tale intervallo temporale si definisce "sfasamento" o ritardo dell'onda termica.

Le Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici (pubblicate in gazzetta Ufficiale il 10 luglio 2009) inseriscono lo sfasamento fra i parametri per la valutazione della qualità dell'involucro edilizio; per ottenere una qualità dell'involucro definita dalle linee guida "buona" lo sfasamento temporale deve essere di almeno 10 ore. Un valore comunque accettabile dello sfasamento è di norma superiore alle otto ore. Nei nostri climi la temperatura massima estiva esterna della falda del tetto si verifica verso le ore 14. Il picco di temperatura si verifica sulla superficie interna con otto ore di ritardo, cioè alle 22, momento in cui è possibile ventilare gli ambienti con aria esterna che a quell'ora è più fresca. Diverso è il caso di uno sfasamento ad esempio di sole 2 ore. In questo caso

infatti e cioè verso le ore 16, l'aria esterna è ancora notevolmente calda e viene a mancare il raffrescamento notturno.

Nelle mansarde o nei locali all'ultimo piano, la superficie radiante è molto ampia essendo costituita dall'intero soffitto e può incidere quindi in maniera decisiva sul confort del corpo umano. Risulta pertanto essenziale realizzare una coibentazione che unisca ad una buona trasmittanza periodica, un ottimale sfasamento.

La posizione in cui lo strato isolante viene inserito nella chiusura ha ripercussioni sulla dinamica dello scambio termico, sebbene in regime stazionario esso risulti essere ininfluenza. Posizionando l'isolamento sul lato interno di una chiusura se ne separa la massa termica dal contatto diretto con l'ambiente. In questo modo esso sarà portato a regime molto più rapidamente da un eventuale impianto di climatizzazione, così come si allontanerà velocemente dalle condizioni di equilibrio raggiunte una volta che l'impianto sarà spento. Al contrario, se l'isolamento termico viene posto sul lato esterno di una chiusura, la massa termica della stessa viene inglobata in quella dell'ambiente. In questo modo le fluttuazioni delle temperature sia dell'aria, sia superficiali, risultano essere mitigate. Sotto queste condizioni l'ambiente impiega più tempo a riscaldarsi e raffreddarsi rispetto a quanto avveniva nel caso precedente.

Occorre naturalmente assicurarsi dell'assenza di fenomeni di condensa interstiziale, come stabilito dalla procedura indicata nella UNI EN ISO 13788 e che sia assicurata una permeabilità all'aria minima, come indicato nella UNI EN 13829.

In un componente edilizio posto fra due ambienti si ha condensazione interstiziale quando il vapore acqueo che lo attraversa condensa all'interfaccia fra due strati oppure all'interno dei pori dei materiali costituenti gli strati del componente edilizio stesso. Le forzanti sono la differenza di pressione e la differenza di temperatura – anche se quest'ultima in misura minore – fra i due ambienti (interno/esterno o interno/interno) separati dal componente edilizio considerato, mentre i parametri che intervengono nel regolare il fenomeno sono le resistenze termiche e le permeabilità al vapore di ogni strato.

Si ha invece condensazione superficiale, ovvero la formazione di condensa sulla superficie interna e/o esterna dei componenti edilizi, quando la temperatura superficiale scende al di sotto della temperatura di rugiada. Le forzanti sono quindi la temperatura e l'umidità relativa ambientali e della superficie interessata, mentre ad intervenire nella regolazione del fenomeno vi è anche la rugosità della superficie.

In generale i punti critici per la formazione di condensazione sia superficiale che interstiziale sono in corrispondenza di ponti termici e di discontinuità delle proprietà igrotermiche. Luoghi preferenziali per la condensazione sulle superfici interne sono inoltre tutti i punti in cui è limitata la circolazione ed il ricambio dell'aria. Da qui l'esigenza di assicurare un'adeguata ventilazione della copertura. Particolare cura si deve porre anche alla realizzazione del cordolo di attaccatura alla sommità delle due falde, dove il ponte termico deve mostrare un comportamento omogeneo in relazione al flusso termico, come mostrato in figura 47.



Figura 47: termografia all'infrarosso del nodo strutturale al colmo del tetto ventilato.

Gli effetti principali dei fenomeni condensativi riguardano lo sviluppo di condizioni favorevoli allo sviluppo di muffe, l'incremento della conducibilità termica dei materiali e la predisposizione allo sviluppo di processi di degrado dei materiali. La condensazione superficiale può favorire la proliferazione di organismi biologici (muffe, funghi, ecc.), che possono generare condizioni insalubri, dare luogo a fenomeni di degrado (specie per il legno) e produrre discomfort termoigrometrico.

In caso di accumulo di acqua di condensa interstiziale negli strati isolanti, invece, si può avere un decadimento della resistenza termica. I prodotti isolanti hanno infatti bassa conducibilità termica in ragione della presenza nei loro pori – di ridotte dimensioni – di aria ferma che ha bassa conducibilità termica (da circa $0.0222 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ a -20°C a circa $0.0272 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ a $+50^\circ\text{C}$). L'acqua che si accumula nei pori (sostituendosi all'aria o ad altra miscela di gas) ha invece una conducibilità termica molto maggiore (pari a $0.61 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ a 20°C e pari a $2.30 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ a -20°C , quindi ghiaccio) e per questo motivo l'effettiva conducibilità globale dello strato (matrice solida più acqua, nei suoi stati di aggregazione, ed aria) risulta molto maggiore di quella di progetto.

Un altro effetto dell'accumulo di condensa interstiziale è il favorire processi di degrado dei materiali. Anche qualora non si abbia formazione di ghiaccio, l'acqua accumulata indebolisce meccanicamente i materiali, che risultano quindi maggiormente sensibili alle variazioni dimensionali dovute alle variazioni cicliche e giornaliere di temperatura. I cicli di condensazione interstiziale costituiscono inoltre un motivo di variazione del contenuto d'acqua e danno quindi luogo a variazioni dimensionali dovute all'umidità. La presenza, infine, di quantità rilevanti di acqua nei pori consente la migrazione di sali igroscopici e quindi lo sviluppo di fenomeni quali efflorescenze e cripto-efflorescenze.

I più noti metodi di valutazione del rischio di condensazione interstiziale sono quelli del tipo di Glaser (come in UNI EN ISO 13788), che considerando la diffusione del vapore acqueo (secondo la legge di Fick) indicano rischio di condensazione interstiziale quando la pressione parziale del vapore (ovvero la

differenza di pressione fra i due ambienti separati dal componente edilizio) raggiunge la pressione di saturazione. Nella norma UNI EN ISO 13788 è inoltre proposto un metodo per la valutazione del rischio di condensazione superficiale, che consente di calcolare, in funzione di temperatura ed umidità relativa interna, la temperatura superficiale interna sotto cui è probabile la proliferazione di muffe.

Esistono modelli più avanzati (richiamati anche nella stessa norma), in genere alle differenze finite, che considerano come forzanti i dati climatici orari, per il calcolo del trasporto accoppiato di calore ed umidità, i quali permettono una valutazione più precisa dell'andamento del contenuto d'acqua nei componenti edilizi. Questi modelli di calcolo necessitano però di una rilevante quantità e precisione dei dati in ingresso (sia per quanto concerne i dati climatici che per le proprietà igrotermiche dei materiali) e sono attualmente diffusi solo in ambito di ricerca.

Si è visto dunque come calcolare con precisione la formazione di condensa e la sua posizione all'interno di un componente edilizio risulti estremamente complesso, ma se fra gli scopi della progettazione vi è l'evitare la presenza di acqua all'interno dei componenti edilizi, non ci si può limitare a considerare l'acqua dovuta ai fenomeni condensativi; occorre pertanto, prima di tutto, garantire la tenuta all'acqua. Per controllare i rischi di condensazione, quando l'apporto di acqua da altre fonti è stato governato, è opportuno agire sia sulla ventilazione degli ambienti interni (garantendo i ricambi d'aria e quindi il controllo dell'umidità relativa interna) e delle intercapedini sottotetto (per evitare il raggiungimento di elevati valori di umidità relativa dell'aria esterna rispetto agli strati di isolamento), sia sulla scelta dei materiali, prediligendo una disposizione di strati avente resistenza alla diffusione del vapore decrescente dall'interno verso l'esterno ed effettuando un'attenta valutazione dell'utilizzo di uno strato di barriera al vapore, considerando i dettagli costruttivi.

Se si introduce un freno o una barriera al vapore, infatti, ne va garantita innanzitutto la continuità, che risulta peraltro fortemente dipendente dalla posa in

opera. Bisogna inoltre considerare se la riduzione o il totale impedimento della diffusione del vapore possa avere conseguenze sugli strati o sugli elementi interni (ad esempio rasature a gesso o elementi metallici). Una barriera al vapore deve invece essere necessariamente prevista all'intradosso di uno strato isolante, qualora sopra di questo sia disposta una membrana impermeabile.

Se si introduce uno strato di micro-ventilazione sottotetto può risultare opportuno disporre sopra l'isolante uno strato traspirante impermeabile all'acqua, poiché occorre fare in modo che il vapore acqueo permeato non condensi sulla superficie esterna dell'isolante e comunque, nel caso di eventuale condensa superficiale, occorre evitare che l'acqua allo stato liquido possa essere adsorbita e permeare all'interno dell'isolante (per diffusione superficiale, assorbimento capillare e gravità, come discusso sopra).

In generale è preferibile evitare un isolamento dall'interno (a meno di esigenze particolari come nei casi di recupero), visto che la condensazione interstiziale sarebbe favorita (essendo minore la pressione di saturazione poiché a temperature inferiori l'aria può contenere una minore quantità di acqua) e risulterebbe estremamente difficile garantire la continuità di una barriera al vapore in corrispondenza dei nodi costruttivi. È inoltre consigliabile introdurre intercapedini d'aria all'estradosso dell'isolante.

Un altro importante aspetto da governare è, infine, la tenuta all'aria dell'involucro, poiché in presenza di rilevanti infiltrazioni ed exfiltrazioni l'umidità relativa interna risulta difficile da controllare.

Appare quindi chiaro che, per evitare fenomeni di condensa (interstiziale e superficiale), occorre curare la progettazione e la realizzazione dell'organismo edilizio nel suo insieme. In sintesi si può affermare che assicurare condizioni di comfort per l'utenza significa anche garantire "condizioni di comfort per l'edificio", migliorandone il comportamento nel tempo e le prestazioni globali.

La ventilazione permette il miglioramento del funzionamento dinamico delle soluzioni di copertura ed in particolare è consigliata quando si ha la necessità o l'obiettivo di:

- asportare parte dell'energia termica dovuta all'irradiazione solare e incidente sulla copertura. Tale effetto risulta essere particolarmente benefico durante la stagione estiva;
- trasferire verso l'esterno il vapore acqueo contenuto all'interno degli ambienti sottostanti la copertura. In questo modo è possibile evitarne la condensa e il ristagno in corrispondenza dell'isolante o della struttura, determinando così una maggiore durata ed efficienza del componente edilizio. Tale effetto risulta essere particolarmente benefico durante la stagione invernale (figura 48).

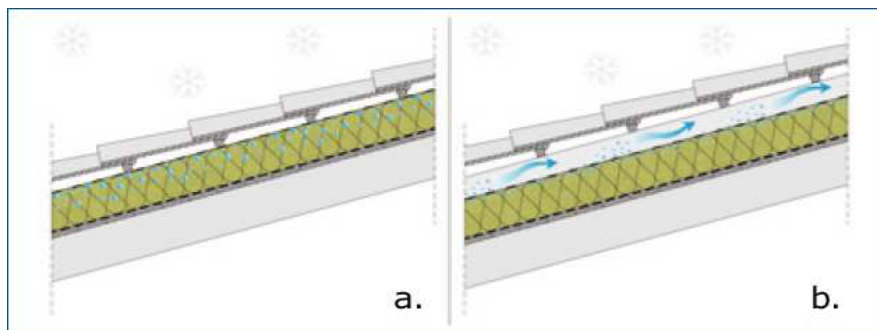


Fig. 48: effetti della ventilazione nella stagione invernale: allontanamento del vapore acqueo
 a. Copertura non ventilata; b. Copertura ventilata.

Una copertura viene considerata ventilata quando nella successione degli strati funzionali della stessa viene inserito uno strato costituito da una intercapedine di ventilazione collocata tra l'isolamento termico e il rivestimento di copertura. In questo modo è possibile sfruttare la massa termica dell'elemento strutturale, oltre a proteggerlo dall'esposizione ad elevati sbalzi di temperatura. Tale intercapedine deve avere un adeguato spessore in rapporto allo sviluppo complessivo della copertura ed essere messa in diretto contatto con l'ambiente esterno. Particolare riguardo va posto alle stratigrafie limitrofe all'intercapedine stessa, che non dovranno avere punti di contatto tra loro.

Non viene considerato come tetto ventilato una copertura realizzata con sistemi discontinui e in cui sia presente solamente la microventilazione sottotegola effettuata con listelli distanziatori per le tegole di almeno 2 cm di spessore (UNI 8627). Nel caso di irraggiamento medio ed elevato la

microventilazione risulta essere insufficiente per l'asportazione dell'energia termica incidente sulla copertura, mentre risulta essere ancora efficace per lo smaltimento dell'umidità in eccesso proveniente dagli ambienti riscaldati.

Nel caso la ventilazione venga utilizzata per la riduzione dei carichi termici estivi (figura 49) agenti sulla copertura e trasmessi all'ambiente interno, è possibile ottenere una riduzione degli stessi compresa tra il 20 e il 40%, in relazione rispettivamente allo spessore minore o maggiore di isolamento realizzato. L'asportazione dei carichi risulta essere inoltre direttamente correlata allo spessore di intercapedine ventilata considerata. Di norma si nota come la capacità di asportare l'energia incidente cresca all'aumentare dello spessore dell'intercapedine ventilante fino ad assestarsi intorno a un valore costante al di sopra dei 15 cm di spessore. Si considera come ottimale un valore di almeno 7 cm di spessore. Parlando di spessore di intercapedine ci si riferisce all'altezza netta della stessa. Qualsiasi interruzione o variazione della forma dovuta alla presenza di sottostrutture di supporto lignee o metalliche del rivestimento di copertura o da eventuali interruzioni realizzate per l'inserimento di serramenti o lucernari, aumentando le perdite di carico e riducendo la sezione dell'intercapedine, peggiora il meccanismo di funzionamento della stessa.

Nel caso della copertura in esame la disposizione e la modesta superficie dei serramenti rispetto alle dimensioni totali della copertura sono tali da non generare simili problematiche.

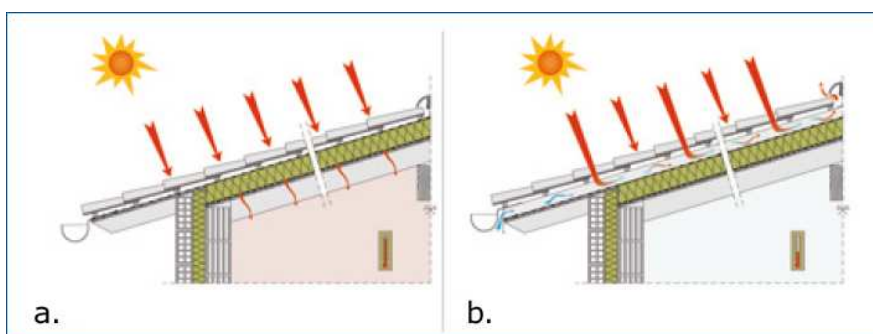


Fig. 49: Effetti della ventilazione nella stagione estiva: asportazione dell'energia termica dovuta alla radiazione solare. a. Copertura non ventilata; b. Copertura ventilata

La portata d'aria attraverso l'intercapedine, che si traduce nell'effetto benefico di riduzione dei carichi termici estivi, viene a dipendere, oltre che dalle dimensioni e forma dell'intercapedine, anche dalla velocità dell'aria all'interno della stessa. Tale velocità dipende principalmente da due fattori:

- dai gradienti positivi di temperatura dovuti all'irraggiamento solare sulla copertura o dal calore proveniente dall'ambiente interno;
- dalla pressione cinetica del vento e dalle sue relative variazioni in corrispondenza di aperture di entrata e uscita lungo tutto lo sviluppo della copertura.

Se l'aria contenuta nell'intercapedine ha una temperatura maggiore rispetto alla temperatura dell'aria dell'ambiente circostante, si crea all'interno dell'intercapedine una spinta ascensionale termica direttamente proporzionale all'inclinazione della copertura. Maggiore sarà la pendenza della stessa, maggiore sarà la spinta.

La forzante termica non risulta tuttavia essere il meccanismo preponderante per la movimentazione dell'aria nelle intercapedini ventilate del tetto, dato che un grande contributo è dovuto dalla spinta cinetica del vento, specialmente durante i periodi invernali, in cui l'irradiazione solare risulta essere molto bassa. La pressione del vento si distribuisce in maniera non uniforme lungo la superficie irregolare dell'edificio e della copertura. A zone a maggiore pressione si contrapporranno zone soggette a minore pressione e in ogni caso si avrà costantemente una dipendenza diretta dalla direzione e dalla intensità del vento.

A causa di queste variabilità delle condizioni al contorno non è immediato definire aprioristicamente l'eventuale localizzazione di una efficace apertura d'ingresso e una di uscita dell'aria in circolazione nell'intercapedine della copertura. Di norma vengono localizzate alla base e al colmo del tetto.

Per il tiraggio naturale del tetto è importante la dimensione delle aperture in corrispondenza delle gronde, per garantire un elevato apporto d'aria, specialmente in coperture che presentano basse infiltrazioni d'aria in corrispondenza dei giunti tra elementi di rivestimento. Allo stesso modo è

importante controllare il nodo tecnologico del colmo di copertura, che normalmente è la zona in cui viene garantita la fuoriuscita dell'aria del tetto.

Per strutture e geometrie complesse, in termini di superfici e di canali, la circolazione dell'aria all'interno della copertura potrebbe essere notevolmente ostacolata. Potrebbe risultare utile in questi casi eseguire un'analisi puntuale e il più possibile dettagliata della circolazione dell'aria. A tal fine ci si può servire di simulazioni fluidodinamiche del comportamento dell'intercapedine ventilata.

E' però doveroso ricordare che la non perfetta conoscenza della geometria del sistema, nonché l'incerta stima di coefficienti di attrito e di scambio termico delle superfici analizzate potrebbero vanificare il risultato di simulazioni anche particolarmente raffinate. Ogni copertura andrebbe considerata caso per caso, evitando di trasferire tipologie edilizie e tecnologie senza soffermarsi ad analizzare adeguatamente il contesto in cui si andrà ad operare.

Al fine di garantire un efficiente funzionamento delle coperture ventilate, dunque, risulta necessario effettuare un'adeguata progettazione dei componenti, tenendo conto in particolare di alcuni fattori e valori di riferimento.

- per una copertura ventilata la sezione dell'intercapedine o del canale di ventilazione deve avere una superficie che varia tra un minimo di 400 cm² per ogni metro lineare di sviluppo della falda del tetto fino a un massimo di 800 cm² per ogni metro lineare di sviluppo della falda del tetto;
- per una copertura microventilata è necessario garantire una superficie di intercapedine di minimo 200 cm² per ogni metro lineare di sviluppo della falda del tetto;
- deve essere assicurata sulla copertura una adeguata sezione di ingresso dell'aria in corrispondenza della linea di gronda e di uscita in corrispondenza del colmo. Vanno quindi evitate eventuali ostruzioni;
- si deve garantire la migliore e maggiore pendenza possibile alla copertura;
- in inverno la ventilazione non risulta essere conveniente dal punto di vista del risparmio energetico dato che tende a ridurre la resistenza termica della superficie di copertura, ma anche a favorire il raffreddamento delle superfici a contatto con l'ambiente interno, aumentando

conseguentemente le dispersioni. Sarebbe opportuno, in fase di progettazione e realizzazione, prevedere sistemi in grado di annullare la ventilazione invernale, garantendo solo un minimo di flusso necessario all'asportazione della condensa prodotta negli ambienti interni.

Resta da valutare in fase progettuale la possibilità e l'opportunità di stabilire un collegamento con l'intercapedine della parete ventilata, purchè ciò non influisca negativamente sul comportamento dei due sistemi, aumentando le perdite di carico anziché favorire l'effetto di tiraggio.

Infine, per le prestazioni di isolamento acustico, si può fare riferimento alle ISO 140-5 e ISO 717-1. Il D.P.C.M. 5/12/97 classifica gli edifici in base alla loro destinazione d'uso e definisce i livelli prestazionali di edifici e di loro componenti in opera, i requisiti acustici di sorgenti sonore all'interno degli edifici ed i livelli di rumorosità da esse indotti, oltre ai parametri descrittivi delle prestazioni e alle metodologie di misura. Le prescrizioni ivi contenute riguardano il potere fonoisolante apparente R'_{w} , il livello di rumore di calpestio $L'_{n,w}$ e l'isolamento di facciata $D_{2m,nT,w}$.

Nel caso dell'isolamento acustico di facciata la previsione dei livelli prestazionali ottenibili richiede la conoscenza del potere fonoisolante misurato in laboratorio (R_w) sia della parte opaca che di quella trasparente. Mentre per gli elementi verticali di edificio questi dati sono di facile reperibilità, risulta in genere difficile disporre di dati di laboratorio attendibili per le coperture inclinate, soprattutto per quelle con struttura lignea. Per ovviare a questa mancanza di dati, sono state svolte ricerche presso il Laboratorio di Acustica del Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università degli Studi di Padova che hanno portato alla determinazione sperimentale dei valori del potere fonoisolante di venticinque coperture in legno, realizzate con cinque modalità costruttive differenti e che utilizzano come strato di isolamento termico combinazioni di pannelli Celenit di vari materiali ecobiocompatibili, come la lana di legno, il sughero compresso, le fibre di legno e la lana di canapa.

Tali dati, in combinazione con quelli degli elementi trasparenti di copertura (finestre da tetto, lucernai, abbaini, etc.), permettono una corretta applicazione dei metodi previsionali per la valutazione delle prestazioni di fonoisolamento dell'involucro edilizio nel caso di sottotetti abitati.

I risultati sperimentali hanno mostrato un andamento in frequenza del potere fonoisolante sostanzialmente analogo per tutte le tipologie di copertura analizzate con indici mononumerici di valutazione del potere fonoisolante R_w compresi fra 40 e 51 dB. Questi valori permettono di conseguire, in abbinamento a serramenti adeguati, prestazioni in opera in grado di soddisfare i limiti di legge per le diverse destinazioni d'uso degli edifici, riportati nella tabella seguente.

Tabella I - Classificazione degli ambienti abitativi e requisiti acustici passivi degli edifici relativi all'isolamento standardizzato di facciata (D.P.C.M. 5/12/97).

Classificazione degli ambienti abitativi	Isolamento acustico standardizzato di facciata $D_{2m,nT,w}$ [dB]
- Categoria D: edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili	45
- Categoria A: edifici adibiti a residenza o assimilabili	40
- Categoria C: edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili	
- Categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	48
- Categoria B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili	42
- Categoria F: edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili	
- Categoria G: edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili	

3.3.8.6 La struttura interna della copertura.

Date le premesse svolte finora e sulla base delle osservazioni e delle analisi contenute nei precedenti paragrafi, si procede alla definizione della stratigrafia per la chiusura orizzontale in oggetto ed al successivo calcolo dei parametri che ne caratterizzano il comportamento termoigrometrico.

In dettaglio, la struttura interna del tetto, procedendo dallo strato interno a quello esterno, risulta così composta:

1. doppio tavolato incrociato di spessore 6 cm (3+3). Il tavolato, poggiato ed opportunamente collegato alla travatura di sostegno, rimanendo a vista, sarà realizzato in legno di pino silvestre (legname locale e disponibile) per garantire una continuità cromatica ed estetica con gli altri elementi architettonici (pareti, arredi e travature stesse). Il tavolato, grazie alle proprietà igroscopiche del legno, funge anche come primo organo di tenuta all'aria ed elemento freno al vapore;
2. pannello CELENIT N di spessore 30 mm a copertura continua in grado di eliminare i ponti termici;
3. strato isolante in CELENIT LC30 o in alternativa in pannelli TermoCanapa. Si è scelta ancora la fibra di canapa, come nel caso dell'isolamento delle pareti perimetrali, nonostante, nel caso della copertura, i bassi valori di densità e di resistenza alla diffusione del vapore possono costituire un aspetto problematico. Dopo aver analizzato le proprietà della chiusura si valuterà la sostituzione con pannelli in fibra di legno CELENIT FL/150, che presenta una densità di 160 Kg/mc (secondo UNI EN 13171) e un coefficiente di resistenza al vapore di 5, a fronte dei valori 40 Kg/mc e 2 riscontrati nel CELENIT LC30;
4. un altro strato di pannelli CELENIT N di spessore 20 mm a supporto della guaina;
5. guaina traspirante termoriflettente Dupont Tyvek Enercor Roof, le cui caratteristiche principali sono elencate nella tabella sottostante, eventualmente sostituibile con CELENIT GT/125. Per ulteriori informazioni si rimanda al

catalogo CELENIT (cfr. allegati). Nel medesimo catalogo si trova anche una serie di accessori utili nella realizzazione di un tetto ventilato (roll-fix, portalistelli, pettini parapassero);

6. listelli e controlistelli per la ventilazione 10 cm (5+5);
7. rivestimento esterno.

DuPont™ Tyvek® Enercor®

Secondo UNI EN 13859-1 e UNI EN 13859-2

Descrizione: guaina traspirante, **termoriflettente**, resistente all'acqua, antistrappo, composta da un materassino di fibre libere di polietilene ad alta densità termolegate, metallizzato su una faccia. Viene prodotto in due versioni: DuPont™ Tyvek® Enercor® Roof utilizzato nelle coperture inclinate e DuPont™ Tyvek® Enercor® Wall utilizzato nelle pareti.

	Wall	Roof
Peso g/m ²	83	148
Diffusione del vapore acqueo s _d m	0,08	0,015
Emissività	0,15	0,15
Lunghezza rotolo m	50	50
Larghezza rotolo m	1,5	1
Peso rotolo kg	7	7,4
Superficie rotolo m ²	75	50



I vantaggi riscontrabili con tale tipologia stratigrafica sono:

- ottimo isolamento termico e acustico;
- protezione contro irraggiamento solare e fenomeni meteorici;
- assenza di ponti termici significativi;
- traspirabilità ed assenza di condensazione;
- costruzione a secco;
- leggerezza ed economicità;
- resistenza meccanica ed elevata durabilità.

Durante la fase di posa in opera occorre:

- realizzare un opportuno dente d'arresto lungo la linea di gronda;
- posare i pannelli in CELENIT N all'estradosso dell'assito di copertura ben accostati e sfalsati, ed ancorati al solaio mediante fissaggi meccanici;
- continuare a disporre gli strati isolanti;

- fissare meccanicamente agli elementi portanti i listelli di ventilazione al di sopra del DuPont Tyvek;
- posare gli elementi di supporto del manto di copertura.

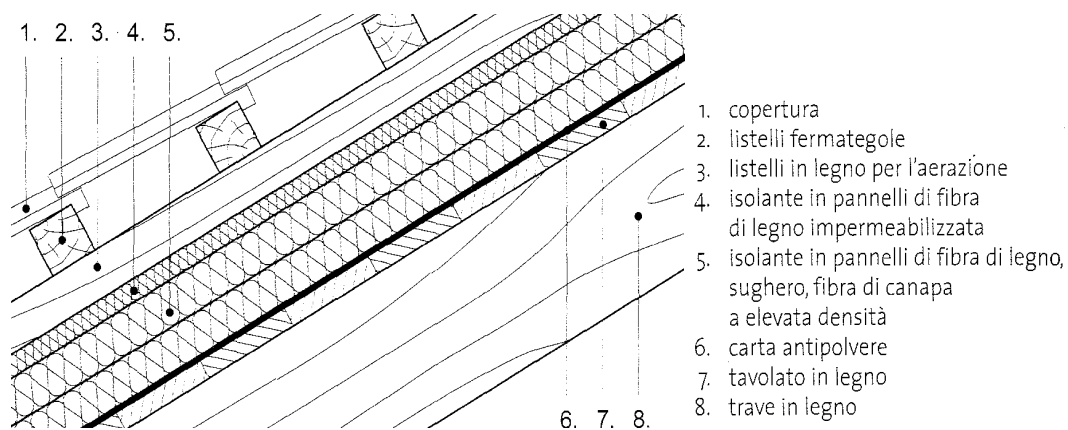


Fig. 50: Composizione stratigrafica del tetto ventilato (sezione).

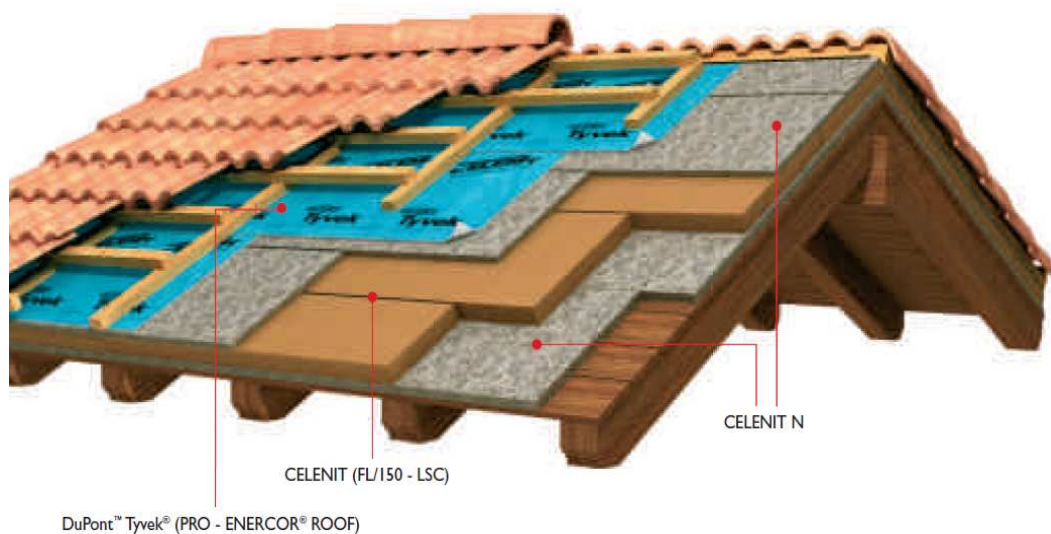


Fig. 51: Particolari dell'isolamento del tetto ventilato.

I valori prestazionali forniti dal produttore per la realizzazione di uno dei pacchetti standardizzati di copertura sono sintetizzati nella tabella successiva.

Tipo	Trasmittanza termica [W/m ² K]	Trasmittanza termica periodica [W/m ² K]	Sfasamento	Pacchetto	Peso [kg/m ²]	R _w [dB]
4/I	0,27	0,08	11H54'	DuPont™ Tyvek® Pro + N sp. 20 mm + FL/150 sp. 100 mm + N sp. 30 mm	156	40
4/IE	0,25	0,06	12H49'	DuPont™ Tyvek® Enercor® Roof + N sp. 20 mm + FL/150 sp. 100 mm + N sp. 30 mm		
4/L	0,31	0,11	10H34'	DuPont™ Tyvek® Pro + N sp. 20 mm + FL/150 sp. 80 mm + N sp. 30 mm	153	40 45* 47**
4/LE	0,28	0,08	11H30'	DuPont™ Tyvek® Enercor® Roof + N sp. 20 mm + FL/150 sp. 80 mm + N sp. 30 mm		
4/M	0,37	0,16	9H16'	DuPont™ Tyvek® Pro + N sp. 20 mm + FL/150 sp. 60 mm + N sp. 30 mm	150	40
4/ME	0,33	0,17	10H11'	DuPont™ Tyvek® Enercor® Roof + N sp. 20 mm + FL/150 sp. 60 mm + N sp. 30 mm		
4/O	0,33	0,14	9H39'	DuPont™ Tyvek® Pro + N sp. 20 mm + LSC sp. 80 (40+40) mm + N sp. 30 mm	152	-
4/OE	0,30	0,10	10H36'	DuPont™ Tyvek® Enercor® Roof + N sp. 20 mm + LSC sp. 80 (40+40) mm + N sp. 30 mm		
4/PE	0,35	0,13	9H32'	DuPont™ Tyvek® Enercor® Roof + N sp. 20 mm + LSC sp. 60 (30+30) mm + N sp. 30 mm	150	-

N.B.: per la stessa applicazione con isolanti sintetici il ritardo dell'onda termica è solo di 1-2 ore.

* Doppio tavolato.

**Doppio tavolato e pannello Celenit N sp. 20 mm applicato al di sopra del pannello Celenit N sp. 30 mm.

La verifica termica dei pacchetti di copertura è stata effettuata in conformità alle seguenti norme tecniche:

- **UNI EN ISO 13786** Prestazione termica dei componenti per l'edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo.
- **UNI EN ISO 13788** Prestazione igrometrica dei componenti e degli elementi per l'edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodo di calcolo.
- **UNI EN ISO 6946** Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica.

Per un calcolo più dettagliato delle varianti di progetto invece si fa riferimento al foglio di calcolo "Stratigrafia copertura ventilata" in Allegato 3.19, da cui si estrapolano i risultati più importanti:

- spessore totale 36 cm (esclusa la guaina traspirante)
- resistenza termica totale 4,783 mq°kW
- massa superficiale 89 Kg/mq
- capacità termica areica 173 KJ/mq°K
- costante di tempo 229 h
- fattore di attenuazione 0,174

- sfasamento 13,44 h
- trasmittanza termica 0,209 W/mq°K
- conduttanza termica 0,215 W/mq°K
- trasmittanza termica periodica 0,036 W/mq°K
- indice potere fonoisolante 36,97 dB (accettabile in contesto isolato)

Sul valore della massa superficiale occorre fare una precisazione, richiamando quanto affermato da F. Fiorito nel testo “Involucro edilizio”:

“[...] L'unico punto nel quale si intuisce una volontà legislativa di introdurre anche una verifica estiva dell'involucro edilizio è inserito nelle norme finali sul regime transitorio per le prestazioni energetiche degli edifici, dove viene indicato che, per tutte le fasce climatiche ad esclusione della F – dove il parametro preponderante è il riscaldamento invernale – occorre verificare che, ogniqualvolta il valore dell'irraggiamento medio mensile sul piano orizzontale supera il valore limite di 290 W/mq, occorre dimensionare l'elemento costruttivo componente le chiusure opache verticali, orizzontali o inclinate in maniera che questo possieda una massa superficiale superiore a 230 Kg/mq. In alternativa è possibile verificare la possibilità di garantire gli stessi benefici ottenibili con il rispetto delle prescrizioni circa la massa superficiale con l'utilizzo di tecniche e materiali innovativi in grado di contenere le oscillazioni della temperatura interna dell'ambiente in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare.”

Com'è possibile verificare le prestazioni della chiusura sono più che soddisfacenti e rispettano le normative vigenti in materia di contenimento dei consumi energetici.

La verifica termoigrometrica, condotta utilizzando ancora il metodo di Glaser, ha escluso la presenza di fenomeni di condensa interstiziale o superficiale.

3.3.8.7 Il Rivestimento esterno.

Sebbene non appartenga alla tipicità della tradizione architettonica locale si è pensato di sostituire l'ultimo strato esterno della copertura, realizzato con le usuali tegole in terracotta, con un rivestimento progettato per l'impiego di un altro materiale naturale ed ampiamente disponibile sul posto, la paglia, in grado di conferire all'edificio un aspetto rustico molto caratteristico e perfettamente integrato con il contesto rurale in cui lo stesso è inserito (figura 52).



Fig. 52: Casa con pareti e tetto rivestito in paglia.

(Fonte www.pescomaggiore.org)

Nella pratica edilizia sono molteplici gli esempi, afferenti a diverse epoche di costruzione, e individuabili in diverse aree geografiche, dal nord Europa all'Africa subsahariana, dal sudest asiatico all'America meridionale, di realizzazione di coperture o di interi edifici in paglia (e terra cruda). Tale materiale infatti, oltre alla vasta disponibilità e alla facilità di approvvigionamento (è un materiale di risulta), e oltre ad avere un ciclo di vita del tutto sostenibile, presenta ottime caratteristiche termiche e può pertanto essere impiegato come isolante.

Le principali proprietà della paglia si possono così sintetizzare:

- alto potere isolante termico della paglia con una trasmittanza termica che può variare da 0,08 a 0,13 W/mq°K, come dimostrano i risultati dei test di conduttività secondo DIN 52612 condotti dall'Istituto di ricerca sull'isolamento termico di Monaco, DE;

- l'alto isolamento acustico, con un valore di R_w che può raggiungere i 50 dB;
- traspirabilità dei muri e conseguente salubrità degli ambienti interni;
- basso impatto ecologico;
- basso rischio di incendio, con classe di resistenza al fuoco da R30 a R90 (Prove sui materiali per ingegneria civile eseguite dal Politecnico di Braunschweig, DE). Al contrario di quanto si possa pensare, le case in paglia resistono al fuoco più a lungo di un edificio in cemento armato;
- per quanto riguarda la resistenza ai terremoti, una casa in balle di paglia si comporta molto meglio di altri edifici in laterizio o cemento armato. La forza esercitata dal sisma sull'edificio infatti è proporzionale alla massa dell'edificio stesso; essendo una casa in balle di paglia molto più leggera rispetto ad un edificio in mattoni o cemento armato, la sollecitazione che ne riceve è notevolmente inferiore. La flessibilità del materiale consente inoltre l'assorbimento delle vibrazioni riducendo la possibilità di cedimenti strutturali, come dimostrato negli esperimenti su piastra vibrante condotti dall'ingegnere Darcey Donovan del Network for Earthquake Engineering Simulation Consortium, inc. dell'Università del Nevada.
- economicità del materiale. Con struttura portante in legno, il costo di una parete in paglia può variare dai 7 ai 40 euro al m^3 ; quello di una singola balla comprata direttamente dal produttore parte da 1,5 €. Il costo di realizzazione può essere abbattuto attraverso l'autocostruzione, a cui la tecnica della paglia offre ampi margini. Il principale vantaggio legato a questa tecnica è poi il fatto che il materiale sia di produzione locale. La vicinanza ai campi di grano, segale o orzo, questi i principali tipi di frumento dei quali si possono riutilizzare gli steli, elimina i costi di trasporto e abbassa quelli di produzione.

Il moderno utilizzo della paglia nelle costruzioni nasce probabilmente nella seconda metà dell'ottocento ad opera di pionieri stabilitisi in una regione del Nebraska povera di pietre e legname, ma solo alla fine del secolo scorso architetti come Judy Knox, Matts Myhrman e Barbara Jones importarono la tecnica nel Regno Unito, adattandola alle nuove e specifiche esigenze climatico-ambientali. Il gruppo di ricerca dell'Università di Bath sta tuttora effettuando studi approfonditi per verificare se materiali come paglia e canapa possano essere utilizzati più ampiamente nel settore edilizio affinché il Regno Unito possa raggiungere l'obiettivo di una riduzione significativa delle emissioni domestiche di anidride carbonica.

Questo avveniva contemporaneamente allo sviluppo di nuove tecniche anche per le costruzioni intelaiate in legno. Infatti grazie anche all'evolversi delle tecniche di segagione e all'industrializzazione dei processi di produzione dei chiodi, proprio nella seconda metà del 1800 nasce il sistema costruttivo ad ossatura lignea noto come "balloon frame" (struttura a pallone) che permetteva ad un solo uomo munito di sega e martello di erigere la struttura di una casa a due livelli, eliminando gli elementi strutturali troppo pesanti e lavorazioni troppo complesse, avvalendosi di elementi sottili lunghi per tutta l'altezza dell'edificio, posti ad interasse di 45cm secondo un preciso schema di montaggio di semplice approccio e esecuzione.

Il "platform frame" si sviluppa come perfezionamento a maggiore capacità di prefabbricazione del "balloon frame", secondo un concetto di modularità che permetteva la costruzione di edifici a più piani sfruttando l'interposizione di solai lungo lo sviluppo in altezza dei pilastri.

Oggi, grazie all'impegno e alla ricerca di architetti come Margaretha Schwarz, Sigfried Camana e tanti altri, l'impiego della paglia come materiale da costruzione sta diventando una pratica nota nell'ambito della bioarchitettura, riscoprendo anche tecniche conosciute fin dall'antichità.



Fig. 53: realizzazione di una casa in balle di paglia. (Fonte: EcoBioEdilizia)

Benchè per progettare una casa in paglia non si possano seguire i criteri di progettazione dell'edilizia convenzionale e benché la recente normativa italiana non preveda la possibilità di costruire con la tecnica autoportante, nella letteratura esistono molti riferimenti utili ed esempi concreti.

Anche in Italia naturalmente si possono trovare recenti realizzazioni. A Pramaggiore, in provincia di Venezia, ad esempio, nel 2004 è stata realizzata "La Boa" (figura 54), prima casa di paglia in Italia fatta in autocostruzione. Nel 2006, presso la facoltà di Architettura di Venezia IUAV, nella sede di Santa Marta è stato tenuto un workshop durante il quale è stato progettato e costruito un padiglione dimostrativo al fine di verificare le caratteristiche della balla di paglia quale elemento costruttivo.



Fig. 54: La Boa, Pramaggiore

In Alto Adige c'è la più alta casa completamente autoportante d'Europa, cioè senza struttura verticale in legno o altro materiale rigido: l'edificio ha tre piani abitabili e si sviluppa in altezza per 16 metri. Le balle di paglia portano tutto il peso dei solai (in legno) e del tetto oltre, ovviamente, agli oltre tre metri di neve che cadono in quelle zone.

Gli abitanti di Pescomaggiore, frazione dell'Aquila, colpita dall'evento sismico del 6 aprile 2009, hanno deciso di realizzare delle residenze antisismiche in paglia al fine di poter rimanere a vivere nel piccolo borgo. Il villaggio è stato costruito dai futuri abitanti insieme ai tecnici di BAG officinabile e tanti volontari che hanno liberamente offerto il loro aiuto. Il progetto è stato finanziato da una rete di amici finanziatori (tavola pescolana) e dai futuri abitanti.

Scrive l'amica Novella: *"Mi viene da pensare che le crepe, così come le rughe, siamo abituati a considerarle con un'accezione negativa, come tracce di decadimento, come fratture. Eppure in quei solchi c'è forse tutta l'energia, l'essenza della vita che ci può dare la forza per ricostruire, per riaprire uno spazio e per ripensare un vuoto che ci coglie all'improvviso. Questo costa fatica: come ho appreso da poco "fatica" viene da fatis, crepa, fenditura. La soluzione forse sarebbe proprio in questa fatica del "fare spazio", dell'aprire un varco dentro di sé, esorcizzando così la perdita e attraversandola con le proprie forze rinnovate, ricompattate dall'interazione con gli altri, dalla creazione di nuove dimensioni di vita, da nuove percezioni abitative, da nuovi spazi. E' quello che nel nostro piccolo stiamo provando a fare con il progetto EVA, a Pescomaggiore, dopo il terremoto del 6 aprile 2009."*



Fig. 55: applicazione di un cappotto esterno in paglia e canna palustre.

Tornando al caso in esame, l'intervento suggerito prevede dunque l'impiego della paglia come ultimo strato della copertura. Lo spessore del rivestimento è pari a 30 cm, il che da una parte assicura una buona tenuta

all'acqua grazie alla formazione di una maglia fitta e dall'altra, grazie alla bassissima conducibilità termica del materiale, offre un ottimo isolamento, al punto che è possibile ridurre lo spessore degli strati isolanti interni in CELENIT. Si consulti per questo il foglio di calcolo in Allegato 3.20: "Stratigrafia tetto in paglia".

La posa in opera della paglia sulla listellatura non presenta particolari problematiche se non la necessità di separare la paglia dall'intercapedine ventilata mediante l'impiego di una guaina supplementare. Il fissaggio avviene attraverso fasce trasversali in fibra resistente. Sulla falda esposta a sud-ovest nel rivestimento verrà integrata la struttura di supporto dei moduli che costituiscono l'impianto fotovoltaico (cfr. capitolo 4).

Un altro problema che nasce con la realizzazione del rivestimento in paglia è sicuramente la maggiore difficoltà progettuale e pratica nella collocazione del sistema a grondaie per il recupero dell'acqua piovana.

3.3.9 Muri divisori interni e soppalchi: il legno lamellare ed i pannelli OSB.

Per la realizzazione delle partizioni interne, che non presentano particolari esigenze di isolamento termoacustico, e delle soppalcature, si pone, come valida alternativa all'impiego dei pannelli in legno massiccio multistrato, l'utilizzo come elemento strutturale dei pannelli OSB. Anche i pannelli di fibra di legno duri e medio-duri (MDF), i cui requisiti sono definiti nella EN 622-1,-5:1997, possono essere utilizzati per rivestimenti e/o tamponature con funzione portante (strutturale), ma il loro impiego è limitato dalle condizioni stabilite nella norma DIN 1052:2004. In generale, i pannelli di fibra di legno non possono essere utilizzati in solai e coperture come elementi con comportamento a lastra. Inoltre, i tradizionali pannelli MDF sono incollati con resine a base di formaldeide o con presenza di paraffina.

L'utilizzo degli OSB è sicuramente vantaggioso da un punto di vista economico, in virtù del favorevole rapporto fra prezzo e prestazioni, ma incontra una difficoltà costruttiva. I pannelli OSB infatti, non potendo rimanere a vista per ovvi motivi estetici, necessitano di uno strato di rivestimento, realizzabile con tavole di compensato rifinite (di piccolo spessore). Il compensato è usualmente impiegato per il rivestimento di costruzioni leggere (sistemi intelaiati), soprattutto dove il rivestimento deve essere lasciato a vista per ragioni estetiche. I requisiti per il compensato sono regolamentati dalla norma EN 636:1997. La norma distingue tra compensato per impieghi in ambienti asciutti (parte 1), in ambienti umidi (parte 2), e all'aria aperta (parte 3). La norma definisce altresì, come la DIN 68705-3 e -5, proprietà e modalità di collaudo, controllo e identificazione. Per il calcolo si possono trovare informazioni nelle norme DIN 1052:2004 e Bozza finale prEN 1995-1-1:2003.

Tuttavia il collegamento fra rivestimento in compensato e struttura OSB potrebbe presentare problematiche inerenti al differente comportamento in relazione ai fenomeni di dilatazione lineare. Occorre pertanto studiare in maniera approfondita questo aspetto, per evitare deformazioni ed imbarcamenti del rivestimento nel tempo. Infatti la struttura a tre strati (disposti perpendicolarmente l'uno all'altro, vedi fig. 56) conferisce stabilità della forma nel piano del pannello, resistenza e rigidità a taglio in caso di sollecitazione a lastra del pannello stesso. In tal modo si riducono drasticamente (o si eliminano) possibili rigonfiamenti e fenomeni di ritiro dovuti a variazioni di umidità.

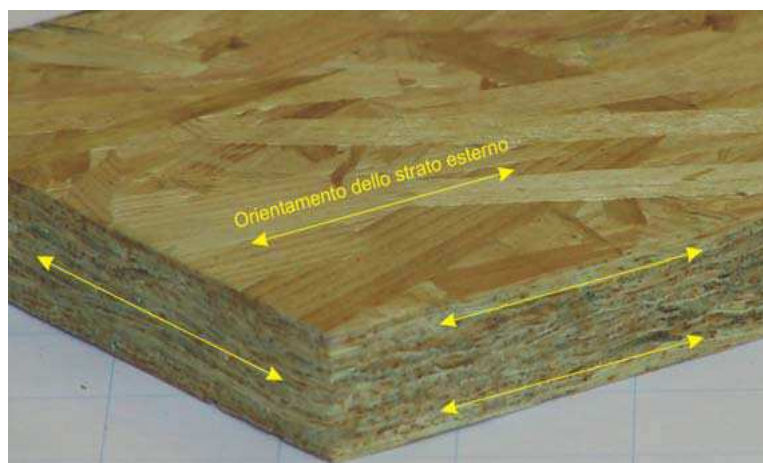


Fig. 56. Pannello OSB.

Ma, come per i pannelli piani pressati, anche per i pannelli OSB bisogna considerare, in caso di esposizione diretta all'umidità, rigonfiamenti sullo spessore (compresi fra il 12% e il 25% secondo il tipo di pannello, per immersione in acqua per 24 h secondo la norma EN 317) e rischio di deformazioni irreversibili. Perciò, sia ai pannelli OSB che a quelli di fibre di legno e truciolari incollati con resine sintetiche sono assegnati valori dei coefficienti k_{mod} e k_{def} rispettivamente nettamente inferiori e superiori in confronto al legno massiccio. In questo modo, nel calcolo degli elementi, si tiene conto da una parte della limitata resistenza ai carichi di lunga durata e dall'altra delle marcate deformazioni viscosse dovute ai carichi permanenti e quasi permanenti. Inoltre, valori elevati di umidità dell'aria possono alterare sensibilmente le caratteristiche meccaniche; di questo si tiene conto suddividendo i pannelli in diverse classi di utilizzo.

La norma che regola possibilità e differenze per l'applicazione dei pannelli piani pressati in edilizia è la DIN 1052:2004.

Nella norma di prodotto europea EN 309:1992, i pannelli truciolari sono elementi di forma piana a base legno, ottenuti mediante la pressatura a caldo di particelle di legno (trucioli di legno, trucioli da pialla, trucioli di segatura, wafer, strand) e/o altre particelle con contenuto di lignocellulosa (cascami di lino, di canapa, bagassa), miscelate a colla. Per pannello OSB (Oriented Strand Board) si intende un pannello di legno a tre strati a struttura simmetrica composto da strand (i cosiddetti trucioli piatti).

La produzione di OSB in Europa viene realizzata prevalentemente con tonname fragile o industriale a basso costo (in Europa esclusivamente legno di conifera, principalmente pino proveniente per lo più dalla ripulitura delle foreste), che viene sfruttato al 100%, o legno riciclato. L'intero processo di riduzione avviene in modo totalmente meccanico, senza sottoporre i trucioli ad alcun trattamento chimico. Successivamente i trucioli vengono essiccati, vagliati e incollati con un agente legante (ca. 10% in peso) o con leganti inorganici come cemento e gesso. La fase successiva prevede la formazione dei trucioli incollati in superfici piane, con orientamento dei trucioli, e il fissaggio con procedimento

ciclico in presse multivano oppure con procedimento continuo in presse continue (Contiroll). Le ultime fasi di lavorazione sono il raffreddamento, la rifilatura, la levigatura, la classificazione e il taglio.

La norma di prodotto europea EN 300:1997 “Pannelli di trucioli lunghi, stretti e orientati (OSB) – Definizione, classificazione e requisiti” distingue quattro tipi di pannelli:

- OSB/1:Pannelli per impieghi generici e per arredo d'interni destinati ad ambienti asciutti (non adatti per impieghi strutturali);
- OSB/2:Pannelli per impieghi strutturali in ambienti asciutti;
- OSB/3:Pannelli per impieghi strutturali in ambienti umidi;
- OSB/4:Pannelli ad elevata portata per impieghi strutturali in ambienti umidi;

Per impieghi strutturali viene prescritto uno spessore minimo di 8 mm mentre per i rivestimenti irrigidenti di case di legno in costruzione leggera sono sufficienti 6 mm ai sensi della norma. Tuttavia, come regola sono richiesti pannelli fra 12 e 18 mm di spessore.

L'applicazione principale dei pannelli OSB nell'edilizia è rappresentata dal rivestimento di costruzioni leggere (sistemi intelaiati). In questo ambito i pannelli vengono utilizzati principalmente per la resistenza ai carichi orizzontali dovuti a vento, sisma, ecc., ma anche per garantire la distribuzione di carichi concentrati e superficiali distribuiti (ad es. su nervature oppure nella costruzione di pavimenti). È inoltre possibile che il pannello contribuisca alla trasmissione dei carichi verticali costituendo con la nervatura una sezione composta. Inoltre i pannelli piani pressati sono impiegati nelle costruzioni di legno come anima di sezioni a I.

Perpendicolarmente alla superficie del pannello, quelli piani pressati presentano di norma un profilo di massa volumica accentuato, in particolare nei pressi della superficie e soprattutto quando si utilizzano specie legnose con una bassa massa volumica.

Il pannello può avere le seguenti dimensioni: spessore da 8 mm a 50 mm (max. 80 mm) ad incrementi da 1 mm a 2 mm; formato 1250 x 2500 fino a 5000, 1850 x 4100, 2050 x 2750/5300 mm; lunghezza fino a 14 m.

Le pareti, realizzate con intelaiatura alleggerita e senza controventature, grazie alla capacità portante dei pannelli di spessore non inferiore ai 3 cm, saranno comunque dotati di isolamento in fibra di canapa nell'intercapedine, per uno spessore complessivo di parete di 20 cm. Naturalmente per un maggior pregio estetico i pannelli OSB possono essere sostituiti, con un leggero incremento nei costi di realizzazione, da pannelli di compensato di pino per impieghi strutturali. Il comportamento termoigrometrico della parete varia in maniera poco significativa passando da un caso all'altro.

