

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA

Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio
Tesi di Laurea in Geomatica LS

Monitoraggio con tecnica GNSS di edifici a rischio frana

Impianto della sperimentazione di
Gaggio Montano

Tesi di Laurea di:
Federico Casali

Relatore:
Prof. Maurizio Barbarella
Correlatore:
Dott. Luciano Ricucci

Anno Accademico 2007 / 2008 – Sessione III

Ai miei genitori Maura e Paolo

Indice

INDICE DELLE FIGURE	9
INTRODUZIONE	13
CAPITOLO 1. IL MONITORAGGIO DI STRUTTURE E DEL TERRITORIO	15
1. I SISTEMI DI MONITORAGGIO DELLE FRANE	15
2. IL MONITORAGGIO REALIZZATO A GAGGIO MONTANO	17
2.1. <i>Tecniche GNSS</i>	17
2.2. <i>Contenimento dei costi</i>	18
3. ESPERIENZE PREGRESSE DI MONITORAGGIO GNSS.....	19
3.1. <i>Monitoraggio del territorio: la frana di Ancona</i>	19
3.1.1. Misure.....	20
3.1.2. Trasmissione dati.....	21
3.1.3. Piattaforma software.....	23
3.1.4. Principali differenze con la sperimentazione di Gaggio	24
3.2. <i>Monitoraggio di strutture: il ponte di Bristol</i>	24
CAPITOLO 2. SPERIMENTAZIONE DEL 2006 / 2007 A GAGGIO MONTANO	27
1. SCELTA DEL SITO PER LA SPERIMENTAZIONE.....	28
1.1. <i>Requisiti richiesti</i>	28
1.2. <i>Descrizione della frana</i>	30
2. MATERIALIZZAZIONE DELLA RETE	32
3. STRUMENTAZIONE SEPA.....	34
4. DATI OTTENUTI: PRE-ELABORAZIONE E ANALISI.....	35
4.1. <i>Elaborazione post acquisizione</i>	36
4.2. <i>Analisi dei dati</i>	38
4.2.1. <i>Analisi di effetti periodici</i>	38
4.2.2. <i>Andamento degli effetti periodici</i>	39
5. STRUTTURA DEI DATI POST-ELABORAZIONE.....	40
6. CRITICITÀ EMERSE E POSSIBILI ALTERNATIVE	41
6.1. <i>Problema della materializzazione dei punti</i>	41
6.2. <i>Limitazione a punti intervistabili</i>	43
6.2.1. <i>La trasmissione Wlan</i>	44
6.2.2. <i>WiMAX</i>	46

6.2.3.	Radio	46
6.2.4.	GSM e GPRS	47
6.2.5.	Trasmissione satellitare.....	48
6.3.	<i>Copertura satellitare</i>	48
6.4.	<i>Analisi e filtraggio dei dati</i>	51
CAPITOLO 3. LA NUOVA RETE DI MONITORAGGIO		53
1.	STRUTTURA DELLA RETE	55
2.	INSERIMENTO DEL CENTRO DI CONTROLLO NELLA RETE BOPOS	57
3.	NUOVA MATERIALIZZAZIONE.....	59
3.1.	<i>Studio e progettazione delle componenti</i>	59
3.2.	<i>Realizzazione dei pezzi</i>	63
3.2.1.	Costo indicativo della struttura per una singola installazione	67
4.	STRUMENTAZIONE LEICA	68
4.1.	<i>Hardware</i>	68
4.2.	<i>Software</i>	71
5.	STATO DI INSTALLAZIONE DELLA RETE.....	72
CAPITOLO 4. LISCIAMENTO DATI: CENNI DI TEORIA E SOFTWARE UTILIZZATO 75		
1.	SMOOTHING DATA	76
2.	DESCRIZIONE DEI SOFTWARE UTILIZZATI.....	77
2.1.	<i>MatLab</i>	77
2.2.	<i>Octave</i>	78
2.3.	<i>Gnuplot</i>	79
2.4.	<i>Bash Script</i>	80
3.	LE TECNICHE DI SMOOTHING DA LIBRERIA MATLAB	80
3.1.	<i>Media mobile – moving average</i>	83
3.2.	<i>Lowess e loess</i>	84
3.2.1.	Poliomio di minimi quadrati.....	84
3.2.2.	Algoritmo di calcolo filtro lowess / loess	85
3.3.	<i>Algoritmo di calcolo varianti robuste rlowess / rloess</i>	87
3.4.	<i>Savitzky-Golay</i>	89
CAPITOLO 5. ELABORAZIONE DATI.....		93
1.	RUMORE E PERIODICITÀ	94
2.	STUDIO DELLE CARATTERISTICHE DEI FILTRI	96
2.1.	<i>Serie temporali lisiate</i>	96