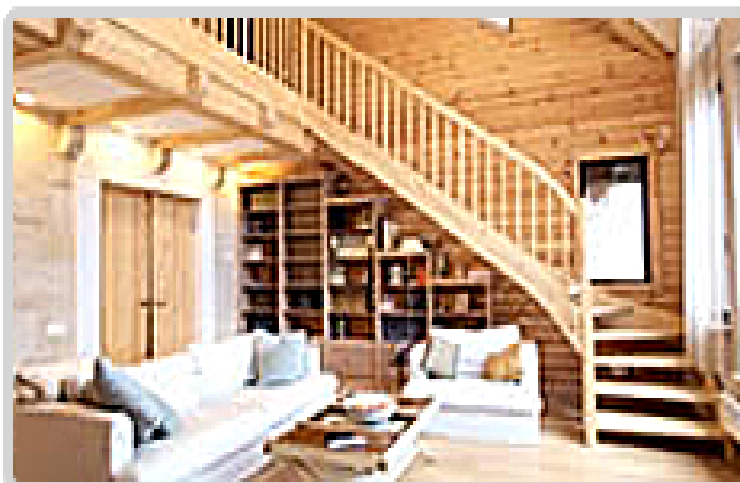


Figura 57.

I soppalchi, a cui si accede come detto tramite scalinate in legno massiccio (fig. 57), saranno realizzati con pannelli in un solo pezzo, incastrati a mensola su supporti fissati alla parete centrale dello stabile e sorretti da travi a vista in legno lamellare incollato di pino e colonne portanti in legno massiccio di pino. I requisiti più importanti riguardanti il legno lamellare incollato si trovano nella Bozza di norma europea ON EN 14080:2001, nella quale si fa riferimento ad una serie di altre norme specifiche sul legno lamellare. Tra queste, le più importanti in assoluto sono le due norme UNI EN 386:2003 (ON EN 386:2002) e UNI EN 1194:2000 (ON EN 1194:1999).

E' impiegabile, ad esempio, la travatura Uso Trieste, con squadratura continua sulle quattro facce e smusso su tutta la lunghezza, adatta a lavori di carpenteria ed utilizzata per la costruzione di tetti e coperture. Le sezioni vanno da 9 x 9 cm fino a 30 x 30 cm e le lunghezze da 3 m a 10 m.

Un altro prodotto di legno incollato sono le travi DUO/TRIO. Esse sono costituite da 2 o 3 elementi di legname squadrato o tavoloni, essiccati artificialmente, classificati secondo la resistenza e successivamente incollati sui lati lunghi; da questo procedimento risulta un legno massiccio dalle caratteristiche tecniche ben definite, di ottima qualità e con una ridotta tendenza a fessurarsi. I singoli elementi possono essere giuntati longitudinalmente tramite giunti a pettine. La qualità del prodotto viene assicurata dal duplice controllo interno ed esterno.

Le travi DUO e TRIO vengono prodotte di regola da legno di abete rosso. È tuttavia possibile utilizzare anche altre conifere come il pino, l'abete bianco e il larice.

Le travi vengono offerte generalmente nelle cosiddette “sezioni preferenziali”, che dovrebbero soddisfare le principali esigenze applicative (costruzioni abitative di legno, ecc.). In linea di principio, le dimensioni massime della sezione sono definite, nell'omologazione Z-9.1-440, dalle dimensioni massime del singolo elemento di legno squadrato. Esse sono:

- larghezza massima (parallela alla superficie di incollaggio): 280 mm;
- spessore massimo (perpendicolare alla sup. di incollaggio): 80 mm.

Secondo la citata omologazione del 14.10.2002 sono consentite anche sezioni le cui dimensioni stanno tra loro nel rapporto b:d che non supera 100:120. Le lunghezze disponibili dipendono dalla sezione e possono raggiungere i 18 m. Tutte le travi sono piallate e smussate.

Il dimensionamento delle travi DUO e TRIO avviene, analogamente a quello del legno massiccio, secondo la normativa tecnica vigente (Bozza finale prEN 1995-1-1:2003; ON B 4100-2:2003; DIN 1052:2004). I valori caratteristici

sono definiti, in base alle classi di resistenza, nella UNI EN 338:1997 (ON EN 338:2003) e nella DIN 1052:2004 (o nella ON B 4100-2:2003).

I suddetti aspetti non presentano elementi particolarmente rilevanti dal punto di vista progettuale, per cui non si ritiene opportuno soffermarsi oltre.

3.3.10 Serramenti.

*“Comment fais-tu une fenetre?
Mais, à propos, à quoi sert une fenetre;
sais-tu vraiment pourquoi on fait des fenetres?
Si tu le sais, dis-le.
Si tu le sais, tu vas pouvoir, m’expliquer pourquoi
On fait des fenetre cintrées, carée, rectangulaires.
Je veux des raison à cela
Et j’ajouterais,
Tiens-toi bien:
Avons-nous besoin de fenetres aujourd’hui?”*

[Le Corbusier, Precisions]

In relazione al contesto climatico, la finestra e le sue schermature hanno assunto da sempre gli aspetti e le forme più diverse per rispondere a diverse esigenze, sempre crescenti e per graduare il livello delle prestazioni: le necessità di ventilare, illuminare e schermare si mescolano con quelle di proteggere dalle intrusioni e di isolare dal freddo e di controllare l’illuminazione secondo i desideri, di schermare di più o di meno dai raggi del sole. Come sottolinea G. Cusano, “[...] *dal Medioevo al barocco, dal razionalismo all’espressionismo, da Wright a Le Corbusier a Mendelsohn, la finestra comunica l’intero dramma architettonico.*”

Diversi sono gli aspetti da analizzare.

In relazione alla determinazione dell’area delle superfici vetrate e della loro distribuzione spaziale un criterio fondamentale è, in questo caso come per gli edifici F ed N, la verifica dei requisiti di illuminazione naturale. Tale verifica

prevede il superamento di un valore minimo di 0,02 per il fattore di luce diurna medio, definito dalla Circolare Ministeriale n. 3151/67 come il rapporto tra l'illuminamento medio di un piano orizzontale interno all'ambiente e l'illuminamento che si avrebbe, nelle stesse condizioni, su una superficie orizzontale posta all'esterno in modo da ricevere luce dall'intera volta celeste senza irraggiamento diretto dal sole.

Esso si calcola come:

$$D = (\sum A_j \cdot \tau_v \cdot \varepsilon_j \cdot \psi_j) / (\sum a_j \cdot S_j)$$

con:

A_j	area delle superfici trasparenti
τ_v	coefficiente di trasparenza del vetro (di solito 0,6)
ε_j	rapporto tra illuminamento della finestra e radianza del cielo
ψ_j	coefficiente di riduzione in funzione dell'arretramento della finestra
a_j	coefficiente di assorbimento della superficie interna (1-r)
S_j	superficie interna dell'ambiente

Per i valori di τ_v si può fare riferimento alla norma UNI 13363-1, Allegato A; ε e ψ sono forniti da grafici in funzione dei parametri geometrici della finestra; il coefficiente r, e quindi $a = 1 - r$, è indicato nel Protocollo ITACA.

Il livello minimo di illuminamento non è tuttavia l'unico parametro da considerare nella determinazione dei livelli di comfort visivo. Associato a questo infatti, deve esserci sempre un'adeguata uniformità della radiazione solare, una sufficiente varietà spettrale e l'assenza di fenomeni di abbagliamento. Numerosi sono i riferimenti al controllo della radiazione solare e all'eliminazione dei dannosi effetti dell'abbagliamento, fra cui il Lighting Handbook dell'Illuminating Engineering Society of North America (IESNA, 2000). Un meccanismo per individuare il discomfort da abbagliamento è anche quello correlato alla definizione del daylight glare index (DGI), applicabile però solo

per distribuzioni omogenee della luminanza. La definizione, il metodo di calcolo del DGI ed i valori limite in funzione delle attività svolte negli ambienti sono riportati nell'appendice B della UNI 10840.

In Allegato 3.21 infine, si riportano a scopo di esempio le tavole basate sul metodo Mattioni, che illustrano lo sviluppo del soleggiamento attraverso una finestra rettangolare (1,33 x 1,80m).

Stabilita la superficie di ogni finestra ed il relativo collocamento, come indicato nelle tavole di progetto, si procede con la scelta degli infissi e dei vetri, avendo come parametro vincolo il superamento del valore limite di trasmittanza indicato nel D.M 11/03/08 e nel Decreto 26 gennaio 2010 (e conforme al Dpr. n. 59/2009 art.4, comma 4, lettera c), ossia $2,0 \text{ W/mq}^\circ\text{K}$, o meglio il raggiungimento di uno standard vicino a quello tipico di Passivhaus.



Fig. 58. (Fonte: www.illegno-infissi.it)

Come noto, l'irraggiamento che colpisce un vetro dall'esterno viene in parte riflesso, in parte assorbito nello spessore del vetro, ed in parte trasmesso all'interno. I rapporti di ciascuna di queste componenti sul flusso incidente definiscono rispettivamente i fattori di riflessione, assorbimento e trasmissione caratterizzanti il vetro stesso, e variano a seconda delle lunghezze d'onda considerate. Evidentemente, a parità di altri parametri, tali fattori dipendono dal colore del vetro, dal suo spessore e dalla natura del deposito eventualmente applicato sul vetro stesso (bassoemissivo e/o selettivo). L'energia solare introdotta in un locale viene assorbita dagli oggetti e dalle pareti interne che,

riscaldandosi, rimettono a loro volta un irraggiamento termico situato prevalentemente nell'infrarosso (superiore a 5 μm). I vetri, però, anche se trasparenti, sono praticamente opachi alle radiazioni di lunghezza d'onda superiori a 5 μm , pertanto, la predetta energia solare "riemessa" si trova intrappolata all'interno del locale ("effetto serra"). Per evitare tale fenomeno si può ricorrere (oltre che a ventilazione e/o a schermature esterne) a "vetrate a controllo solare" (selettive), che bloccano una parte delle radiazioni con l.d.o. più alte pur mantenendo una buona illuminazione di luce naturale.

Per aumentare l'isolamento termico, e quindi diminuire il valore di U , si adotta normalmente la combinazione di due (o tre) vetri accoppiati tra loro e distanziati da una intercapedine di aria immobile ed asciutta, che riduce al minimo gli scambi convettivi tra le due superfici interne all'intercapedine (il cosiddetto "vetrocamera").

A questo punto, per migliorare il potere di isolamento della vetrata, rimarrebbe da ridurre solo lo scambio per irraggiamento, cosa che si ottiene con lastre di vetro basso emissivo (con deposito pirolitico di ossidi metallici o sotto vuoto). La tabella a pagina seguente permette di farsi un'idea generica, mentre la figura 59 illustra il comportamento di una vetrata selettiva (a sinistra) e di una basso emissiva (a destra).

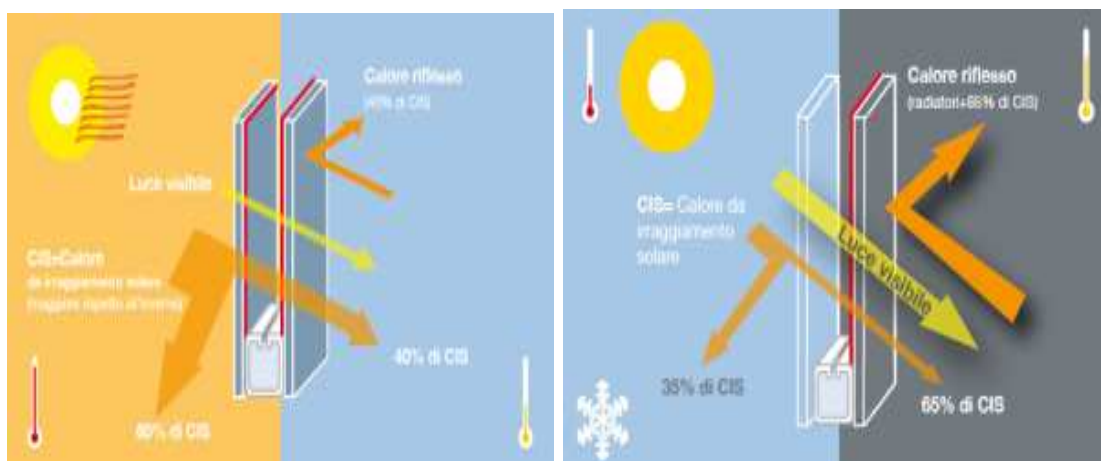


Figura 59.

vetro esterno	intercapedine	vetro interno	trasmissione $W(\tau^F - K)$	fattore solare g [EN 410]
lastra singola normale monolitica	4mm	4mm	5,6	0,85
normale 4 mm	aria 15mm	normale 4 mm	2,7	0,76
normale 4 mm	argon 15mm	normale 4 mm	2,4	0,76
normale 4 mm	aria 15mm	basso emissivo (una certa quantità) 4 mm	1,7	0,69
normale 4 mm	aria 15mm	basso emissivo (maggiore quantità) 4 mm	1,4	0,62
normale 4 mm	argon 15mm	basso emissivo (maggiore quantità) 4 mm	1,1	0,62
a tripla lastra 4 (10) 4 (10) 4 con deposito basso emissivo su faccia 2 e 5 e con gas argon			0,9	0,62
a tripla lastra 4 (10) 4 (10) 4 con deposito basso emissivo su faccia 2 e 5 e con gas krypton			0,6	0,62

Nella tabella sopra riportata è indicato anche il fattore solare, definito come la percentuale di energia introdotta in un locale (somma del flusso trasmesso attraverso la superficie trasparente e del flusso riemesso per irraggiamento) in rapporto all'energia solare incidente. Tanto più il fattore solare, misurato con prove normalizzate (EN 410 e ISO 9050M1), è basso tanto più la superficie vetrata è coibente; o meglio, valori di g elevati garantiscono cospicui guadagni solari, apprezzabili in inverno, mentre valori di g bassi evitano fenomeni di surriscaldamento in estate. A differenza delle componenti opache, per quelle trasparenti, oltre alla trasmittanza termica, è utile dunque conoscere altre proprietà ottiche e grandezze (le cui metodologie di calcolo sono normate sempre dalla EN 410) che governano il flusso di energia attraverso la superficie. Queste sono, oltre al fattore solare g:

- ε : emissività;
- $\tau(\lambda)$: fattore di trasmissione spettrale totale della radiazione solare;
- $\rho(\lambda)$: fattore di riflessione spettrale totale della radiazione solare;
- t_v : fattore di trasmissione luminosa;
- ρ_v : fattore di riflessione luminosa;
- α_v : fattore di assorbimento luminoso;
- τ_e : fattore di trasmissione solare diretta;
- ρ_e : fattore di riflessione solare diretta;
- α_e : fattore di assorbimento solare diretto, ($\tau_e + \rho_e + \alpha_e = 1$);

- τ_{uv} : fattore di trasmissione ai raggi ultravioletti;
- R_a : indice generale di resa dei colori;

Alcuni di questi parametri vengono generalmente forniti dai produttori. In questo caso si ritiene sufficiente l'impiego di vetri doppi 4+15+4mm bassoemissivi con argon nell'intercapedine. La trasmittanza U_g è assunta pari a 1,1 W/mq°K (UNI 10077-1 app. a,c; UNI 10077-2 oppure prospetto C1 UNI/TS 11300-1). In Allegato 3.22 si mostra, a titolo di esempio, una fra le innumerevoli soluzioni presenti sul mercato.

Gli infissi a due ante e dotati di persiane a battente in legno (fotovoltaiche dove ritenuto opportuno), saranno del tipo a taglio termico e realizzati in legno di pino, con guarnizioni EPDM, sezione telaio 56x80mm, emissività 0,9. Il valore di trasmittanza U_f non sarà superiore a 1,8 W/mq°K (UNI 10077-1 app.D, oppure prospetto C1 UNI/TS 11300-1), anche se la simulazione con Frame Simulator Pro per un telaio in legno da 88mm fornisce un valore ben inferiore (1,147 W/mq°K). Per un calcolo di dettaglio della trasmittanza dei sistemi trasparenti si può fare riferimento anche alla norma UNI EN 673.

Sempre il DPR 59/2009 impone la presenza di sistemi oscuranti (fig. 57) per ridurre l'irraggiamento estivo, richiamando come sistemi di calcolo le norme UNI-TS 11300 e UNI EN 10077, che suggeriscono di fare una media pesata fra la trasmittanza del serramento (40%) e la trasmittanza del serramento con la chiusura (60%). La resistenza dell'oscurante è fatta di un contributo relativo all'oscurante in sé e da un altro dovuto all'intercapedine che si crea tra serramento e persiana, e alla tenuta degli elementi. Per entrambi i contributi la norma fornisce delle valutazioni di massima per le tipologie più comuni, da utilizzare in caso di mancanza di dati, generalmente forniti dai costruttori. Per un'anta a filo muro esterno senza battute (media permeabilità) si può considerare un incremento di resistenza di 0,22 mq°K/W, mentre se l'anta viene montata su telaio in legno, con battute e guarnizioni, l'incremento può arrivare a 0,30 mq°K/W.

In genere vale la formula:

$$\Delta R = 0,55R_{sh} + 0,11$$

dove R_{sh} è la resistenza termica dello schermo, che per persiane in legno (25-30mm) è 0,2 mq°K/W. Calcolata la trasmittanza della finestra a schermi aperti come:

$$U_w = (A_g U_g + A_f U_f + L_g \Psi_g) / (A_g + A_f)$$

dove:

A_g è l'area del vetro in mq;

U_g è la trasmittanza termica dell'elemento vetrato in W/mq°K;

A_f è l'area del telaio in mq;

U_f è la trasmittanza termica del telaio in W/mq°K;

L_g è il perimetro del vetro in metri;

Ψ_g è la trasmittanza lineare in W/m°K (da considerarsi solo nel caso del vetro camera), pari a 0,06 W/m°K per infisso isolato in legno.

e la trasmittanza a schermi chiusi:

$$U_{ws} = 1 / (1/U_w + \Delta R)$$

si può definire la trasmittanza media del serramento.

Nel seguito si riportano i risultati di calcolo per il caso in oggetto, riferiti a finestre di dimensioni 1,33x1,80m.

- $A_g = 1,684$ mq; $U_g = 1,1$ W/mq°K
- $A_f = 0,71$ mq; $U_f = 1,147$ W/mq°K
- $L_g = 8,50$ m $\Psi_g = 0,06$
- $\Delta R = 0,22$ mq°K/W

- $U_w = 1,33$ (1,52 se $U_f = 1,8$) $W/mq^{\circ}K$; $U_{ws} = 1,03$ $W/mq^{\circ}K$

La trasmittanza media del serramento vale dunque 1,18 $W/mq^{\circ}K$, valore più che soddisfacente.

I serramenti infine devono rispettare i seguenti requisiti minimi di progetto:

- classe di permeabilità all'aria 3 (UNI EN 1026);
- classe di resistenza al carico del vento C-4 (UNI EN 12211);
- resistenza meccanica secondo UNI EN 107, UNI EN 14608, UNI EN 14609, UNI EN 12046-1, UNI 9158;
- tenuta all'acqua E750 (UNI EN 1027); 7-A (UNI EN 12208);
- potere fonoisolante 35 dB, classe R2 (UNI 8204, UNI EN 140-3, ISO 717-1, prEN 14351);
- fattore solare $g = 60$.

Le porte saranno realizzate in legno con le seguenti particolarità salienti:

- telaio con profili di sezione 68x80 mm;
- ante con profili di sezione 68x80 mm, dotate di pannelli ciechi in multistrato marino rivestiti in pino;
- profili telaio/anta con triplice battuta su tre lati, con guarnizioni antispiffero e insonorizzante;
- lama inferiore parafreddo;
- sistema di apertura con cerniere anuba a doppio gambo avvitato e triplice regolazione, con cappucci in ABS;
- coprifili interni 50x10mm.

Per la determinazione della trasmittanza termica delle porte valgono le stesse considerazioni svolte per le finestre. Come per i serramenti, per tutte le varie fasi di verniciatura sono utilizzate esclusivamente cere e vernici naturali all'acqua di alta qualità.

3.4 Certificazione energetica dell'edificio "F" e stima dei fabbisogni: il software TERMUS Acca.

Al capitolo 2 (cfr. 2.6, 2.7, 2.8, 2.10 e Allegati 2.6 e 2.7), per l'edificio "C", si è condotta la procedura di certificazione energetica prevista dal software DOCET di ENEA, riportando i risultati elaborati dal software di calcolo e gli attestati di certificazione energetica (ACE).

Per il calcolo e la verifica dell'edificio "F" invece, viene preferito l'impiego del software TERMUS di Acca, che sicuramente consente un'analisi più dettagliata ed un maggior grado di accuratezza e di approfondimento.

I risultati proposti dal software sono raccolti nell'Allegato 3.24, che contiene:

1. Tavole TERMUS, con le planimetrie dei piani seminterrato e primo (nei formati .dwg e .exp), in cui si evidenziano i vani, i codici delle strutture e la collocazione del generatore termico, nonché il disegno tridimensionale della struttura;
2. Gli attestati di qualificazione e certificazione energetica (AQE/ACE) dell'edificio "F" in formato .pdf come risultano dal software TERMUS;
3. Le relazioni tecniche corrispondenti ai casi analizzati;
4. Le schede allegate alla relazione tecnica e riguardanti le chiusure opache, con le verifiche igrometriche, e le chiusure trasparenti;
5. I risultati di calcolo forniti in dettaglio dal software nei 3 casi di variazione dei parametri di input.

In particolare gli ultimi tre documenti, da analizzare in termini comparativi, corrispondono, come indicato, a tre diverse ipotesi di calcolo ottenute variando alcuni parametri di input, e precisamente:

- 1 Nel documento 5a si è inserita la copertura ventilata con rivestimento in tegole mentre nei documenti 5b e 5c è stato considerato

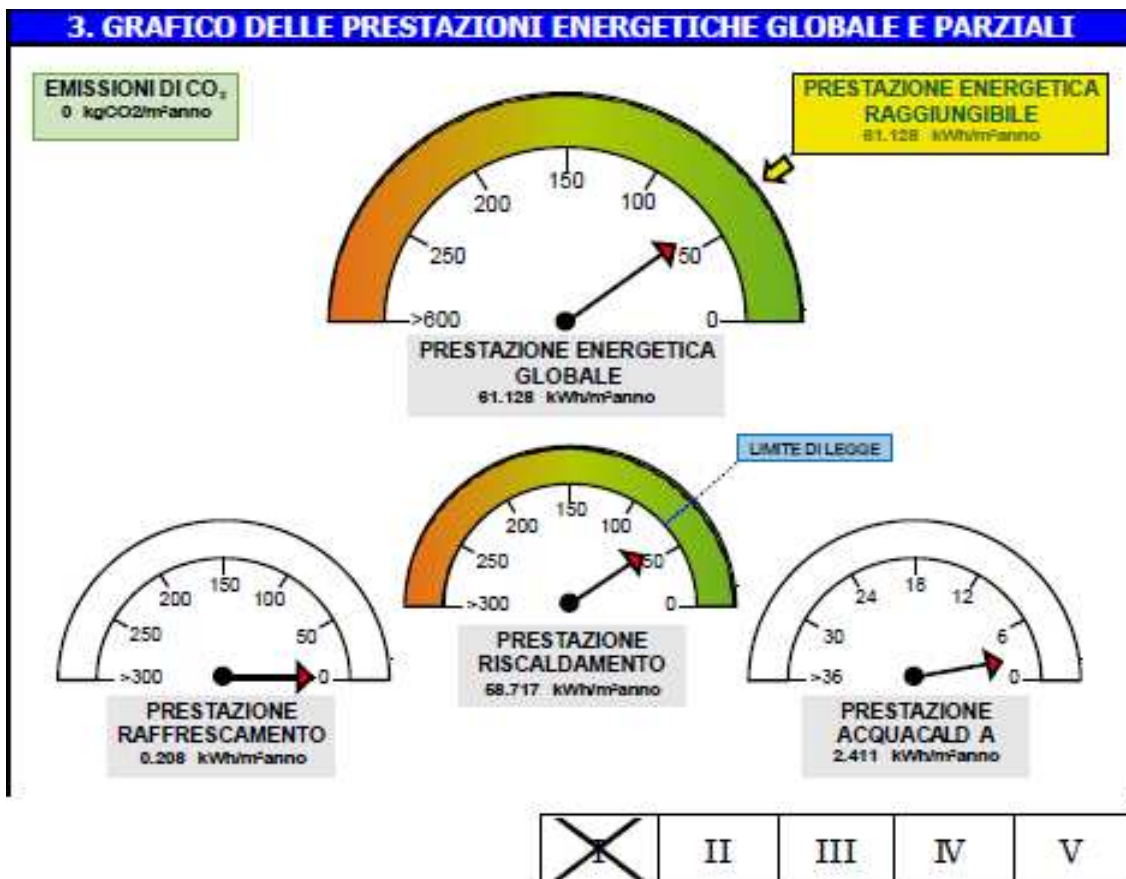
l'incremento di resistenza della copertura dovuto al rivestimento in paglia ed alla presenza dell'impianto fotovoltaico integrato. La conseguenza è che il primo (5a) prevede una classificazione globale dell'edificio in categoria C (EP globale pari a 85,153 kWh/mq anno); nei restanti (5b e 5c) la nuova copertura, con trasmittanza sensibilmente inferiore, migliora la prestazione globale fino alla classe di consumo B (EP globale poco superiore a 60 kWh/mq anno in entrambi i casi).

- 2 Nei documenti 5a e 5b l'impianto termico a servizio dell'edificio è costituito da un generatore a condensazione con elevato rendimento, classificato 4 stelle, nell'ipotesi di mantenere l'alimentazione a GPL. Nel documento 5c invece, l'impiego delle biomasse come fonte energetica, impone l'utilizzo di un generatore diverso, alimentato appunto a biomassa (cfr. 4.5). Tale sostituzione, sebbene non influisca significativamente sugli indici di prestazione energetica e sulla classificazione dell'edificio, comporta il considerevole effetto, come evidenziato nell'ACE 2, di abbattere le emissioni di CO₂ fino a 0 (il problema più grosso legato alle emissioni per le caldaie a biomassa riguarda il particolato, le ceneri e le polveri), oltre che naturalmente di usare un combustibile rinnovabile e disponibile in loco in luogo di uno fossile. Ovviamente l'ultima soluzione sarà la più auspicabile da realizzare.

A tal proposito occorre fare una prima osservazione. Sia per quanto riguarda l'impianto alimentato a GPL che per quello alimentato a biomassa si sono impiegate caldaie disponibili in commercio (una selezione di modelli e marche, con relative schede tecniche, è disponibile agli Allegati 3.23 – Caldaie a condensazione e 4.15 – Caldaie a biomassa) con potenze nominali rispettivamente di 70 e 60 kW. Tali valori sono deducibili dall'esperienza e da alcuni criteri di massima, e rappresentano sicuramente una stima di

sovradimensionamento, considerato anche il basso coefficiente di contemporaneità dovuto al profilo occupazionale delle utenze. Come si preciserà in seguito (cfr. 4.5) una condizione di sovradimensionamento del generatore è da evitare assolutamente, soprattutto in caso di caldaia a biomassa, pena l'efficienza complessiva dell'impianto di riscaldamento.

In una fase successiva della progettazione dell'impianto sarà eseguito un dimensionamento più accurato della caldaia e di tutti gli altri componenti, in modo da garantire il normale esercizio e la più alta efficienza del generatore e del sistema di regolazione-distribuzione-emissione. Sarà ovviamente valutata la possibilità, soprattutto in relazione all'impiego delle biomasse, di costituire un'unica centrale termica a servizio degli edifici "C" ed "F". Le problematiche più incisive in questa direzione sono costituite dalla regolazione del generatore ai carichi parziali e dal trasporto del fluido vettore (con lunghe tubature in acciaio coibentate ed interrate di almeno 1m) dalla centrale termica al sottoimpianto di distribuzione dell'edificio "C".



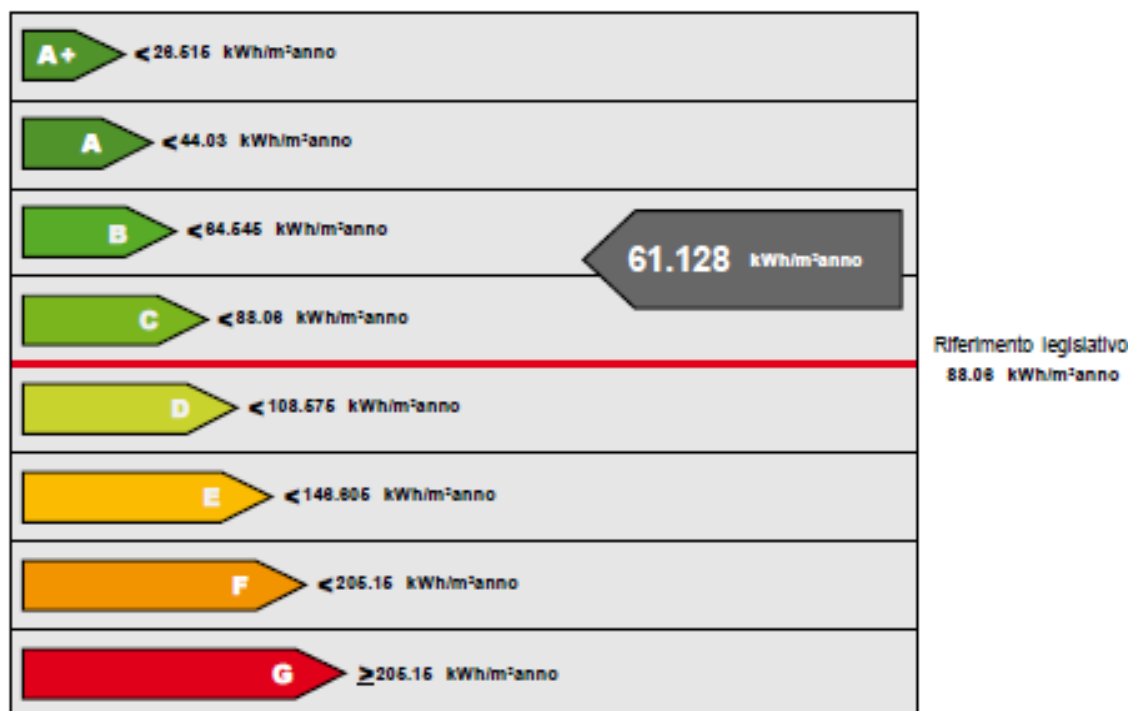


Figura 60.

Molto più che un’osservazione, quanto piuttosto una rilettura critica dei risultati forniti dal software TERMUS, consente invece di affermare quanto segue.

Nei casi denominati 5b e 5c i valori degli indici di prestazione energetica sono tali da classificare l’edificio “F” nella categoria di consumo B, come risulta dagli AQE e ACE (fig. 60). Sebbene sia un ottimo risultato esso è ancora distante dallo standard di Passivhaus e forse ci si sarebbe aspettati un risultato migliore dall’attenta progettazione impiantistica e di involucro che si è fatta e dal ricorso massiccio alle fonti di energia rinnovabile. Pur tralasciando alcuni fattori secondari (come ad esempio il fatto che il software non sia in grado di valutare correttamente il comportamento della parete ventilata ed il suo benefico apporto, oppure i vantaggi derivanti da una progettazione dettagliata dell’impianto di riscaldamento a pavimento, possibile solo con un modulo integrativo al TERMUS), si osserva come l’appartenenza dell’edificio alla classe energetica B in realtà sia il frutto di un evidente equivoco. Il programma di calcolo TERMUS infatti, lavorando sul layout dell’edificio, nel definire i vani, rileva direttamente

la superficie utile dalla planimetria del primo piano, senza considerare i soppalchi. Trattandosi infatti di spazi aperti, costituenti pertanto un'unica zona termica con il resto dell'appartamento, la superficie soppalcata, pur rientrando nel calcolo della superficie utile, non può essere definita al pari di un solaio interpiano. Il software dunque definisce gli appartamenti con una superficie calpestabile inferiore (di circa 1/3) rispetto a quella reale e con un'altezza media di 5,35 metri (ossia la volumetria reale) che sarebbe ingiustificata senza la presenza dei soppalchi.

Ricalcolando manualmente le superfici utili dei vari appartamenti, comprensive di soppalchi, e rapportando gli indici di prestazione energetica alla nuova superficie utile (effettiva), per quanto non ineccepibile come procedimento da un punto di vista normativo, si ottiene il risultato cercato, ovvero una sensibile riduzione degli indici stessi che porta l'edificio ad essere classificato in classe A, come mostrato nelle tabelle seguenti.

APPARTAMENTO	SUPERFICIE CALCOLATA DA TERMUS	SUPERFICIE PIANO SOPPALCATO	SUPERFICIE EFFETTIVA (1 + 2)
1	58,35 mq	31,65 mq	90 mq
2	57,75 mq	32,25 mq	90 mq
3	28,57 mq	16,43 mq	45 mq
4	104,04 mq	69,46 mq	173,5 mq
5	27,90 mq	14,60 mq	42,5 mq
6	27,44 mq	14,56 mq	42 mq
7	27,44 mq	14,56 mq	42 mq
8	27,73 mq	14,77 mq	42,5 mq
9	27,73 mq	14,77 mq	42,5 mq
TOTALE	386,95 mq	223,05 mq	610 mq

	EPI [kWh/mq anno]	EPI,invol [kwh/mq anno]	EPacs [kwh/mq anno]	EPE,invol [kWh/mq anno]	EP,glob. [kWh/mq anno]
INDICI CALCOLATI ⁶	58,717	54,906	2,411	0,208	61,128
INDICI CORRETTI	37,247	34,829	1,529	0,132	38,776

Occorre infine osservare che gli indici riportati in tabella sono gli unici parametri di calcolo che variano significativamente considerando la superficie utile effettiva, essendo essi direttamente rapportati alla superficie stessa (sono espressi in kWh/mq anno). La maggior parte degli altri fattori, come ad esempio i fabbisogni energetici (calcolati in rapporto alla volumetria ed al grado di isolamento) o le superfici disperdenti (e quindi il rapporto di forma), non variano, o variano in maniera trascurabile e, in ogni caso in senso cautelativo (si pensi ad esempio agli apporti interni).

⁶ Gli indici di prestazione energetica calcolati sono riferiti al caso 5c.

Il procedimento matematico per la determinazione dei nuovi indici corretti è, ovviamente:

$$\text{INDICE CORRETTO} = \text{IND. CALCOLATO} \cdot (\text{SUP. CALCOLATA TOT.} / \text{SUP. EFFETTIVA TOT.})$$

3.5 Bibliografia, sitografia e altre norme utili.

- [1] N.Tubi, *Rilevamento dello stato e tecniche degli interventi di ripristino degli edifici*, Ed. Maggioli, 2007.
- [2] P.Guerra, *Risanamento delle mura umide e degradate*, Flaccovio, 2011.
- [3] G.Albano, R.Cuzzilla, *Interventi di recupero strutturale degli edifici in muratura*, Ed. Maggioli, Gennaio 2012.
- [4] I.Mundula, N.Tubi, *Umidità e risanamento negli edifici in muratura*, Ed. Maggioli, 2011.
- [5] S.Agostini, *Recupero e riuso degli edifici rurali*, Ed. Maggioli, 2008.
- [6] R.Antonucci, *Restauro e recupero degli edifici a struttura muraria*, Ed. Maggioli, Giugno 2012.
- [7] F.Fiorito, *Involucro Edilizio e risparmio energetico*, Ed. Flaccovio, Palermo, 2009.
- [8] S.Brunoro, *Efficienza energetica delle facciate : standard, requisiti, esempi per l'adeguamento e la riqualificazione architettonica*, Ed. Maggioli, 2006.
- [9] M.Cappello, *Efficienza energetica degli edifici*, Ed. Grafill, 2008.
- [10] A.Fassi e L.Maina, *L'isolamento ecoefficiente: guida all'uso dei materiali naturali*, ed. aggiornata, Ed. Ambiente, Milano, 2009.
- [11] M.Spanolo, *Efficienza energetica nella progettazione*, Ed. DEI, 2007.
- [12] P.Rava, *Tecniche costruttive per l'efficienza energetica e la sostenibilità*, Ed. Maggioli, 2008.
- [13] G.Pahl, *Riscaldamento naturale della casa*, Ed. Muzzio, 2006.
- [14] A.Paoletta, *Architettura sostenibile e laterizio*, Ed. Ambiente, 2009.
- [15] C.Masotti, *Comfort estivo e risparmio energetico in architettura*, Ed. Maggioli, Maggio 2012.
- [16] F.M.Butera, *Collana Manuali di progettazione sostenibile*, ANAB.
- [17] K.E.Lotz, *La casa bioecologica*, Ed. AAM Terranuova, Firenze, II edizione, 2007.
- [18] M.Bonanomi, C.De Flumeri, M.Lavagna, *Edifici a consumo energetico zero*, Ed. Maggioli, Marzo 2012.

- [19] G.Colombo, *Lo stato dell'arte nella progettazione degli edifici passivi*, Ed. Alinea, 2006.
- [20] U.Wienke, *L'edificio passivo. Standard, requisiti, esempi.*, Ed. Alinea, Firenze, 2002.
- [21] C.Carletti, F.Sciurpi, *Passivhaus. Evoluzione energetica e comfort ambientale negli edifici italiani*, Ed. Pitagora, 2005.
- [22] C. Schittich, *Architettura solare*, DETAIL, 2005
- [23] L. Porciani, *Sistemi solari passivi*, IUAV,
- [24] A.Carbonari, A.Fanchiotti, G.Rossi, C.Trevisan, *Sistemi Solari Passivi 2, Raccolta ed Elaborazione Dati dalla Stazione di Prova di Muri di Trombe*, IUAV, Venezia, Aprile 1986.
- [25] Patricia Ferro, *Riscaldamento con sistemi solari passivi*, Roma, Ises Italia, 1998
- [26] M.Grosso, *Raffrescamento passivo degli edifici*, Ed. Maggioli, 2011.
- [27] M.Piazza, R.Tomasi, R.Modena, *Strutture in legno - Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*, Ed. Hoepli, Milano 2005.
- [28] G.Mottura, A.Pennisi, *Costruire con il legno lamellare*, Ed. Maggioli, Febbraio 2012.
- [29] S.Cascio, *Solai e tetti in legno*, Ed. Grafill, 2011.
- [30] G.L.Brunetti, *Coperture. Tecnologie, materiali, dettagli*, Ed. Wolters Kluwer Italia.
- [31] G.Cenci, *Strutture in Legno: calcolo e costruzione con riferimento alla DIN 1052*, Ed. Meta/Palutan, Milano, 1980.
- [32] R.Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile*, Ed. Esselibri, 2010.
- [33] O.Marchi, *Il soleggiamento degli ambienti in funzione del tipo di finestra*, Ed. CEDAM, Padova, 1980.
- [28] *Manuale del vetro*, Saint-Gobain Glass.

Siti web:

- <http://www.anit.it> – Ass. Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico.
- <http://www.anab.it>
- <http://www.bioecolab.it>
- <http://www.soloecologia.it>
- <http://ecobioedilizia.com>
- <http://www.portaledellabioedilizia.it>
- <http://www.promolegno.com>
- <http://www.laborlegno.it>
- <http://www.floornature.it>
- <http://www.filotecna.eu>
- <http://www.wolfhaus.it>
- <http://www.edilportale.com>
- <http://www.illegno-infissi.it>
- <http://mpfinestre.it>
- <http://www.pilkington.com>
- <http://www.bortolettoserramenti.it>
- <http://www.daku.it>
- <http://www.herzitalia.it>
- <http://www.binderholtz.com>
- <http://www.dataholz.it/it/>
- <http://www.arcon.it>
- <http://www.blockhouse.it>
- <http://www.holzbau-meiberger.at>
- <http://www.holzbauforschung.at>
- <http://www.matteobrioni.it>
- http://web.tiscali.it/risparmio_energetico/resa_impianto.jpg
- http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/tecno/pompe_calore.pdf
- <http://www.blocchiisotex.com>
- <http://www.equilibrium-bioedilizia.it>

NORME PRINCIPALI.

A seconda del settore d'impiego dei pannelli di legno compensato di tavole, gli strati longitudinali e quelli trasversali possono essere costituiti da tavole di una determinata classe di resistenza o categoria di classificazione secondo la UNI EN 338:1997 (ON EN 338:2003) o rispettivamente la DIN 4074-1:2003. Le grandezze caratteristiche delle singole tavole, importanti per la determinazione delle caratteristiche del prodotto finito, sono la resistenza a trazione, il modulo E a trazione nonché, in parte, la massa volumica. I singoli strati di un elemento di legno compensato di tavole particolarmente sollecitato dovrebbero essere di qualità adeguata e giuntati a pettine. È comunque preferibile che tutte le lamelle siano giuntate a pettine. Questi giunti devono essere realizzati secondo le indicazioni contenute nella UNI EN 385: 2003 (ON EN 385:2002), ed avere la stessa qualità richiesta per i giunti a pettine delle lamelle per la produzione di legno lamellare incollato.

- norma UNI EN 12775:2002 “Pannelli di legno massiccio – Classificazione e terminologia”.
- norme UNI EN 386:2003 (ON EN 386:2002), per il legno lamellare incollato.
- DIN 1055-3:2002 – “Carichi ammissibili per edifici”.
- UNI 3253 11 52 “Prove sul legno, elenco prove, norme generali”.
- UNI EN 1995-1-1: eurocodice 5 – progettazione delle strutture in legno – parte 1-1 : Regole generali – Regole comuni e regole per l’edificio.
- CNR-DT 206/2007 “Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione ed il controllo delle strutture di legno”.
- UNI EN ISO 6946.
- UNI EN ISO 13786.
- UNI EN ISO 10456.
- UNI 7959 “Pareti perimetrali verticali. Analisi dei requisiti”.
- UNI 10351.
- UNI EN ISO 13788.
- UNI 10351.

NORME PER LA DETERMINAZIONE DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA DEL SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO

- UNI EN ISO 13790 “Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento”.

NORME PER LA CARATTERIZZAZIONE DELL'INVOLUCRO

- UNI/TS 11300 – Parte 1-2-3-4.
- UNI EN ISO 6946 “Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo”.
- UNI EN ISO 10077-1 “Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti – Calcolo della trasmittanza termica – Parte 1: Generalità”.
- UNI EN ISO 10077-2 “Prestazione termica di finestre, porte e chiusure – Calcolo della trasmittanza termica – Metodo numerico per i telai”.
- UNI EN ISO 13786 “Prestazione termica dei componenti per edilizia – Caratteristiche termiche dinamiche – Metodi di calcolo”.
- UNI EN ISO 13789 “Prestazione termica degli edifici – Coefficienti di trasferimento del calore per trasmissione e ventilazione – Metodo di calcolo”.
- UNI EN ISO 13370 “Prestazione termica degli edifici – Trasferimento di calore attraverso il terreno – Metodi di calcolo”.
- UNI EN ISO 10211 “Ponti termici in edilizia – Flussi termici e temperature superficiali – Calcoli dettagliati”.
- UNI EN ISO 14683 “Ponti termici in edilizia – Coefficiente di trasmissione termica lineica – Metodi semplificati e valori di riferimento”.
- UNI EN ISO 13788 “Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l’umidità superficiale critica e condensazione interstiziale – Metodo di calcolo”.
- UNI EN 13363-1 “Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate - Calcolo della trasmittanza solare e luminosa - Parte 1: Metodo semplificato”.

- UNI EN 13363-2 “Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate - Calcolo della trasmittanza solare e luminosa - Parte 2: Metodo di calcolo dettagliato”.

NORME PER LA VENTILAZIONE

- UNI 10339 “Impianti aeraulici a fini di benessere – Generalità, classificazione e requisiti – Regole per la richiesta d’offerta, l’offerta, l’ordine e la fornitura”.
- UNI EN 15242 “Ventilazione degli edifici - Metodi di calcolo per la determinazione delle portate d'aria negli edifici, comprese le infiltrazioni”.

BANCHE DATI E NORME DI SUPPORTO

- UNI 10349 “Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici”.
- UNI 10351 “Materiali da costruzione – Conduttività termica e permeabilità al vapore”.
- UNI 10355 “Murature e solai – Valori di resistenza termica e metodo di calcolo”.
- UNI EN 410 “Vetro per edilizia – Determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate”.
- UNI EN 673 “Vetro per edilizia – Determinazione della trasmittanza termica (valore U) – Metodo di calcolo”.
- UNI EN ISO 7345 “Isolamento termico – Grandezze fisiche e definizioni”.
- UNI 8065 “Trattamento dell’acqua negli impianti termici ad uso civile”.
- UNI EN 303-5 “Caldaie per riscaldamento - Caldaie per combustibili solidi, con alimentazione manuale e automatica, con una potenza termica nominale fino a 300 kW - Parte 5: Terminologia, requisiti, prove e marcatura”.

Capitolo 4

Implementazione di sistemi di produzione di energia da fonti rinnovabili.

4.1 Introduzione: fonti rinnovabili, disponibilità in loco e loro sfruttamento.

In via preliminare all'analisi dei sistemi impiantistici che consentono di sfruttare le fonti rinnovabili per la produzione di energia (elettrica e termica) nel tentativo di pareggiare il bilancio fra l'energia prodotta e l'energia consumata (o i fabbisogni previsti), si procede ad uno studio di massima sulla disponibilità delle fonti stesse.

Pensando alla campagna pugliese inevitabilmente l'immaginario collettivo cade sui pomeriggi estivi, torridi e assolati. Questa rappresentazione, non distante dalla realtà, focalizza l'attenzione sulla prima (e forse maggiore) risorsa rinnovabile largamente utilizzabile: il sole. La disponibilità pressoché illimitata di tale fonte "pulita", sfruttabile da un punto di vista termico e di conversione diretta in elettricità, durante la stagione estiva ma anche durante quella invernale, trova conferma nei valori di irraggiamento medi per la località in esame (già presentati in dettaglio nella relazione tecnica al capitolo 2 e ripresi nel paragrafo 4.3 del presente capitolo). Nonostante la decisione di non occupare terreni agricoli e coltivabili, o altrimenti impiegabili (come purtroppo rischia di diventare prassi in questo territorio), marginando gli impianti (solare termico e fotovoltaico) alle superfici disponibili in copertura e all'integrazione negli involucri edilizi della masseria, l'enorme potenzialità specifica della fonte solare garantisce ottime opportunità di approvvigionamento energetico e di autoproduzione diretta.

Trattandosi di un contesto rurale inoltre, è impossibile non esaminare attentamente la disponibilità di biomasse, derivanti da scarti di coltivazioni (grano e frumenti) o dalla predisposizione di colture dedicate e a grande resa. Le biomasse, come analizzato al paragrafo 4.5, saranno impiegate solo in virtù del loro potenziale termico. Il loro utilizzo è altresì legato a processi di trasformazione da realizzare all'esterno della masseria. La vicinanza territoriale di aziende già impegnate da tempo nel trattamento degli scarti agricoli (generalmente usati per la produzione di concimi organici) può agevolare tale compito e contribuire a creare una filiera diretta a Km 0 di biomasse.

Un'altra fonte di energia rinnovabile largamente disponibile sul territorio pugliese infine, ed in particolare nella provincia di Foggia, come testimonia il continuo proliferare di campi eolici anche di grandi dimensioni, è appunto la fonte eolica.

Sebbene la maggior parte della produttività sia concentrata sui crinali appenninici (nei territori dei comuni di Accadia, Alberona, Sant'Agata, Troia, Biccari, Deliceto, Ascoli Satriano, etc.) o pedegarganici, esposti alle brezze marine (Poggio Imperiale, Lesina), è frequente, aggirandosi per tutto il Tavoliere, imbattersi in installazioni isolate. Anche il panorama dalla masseria Sant'Agapito offre scorci contornati dalla presenza di torri eoliche, visibili nel reportage fotografico in allegato al capitolo 2.

Una stima sulla disponibilità della fonte eolica a livello macroterritoriale parte dai dati forniti nell'Atlante Eolico del CESI, da cui sono estrapolate le mappe del vento illustrate nelle figure 1 e 2.

Per la determinazione delle caratteristiche di velocità e direzione dei venti predominanti si può fare riferimento alla scala Beaufort qui riportata.

Dalle mappe in figura 1 e 2 si conclude che, per il sito in oggetto, benché la velocità più probabile sia pari a circa 3,5 m/sec (cfr. dati climatici nella relazione tecnica al capitolo 2), a causa della coda di distribuzione, la velocità media è assunta pari a 6,5 m/sec.

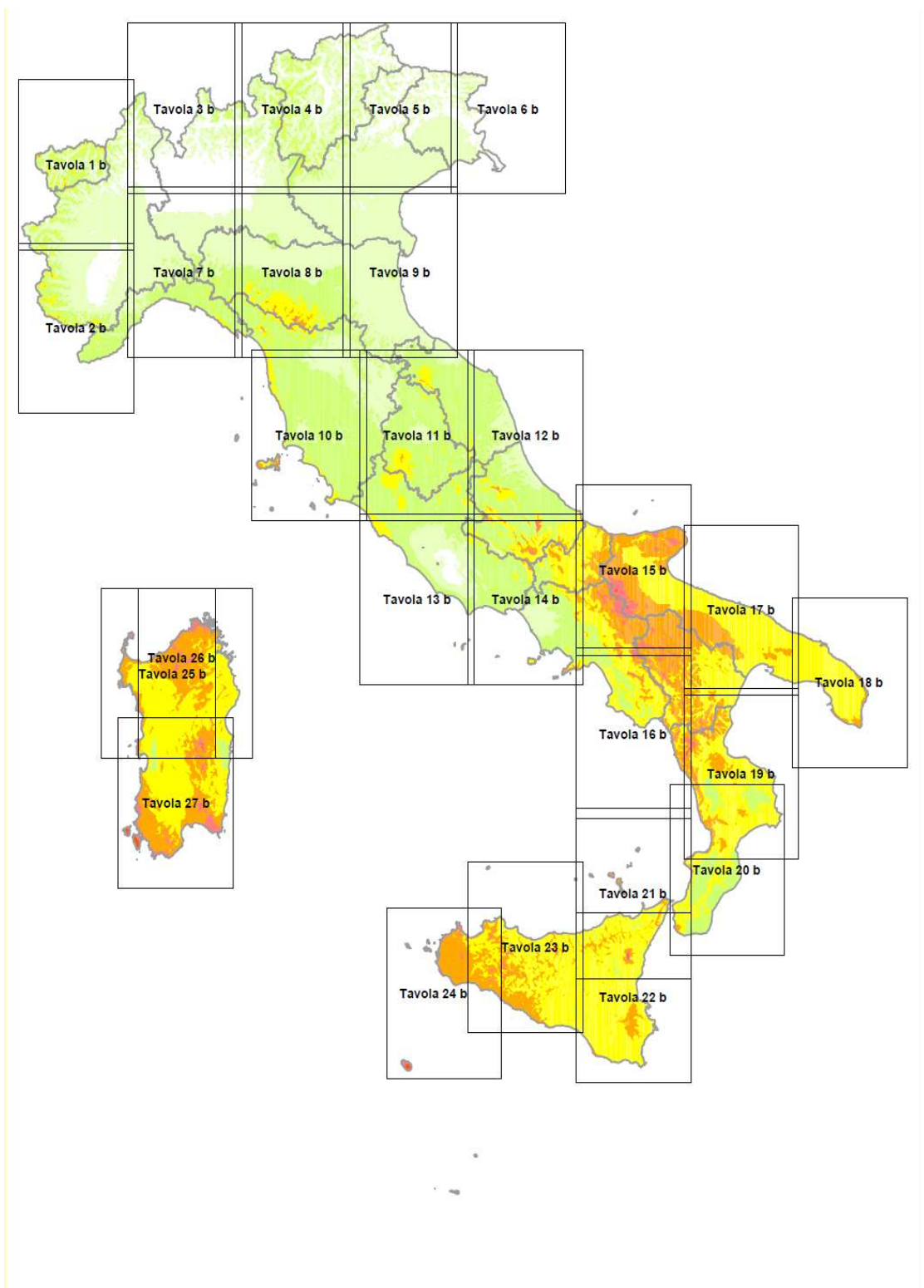
A fronte della vasta disponibilità delle fonti di energia sopra menzionate, occorre, al contrario, prestare molta attenzione allo sfruttamento della risorsa

idrica, in genere molto limitata sul territorio. In questo senso si muove la predisposizione di sistemi di recupero delle acque meteoriche, in particolare sulla copertura dell'edificio F, come accennato al capitolo 3. L'impianto di smaltimento delle acque reflue pone invece particolare attenzione all'esclusione di ogni possibilità di contaminazione e inquinamento della falda acquifera sotterranea (cfr. oltre).



GRADO BEAUFORT	TERMINI DESCRITTIVI	VELOCITA' EQUIVALENTE IN *			GRADO DOUGLAS
		NODI	Km/h	m/sec	
0	Calma	< di 1	< di 1	< di 0,2	0
1	Bava di vento	1 - 3	1 - 5	0,3 - 1,5	1
2	Brezza leggera	4 - 6	6 - 11	1,6 - 3,3	2
3	Brezza tesa	7 - 10	12 - 19	3,4 - 5,4	2
4	Vento moderato	11 - 16	20 - 28	5,5 - 7,9	3
5	Vento teso	17 - 21	29 - 38	8,0 - 10,7	4
6	Vento fresco	22 - 27	39 - 49	10,8 - 13,8	5
7	Vento forte	28 - 33	50 - 61	13,9 - 17,1	6
8	Burrasca	34 - 40	62 - 74	17,2 - 20,7	7
9	Burrasca forte	41 - 47	75 - 88	20,8 - 24,4	7
10	Tempesta	48 - 55	89 - 102	24,5 - 28,4	8
11	Tempesta violenta	56 - 63	103 - 117	28,5 - 32,6	9
12	Uragano	64 - Oltre	118 e Oltre	32,7 e Oltre	9

* Riferito ad un anemometro sito a 10 metri d'altezza sul livello del mare



Mapa elaborata da CESI in collaborazione con il Dipartimento di Fisica dell'Università di Genova nell'ambito della Ricerca di Sistema. Per una corretta interpretazione si veda il testo dell'Atlante di cui questa mappa fa parte.

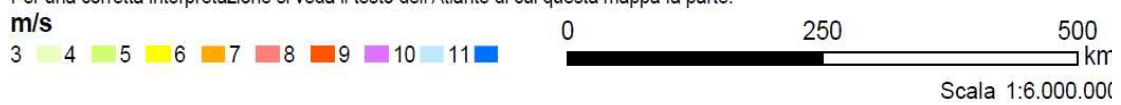


Figura 1.

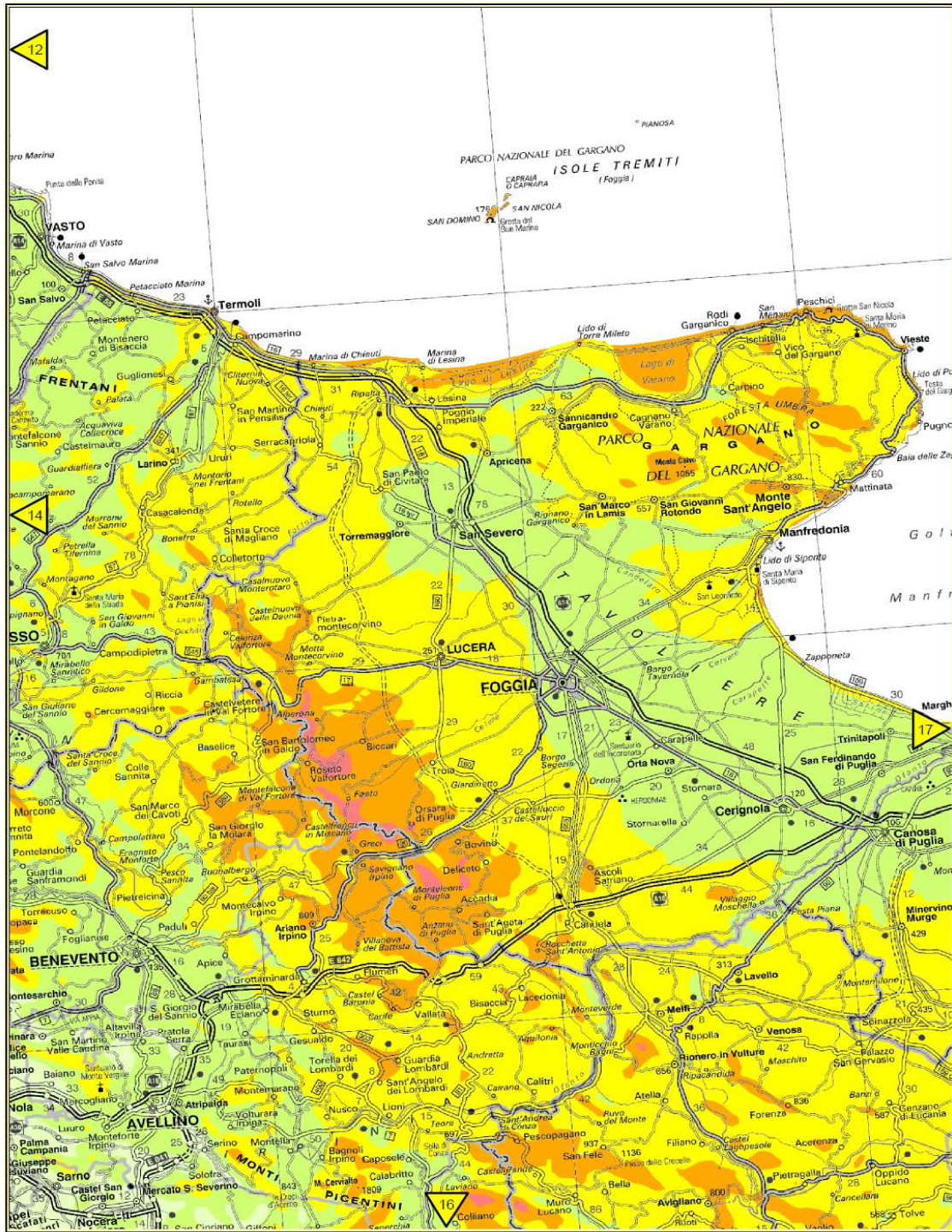

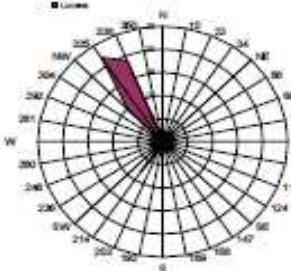
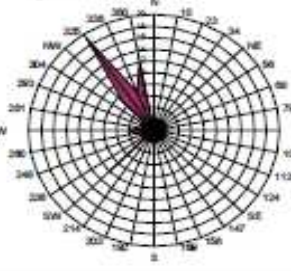
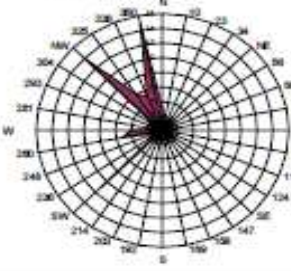
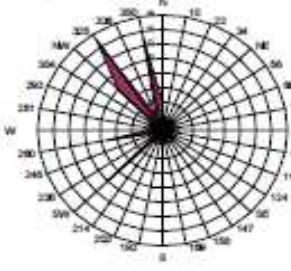
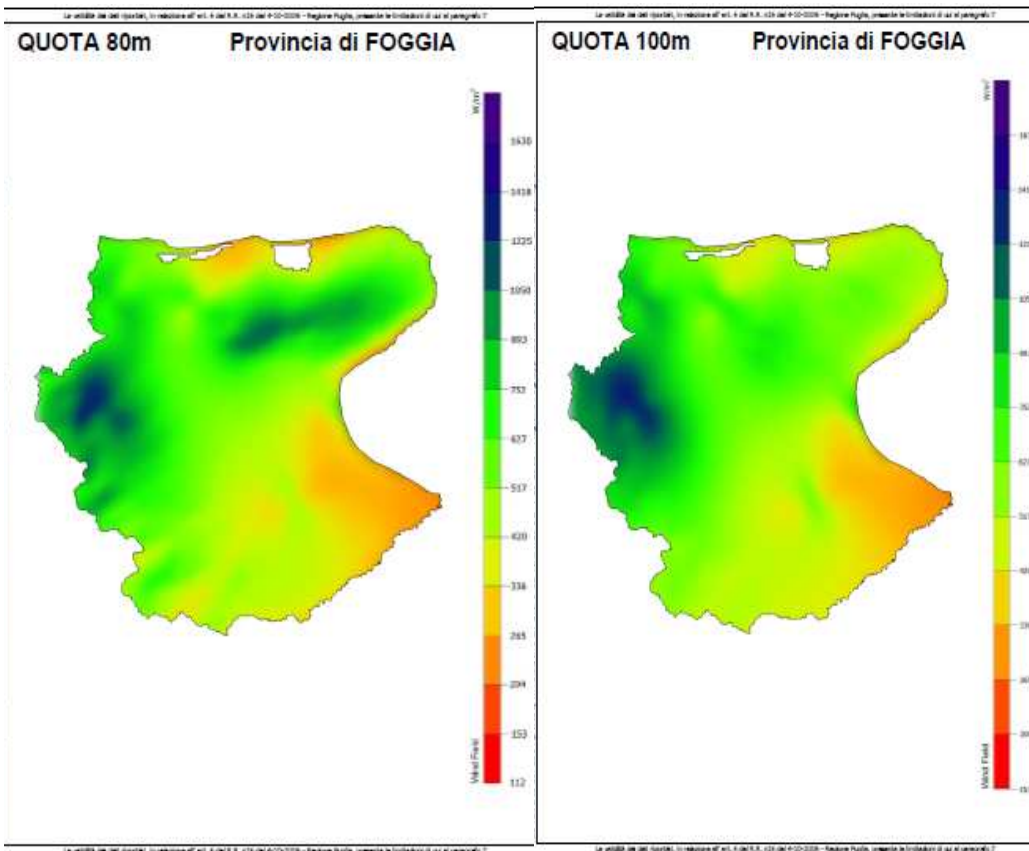
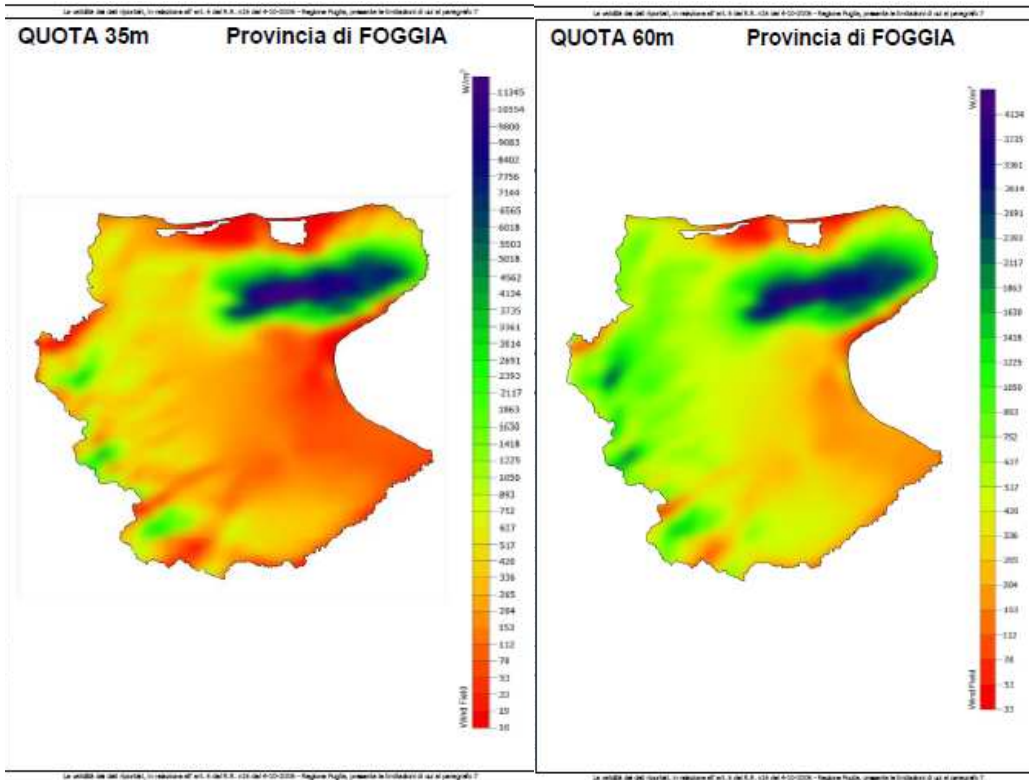


Figura 2: Tavola 15b.

In maggior dettaglio si riportano anche i dati, afferenti al comune di Lucera, estrapolati dall'Atlante Eolico della Regione Puglia elaborato dal Centro Ricerca Energia Ambiente (C.R.E.A) dell'Università del Salento.

Comune di LUCERA

SUPERFICIE [km ²] 338,65		<h2>LUCERA</h2>
ALTIMETRIA [m] 56 – 345		
		<i>Dati ricavati da rilevamenti effettuati ogni 10 minuti per un periodo di tempo di 6 anni: (dal 1 Gennaio 2000 al 31 Dicembre 2005)</i>
		QUOTA 35 m
		Velocità media [m/s] 6.49
		Deviazione standard 0.63
		Direzione prevalente [°] (occorrenza mensile)
		
QUOTA 60 m		QUOTA 80 m
Velocità media [m/s] 7.50	Velocità media [m/s] 8.08	Velocità media [m/s] 8.45
Deviazione standard 0.52	Deviazione standard 0.52	Deviazione standard 0.50
Direzione prevalente [°] (occorrenza mensile)	Direzione prevalente [°] (occorrenza mensile)	Direzione prevalente [°] (occorrenza mensile)
		



4.2 Fabbisogni stimati e consumi effettivi.

4.2.1 Fabbisogno di energia termica per riscaldamento.

Si riportano di seguito i valori del fabbisogno di energia termica per riscaldamento riferiti rispettivamente all'edificio C, identificato come b&b "Il Crogiuolo", e all'edificio F di nuova costruzione. I suddetti valori scaturiscono dall'analisi energetica dei due edifici, condotta con l'ausilio dei software DOCET e TERMUS, e sono quelli indicati nei rispettivi attestati di qualificazione energetica allegati ai precedenti capitoli 2 e 3. Si trascura in questa sede il procedimento analitico per la determinazione degli stessi.

Con gli attestati e i certificati energetici, vengono inoltre forniti i reportage dettagliati sull'andamento mensile dei fabbisogni energetici per il raffrescamento estivo, oltre che appunto per il riscaldamento.

Edificio C:

- Indice di prestazione energetica per riscaldamento
(EPi) = 160,3 kWh/mq anno.
- Fabbisogno netto per riscaldamento =
102,9 kWh/mq anno.

Edificio F:

- Indice di energia primaria per riscaldamento
(EPi) = 37,247 kWh/mq anno.
- Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento =
24037,70 kWh.

4.2.2 Fabbisogno di energia termica per acqua calda sanitaria.

Nel capitolo secondo, in sede di diagnosi energetica dell'edificio C, non potendo rilevare gli effettivi consumi dovuti alla preparazione dell'acqua calda sanitaria (che attualmente viene fornita da due boiler elettrici e una caldaia a GPL) si è proceduto al calcolo del fabbisogno di energia termica per ACS (EP_{acs}). Il dato, calcolato con l'ausilio del software DOCET di ENEA e indicato nell'attestato di qualificazione energetica del b&b "Il Crogiuolo" (in formato Excel è disponibile il reportage mensile) risulta pari a 62,7 kWh/mq anno.

Un dato più cautelativo, che considera anche l'incremento nel tasso di occupazione attuale del b&b, è 6350 kWh/anno. Questo deriva dal considerare la presenza in media di 10 ospiti, con un fabbisogno di 50 l/giorno pro capite, e applicando il bilancio:

$$Q = m \cdot c_p \cdot (T_u - T_i) = 1500 \text{ kcal} = 1,74 \text{ kWh/giorno pro capite}$$

essendo m la portata in massa, c_p il calore specifico dell'acqua, T_u la temperatura dell'acqua in uscita dal sistema (45°C) e T_i quella in ingresso (dell'acquedotto, circa 15°C).

La stessa stima si può fare per l'edificio F, considerando un similare livello occupazionale. Anche per questo edificio tuttavia il dato è fornito nell'attestato di certificazione energetica al capitolo 3. Nei risultati di calcolo viene invece indicato il fabbisogno utile di energia termica per ACS, che è pari a 6983,40 kWh/anno.

Infine per l'edificio B con annessa cucina, lavanderia e locale ristoro, si stima plausibilmente un fabbisogno pari a 3500 kWh/anno.

4.2.3 Consumi effettivi di energia elettrica.

Per quanto concerne il fabbisogno di energia elettrica si procede alla determinazione statistica basandosi sui rilievi dei consumi effettivi indicati nelle fatture ENEL relative agli anni 2009, 2010, 2011. I consumi si riferiscono all'intero complesso denominato "Masseria Sant'Agapito", senza alcuna ripartizione in funzione degli edifici o delle attività.

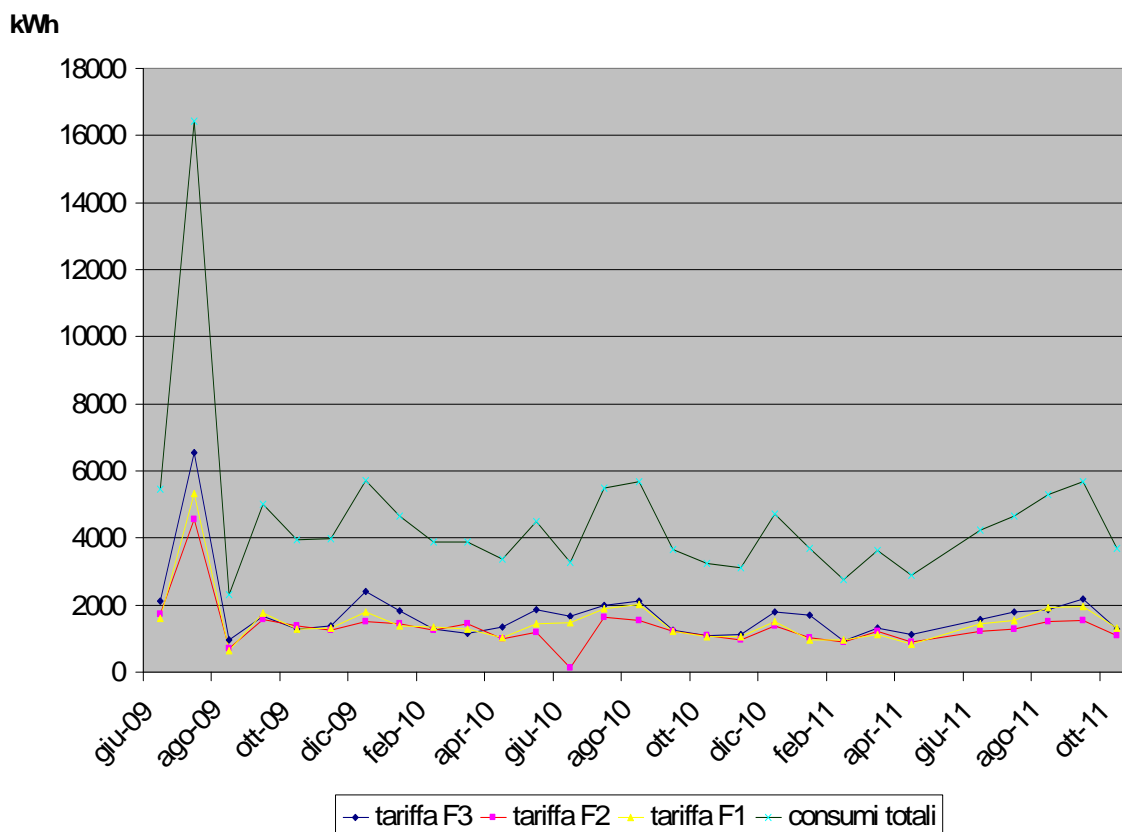
I dati, insieme alle specifiche del contratto di fornitura con l'azienda distributrice, vengono presentati in maniera sintetica attraverso un grafico che mostra l'andamento nel tempo dei consumi mensili registrati per le diverse fasce tariffarie. Il grafico, unitamente alle considerazioni sviluppate al paragrafo 4.2.4, forniscono un'idea abbastanza precisa del fabbisogno di energia per usi elettrici.

All'Allegato 4.1 invece, in formato Excel, si trovano in maniera dettagliata i dati relativi alle singole fatture.

PROSPETTO GRAFICO DEI CONSUMI DI ENERGIA ELETTRICA

- Contratto di fornitura: ENEL – Uso diverso dall'abitazione con tariffa BTA6 multioraria
- Numero cliente: 891569068
- Intestato a: Colucci Angelica
- Partita IVA: 03127370710
- Tensione di fornitura: 380 V – trifase
- Potenza disponibile: 28 kW
- Tipologia di contatore: contatore elettronico gestito per fasce (EF)

Consumi ENEL



4.2.4 Analisi qualitativa dei consumi.

Il grafico di cui al paragrafo precedente, relativo ai consumi effettivi di energia elettrica registrati nell'ultimo triennio, mostra un andamento abbastanza regolare degli stessi nell'arco di periodo considerato, testimoniando un costante assorbimento, ben distribuito nei mesi, da parte delle utenze. Infatti, ad esclusione del dato corrispondente al mese di luglio 2009, in cui si è verificato un consumo totale di elettricità (pari a 16415 kWh) del tutto straordinario, dovuto, più che al normale incremento estivo delle presenze turistiche, ad una particolare concentrazione di eventi serali (concerti, happening e feste di varia natura) e alla realizzazione di lavori manutentivi non ordinari, a partire dal cantiere per l'esecuzione della piscina balneabile, la traccia dei consumi totali si assesta, nei mesi successivi, intorno al valore medio di 4000 kWh/mese. Naturalmente tale andamento rispecchia in pieno i dati di affluenza delle presenze, senza tuttavia

comportare sostanziali oscillazioni. Ai picchi registrati durante i mesi estivi, imputabili alle cause già ascritte, e a quelli che si verificano in concomitanza con le festività natalizie e di fine anno, spesso si accompagnano dati di basso consumo (fino a 2771 kWh nel mese di febbraio 2011) inerenti ai mesi invernali o, in genere, di limitata attività della masseria, proprio in riferimento ad eventi collaterali rispetto alla regolare attività di ricezione turistica, di ristoro e di masseria didattica.

La suddivisione dei consumi per fasce orarie ne evidenzia una corretta gestione, soprattutto in termini monetari, essendo tali consumi concentrati, per quanto possibile, nella fascia F3 (serale). Buone pratiche in tal senso riguardano l'utilizzo in suddetta fascia di elettrodomestici fortemente energivori (lavatrici, aspirapolveri, forno elettrico), accompagnate naturalmente da un sistema di illuminazione notturna a risparmio energetico. D'altra parte, i consumi diurni e specialmente quelli collocati in fascia F1, caratterizzati anch'essi da picchi estivi (da giugno ad agosto), sottolineano l'incremento delle presenze con conseguente messa in funzione, ad esempio, degli impianti di condizionamento dell'aria.

E' utile osservare come l'incremento dei consumi durante i mesi estivi ben si accordi con l'eventuale produzione di energia elettrica mediante sistema fotovoltaico, caratterizzato da una maggiore produttività appunto in periodo estivo.

Al di là delle considerazioni finora svolte, nell'ottica di prevedere un fabbisogno medio annuale di elettricità, dato fondamentale ad esempio proprio per il dimensionamento di un impianto fotovoltaico, si considera:

- un consumo con media aritmetica mensile di 4493 kWh, ossia 53916 kWh/anno;
- un consumo medio mensile di 4050 kWh stimato escludendo il contributo eccezionale di luglio 2009, quindi 48612 kWh/anno (ipotesi più verosimile);
- una riduzione dei consumi attuali intorno al 20% (tra 9000 e 10000 kWh/anno), conseguibile oltre che con politiche gestionali volte al

risparmio energetico più attente, con le modalità descritte nel successivo paragrafo 4.2.5;

- un incremento dovuto alle utenze del nuovo edificio residenziale F, plausibilmente stimato come il 50% del consumo medio di 9 nuclei familiari composti in totale da 21 individui. Poiché in media una famiglia di quattro persone consuma 3000 kWh/anno, includendo i consumi degli impianti di condizionamento, delle pompe di calore e dei macchinari elettrici presenti nei laboratori (difficilmente calcolabili), e applicando una maggiorazione cautelativa, si conclude che il suddetto incremento è contenuto al di sotto dei 15000 kWh/anno. Si sottolinea che l'edificio sarà dotato di sistemi di illuminazione con lampade a risparmio energetico e led, di dispositivi atti ad evitare gli sprechi (come gli stand-by), di elettrodomestici di classe A++. La lavanderia, il locale TV e computer, la cucina ed i frigoriferi, come già precisato, sono in comune, pertanto se ne scoraggerà l'impiego individuale.

Da ciò deriva una previsione del fabbisogno di energia elettrica per l'intera masseria che si aggira intorno ai 53000 kWh all'anno.

Questo dato sarà di fondamentale importanza nella determinazione delle potenze e nel dimensionamento degli impianti di generazione da fonti rinnovabili (eolico e fotovoltaico) che dovrebbero garantire in linea di progetto la totale autosufficienza della masseria.

Un'analisi dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento, raffrescamento ed ACS, infine, è stata già condotta nei relativi paragrafi, essendo intrinsecamente legata alle prestazioni degli involucri edilizi. Non si intende quindi tornare sull'argomento.

4.2.5 Interventi, azioni e pratiche di razionalizzazione e riduzione dei consumi energetici.

Come accennato al paragrafo 4.2.4 l'obiettivo è una riduzione rispetto ai consumi attuali di circa il 20%. Molteplici sono gli strumenti che si possono impiegare per raggiungere lo scopo, considerato che numerosi interventi di risparmio energetico sono già stati attuati negli ultimi anni (come ad esempio la sostituzione delle lampade ad incandescenza e degli elettrodomestici) sotto la guida di un'attenta politica di razionalizzazione. Non bisogna infatti dimenticare che per la connotazione di masseria didattica il tema del risparmio energetico assume una valenza simbolica ed educativa, oltre che ambientale ed economica. Gli stessi ospiti vengono sensibilizzati attraverso azioni pratiche o simboliche ad "evitare gli sprechi e risparmiare energia e risorse". L'utilizzo collettivo di lavatrici, frigoriferi, cucine, TV, sono un chiaro ed originale esempio, unitamente alla continua adesione a campagne di sensibilizzazione come "M'illumino di meno", la "Giornata mondiale per l'acqua" e similari.

Se da un lato dunque, per quanto riguarda gli interventi e le buone pratiche, molto è già stato fatto (ma altro si può ancora fare), dall'altro si possono intraprendere numerose azioni che, sempre nell'ottica della duplice funzione, pratica e di sensibilizzazione, consentano di ottenere una significativa riduzione dei consumi, fino al progressivo raggiungimento dell'obiettivo prefissato (9000-10000 kWh/anno). Non bisogna dimenticare che un notevole contributo (calcolato in circa 4-5000 kWh all'anno, ovvero intorno al 10% degli attuali consumi) scaturisce sicuramente dall'eliminazione dei 2 boiler elettrici utilizzati per l'ACS nell'edificio C.

Per aiutare a comprendere gli ambiti di intervento, si forniscono inoltre alcuni dati relativi al consumo medio di alcuni elettrodomestici con modalità di utilizzo simili al caso in esame.

Dispositivo	Potenza (W)	Utilizzo medio (ore/mese)	Consumo (kWh/anno)
asciuga biancheria	3000	5	180
Aspirapolvere	1000	60	720
boiler elettrico	1200	120 l/giorno	3000
Congelatore	300	Continuo	600
cucina elettrica	3000	60	2160
forno elettrico	2000	30	720
Lavastoviglie	3000	60	2160
Lavatrice	3000	90	3240
personal computer	200	60	144
TV color	200	60	144
pompa di calore			350
stand-by		Continuo	200

Senza soffermarsi troppo sugli aspetti tecnici e di realizzazione, data la marginale rilevanza delle singole azioni nel quadro generale di progetto e la scarsa valenza dal punto di vista scientifico, si elencano nel seguito, a titolo di esempio, alcune fra le idee più interessanti ed originali atte a conseguire il restante 10% del risparmio auspicato (5000 kWh/anno).

1. Lavatrice a pedali. (Fig. 3)



Fig. 3.

Serge Latouche, filosofo e teorico della “Decrescita felice”, recentemente ospite a Modena per il Festival della filosofia 2012, illustrando la sua strategia di decrescita, incentrata sulla sobrietà, sul senso del limite e sulle “8 R” (Rivalutare, Riconcettualizzare, Ristrutturare, Ridistribuire, Rilocalizzare, Ridurre, Riutilizzare, Riciclare), afferma:

“Esistono già nel mondo invenzioni finalizzate alla decrescita, come la lavatrice a pedali, brevettata in Perù; ma non preoccupatevi donne, perché pedalerà vostro marito per tenersi in forma” .

Si riferisce a GiraDora, l'invenzione di due studenti di design, Alex Cabunoc e Ji A You, una lavatrice che funziona a pedali, senza bisogno di elettricità, economica (costa appena 40 dollari) e in grado di alleviare il lavoro casalingo, risparmiare acqua, soldi, tempo ed energia. GiraDora, ha la grandezza di un sedile cilindrico e si utilizza stando comodamente seduti sopra il suo coperchio e azionando il pedale con i piedi. L'idea è il frutto di un lungo lavoro sul campo, nell'ambito del progetto «Safe Agua Peru» avviato a Cerro Verde, popoloso slum alla periferia di Lima.

(<http://www.lastampa.it/2012/08/05/blogs/sos-tenibile>)

Naturalmente occorre osservare che nei Paesi in via di sviluppo, le faccende di casa come il bucato, si effettuano secondo il metodo tradizionale, ovvero nei pressi di un corso d'acqua, solitamente un fiume o un torrente, dove ci si reca per 5 ore di duro lavoro, anche più volte a settimana. Nel nostro caso invece l'utilizzo della lavatrice eco-friendly si pone come alternativa simbolica all'utilizzo delle lavatrici automatiche. Inoltre si può ipotizzare un risparmio conseguibile fino a 1000 kWh/anno, ossia il 2% dei consumi totali stimati.

Le lavatrici-bicicletta non sono dunque una novità, almeno dal punto di vista dell'invenzione, in determinati contesti. Tuttavia ora possiamo finalmente affermare che almeno una grande azienda sta appoggiando l'idea, ed ha intenzione di diffonderla sul mercato: Haier, una grande azienda di

elettronica cinese, che ha realizzato una lavatrice a propulsione umana battezzata *IFA 2010*, presentata in occasione di *Energethica*, la mostra internazionale dell'energia sostenibile tenutasi a Torino dal 24 al 26 maggio 2012.

2. Palco a pedali.

L'esperimento, fortemente innovativo e comunicativo, è stato già tentato in alcune occasioni. Fra tutte vale la pena citare lo spettacolo "GOODBIKE" portato in giro per l'Italia dal gruppo musicale Têtes de Bois. Il responsabile tecnico del progetto (prodotto dalla Just in Time e finanziato dall'Assessorato alle Infrastrutture Strategiche e Mobilità della Regione Puglia), l'ingegnere Gino Sebastianelli, con l'aiuto dell'artigiano Roberto Palazzi, è riuscito, con 128 postazioni dotate di dinamo da 100 W (fig. 4), ad alimentare in maniera continuativa per l'intera durata delle esibizioni l'impianto audio-luci (a basso consumo) di 10 kW di potenza.



Fig.4: il palco a pedali dei Têtes de Bois.

(Fonte: <http://www.palcoapedali.it>)

Realizzando postazioni in grado di combinare su un unico rullo 2 biciclette si possono impiegare dinamo da 500 W, ottenendo lo stesso risultato con sole 40 biciclette. Poiché empiricamente si può calcolare un

consumo medio dai 30 ai 50 kWh ad evento, e poiché la masseria ospita ed organizza almeno 20 eventi l'anno, si può arrivare a risparmiare fino a 1000 kWh/anno, il 2% dei consumi totali, realizzando qualcosa in grado di attirare artisti e pubblico in maniera autonoma; una sorta di “evento nell'evento”.

3. Frigorifero a pozzo di neve.

In contesti rurali è stato da sempre, prima della diffusione dei frigoriferi industriali, il metodo più usato per la refrigerazione e la conservazione dei cibi. Una buca scavata nel terreno, di profondità e diametro appropriati, in caso di nevicate (peraltro rare nella zona considerata) viene colmata con alcune decine di metri cubi di neve compattata e l'apertura viene ricoperta con paglia. Ideale ad esempio per rinfrescare cibi e bevande, sebbene non idonea per normativa alla conservazione degli alimenti, è in grado di mantenere temperature inferiori a 4°C fino a primavera inoltrata. Questo sistema potrebbe ridurre il numero di apparecchiature frigorifere in funzione durante i mesi invernali fino a maggio, realizzando tuttavia un risparmio relativamente irrisorio (< 1%).

4. Forno solare. (Fig. 5, fonte <http://www.scuolamediacoletti.org>)

Realizzabile con materiali di recupero, funziona sfruttando la radiazione solare e l'effetto serra, ed è in grado di raggiungere temperature sufficienti alla cottura dei cibi (80-100°C). Il risparmio di energia elettrica derivante dall'impiego del forno solare in sostituzione del forno elettrico è difficilmente stimabile in pochi punti percentuali (1-2%), poiché già attualmente si preferisce adoperare il forno a legna in luogo di quello elettrico.

5. Cucina solare. (Fig. 6)

Di antichissima ideazione, attualmente ancora utilizzata in numerose aree geografiche ed in particolare nei paesi in via di sviluppo (villaggi rurali in Africa, Sud-America e sud-est asiatico), è di semplice realizzazione. Una parabola in materiale metallico ad elevato potere riflettente, opportunamente

esposta, convoglia i raggi solari in un punto focale, dove in una normale pentola di rame è possibile cuocere i cibi. L'utilizzo della cucina solare incide principalmente sul consumo di gas combustibile ma si pone anche come valida alternativa all'impiego dei fornelli elettrici che presumibilmente costituiranno, insieme a vecchie stufe-cucine a legna, le cucine indipendenti negli appartamenti dell'edificio F. In questo caso il risparmio di elettricità conseguibile resta comunque limitato a poche centinaia di kWh all'anno (1-2%).



Fig. 5: forno solare.



Fig. 6.

4.3 Energia solare.

4.3.1 Sistemi attivi: solare termico.

4.3.1.1 Collettori solari: classificazione, tipologie e principi di funzionamento.

Senza soffermarsi troppo, si dirà che il collettore solare non è nient'altro che un sistema termodinamicamente aperto (fig. 7) in cui circola un fluido termovettore (aria, acqua o miscele con antigelo, glicole) in regime che si assume permanente.

Il principio di conservazione dell'energia fornisce il bilancio termico che, data l'assenza di organi meccanici che compiono lavoro all'interno del volume di controllo, si scrive come:

$$Q_{\text{SOL}} - Q_{\text{DIS}} = \Delta H$$

ovvero (potenza solare assorbita dalla superficie captante) – (potenza termica dispersa dall'involucro del collettore) = (flusso netto di entalpia).

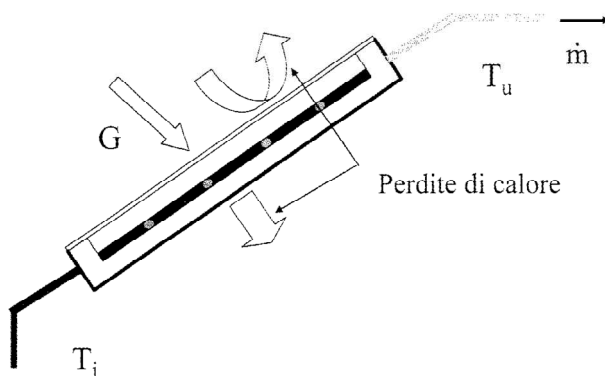


Fig. 7: bilancio termico del collettore.

Q_{SOL} , a sua volta, è data dal prodotto della radianza G (in W/mq) per la superficie del collettore, per il coefficiente di trasmissione e per il coefficiente di

assorbimento (rispettivamente, rapporti fra l'energia solare trasmessa attraverso la copertura vetrata o assorbita dalla piastra captante e l'energia incidente).

$$Q_{\text{SOL}} = G \cdot S \cdot t \cdot a$$

Q_{DIS} è invece pari al prodotto della superficie captante per il fattore globale di dispersione termica (in $\text{W/mq}^\circ\text{K}$, che rappresenta il flusso disperso attraverso 1 mq di superficie per 1°K di differenza di temperatura fra interno ed esterno), moltiplicati ancora per la differenza di temperatura tra fluido ed ambiente.

$$Q_{\text{DIS}} = S \cdot U \cdot (T_{\text{flu}} - T_{\text{amb}})$$

Il flusso di entalpia infine è il prodotto fra portata in massa del fluido, calore specifico e differenza di temperatura del fluido fra ingresso ed uscita.

$$\Delta H = m \cdot c_p \cdot (T_u - T_i)$$

Allora l'efficienza del collettore, data dal flusso netto di entalpia diviso per la superficie captante e per la radianza, si può riscrivere come prodotto dei coefficienti di trasmissione ed assorbimento meno il fattore globale di dispersione moltiplicato per la differenza di temperatura tra fluido e ambiente e diviso per la radianza.

$$\eta = \Delta H / (S \cdot G) = t \cdot a - (U/G) \cdot (T_{\text{flu}} - T_{\text{amb}})$$

Il fattore di Whillier consente di esprimere la formula in termini di temperatura del fluido in ingresso. Si dimostra così che l'efficienza cala al crescere della temperatura media di funzionamento (o della temperatura in ingresso) ed al diminuire di temperatura esterna e radianza. Il suo valore massimo è dato dal prodotto dei suddetti coefficienti.

Proprio in funzione della temperatura raggiungibile dal fluido si classificano:

- collettori a bassa temperatura (40-90°C) piani (vetrati e non) o a tubi sottovuoto;
- collettori a media temperatura (60-250°) a tubi di calore (heat pipes) o sottovuoto;
- collettori ad alta temperatura (>250°), dotati di riflettori statici (eliostati) o dinamici.

Nella figura 8 si mostra la sezione tipica di un collettore piano.

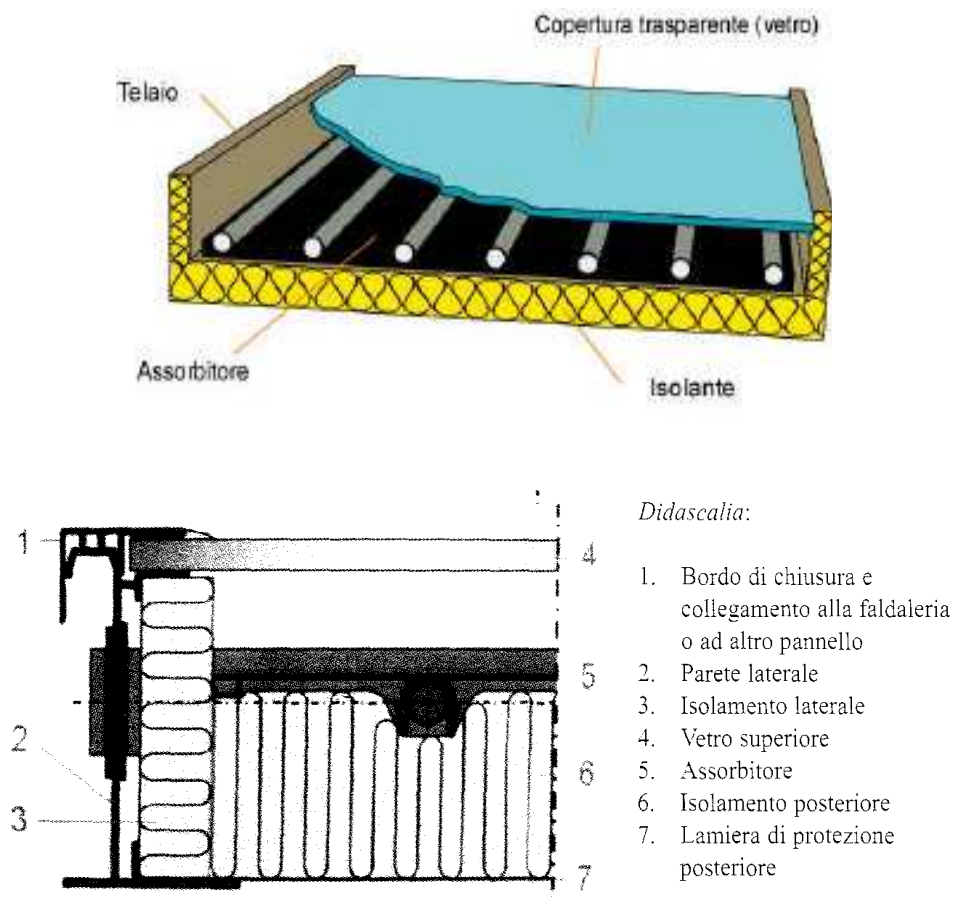


Fig. 8.

La copertura può essere costituita da uno o più strati, a seconda del rigore de clima esterno, in vetro (normale 4-6mm, low iron, liscio, con trattamento antiriflettente) oppure in materiale plastico, (policarbonato alveolare o

polimetacrilato); il materiale e il numero di strati influiscono rispettivamente sul fattore di conversione e sul coefficiente di perdita, come mostra la figura 9. Ad esempio, con una temperatura ambiente di 10°C e una temperatura di piastra di 100°C il flusso termico disperso per convezione verso l'alto è di 570 W/mq con vetro singolo, con triplo vetro appena di 350 W/mq.

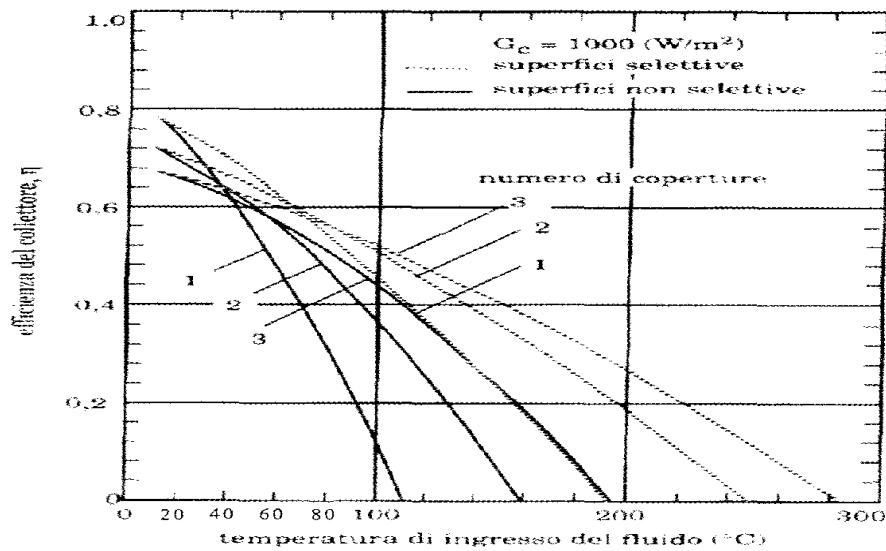


Fig. 9.

Le caratteristiche di trasmissione della copertura invece dipendono principalmente dall'angolo di incidenza della radiazione solare e dalla lunghezza d'onda; i trattamenti antiriflettenti aumentano il valore del coefficiente di trasmissione. Il ruolo della copertura, oltre che di protezione dagli agenti atmosferici, è quello di trattenere la radiazione riemessa dalla piastra assorbente (annerita) nel campo dell'infrarosso (il vetro è opaco a tale spettro), generando il ben noto effetto serra. Si veda la figura 10.

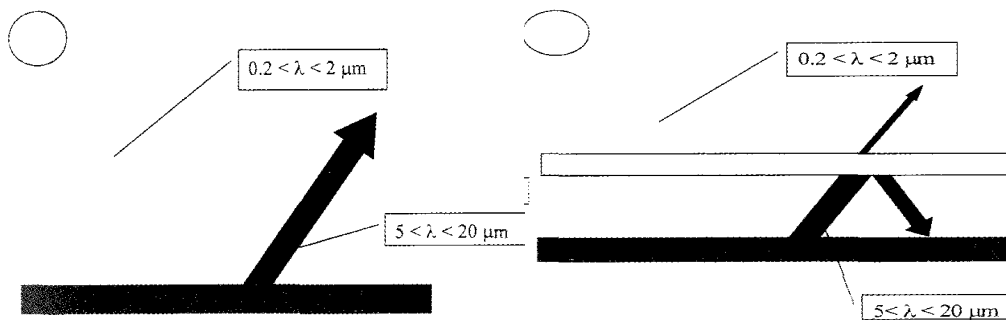


Fig. 10: comportamento della radiazione sulla piastra assorbente, con vetro (des.) o senza (sin.)

La piastra assorbente, che deve essere dotata di elevata conducibilità termica, può essere realizzata in rame, acciaio inox (AISI 304), alluminio (2-4mm) roll bond, EPDM (gomma sintetica a base di etilene e propilene). Particolare importanza assume il rivestimento della piastra, che può essere di normale vernice nera o di vernici selettive e basso emissive (ad es. alluminio con pigmentazione al nichel), o ancora di coatings come Black Chrome, TiNOx, Cermet, Sunselect (Ruesch).

Come evidenziato in tabella 1, i valori di emissività ed assorbimento variano significativamente.

Tabella 1

rivestimento	Substrato	emissività	assorbimento
Nero di Ni	Acciaio	0,07	0,95
Nero di Cr	Acciaio	0,07	0,91
Nero di Cr	Rame	0,14	0,95
Nero di Cu	Acciaio	0,15	0,88
Ossido di Mn	Alluminio	0,08	0,70
Ossido di Fe	Acciaio	0,08	0,85
TiNOx	Rame	0,05	0,94

I condotti del fluido termovettore possono essere di vari tipi:

- Roll-bond, lamiera preformate con canalizzazioni;
- Tubi alettati in rame, solitamente di diametro 8-12mm, uniti in parallelo da un collettore 20mm;
- Tubi schiacciati (brevetto Wallnoefer).

L'isolante, di poliuretano, polipropilene o lana di roccia, ha spessori non inferiori ai 5 cm, anche lateralmente, e talvolta ha un rivestimento alluminato per riflettere la radiazione infrarossa.

In figura 11 si mostra lo schema di un collettore sottovuoto, in cui una piastra in rame con rivestimento selettivo assorbe la radiazione e la trasmette al fluido che scorre nello scambiatore coassiale (tubo in tubo). Fra elemento captante e rivestimento in vetro è realizzato il vuoto per motivi di isolamento termico.

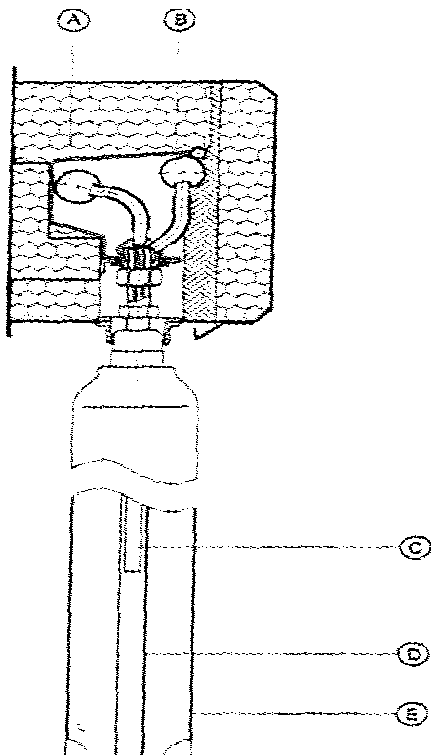


Fig. 11: A) tubo di ritorno; B) tubo di mandata; C) tubo scambiatore di calore coassiale; D) tubo annerito; E) tubo di rivestimento in vetro.

Talvolta ai collettori sottovuoto si abbinano, in varie posizioni, schermi riflettenti per concentrare la radiazione solare sulla superficie captante. Questi collettori CPC (collettori a concentrazione cilindro-parabolici) raggiungono temperature più alte (800°C) con minor superficie assorbente e presentano minori perdite. L'efficienza cala al crescere della temperatura del fluido e del rapporto di concentrazione (fra le aree di assorbimento e di apertura).

4.3.1.2 Impianti solari.

Il collettore solare è solo l'interfaccia verso l'ambiente esterno di un sistema più complesso, ossia di un impianto in grado di accumulare il calore fornito dal collettore e renderlo disponibile qualora serva (ad esempio in caso di prelievo di acqua calda sanitaria da parte di un'utenza).

Gli impianti solari termici si distinguono in:

- Impianti a circolazione naturale, in cui la circolazione del fluido tra collettore e serbatoio avviene, sotto l'influenza del gradiente termico, per convezione. Il fluido infatti, riscaldato nel collettore, diminuisce la propria densità e tende a salire spontaneamente all'interno del sistema di accumulo (il serbatoio è posizionato ad una quota superiore al collettore). Se il circuito è unico l'ACS viene fatta circolare direttamente nel collettore, altrimenti un fluido termovettore cede, attraverso uno scambiatore, il calore accumulato all'acqua contenuta nel serbatoio senza miscelarsi. Il riscaldamento ausiliario è fornito tramite una resistenza elettrica posta nel serbatoio stesso o con una caldaia istantanea a valle dell'accumulo.
- Impianti a circolazione forzata (fig. 12), in cui una pompa di circolazione, attivata da un regolatore differenziale di temperatura, regola il flusso del fluido fra collettore e serbatoio in base ad un livello di temperatura prefissato.

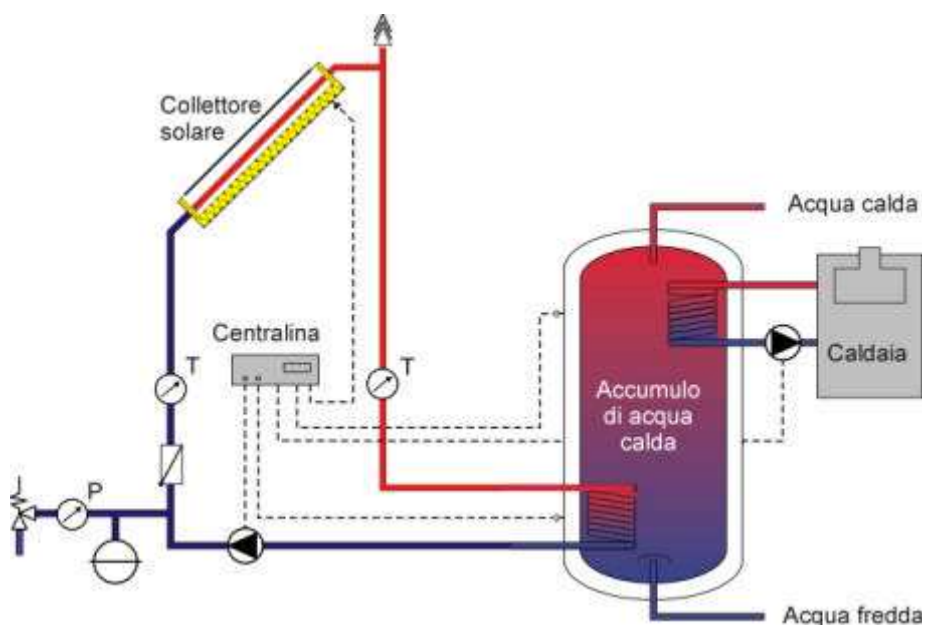


Fig. 12: schema di impianto a circolazione forzata (grafica DGS/target).

Oltre che alla produzione di acqua calda sanitaria, gli impianti termici trovano applicazione nel riscaldamento a bassa temperatura o in quello di piscine, nonché in campi quali l'agricoltura e l'industria. Proprio in riferimento al settore agricolo ovviamente, con soli 2 mq di collettori ad aria dedicati, si realizzerà nella torretta anteriore (la cui copertura è crollata) adiacente al prospetto principale del rudere, un essiccatore per frutta, pomodori, piante aromatiche e medicinali, tabacco, legna.

4.3.1.3 Scelta dei collettori e dimensionamento.

In riferimento ad impianti dedicati alla produzione di ACS, come nel caso in esame, quasi mai conviene dimensionare l'impianto in modo da coprire l'intero fabbisogno energetico. A fronte di una richiesta costante infatti, la discontinuità e variabilità dell'irraggiamento solare, nonostante le compensazioni del sistema di accumulo, porterebbe a dimensionare l'impianto sulla base delle condizioni più sfavorevoli (invernali). L'impianto stesso allora risulterebbe fortemente sovradimensionato nel periodo estivo e il ritorno economico ne sarebbe penalizzato. Conviene dunque stabilire un fattore di copertura ottimale (solitamente del 60-70% alle nostre latitudini) e prevedere un sistema ausiliario di back-up in grado di sopperire alla domanda nei periodi di scarsa insolazione.

Considerando un fabbisogno medio di 1000 kWh pro capite all'anno per la produzione di acqua calda sanitaria, con 0,5 mq di collettori per utente (il volume di accumulo varia approssimativamente da 50 a 100 litri per mq di collettori) si arriva a risparmi significativi, nell'ordine del 70-80%. Volendo integrare i collettori con il sistema di riscaldamento radiante a pavimento a bassa temperatura dell'edificio F invece, si stima che ogni kW di potenza nominale necessiti di 2-3 mq di superficie captante; da qui la rinuncia a tale scelta progettuale.