2.1.2.	Realizzazione dei grafici.....	97
2.2.	<i>Calcolo del residuo e variazione in funzione dell'intervallo di smoothing</i>	102
3.	ANALISI DI EFFETTI PERIODICI.....	105
3.1.	<i>Dati nulli e periodicità</i>	105
3.2.	<i>Indice di correlazione</i>	109
3.3.	<i>Indice di correlazione su dati lisciati</i>	112
4.	CORREZIONE DEI DATI SULLA BASE DEI GIORNI PRECEDENTI.....	114
4.1.	<i>Costruzione del modello</i>	115
4.2.	<i>Risultati della applicazione del modello</i>	118
CAPITOLO 6.	TEST DELLA STRUMENTAZIONE A INGEGNERIA	123
1.	INSTALLAZIONE	123
2.	SOFTWARE SPIDER	127
2.1.	<i>File Products: Post Processing</i>	129
2.2.	<i>File Products: Real Time positioning</i>	129
3.	ACQUISIZIONE E GESTIONE DEI DATI.....	135
3.1.	<i>Scala temporale</i>	135
3.2.	<i>Operazioni sulla struttura del file</i>	137
4.	RISULTATI DEL RILIEVO	140
4.1.	<i>Caratteristiche dei dati acquisiti</i>	140
4.2.	<i>Elaborazione dati: applicazione degli algoritmi</i>	144
CONCLUSIONI.....		151
APPENDICE A		155
CENSIMENTO FILE: DATI DISPONIBILI E TRIPLETTE DI DATI NULLI		155
CORREZIONE DEL GIORNO 95		159
<i>Sensore 2</i>		159
<i>Sensore 3</i>		162
APPENDICE B.....		167
SCRIPT OCTAVE / MATLAB		168
<i>dati</i>		168
<i>dati_ciclo</i>		169
<i>controllo_nan.m</i>		170
<i>somma_nan.m</i>		170
<i>completa.m</i>		171
<i>siderali.m</i>		172
SCRIPT GNUPLOT.....		173

<i>lisciam_21.plt</i>	173
SCRIPT BASH	174
<i>controllo_nan</i>	174
<i>somma_nan</i>	176
<i>modello</i>	177
<i>correlazione</i>	179
<i>correlazione_TM</i>	180
<i>llq2oct</i>	181
BIBLIOGRAFIA	183
SITI WEB	185
RINGRAZIAMENTI	189