Per dimensionare un impianto quindi, il fattore più importante è legato alla previsione del fabbisogno di ACS, in riferimento al quale si stabilisce

un'opportuna superficie di captazione (in relazione anche alla tipologia e all'efficienza dei collettori) ed il volume di accumulo. Successivamente si provvede alla definizione della portata del fluido e del diametro delle tubazioni, alla scelta della pompa (nel caso di circolazione forzata), e al dimensionamento del vaso di espansione e della valvola di sicurezza.

Com'è intuibile il fabbisogno di ACS dipende direttamente dal comportamento individuale, per cui una precisa determinazione può venire solo da rilievi effettivi sui consumi. Ancora di più in riferimento a strutture non propriamente residenziali ma con profili occupazionali discontinui, come nel caso di agriturismi, b&b e strutture ricettive in genere. In questi casi assumere una densità di occupazione media e valori standard del fabbisogno di ACS è l'unica strada per il dimensionamento.

Alcuni dati utili per la stima del fabbisogno di ACS a 45°C sono elencati nel seguito.

Residenziale: - comfort basso 35 litri/giorno pro capite;
- comfort medio 50 l/giorno pro capite;
- comfort alto 75 l/giorno pro capite.

Edifici con funzione ricettiva: - ostello 35 l/giorno pro capite;
- standard semplice 40 l/g pro capite;
- standard alto 50 l/g pro capite;
- standard molto alto 80 l/g pro capite.

Servizio cucina: - pasto semplice 10 litri pro capite;
- pasto completo 15 litri pro capite.

Lavatrice e lavastoviglie: 20 litri a lavaggio.

Nelle tabelle 2 e 3 vengono riportati i valori indicativi (con approssimazioni fino al 20% in funzione dell'effettiva efficienza dei collettori impiegati) per un

dimensionamento di massima della superficie di collettori piani (per quelli a tubi sottovuoto si hanno riduzioni fino al 30%) in caso di orientamento a sud ed inclinazione 30° e i fattori di correzione per l'orientamento.

zone in Italia	valori di riferimento per il dimensionamento
Nord	1 m ² /(50 l/giorno)
Centro	0,75 m ² /(50 l/giorno)
Sud	0,55 m ² /(50 l/giorno)

Tab. 2.

orientamento Sud: 0° Est/Ovest: 90°	angolo di inclinazione						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0	0,89	0,97	1	0,99	0,93	0,83	0,69
15	0,89	0,96	1	0,98	0,93	0,83	0,69
30	0,89	0,96	0,99	0,97	0,92	0,82	0,70
45	0,89	0,94	0,97	0,95	0,9	0,81	0,70
60	0,89	0,93	0,94	0,92	0,87	0,79	0,69
75	0,89	0,91	0,91	0,88	0,83	0,76	0,66
90	0,89	0,88	0,87	0,83	0,78	0,71	0,62

Tab. 3.

La portata del flusso all'interno del collettore deve essere tale da garantire il corretto asporto termico ma contemporaneamente non eccessiva, anche per una logica di dimensionamento della pompa e del circuito idraulico. Si può considerare accettabile nella maggior parte dei casi una portata compresa fra 30 e 50 litri/h per ogni metro quadrato di collettore. Naturalmente nel caso di collettori commerciali tale valore è esplicitamente indicato dal produttore.

Negli impianti semplici, come di norma sono quelli delle case unifamiliari, si preferisce solitamente impiegare all'interno del serbatoio scambiatori di calore a tubi lisci o corrugati. Negli impianti più grandi si utilizzano scambiatori di calore esterni a piastre o a fasci di tubi. La superficie dello scambiatore dovrebbe essere 0,4 mq/(mq superficie del collettore). Un calcolo più preciso sarà condotto in fase di progettazione esecutiva.

Le tubature del circuito idraulico possono essere in rame o corrugate in acciaio inox (non utilizzabili con miscele acqua-glicole propilenico), entrambe reperibili con il nome di "Lifeline" precoibentate ed accoppiate con un cavo per il sensore di temperatura. I tubi lisci in rame, generando meno perdite di carico, permettono l'impiego di sezioni ridotte a parità di flusso (tab. 4).

Si ricorda infine che per gli impianti termici da installare, tutte le tubazioni, comprese quelle montanti in traccia o situate nelle intercapedini delle tamponature a cassetta, anche quando queste ultime sono isolate termicamente, devono essere installate e coibentate secondo la modalità previste dall'allegato B del DPR 412/93.

flusso [l/h]	diametro esterno x spessore [mm]
< 240	16 x 1
240 – 410	18 x 1
410 – 570	22 x 1
570 – 880	28 x 1,5
880 – 1450	35 x 1,5

Tab. 4.

Per impianti di piccole dimensioni (fino a 12 mq di collettori e 50 metri di tubature) si possono impiegare pompe di modesta potenza (per esempio Grundfos UPS 25-40), mentre negli impianti più grandi è indispensabile procedere al calcolo dettagliato delle perdite di carico nei condotti per determinare potenza e prevalenza della pompa. Generalmente i dati necessari vengono forniti nella documentazione tecnica dei componenti o in tabelle e grafici riportati nei manuali per installatori.

La pressione d'esercizio deve essere accuratamente determinata, tenendo conto delle seguenti raccomandazioni:

- la pressione iniziale P_i è la pressione all'interno del circuito che deve essere raggiunta durante il riempimento a freddo e di notte, quando la pompa non è in funzione. Essa dipende dal dislivello tra il punto più alto del circuito ed il vaso di espansione, ed è pari a 1 Bar ogni 10 metri più un margine di sicurezza di 0,5 Bar.
- la pressione finale P_f è la pressione (teorica) calcolata sulla tenuta a pressione delle componenti e rappresenta il valore limite che mai si deve raggiungere durante il funzionamento. Il valore consigliato è 5 Bar.
- la pressione predefinita nel vaso di espansione P_{ve} , circa 0,3-0,5 Bar al di sotto della P_i .

- la pressione d'intervento della valvola di sicurezza P_{vs} , almeno di 0,5 Bar superiore alla P_f .
- il fattore di pressione $D_f = (P_f - P_i)/(P_f + 1)$ del vaso di espansione non deve essere maggiore di 0,5, per evitare il logoramento della membrana.

Il vaso di espansione serve a recepire l'aumento di volume (conseguente all'aumento di temperatura) del fluido e, in caso di stagnazione dell'impianto, ad accogliere tutto il fluido contenuto nei collettori. La dilatazione del volume del fluido si calcola moltiplicando il volume del fluido nel circuito per un coefficiente pari a 0,045 (per l'acqua). Il volume utile del vaso è dato da tale variazione meno il volume contenuto nel collettore, tutto maggiorato di un 10% (margine di sicurezza). Il volume nominale del vaso invece si ottiene dividendo il volume utile per il fattore di pressione. In tabella alcuni valori di riferimento.

superficie collettore [m ²]	pressione iniziale	
	$p_i = 1,5$ bar	$p_i = 2,5$ bar
5	12 l	18 l
7,5	18 l	25 l
10	25 l	35 l
15	35 l	50 l

Tab. 5.

Viste le già specificate condizioni ed esigenze del sito in oggetto, alla luce delle indicazioni fin qui fornite si procede alle seguenti scelte progettuali:

- si decide, per le esigenze legate all'integrazione nelle coperture e naturalmente per la preesistenza degli impianti idrici autonomi, oltre che per non dover disporre di lunghe tubature, di ripartire i fabbisogni di ACS delle utenze (residenziali o ospiti) in 3 diversi impianti solari termici;
- gli impianti saranno collocati sulla copertura piana dell'edificio B, sulla copertura piana dell'edificio C (b&b "Il Crogiuolo"), e sulla copertura a falde esposte a sud/est e sud/ovest della torretta M, e saranno a servizio delle rispettive utenze. La collocazione dei collettori solari è evidenziata nella planimetria generale in Allegato 3.4- 2.

- nei primi due casi gli impianti verranno integrati dal punto di vista idraulico con gli impianti e le tubature di distribuzione già esistenti, come specificato in dettaglio ai punti seguenti.

Si forniscono le specifiche dei singoli impianti, denominati con la lettera dell'edificio di appartenenza.

1. **Impianto B:** a servizio dell'abitazione privata dei titolari dell'azienda (nucleo familiare di 3 persone con medie esigenze e buone pratiche di risparmio idrico) per i quali si stima un fabbisogno di 100 litri al giorno di ACS, del locale lavanderia con la media di 2 lavaggi al giorno ovvero 40 litri/giorno, e del locale ristoro, che con la previsione di 60 coperti al giorno (media annua) contribuirebbe al fabbisogno con altri 150 litri/giorno (15 litri x 60 pasti + 20 litri x 3 lavaggi in lavastoviglie o a mano), per un totale di 290 litri/giorno. Un serbatoio di accumulo, posto nel locale lavanderia, da 300 litri dovrebbe garantire una sufficiente autonomia anche in condizioni di scarso irraggiamento o in inverno e rendere disponibile una buona riserva in condizioni ottimali. L'impianto a circolazione forzata verrà connesso al circuito idraulico collegando, tramite valvola a tre vie (fig. 13), il serbatoio direttamente a monte della caldaia e inserendo una condotta di by-pass che, nel caso in cui la temperatura nel serbatoio si mantenga al di sopra del valore impostato (45°C), consenta al fluido di evitare la circolazione in caldaia, che pertanto resta disattivata. Se la temperatura invece scende al di sotto del limite, il serbatoio funge da preriscaldatore, una valvola connessa al termostato differenziale chiude il by-pass e l'acqua entra in caldaia. La superficie di moduli impiegati è pari a 4mq (se si utilizzano collettori autocostituiti modulari di superficie 2mq, cfr. Appendice C in Allegato 4.2) e la loro disposizione è ottimale (sud, tilt 30°), essendo collocati su telai metallici fissati alla copertura in piastrelle di marmo con appositi ancoraggi.

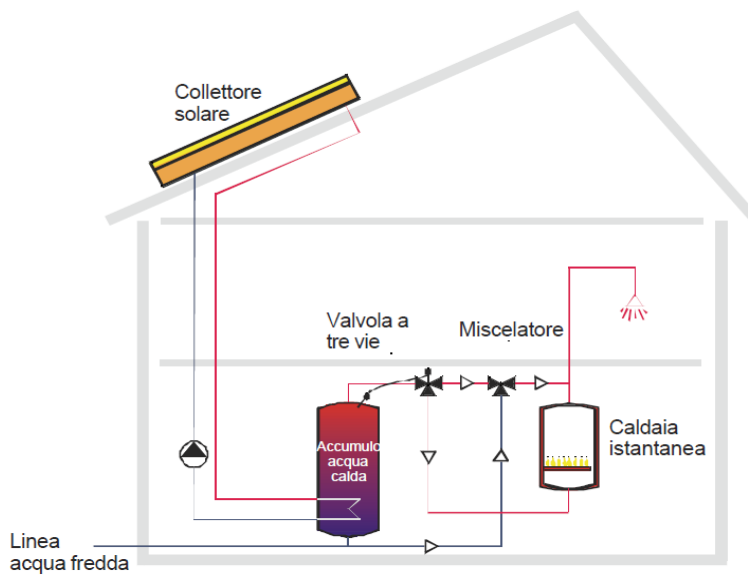


Fig. 13: Schema di impianto.

2. **Impianto C:** a servizio delle utenze del b&b “Il Crogiuolo”, il cui fabbisogno termico per ACS, calcolato con l’ausilio del software DOCET al capitolo 2, è stato riportato al paragrafo 4.2.2. Una stima diversa può essere effettuata calcolando un tasso di occupazione media nell’arco di un anno pari a 10 persone al giorno (corrispondente al 50% dei posti disponibili e ipotizzato su una prospettiva di crescita rispetto alle attuali presenze come risultano dai registri degli ultimi anni), a cui corrisponde, aggiungendo almeno un lavaggio di lavatrice al giorno, un fabbisogno di 420 litri/giorno. Adottando come nel caso precedente un impianto ad accumulo giornaliero e non stagionale, occorre tener conto della distribuzione delle presenze, che ha picchi (raramente fino a 20 persone/giorno, ovvero il 100% dei posti) concentrati nella stagione da aprile ad ottobre, cioè quella di maggior produttività dell’impianto. La figura 14 mostra come esempio un impianto a servizio di un agriturismo con 24 posti letto e ristoro, caratterizzato dall’impiego di 12 collettori per una superficie complessiva di 24mq e un serbatoio con volume di 1500 litri, che garantisce un risparmio di 22.000 kWh/anno (83% dei consumi per ACS), a fronte di una spesa di circa 500 €/mq. In questo caso si valuta che una superficie di 8mq e un accumulo di 600 litri consenta di ottenere simili risparmi, se non una completa copertura dei consumi (contenuti

anche per effetto di politiche di sensibilizzazione al risparmio verso gli occupanti). Lo schema impiantistico è identico all'impianto B, con collegamento a monte della caldaia e by-pass; questo tipo di circuito in questo caso è già presente, con i boiler elettrici (cfr. capitolo 2) che saranno sostituiti (nella funzione e nel collocamento fisico) dal serbatoio. Anche l'ancoraggio dei collettori al tetto piano avverrà con telai identici al caso precedente.

3. **Impianto M:** a servizio degli edifici F (il cui fabbisogno calcolato con DOCET è al paragrafo 4.2.2), M ed N, comprendenti , si ricorda, 6 appartamenti da due persone e tre da tre, per un totale di 21 occupanti, con profilo occupazionale a “mezza residenza”. Si considera dunque una media occupazionale di 10 persone/giorno, con lavanderia in comune, cucine indipendenti, e locali laboratorio. Il dimensionamento porta alla realizzazione di un impianto del tutto identico all'impianto C, con le differenze che in questo caso la rete di distribuzione è di nuova costruzione e che i collettori sono integrati nella copertura inclinata M, appositamente concepita. Il volume di accumulo, parzialmente interrato, troverà alloggio al piano terra della torretta, nel locale lavanderia-magazzino e sarà dotato di resistenza incorporata, mancando in questo caso una caldaia istantanea per il riscaldamento ausiliario.



Fig. 14

Definiti i parametri chiave nel dimensionamento si effettua la scelta dei collettori piani ad uno strato, fra i modelli presenti in commercio.

Ad esempio, volendo prediligere un'azienda del territorio pugliese, la CMG Solari di Lecce è in grado di fornire un'ampia gamma di soluzioni, illustrate nel catalogo generale di cui all'Allegato 4.3, fra cui:

- il kit FOR S 302-4, adatto per l'impianto B, costituito da due collettori EVO per una superficie totale di 4mq, un boiler MS o DS con scambiatore di calore e 300 litri di capacità, centralina differenziale digitale ThermoSOLAR, gruppo di spinta SolarGROUP, vaso di espansione, regolatore di portata, tubi di raccordo e struttura di sostegno;
- il kit FOR S 503-7,5 Plus (fig. 15), per gli impianti C e M, con 3 collettori EVO (7,5mq totali) e 500l di accumulo.

Tutte le specifiche tecniche dei componenti sono fornite all'Allegato 4.3, con le istruzioni per l'assemblaggio e la dichiarazione di conformità.



Figura 15.

Volendo impiegare invece collettori sottovuoto Heat Pipe, si segnala il Kit 300CF HP24 offerto da Il portale del sole, mentre un'ottima soluzione per l'integrazione dell'impianto M nel tetto a falda è costituita dal pacchetto SUN SOLUTION 500B2/8 TFI o dal collettore SW 105i SUNWOOD (vedi schede tecniche in Allegato 4.3).

Per l'impianto C infine, si potrebbe valutare l'impiego del sistema KAIROS IN ARISTON, essendo quest'ultimo compatibile per l'integrazione con la caldaia ARISTON GENUS attualmente presente (che tuttavia verrà sostituita).

4.3.1.4 Valutazioni energetiche, economiche ed ambientali.

Per le valutazioni energetiche si fornisce una procedura semplificata, derivata dalla metodologia adottata dall'AEEG per l'applicazione dei decreti ministeriali per l'efficienza energetica del 20 luglio 2004.

1. Individuazione della fascia solare.

Provincia: Foggia.

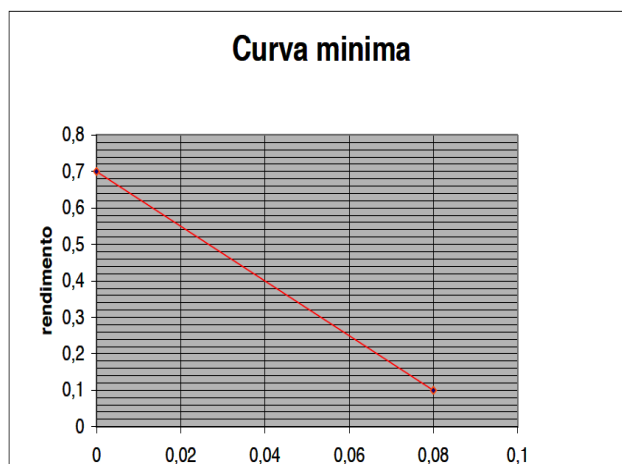
Fascia solare: 3.

2. Verifica del rendimento del collettore.

Si ottiene confrontando la curva di rendimento fornita dal produttore per il collettore prescelto e la curva del grafico seguente, in cui:

- in ordinata vi è il rendimento, dato dal rapporto fra potenza termica prodotta (in W) ed il valore dell'insolazione (in W/mq) moltiplicato per la superficie di captazione;
- in ascissa si riportano i valori della semisomma fra le temperature di ingresso e di uscita del fluido dal collettore, meno la temperatura ambiente, tutto diviso per l'insolazione.

$$\eta = \frac{W}{I \cdot S} \quad x = \frac{\frac{(t_i + t_u)}{2} - t_a}{I}$$



3. Determinazione del risparmio specifico lordo per unità di superficie.

Il RSL può essere desunto dalla seguente tabella:

Risparmio specifico lordo per unità di superficie di collettori solari (RSL):	RSL (kWh/anno/ m ² di superficie collettori solari)			
	Tipo di collettori solari			
	Piani		Sotto vuoto	
	Impianto integrato o sostituito		Impianto integrato o sostituito	
Fascia solare	Boiler elettrico	Gas, gasolio	Boiler elettrico	Gas, gasolio
1	1.419	709	1.779	884
2	1.919	953	2.233	1.116
3	2.105	1.047	2.430	1.209
4	2.651	1.314	2.895	1.442
5	2.872	1.430	3.128	1.558

4. Determinazione del risparmio globale dell'impianto.

Il risparmio globale si ottiene dal prodotto di RSL per la superficie di captazione totale.

5. Stima della copertura del fabbisogno energetico per ACS.

La copertura, espressa in percentuale, si ottiene dal rapporto fra il risparmio globale ed il fabbisogno calcolato per le utenze (par. 4.2.2).

Applicando tale metodologia si perviene ai seguenti risultati:

	IMPIANTO B	IMPIANTO C	IMPIANTO M
RSL [kWh/mq anno]	1047	2105	1047
Superficie di captazione	4	8	8
Risparmio globale [kWh/anno]	4188	16840	8376
Domanda energetica stimata [kWh/anno]	3500	6350	6350
Copertura	120%	265%	132%

Le percentuali calcolate condurrebbero alla conclusione che gli impianti siano fortemente sovradimensionati, contrariamente a quanto invece prescritto dall'esperienza progettuale. Questa discrepanza rende necessario approfondire il calcolo e seguire un'altra strada.

Considerando i valori dell'irraggiamento per la località in esame, l'orientamento e l'inclinazione dei collettori, le perdite e l'efficienza globale dell'impianto, e accorpare le superfici dei tre impianti B, C e M, per un totale di 20mq, si stima verosimilmente una produzione annua (da non confondere con il risparmio globale) di circa 18000 kWh termici. Tale produzione in termini di energia, confrontata con il fabbisogno per ACS totale (pari a circa 16200 kWh/anno, cfr. 4.2.2), consente di affermare che gli impianti garantiscono il totale soddisfacimento delle utenze relativamente all'uso di ACS, generando un surplus di circa 1800 kWh/anno (che difficilmente si verificherà) eventualmente utilizzabile per il riscaldamento della piscina o per una piccola serra.

In termini di sostenibilità ambientale, prendendo come parametro indicativo le sole emissioni di anidride carbonica, poiché ogni kWh termico (equivalente a 0,083 kep) corrisponde ad un quantitativo di CO₂ immessa in atmosfera pari a 0,232 Kg (se l'energia termica è prodotta con caldaie a metano), si può concludere che l'impianto solare termico evita l'emissione di 4176 Kg di CO₂ in un anno.

Per calcolare l'energy pay-back time dei collettori infine, si può assumere come riferimento un consumo energetico (fra costruzione, funzionamento e manutenzione) stimato intorno a 750-1000 kWh/mq. In genere l'EPBT è compreso fra 1,5 e 2,5 anni.

Nella tabella 6 riportata di seguito sono elencate le voci essenziali di costo per un impianto solare. Le stime sono approssimative, calcolate per un impianto solare con 5 mq di collettore e 300 litri di accumulo. Naturalmente nel caso di installazione di componenti commerciali, le aziende forniscono i preventivi. A titolo di esempio si riporta il costo di due sistemi impiegabili nel caso in esame:

- Sistema CMG 302S – 4.

Sistema solare con bollitore a singolo serpentino, vetrificato, da 300 litri e 2 pannelli piani selettivi da 2 mq. Prezzo netto: 2.610,00 € + IVA 10%

- Sistema CMG 503S – 6.

Sistema solare con bollitore a singolo serpentino, vetrificato, da 500 litri e 3 pannelli piani selettivi da 2 mq cad. Prezzo netto sistema: 3.625,00 € + IVA 10%

Per un piano di ammortamento più dettagliato si rimanda a fasi successive di progettazione, potendo valutare l'opzione indicata al paragrafo 4.2.1.6.

Costi di un impianto solare		
	Quantità	Prezzo in Euro
Circuito solare		
Collettori (250 ?/m2)	5 m2	1250
Accessori (set di montaggio, protezione anti fulmine, valvola di sfianto)		150
Gruppo pompa e sicurezza		250
Vaso d'espansione		50
Protezione antigelo		40
Tubo di rame incl. fissaggio e coibentazione (10 ?/m)	20 m	200
Serbatoio e accessori		
Serbatoio incl. coibentazione e scambiatore di calore	300 l	800
Miscelatore		70
Controllo/gestione impianto		
Centralina incl. sensori e cavi		150
Altro		
Pezzi vari, materiale di consumo		200
Totale materiali		3160
	Quantità	Prezzo in Euro
Progettazione e documentazione		60
Trasporto		0
Montaggio		
Circuito solare	16 h	320
Serbatoio	7 h	140
Ausiliare	4 h	80
Impianto elettrico	4 h	80
Messa in opera, istruzione	2 h	80
Totale mano d'opera		760
Totale materiali		3160
Totale mano d'opera		760
Totale (escl. IVA)		3920
Aliquota IVA		10%
IVA		392
Totale (incl. IVA)		4312

Tabella 6.

Dal punto di vista finanziario si intende sottolineare che, in un'ottica di promozione ed incentivo all'utilizzo delle energie alternative, la legge finanziaria del 2007 ha introdotto una detrazione d'imposta del 55% in relazione alle spese sostenute per interventi finalizzati al risparmio energetico. In particolare tale detrazione è applicabile agli interventi di installazione di pannelli solari termici con un tetto di detrazione massima pari a 60.000 Euro. Hanno diritto di fruire di tale detrazione i contribuenti, residenti e non residenti, che possiedono o detengono l'immobile sul quale vengono effettuati gli interventi. Per usufruirne è necessario inoltrare un modello, reperibile sul sito www.agenziaentrate.gov.it. Ricordiamo, inoltre, che i cittadini che intendano avvalersi della detrazione devono continuare ad inviare all'ENEA, attraverso il sito internet www.acs.enea.it, entro 90 giorni dalla fine dei lavori, i dati richiesti dal Ministero dell'Economia e delle Finanze.

4.3.1.5 Disegni tecnici.

Per i disegni tecnici degli impianti e la planimetria con la disposizione dei collettori si rimanda agli allegati 3.4- 2 e 4.2.

4.3.1.6 L'autocostruzione dell'impianto.

Una valida alternativa alla realizzazione dell'impianto solare termico utilizzando componentistica standard disponibile in commercio è rappresentata dalla possibilità di autocostruzione, a partire dai collettori.

L'esperienza, oltre che assumere un carattere fortemente divulgativo/educativo, inserendosi in un percorso di sensibilizzazione ed autocoscienza perfettamente in linea con la proposta di masseria didattica che si intende fare, è in grado di incidere profondamente anche sull'immagine della masseria stessa e, naturalmente, sulla portata economica e finanziaria del

progetto. Al punto che, con un investimento irrisorio, si potrebbe finanziare la realizzazione dell'impianto attraverso lo svolgimento di corsi di formazione sull'autocostruzione di impianti solari termici, rivolti a studenti di scuole professionali, installatori e progettisti, o semplici cittadini, i quali, a fronte di una modesta cifra d'iscrizione per l'acquisto del materiale necessario, potrebbero costruire un collettore per uso privato ed uno da "devolvere" alla masseria Sant'Agapito, contribuendo all'intero progetto.

Con lo scopo di fornire le basi teoriche e pratiche per la realizzazione dell'impianto con l'autocostruzione, viene presentato all'Allegato 4.2 un manuale redatto a partire dalle esperienze svolte in questo campo da enti ed associazioni, e testimoniate ai siti internet citati nella sitografia. Tale manuale rappresenta in particolare una sintesi del materiale contenuto in "Impianti solari termici - Manuale per la progettazione e la costruzione", a cura di Thomas Pauschinger, con contributi di Martin Ménard e Monika Schulz, disponibile sul sito dell'Istituto di ricerca Ambiente Italia s.r.l.

In Allegato 4.4 si riporta il listino dei prezzi relativi alla componentistica praticato dalla Rete Solare per l'Autocostruzione, come parametro indicativo di spesa e utile confronto con la tabella 6 del paragrafo precedente.

4.3.1.7 Norme, bibliografia e sitografia.

Esistono una serie di leggi, decreti e norme rilevanti per la costruzione di impianti solari termici, tra cui i più importanti sono:

- Legge 46/90 sulla sicurezza degli impianti negli edifici civili e DPR 447/91.
- Legge 10/91 sul risparmio energetico e decreto di attuazione DPR 412/93.
- Leggi e normative in materia di vincoli storico-artistico e paesaggistico o ambientale e dei regolamenti edilizi comunali.

La certificazione delle opere e il collaudo devono essere eseguiti secondo le disposizioni previste dalla legge 46/90 e successivi decreti attuativi.

Il regolamento di attuazione sancisce che la redazione del progetto da parte di professionisti iscritti negli albi professionali è obbligatoria per l'installazione, la trasformazione e l'ampliamento degli impianti. Le imprese installatrici sono tenute a eseguire gli impianti a regola d'arte, utilizzando a tal fine materiali parimenti costruiti a regola d'arte. Sono da considerare materiali costruiti a regola d'arte quelli realizzati secondo le norme tecniche di sicurezza dell'UNI e del CEI, nonché quelli realizzati nel rispetto della legislazione tecnica vigente in materia di sicurezza.

L'impresa installatrice è tenuta a rilasciare al committente, al termine dei lavori, la dichiarazione di conformità degli impianti realizzati nel rispetto delle norme introdotte. Tale dichiarazione deve essere resa sulla base del modello predisposto dal Ministero dell'Industria all'art. 9 della legge n.°46 del 5 marzo 1990.

L'installazione di un impianto solare termico su un edificio esistente richiede inoltre, nel rispetto delle leggi vigenti in materia di edilizia, alcuni atti amministrativi. La legislazione italiana prevede, a seconda della tipologia di intervento prevista, tre diversi atti amministrativi:

1. Concessione ai lavori. Atto amministrativo prodotto dall'ente locale a seguito di una domanda scritta con cui si permette, con parere scritto, l'esecuzione di lavori od opere previ accertamenti tecnici, normativi e burocratici. La domanda deve essere corredata da esauriente documentazione tecnica sui lavori o le opere da svolgere e dal progetto di massima delle stesse.
2. Autorizzazione ai lavori. A differenza della Concessione, che deve essere sempre data per iscritto, l'Autorizzazione è automaticamente concessa se il Sindaco non si pronuncia entro il termine di 60 o 90 giorni dalla domanda (silenzio-assenso).
3. Dichiarazione Inizio Attività (DIA). Comunicazione scritta all'ente locale in cui si informa sui lavori che si intende fare, dove si intende farli e che gli stessi non sono in contrasto con leggi vigenti in materia di vincoli storico-

artistici, paesaggistico-ambientali e di sicurezza. A differenza dell'autorizzazione i lavori possono iniziare al termine dei 20 giorni dalla comunicazione al Comune. Nella maggioranza dei casi, per l'installazione di un impianto solare termico, sarà richiesta soltanto una Dichiarazione Inizio Attività.

Per la bibliografia si può fare riferimento ai seguenti testi, oltre a quelli menzionati nel seguito:

- [1] A.Magrini, D.Ena, *Tecnologie solari attive e passive*, Ed. EPC, 2007.
- [2] O.De Paoli, M.Ricupero, *Sistemi solari fotovoltaici e termici: strumenti per il progettista*, Ed. CELID, Torino 2007.
- [3] S.De Marzi, *Impianti solari termici con Excel*, Ed. DEI, 2009.
- [4] E.Streicher, W.Heidemann, H.Muller-Steinhagen, *Energy pay-back time, A Key Number for the Assessment of Thermal Solar Systems*, Eurosun, 2004.

Tra i siti internet consultati si citano infine:

- <http://www.autocostruionesolare.it>
- <http://www.aamterranuova.it>
- <http://www.ambienteitalia.it>
- <http://www.agenziaentrate.gov.it>
- <http://www.acs.enea.it>
- <http://www.cmgsolari.it>
- <http://www.sunwoodsrl.it>
- <http://www.sunsolution.it>
- <http://www.ilportaledelsole.it>

4.3.2 Sistemi di captazione solare attiva: la conversione fotovoltaica.

4.3.2.1 Impianti fotovoltaici e componenti.

Gli impianti FV si possono classificare in impianti autonomi (stand alone) con o senza accumulatori, per l'alimentazione di utenze remote e difficilmente raggiungibili con opere civili di elettrificazione, e impianti connessi alla rete di distribuzione (grid connected), fissi o ad inseguimento solare.

Gli impianti autonomi senza accumulatori sono impiegati in genere per alimentare direttamente motori in corrente continua o, tramite inverter, motori in corrente alternata (sincroni o asincroni); i motori a loro volta azionano pompe che convogliano l'acqua in serbatoi di accumulo a servizio delle utenze.

Gli accumulatori elettrochimici garantiscono maggiore continuità di servizio e stabilizzano la tensione sul generatore FV intorno al punto di massima potenza (vedi seguito), consentendo pertanto un alto rendimento di utilizzazione.

La presenza di un regolatore di carica che disattiva l'utenza in caso di scarso livello di carica nella batteria o che sconnette il generatore a carica completa, è utile a preservare la vita dell'accumulatore. Lo stesso vale per i filtri anti ripple di corrente posti sul lato DC nel caso in cui, in un carico monofase in AC, la potenza istantanea fluttui a frequenza doppia rispetto a quella della tensione di alimentazione.

In figura 16 viene proposto il bilancio giornaliero, relativo ad un giorno sereno di novembre, fra la potenza generata dall'impianto PFV, la potenza assorbita dal carico (utenza residenziale) PCAR e la potenza compensata dalla carica della batteria (state of charge, SOC).

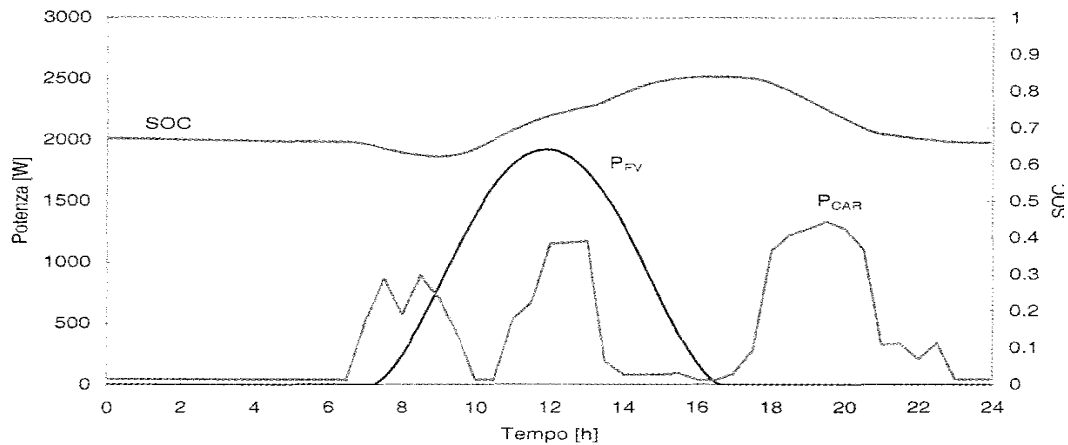


Fig. 16: bilancio delle potenze in un impianto stand alone con accumulatore.

Gli impianti connessi alla rete, come accennato, si distinguono in impianti ad inseguimento solare, con inseguitori piani o a concentrazione (che sfruttano lenti Fresnel, primatiche o specchi), in cui il generatore è posto su un “tracker” che ha la funzione di orientarlo minimizzando l’angolo di incidenza della radiazione solare, ed impianti fissi. Questi ultimi si classificano ulteriormente in: impianti non integrati architettonicamente (N.I.A.), parzialmente integrati (P.I.A.) e integrati (I.A.).

Infine gli impianti grid connected possono essere centralizzati, di proprietà degli enti produttori o distributori, o decentralizzati.

I primi, con potenze fino a qualche MWp, possono servire come centrali di punta per alimentare la rete trifase in media tensione; la messa in funzione è immediata e la produzione è concentrata nel periodo di massimo carico per la rete (ore centrali della giornata), ma per motivi di stabilità di tensione si stima che la potenza immessa non debba eccedere il 20% della potenza della rete stessa. Tali impianti spesso sfruttano inverter a tiristori perciò i filtri, necessari a ridurre il contenuto armonico della corrente immessa in rete, possono servire per il rifasamento, dato il comportamento fortemente induttivo di questi inverter.

Gli impianti decentralizzati (o distribuiti) sono principalmente realizzati invece allo scopo di alimentare in bassa tensione i carichi di utenze residenziali. La rete garantisce la continuità di servizio e permette lo scambio tra l’energia

prodotta in eccesso ed i deficit rispetto alla richiesta del carico, come mostrato in figura 17.

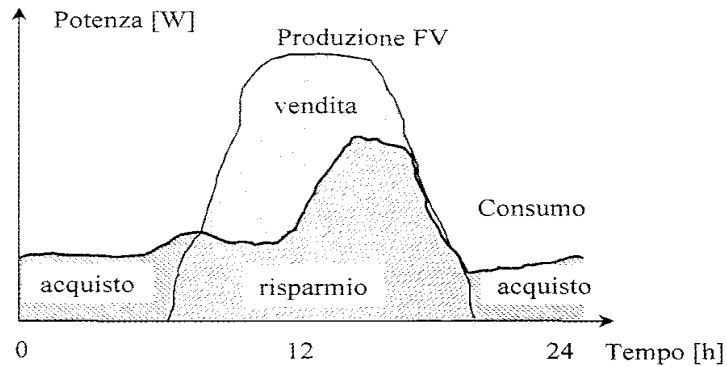


Fig. 17: esempio di scambio di energia tra rete ed impianto FV in un'utenza residenziale.

In tali impianti è presente un'unità di condizionamento della potenza (power conditioning unit, PCU) dotata di un sistema di protezione (fig. 18). Un condensatore all'ingresso dell'inverter ha il compito di ridurre il ripple sulla tensione del generatore dovuto alla fluttuazione a frequenza doppia della potenza istantanea tipica dei sistemi sinusoidali monofase.

Esistono infine, per questa tipologia impiantistica, precise norme che stabiliscono vincoli sulla qualità della potenza immessa in rete in relazione a frequenza ed ampiezza della tensione, distorsione armonica (< 5%), fattore di potenza (< 0,9). Le stesse norme prevedono il disinserimento automatico dell'impianto in caso di caduta di tensione della rete.

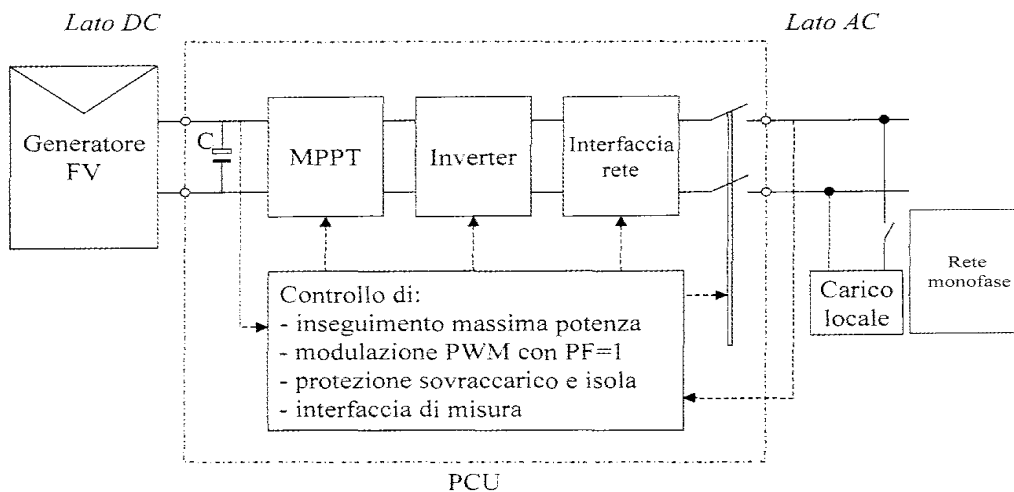


Fig. 18: impianto FV grid connected di tipo decentralizzato.

Nell'esercizio degli impianti si osserva che la maggior parte dei guasti che si verificano non dipendono dal generatore ma da altri componenti, che pertanto rivestono un ruolo fondamentale nella progettazione dell'impianto.

Generatore fotovoltaico.

L'elemento chiave del sistema fotovoltaico è rappresentato dalle celle, normalmente costituite da silicio mono o policristallino, di colorazione blu scuro derivante dal rivestimento riflettente in ossido di titanio. I principali tipi di celle attualmente disponibili sul mercato sono:

- Celle monocristalline al silicio, con una struttura a reticolo cristallino estremamente puro, costose e di produzione elaborata ma con elevata efficienza (14-17%);
- Celle policristalline al silicio, caratterizzate da minore purezza e con efficienza inferiore al 14%;
- Celle al silicio amorfo, film sottili, con gradi di efficienza fra il 5 e il 7%;
- Celle CIS di nuova tecnologia, composte prevalentemente da rame, indio e diseleniuri, consigliate per applicazioni mediante la tecnica di deposizione da vapore su grandi aree di ogni tipo e forma, e con efficienza di circa 8%.

Le celle, che presentano voltaggi a circuito aperto di 0,5-0,6 Volt, collegate in serie fra loro, formano il modulo fotovoltaico. Si ricordi che collegando più celle o moduli in serie si sommano le tensioni d'uscita e si ottiene la stessa corrente del singolo elemento, viceversa per il collegamento in parallelo; le perdite ohmiche sono funzione della corrente e non della differenza di potenziale, per cui è conveniente il collegamento in serie.

I moduli, con spessori tipici da 0,25 a 0,35 cm e superfici da 100 a 225 cm quadrati, sono multistrato; in altre parole le celle sono alettate in resina sintetica tra lastre vetrate o tra un pannello vetrato ed uno sintetico, di cui quello retrostante può essere opaco, traslucido o trasparente.

Generalmente i moduli fotovoltaici hanno potenze da 10Wp a 200Wp, quindi per ottenere potenze maggiori occorre collegare più moduli in strutture individuabili con una terminologia precisa (fig. 19):

- Stringa. E' un gruppo di moduli (o celle) pre-assemblati meccanicamente e collegati elettricamente in serie;
- Array (matrice). E' un insieme di moduli assemblati con la struttura di supporto;
- Campo fotovoltaico. E' l'insieme di tutti gli array che costituiscono il generatore.

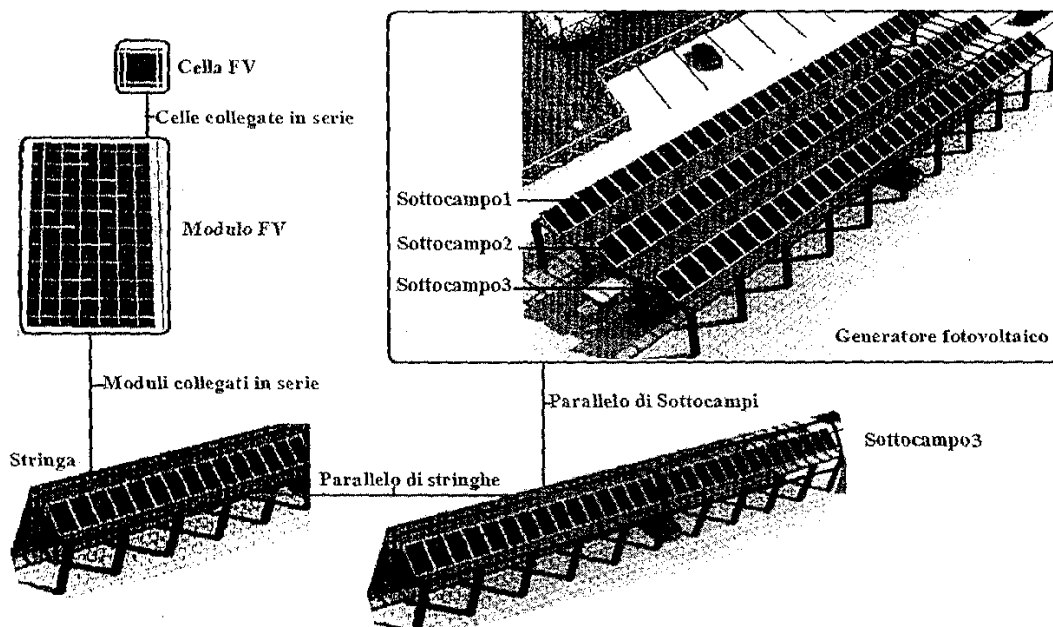


Fig. 19: dalla cella FV al generatore.

Occorre osservare che i collegamenti serie-parallelo dei moduli generano inevitabilmente delle dissimmetrie (mismatching) dovute a differenze intrinseche delle caratteristiche intensità di corrente- tensione (I-V), ombatura (shading effect), e tali dissimmetrie a loro volta possono portare a riduzioni di potenza erogata e alla formazione di “hot spots”, che rendono necessario l’impiego di dispositivi di sicurezza opportuni.

In una stringa di moduli collegati in serie si connette in anti-parallelo ad ognuno di essi un diodo di bypass con duplice funzione di protezione da tensioni

inverse in caso di oscuramento e di bypass del modulo così da evitare il fuor servizio dell'intera stringa. Nei collegamenti in parallelo invece, un unico diodo viene collegato in serie alla stringa, provocando una caduta di tensione dovuta alla sua tensione di soglia (0,6-0,8V) che deve restare trascurabile rispetto alla tensione di stringa.

Nel progetto di un generatore FV la configurazione dei collegamenti fra i moduli determina il rendimento e l'affidabilità del generatore stesso, soprattutto in presenza di cause perturbanti (ombreggiamenti, guasti). Ad esempio, nella configurazione parallelo di serie (vedi figura 20a) la presenza di una cella in ombra in una stringa, pur modificando poco la tensione fornita al carico, esclude il contributo di potenza dell'intera stringa.

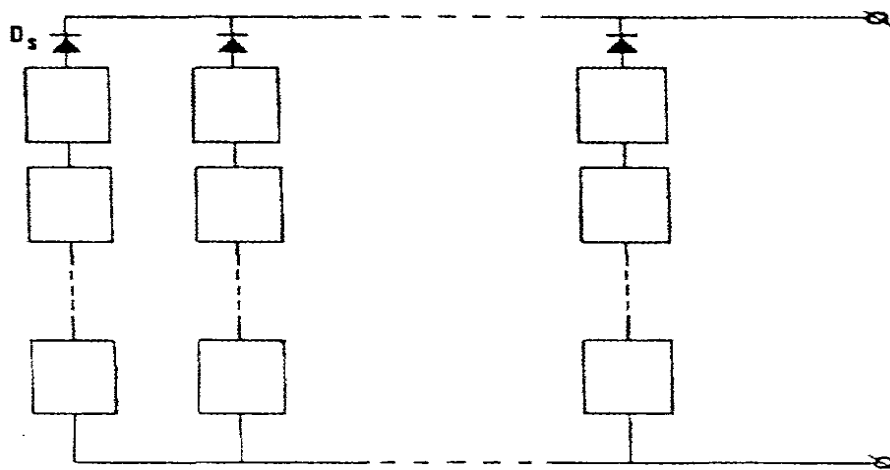


Fig. 20a: collegamento in parallelo di serie.

La configurazione serie di parallelo, in figura 20b, ha il vantaggio di necessitare di un solo diodo di protezione in parallelo a ciascuna stringa (che però deve sopportare correnti più intense), ma la presenza di celle ombrate può essere pericolosa per il modulo contenente le celle stesse, specie nel funzionamento a circuito aperto.

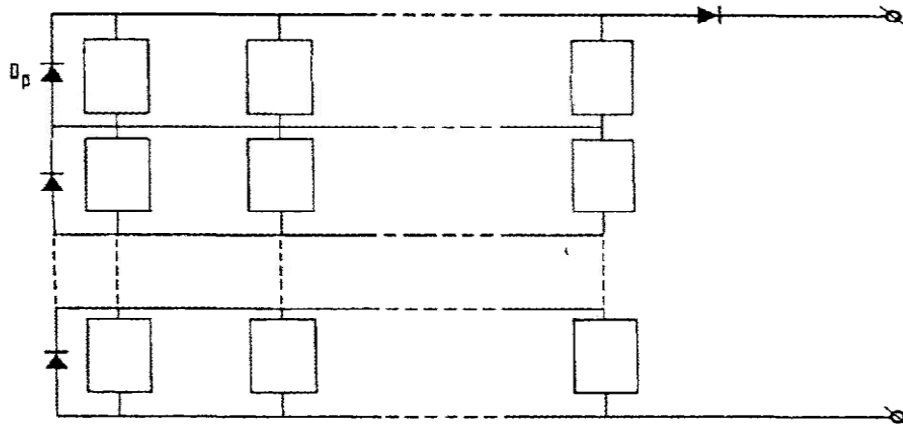


Fig. 20b: collegamento in serie di parallelo.

Nella figura 22 è mostrato l'andamento tipico delle curve corrente-tensione e potenza-tensione per un modulo in silicio policristallino da 72 celle in funzione dell'irraggiamento. E' possibile notare come il punto di funzionamento alla massima potenza si ottiene in prossimità del ginocchio della curva I-V. Mentre la corrente erogata da un modulo dipende essenzialmente dal livello di irraggiamento, il voltaggio è funzione della temperatura (fig. 21), al punto da generare perdite di potenza fino allo 0,5% ogni grado centigrado in più rispetto alla temperatura standard di 25°C. Occorre dunque prestare molta attenzione allo smaltimento del calore sul retro del pannello, prevedendo in ogni caso un'intercapedine sufficiente alla ventilazione.

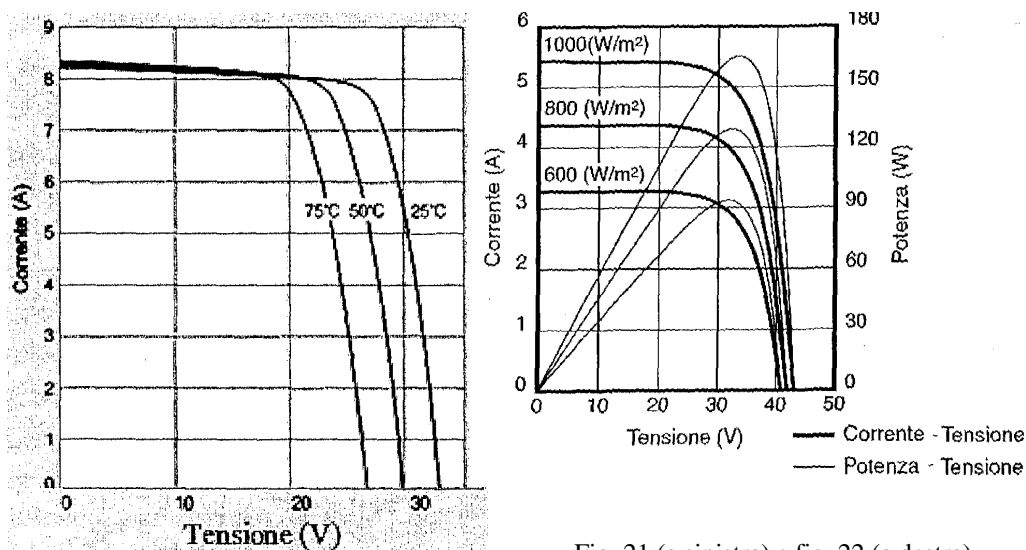


Fig. 21 (a sinistra) e fig. 22 (a destra)

La caratteristica del campo fotovoltaico si ricava a partire da quella del singolo modulo moltiplicando il valore della tensione per il numero dei moduli in serie presenti in una stringa e il valore della corrente per il numero di stringhe in parallelo.

Se un generatore FV alimenta un carico, il punto di lavoro, individuato dall'intersezione della curva caratteristica I-V del generatore con quella del carico, può essere un punto qualsiasi compreso fra la corrente di corto circuito e la tensione a vuoto. Il funzionamento del generatore per tali punti di lavoro sul tratto I-P e sul tratto P-V può essere approssimato, con due rette a diversa pendenza, rispettivamente a quello di un generatore reale di corrente e di un generatore reale di tensione. Per fissati valori di irradianza e temperatura il funzionamento ottimale si ha quando il punto di lavoro cade nel punto P_m di massima potenza. Di conseguenza per sfruttare al meglio il generatore, che lavora a potenza d'ingresso imposta, è necessario adattare il carico al generatore, condizione inaccettabile per i generatori tradizionali.

A temperatura costante, diminuendo l'irradianza diminuisce la corrente di corto circuito mentre la tensione a vuoto resta costante. Allora il luogo dei punti di massima potenza si dispone su una retta quasi verticale. Un carico utilizza al meglio la potenza erogabile dal generatore quanto più la sua caratteristica riesce a sovrapporsi alla linea luogo della potenza massima. Questa condizione è generalmente soddisfatta dagli accumulatori elettrici, che, per brevità, non saranno trattati.

Convertitori DC/DC.

I convertitori DC/DC controllati come Maximum Point Power Tracker (MPPT) consentono di estrarre la potenza massima dal generatore FV, al variare di temperatura ed irradianza, e di trasferirla al carico con valori di tensione e corrente diversi da quelli in entrata. La tecnica di controllo più usata è quella cosiddetta "Perturba & Osserva" in cui dopo aver imposto una piccola variazione di tensione si misura la corrispondente variazione di potenza: se quest'ultima è

positiva si attua un'ulteriore variazione di tensione, altrimenti si cambia il segno della variazione.

Se la caratteristica del carico ha l'andamento OA indicato in figura 23, il MPPT per assorbire la massima potenza lavora in entrata a tensione U_M e a corrente I_M , mentre in uscita, per fornire la P_M , deve lavorare al punto di intersezione (U_M' , I_M') tra la caratteristica OA e l'iperbole a potenza costante tangente in M alla caratteristica del generatore (MPPT di rendimento unitario). Con riferimento alla tensione, tale MPPT dicesi in discesa (step down); perciò una caratteristica di carico tipo OB richiede un MPPT in salita (step up) e una caratteristica di tipo OC richiede un MPPT in discesa per irradianza inferiore a G' e uno in salita per irradianza superiore a G' .

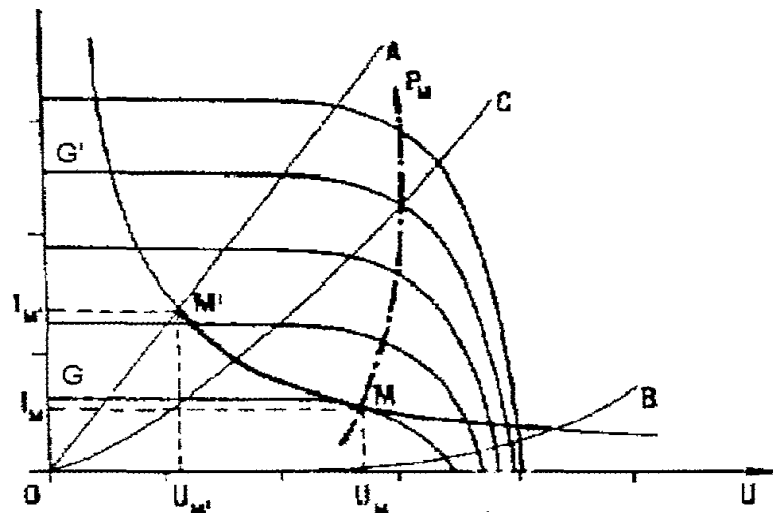


Fig. 23: funzionamento del MPPT sulla curva caratteristica I-V generatore-carico.

La figura 24 mostra la configurazione step down, che è la più frequente e prevede un transistor in serie ed un diodo in antiparallelo per il ricircolo della corrente all'uscita. La tensione in uscita è stabilizzata e filtrata da un condensatore (non rappresentato), mentre il convertitore DC/DC impone all'ingresso il livello di tensione tale da estrarre la massima potenza agendo sul duty cycle TON di accensione e spegnimento del transistor.

I requisiti richiesti ad un MPPT sono: rendimenti superiori al 97% entro ampie escursioni di irradianza e temperatura, ed elevata affidabilità. I punti deboli sono rappresentati da variazioni molto veloci di irradianza e dai fenomeni

di ombatura che possono determinare una rilevante diminuzione della tensione di massima potenza.

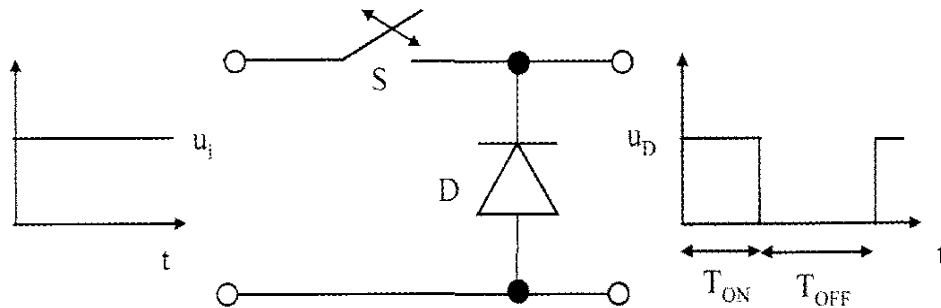


Fig. 24: Schema di convertitore DC/DC step-down.

Convertitori DC/AC (inverter).

Come noto, i generatori fotovoltaici producono corrente elettrica continua (DC), mentre la maggior parte delle utenze richiede un'alimentazione in corrente alternata (AC), rendendo dunque necessario l'impiego di un dispositivo detto inverter (o convertitore appunto). Esso può definirsi come quel componente di sistema che configura il livello di potenza trasferita dal generatore FV alla rete, ad un livello di tensione e frequenza compatibili ed in serie con quelli della rete stessa.

Il tipo di inverter più utilizzato è il VSI (voltage source inverter) a transistor. Si distinguono due categorie a seconda che l'inverter sia inserito in un impianto autonomo o connesso alla rete.

Nei primi normalmente si richiede una sorgente monofase in AC a 230V-50Hz oppure a 110V-60Hz, e a questo scopo si possono impiegare inverter a transistor (MOSFET o IGBT) che funzionano da interruttori elettronici, essendo possibile comandarne con un segnale l'accensione e lo spegnimento. La tensione in ingresso lato DC assume tipicamente valori multipli di 12 (in particolare se è presente un accumulatore) e si sfruttano trasformatori elevatori per ottenere il livello di uscita.

La forma dell'onda (f.d.o.) della tensione d'uscita lato AC (onda quadra, sinusoidale modificata, trapezoidale o a gradini) è indice della qualità e del costo dell'inverter. Gli inverter sinusoidali vengono controllati con la tecnica della modulazione della larghezza d'impulso (Pulse Width Modulation, PWM) che genera il segnale di comando del transistor per confronto fra una f.d.o. triangolare e una sinusoidale (vedi figura 25) e in cui il parametro di regolazione principale è l'indice di modulazione, cioè il rapporto tra le ampiezze delle due onde (di solito compreso fra 0,2 e 1).

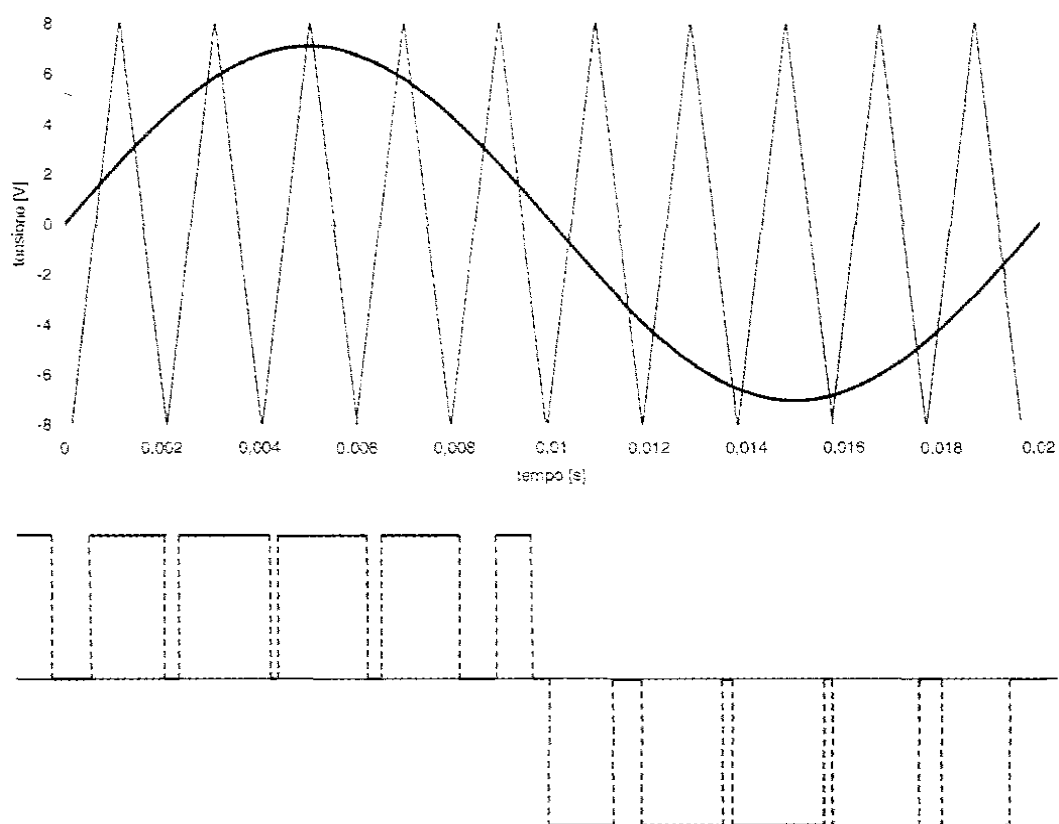


Fig. 25: confronto fra portante triangolare e modulante sinusoidale a 50 Hz.

Nelle figure 26a e 26b seguenti si illustrano le strutture tipiche di inverter sinusoidali monofase (sopra) e trifase (sotto) in cui si notano, oltre all'inverter controllato con PWM, il condensatore che compensa le fluttuazioni di potenza istantanea C_{rip} , il filtro LC per avere una f.d.o. il più possibile sinusoidale, l'induttore L per il disaccoppiamento dalla rete e il trasformatore. E' importante

notare la funzione dei diodi di ricircolo in caso di trasmissione di potenza reattiva o in fase di commutazione on/off dei transistor.

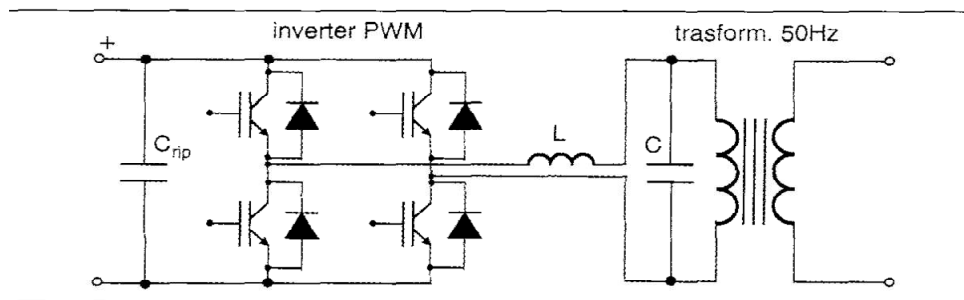


Fig. 26a.

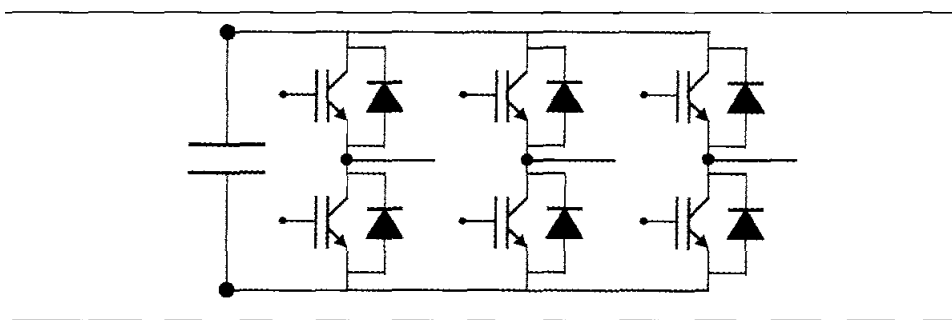


Fig. 26b.

Le specifiche più importanti degli inverter per funzionamento autonomo sono:

- alto rendimento di conversione anche ai bassi carichi e basse perdite a vuoto;
- stabilità della tensione in uscita in ampiezza (10%) e frequenza (0,01%);
- basso contenuto armonico;
- capacità di sopportare per breve durata forti sovraccarichi (anche 3-4 volte la potenza nominale);
- capacità di scambio di potenza reattiva (fattore di potenza con valori fino a 0,2).

Per immettere potenza attiva in rete si possono sfruttare inverter a transistor (self commutated) con trasformatore in bassa o elevata frequenza (figura 27) per separazione galvanica dalla rete, oppure inverter a tiristori (line commutated), solitamente adoperati negli impianti FV di taglia superiore a 100 kW.

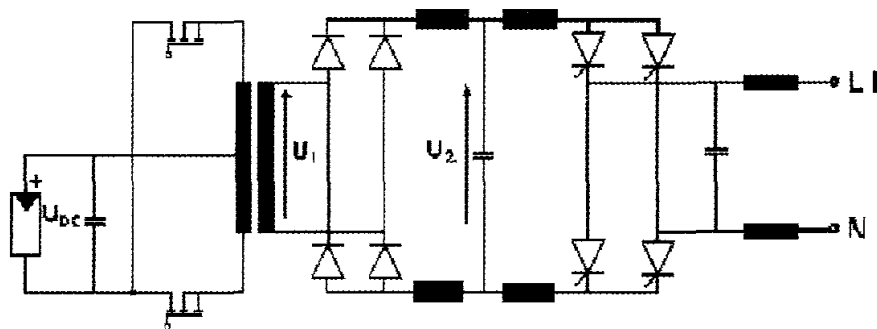


Fig. 27: schema di inverter a transistor monofase con trasformatore ad alta frequenza.

Gli inverter relativi ad impianti grid connected possono essere ulteriormente classificati in funzione del tipo di conversione, centralizzata o distribuita.

Nel primo caso viene utilizzato un unico inverter per l'intero generatore fotovoltaico, il che consente un'elevata efficienza di trasformazione ma ha anche aspetti negativi, ad esempio in presenza di ombreggiamenti, o di guasti ed interventi manutentivi (per i quali si richiede il totale fermo impianto). Anche in caso di mismatching, poiché il punto di massima potenza è diverso per ogni stringa, il gruppo di conversione impone al campo un punto di lavoro tale da non consentire uno sfruttamento ottimale delle singole stringhe. Gli inverter centrali vengono usati per impianti di taglia ragguardevole (da 50 kW a 1 MW).

Nel caso di inverter distribuiti si riconoscono tre sottogruppi:

- inverter di sottocampo (vedi figura 28), che ricevono in ingresso n sottocampi omogenei costituiti da m stringhe nominalmente equivalenti;
- inverter di stringa, che ricevono in ingresso un unico sottocampo costituito da una stringa, riducendo al minimo le perdite per disaccoppiamento ed ombreggiamento;
- inverter multi-stringa (vedi figura 29), che, essendo in grado di inseguire due o più MPP, possono ricevere in ingresso n sottocampi di m stringhe non equivalenti (si pensi ad esempio al caso di un tetto con falde orientate in diverse direzioni).

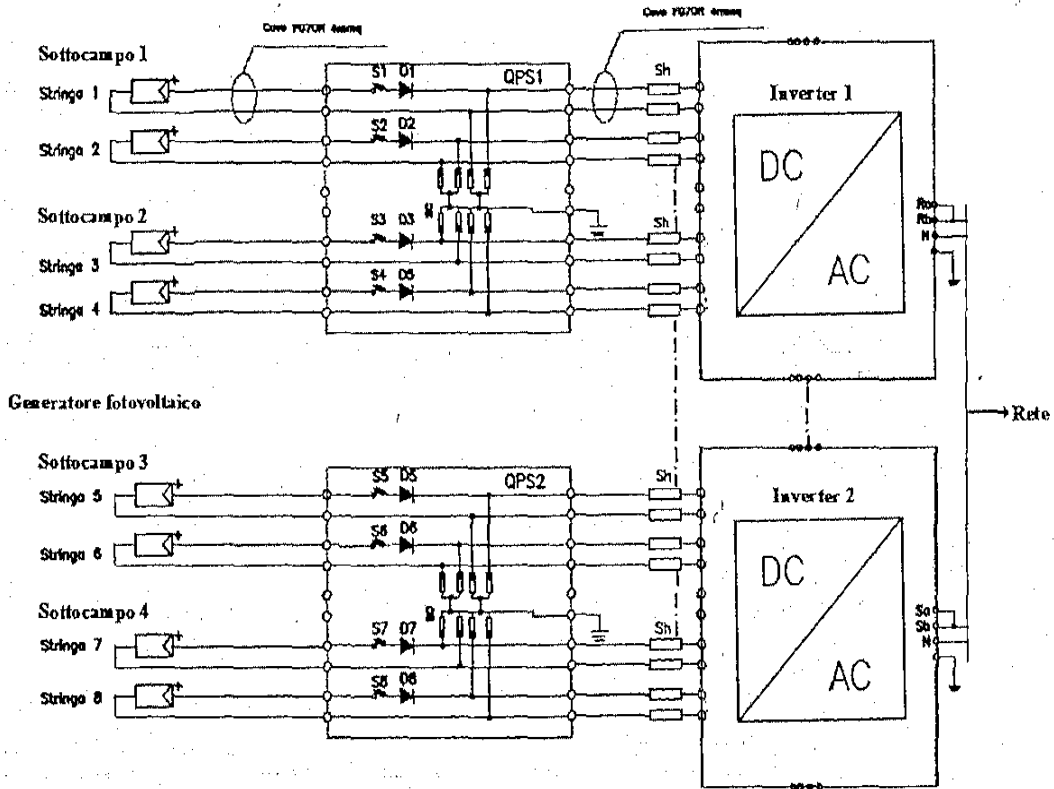
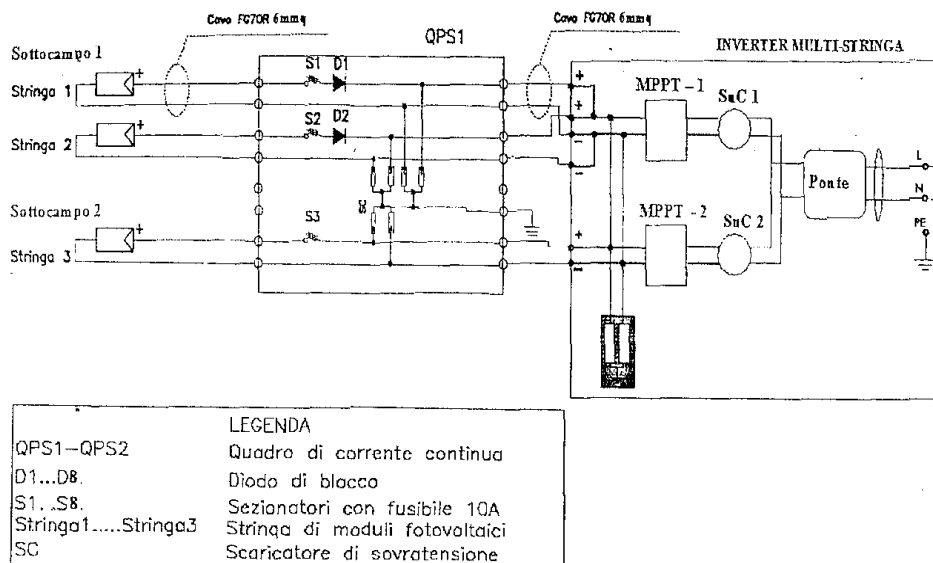


Figura 28.

Poiché il generatore FV funziona a potenza primaria imposta, per estrarre da esso la potenza massima, gli inverter per connessione alla rete hanno spesso uno stadio d'ingresso che svolge la funzione di inseguire della massima potenza (Maximum Point Power Tracker o MPPT).



LEGENDA	
QPS1-QPS2	Quadro di corrente continua
D1...D8	Diode di blocco
S1...S8	Sezionatori con fusibile 10A
Stringa1.....Stringa3	Stringa di moduli fotovoltaici
SC	Scaricatore di sovratensione

Figura 29.

Le specifiche degli inverter per connessione alla rete sono qui riassunte:

- alto rendimento di conversione (maggiore del 90%) valutato con la formula Euro Eta (media pesata a varie potenze) e basse perdite a vuoto (inferiori all' 1%);
- fattore di potenza maggiore di 0,9;
- bassa distorsione armonica della corrente d'uscita (THD < 5%);
- inseguitore della massima potenza MPPT;
- capacità di limitare la potenza in ingresso dal generatore spostandone il punto di funzionamento (spesso verso tensioni maggiori);
- bassa ondulazione sulla tensione del generatore (ripple factor < 5%);
- spegnimento automatico in caso di sovra-sottofrequenza e sovra-sottotensione della rete;
- protezione contro il funzionamento in isola e accensione automatica dopo l'eliminazione di un guasto;
- accensione e spegnimento automatici con basse soglie di irradianza.

Nelle figure 30 e 31 alla pagina successiva si rappresentano gli andamenti tipici di alcuni parametri citati.

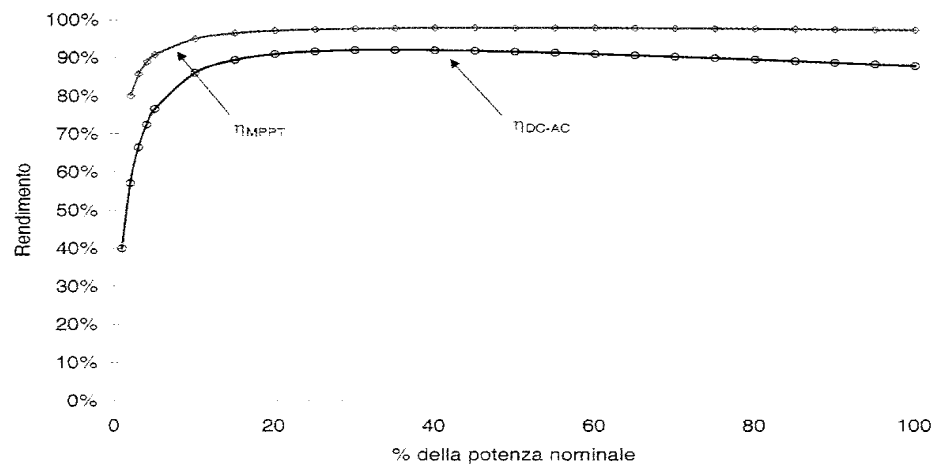


Fig. 30.

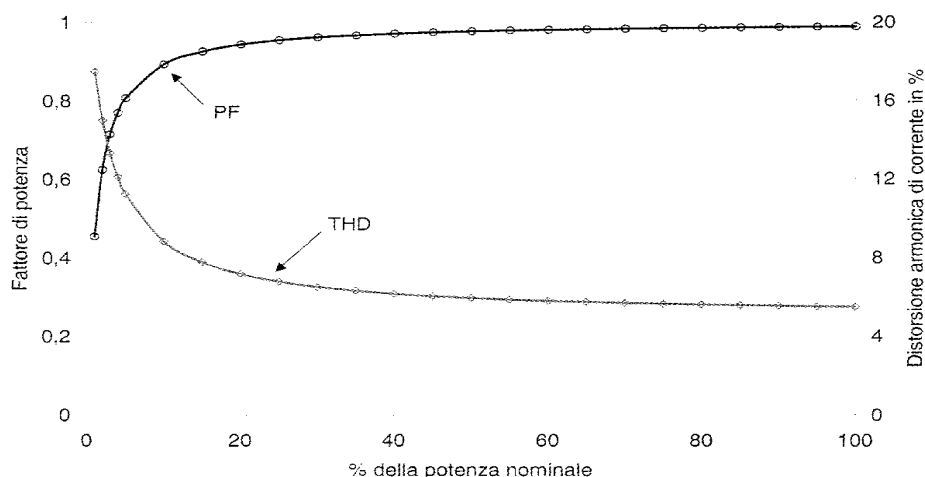


Fig. 31.

Un ulteriore aspetto di fondamentale importanza per i dispositivi di conversione riguarda ovviamente l'interfacciamento con il resto del sistema.

Nello specifico:

- interfacciamento con la rete. Il grado di potenza massima in uscita dall'inverter determina il tipo di allaccio alla rete elettrica, che può essere monofase BT per impianti con $P < 6$ kW, trifase BT per impianti con 6 kW $< P < 100$ kW, o trifase MT se $P > 100$ kW. Oltre che dalla norma CEI 11-20 (per le reti BT-MT; per le reti AT occorre attenersi alle disposizioni elencate nella norma CEI 11-32) integrata con la variante V1, l'interfacciamento inverter/rete è regolato dalle prescrizioni dei distributori locali, che nel caso di ENEL S.p.a. sono elencate nella DK 5940 "Criteri di allacciamento di impianti di produzione alla rete BT di Enel distribuzione – Aprile 2007 Ed. 2.2". Per connessioni in media ed alta tensione le regole tecniche sono contenute nella norma CEI 0-16, che costituisce allegato alla delibera ARG/ELT 33/08 dell'Autorità per l'energia elettrica ed il gas, a cui si può affiancare la "Guida per le connessioni alla rete elettrica di Enel distribuzione", ed. I, Dicembre 2008. La connessione di un impianto solare fotovoltaico, oltre che alla rispondenza alle norme CEI, è subordinata al livello di potenza massima in immissione per la porzione di rete interessata e dalla capacità di cavi e cabine di trasformazione. I costi di adeguamento delle infrastrutture elettriche per potenze in immissione eccedenti sono a carico dei gestori della rete, come

stabilito dalla legge 244/2007 (finanziaria 2008). Per quanto riguarda lo schema logico di connessione, spostandosi da monte a valle, si possono riconoscere i seguenti organi di manovra:

- a) dispositivo di generatore: installato a monte del dispositivo di interfaccia, uno per ciascun inverter, interviene in caso di guasto escludendo dall'erogazione di potenza l'inverter di competenza. Deve soddisfare i requisiti sul sezionamento della norma CEI 64-8 e generalmente è costituito da un interruttore automatico con sganciatore per massima corrente. Nel caso di unico inverter può coincidere con il dispositivo generale.
- b) dispositivo di interfaccia: è comandato dalle protezioni di interfaccia (PIB) realizzate da relè di frequenza e tensione o dal sistema di controllo inverter se certificato DK 5940. Il dispositivo è un interruttore automatico con bobina di apertura a mancanza di tensione, un contattore, un commutatore combinato con fusibile o un interruttore automatico asservito alla/alle PIB. Le protezioni e i dispositivi di interfaccia, interni o esterni al gruppo di conversione, devono essere sempre certificati dal gestore di rete che, allo scopo, predispone un apposito elenco.
- c) dispositivo generale: costituito da un interruttore automatico magnetotermico dotato di sganciatori di massima corrente, anch'esso deve soddisfare ai requisiti sul sezionamento della norma CEI 64-8. Con particolare riferimento agli inverter transformerless le prescrizioni DK 5940 stabiliscono che, per impianti con $P > 20$ kW, deve essere garantita la separazione galvanica fra la rete (lato CA) e il lato CC dei convertitori tramite l'utilizzo di un trasformatore di isolamento, perdendo tutti i benefici.

All'apertura del dispositivo di interfaccia (OFF) i carichi privilegiati, derivati a monte, continuano ad essere alimentati dal funzionamento in isola, mentre l'alimentazione dei restanti carichi è assicurata solo nel caso in cui la rete è attiva.

- interfacciamento con il generatore fotovoltaico. Il vincolo è imposto dall'adattamento sulla tensione in uscita-campo/ingresso-inverter, mentre l'ottimizzazione è relativa ad ottenere il massimo rendimento. Il livello di tensione in ingresso all'inverter genera un ulteriore problema di ottimizzazione vincolata. A parità di potenza installata, infatti, al crescere della tensione di campo diminuisce il numero di stringhe necessario, diminuendo anche i dispositivi di protezione circuitale di stringa, i diodi di blocco, le lunghezze di cablaggio e le sezioni dei conduttori, con notevole risparmio. Le tre disuguaglianze di interfaccia che, se verificate, ammettono la compatibilità tra generatore FV e inverter sono:

$$V_{OC}(T_{min}) < V_{max}$$

$$V_{MPP}(T_{max}) > V_{MPPTmin}$$

$$V_{MPP}(T_{min}) < V_{MPPTmax}$$

dove:

$V_{OC}(T_{min})$ è la tensione massima della stringa a circuito aperto alla minima temperatura esterna (in Italia $T_{min} = -10^{\circ}C$ e $T_{max} = 70^{\circ}C$);

V_{max} è il massimo valore di tensione in CC ammissibile ai morsetti dell'inverter;

$V_{MPP}(T_{max})$ è la tensione di uscita del campo FV alla massima temperatura esterna;

$V_{MPP(T_{min})}$ è la tensione di uscita del campo FV alla minima temperatura esterna;

$V_{MPPTmin}$ è il valore minimo della finestra di tensione utile alla ricerca della massima potenza dell'inverter;

$V_{MPPTmax}$ è il valore massimo della finestra di tensione utile alla ricerca della massima potenza dell'inverter.

Si ricorda che, al variare della temperatura, la tensione a vuoto del modulo varia in funzione del coefficiente Beta estrapolato dai datasheet, così come varia il livello di tensione nel punto di massima potenza (coefficiente Beta'). Allora si ha che:

$$VOC(T) = VOC_{,STC} - \beta \cdot (-25 - T_{cel})$$

$$V_{MPP}(T) = V_{MPP,STC} - \beta' \cdot (25 - T_{cel})$$

Inoltre, per i sistemi fissi, si consiglia un rapporto tra il livello di potenza attiva erogata nella rete del distributore e il livello di potenza di picco del generatore compreso tra 0,78 e 0,9. Alcuni software commerciali (come SOLO_PRO 2.0 allegato al testo "Sistemi solari fotovoltaici: progettazione e valutazione economica in Conto Energia", A. Caffarelli, G. De Simone, A. D'Amato, M. Stizza, Maggioli Editore, 2009) consentono di determinare in funzione dei fattori ambientali ed impiantistici, il valore ottimale del rapporto di potenza a cui tendere nella scelta della componentistica e nella configurazione elettrica del generatore FV.

Protezioni.

Le protezioni costituiscono un punto critico nella progettazione dell'impianto, proteggendo il campo FV da surriscaldamenti localizzati (hot spots).

In primis si proteggono i moduli con diodi di by-pass collegati in parallelo ad ogni modulo. In caso di ombreggiamento la perdita di potenza in percentuale di tutta la stringa è pari alla percentuale di area oscurata della cella più in ombra. Se il modulo è dotato di un solo diodo di by-pass, allorché venga oscurata completamente anche una sola cella, l'intero modulo viene scollegato, ma se i diodi sono due allora solo la metà delle celle viene scollegata, riducendo la potenza non a zero ma ad $\frac{1}{2}$.

Inoltre è prassi progettuale posizionare un diodo di blocco in serie ad ogni stringa, anche se gli impianti connessi alla rete con MPPT lavorano circa all'80% della tensione a vuoto, e dunque con poche probabilità di formazione di correnti inverse. Sempre su ogni stringa sono previsti fusibili e sezionatori per proteggere porzioni di condotta di una stringa da correnti di corto circuito provenienti da altre stringhe in seguito, ad esempio, ad un guasto verso terra di entrambi i poli del generatore (fig. 32). Impiegando moduli e condutture a doppio isolamento (classe di protezione II), almeno fino a livelli di tensione del generatore prossimi a 800V, i fusibili si possono omettere.

Altri elementi di protezione sono i varistori, che assorbono eventuali sovratensioni impulsive di tipo indiretto, come quelle di origine atmosferica (cfr. norma CEI 81-10), a volte collegando al dispositivo di protezione contro le fulminazioni anche il telaio metallico dei moduli. Un sistema integrato atto allo scopo può essere il sistema LPS (lighting protection system) costituito da organi captatori, calate e sistema disperdente.

Un dispositivo di monitoraggio della corrente di dispersione verso terra protegge contro i contatti indiretti la condotta, isolata da terra, che collega il generatore FV all'inverter, a meno che lo stesso non sia in doppio isolamento. Anche gli inverter, infine, sono protetti contro sovratensioni impulsive da varistori su entrambi i lati (AC e DC) e messi in sicurezza all'interfaccia con la rete da relè di massima – minima tensione e frequenza.

Non si può omettere naturalmente la protezione dell'impianto dal funzionamento in isola.

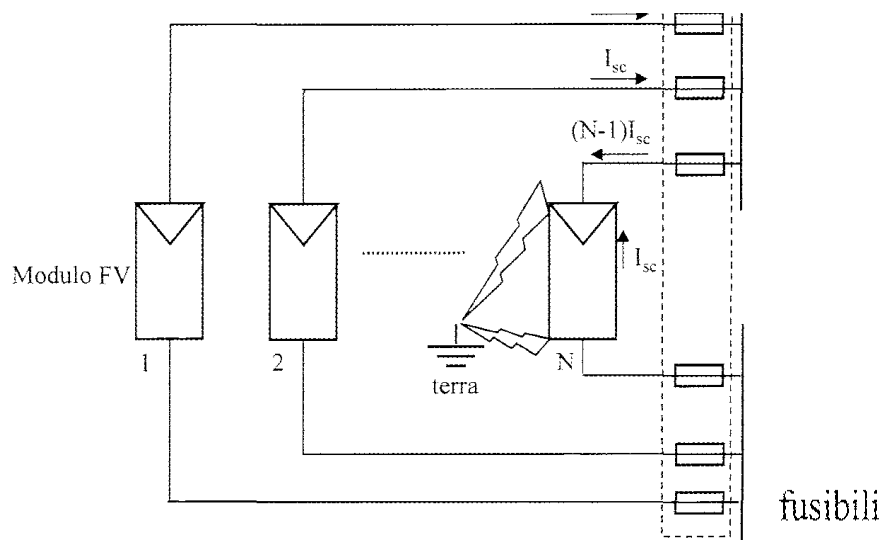


Fig. 32: protezione contro guasti a terra di entrambi i poli di un modulo FV.

Sostanzialmente il generatore può essere gestito come un sistema IT (isolamento da terra delle parti attive, collegamento diretto a terra delle masse), o come un sistema TT (collegamento diretto a terra del neutro e delle masse).

Per il coordinamento con interruttori automatici di protezione da contatti diretti, nonché per la protezione dai contatti indiretti e da sovratensioni, è necessaria l'esecuzione dell'impianto di terra, come specificato nelle norme CEI 64-8 e CEI 11-1. Tale impianto deve essere unico per tutte le masse simultaneamente accessibili e solo in situazioni particolari possono essere previsti due impianti di terra distinti, con l'accortezza di allontanare tra loro (almeno 2,5m) le parti metalliche collegate ai due diversi dispersori.

L'inverter e gli eventuali quadri metallici sono portati a terra con il PE (conduttore di protezione in PVC giallo/verde) così come tutti gli altri eventuali componenti elettrici di classe I, mentre le strutture di ancoraggio e l'involucro dei moduli, solitamente di classe II, non devono essere collegati ad un conduttore di protezione a meno che non sia esplicitamente indicato nelle prescrizioni di costruzione. Qualora fosse necessario collegare le cornici dei moduli al nodo EQP dell'inverter, l'involucro dei moduli presenterà continuità elettrica con le strutture di ancoraggio metalliche ed è, pertanto, sufficiente connettere all'inverter la semplice struttura.

All'interno della struttura di un impianto di terra, come mostrato in figura 33, vi è un collettore che può essere costituito da una barra in rame posizionata in un luogo accessibile. Al nodo di terra sono collegati i conduttori equipotenziali EQS ed EQP (che collegano le masse estranee tra loro), i conduttori di protezione PE (collegati alle masse) e il conduttore di terra CT (che collega il nodo principale di terra al dispersore).

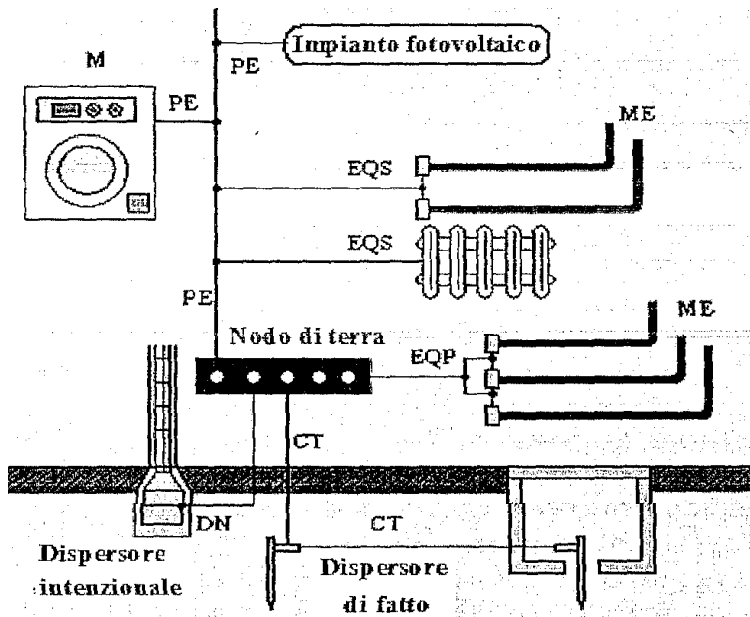


Fig. 33: impianto di terra.

Il dispersore è costituito dall'insieme dei corpi metallici in contatto elettrico con il terreno. La presenza degli scaricatori SPD (surge protection device) connessi al PE consiglia una preventiva misura della resistenza di terra del sistema disperdente (valori minori o pari a 20 Ohm possono essere considerati adeguati) e l'impiego di conduttori con sezione minima di 16 mm quadrati. Nelle tabelle seguenti si riportano le sezioni minime dei conduttori.

Tabella 7: conduttori di terra.

Sezione del conduttore di fase in mm ²	≤ 35	50	70	95	120	150	185
Sezione minima del conduttore di terra in rame in mm ² non protetto meccanicamente	16 ⁽¹⁾	25	35	50	70	70	95
Nota: (1) 25 mm ² se non protetto contro la corrosione							

Tabella 8: conduttori di protezione.

Sezione del conduttore di fase in mm ²	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
Sezione minima del corrispondente conduttore di protezione in mm ²	1,5	2,5	4	6	10	16	16	16	25	35	50	70	70	95

Tabella 9: conduttori equipotenziali.

Conduttori equipotenziali	Sezione del conduttore di protezione principale PE (mm ²)	Sezione del conduttore equipotenziale (mm ²)
Principale <i>EQP</i>	≤ 10 $= 16$ $= 25$ > 35	6 10 16 25
Supplementare <i>EQS</i> : • collegamento massa-massa • collegamento massa-massa estranea	$EQS \geq PE$ di sezione minore $EQS \geq \frac{1}{2}$ della sezione del corrispondente conduttore PE In ogni caso la sezione del conduttore <i>EQS</i> deve essere: $\geq 2,5$ mm ² se protetto meccanicamente ≥ 4 mm ² se non protetto meccanicamente	

Gli SPD (fig.34), che rientrano tra le misure di protezione non solo circuitale, sono caratterizzati da diverse grandezze elettriche:

- tensione nominale, corrispondente alla tensione di fase di impiego;
- tensione massima di esercizio;
- tensione di innesco ad impulso;
- corrente nominale di scarica;
- corrente massima di scarica;
- corrente di lunga durata, ossia il valore di CC che lo scaricatore riesce a mantenere per 2 ms;

- tensione residua dopo la scarica.

Dal punto di vista del funzionamento, lo scaricatore può essere pensato costituito da due elettrodi, uno collegato alla linea e l'altro a terra. In condizioni nominali d'esercizio la tensione verso terra nel punto di inserimento dell'SPD si mantiene entro valori tali che l'SPD si comporta come un isolatore (fra la linea e la terra), ma, nel momento in cui si genera una sovratensione indotta tale che la tensione di terra superi la tensione di innesco del dispositivo, una scarica tra gli elettrodi trasferisce l'onda di sovratensione stessa a terra.

Inoltre gli scaricatori vengono distinti, in funzione dell'intensità di corrente che sono in grado di scaricare, in tre classi: I, II, III (o rispettivamente B, C, D secondo DIN). Scaricatori di classe II o III vengono normalmente impiegati per il lato CC dell'impianto, in numero non inferiore a due (uno sul polo positivo e uno sul negativo) ogni 5/10 stringhe. Sul lato AC, dotato di interruttori magnetotermici, l'installazione di SPD è solitamente facoltativa.

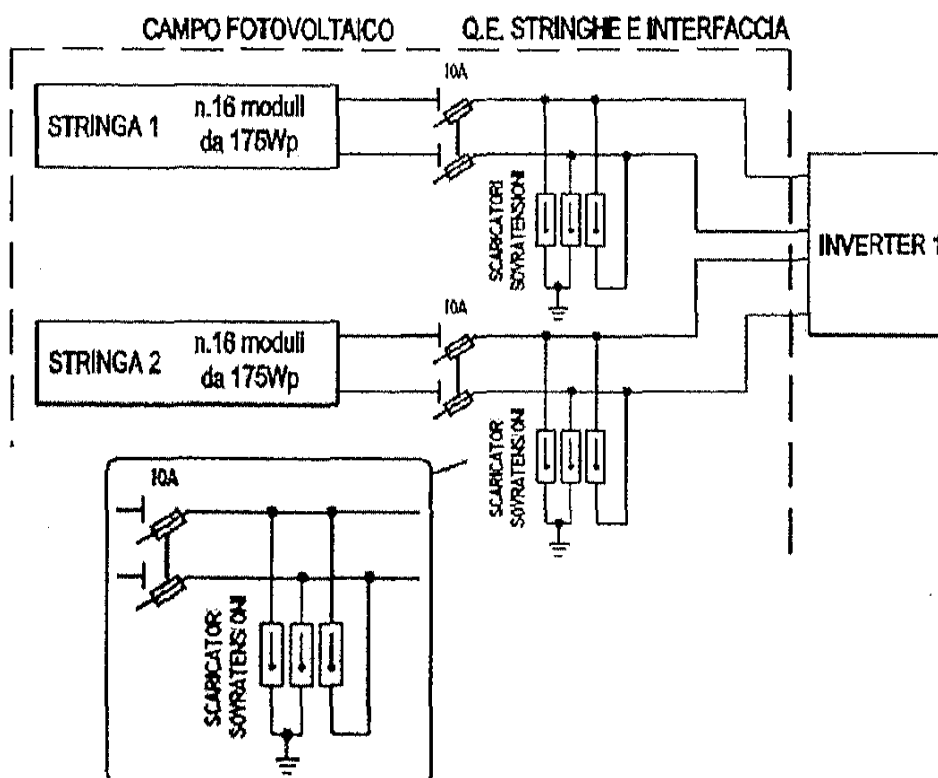


Fig. 34: particolare SPD.

4.3.2.2 Criteri e strumenti di progettazione esecutiva.

Nel progetto degli impianti fotovoltaici è di fondamentale importanza stimare la produzione energetica del generatore FV. Dato di partenza, qualora disponibile, è il consumo energetico dei carichi che il generatore stesso deve alimentare, sottoforma di diagramma di carico, che rappresenta l'andamento della potenza assorbita, con l'individuazione dei picchi quindi, nell'arco delle 24 ore. Se tali dati non sono reperibili si procede ad una stima approssimata in funzione del numero, della potenza nominale e delle modalità di utilizzo degli apparecchi elettrici.

La produzione FV dovrebbe eguagliare, istante per istante, i consumi dei carichi, ma non essendo questo possibile, bisogna servirsi degli accumulatori o della rete per cercare un equilibrio tra consumo e produzione su scala mensile oppure annuale.

Come si può intuire, la produzione energetica del generatore è direttamente proporzionale all'irradiazione solare (per questo motivo occorre preliminarmente valutare l'esposizione e tutte le altre condizioni climatiche del sito) ed i fattori di proporzionalità sono la superficie captante del generatore ed il rendimento di conversione. Poiché la potenza nominale (o di picco) di un generatore è definita all'irradianza di 1 kW/mq, l'irradiazione giornaliera in kWh/mq divisa per l'irradianza di 1 kW/mq è dimensionalmente il numero di ore al giorno di funzionamento alla potenza nominale del generatore, definito numero di ore equivalenti. Tale valore, moltiplicato per la potenza nominale, fornisce l'energia prodotta in un giorno, senza tuttavia tenere conto di alcuna perdita (Performance Ratio).

Il numero di ore equivalenti è funzione dell'inclinazione rispetto all'orizzontale (tilt) e dell'orientamento della superficie del generatore. La scelta di questi fattori, a seconda del tipo di applicazione, può essere condotta con un metodo illustrato nella norma UNI 8477. In generale, aumentando l'inclinazione, l'irradiazione giornaliera si riduce nei mesi estivi e cresce in quelli invernali (vedi figura 35), pertanto negli impianti connessi alla rete, volendo massimizzare

l'irradiazione annuale (surplus e deficit vengono infatti compensati dalla rete), la disposizione ottimale dell'array FV si avrà ad un angolo d'inclinazione leggermente inferiore all'angolo di latitudine del sito d'installazione.

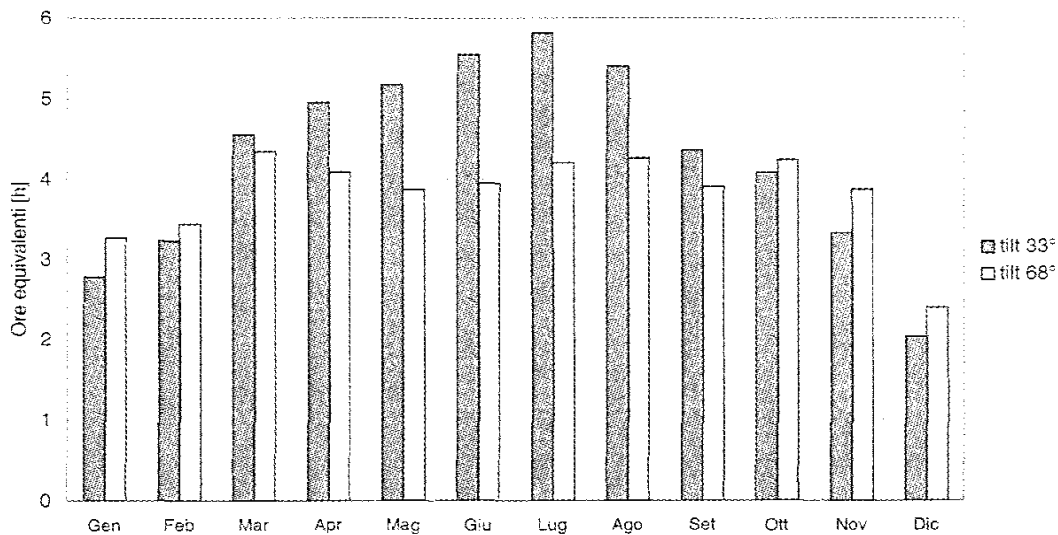


Fig. 35: confronto fra i valori giornalieri delle ore equivalenti di funzionamento all'irradianza di 1 kW/mq per due applicazioni nella zona di Torino.

Riguardo l'inverter per alimentare carichi in AC, si seguono due strade, a seconda se l'impianto è autonomo o connesso alla rete.

Nei primi la potenza nominale dell'inverter è uguale a quella massima che si vuole fornire ai carichi (generalmente minore della potenza di picco del generatore) in modo da evitare agli accumulatori di scaricarsi velocemente. Tuttavia si impiegano inverter in grado di sopportare sovraccarichi di breve durata. I livelli di tensione in ingresso, derivati da quelli degli accumulatori, sono di 12V, 24V, 48V,... preferendo gli ultimi per ridurre l'assorbimento di corrente.

Negli impianti connessi alla rete invece si tende ad utilizzare inverter con potenza ridotta del 10-20% rispetto a quella del generatore per aumentare il rendimento di conversione DC/AC in corrispondenza di bassi livelli d'irradianza, ma a condizione che il MPPT di cui è dotato l'inverter si sposti dal punto di potenza massima verso tensioni minori, riducendo la potenza in ingresso, quando l'irradianza raggiunge 1 kW/mq. La tensione in ingresso negli impianti connessi a rete decentralizzati spesso non supera i 120V per motivi di sicurezza.

Il numero di moduli connessi in serie per ciascuna stringa del generatore FV è individuato dalla tensione degli accumulatori negli impianti autonomi e dall'intervallo di variazione della tensione DC dell'inverter negli impianti connessi; in questo caso occorre verificare che la massima tensione del campo FV (corrispondente alla minima temperatura di lavoro) sia inferiore alla massima tensione sopportabile dall'inverter, mentre la minima tensione del campo sia superiore alla minima tensione compatibile col funzionamento dell'inverter.

Fissati la potenza nominale e il numero di moduli in serie per una stringa, si può determinare il numero di stringhe in parallelo che formano il campo FV.

Si forniscono alcuni dati orientativi per il progetto di massima di un impianto FV:

1. Densità giornaliera di energia solare da 2 a 7 kWh/mq sul piano orizzontale al variare della stagione dell'anno;
2. Densità giornaliera di elettricità prodotta (Si cristallino) da 0,3 a 0,9 kWh/mq;
3. Ore equivalenti annuali da 1400h (Nord Italia) a 1800h (Sud Italia);
4. Area moduli pari a 1 mq per 120 Wp (Si mono e policristallino);
5. Area occupata nel caso di generatore disposto per file parallele pari a 2 mq per 120 Wp (50% moduli e 50% ombre);
6. Vita media dei moduli 25 anni;
7. Vita effettiva 20anni (vita media – Energy pay back time);
8. Consumo medio familiare (3/5 persone) di energia elettrica da 2500 a 4000 kWh/anno;
9. Costo del kW installato da 10000 a 13000 euro per impianti autonomi, da 5000 a 7000 euro per impianti connessi alla rete;
10. Costo del kWh prodotto fra 0,5 e 0,6 euro per impianti autonomi, da 0,25 a 0,4 euro per impianti connessi alla rete.

Negli impianti connessi alla rete la potenza nominale si ottiene dal bilancio annuale fra l'energia consumata dalle utenze e l'energia prodotta dal generatore, essendo quest'ultima pari alla potenza nominale moltiplicata per le ore equivalenti annuali e per il performance ratio, coefficiente che tiene conto delle perdite sui moduli per sporcizia, sull'inverter e sui cavi, del mismatching delle caratteristiche elettriche e delle sovraturetemperature di esercizio. La superficie dell'array si ottiene dal rapporto fra la potenza nominale ed il rendimento dei moduli.

Generalmente le fasi di progettazione sono articolate come segue:

- Sopralluogo: - verifica orientamento/esposizione dell'area di posa;
 - verifica ombre portate sull'area di posa;
 - esame del tipo di copertura;
 - verifica del percorso cavi e dislocazione dispositivi;
 - verifica conformità impianto elettrico esistente;
 - acquisizione dati sulla fornitura e sul fabbricato;
 - rilievi fotografici e cartografici;
 - determinazione di eventuali difficoltà logistiche in fase di realizzazione;
 - individuazione di un locale per l'inverter il più possibile vicino ai moduli.

L'acquisizione di tali informazioni riguarda in particolare l'identificazione della migliore posizione per l'installazione, tenendo presente anche il tipo di struttura per il sostegno dei moduli.

- Valutazione dei fabbisogni energetici da rilievi e stime.
- Stima della produzione di energia elettrica dell'impianto su base annua, con l'applicazione dei coefficienti di correzione per inclinazione, orientamento ed ombreggiatura, e calcolo della frazione solare rispetto al consumo elettrico.

- Configurazione taglia dell'impianto (in kWp, tenendo conto dei consumi e della capacità d'investimento).
- Valutazione finanziaria del progetto.
- Preparazione all'installazione dei componenti:
 - moduli/ quadri/ inverter;
 - controllo certificati di qualità;
 - controllo garanzia;
 - verifica della connessione.

La sequenza dei dispositivi è dettata dalla distanza e dalla dislocazione dell'inverter rispetto ai moduli: se tale distanza è inferiore a 20 metri i montanti delle diverse stringhe vengono collegati direttamente al quadro di protezione CC (morsetti sezionabili con fusibili – diodi di blocco – scaricatori di sovratensione – selezionatore lato cc), altrimenti i montanti vengono collegati in parallelo ad un quadro di campo (morsetti e diodi) da cui un unico montante in uscita regola il flusso verso il quadro CC; in entrambi i casi, il quadro di protezione CA (scaricatori di sovratensione – interruttore magnetotermico differenziale) viene posto a valle dell'inverter e, naturalmente, prima del quadro elettrico generale. Operando all'esterno sarà opportuno utilizzare cavi a doppio isolamento.

- Predisposizione struttura di supporto e connessioni: tenuta all'acqua, verifica dei cavi e dei dispositivi speciali.
- Verifica inverter: rispondenza alle normative, rapporto di potenza moduli-inverter, protezione.
- Adempimenti normativi: permesso di costruire, dichiarazione di inizio lavori, procedure particolari.
- Verifica in fase di realizzazione dei requisiti di sicurezza in relazione all'allestimento, il trasporto e lo stoccaggio, il sollevamento e l'ancoraggio, il cablaggio elettrico.
- Verifica dei serraggi delle connessioni.
- Verifica della tensione a vuoto delle singole stringhe.

Appena terminata l'installazione è possibile procedere al riarmo dei sezionatori, all'accensione dell'inverter e alla verifica dello spegnimento e del riavvio automatico in situazioni di mancanza della rete.

La verifica tecnico-funzionale dell'impianto consiste nel misurare:

- continuità elettrica e connessioni tra i moduli;
- messa a terra di masse e scaricatori;
- isolamento dei circuiti;
- la condizione per cui la potenza misurata (con precisione 2%) in uscita dal generatore sia maggiore del 85% della potenza nominale per l'irraggiamento sulla superficie dei moduli diviso per l'irraggiamento standard (1000 W/mq);
- la condizione per cui la potenza attiva in uscita dal gruppo di conversione sia maggiore del 90% della potenza in uscita dal generatore;
- la condizione per cui la potenza attiva dopo la conversione sia maggiore del 75% della potenza nominale per l'irraggiamento sulla superficie dei moduli diviso per l'irraggiamento standard.

Il collaudo parte dall'inverter con il controllo della sezione e del percorso dei cavi, delle condizioni di accesso alla zona dell'inverter, dell'esistenza di un sezionatore esterno di disconnessione inverter-rete (ove richiesto). Si esegue dunque la verifica della produzione P_{db} in regime di funzionamento. Per le misure elettriche è necessario disporre di wattmetri (per le potenze in AC e DC) oltre che di radiometri per l'irradianza (ad effetto Seebeck o a sensori FV).

Le condizioni per superare il collaudo sono:

- a) $P(AC) > 0,75 \cdot P_{nom} \cdot I/I_{STC}$
- b) $P(DC) > 0,85 \cdot P_{nom} \cdot I/I_{STC}$

Qualora nel corso di detta misura venga rilevata una temperatura di lavoro dei moduli, misurata sulla faccia posteriore dei medesimi, superiore a 40 °C, è ammessa la correzione in temperatura della potenza stessa. In questo caso la condizione b) precedente diventa:

$$P(\text{DC}) > (1 - P_{\text{tpv}} - 0,08) \cdot P_{\text{nom}} \cdot I/I_{\text{STC}}$$

ove P_{tpv} indica le perdite termiche del generatore fotovoltaico (desunte dai fogli di dati dei moduli), mentre tutte le altre perdite del generatore stesso (ottiche, resistive, caduta sui diodi, difetti di accoppiamento) sono tipicamente assunte pari all'8%.