Indice delle figure

FIGURA 1 POSTAZIONI INSTALLATE SUL CORPO E SUL PERIMETRO DELLA FRANA DI ANCONA ...	22
FIGURA 2 DORSALE DI COMUNICAZIONE CHE COLLEGA LE POSTAZIONI PRINCIPALI CON IL MUNICIPIO DI ANCONA (ASTERISCO IN ROSSO).....	22
FIGURA 3 IL FIRST SEVERN BRIDGE, IN ROSSO LA POSIZIONE DEI 3 SENSORI GPS.....	26
FIGURA 4 MOVIMENTI VERTICALI, T DI ACCIAIO E ARIA IN CORRISP. DEL SENSORE DI MEZZERIA	26
FIGURA 5 DATI GREZZI RELATIVI AGLI SPOST. ORIZZ. IN MEZZERIA E MEDIE MOBILI A 5 E 30 MIN.	26
FIGURA 6 CARTA GEOLOGICA DEL COMUNE DI GAGGIO MONTANO SCALA 1:10000.....	31
FIGURA 7 CARTA GEOLOGICA 1:5000 DEL COMUNE DI GAGGIO MONTANO CON INDICAZIONE DELLA POSIZIONE DEI SENSORI: (1) MUNICIPIO (2) CIMITERO (3) SCUOLA	33
FIGURA 8 SEGNI DEL DISSESTO SUI MURI DEL CIMITERO DI GAGGIO.....	33
FIGURA 9 ANDAMENTO DELLA FUNZIONE DI AUTOCORRELAZIONE, SENSORE 2, SETTIMANA SIDERALE 2.....	39
FIGURA 10 ANDAMENTI GIORNALIERI SOVRAPPOSTI FILTRATI CON MEDIA MOBILE.....	39
FIGURA 11 STRUTTURA DEI DATI RELATIVI ALLA I SPERIMENTAZIONE COME DA RAGGRUPPAMENTO IN GIORNI SIDERALI	40
FIGURA 12 DATI RELATIVI AD UNA INTERA SETTIMANA SIDERALE DI ACQUISIZIONE(SPERIMENTAZIONE DEL 2006).....	42
FIGURA 13 ANTENNA DIREZIONALE WIRELESS.....	45
FIGURA 14 NUMEROSITÀ DI SATELLITI, SOLO GPS, SOLO GALILEO, ENTRAMBI	50
FIGURA 15 VALORE D.O.P: SOLO GPS, SOLO GALILEO, ENTRAMBI	50
FIGURA 16 DIAGRAMMA DI GANTT DELLA SPERIMENTAZIONE IN CORSO A GAGGIO	54
FIGURA 17 DISLOCAZIONE DEI SENSORI DELLA RETE A GAGGIO MONTANO (GOOGLE EARTH)..	55
FIGURA 18 SCHEMA DELLA NUOVA RETE DI MONITORAGGIO	56
FIGURA 19 CONFIGURAZIONE DELLA RETE BoPoS (FONTE GOOGLE EARTH).....	58
FIGURA 20 PROVA E DEFORMAZIONE I	61
FIGURA 21 PROVA E DEFORMAZIONE II	62
FIGURA 22 ANTENNA LEICA LEIAX 1202GG E RICEVITORE LEICA SYSTEM1230GG.....	70
FIGURA 23 ANTENNA E RICEVITORE INTEGRATO LEICA GMX901	70
FIGURA 24 ANTENNA LEICA LEIAX 1202GG (DX) E RICEVITORE LEICA GMX902GG (SX)	70
FIGURA 25 ESEMPIO ARMADIETTO PER POSTAZIONE FISSA ROVER GPS	71
FIGURA 26 SUPPORTO ANTENNA INSTALLATO ALLA SCUOLA DI GAGGIO	73
FIGURA 27 SUPPORTO ANTENNA INSTALLATO AL CIMITERO DI GAGGIO	73

FIGURA 28 SCREENSHOT MATLAB.....	78
FIGURA 29 SCREENSHOT OCTAVE.....	79
FIGURA 30 SCHEMA DELLE FUNCTION DI MATLAB.....	81
FIGURA 31 FUNZIONE DEI PESI PER L'ALGORITMO LOWESS - LOESS	86
FIGURA 32 EFFETTO DELL'APPLICAZIONE DELL'ALGORITMO RLOWESS	89
FIGURA 33 EFFETTO DELL'APPLICAZIONE DELL'ALGORITMO SAVITZKY GOLAY	91
FIGURA 34 DATI ORIGINALI (NERO) E ANDAMENTO DELLA MEDIA MOBILE (BLU).....	95
FIGURA 35 DATI ORIGINALI (NERO) E ANDAMENTO DEL FILTRO SAVITZKY-GOLAY (ROSSO).....	95
FIGURA 36	99
FIGURA 37	100
FIGURA 38	101
FIGURA 39 VALORE DEL RESIDUO E TEMPI DI ELABORAZIONE IN FUNZIONE DELLA VARIAZIONE DELL'INTERVALLO DI ELABORAZIONE DEI DATI PER VARI METODI DI LISCIAMENTO DELLE CURVE.....	103
FIGURA 40 VALORE DEL RESIDUO E TEMPI DI ELABORAZIONE IN FUNZIONE DELLA VARIAZIONE DELL'INTERVALLO DI ELABORAZIONE DEI DATI E DEL GRADO DEL POLINOMIO SAVITZKY- GOLAY	104
FIGURA 41: SOVRAPPOSIZIONE DELLE SERIE TEMPORALI LISCIATE CON I DIVERSI METODI RELATIVE A 4 GIORNI DELLA PRIMA SETTIMANA	106
FIGURA 42 NUMERO DI DATI NULLI PER OGNI SECONDO DI CIASCUN GIORNO SIDERALE COMPLETO	108
FIGURA 43 INDICE DI CORRELAZIONE TRA IL GIORNO 96 E I GIORNI ANTECEDENTI.....	111
FIGURA 44 INDICE DI CORRELAZIONE TRA IL GIORNO 96 E I DATI LISCIATI DEI GIORNI PRECEDENTI.....	113
FIGURA 45 IN ALTO: IN VERDE MODELLO SGOLAY A 3 GIORNI (92-93-94) E IN BLU MODELLO SGOLAY A 45 GIORNI (DA 50 A 94), PER LA COMPONENTE ΔUP DEL SENSORE S2. IN BASSO: CORREZIONE DEL GIORNO 95 (DATI ORIGINALI IN ROSSO) CON I MODELLI A 3 GG (IN VERDE)E A 45 GIORNI (BLU).....	119
FIGURA 46 INSTALLAZIONE TEST A INGEGNERIA	124
FIGURA 47 INSTALLAZIONE TEST A INGEGNERIA - PARTICOLARE.....	124
FIGURA 48 SCHEMA DELL'INSTALLAZIONE	125
FIGURA 49 MESSAGGIO LLQ DISPONIBILE SU PORTA ETHERNET.....	134
FIGURA 50 SCHEMA DELLE OPERAZIONI ESEGUITE SUL MESSAGGIO NMEA LLQ.....	139
FIGURA 51 RILIEVO TEST A INGEGNERIA - DATI GREZZI RELATIVI AI 21 GIORNI SIDERALI ACQUISITI	142
FIGURA 52 GIORNO SIDERALE 7 DEL RILIEVO - DATI ORIGINALI E LISCIATI	143