Le perdite termiche del generatore fotovoltaico P_{tpv} , nota la temperatura delle celle fotovoltaiche T_{cel} , possono essere determinate da:

$$\square P_{\text{tpv}} = (T_{\text{cel}} - 25) \cdot \gamma / 100$$

oppure, nota la temperatura ambiente T_{amb} da:

$$\square P_{\text{tpv}} = [T_{\text{amb}} - 25 + (\text{NOCT} - 20) \cdot I/800] \cdot \gamma / 100$$

in cui:

- γ : Coefficiente di temperatura di potenza (parametro, fornito dal costruttore, per moduli in silicio cristallino è tipicamente pari a 0,4÷0,5%/°C).
- NOCT: Temperatura nominale di lavoro della cella (parametro, fornito dal costruttore, è tipicamente pari a 40÷50°C, ma può arrivare a 60°C per moduli in vetrocamera).
- T_{amb} : Temperatura ambiente; nel caso di impianti in cui una faccia del modulo sia esposta all'esterno e l'altra faccia sia esposta all'interno di un edificio (come accade nei lucernai a tetto), la temperatura da considerare sarà la media tra le due temperature.

- T_{cel} : Temperatura delle celle di un modulo fotovoltaico; può essere misurata mediante un sensore termoresistivo (PT100) attaccato sul retro del modulo.

Prima della richiesta di connessione alla rete occorre inviare al Comune di pertinenza la dichiarazione di fine attività ed alla società elettrica la documentazione attestante la verifica tecnico-funzionale ed il collaudo.

La manutenzione di un impianto FV è piuttosto limitata. Occorre naturalmente mantenere pulite le superfici captanti, verificare periodicamente l'integrità dei moduli e dei supporti, i serraggi, le tensioni di stringa e il corretto funzionamento dell'inverter.

Gli impianti FV connessi alla rete con potenze comprese fra 1-20 kWp sono quelli più diffusi in Italia per effetto della delibera n.224 del 2000 dell'Autorità dell'Energia Elettrica e del Gas (AEEG), che stabiliva le condizioni tecnico-economiche per il parallelo con la rete e in particolare lo scambio sul posto dell'energia a pari prezzo (net metering). Il bilancio tra l'energia prodotta dal sistema FV e quella consumata dalle utenze in questo caso porta a dimensionare la produzione al massimo al 90% dei consumi annuali per evitare un saldo positivo.

Il D.L. n.° 387 del 29/12/2003 introduce una nuova tipologia per il collegamento alla rete e con la delibera n.° 188 del 2005, relativa al "Conto Energia", si sancisce il passaggio dell'incentivo in fase di installazione a quello sull'energia prodotta, individuando tre campi di potenza con tre regimi di remunerazione differenti: da 1 a 20 kWp, da 20 a 50 kWp e, infine, da 50 a 1000 kWp.

Sia per impianti in regime di interscambio (fig. 37) che per quelli in conto energia (fig. 36) la componentistica del sistema rimane la medesima e lo schema di connessione viene integrato da un dispositivo di contabilizzazione dell'energia prodotta a valle dell'inverter, come previsto già dal D.M. 27/07/2005.

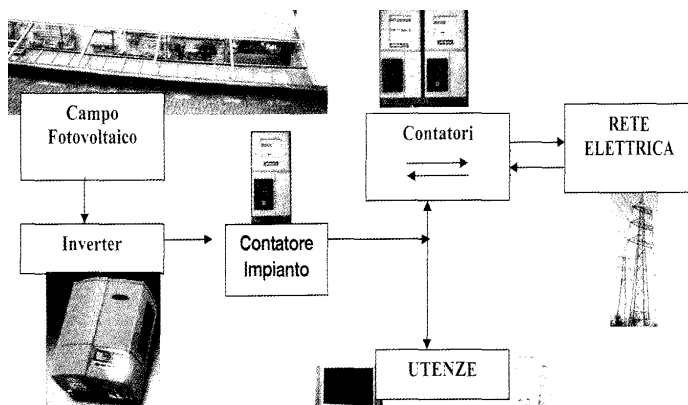


Fig. 36: Regime di conto energia.

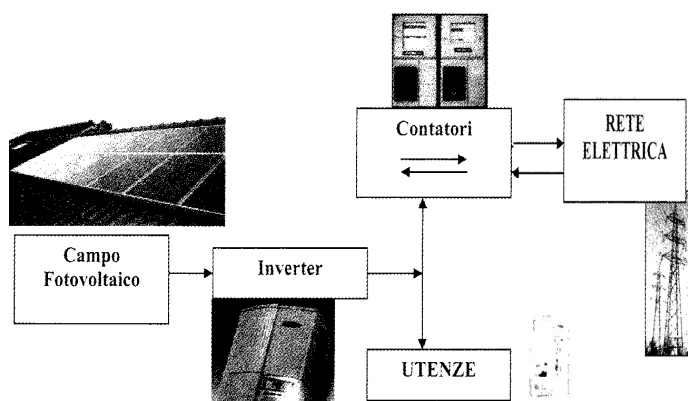


Fig. 37: Regime di interscambio.

Per gli impianti connessi alla rete, le possibili configurazioni sono: con inverter centralizzato (monofase o trifase), oppure con inverter di stringa (con o senza gestione master-slave), o ancora con inverter integrato nel modulo (modulo in AC).

Esaminando la soluzione tradizionale con inverter centralizzato, i componenti fondamentali dell'impianto FV, come noto, sono:

- Il generatore fotovoltaico con potenza nominale 1-1000 kWp;
- L'inverter dotato di protezioni contro sovracorrenti e sovratensioni;
- I carichi locali dell'utente.

Se la potenza è inferiore a 5 kWp si adotta la soluzione monofase, oltre i 5 kWp si passa alla soluzione trifase, tenendo conto che è possibile anche collegare un numero, multiplo di tre, di inverter monofase con collegamento a stella

(centro stella sul neutro, se disponibile). Solitamente si preferisce tuttavia l'impiego di inverter trifase per risparmiare sui transistor (6 per il trifase invece di 12, 4 per ogni ponte H, nel caso di tre inverter monofase), anche se in tal caso potrebbero aumentare le perdite.

Inoltre l'impiego di inverter trifase dà valori più bassi del ripple sul lato DC e della distorsione armonica della corrente sul lato AC, mentre di contro rende più sfavorevole il range di funzionamento in tensione dell'inseguitore della massima potenza (MPPT).

Un criterio molto importante per la scelta dell'inverter rimane in definitiva quello del rendimento di conversione DC/AC, il cui valore massimo è leggermente superiore per l'inverter trifase. Il componente dell'inverter con minor rendimento è il trasformatore e, in tal senso, si trovano nuclei magnetici di vario tipo: planari a tre colonne, toroidali in ferro dolce oppure in ferrite. I trasformatori possono essere in alta frequenza oppure a 50 Hz, in ogni caso è fondamentale che si abbia un rapporto di trasformazione vicino all'unità, con tensione di 230V o 400V efficaci (corrispondenti a 325V e 570V di picco), in modo da limitare tensione e perdite di corto circuito. In sede di progetto, con un'adeguata ripartizione delle perdite a vuoto e a carico, si può fare in modo che il massimo del rendimento si abbia intorno al 40-50% della potenza nominale (fig. 38).

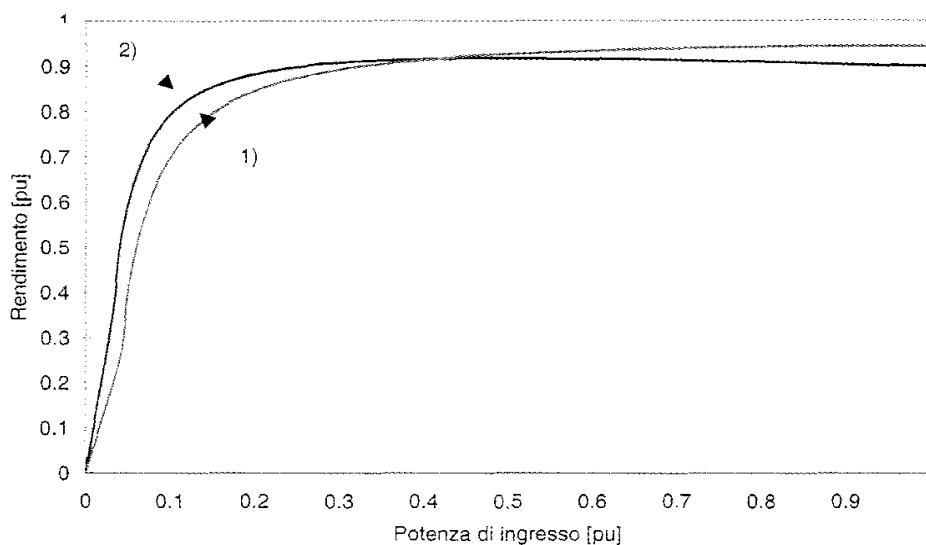


Fig. 38: confronto tra curve di rendimento. 1) basse perdite a carico ed elevate perdite a vuoto; 2) ripartizione delle perdite.

Per costruire il campo FV (solitamente sul tetto) è necessario adottare “cassette di parallelo stringhe”, verso le quali vengono fatti convergere i conduttori delle stringhe. Tali cassette di parallelo ed i cavi di partenza per l'alimentazione dell'inverter sono collocati in un “quadro di campo” (fig. 39). I cavi di alimentazione dell'inverter, collocato sotto il tetto oppure a livello del suolo a diversi metri di distanza, sono percorsi spesso da corrette continua elevata, perché la corrispondente tensione, per motivi di sicurezza, si può scegliere inferiore al limite di 120 V (per i trifase anche superiore ai 500 V). Sul lato AC dell'impianto il quadro di interfaccia contiene le protezioni di massima-minima tensione, massima-minima frequenza e contro il funzionamento in isola. La caduta di tensione del campo FV al punto di parallelo con la rete è bene che non superi il 4%.

Nelle soluzioni con string inverter o con inverter integrato, che consentono di ridurre le perdite di mismatching delle caratteristiche elettriche, di eliminare le perdite sui diodi di protezione in serie (omessi) e di ridurre quelle sui cavi lato DC (che hanno lunghezze o sezioni ridotte), ed infine di ottenere un buon rendimento giornaliero di conversione DC/AC, la cassetta di parallelo ed il quadro di campo vengono eliminati, ed il cablaggio diventa un ordinario cablaggio in corrente alternata. La scelta dei moduli in AC consente di eliminare anche il quadro di interfaccia sul lato AC, giacché la protezione contro il funzionamento in isola è integrata nell'inverter (vedi figura 40). Tuttavia in Italia il maggior distributore (ENEL) desidera un'unica protezione di interfaccia, dotata di relè di sovra-sottotensione e sovra-sottofrequenza.

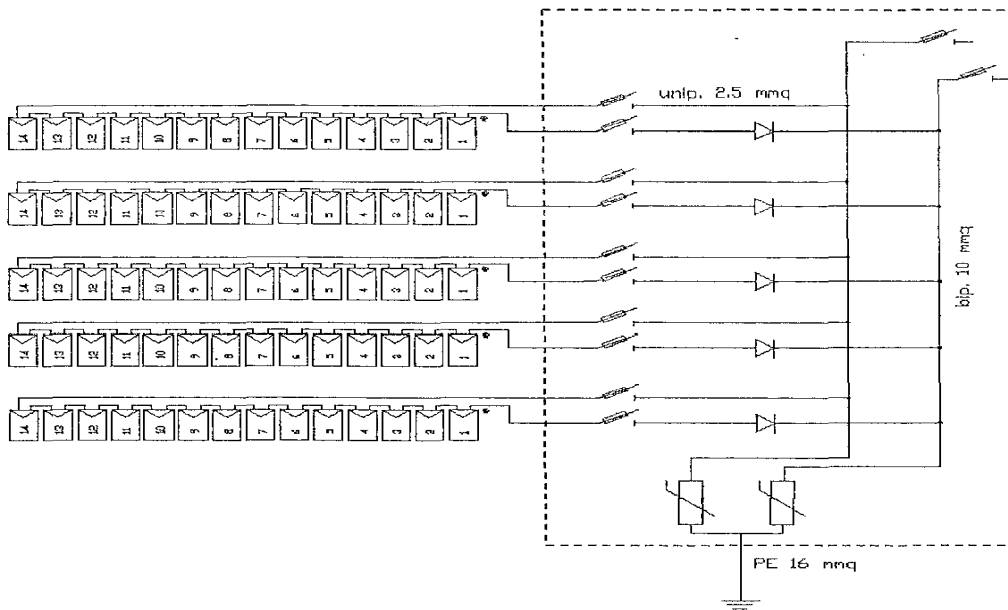


Fig. 39 : Particolare degli elementi costituenti un quadro di campo in CC.

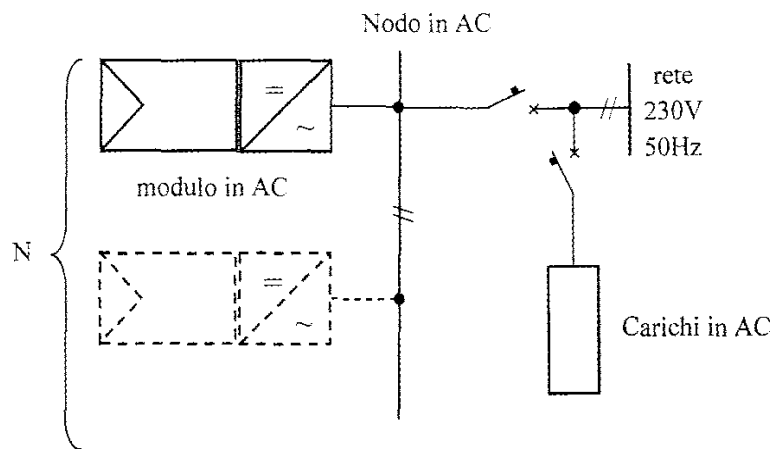
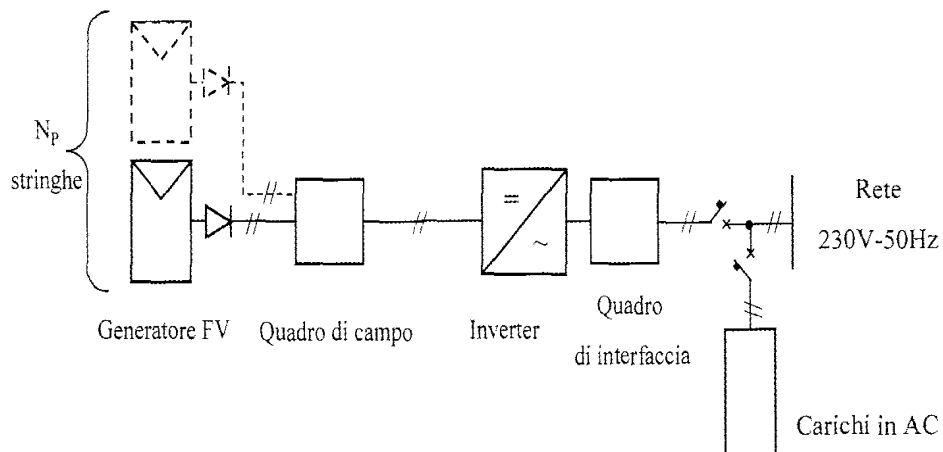


Fig. 40: Schema impianto tradizionale per l'alimentazione di un'utenza monofase (sopra) e schema impianto innovativo con moduli in AC (sotto).

4.3.2.3 Principi di integrazione architettonica: tetti e facciate fotovoltaiche.

Una delle nuove frontiere nell'impiego dei sistemi solari termici e fotovoltaici è sicuramente rappresentata dall'integrazione architettonica degli stessi con gli elementi dell'involucro edilizio. In questo quadro l'area della produzione di energia derivante dalla radiazione solare ha visto esiti di adeguato interesse sul piano produttivo ed esiti, ancora in fase di elaborazione, sul piano appunto dell'integrazione architettonica. Questa, infatti, richiede un'attenzione particolare sia per le scelte legate alle prestazioni, dovendo spesso adeguare la dislocazione dei pannelli ai parametri imposti dalla morfologia dell'involucro edilizio, sia per i fattori connessi all'immagine estetica, fortemente influenzata dalla presenza degli elementi captanti.

Inoltre, per realizzare edifici in cui l'integrazione dei componenti solari sia correttamente attuata, è necessario coinvolgere nella progettazione diverse figure professionali, in grado di conoscere e gestire aspetti tecnologici (ad esempio nel campo della fisica ambientale e della meccanica) assai complessi, che vanno ben oltre quelli legati alla progettazione edilizia tradizionale.

In definitiva, per garantire il successo delle applicazioni fotovoltaiche in edilizia, devono essere poste in primo piano le relative esigenze di funzionalità e fruibilità e, soprattutto, di piena compatibilità tra edificio e sistema, raggiungendo da un lato l'ottimizzazione dell'energia prodotta e, dall'altro, la massima integrazione dei componenti solari nell'organismo architettonico in termini di prestazioni non solo di tipo energetico ma anche di tipo tecnologico-edilizio.

Gli schemi tipologici delle modalità di integrazione possono essere classificati, a seconda della superficie di edificio utilizzata per l'impianto, in:

- Ortogonali a montanti e trasversi (facciate continue);
- Ortogonali strutturali (facciate continue);
- Facciata a fasce verticali inclinate;

- Facciata a fasce orizzontali inclinate;
- Facciata inclinata;
- Facciata inclinata a fasce orizzontali;
- Facciata inclinata strutturale;
- Doppia pelle;
- Tetto a falde;
- Tetto a falde semitrasparente;
- Tetto piano;
- Tetto piano semitrasparente;
- Shed;
- Lucernari;
- Schermi;
- Installazioni esterne.

La necessità di sfruttare la radiazione solare e le possibilità offerte dalla tecnologia consentono, e spesso impongono, di svincolare il progetto dell'involucro dall'impiego dei tradizionali elementi e materiali della costruzione edilizia. Ad esempio, poiché il pannello è costituito nella parte superiore da una lastra trasparente, può diventare elemento non solo integrante ma anche di sostituzione di elementi impiegati nella realizzazione delle superfici a curtain wall, unendo i vantaggi strutturali a quelli tecnologici. Una delle soluzioni più interessanti infatti, è l'integrazione di elementi fotovoltaici nel rivestimento di facciata, in finestre, strutture o elementi protettivi. L'installazione dei pannelli può avvenire per sovrapposizione o per sostituzione in facciata, e le celle FV possono essere integrate in materiali come vetro ed altri elementi di facciata, aprendo la possibilità di combinare la produzione energetica con altre funzioni proprie del sistema di chiusura come la tenuta agli agenti atmosferici, l'impermeabilizzazione e l'isolamento.

L'integrazione costruttiva e visiva dei componenti solari, ovviamente, deve in primo luogo garantire che l'installazione non entri in conflitto con i requisiti

della chiusura stessa. Nella tabella 10 vengono fornite indicazioni utili al riguardo.

Tipo di sistema	Dimensioni (cm ²)	Facciata	Finestra	Frangisole
Modulo laminato standard senza struttura (es..APS)	33 x 130 45 x 100 55 x 115	+	-	+
Modulo standard con struttura in plastica o metallo (moduli standard multistrato con finitura interna non trasparente es. BPSolar)	33 x 130 45 x 100 55 x 115	0	-	0
Modulo vetro – vetro a trasparenza predefinita	Tutte le dimensioni comprese tra 15 e 200	+	+	+
Modulo vetrato con finitura interna in plastica trasparente	Tutte le dimensioni comprese tra 15 e 200	+	+	+
Modulo vetrato con finitura interna non trasparente ed esterno plastificato	150 x 150	+	-	+
Moduli progettati su misura	Varie dimensioni	+	+	+





Tabella 10: Adattabilità dei diversi tipi di modulo per integrazione (fonte: IEA, TASK 16, Photovoltaics in buildings, a design handbook for architects and engineers, James & James, London 1996).

LEGENDA: + = alta adattabilità, 0 = bassa adattabilità, - = incompatibilità.

L'applicazione su tetti piani, che permette l'impiego di varie tipologie di moduli ed una facile gestione dell'orientamento e dell'inclinazione, oppure l'applicazione su tetti inclinati, che spesso necessita di strutture di supporto progettate ad hoc, consentono di sfruttare superfici altrimenti inutilizzate e, in alcuni casi, di migliorare anche le prestazioni termoacustiche della copertura. Basti pensare che recenti studi della Commissione Europea hanno rilevato che in Italia, coprendo con moduli fotovoltaici i 370 milioni di metri quadri di tetti disponibili (con orientamento a sud, est o ovest) e i 200 milioni di mq di facciate, si potrebbero produrre circa 130 milioni di kWh all'anno, pari al consumo medio

annuo di 30 milioni di abitanti. Senza contare poi i vantaggi conseguibili nei numerosi esempi di integrazione degli elementi in finestre, frangisole e brise-soleil, parapetti e pensiline. In realtà la percentuale di energia termica è approssimativamente del 25% mentre, nel caso fotovoltaico, è utilizzato solo lo 0,1% del potenziale disponibile derivante da installazioni di facciata o in copertura.

Tuttavia, per gli impianti integrati, e specialmente in interventi di retrofit, si devono considerare, come si accennava, tutti i vincoli imposti dalla morfologia dell'edificio relativamente a superfici disponibili, orientamento ed inclinazione. Tali parametri infatti, come noto, influenzano significativamente le prestazioni degli impianti stessi (vedi tabella 11).

Angolo	0°	30°	60°	90°
Orientamento				
Est	93%	90%	78%	< 60%
Sud-Est	93%	96%	88%	66%
Sud	93%	100%	91%	68%
Sud-Ovest	93%	96%	88%	66%
Ovest	93%	90%	78%	< 60%

Tab. 11: Guadagno energetico al variare di orientam. ed inclinaz. (100% = 1055 kWh/mq*anno).

L'integrazione dei sistemi fotovoltaici non prescinde naturalmente anche da considerazioni economiche relativamente non solo alla produttività energetica (e ai maggiori incentivi di cui tali impianti godono rispetto a quelli non integrati, cfr. D.M. 19 febbraio 2007) ma ai benefici ottenibili anche dal punto di vista edilizio, spesso in grado di compensare il maggior investimento per l'installazione, come mostrato nella tabella 12 (fonte: European Commission, DG XVII, THERMIE in N.Aste, "Il fotovoltaico in architettura", Esselibri, 2002).

Tipo di applicazione	Costo dell'installazione (€/m ²)	Risparmio sugli elementi convenzionali sostituiti (€/m ²)	Costo finale (€/m ²)
Indipendente	840-1095	0	840-1095
Sovrapposta	860-1115	0	860-1115
Integrazione complementare	930-1180	75-110	820-1105
Integrazione totale	1055-1265	225-300	755-1040
Tegole fotovoltaiche	930-1265	75-100	830-1190
Elementi frangisole	885-1180	60-90	795-1120

Tab. 12: Valutazioni economiche di massima per applicazioni fotovoltaiche.

Nel caso in esame, per l'integrazione dei moduli fotovoltaici, si sfrutterà la copertura inclinata dell'edificio F, costituita da un sistema ventilato la cui stratigrafia è stata mostrata nel precedente capitolo. L'idea di fissare i pannelli tramite una struttura di ancoraggio tradizionale in profilati metallici direttamente sul rivestimento più esterno della copertura, in questo caso in paglia, oltre che generare problematiche connesse allo smaltimento del calore accumulato sulla superficie posteriore del modulo (con peggioramento del rendimento e rischio di incendio), garantirebbe solo una parziale integrazione dell'impianto. Per una integrazione totale invece, si deve prevedere la sostituzione del rivestimento in paglia (ripristinando uno spessore di isolante tale da raggiungere il valore di trasmittanza prefissato senza sfruttare l'isolamento termico aggiuntivo dello strato in paglia) con i moduli stessi. Occorre dunque progettare un sistema di posizionamento e fissaggio dei pannelli ai listelli di ventilazione, curando in particolare la continuità fra i moduli e con il resto della copertura, in modo da assicurare la tenuta all'acqua ed evitare infiltrazioni all'interno del tetto (fig. 41).

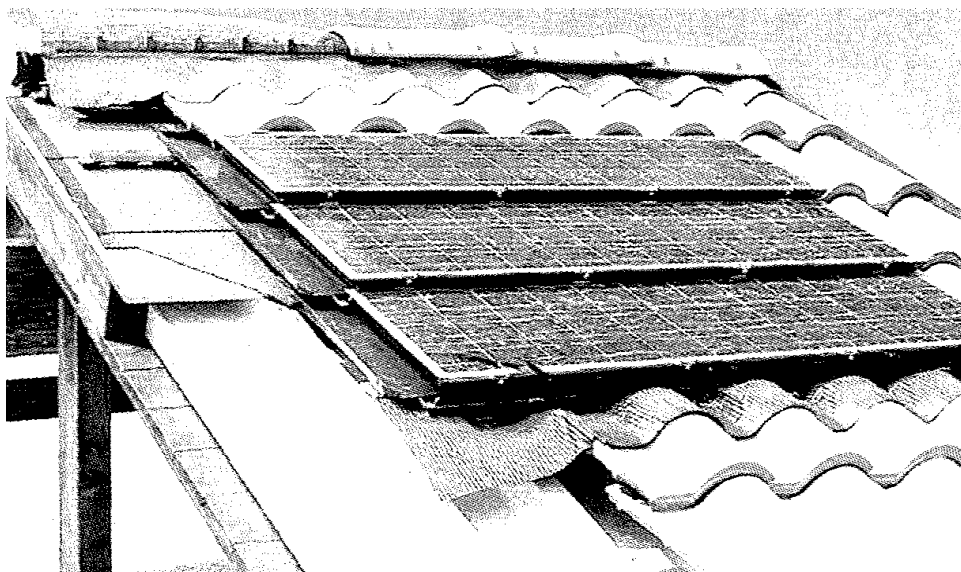


Fig. 41: Moduli FV totalmente integrati in sostituzione del rivestimento di copertura.

4.3.2.4 Il dimensionamento.

La progettazione dell'impianto fotovoltaico, che dovrà soddisfare una considerevole percentuale del fabbisogno annuo di energia elettrica dell'intero complesso denominato Masseria Sant'Agapito (cfr. par. 4.2.3.), è partita, data la scelta di realizzare un impianto totalmente integrato, da un vincolo ben preciso, legato alla necessità di individuare una superficie ottimale che ospitasse i moduli FV. Naturalmente la scelta di una copertura è ovvia, ed in particolare della falda con esposizione a sud-ovest appartenente al tetto inclinato dell'edificio F. Infatti, oltre che ad essere la superficie inclinata più ampia disponibile e con il miglior orientamento, il fatto che ancora non sia stata realizzata ha aperto la prospettiva di una progettazione completamente integrata, concependo già in fase progettuale la copertura predisposta idoneamente all'installazione della struttura di ancoraggio dei moduli.

La decisione di collocare unicamente in tale sito il generatore ha tuttavia imposto un limite allo sviluppo della potenza dello stesso, dovendo adattarne il layout all'area utile della falda. Si vuole precisare, come si evidenzia del resto in altri paragrafi, che si tratta di una precisa scelta progettuale confinare i moduli fotovoltaici rinunciando ad installare una potenza in grado di coprire l'intero

consumo della masseria. D'altra parte un potenziamento del generatore potrebbe essere integrato senza problemi sulla copertura del locale ristoro, o sulle pensiline del parcheggio.

Adottando dunque come parametro di riferimento la superficie di captazione, definito il layout bilanciando la disposizione dei pannelli nelle stringhe, si è eseguito il dimensionamento dell'impianto e dei suoi componenti (compreso quadri, inverter, linee, dispositivi e protezioni) avvalendosi dell'ausilio del software KacoCalc pro 2.8, fornito dalla ditta rivenditrice dell'inverter, e della lunga esperienza progettuale dell'ing. Gianni Pitta della Pitta energia S.p.a.

I valori calcolati dal software, previa verifica manuale condotta secondo le prescrizioni e le modalità contenute nella normativa di riferimento (cfr. par. 4.3.2.10), sono riportati nella relazione tecnica d'impianto, di cui al paragrafo successivo.

In Allegato 4.5 inoltre viene inserito il report del dimensionamento. Per le specifiche relative ai componenti si rimanda ancora agli allegati:

- 4.6 - Scheda tecnica dei moduli FV Bosch Solar;
- 4.7 - Garanzia, certificati e manuale di installazione dei moduli Bosch;
- 4.8 - Scheda tecnica e certificati dell'inverter Kaco (sintesi);
- 4.9 - Manuale di istruzioni per l'uso dell'inverter Kaco.

4.3.2.5 Relazione tecnica.

La relazione tecnica per il progetto preliminare dell'impianto FV in oggetto è in Allegato 4.10.

4.3.2.6 Tavole di progetto e disegni tecnici.

Le tavole di progetto, eseguite con AutoCAD Map 3D 2012 della Autodesk Inc., sono disponibili in formato .dwg o .pdf nell'Allegato 4.12.

4.3.2.7 Documentazione ed autorizzazioni.

Nelle “Regole applicative per il riconoscimento delle tariffe incentivanti previste dal D.M. 05/05/2011 (IV Conto Energia)” pubblicate dal GSE a giugno 2012 si elenca la documentazione necessaria da allegare alla richiesta di incentivazione. Per richiedere l'incentivo il Soggetto Responsabile dell'impianto deve caricare sul sistema informatico del GSE i seguenti documenti:

1. domanda di concessione della tariffa incentivante, stampata dal sistema informatico, completa di data e firma del Soggetto Responsabile;
2. scheda tecnica finale d'impianto stampata dal sistema informatico, completa di data, firma e timbro del professionista o tecnico iscritto all'albo professionale;
3. dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà stampata dal sistema informatico, sottoscritta dal Soggetto Responsabile e corredata da copia fotostatica, non autenticata, di un documento di identità del sottoscrittore in corso di validità;
4. dichiarazione di essere proprietario dell'immobile destinato alla installazione dell'impianto, ovvero autorizzazione alla installazione dell'impianto sottoscritta dal/i proprietario/i dell'immobile;
5. elaborati grafici di dettaglio in merito alle modalità di posizionamento dei moduli sugli edifici o alle modalità d'installazione per le applicazioni innovative finalizzate all'integrazione architettonica;
6. qualora ne ricorrano le condizioni, eventuale dichiarazione di esenzione dall'obbligo della presentazione della documentazione antimafia, resa ai sensi del D.P.R. n. 445/2000;
7. elenco dei moduli fotovoltaici e dei convertitori (inverter) CC/CA, con relativi numeri di serie;
8. 5 diverse fotografie volte a fornire, attraverso diverse inquadrature, una visione completa dell'impianto, dei suoi particolari e del quadro di insieme in cui si inserisce;
9. schema elettrico unifilare dell'impianto con indicazioni di:

- numero delle stringhe e numero dei moduli per stringa;
- eventuali dispositivi di protezione lato corrente continua esterni all'inverter;
- numero di inverter e modalità di collegamento delle uscite degli inverter;
- eventuali dispositivi di protezione lato corrente alternata esterni all'inverter;
- contatori dell'energia prodotta e/o prelevata/immessa dalla rete elettrica di distribuzione;
- punto di collegamento alla rete indicando in dettaglio gli organi di manovra e protezione presenti nonché gli eventuali punti di derivazione dei carichi; presenza di gruppi elettrogeni, gruppi di continuità (UPS), sistemi di accumulo e di eventuali altre fonti di generazione.

10. copia della comunicazione con la quale il Gestore della Rete ha notificato al Soggetto Responsabile il codice POD;

11. copia dei verbali di attivazione dei contatori di misura dell'energia prodotta e di connessione alla rete elettrica;

12. esclusivamente per impianti di potenza superiore a 6 kW: relazione generale, che descriva i criteri progettuali e le caratteristiche dell'impianto; almeno un disegno planimetrico atto ad identificare con chiarezza la disposizione dell'impianto, dei principali tracciati elettrici e delle principali apparecchiature. Tale relazione insieme al disegno planimetrico costituisce unitamente a quanto richiesto al punto 9, il progetto definitivo;

13. copia del pertinente titolo autorizzativo, vale a dire di uno dei seguenti titoli:

- autorizzazione unica di cui all'articolo 12 del Decreto legislativo n. 387 del 2003;
- denuncia di inizio attività conforme all'articolo 23, comma 5, del Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 ove applicabile, ovvero dichiarazione di procedura abilitativa

semplificata conforme all'articolo 6, comma 7, del Decreto legislativo n. 28 del 2011, entrambi recanti data antecedente di almeno 30 giorni rispetto a quella di invio;

- copia della comunicazione relativa alle attività in edilizia libera, di cui ai paragrafi 11 e 12 delle linee guida adottate ai sensi dell'articolo 12, comma 10, del Decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387;
- copia del provvedimento autorizzativo rilasciato ai sensi del secondo periodo del comma 7 dell'articolo 5 del Decreto interministeriale 19 febbraio 2007, come vigente fino alla data di entrata in vigore del Decreto interministeriale 6 agosto 2010;
- copia della Comunicazione di inizio attività – CIA o della Segnalazione certificata di inizio attività – SCIA di cui all'articolo 49 della legge 30 luglio 2010, n.122;

14. dichiarazione del Comune competente (o dell'Unione di Comuni ove il relativo Statuto lo consenta), attestante che la denuncia di inizio attività o la dichiarazione di procedura abilitativa semplificata, costituisce titolo idoneo alla realizzazione dell'impianto, ovvero attestante che la relativa procedura è conclusa positivamente . Tale dichiarazione deve essere presentata necessariamente al GSE dal Soggetto Responsabile, in conformità a quanto previsto dall'All. 3-A del Decreto e non può considerarsi alternativa ai titoli abilitativi di cui il Comune attesta la idoneità per la realizzazione dell'impianto;

15. certificato di destinazione d'uso del terreno o certificato di destinazione urbanistica (CDU) con indicazione delle particelle catastali interessate, qualora i moduli dell'impianto siano collocati a terra;

16. nel caso di impianti con moduli collocati a terra in aree agricole dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà resa ai sensi del DPR 445/00 circa il possesso di un idoneo titolo che comprovi la proprietà, la locazione (con diritto di costruire l'impianto), l'usufrutto, il diritto di superficie o di un contratto di servitù stipulato per atto pubblico, con

contenuto negativo e obbligo, a carico del proprietario del terreno, di non costruire, o permettere a terzi di costruire, impianti fotovoltaici a terra in tale area per l'intera durata dell'incentivazione;

17. nel caso di applicazione del comma 5 dell'articolo 10 del Decreto legislativo n. 28 del 2011, la classificazione di terreno abbandonato da almeno cinque anni deve essere dimostrata mediante esibizione della notifica ai proprietari effettuata dalla Regione ai sensi dell'articolo 4 della legge 4 agosto 1978, n.440;

18. ulteriore documentazione, specificata al paragrafo 4.6, attestante il rispetto delle disposizioni riportate ai commi 5 e 6 dell'articolo 11 del Decreto. Si rappresenta inoltre che per gli impianti di potenza superiore a 20 kW operanti in scambio sul posto o cessione parziale, soggetti all'articolo 53 del Decreto legislativo 504/95 (Testo Unico delle Accise – T.U.A.), il Soggetto Responsabile deve trasmettere al GSE la Licenza di officina elettrica, contestualmente al primo invio della “Dichiarazione annuale di consumo”.

Per gli impianti di potenza superiore a 20 kW operanti in cessione totale, soggetti all'articolo 53-bis del medesimo Decreto legislativo, il Soggetto Responsabile deve trasmettere al GSE, contestualmente al primo invio della “Dichiarazione annuale di consumo”, copia della comunicazione con la quale l'Agenzia delle Dogane ha comunicato il codice ditta. Il Soggetto Responsabile si impegna a custodire e rendere disponibile, in caso di richiesta del GSE, il rapporto di verifica prestazionale dell'impianto fotovoltaico in accordo a quanto precisato nell'Allegato 1 al Decreto.

Inoltre per domande relative a edifici di nuova costruzione (completati dopo il 13/05/2011):

- domanda di ammissione al premio per impianti fotovoltaici abbinati ad un uso efficiente dell'energia, stampata dal sistema informatico del GSE e comprensiva di data e firma del Soggetto Responsabile, completa della dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà del Soggetto Responsabile

dell'impianto fotovoltaico ai sensi del DPR 445/2000, nella quale si dichiara che, in merito all'edificio oggetto della richiesta premio, completato successivamente all'entrata in vigore del DM 05/05/2011, non è stata presentata istanza di accesso ad altre forme di incentivazione. La dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà deve essere accompagnata da fotocopia di un documento di identità del sottoscrittore in corso di validità;

- attestato di certificazione energetica secondo la normativa vigente in materia, firmato da un tecnico in possesso dei requisiti di legge;
- relazione tecnica (stampata dal software utilizzato);
- evidenza documentale che la data di completamento dell'edificio è successiva all'entrata in vigore del DM 05/05/2011;
- pianta e sezioni quotate di ciascun piano dell'edificio/unità immobiliare oggetto della richiesta premio, con indicazione dell'orientamento e della posizione del generatore di calore e dei terminali di emissione del calore;
- stratigrafia delle strutture opache (copertura, pareti, basamento), calcolo delle relative trasmittanze e schede tecniche dei materiali isolanti impiegati;
- scheda tecnica dei serramenti installati;
- descrizione dell'eventuale sistema schermante installato specificando caratteristiche tipologiche, dimensioni e orientamento;
- scheda tecnica del generatore di calore per la climatizzazione invernale riportante il rendimento a pieno carico e a carico parziale.

Tutta la modulistica è scaricabile al sito internet <http://www.applicazioni.gse.it>

Si ricorda infine che i produttori che intendano aderire al regime di scambio sul posto devono presentare apposita istanza al GSE. La Legge n. 99/2010: *“Conversione in legge del d.l. 67/2010 recante disposizioni urgenti per la salvaguardia della stabilità finanziaria dell'area euro. Ordine di esecuzione dell'accordo Intercreditor Agreement”*, pubblicata sulla G.U. della Repubblica

italiana n.150 del 30/06/2010, ha modificato il comma 2 della legge 387/2003 che vietava la vendita di energia per gli impianti in regime di SSP (scambio sul posto), e quindi ha determinato di fatto la possibilità di liquidazione dell'eventuale credito risultante dal conteggio SSP, mediante richiesta da farsi annualmente, nel mese di marzo dell'anno successivo, al GSE. In particolare, l'Utente dello scambio che intenda aderire al regime dovrà accedere al sito internet del GSE (www.gse.it), area Scambio sul posto, e seguire la procedura guidata di registrazione che prevede l'invio di informazioni tecniche, commerciali e amministrative, necessarie ai fini dell'istanza e della successiva convenzione.

4.3.2.8 Analisi di producibilità e simulazione della produzione annua.

Una stima precisa della produzione effettiva di energia elettrica del generatore fotovoltaico risulta molto complessa, a causa del carattere fortemente aleatorio del parametro fondamentale, l'irraggiamento solare, e dell'incertezza nel definire correttamente tutte le variabili connesse al sito d'installazione (condizioni microclimatiche, assenza di ombreggiamenti clinometrici o locali).

L'energia generata infatti dipende: dal sito di installazione (latitudine, radiazione solare disponibile, temperatura, riflettanza della superficie antistante i moduli); dall'esposizione dei moduli (angolo di inclinazione o Tilt e angolo di orientazione o Azimut); da eventuali ombreggiamenti o insudiciamenti del generatore fotovoltaico; dalle caratteristiche dei moduli (potenza nominale, coefficiente di temperatura, perdite per disaccoppiamento o mismatch); dalle caratteristiche del BOS (Balance Of System). Tuttavia si può condurre un'analisi di producibilità i cui risultati danno, con approssimazione accettabile, su base annua, un'immagine concreta del reale comportamento dell'impianto e della sua capacità produttiva riferita al contesto di inserimento.

I dati relativi all'irraggiamento sul piano orizzontale in una data località possono essere reperiti dalle tabelle UNI (vedi UNI 10349) o ENEA (94-99), ed adattati a piani diversamente inclinati ed orientati con la metodologia di calcolo contenuta nella norma UNI 8477. Una valida alternativa è costituita dall'applicativo web dell'Unione europea PVGIS (<http://re.jrc.cec.eu.int/pvgis/>) che consente di definire l'energia irraggiata direttamente su un piano qualsivoglia inclinato.

Nota l'energia irraggiata annualmente sul piano dei moduli, moltiplicata per la superficie di captazione (in mq), per il rendimento dei moduli e per il rendimento globale dell'impianto, fornisce il valore (in kWh/anno) della producibilità dell'impianto FV. Riferendosi ad una superficie unitaria, assumendo valori medi e ammettendo l'assenza di ombreggiamenti e un orientamento ottimale (azimut 0°; tilt 30°) si ha:

(producibilità spec)= 1750 [kWh/mq·anno]·0,14·0,78 = 191 [kWh/mq·anno] con variazioni del 15% in funzione della località.

Introducendo il concetto di ore equivalenti (cfr. par. 4.3.2.2) si può esprimere la producibilità in termini di potenza, che vale:

(p.s.)=(1750 [kWh/mq·anno] /1 [kW/mq])·0,78 = 1365 [kWh/kWp·anno] ± 15%

Per un calcolo più dettagliato occorre prima di tutto definire con esattezza il rendimento globale, correlandolo alle perdite per variazione di temperatura (6-7%), per riflessione (fino al 3%), per livello di irraggiamento (2%), per sporcamento (fino al 6-7%), per mismatching (2%), ohmiche (3%), nell'inverter e nel trasformatore (solitamente intorno al 5%). Il valore del BOS può essere stimato direttamente oppure come complemento all'unità del totale delle perdite, calcolate mediante la seguente formula:

$$\text{Totale perdite [\%]} = [1 - (1 - a - b) \cdot (1 - c - d) \cdot (1 - e) \cdot (1 - f)] + g$$

per i seguenti valori:

- a Perdite per riflessione.
- b Perdite per ombreggiamento.
- c Perdite per mismatching.
- d Perdite per effetto della temperatura.
- e Perdite nei circuiti in continua.
- f Perdite negli inverter.
- g Perdite nei circuiti in alternata.

Una stima dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico in oggetto è fornita dalla simulazione dinamica del software KacoCalc Pro 2.8, i cui risultati, contenuti nel report in Allegato 4.5 e riferiti ad una stringa di 21 moduli in condizioni reali di installazione (tilt = 20°, azimuth = +40°), vengono qui riportati per semplicità:

- potenza alimentata 6047,48 kWh
- rimborso energia prodotta 0,420 €
- rimborso annuale 2539,94 € (rendiconto mensile inall.)
- rendimento specifico 1476,80 kWh/kWp.

Tali dati, riportati al totale delle stringhe che costituiscono il generatore FV, forniscono una producibilità lorda annua dell'impianto pari a 36285 kWh (al netto delle perdite 32715 kWh/anno), con un rimborso totale di circa 15240 €/anno, calcolato in base alla tariffa incentivante stabilita dal vecchio conto energia. L'aggiornamento di tale dato verrà effettuato nel piano economico dettagliato, al paragrafo successivo.

Dal valore di energia totale ottenuta dall'impianto fotovoltaico in oggetto, e adottando il coefficiente di conversione di 0,000187 TEP/kWh fissato dall'art. 2 della delibera EEN 03/08, si può ricavare che:

- il risparmio di tonnellate equivalenti di petrolio ogni anno sarà pari a 6,78 TEP;

- il risparmio di TEP per la durata del contratto (20 anni) sarà pari a 135,7 TEP;

Inoltre, l'impianto fotovoltaico consente la riduzione di emissioni in atmosfera delle sostanze che hanno effetto inquinante e di quelle che contribuiscono all'effetto serra, come mostra la tabella 13.

Emissioni evitate in atmosfera di	CO2	SO2	NOX	Polveri
Emissioni specifiche in atmosfera [g/kWh]	531.0	1.4	1.9	0.029
Emissioni evitate in un anno [kg]	19267	50.79	68.95	1.05
Emissioni evitate in 20 anni [kg]	385347	1016	1378.8	21

Tab. 13. (Fonte dei dati: Rapporto ENEA)

Vale la pena infine sottolineare che l'impianto fotovoltaico è dedicato all'autoproduzione di energia elettrica. Infatti, come recita l'articolo 2, comma 2, del D. Lgs. N.79 del 16/03/99:

“Autoproduttore è la persona fisica o giuridica che produce energia elettrica e la utilizza in misura non inferiore al 70% annuo per uso proprio ovvero per uso delle società controllate, della società controllante e delle società controllate dalla medesima controllante, nonché per uso dei soci delle società cooperative di produzione e distribuzione dell'energia elettrica di cui all'articolo 4, numero 8, della legge 6 dicembre 1962, n.° 1643, degli appartenenti ai consorzi o società consortili costituiti per la produzione di energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili e per gli usi di fornitura autorizzati nei siti industriali anteriormente alla data di entrata in vigore del presente decreto.”

In virtù di ciò occorre considerare nel calcolo del rimborso monetario in conto energia, i consumi della masseria.

4.3.2.9 Piano di ammortamento dell'investimento e finanziamenti.

Generalmente i costi per l'installazione di un impianto fotovoltaico sono suddivisi come mostra la tabella 14.

	3 kWp	20 kWp	100 kWp	1000 kWp
Moduli	54%	58%	60%	65%
Inverter	8%	9%	10%	7%
Strutture di supporto	8%	9%	8%	9%
Cavi e quadri	10%	8%	7%	7%
Installazione	20%	16%	15%	12%
Progettazione				

Tabella 14.

Nel caso specifico le voci di costo calcolate sono:

- 126 moduli Bosch Solar M 195: 32432 € (231,66 € + IVA per singolo modulo)
- 6 inverter Kaco Powador 4000xi: 7862 € (1310 € a inverter)
- Strutture di supporto: 3685 €
- Cavidotti: 1965 €
- Quadri elettrici: 2948 €
- Installazione e progettazione: 13513 €

L'investimento totale ammonta dunque a circa 62408 €, con un indice specifico di poco superiore a 2,54 €/Wp. Tutti i valori non stabiliti univocamente sono calcolati per eccesso. In aggiunta si devono calcolare spese generali e utile d'impresa per un totale di 78700 €.

Un piano di ammortamento per tale cifra, nell'ipotesi di finanziamento dell'intera somma tramite mutuo bancario, è riportato nel foglio di calcolo Excel (Allegato 4.11). Il tasso d'interesse considerato è indicativo e non tiene conto del regime di agevolazione fiscale di cui l'impianto gode, come previsto in attuazione dell'art. 1, comma 1111, della legge 27 dicembre 2006, n. 296. I valori Euribor e Spread non sono aggiornati.

Resta infine la notevole incertezza sulla quantificazione della tariffa incentivante, qui stabilita in accordo con il IV Conto Energia in 0,299 €/kWh. Si ricorda che l'impianto corrisponde alla tipologia specifica 1 indicata in allegato 3 del D.M. 20/02/2007 ai fini del riconoscimento dell'integrazione architettonica (art.2, comma 1, lettera B3), senza tuttavia soddisfare alle specifiche del titolo III del D.M. 05/0572011 (IV Conto Energia) e della bozza del V Conto Energia come "impianto fotovoltaico integrato con caratteristiche innovative".

Sempre nel D.M. 20/02/2007 la tariffa incentivante stabilita per tale tipologia impiantistica è di 0,460 €/kWh (0,420 €/kWh se parzialmente integrato). Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori modificati dal IV Conto Energia per i titoli II e III.

	Impianti sugli edifici		Altri impianti fotovoltaici	
	Tariffa onnicomprensiva	Tariffa autoconsumo	Tariffa onnicomprensiva	Tariffa autoconsumo
$1 \leq P \leq 3$	0,375	0,230	0,346	0,201
$3 < P \leq 20$	0,352	0,207	0,329	0,184
$20 < P \leq 200$	0,299	0,195	0,276	0,172
$200 < P \leq 1000$	0,281	0,183	0,239	0,141
$1000 < P \leq 5000$	0,227	0,149	0,205	0,127
$P > 5000$	0,218	0,140	0,199	0,121

con riduzioni progressive del 13% (2014), 15% (2015) e 30% (2016).

Intervallo di potenza [kW]	Tariffa onnicomprensiva [kW]	Tariffa autoconsumo [€/kWh]
$1 \leq P \leq 20$	0,543	0,398
$20 < P \leq 200$	0,464	0,361
$P > 200$	0,432	0,334

Nella bozza del V Conto Energia infine si indicano le tariffe seguenti

Intervallo di potenza	Impianti sugli edifici		Altri impianti fotovoltaici	
	Tariffa onnicomprensiva	tariffa premio sull'autoconsumo	Tariffa onnicomprensiva	tariffa premio sull'autoconsumo
[kW]	[€/MWh]	[€/MWh]	[€/MWh]	[€/MWh]
$1 \leq P \leq 3$	237	155	229	147
$3 < P \leq 20$	222	140	214	132
$20 < P \leq 200$	199	117	191	109
$200 < P < 1000$	161	79	153	71
$1000 < P \leq 5000$	144	62	137	55
$P > 5000$	135	53	128	46

Titolo III

Intervallo di potenza	tariffa onnicomprensiva	tariffa autoconsumo
[kW]	[€/MWh]	[€/MWh]
$1 \leq P \leq 20$	255	173
$20 < P \leq 200$	232	150
$P > 200$	216	134

Nel progetto definitivo la tariffa incentivante, legata come visto al periodo di realizzazione dell'impianto, sarà determinata senza incertezze.

Per ulteriori approfondimenti si consiglia di consultare i testi dei decreti 20/02/2007, 18/12/2008, 05/05/2011 (IV Conto Energia) e la bozza del V Conto Energia, nonché le “Regole applicative al DM 05/05/2011”, la “Guida pratica per il riconoscimento dell'integrazione architettonica del fotovoltaico” del GSE e la “Guida all'utilizzo dell'applicazione web” per la richiesta degli incentivi con il IV Conto Energia. Tali documenti sono inseriti nell'Allegato 4.13.

Si osserva che nel Report KacoCalc.Pro il valore stabilito per il rimborso è pari a 0,420 €/kWh, volutamente non corretto per evidenziare, rispetto all'Allegato 4.11, l'effetto dei progressivi tagli agli incentivi sulla remunerazione degli impianti FV.

Si esclude la possibilità di ricorrere ad un finanziamento tramite terzi (FTT) mediante il coinvolgimento di una E.S.C.O.

4.3.2.10 Bibliografia e norme di riferimento per la progettazione.

Si elencano di seguito le più importanti norme CEI sui sistemi FV, catalogate nel CT 82:

- “Dispositivi fotovoltaici. Parte 1: misura delle caratteristiche corrente-tensione.” (CEI 82-1). Il metodo di misura consigliato è quello che prevede un carico elettronico variabile e per la misura dell'irradianza si richiede un dispositivo di riferimento (cella FV, campione al silicio cristallino).
- “Dispositivi fotovoltaici. Parte 3: principi di misura per sistemi solari fotovoltaici per uso terrestre e irraggiamento spettrale di riferimento.” (CEI 82-3). Tali principi servono a ridurre le discrepanze dovute alla variazione della distribuzione spettrale della radiazione incidente in base alla località, alle condizioni metereologiche, al momento della giornata (poiché le celle solari hanno un comportamento dipendente dalla lunghezza d'onda della luce incidente). A tale scopo si cita anche la norma internazionale ISO 9060 “Solar Energy – specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation”. Nella 82-3 vengono definite le condizioni di prova normalizzate (STC), la temperatura di cella di funzionamento nominale (NOCT) e i punti tipici della caratteristica I-V (circuito aperto, corto circuito e massima potenza).

- “Protezione contro le sovratensioni dei sistemi fotovoltaici per la produzione di energia. Guida.” (CEI 82-4). Si definiscono i tipi di protezione: messa a terra, schermatura, captazione di scariche atmosferiche e dispositivi di protezione come diodi, varistori, fusibili, trasformatori di isolamento.
- “Caratteristiche I-V di dispositivi fotovoltaici in silicio cristallino. Procedure di riporto dei valori misurati in funzione di temperatura ed irraggiamento.” (CEI 82-5).
- “Parametri caratteristici dei sistemi fotovoltaici autonomi.” (CEI 82-7). I parametri (elettrici, meccanici ed ambientali) sono presentati in un formato normalizzato, utilizzabile per l’analisi prestazionale e la redazione delle specifiche di fornitura.
- “Moduli fotovoltaici in silicio cristallino per applicazioni terrestri. Qualifica del progetto ed omologazione del tipo.” (CEI 82-8). L’obiettivo della sequenza di prove è dimostrare che il modulo è capace di sopportare esposizioni prolungate in diverse condizioni climatiche.
- “Sistemi fotovoltaici. Caratteristiche dell’interfaccia di raccordo alla rete.” (CEI 82-9). La norma stabilisce limiti sulla qualità della potenza immessa in rete e cioè: tensione in ampiezza e frequenza, distorsione armonica inferiore al 5%, fattore di potenza superiore a 0,9.
- “Espressione analitica dell’andamento giornaliero dell’irraggiamento solare.” (CEI 82-11). La procedura, utile per dimensionare e verificare i sistemi FV mediante simulazione, fornisce un’equazione che permette di ottenere la curva di irraggiamento in funzione del tempo per una giornata tipica.
- “Moduli fotovoltaici a film sottili per usi terrestri. Qualifica del progetto e approvazione di tipo.” (CEI 82-12). La sequenza di prove è analoga alla norma CEI 82-8, ma riadattata al silicio amorfo. Si è inoltre aggiunta una prova di corrente in ambiente umido perché i moduli a film sottile sono soggetti a corrosione.
- “Rilievo delle prestazioni dei sistemi fotovoltaici. Linee guida per la misura, lo scambio e l’analisi dei dati.” (CEI 82-15). La norma è particolarmente utile per confrontare impianti assai diversi per taglia, ambiente operativo, etc.

- “Schiere di moduli fotovoltaici in silicio cristallino. Misura sul campo delle caratteristiche I-V.” (CEI 82-16). La procedura comprende l’extrapolazione delle misure alle condizioni standard STC per evidenziare eventuali deterioramenti nelle prestazioni.
- “Sistemi fotovoltaici di uso terrestre per la generazione di energia elettrica. Generalità e guida.” (CEI 82-17). Si classificano gli impianti in base al tipo di applicazione e, per ogni applicazione, si definisce la componentistica.
- “Fogli informativi e dati di targa per moduli fotovoltaici.” (CEI 82-22). Si stabiliscono i parametri obbligatori da inserire nelle targhe.

Inoltre per la connessione alla rete sono importanti i seguenti documenti:

- norma CEI 11-20 edizione IV e variante. “Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria.”
- Specifica ENEL Distribuzione DK 5950 ed. 2002. “Criteri di allacciamento di tetti fotovoltaici alla rete BT di distribuzione.” in cui si stabiliscono, tra l’altro, i tempi di intervento dei relè.

Infine le già citate norme UNI 8477 parte 1: “Energia solare: valutazione dell’energia raggiante ricevuta.” ed il suo aggiornamento UNI 10349.

Tra i numerosi testi di letteratura dedicata si citano:

- [1] F.Califano, V.Sivestrini, G.Vitale, *La progettazione di sistemi fotovoltaici*, Liguori, Napoli 1988.
- [2] A.Abete, F.Spertino, *Generatori e impianti fotovoltaici*, Dip. Ingegneria Elettrica Politecnico di Torino, CELID, Torino 2001.
- [3] G.Scatizzi, F.Venturelli, F.Matera, *Progettazione di impianti solari fotovoltaici*, Ed. Maggioli, 2008.
- [4] V.Scimeca, *Impianti fotovoltaici: dal sopralluogo alla realizzazione* Grafill, 2011.

- [5] F.Groppi, C.Zuccaro, *Impianti solari fotovoltaici a norme CEI: guida per progettisti ed installatori*, Ed. Delfino, Segrate (MI) 2005.
- [6] F.Groppi, *Il fotovoltaico per tutti: manuale pratico per esperti e meno esperti*, Ed. Delfino, Segrate (MI) 2005.
- [7] N.Aste, *Il fotovoltaico in architettura: l'integrazione edilizia dei sistemi per la generazione di elettricità solare*, Gruppo editoriale Esselibri Simone, Napoli 2002.
- [8] A.Caffarelli, G.de Simone, *Principi di progettazione dei sistemi solari fotovoltaici*, Maggioli Editore, Sant'Arcangelo di Romagna 2010.
- [9] A.Caffarelli, G. De Simone, A. D'Amato, M.Stizza, *Sistemi solari fotovoltaici: progettazione e valutazione economica in Conto Energia*, Maggioli Editore, Sant'Arcangelo di Romagna 2009.
- [10] M.Pagliaro, G.Palmisano, R.Cirimna, *BIPV. Il fotovoltaico integrato nell'edilizia*, Dario Flaccovio Editore, 2009.
- [11] M.Pagliaro, G.Palmisano, R.Cirimna, *Il nuovo fotovoltaico*, Dario Flaccovio Editore, 2010.
- [12] AA.VV. *Tuttonorme. Le Guide Blu – 15 Fotovoltaico.*, Ed. TNE, 2008.
- [13] *Il V Conto Energia per il fotovoltaico*, Ed. DEI, 2012.
- [14] *Normativa sul fotovoltaico aggiornata al V Conto Energia*, Ed. DEI, 2012.
- [15] B.De Nisco, *Le scelte fotovoltaiche per l'edilizia abitativa alla luce del IV Conto Energia*, Ed. Maggioli, 2011.
- [16] G.Lorenzini, C.Biserni, G.Flacco, *Solar thermal and biomass energy*, Ed. WITpress, UK, 2010.
- [17] IEA, TASK 16, *Photovoltaics in buildings, a design handbook for architects and engineers*, James & James, London 1996

Tra i siti web:

<http://re.jrc.cec.eu.int/pvgis/>

<http://www.gse.it>

<http://www.aper.it>

<http://www.autorità.energia.it>

<http://www.enel.it>

<http://www.enelgreenpower.com>

<http://www.terna.it>

<http://www.svilppoeconomicogov.it>

<http://www.miniwatt.it>

<http://www.rinnovabili.it>

<http://www.aspoitalia.it>

<http://www.bosch-solareenergy.it>

<http://www.kaco-newenergy.de>

4.4 Energia eolica.

4.4.1 Cenni storici.

L'utilizzo dell'energia eolica nella sua forma attuale rappresenta il perfezionamento di una tecnologia di produzione energetica già impiegata dall'uomo nel corso di molti secoli. L'energia del vento infatti è stata sfruttata dall'uomo sin dall'antichità, per la propulsione a vela o per la produzione di energia meccanica attraverso i primi rudimentali mulini a vento, in grado di azionare macine e sistemi per il sollevamento dell'acqua. Ancora oggi esistono in molte regioni del mondo esempi funzionanti di queste grandi “macchine a vento”.

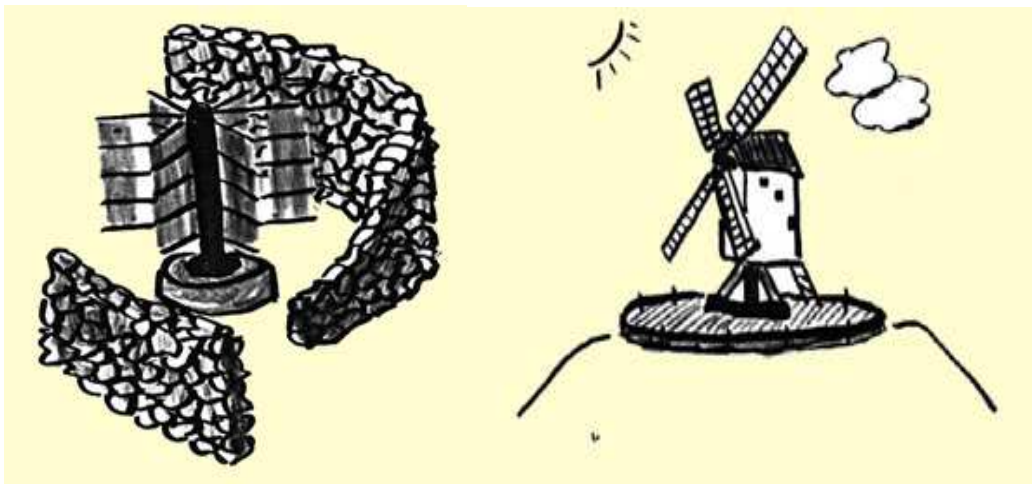


Fig. 42a: Mulino persiano (650 D.C.)

Fig. 42b: Post windmill (XIV sec.)



Fig.43: Mulino a vento (Danimarca).

I continui sviluppi tecnologici hanno reso disponibile la fonte eolica anche per altri impieghi, come la generazione di energia elettrica. Nel 2007 la potenza eolica installata a livello mondiale era pari a circa 94.000 MW e in crescita con tassi annui di circa 20.000 MW. Nell'ambito del panorama mondiale, l'Europa

riveste un ruolo di primissimo piano, con una potenza totale che nel 2011 è giunta a circa 93.957 MW. Il paese leader nel settore eolico, secondo il Rapporto annuale della World Wind Energy Association (Wwea), è la Cina con 44,7 GW, seguito da Usa (40,2 GW), Germania (27,2 GW) e Spagna (20,6 GW). Per quanto riguarda l'Italia, nel primo trimestre 2012, la potenza installata risulta pari a 7,25 GW. La Sicilia, con circa 1676 MW, è la regione con la maggiore potenza eolica installata, seguita a ruota dalla Puglia (1366 MW) e dalla Campania (1061 MW). La produzione di energia eolica nel nostro paese nel 2011 è stata di circa 10,14 TWh.

4.4.2 La tecnologia.

Dal punto di vista delle tipologie di impiego, le turbine eoliche possono essere raggruppate in due grandi categorie: le macchine per la produzione di energia elettrica direttamente collegate con la rete di distribuzione e le macchine per l'autoproduzione. Le turbine appartenenti alla prima categoria sono di solito anche quelle di maggiore potenza (da circa 600 kW fino a oltre 2-3 MW) ed il loro impiego prevalente è la realizzazione di impianti a terra o a mare (off-shore), costituiti da più generatori e collegati alla rete elettrica. Le macchine per l'autoproduzione sono mediamente più piccole (di solito fino a 100-200 kW) e possono essere utilizzate in integrazione con altre fonti primarie di energia (generatori diesel, sistemi fotovoltaici, etc.) o con una qualche forma di accumulo energetico (accumulatori elettrici o sistemi idraulici), oppure, grazie alla recente evoluzione normativa, possono operare con lo scambio sul posto dell'energia prodotta.

In relazione alla tipologia della macchina, le turbine eoliche possono essere classificate in funzione di diversi parametri, come la disposizione dell'asse (orizzontale o verticale), la taglia di potenza, il numero di pale, etc. In riferimento alla posizione dell'asse, la grande maggioranza delle moderne turbine eoliche è

costituita da macchine ad asse orizzontale, tuttavia esistono anche turbine, in genere di piccola taglia, ad asse verticale.

Le turbine ad asse verticale, ossia perpendicolare alla direzione del vento, utilizzano il flusso d'aria sfruttando la forza di resistenza o la forza di portanza. I principali vantaggi dell'asse verticale sono il costante funzionamento indipendentemente dalla direzione del vento e la migliore resistenza alle alte velocità dei venti e alla loro turbolenza. Tra le turbine a resistenza la capostipite è la turbina Savonius, una macchina molto semplice dal punto di vista costruttivo e di funzionamento, robusta e con una forte coppia di spunto, cosa che ne consente l'avviamento anche con venti debolissimi. Di contro ha applicazioni solo con potenze ridotte e con venti deboli, mentre il suo rendimento crolla con venti forti. Tra le turbine a portanza quella più antica è la turbina Darrieus.

Tutti gli aerogeneratori ad asse orizzontale, a prescindere dal modello specifico e dalle dimensioni della singola installazione, sono costituiti da tre diverse componenti strutturali: il rotore, la navicella (o gondola) e la torre. Dal punto di vista strutturale, il mozzo del rotore costituisce la parte terminale di un albero di trasmissione che è alloggiato all'interno della navicella. Il complesso rotore-navicella, chiamato anche turbina eolica, è sostenuto dalla torre, fondata a terra, che ha funzioni di supporto. Nelle turbine ad asse orizzontale, raggiunta una certa velocità, detta velocità di attacco o di cut-in, che dipende dalla tipologia del generatore elettrico (in genere è 2÷4 m/s), il vento mette in rotazione il rotore, composto da un certo numero di pale collegate al mozzo. Le macchine ad asse orizzontale sfruttano la portanza mediante l'adozione di pale con opportuni profili alari. Nei microaerogeneratori di nuova costruzione viene generalmente impiegato il rotore tripala, poiché se da un lato risulta più costoso rispetto al rotore bipala per motivi costruttivi e di trasporto, dall'altro compensa questo svantaggio con un moto rotatorio più uniforme, che si traduce in minori vibrazioni per l'intera struttura e quindi di conseguenza si riduce la frequenza degli interventi di manutenzione e contemporaneamente si aumenta la durata della vita utile dell'apparecchiatura. Il rotore tripala ha una buona coppia specifica perché sfrutta al meglio il flusso d'aria. Il rotore bipala invece ha una

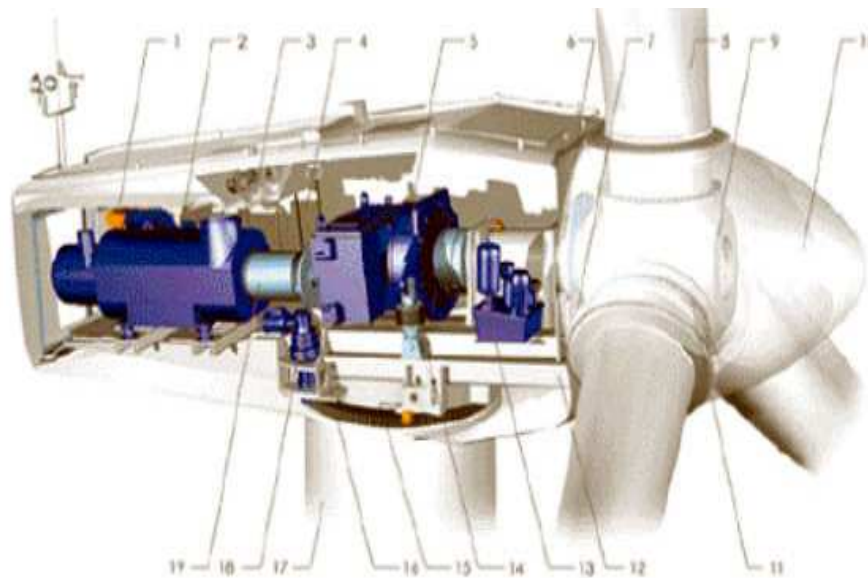
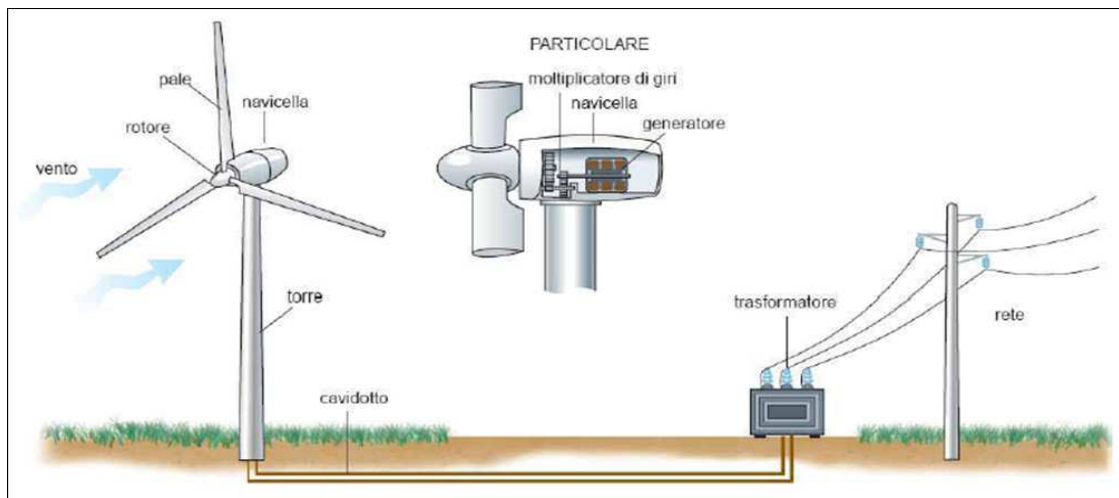
velocità di rotazione più elevata, però risulta essere più sensibile al disturbo causato dalla torre e dalla variazione di velocità dovuta alla rugosità del suolo. Per particolari destinazioni d'uso vengono costruiti ancora adesso alcuni apparecchi con rotore a più di tre pale (rotori multipala), il quale è caratterizzato da una buona coppia a basso numero di giri ed è utilizzato pertanto soprattutto in luoghi a bassa ventosità, normalmente in coppia con una pompa per il pompaggio dell'acqua (aeropompa multipala).



Fig. 44. Da sinistra in alto: turbine ad asse verticale H-Darrieus, Savonius, ad elica; in basso: ad asse orizzontale bipala, tripala, multipala.

In relazione alla taglia delle macchine, si può distinguere fra macchine di piccolissima taglia (microeolico), costituite da turbine fino a 3-5 kW, piccola taglia (minieolico), costituite da turbine con potenza fino a 100-200 kW o diametro del rotore fino a circa 20 metri, macchine di media taglia, costituite da

turbine con potenza fino a 800 kW e diametro rotorico fino a circa 50 metri ed infine macchine di grande taglia, con potenza superiore a 800 kW e diametro rotorico superiore a 50 metri. La figura 45 illustra (a destra) lo schema di una moderna turbina eolica, la Vestas V52 (850 kW, diametro del rotore di 52 metri, velocità di rotazione nominale di 26 giri/min, ma variabile fra 14 e 31 giri/min) una fra le macchine più utilizzate nei siti italiani, mentre a sinistra è rappresentato il collegamento della turbina alla rete elettrica.



- | | | |
|----------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1 - Organo di servizio | 7 - Bloccaggio rotore | 13 - Centratina idraulica |
| 2 - Generatore | 8 - Pala | 14 - Braccio di reazione |
| 3 - Raffreddamento | 9 - Mozzo | 15 - Anello di imbardata |
| 4 - Quadro di controllo | 10 - Ogiva | 16 - Freno |
| 5 - Moltiplicatore di giri | 11 - Cuscinetto pala | 17 - Torre |
| 6 - Albero lento | 12 - Telaio navicella | 18 - Motore imbardata |

Figura 45.

Con la turbina, il componente più importante del sistema eolico è il generatore elettrico, il quale, come noto, ha la funzione di trasformare la potenza meccanica fornita dalla turbina in potenza elettrica. La corrente prodotta può essere continua o alternata.

Una corrente continua può essere prodotta direttamente da una dinamo oppure raddrizzando, mediante diodi, una corrente alternata. La dinamo risulterebbe conveniente soprattutto nel caso di accoppiamento con sistemi di accumulo dell'energia, tuttavia i suoi numerosi svantaggi (elevato peso e costo, basso rendimento) ne sconsigliano l'impiego, preferendo ricorrere a generatori in corrente alternata, quali generatori sincroni o asincroni.

Solitamente i produttori di miniaerogeneratori impiegano un generatore sincrono (alternatore) a magneti permanenti, cioè il campo magnetico rotante non è prodotto da una corrente di eccitazione continua (che può essere prodotta da una dinamo montata sullo stesso asse del rotore, o da un piccolo alternatore a campi invertiti la cui corrente viene raddrizzata mediante diodi), ma da un magnete permanente. Questa è la soluzione più semplice, oltre che la più robusta e affidabile, e si combina con il recente miglioramento delle prestazioni e la riduzione dei costi dei magneti. Il generatore sincrono a magneti permanenti si va recentemente affermando anche perché non necessita di un moltiplicatore di giri, diminuendo così sia il peso che il costo della macchina. L'accoppiamento diretto comporta la necessità che il generatore funzioni ad un numero di giri molto basso e quindi disponga di un elevato numero di poli (anche più di cento coppie polari). Questo non si può realizzare nei generatori ad avvolgimento (sia sincroni che asincroni) perché si avrebbero dei volumi enormi.

Poiché la frequenza della corrente alternata prodotta dipende dal numero di poli e dal numero di giri, se si vuole che la corrente alternata abbia una frequenza costante è necessario che il numero di giri sia costante, indipendentemente dalla velocità del vento. Esiste anche la possibilità di lasciare che la macchina produca una corrente a frequenza diversa da quella di rete, trasformando poi la frequenza variabile prodotta dall'alternatore nella frequenza di rete mediante un inverter

AC/DC/AC. Questo costituisce un costo aggiuntivo, ma consente un funzionamento della macchina con rendimenti più alti.

Il generatore asincrono, a differenza del generatore sincrono, non produce potenza reattiva, anzi ne assorbe, per cui questo tipo di macchina non è adoperabile per alimentare una rete locale a generatore singolo. In compenso il generatore asincrono ha un rendimento superiore a quello del generatore sincrono, ed è molto impiegato nelle macchine eoliche collegate alla rete elettrica. Come avviene per il generatore sincrono, l'asincrono può funzionare solo ad un numero di giri vicino a quello di sincronismo. Anche in questo caso perciò ne risulta o una scarsa efficienza nel caso di pale fisse o l'impiego della regolazione del passo per adattare la turbina al vento, oppure ancora l'impiego di un inverter AC/DC/AC.

Un altro componente di sistema è rappresentato dalla struttura di sostegno (torre), la cui altezza da terra varia a seconda della potenza impegnata, del diametro e delle caratteristiche delle località di installazione. Ovviamente l'altezza della struttura di sostegno è superiore al diametro della turbina, ma il rapporto torre/diametro decresce fortemente al crescere del diametro; infatti nelle grandi macchine (diametro superiore a 20m) l'altezza della torre è di poco superiore o uguale al diametro, mentre nelle piccole macchine (diametri fino a 10m) è molto maggiore, con rapporti che vanno da 2 a 12. Va osservato tuttavia che la scelta dell'altezza della torre è molto varia nel campo delle macchine di piccola potenza perché è spesso il risultato di un compromesso fra la necessità di sollevare la turbina al di sopra degli effetti del terreno e quella di incidere in meno possibile sul costo della macchina.

Le torri utilizzate per l'installazione degli impianti minieolici devono essere progettate tenendo conto degli stessi principi di semplicità ed affidabilità che caratterizzano in generale l'ambito degli impianti eolici di piccola scala. Le torri quindi possono essere indipendenti (free-standing) oppure strallate. Queste ultime sono torri più leggere e sottili delle torri indipendenti, risultando pertanto più economiche; la resistenza alle sollecitazioni laterali è assicurata mediante appositi ancoraggi posti a diverse altezze, realizzati tramite tiranti. La soluzione

con tiranti tuttavia necessita di uno spazio laterale molto più ampio di quello richiesto per le torri indipendenti, per le quali l'effettiva occupazione del suolo è costituita solo dalla larghezza alla base della torre e dalle fondamenta. Le torri free-standing possono essere tubolari (o a stelo) o a traliccio (fig. 46).

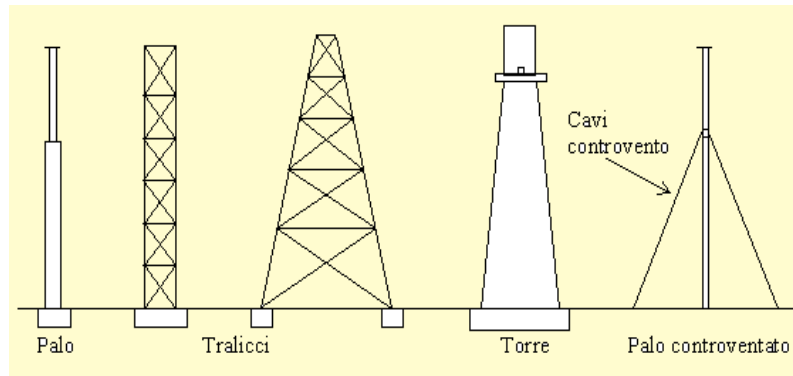


Fig. 46

4.4.3 Considerazioni generali

Le ragioni del rinnovato interesse per le mini e microturbine eoliche sono molteplici e possono essere individuate nei peculiari campi applicativi in cui queste turbine consentono di operare, ambiti che non riescono ad essere soddisfatti dalla normale produzione energetica che si realizza in una wind-farm di grande potenza. Le applicazioni più tipiche del minieolico riguardano infatti, come detto, impianti a servizio di utenze isolate (sistemi cosiddetti stand-alone oppure off-grid), impianti di media potenza a servizio di piccole comunità e villaggi isolati, tipicamente utilizzati per remoti insediamenti montani o insulari. La diffusione di queste macchine è inoltre favorita dalle recenti evoluzioni della normativa, tra cui in particolare la delibera n. 28/06 dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas, in base alla quale è possibile collegare alla rete in regime di scambio sul posto impianti fino a 20 kW, nonché altri provvedimenti introdotti dalla finanziaria 2008.

In ragione dei loro peculiari campi d'impiego, rispetto ai generatori più grandi, i generatori minieolici sono macchine più semplici, costruite con specifiche caratteristiche tecniche e opportuni accorgimenti, che ne consentono un uso continuativo anche per svariati anni consecutivi senza la necessità di manutenzione. I sistemi eolici di piccola taglia presentano numerosi aspetti positivi, tra i quali l'irrilevante occupazione di territorio, la bassa velocità di "cut in", nonché il fatto che molte installazioni potrebbero essere realizzate in zone rurali, come appunto nel caso in esame. La diffusione su vasta scala di impianti di piccola taglia consentirebbe di migliorare le condizioni di approvvigionamento energetico nelle aree rurali e decentralizzare la produzione energetica ricercando le soluzioni locali più adatte, limitando la costruzione di linee elettriche per meglio tutelare il paesaggio rurale, riducendo l'inquinamento visivo ed elettromagnetico. Infatti l'impatto ambientale degli impianti microeolici e minieolici è molto limitato perché essi necessitano di spazi ridotti e sono relativamente poco visibili. Tuttavia quando sono installati in prossimità delle utenze, occorre valutare attentamente l'impatto acustico ed effettuare una scelta ponderata del modello di turbina e del luogo d'installazione, come si vedrà al paragrafo successivo 4.4.4.

4.4.4 Criteri preliminari di progettazione.

La teoria ingegneristica legata all'eolico, oltre a fornire strumenti per la progettazione del generatore eolico, individua alcuni criteri per scegliere il sito d'installazione. La premessa è legata al fatto che l'installazione oggetto di studio rientra nella categoria "Mini-eolico" e quindi, rispetto ai grandi impianti, risente maggiormente della presenza di ostacoli nelle vicinanze.

La definizione di mini-eolico è fornita dalla Norma IEC-61400-2 Ed.2 che gli attribuisce la caratteristica di dispositivo con area spazzata non superiore a 200 mq, pari all'incirca a 50 KW di potenza, ma in pratica coincide con quella attribuibile agli impianti incentivabili con la tariffa omnicomprensiva istituita

dalla Legge n. 244 del 2007, art. 2, comma 145, (e dalla successiva Legge finanziaria 2008) con potenza fino a 200 KW.

Le osservazioni che seguiranno hanno il solo scopo di individuare in via preventiva quei siti che da un punto di visto tecnico-economico rendano l'impianto efficiente e mediamente remunerativo.

Naturalmente il primo parametro da prendere in considerazione è legato alla disponibilità in sito della fonte eolica (velocità e direzione del vento, venti dominanti) di cui già si è detto al paragrafo 4.1.

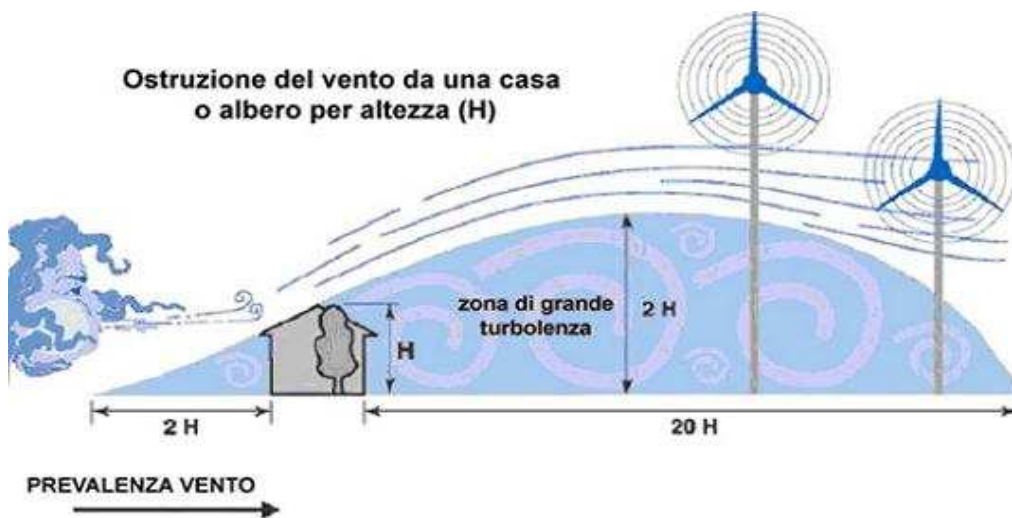


Fig. 47. (Fonte: Guida al mneiolico, ENEL GREENPOWER).

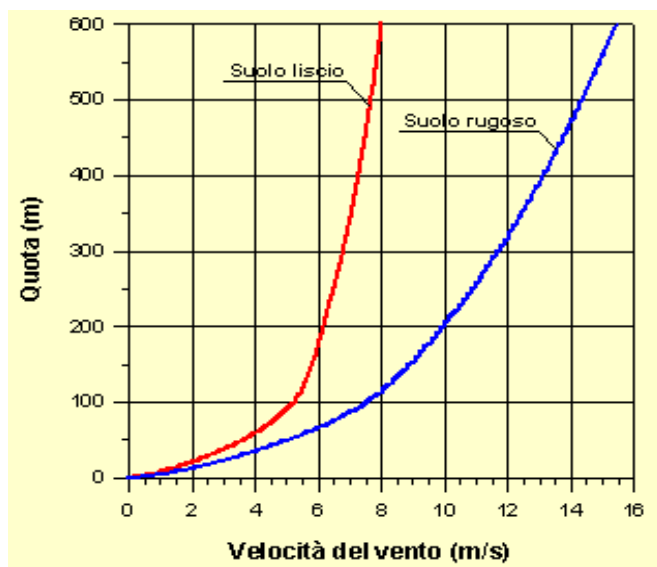
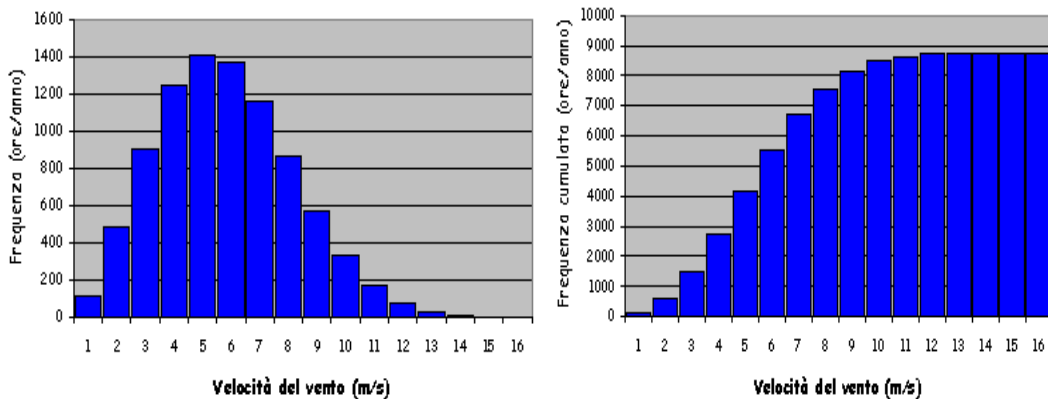


Fig. 48: profilo verticale di velocità del vento

Ad una caratterizzazione macroscopica dell'area d'intervento tuttavia occorre abbinare un'analisi più dettagliata dei parametri "locali", che parte da una determinazione statistica della velocità media del vento attraverso rilevamenti diretti con anemometri⁷, fino ad arrivare allo studio sulla presenza di ostacoli. Ingegneristicamente tale parametro è detto "Rugosità del suolo" ed è un valore che varia tra 0.1 e 0.4; esso tiene conto della presenza nel sito d'installazione di ostacoli quali rilievi morfologici del terreno, alberi, silos, opifici, palazzine, e altro, che potrebbero ostacolare il passaggio del vento creando delle zone perturbate (fig. 47).

La rugosità determina una progressiva riduzione (strato limite) della velocità del vento rispetto alla velocità del flusso indisturbato (figura 48).

⁷ Quando si eseguono le rilevazioni della velocità del vento, le misure ottenute, ovvero i valori mediati su un intervallo di tempo di 10 minuti (che rappresenta lo standard comunemente utilizzato anche nelle curve di prestazione delle turbine eoliche fornite dai costruttori), si organizzano in classi di velocità di data ampiezza. Ogni classe è definita da un valore medio delle velocità del vento appartenenti alla classe stessa, al quale è associato il corrispondente numero di ore/anno di persistenza della velocità del vento (o la sua percentuale f) all'interno del relativo intervallo. Questa distribuzione di velocità del vento, che diviene tanto più rappresentativa quanto maggiore è il numero di campagne annue di sperimentazione che sono state utilizzate per costruirla, presenta il tipico andamento rappresentato nel grafico in basso a sinistra, con un valore massimo localizzato in corrispondenza di velocità del vento prossime a quella media. Come evidenziato nel grafico a destra, oltre alla distribuzione di velocità del vento, si utilizza spesso anche la corrispondente distribuzione cumulativa di velocità del vento. Questa viene costruita a partire dalla prima, riportando in corrispondenza di ciascuna classe di velocità del vento il numero di ore/anno (o la percentuale cumulata F) durante le quali la velocità è inferiore o uguale a tale valore.



In generale si cerca di preferire siti d'installazione in vicinanza del mare o in zone con assenza di ostacoli alti. Trattandosi in questo caso di un contesto rurale, si potrà scegliere l'ubicazione ottimale della torre eolica, posizionandola su un rilievo basso-collinare situato ad una distanza tale da non risentire della presenza degli uliveti e ovviamente, degli edifici della masseria. La distanza minima da questi ultimi, fissata in 100 metri, è funzionale anche alla salvaguardia dall'impatto acustico della turbina del generatore eolico.

Contestualmente alla presenza di ostacoli, l'orografia del territorio rappresenta un elemento molto rilevante ai fini delle potenzialità eoliche di un sito. Rilevazioni sperimentali sulla velocità del vento a monte e a valle di rilievi collinari hanno evidenziato come la stessa, misurata in corrispondenza della cresta delle colline, possa risultare superiore del 50-80% rispetto alla velocità del vento misurata a sufficiente distanza dai rilievi. Inoltre tali rilevazioni hanno parimenti mostrato come viceversa la velocità del vento immediatamente a monte e a valle del rilievo risulti notevolmente inferiore (20-40%) alla velocità del flusso indisturbato (fig. 49).

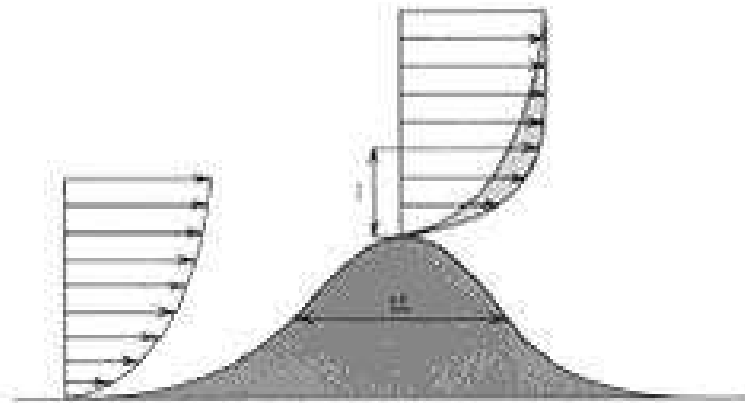
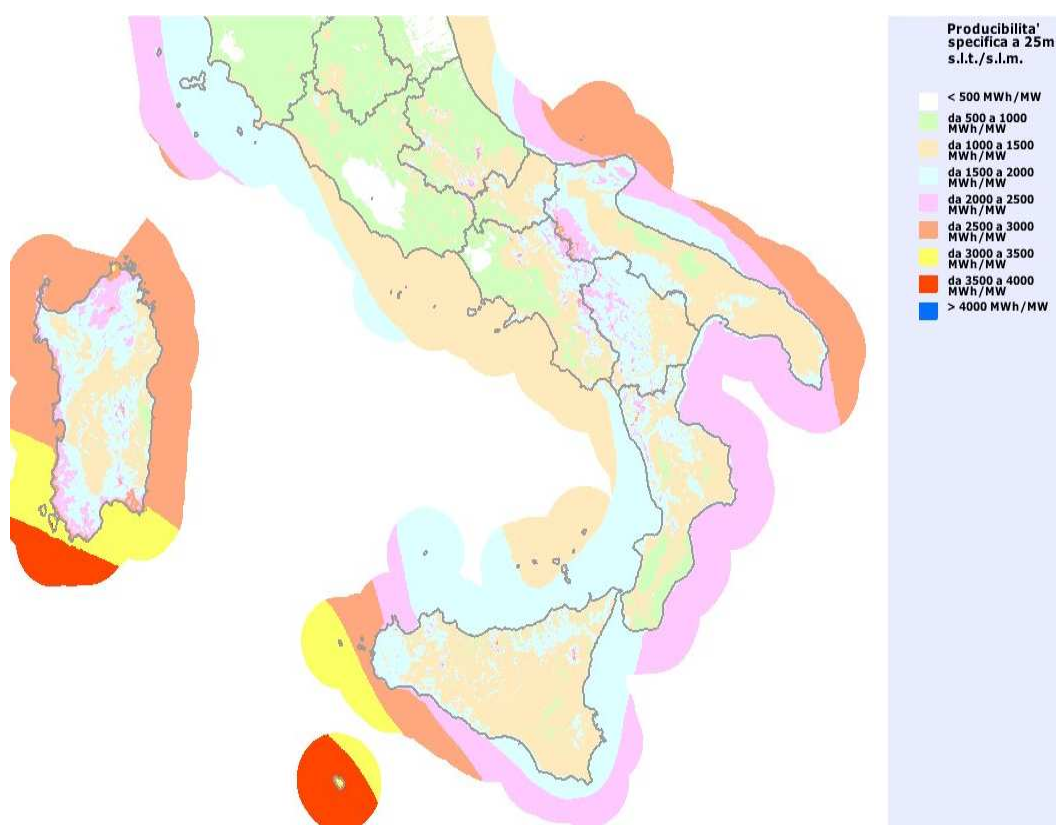


Figura 49.

Un parametro direttamente connesso alla morfologia e alla rugosità del suolo è l'altezza della torre, dato che peraltro gioca un fattore importante sulla redditività dell'impianto; infatti si può dimostrare analiticamente che aumentando l'altezza della torre si osserva un aumento esponenziale della velocità del vento e un conseguente aumento di producibilità.

4.4.5 Producibilità specifica dei generatori eolici.

Prima di procedere al dimensionamento del generatore eolico è indispensabile stabilirne la producibilità in funzione del sito d'installazione prescelto. Alla mappa del vento illustrata al paragrafo 4.1 si può sovrapporre, a questo scopo, una mappa che delinea, per le stesse macroaree, la produttività in termini di MWh/MW di potenza installata.



La producibilità specifica può essere letta anche in funzione delle ore equivalenti nella zona, che rappresentano il rapporto fra l'energia annua prodotta e la potenza nominale del generatore eolico, e generalmente variano nell'intervallo 1300-2500 ore/anno. Quindi maggiore è il numero di ore equivalenti nella zona, maggiore sarà la redditività dell'impianto.

Il grafico in figura 50 mostra un esempio della distribuzione $t(v)$ della velocità del vento durante l'anno in una zona adatta alla produzione eolica (cioè con un numero di ore equivalenti pari almeno a 2000). Dal grafico è cioè

possibile capire per quante ore all'anno il vento soffia con una determinata velocità. L'area sottesa dalla curva rappresenta il tempo complessivo di un anno, pari a $24 \cdot 365 = 8760$ ore. La curva è una distribuzione di Weibull, definita dalla funzione:

$$t(v) = 8760 \frac{k}{A} \left(\frac{v}{A} \right)^{k-1} e^{-(v/A)^k}$$

in cui k è un parametro adimensionale che definisce la forma (più allungata o allargata) della curva e A un secondo parametro che definisce la scala della distribuzione (cioè più A è grande e più è elevato il valore medio di v). Nella curva in fig. 46 si è posto $k=1,5$ che rappresenta più o meno la situazione media italiana (vedi Atlante Eolico, appendice pag D-6) e $A=6.81$ m/sec, che corrisponde ad una v media di 6 m/sec.

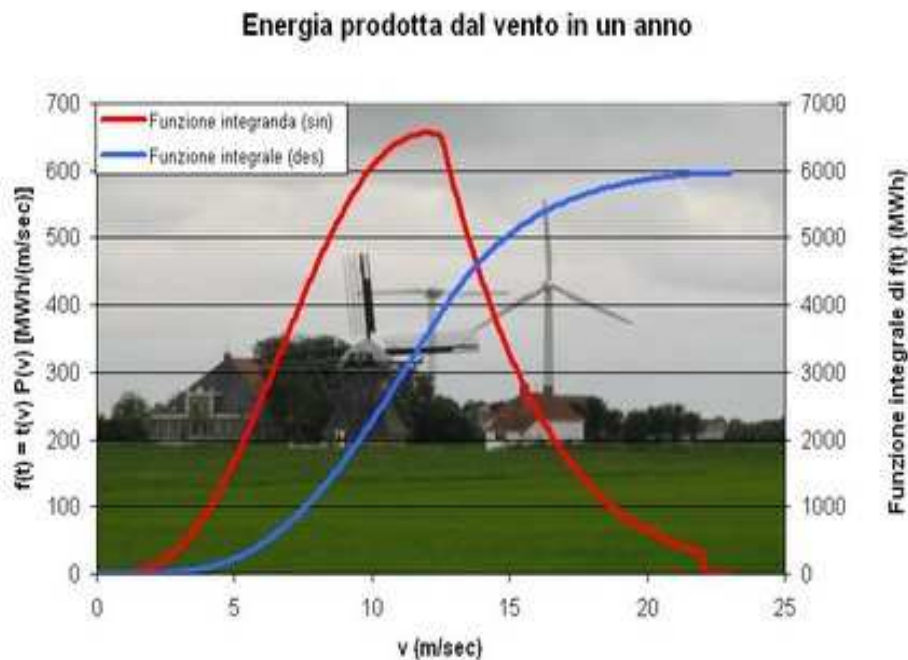


Figura 50.

La curva rossa è la funzione integranda; la curva blu (scala a destra) rappresenta invece la funzione integrale (determinata per integrazione numerica). Il valore finale di tale funzione (corrispondente all'integrale calcolato fino alla

velocità di cut-off di 22 m/sec) è l'energia totale prodotta in un anno. Poiché la potenza erogata dal generatore cresce con il cubo della velocità del vento, combinando insieme le due curve $t(v)$ e $p(v)$ e integrando su tutte le velocità è possibile ottenere l'energia totale E prodotta in un anno. In altri termini, per trovare l'energia prodotta complessivamente in un anno occorre calcolare la funzione integrale:

$$E(v) = \int_0^v t(v') P(v') dv'$$

essendo

$$P_{utile} = 0.195 Av^3$$

L'estremo superiore dell'integrale va posto alla velocità di cut-off, oltre la quale il generatore si ferma. Più semplicemente, nota la distribuzione di frequenza del vento (vedi esempio in figura 51) e la curva di potenza della turbina (fornita dal costruttore), per ciascuna classe di velocità, il prodotto della potenza prodotta dalla turbina eolica per il corrispondente numero di ore/annue di persistenza di tale velocità del vento fornisce direttamente la produzione netta di energia. La somma delle produzioni di energia relative a tutte le classi di velocità del vento è pari alla produzione totale annua di energia della turbina.

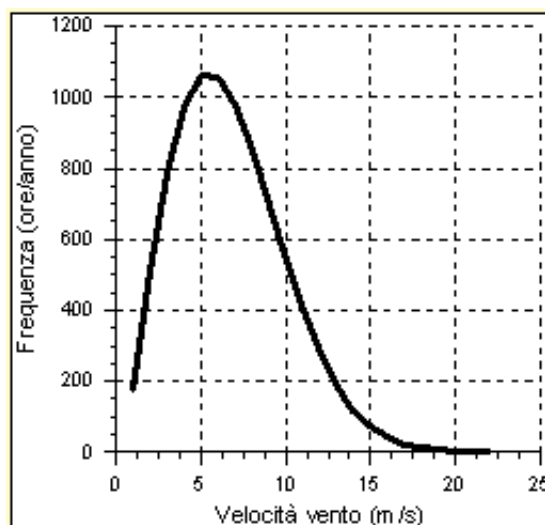


Figura 51.

Dunque la velocità del vento v è la variabile determinante per la produzione di energia eolica, essendo la potenza incidente sulle pale di un rotore di lunghezza r (e area $A=\pi r^2$) data da

$$P_{inc} = \frac{1}{2} A d v^3$$

dove d è la densità dell'aria (circa 1.3 kg/m^3).

Se la velocità del vento raddoppia, la potenza disponibile aumenta di un fattore otto. Ma non tutta questa potenza può essere utilizzata poiché, secondo la legge di Betz, il generatore può sfruttare al massimo il 59% della potenza incidente. Perdite di potenza avvengono naturalmente anche nelle parti meccaniche e nella conversione elettromagnetica, portando il rendimento complessivo ad un valore compreso tra il 25% e il 50%, a seconda dei modelli. La figura 52 mostra un esempio dell'andamento della potenza in funzione della velocità del vento per un generatore di 12kW.

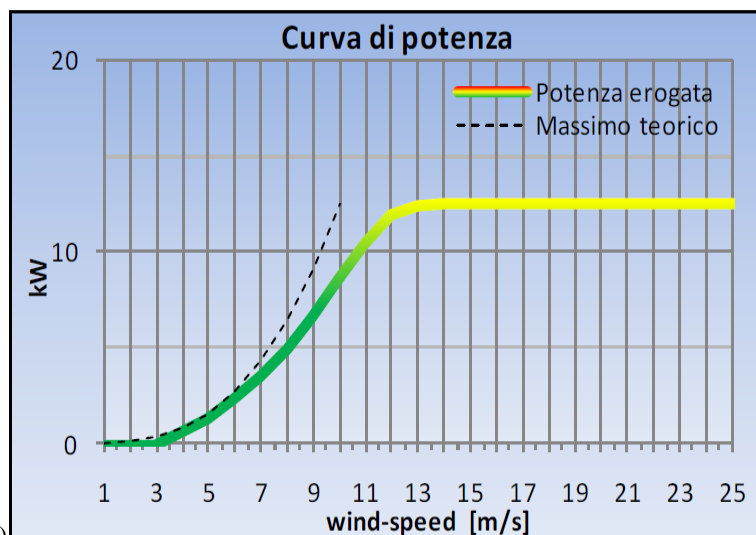


Fig. 52. (Fonte: S.E.I. srl.)

4.4.6 Determinazione della potenza da installare e scelta del generatore eolico.

Per determinare la potenza nominale da installare a servizio della masseria, nel sito individuato dalla planimetria in Allegato 2.1, si richiamano per maggior chiarezza le già citate discriminanti di progetto:

- l'obiettivo generale del progetto resta quello di garantire l'autosufficienza dal punto di vista dell'approvvigionamento energetico ed in particolare l'autoproduzione dell'energia elettrica consumata su base annua;
- l'analisi dei consumi effettivi registrati nell'ultimo triennio, unitamente alla stima dei consumi presunti, hanno condotto ad una previsione del fabbisogno di energia elettrica nei prossimi anni di circa 53000 kWh/anno;
- il calcolo e la simulazione della produzione di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico forniscono come risultato una produzione netta di 32715 kWh/anno, con una copertura relativa di oltre il 61,7% sui consumi presunti;

Ne consegue che, per garantire il rimanente 38,3%, per l'ammontare di circa 20285 kWh/anno, occorrerà riferirsi ad una potenza minima del generatore eolico di 10 kWp, anche per motivi di scelta fra le taglie e le tipologie disponibili sul mercato delle turbine. Una tale potenza è generalmente impiegata in contesti simili, come testimonia la tabella 15.

Numerose sono le aziende produttrici presenti sul mercato, anche a livello locale e nel campo della tecnologia made in Italy. In tabella 16 si offre una sintesi delle soluzioni attualmente giudicate come le più competitive.

Taglia	Potenza elettrica erogata a velocità nominale	Diametro rotore	Altezza palo	Applicazioni tipiche
XS	Qualche centinaio di watt	1 ÷ 2 m	2 ÷ 6 m	Imbarcazioni, camper, piccole utenze isolate
S	Da 1 kW a 6 kW	2 ÷ 5 m	6 ÷ 8 m	Abitazioni, strutture commerciali e PMI, installazioni a terra o su tetto anche in ambito urbano, utenze isolate o connesse alla rete elettrica
M	Oltre 6 kW fino a 60 kW	5 ÷ 18 m	8 ÷ 30 m	Agriturismi, camping, villaggi, strutture commerciali, aziende agricole e PMI, per installazioni a terra e utenze connesse alla rete elettrica
L	Oltre 60 kW fino a 200 kW	18 ÷ 30 m	30 ÷ 60 m	Aziende Agricole e PMI, per installazioni a terra e utenze connesse alla rete elettrica

Tab. 15. (Fonte: Guida al mneico, ENEL GREENPOWER).

Generatore (produttore/modello)	Potenza nominale [kWp]	Produzione annua stimata (a 5 m/s)	Altezza torre [metri]	Costo [€]
S.E.I./RPI	12,25	22010 kWh	30 (24)	51200
Gaia Wind	11	27502 kWh	20	50000
VenTek/GO200	20	24000kWh	24	55000
Jonica/JIMP	25 (30)	37500 kWh	30	40000
Tekna/TE30-UW	30		30 (24)	

Tabella. 16.

Considerando che:

- la turbina Tekna, azienda del territorio, risulta sovradimensionata per le esigenze di autoconsumo e necessita ovviamente di un investimento cospicuo;
- i generatori S.E.I. e VenTek dichiarano una produzione specifica minore, non giustificando l'impiego di potenza se non a velocità del vento superiori a 10 m/s;

l'impiego più adatto sembrerebbe costituito dall'installazione di una turbina Gaia Wind, che con costi contenuti e bassissimo impatto ambientale (h=18/20 m, 50 dB(A) a 30 m) garantisce la copertura del fabbisogno richiesto con l'impiego della minima potenza, generando surplus di oltre 7000 kWh/anno a 5 m/s, 17500 kWh/anno a 6 m/s, 26240 a 7 m/s e così via (dati MCS).

Tuttavia, per aumentare la remuneratività dell'impianto, per garantire un'ottima copertura anche in previsione di un'ulteriore crescita dei consumi (su base decennale), e non incidendo particolarmente sull'impatto visivo (torre 10 metri più alta e rotore 1,5 m di diametro più piccolo), si decide di impiegare il generatore Jonica JIMP25 (o per gli stessi motivi il JIMP30). La figura 53 mostra una turbina JIMP20, le cui dimensioni ed altezza della torre sono identiche alle precedenti. Si noti il modesto impatto visivo generato da tale installazione.

Il surplus di energia elettrica generata sarà ovviamente immesso in rete in regime di Scambio sul Posto – Convenzione con il GSE. Il contributo in conto scambio sarà calcolato dal GSE trimestralmente in acconto e corrisposto quando l'importo superi la soglia minima di Euro 100. Su base annuale sarà calcolato e corrisposto il conguaglio del contributo in conto scambio maturato in corso d'anno. Oltre ai ricavi derivanti dalla immissione in rete del surplus dell'energia elettrica prodotta l'impianto otterrà circa 26 Certificati Verdi, il cui valore sarà determinato annualmente dal GSE.

Il piano economico dell'impianto è disponibile in Allegato 4.14, insieme alla modalità di richiesta dei Certificati Verdi.



Fig. 53: Jonica Jim20

4.4.7 “Risparmio ambientale”.

Con un’ipotesi di produzione media annua pari a 45000 kWh, calcolata per una velocità media del vento di 6 m/s, si consegue un risparmio di 8,4 TEP all’anno, con emissioni evitate pari a:

- 23895 Kg di CO₂;
- 63 Kg di SO₂;
- 85,5 Kg di NO_X;
- 1,3 Kg di polveri.

Si sottolinea il modesto impatto generato dall’impianto sul territorio dal punto di vista acustico e visivo, mentre d’altra parte si esalta la funzione dimostrativa e didattica dell’installazione.

4.4.8 Procedura autorizzativa.

La legge finanziaria 2008 prevede che l'installazione di impianti mini eolici con potenze fino a 60 kW venga autorizzata, in assenza di vincoli di alcun genere, mediante semplice Denuncia di Inizio Attività presso il Comune di riferimento. Qualora il sito appartenga ad un'area protetta occorre in "nulla osta" dell'Ente preposto alla gestione (Ente locale, Ente parco, Comunità montana, Sovrintendenza ai beni culturali). Se non è possibile adottare il procedimento semplificato (D.I.A.) allora occorre richiedere l'autorizzazione attraverso il procedimento unico istituito dal D.Lgs. n.387 del 2003. Si vuole anche ricordare l'articolo 10, comma 7, della legge 13 maggio 1999, n.133 che recita: *L'esercizio di impianti da fonti rinnovabili di potenza elettrica non superiore a 20 kW, anche collegati alla rete non e' soggetto agli obblighi di cui all'articolo 53, comma 1, del testo unico approvato con decreto legislativo 26 ottobre 1995, n.504, e l'energia consumata, sia autoprodotta che ricevuta in conto scambio, non e' sottoposta all'imposta erariale ed alle relative addizionali sull'energia elettrica. L'Autorità' per l'energia elettrica e il gas stabilisce le condizioni per lo scambio dell'energia elettrica fornita dal distributore all' esercente dell'impianto.*

Molte regioni infine hanno emanato regolamenti che disciplinano le autorizzazioni per gli impianti minieolici che in taluni casi modificano l'indicazione nazionale. La Regione Puglia ha emanato a disciplina dell'argomento il Regolamento 30/12/2010 in applicazione alle Linee Guida nazionali dello stesso anno. In virtù di ciò occorre attenersi al seguente iter preliminare:

1. Certificato di Destinazione Urbanistica (C.D.U.)
2. Richiesta eventuali permessi evidenziati dal C.D.U.
3. Richiesta preventivo ENEL di concessione
4. Presentazione Segnalazione Certificata Inizio Attività (S.C.I.A.)

Per tutti i tipi di impianti la documentazione minima da presentare dovrà includere:

- Progetto di installazione comprensivo di sistema di allacciamento alla rete elettrica;
- Progetto delle opere di fondazione redatto da tecnico abilitato e che tenga in debita considerazione le caratteristiche geologiche del territorio in relazione alle condizioni di massima raffica;
- Posizionamento su mappa catastale, su cartografia CTR, e su cartografia PPR;
- Documentazione del fornitore delle macchine relativa al rispetto delle normative in termini di inquinamento elettromagnetico;
- Documentazione del fornitore delle macchine relativa al livello di potenza sonora caratteristico della macchina;
- Certificato urbanistico che evidenzi l'assenza di vincoli ambientali, storici, paesaggistici, urbanistici, idrogeologici.

4.4.9 Leggi e norme di riferimento.

Nazionali:

- Decreto Legislativo n.387/2003
- Legge n. 239/2004
- Delibera Autorità Energia Elettrica e Gas (AEEG) n. 34/2005
- Delibera Autorità Energia Elettrica e Gas (AEEG) n. 28/2006
- Delibera Autorità Energia Elettrica e Gas (AEEG) n. 88/2007
- Delibera Autorità Energia Elettrica e Gas (AEEG) n. 89/2007
- Delibera Autorità Energia Elettrica e Gas (AEEG) n. 74/2008 (TISP)
- Delibera Autorità Energia Elettrica e Gas (AEEG) n. 99/2008 (TICA)

- D.M. 22/01/08 n.37
- D.Lgs. n.81 aprile 2008
- Decreto Ministeriale 18/12/2008
- Legge n.224 (finanziaria 2008)
- D.Lgs n. 115 del 30/05/2008
- Delibera Autorità Energia Elettrica e Gas (AEEG) n. 01/2009
- Delibera Autorità Energia Elettrica e Gas (AEEG) n. 74/2009
- Legge n. 99 del 23/07/2009
- Linee Guida Nazionali del 10 settembre 2010 (S.C.I.A. fino a 60 kW)
- D.Lgs. 28/2011 e successivi decreti attuativi

Regione Puglia:

- Regolamento regionale 30 dicembre 2010 n.24
- Legge regionale n.31 del 21/10/2008
- Regolamento regionale n.16 del 10/10/2006
- L.R. n.11 del 12/04/2001
- L.R. n.17 del 14/06/2007
- L.R. n.25 del 03/08/2007
- L.R. n.40 del 31/12/2007
- PEAR Regione Puglia n.827 del 08-06-2007
- Legge n.394 del 06-12-1991: Legge quadro aree protette;
- Regolamento regionale n.28 del 22-12-2008: ZPS

Il dimensionamento del plinto di fondazione deve essere conforme al Decreto Ministero delle Infrastrutture del 14.01.2008 – Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni - (pubblicato nella G.U. nr. 29 del 04.02.2008 Supplemento Ordinario n. 30) e s.m.i.

Normativa per l'impatto acustico:

- DPCM 1 marzo 1991
- Legge n.477 del 26/10/1995: Legge quadro sull'inquadramento acustico.
- DPCM del 14/11/1997: Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore.

4.4.10 Bibliografia essenziale e riferimenti web.

- [1] G.Silvestrini, M.Gamberale, *Eolico: paesaggio e ambiente*, Ed. Muzzio, Roma, 2004.
- [2] A.Caffarelli, G. De Simone, *Principi di progettazione dei sistemi eolici*, Ed. Maggioli, 2010.
- [3] A.Caffarelli, G.De Simone, M.Stizza, A.D'Amato, V.Vergelli, *Sistemi eolici: progettazione e valutazione economica*, Ed. Maggioli, 2009.
- [4] N.Graniglia, *Impianti eolici. Progettazione, criteri d'inserimento ambientale, e valutazione economica*, Ed. Grafill, dicembre 2010.
- [5] G.Botta, C.Ratto, *Atlante Eolico dell'Italia*, CESI-Università di Genova, 2002.
- [6] *Atlante Eolico della Regione Puglia*, Centro Ricerca Energia Ambiente (C.R.E.A), Università del Salento.

- <http://www.anev.org>
- <http://www.gaiawind.com>
- <http://www.ieawind.org>
- http://www.societaelettricaitaliana.it/impianti_con_generatori_minieolici
- <http://www.teknaenergy.com>
- <http://www.ventekenergia.it>
- <http://www.jimp.it>
- <http://www.energiadalvento.com>

4.5 Impianti termici alimentati a biomassa.

Al paragrafo 4.1 si è già accennato alla ovvia disponibilità di biomasse di diversa origine, vegetale ed animale, con possibilità di utilizzare biocarburanti pretrattati, nel tentativo di limitare l'impiego del legno e dei cippati⁸, trattandosi di un contesto agricolo ma non boschivo.

Il termine biomassa è stato introdotto per indicare tutti quei materiali di origine organica che non hanno subito alcun processo di fossilizzazione e sono utilizzati per la produzione di energia. Le biomasse rientrano fra le fonti rinnovabili poiché la CO₂ emessa per la produzione di energia non rappresenta un incremento dell'anidride carbonica presente nell'ambiente, ma è la medesima che le piante hanno prima assorbito per svilupparsi e che alla loro morte tornerebbe nell'atmosfera attraverso i normali processi degradativi della sostanza organica. L'utilizzo delle biomasse quindi accelera il ritorno della CO₂ in atmosfera rendendola nuovamente disponibile alle piante.

Nella scelta del sistema di riscaldamento a biomassa, oltre al fabbisogno di potenza termica dell'edificio da riscaldare, altri elementi giocano un ruolo importante nel processo decisionale: spazio disponibile, comfort funzionale, approvvigionamento del combustibile, integrazione con l'impianto termico esistente. E' fondamentale quindi analizzare nel dettaglio tutti gli aspetti influenzanti e comprendere quale sia la soluzione più semplice ed efficace dal punto di vista realizzativo.

⁸ Il cippato è un termine che deriva dall'inglese "chip" (trad. scaglia), e viene prodotto con macchine cippatrici, sminuzzando il legno in scaglie di dimensioni variabili con lunghezza e spessore di pochi centimetri, solitamente da scarti dell'industria del legno e dell'agricoltura. Questa frammentazione del legno ne permette lo stoccaggio nei silos e il caricamento automatico nelle caldaie. Il cippato ha una resa minore del Pellet poiché contiene un tasso di umidità maggiore e ha bisogno di spazi d'immagazzinamento molto più ampi. Il potere calorico di questo combustibile dipende dal tipo di legno utilizzato e dall'umidità residua. Per consentire agli utilizzatori di caldaie a cippato di orientarsi nell'approvvigionamento del combustibile, è in preparazione una apposita norma tecnica che stabilirà una classificazione qualitativa e quantitativa del cippato per uso energetico.

In particolare è opportuno valutare attentamente gli aspetti legati al combustibile (forme di legna utilizzabile , disponibilità propria, logistica di stoccaggio, accessibilità, fornitori e garanzia di approvvigionamento, costo, stabilità del prezzo) e gli aspetti legati alla tecnologia impiegata (tipo e modello di generatore, potenza e rendimento, modalità di funzionamento, dimensionamento dell'impianto a valle). Infatti l'elemento primario da considerare nella costituzione di un impianto termico a biomassa è il generatore di calore. La sua scelta è fondamentale per soddisfare le aspettative dell'utilizzatore e va fatta in relazione alla disponibilità del combustibile ed alla modalità operativa che si intende attuare.

Per quanto concerne i combustibili, in generale un impianto a legna richiede una maggior disponibilità di tempo per le operazioni di accensione, pulizia e carica della caldaia, ma da la possibilità di impiegare un combustibile molte volte disponibile localmente; la caldaia a pellet è invece un generatore automatico per chi non ha o non può disporre di molto tempo per la sua gestione ma richiede l'acquisto del pellet.

La scelta del combustibile è fondamentale per garantire nel tempo un perfetto funzionamento dei generatori di calore a biomassa ed il contenimento delle loro emissioni inquinanti. Il legno da utilizzare deve essere il più possibile naturale, quindi non trattato chimicamente con vernici o additivi e con un contenuto di umidità ridotto, approssimativamente dell'ordine del 15-20%, che equivale ad un legno stagionato correttamente per circa due anni. La scelta del pellet nel caso dei generatori automatici è altrettanto fondamentale in quanto, se la qualità del combustibile è difforme dai valori standardizzati (potere calorifico, umidità, residui di combustione e le sostanze inquinanti), si possono presentare dei sostanziali decadimenti prestazionali dell'impianto termico, quindi perdita di efficienza, anomalie funzionali come sporcamenti eccessivi con conseguenti maggiori oneri per la manutenzione. Il pellet è ricavato dalla segatura essiccata e poi compressa in forma di piccoli cilindri con un diametro di alcuni millimetri, tipicamente 6-8 mm. La capacità legante della lignina, contenuta nella legna, permette di ottenere un prodotto compatto senza aggiungere additivi e sostanze

chimiche estranee al legno. Si ottiene, quindi, un combustibile naturale ad alta resa. L'umidità del materiale deve essere compresa in uno stretto intervallo (intorno al 15% m/m) per garantire una corretta pressatura.

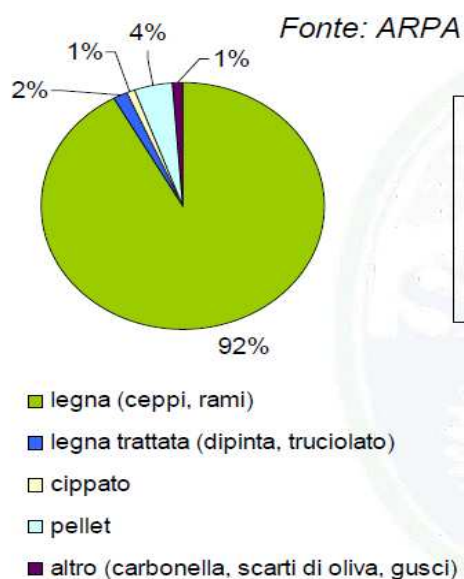
I pellet offrono i vantaggi seguenti:

- alimentazione automatica della camera di combustione tramite coclee;
- regolazione facilitata (riduzione delle fasi di degasaggio senza combustione);
- potere calorifico elevato grazie alla disidratazione;
- possibilità di sfruttare normali autobotti per mangimi per la distribuzione.

Si tratta di un combustibile solido culturalmente accettato, al contrario del carbone e dei combustibili da rifiuti, il cui vantaggio nell'utilizzo deriva dalla fiscalità favorevole e dai vantaggi sulle emissioni di CO₂. Il primo punto in particolare lo avvantaggia in tutti quei casi in cui non è presente l'allacciamento con la rete del metano. Rispetto a GPL e gasolio l'utilizzo del pellet presenta infatti, a parità di energia fornita, un risparmio del 40÷50%, come evidenziato da uno studio del CTI (Comitato Termotecnico Italiano). Il CTI stesso sta compiendo uno studio del mercato nazionale, analizzando la produzione e la distribuzione dei pellet, al fine di coinvolgere gli operatori italiani nelle fasi di preparazione della normativa europea di settore. I risultati sono riportati nel sito web <https://www.cti2000.it/solidi.htm> del progetto Probio.

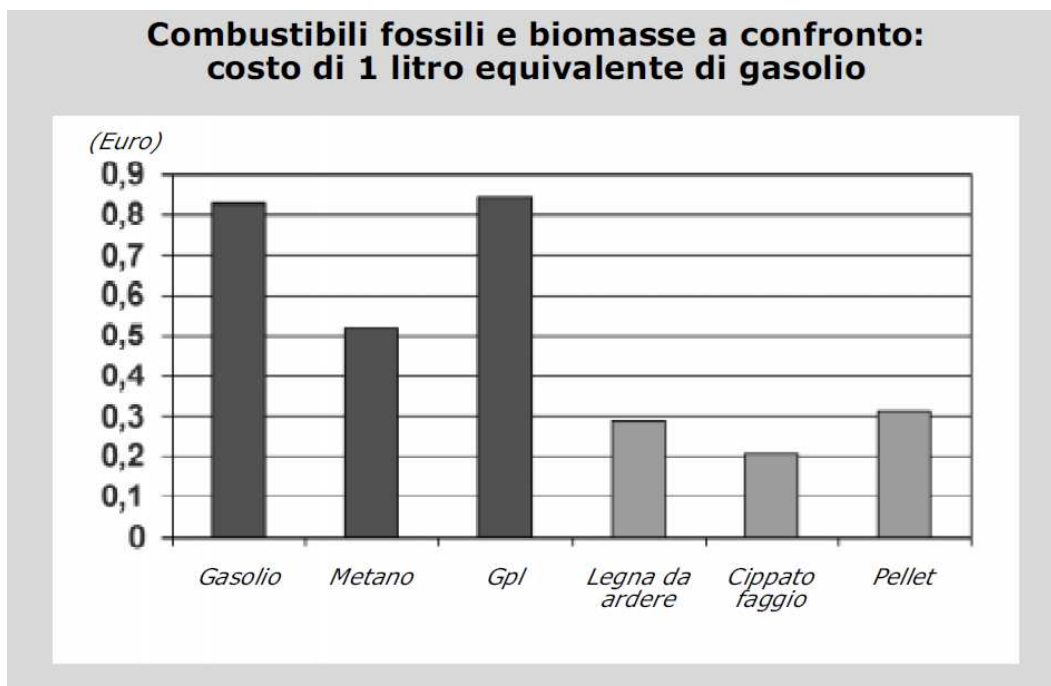
Le tipologie di biomassa impiegabili come combustibile sono molteplici, comprendono anche scarti agricoli come paglia, lolla, pula, bagasse, noccioli di oliva, gusci secchi, deiezioni animali, e contemplano il ricorso a colture dedicate, come ad esempio il Miscanthus (erba elefantina), graminacea perenne a ciclo C₄, con elevate prestazioni produttive. Negli ultimi anni, in relazione alla elevata produttività, è stato considerato molto interessante come coltura da biomassa. Considerando una produzione media di 20 tonnellate di biomassa secca ricavata da 1 ettaro di Miscanthus giganteus, si ricava lo stesso potere calorifico di 12 tonnellate di carbone e di 8000 litri di petrolio.

Ad oggi la biomassa di gran lunga più utilizzata è il legname di varia provenienza, come testimonia il grafico seguente.



La tabella ed il grafico seguente mostrano a titolo un valido confronto fra diversi combustibili (fossili e biomasse) in termini di costo e resa energetica.

COMBUSTIBILE	POTERE CALORIFICO	DENSITA'	UMIDITA'	PREZZO €/kW
Gasolio	10 kWh/lt.	845 kg/mc		0,085
Metano	13,5 kWh/kg	0,74 kg/mc		0,053
G.P.L.	12,8 kWh/kg	2,04 kg/mc		0,085
Legna a pezzi	3,5 kWh/kg	420 kg/mc	25%	0,029
Cippato	3,5 kWh/kg	260 kg/mc	25%	0,019
Pellets	4,9 kWh/kg	650 kg/mc	6%	0,036
Grano	4,2 kWh/kg	750 kg/mc	15%	0,015
Mais	4,3 kWh/kg	830 kg/mc	15%	0,026



Naturalmente la disponibilità di una fonte sul territorio permette di abbattere i costi.

Dal punto di vista energetico si può stimare che, per ottenere 10000 kWh sono necessari: 1000lt di gasolio, 1000mc di metano, 780 kg di GPL, 2857 kg di legna, 2041 kg di pellet, 2326 kg di mais, 2380 kg di grano.

La tabella consente di confrontare i combustibili fossili e le varie biomasse sulla base dell'effettivo contenuto di energia. Il confronto effettuato sulla base delle quantità e sui costi della biomassa necessaria per sostituire un quantitativo standard di combustibile fossile. Consideriamo, ad esempio, la legna da ardere stagionata, avente un contenuto di umidità del 25%. Si può osservare che ne sono necessari 2,79 kg per ottenere la stessa energia di un litro di gasolio, e che, al prezzo di 0,103 €/kg della legna da ardere, il costo di questo litro equivalente di gasolio pari a 0,29 €, valore inferiore del 65% circa all'effettivo costo del gasolio, pari a 0,83 €/litro. Analogamente, sono necessari 2,76 kg di legna stagionata per ottenere la stessa energia di 1 mc di metano, al costo equivalente di 0,28 € contro 0,52 € di un reale metro cubo di metano. Come dato di consumo medio si può affermare che per riscaldare 1mq di appartamento è necessaria una quantità inferiore a 0,5 quintali di legna all'anno.

Indipendentemente dalla tipologia di generatore e di combustibile impiegato è fondamentale il corretto dimensionamento in relazione al reale fabbisogno termico dell'edificio, cercando assolutamente di evitare qualsiasi forma di sovradimensionamento che, soprattutto nei generatori a legna, provoca inefficienze e maggiori sporcamenti.

La realizzazione di un impianto termico efficiente e funzionale non è legata solamente al generatore di calore ma è influenzata soprattutto dalla sua integrazione con l'impianto e da un preciso sistema di regolazione. Pur avendo la tecnologia fatto enormi progressi, applicare una caldaia a biomassa direttamente sull'impianto provoca un funzionamento altamente discontinuo ed inefficiente. L'inserimento di un accumulo termico, costituito da un serbatoio d'acqua termicamente isolato e collegato direttamente alla mandata della caldaia tramite un'apposita pompa (l'acqua contenuta nell'accumulatore è pertanto la stessa che circola in caldaia e nell'impianto di riscaldamento) che funge da elemento di giunzione tra la caldaia e l'impianto, diviene quindi essenziale per permettere un'operatività più continua del generatore. Si beneficia in questo modo di un incremento del rendimento stagionale ed una maggiore longevità del generatore. La presenza di questo elemento che funge da volano termico innalza il comfort negli ambienti e stoccando opportunamente il calore ne consente il rilascio in un contesto temporale diverso da quello della sua generazione.

Il serbatoio inerziale va dimensionato in funzione della quantità di legna contenuta nella caldaia (Volume di Riempimento), della potenza termica nominale (P_n) e dal carico termico dell'edificio (P_{tot}). La formula che mette in relazione queste variabili con il volume dell'accumulatore (V_{acc}) è la seguente:

$$V_{acc} = (P_n - P_{tot}) \cdot (20 \cdot 0,7 \cdot \text{Potere cal.} \cdot \text{Volume di Riemp.}) / P_n$$

ma spesso nella pratica si utilizzano:

$$V_{acc} = 10 \cdot \text{Volume di riempimento}$$

$$V_{acc} = 40 \cdot P_n$$

La cubatura dell'edificio da riscaldare influisce sulla dimensione dell'accumulatore in modo negativo: a parità di caldaia a legna, tanto più piccola è l'abitazione e tanto più grande dovrà essere l'accumulatore per compensare i minori assorbimenti termici delle utenze. Nel caso di caldaie a cippato le dimensioni dell'accumulatore termico sono inferiori.

L'inserimento di un accumulo termico rende il sistema utilizzabile anche per la produzione di acqua calda sanitaria e facilita l'integrazione con altre fonti termiche quali l'energia solare, quella proveniente da pompe di calore o da altre fonti. Si ricorda che l'edificio F sarà già dotato di un accumulatore per l'impianto solare termico dedicato alla produzione di ACS (che proprio nei mesi di funzionamento della caldaia non arriva al 100% di copertura del fabbisogno). Con l'impiego della cella termica la produzione di acqua calda sanitaria avviene in modalità istantanea riscaldando solamente l'acqua utilizzata attraverso scambiatori ad elevata efficienza in rame, evitando così l'insorgenza di batteri legati alla stagnazione dell'acqua nei tradizionali bollitori. La scelta di un accumulo termico, anche se maggiormente onerosa, è ampiamente compensata negli anni dal risparmio di combustibile, dal comfort ottenuto e dalla più elevata durata dei componenti impiantistici (caldaia, camino, pompe).

L'evoluzione tecnologica oggi, specie con le caldaie a gasificazione di legna ed a pellet, controllate elettronicamente, ha permesso di raggiungere rendimenti termici superiori al 90% eguagliando le prestazioni di molti generatori a combustibili fossili (gasolio e gas) e garantire al contempo una forte riduzione degli agenti inquinanti emessi.

Esistono diverse tipologie di caldaie a biomassa per riscaldamento:

- Caldaie a fiamma inversa per la combustione di legna in ciocchi, così chiamate per la posizione della camera di combustione, situata al di sotto del vano nel quale viene caricata la legna (fig.54). Si tratta generalmente di caldaie provviste di una ventola per la circolazione forzata dell'aria comburente. In alcuni modelli (ad aria *soffiata*), la ventola è posta sul lato anteriore della caldaia e spinge l'aria all'interno facendola fluire attraverso il combustibile fino allo scarico dei fumi. In altri modelli la ventola è

situata posteriormente sulla bocca di uscita dei fumi e aspira i gas combustibili creando una depressione in caldaia che consente il richiamo dell'aria comburente dall'esterno. Una parte dell'aria (primaria) viene introdotta in caldaia immediatamente sopra la griglia sulla quale è appoggiata la legna. L'aria primaria consente l'avvio della combustione (fase di gassificazione), con formazione di uno strato di braci a contatto della griglia e lo sviluppo di gas combustibili derivanti dalla pirolisi del legno (soprattutto monossido di carbonio e idrogeno). I gas sprigionati vengono trascinati in basso attraverso la griglia e giungono nella camera sottostante, dove l'aggiunta dell'aria secondaria consente il completamento della combustione.

L'inversione della fiamma consente di ottenere una combustione progressiva della legna, che non prende totalmente fuoco nel vano di carico ma brucia solamente quando giunge in prossimità della griglia. Questo fa sì che la potenza erogata dalla caldaia sia più stabile nel tempo, e che la combustione possa essere meglio controllata. I modelli più avanzati si avvalgono di sistemi di regolazione a microprocessore, e raggiungono rendimenti termici oltre il 90%. Tra le innovazioni più significative, presenti anche in modelli di piccola potenza, vi è la regolazione dell'aria di combustione in base al fabbisogno di ossigeno, misurato nei fumi con apposita sonda (sonda lambda).



Fig. 54. (Fonte: Dott. Vittorio Bartolelli, Ing. Giorgio Schenone, Dott.ssa Chiara Artese, *Dossier caldaie a biomassa*, progetto Res & Rue Dissemination, realizzato da ITABIA).

- Caldaie a cippato. Per le caratteristiche di automazione e risparmio di esercizio, tali impianti sono particolarmente indicati per il riscaldamento di edifici di dimensioni medie o grandi. Un impianto di riscaldamento a cippato è costituito dai seguenti componenti (fig.55):

- Caldaia;
- Contenitore o apposito locale (silo) per lo stoccaggio del cippato (posto in un locale adiacente al locale caldaia);
- Sistema di movimentazione del combustibile;
- Centralina di regolazione;
- Eventuale accumulatore inerziale e bollitore per acqua sanitaria;

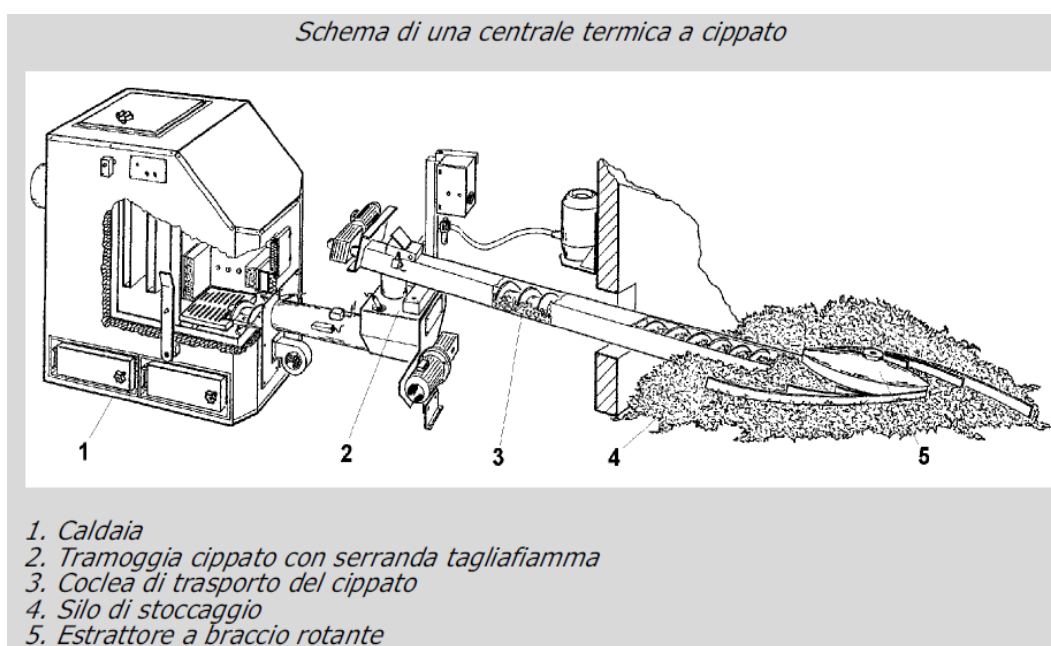


Fig. 55. (Fonte: Dott. Vittorio Bartolelli, Ing. Giorgio Schenone, Dott.ssa Chiara Artese, *Dossier caldaie a biomassa*, progetto Res & Rue Dissemination, realizzato da ITABIA).

La combustione avviene in caldaie a griglia che può essere fissa, per bruciare materiali fini e a basso contenuto di umidità, o mobile, per bruciare combustibili a pezzatura grossolana e ad alto contenuto di ceneri ed umidità (fino al 50%), quali le biomasse forestali fresche di taglio. Nei sistemi più avanzati il flusso di cippato e la combustione sono regolati in

continuo da un microprocessore in base alla richiesta di energia dell'utenza e alla temperatura e concentrazione di ossigeno dei fumi (regolazione lambda) e il sistema può modulare la potenza erogata mantenendo la combustione ottimale anche con combustibili diversi.

Il silo va dimensionato sulla base della potenza e del rendimento della caldaia, delle caratteristiche del combustibile e dell'autonomia richiesta. Il silo di stoccaggio può essere ricavato da un locale preesistente o costruito ex novo. In ogni caso deve essere accuratamente protetto da infiltrazioni di acqua.

- Caldaie a pellets (fig.56).

Le caldaie a pellets di piccola potenza sono dotate di un serbatoio per il combustibile di capacità generalmente limitata a qualche centinaio di litri.

L'autonomia è in questi casi di qualche giorno.

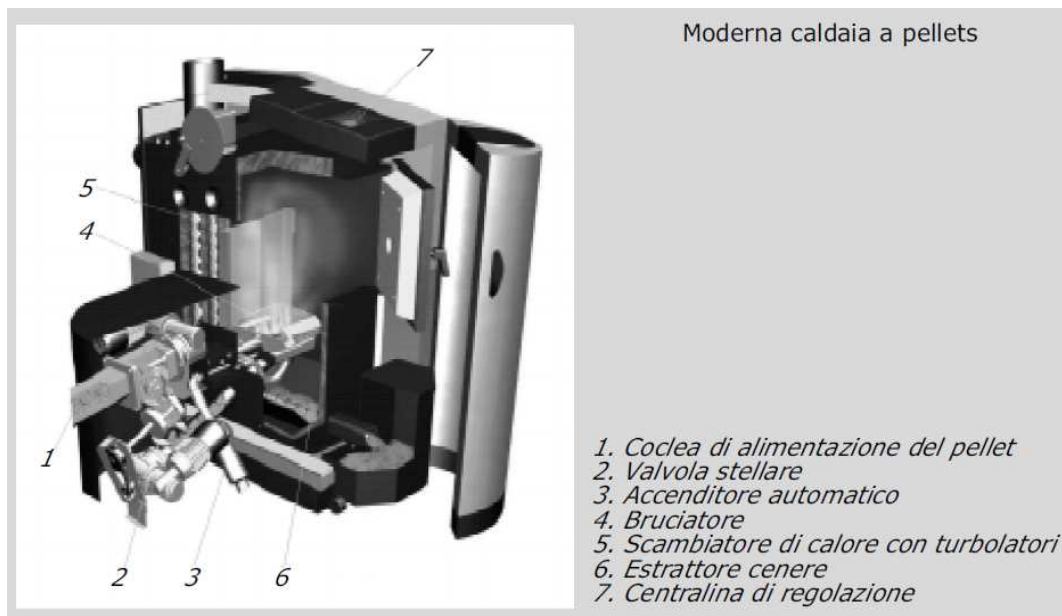


Fig. 56. (Fonte: Dott. Vittorio Bartolelli, Ing. Giorgio Schenone, Dott.ssa Chiara Artese, *Dossier caldaie a biomassa*, progetto Res & Rue Dissemination, realizzato da ITABIA).

In situazioni di blocco pressoché totale della circolazione di acqua in caldaia (interruzione dell'alimentazione elettrica o guasto della pompa di circolazione della caldaia) si interrompe l'asportazione del calore generato dalla

combustione della legna e, di conseguenza, la temperatura dell'acqua può salire fino a raggiungere e superare i 100° C. Oltre la soglia della temperatura di ebollizione la produzione di vapore causa un brusco aumento della pressione dell'impianto e, in mancanza di dispositivi di sicurezza adeguati, si può rapidamente giungere a una situazione di pericolo. Per scongiurare questo rischio, oltre che del termostato di sicurezza in dotazione a tutti i tipi di caldaia, le caldaie a legna sono dotate di uno scambiatore di calore di emergenza, costituito da un tubo a serpentina immerso nell'acqua della caldaia. Questo scambiatore deve essere collegato da un lato a una presa di acqua fredda e dal lato in uscita a uno scarico. Tra la presa di acqua fredda e la caldaia va interposta una valvola di sicurezza termica. Questa valvola è dotata di una sonda a bulbo di mercurio da inserire in un apposito pozzetto sulla caldaia che, in caso di emergenza, si apre meccanicamente.

Importanti dispositivi di sicurezza (serrande tagliafiamma, valvole stellari) che dovrebbero sempre essere installati negli impianti termici a cippato riguardano il sistema di alimentazione del combustibile, per impedire eventuali ritorni di fiamma dalla caldaia al silo di stoccaggio. Anche per questo motivo diversi modelli di caldaie a cippato sono dotati di dispositivi atti al controllo della pressione nel focolare.

Inoltre la legge italiana prevede che le caldaie a legna possono essere installate soltanto in impianti dotati di vaso di espansione aperto, posto nel punto più alto dell'impianto di riscaldamento (tipicamente nel solaio) e collegato direttamente alla caldaia da un tubo di sicurezza che in caso di emergenza deve consentire al vapore sviluppatosi in caldaia di fluire liberamente senza incontrare ostacoli fino al vaso di espansione aperto. Tuttavia la tecnologia attuale rende ormai inutilmente penalizzante e anacronistico l'obbligo del vaso di espansione aperto nelle caldaie a legna, ed è auspicabile che si giunga quanto prima a una revisione della normativa giuridica e tecnica in materia.

La realizzazione di un impianto termico con generatori a biomassa deve essere eseguita da un tecnico abilitato ai sensi della Legge 46/90 che deve rilasciare la dichiarazione di conformità e fornire tutte le indicazioni per il

corretto funzionamento, la manutenzione ordinaria e straordinaria da garantire al sistema. Il locale caldaia deve essere sufficientemente ampio per mantenere oltre al generatore di calore anche l'accumulo inerziale, l'impiantistica idraulica ed i sistemi di regolazione. Si deve inoltre lasciare uno spazio adeguato alla manutenzione in relazione alle specifiche dei diversi generatori ma comunque non inferiore a 60 cm dalle superfici perimetrali ed almeno 100 cm frontalmente al generatore. La superficie minima dovrà essere all'incirca 8-10 mq. Per gli impianti superiori a 35 kW la normativa vigente richiede una porta di accesso indipendente dall'esterno. Per questi impianti è necessario anche depositare il progetto della centrale termica ai vigili del fuoco ed effettuare comunicazione all'Istituto per la Sicurezza sul Lavoro (ISPESL).

L'areazione dovrà comunque essere adeguata alla portata termica del generatore. Un'attenzione particolare va prestata in relazione alla scelta del camino ed al suo dimensionamento. Si dovranno utilizzare materiali adatti resistenti alla temperatura ed alla corrosione (ad esempio l'acciaio inox), lo scarico dovrà essere adeguatamente coibentato e in grado di garantire un corretto tiraggio necessario all'espulsione dei fumi.

Gli impianti di riscaldamento a biomassa sono caratterizzati da alti costi di investimento e da bassi costi di esercizio. Come visto un importante parametro da considerare nella valutazione di fattibilità economica è il prezzo della biomassa. Nel caso della legna da ardere il costo va da zero (per chi dispone di legna propria) a circa 11 €/q. Nel caso del cippato il prezzo varia generalmente tra un minimo di 3 €/q a un massimo di circa 6 €/q. Il pellet è il combustibile biologico più costoso, variando da circa 15 a 20 €/q.

Nella stima di bilancio economico è necessario valutare anche eventuali incentivi pubblici, disponibili in qualche caso come contributi a fondo perduto, oppure come detrazioni d'imposta.

I requisiti e le procedure necessarie per accedere alle detrazioni fiscali previste dall'Art.1, comma 344 della legge finanziaria 2007, aggiornati al 10

maggio 2012, sono contenuti nel *Vademecum per l'uso: caldaie a biomassa* redatto dall'ENEA e riportato in Allegato 4.16.

A scopo esemplificativo si riporta un confronto fra caldaia a legna, cippato, pellets e caldaia a GPL per un'abitazione il cui fabbisogno per riscaldamento e ACS è di 45000 kWh/anno (equivalenti a 4.700 mc/anno di metano, 4.500 litri/anno di gasolio, 6.250 litri/anno di gpl, 130 quintali/anno di legna da ardere stagionata, 155 q/anno di cippato, 92 q/anno di pellets).

- Descrizione impianto: Caldaia a fiamma inversa da 20 kW, centralina di regolazione, accumulatore inerziale 1000 litri, bollitore sanitario 300 litri
- Investimento ipotizzato: 13.000 € compresa installazione e IVA 20%
- Detrazione Irpef 36% = 4.680 €
- Costo da ammortizzare: $13.000 - 4.680 = 8.320$ €
- Spesa per legna: 130 q a 11,00 €/q = 1.430 €/anno
- Spesa per cippato: 155 q a 5,00 €/q = 778 €/anno
- Spesa per pellet: 92 q a 18,00 €/q = 1.656 €/anno
- GPL risparmiato: 6.250 lt a 0,62 €/l = 3.870 €/anno
- Risparmio di esercizio (legna): $3.870 - 1.430 = 2.440$ €/anno (63%)
- Risparmio di esercizio (cippato): $3.870 - 778 = 3.092$ €/anno
- Risparmio di esercizio (pellet): $3.870 - 1.656 = 2.214$ €/anno
- Tempo di ritorno dell'investimento (legna): $8.320/2.440 = 3,4$ anni.
- Tempo di ritorno dell'investimento nel caso costo legna = 0:
 $8.320/3.870 = 2,1$ anni
- Tempo di ritorno dell'investimento (cip.): $8.320/3.092 = 2,7$ anni.
- Tempo di ritorno dell'investimento (pellet): $8.320/2.214 = 3,7$ anni.

Sulla base di tali dati si osserva come, al raddoppiare di potenza e fabbisogno i tempi di ritorno diventano, ad esempio nel caso della caldaia a legna, 2,4 anni (o 1,5 nel caso si disponga di legna).

Il dettaglio economico ed il piano finanziario del caso in esame, con le possibilità di incentivo e detrazioni previste dalla legge, sarà sviluppato in seguito alla decisione definitiva sull'impiego del generatore a biomassa. Si ricorda in questa sede che, come analizzato nel paragrafo 3.4 ed in particolare nell'Allegato 3.24, la potenza richiesta alla caldaia è di almeno 60 kW. Nell'Allegato 4.15 sono inserite le schede tecniche di alcune fra le caldaie a biomassa disponibili sul mercato, come valida indicazione di scelta. Sempre nel citato Allegato 3.24 infine, sono disponibili gli attestati energetici nel caso di impiego di biomassa. Come già osservato, va sottolineata la totale assenza di emissioni di CO₂ correlate all'edificio "F", oltre che la possibilità concreta di rendere l'edificio completamente indipendente da ogni fonte di energia esterna.

Tra le leggi e le norme utili alla progettazione e realizzazione dell'impianto termico alimentato a biomassa si richiamano:

- D.P.R. 1391/70
- Legge 46/90
- D.P.R. 25/07/91
- D.P.R. 412/93
- D.M. 05/02/98 n°72
- D.P.C.M. 08/03/02
- E0202585: Combustibili solidi non fossili sminuzzati. Determinazione della pezzatura.
- UNI 9016: Legno da ardere. Classificazione.
- UNI 9017: Legno da ardere. Determinazione delle caratteristiche energetiche.
- UNI 9220: Sottoprodotti e residui agricoli. Classificazione e determinazione delle caratteristiche energetiche.
- UNI 9249: Biomasse. Determinazione dell'azoto totale.
- UNI 9250: Biomasse. Determinazione del carbonio e dell'idrogeno.
- UNI 10199: Impianti ad acqua surriscaldata. Requisiti per l'installazione e metodi di prova.

- UNI 10412: Impianti di riscaldamento ad acqua calda. Prescrizioni di sicurezza.
- UNI 10683: Generatori di calore a legna. Requisiti di installazione.
- EN 13240
- EN 14785

Bibliografia essenziale

- [1] P. Caputo, *Impianti a biomassa*, Ed. Ambiente, collana Manuali di progettazione sostenibile, maggio 2011.
- [2] E. Cini, L. Recchia, *Energia di biomassa: un'opportunità per le aziende agricole*, Ed. Pacini, 2008.

Siti consultati

- <http://www.itabia.it>
- <http://www.enea.it>
- <http://www.aiel.cia.it>
- <http://www.fiper.it>
- <http://www.aper.it> – Associazione Produttori Energie Rinnovabili
- <http://www.consorziocear.com> – Consorzio Ener. Alternativa Riscaldamento
- <http://www.energeticambiente.it>
- <http://www.viessmann.it>
- <http://www.windhager.it>
- <http://www.holzfeuerung.ch>
- <http://www.baxi.it>
- <http://www.dcmcaldaie.it>
- <http://www.froeling.com/it>
- <http://www.eta-italia.it>
- <http://www.termocabi.it>

Conclusioni generali.

“Gran parte dell’impegno delle Compagnie petrolifere nel recente passato si è concentrato sul seminare dubbi e scetticismo presso l’opinione pubblica in tema di cambiamento climatico. [...] La Lobby dei combustibili fossili ha combattuto per anni l’introduzione di quote minime di energia da fonti rinnovabili nella distribuzione elettrica negli Stati Uniti. E nei rari casi in cui le società energetiche convenzionali si sono affacciate nel mercato delle energie verdi, hanno sempre seguito il tradizionale approccio della centralizzazione della produzione e l’alimentazione a senso unico della rete elettrica. [...]

Non è difficile vedere gli stessi lobbisti dell’industria automobilistica, del settore edile, della generazione e distribuzione elettrica, dell’IT e dei trasporti darsi da fare per l’approvazione di proposte di legge e politiche di regolamentazione contraddittorie, con conseguenze spesso sconcertanti e, talvolta, comiche. Una rete TRI distribuita e collaborativa ha bisogno di adattare le proprie attività di pressione politica alla propria missione volta a creare un mondo più trasparente, democratico, sostenibile e giusto.[...]

La scelta fra la costruzione di una super-rete centralizzata o una rete intelligente distribuita molto probabilmente determinerà il tipo di economia e di società che i nostri figli e nipoti ereditano.[...]

La Terza rivoluzione industriale, data la sua natura distribuita e collaborativa e la sua modalità di crescita laterale in territori contigui, favorisce le economie e le unioni politiche continentali.”

Jeremy Rifkin , *La Terza Rivoluzione industriale*. (Mondadori, 2011)

Il lavoro svolto è stato ispirato dall'idea "romantica" (ormai sempre più vicini alla reale necessità) di ristabilire un connubio armonioso tra l'uomo e l'ambiente che lo circonda. Immaginare una piccola comunità umana, con le sue esigenze abitative, le sue attività e la conseguente antropomorfizzazione del territorio, tentando di caratterizzarne un inserimento che sia in linea con principi di sostenibilità e che implichi uno "sfruttamento razionale" del territorio occupato stesso, in grado cioè di "consumare" il più limitatamente possibile le risorse naturali così da renderle disponibili in futuro. Anzi, in un'ottica di capovolgimento del problema, si è tentato di partire proprio dalla disponibilità delle risorse sul territorio, in particolare quelle energetiche rinnovabili, dato il costo d'intervento, per studiarne le possibilità d'impiego ed ipotizzare, sulla base di questo, non solo un'autosufficienza ma anche un progetto di sviluppo della comunità che abita quel determinato territorio. Questo riprendendo la filosofia che ha portato alla definizione di un'importante indicatore ambientale ma anche sociale: l'impronta ecologica.

Naturalmente si è partiti da una sintetica analisi del contesto attuale, focalizzando l'attenzione su due aspetti intrinsecamente legati allo sviluppo di una comunità, a prescindere dai fattori ambientali e climatici, economici, sociali e culturali. Essi sono appunto l'esigenza abitativa ed il consumo di energia.

Nel primo capitolo dunque, si è presentata una panoramica generale sulle problematiche connesse attualmente al settore dell'edilizia residenziale e agli ingenti consumi energetici imputabili, direttamente o indirettamente, a tale settore. Dopo aver individuato, fra le altre cose, la necessità di recuperare il patrimonio edilizio esistente, caratterizzato da una molteplicità di aspetti critici, e di sviluppare un approccio progettuale che affronti tali criticità in un'ottica globale, coinvolgendo professionalità afferenti a diversi ambiti, si è introdotto, sempre nel primo capitolo, il concetto di diagnosi e certificazione energetica come primo strumento di analisi ed intervento. Si è presentato, a tale proposito, uno studio sintetico sulle principali leggi e normative, nonché sulle metodologie di calcolo, sviluppate in ambito europeo (e internazionale), nazionale, regionale.

Al fine di conferire un taglio più specifico e concreto alla discussione, si è passato poi, nei capitoli successivi, allo studio di un caso pratico, riconoscendo nel realtà della Masseria Sant'Agapito quelle caratteristiche utili allo sviluppo della tesi e dell'idea progettuale. Ci si è riferiti volontariamente ad un contesto rurale e produttivo, relativamente ricco di risorse naturali rispetto ad un contesto urbano a forte densità demografica. Abbandonata in seguito allo spopolamento delle campagne negli anni '70 e '80, la Masseria è stata riabitata (e parzialmente recuperata) da un piccolo nucleo familiare e dall'indotto occupato stagionalmente nelle attività produttive dell'azienda agricola o creato dalla ricettività turistica della struttura. In questo caso quindi l'impatto sull'ambiente e sul territorio comprende , oltre a quello generato dall'insediamento vero e proprio, anche il complesso relativo alle attività ad esso associate, permettendo così di affiancare allo studio energetico del costruito in riferimento alla sua funzione residenziale, l'analisi di parametri più propriamente riferibili allo sviluppo economico e sociale del territorio.

Al secondo capitolo, dopo un inquadramento generale della Masseria e dell'agro circostante, si è passati allo studio delle strutture edilizie, concentrando l'attenzione in principio sull'edificio "C", adibito a b&b e agriturismo. Il processo i certificazione energetica, accompagnato dalla diagnosi strumentale, ha permesso di caratterizzare l'edificio da un punto di vista energetico in relazione sia ai parametri strettamente termotecnici dell'involucro, individuandone le patologie più critiche, sia ai consumi associati alla gestione. Sulla base di codici di priorità e considerato che l'edificio è stato ristrutturato e ben mantenuto nell'ultimo ventennio, si è suggerita una lista di interventi di efficientamento energetico, a partire dall'impianto termico, limitando gli interventi sull'involucro alla sostituzione degli infissi e valorizzando così la presenza della muratura portante in tufo, tipica dell'architettura vernacolare.

Nel capitolo terzo invece, l'ipotesi di recupero dell'edificio "F" ha dato l'opportunità di approfondire tutti quegli aspetti che caratterizzano un involucro termo efficiente. L'isolamento,ottenuto con soluzioni semplici e con l'impiego di materiali naturali a basso impatto ecologico; una progettazione attenta al

recupero dell'esistente ed alla funzionalità essenziale; il ricorso a tecniche bioedili all'avanguardia per il riscaldamento ed il raffrescamento passivo e la ventilazione naturale degli ambienti. Infine l'integrazione dei sistemi solari attivi, termico e fotovoltaico, e delle altre tecnologie impiegabili per la produzione di energia "pulita", di cui si discute ampiamente e dettagliatamente nel capitolo quattro.

Il tema dei consumi energetici della Masseria, in particolare quelli di energia elettrica, è stato affrontato i termini globali per l'intero complesso rurale e per tutte le attività ad esso connesse (residenziali e turistiche, gastronomiche e agricole, ludiche, culturali e sociali). Dopo lo studio delle strutture si passa dunque allo studio del "sistema energetico" della Masseria, considerandolo come un sistema ovviamente non isolato, ma specifico rispetto al macrosistema. Come dire che, dopo essersi assicurati dell'efficienza dell'intero sistema, si analizzano le reali possibilità di "autosufficienza" in relazione alla produzione (da fonti energetiche rinnovabili e disponibili all'interno del sistema) dell'energia consumata per mantenere e sviluppare il sistema (ovvero la Masseria).

Quanto esposto, in particolare al capitolo quattro, apre il campo ad un ulteriore dibattito, non privo di implicazioni politiche, riguardante la gestione dell'energia su vasta scala. Si è dimostrato infatti come, almeno negli ambiti analizzati, l'impiego delle fonti di energia rinnovabili, largamente diffuse ed universalmente accessibili grazie alle moderne tecnologie, offra l'opportunità di concepire un sistema distribuito e differenziato di generazione dell'energia (elettrica e termica) laddove viene richiesta, in dipendenza alla disponibilità in loco delle diverse fonti. Il territorio diventa dunque "custode di un'energia intrinseca", specificamente caratterizzata, le cui possibilità di sfruttamento sono imprescindibilmente legate alla sua capacità di rigenerazione, escludendo così ogni progressivo depauperamento delle risorse e del territorio stesso. Questo può essere, a mio avviso, il punto di partenza per la ridefinizione di un sistema di gestione dell'energia troppo improntato sulla centralizzazione degli impianti di produzione di grande taglia e delle rete di distribuzione, e ancora sostanzialmente dominato dal regime monopolistico. Cosa che a causa delle forti implicazioni in

termini ambientali, economici e sociali, rischia di vanificare le enormi potenzialità offerte dalla progressiva riconversione e dall'impiego delle F.E.R. E' quello che rischia di succedere ad esempio proprio in Puglia, dove negli ultimi anni si è assistito ad un notevolissimo (ed in ogni caso positivo e auspicabile) proliferare di "campi" solari e parchi eolici di grande potenza, a fronte di un utilizzo e di una gestione forse poco oculata della risorsa energetica, senza lo sviluppo prospettato per il territorio e con un sostanziale pericolo di blocco degli investimenti nel settore.

Il CD contiene i seguenti allegati:

- Allegato 1.1 - Regolamenti regionali certificazione energetica.
- Allegato 1.2 - Confronto Ecolabel-ITACA-LEED.
- Allegato 1.3 - Bozza V Conto Energia.

- Allegato 2.1 - Inquadramento Territoriale.
- Allegato 2.2 - Mappe catastali e planimetrie.
- Allegato 2.3 - Rilevamenti fotografici Sant'Agapito.
- Allegato 2.4 - Schede descrittive b&b.
- Allegato 2.5 - Relazione tecnica contenimento consumo energetico.
- Allegato 2.6 - Relazione tecnica b&b.
- Allegato 2.7 - ACE e Report DOCET.
- Allegato 2.8 - Prova termografica.

- Allegato 3.1 - Dettagli fotografici rudere.
- Allegato 3.2 - Relazione tecnico-illustrativa recupero rudere.
- Allegato 3.3 - Nuova relazione illustrativa.
- Allegato 3.4 - Tavole di progetto.
- Allegato 3.5 - Relazione igienico-sanitaria acque reflue.
- Allegato 3.6 - Esempi di stratigrafie (isolamento pareti esistenti).
- Allegato 3.7 - Prove stratigrafiche pareti esterne.
- Allegato 3.8 - Dataholtz pareti in legno massiccio.
- Allegato 3.9 - Schede materiali isolanti.
- Allegato 3.10 - Confronto proprietà materiali isolanti.
- Allegato 3.11 - Indirizzario aziende.
- Allegato 3.12 - Listino prezzi materiali isolanti.
- Allegato 3.13 - Cataloghi Celenit.
- Allegato 3.14 - Scheda progetto TIM.
- Allegato 3.15 - Estratto dal regolamento edilizio di Bologna.

- Allegato 3.16 - Scheda collegamento legnami.
- Allegato 3.17 - Carichi agenti sul tetto.
- Allegato 3.18 - Esempio verifica tetto.
- Allegato 3.19 - Stratigrafia copertura ventilata.
- Allegato 3.20 - Stratigrafia tetto in paglia.
- Allegato 3.21 - Tavole soleggiamento metodo Mattioni.
- Allegato 3.22 - Vetri Pilkington.
- Allegato 3.23 - Caldaie a condensazione.
- Allegato 3.24 - Certificazione edificio “F” (con software TERMUS Acca).

- Allegato 4.1 - Consumi ENEL Sant'Agapito.
- Allegato 4.2 - Manuale di autocostruzione di impianti solari termici.
- Allegato 4.3 - Collettori commerciali.
- Allegato 4.4 - Listino componenti Rete Solare per l'Autocostruzione.
- Allegato 4.5 - Report dimensionamento KacoCalc pro.
- Allegato 4.6 - Scheda tecnica moduli Bosch.
- Allegato 4.7 - Garanzie, certificati e manuale d'uso moduli solari Bosch.
- Allegato 4.8 - Scheda tecnica inverter Kaco e certificati.
- Allegato 4.9 - Manuale d'uso inverter Kaco.
- Allegato 4.10 - Relazione tecnica impianto FV.
- Allegato 4.11 - Piano economico impianto FV.
- Allegato 4.12 - Impianto fotovoltaico – tavole.
- Allegato 4.13 - Testi decreti Conto Energia.
- Allegato 4.14 - Aereogeneratore Jonica JIMP25.
- Allegato 4.15 - Caldaie a biomassa.
- Allegato 4.16 - Vademecum Enea caldaie a biomassa.

“Ora ditemi Voi come si fa a produrre e chi ha prodotto la terra, i metalli, il carbon fossile, le pietre e le cose simili. Queste cose, o che l'abbia fatte Dio o che ci siano per opera della natura, è certo che tutti, venendo al mondo, ce le abbiano trovate; dunque dovrebbero servire a tutti. Che direste Voi se i Signori si volessero impadronire dell'aria per servirsene Essi: [...] che se ne trovassero il mezzo, farebbero dell'aria quello che hanno fatto colla terra.”

Errico Malatesta, *Fra contadini – Dialogo sull'anarchia*, Ragusa 1972.

Ringraziamenti

Il primo ringraziamento, doveroso, al prof. Cesare Biserni, che pazientemente mi ha seguito nel lavoro di tesi, e al prof. Enrico Lorenzini, che mi ha dato la possibilità e lo stimolo per insistere e realizzarlo.

Un grazie al prof. GianMaria Gasperi, presidente di AFORIS, e all'ingegner Salvatore Di Croce, per il prezioso aiuto e per la strumentazione messa a disposizione.

Un grazie particolare all'ingegner Giovanni Pitta, che con il suo tavolo da disegno, mi ispirò fin da bambino, conducendomi alla passione ed allo studio di questa materia.

Grazie naturalmente ai miei genitori, che, come si dice nonostante tutto, hanno sempre creduto nei miei progetti e mi hanno appoggiato e aiutato con ogni mezzo.

E grazie ai miei nonni, che mi hanno insegnato a fare le cose con calma, ma bene.

Infine grazie a tutti i miei compagni/e (e ad Arco), che mi hanno sopportato nei momenti di maggiore stress.

E a mio fratello Alessio, che mi ha sempre chiesto:

...ma perché?