FIGURA 53 INDICE DI CORRELAZIONE CALCOLATO SUI DATI GREZZI E LISCIATI DEI GIORNI SIDERALI DA 2 A 21 RISPETTO AL 1° GIORNO SIDERALE	145
FIGURA 54 GIORNO 27 FEBBRAIO - COMPONENTE EST - CORREZIONE CON MODELLO BASATO SU SAVITZKY GOLAY A 2 GIORNI. GRAFICO A DX FINESTRA TEMPORALE DI 1/2 ORA.	147
FIGURA 55 GIORNO 27 FEBBRAIO - COMPONENTE EST - CORREZIONE CON MODELLO BASATO SU MEDIA MOBILE A 2 GIORNI. GRAFICO A DX FINESTRA TEMPORALE DI 1/2 ORA.	148
FIGURA 56 GIORNO 27 FEBBRAIO - COMPONENTE NORD - CORREZIONE BASATA SU MODELLO SAVITZKY GOLAY. GRAFICO A DX FINESTRA TEMPORALE DI 1/2 ORA.	150

Introduzione

Il presente elaborato di Tesi si inserisce all'interno della sperimentazione in corso presso il DISTART della facoltà di Ingegneria di Bologna, riguardante l'impianto di una rete di sensori GNSS per il monitoraggio di edifici pubblici in area a rischio frana a Gaggio Montano (BO). L'obiettivo della sperimentazione è valutare l'efficacia delle tecnologie GNSS a basso costo per il monitoraggio di edifici, sia in modalità real time che attraverso l'analisi di serie temporali di lungo periodo.

La realizzazione di una rete di monitoraggio del territorio comporta l'analisi di molteplici aspetti:

- rapporto con le autorità;
- rapporti con le aziende, le officine private per la fornitura della strumentazione e degli accessori, con l'ente finanziatore;
- struttura e tipologia del rilievo (n° sensori, tipo di ricevitori, rate di acquisizione,...);
- problemi di ordine pratico (tempistiche, materiali, condizioni ambientali che impediscono i lavori...).

Una parte del lavoro ha riguardato la progettazione e l'impianto della nuova rete di monitoraggio. Questa fase si è concretizzata attraverso la realizzazione di un sistema di supporto modulare per le antenne GNSS, e con la materializzazione di due punti (Cimitero e Scuola) a Gaggio. Prima di procedere con la realizzazione della rete si è preferito effettuare una installazione test a Ingegneria.

Questo ha permesso, utilizzando la strumentazione e il software che verranno installati a Gaggio Montano, di ottenere una serie temporale di tre settimane di dati, utili al fine di evidenziare caratteristiche e operazioni da svolgere su di essi.

La progettazione e realizzazione della nuova rete di monitoraggio viene descritta nel capitolo II e III, mentre l'installazione test e i risultati ottenuti da essa vengono descritti nel capitolo VI.

Una seconda parte piuttosto consistente del lavoro ha riguardato il trattamento statistico e l'analisi numerica dei dati, con lo scopo di sviluppare tecniche di miglioramento della precisione tramite correzione con modelli previsionali. Nel capitolo IV sono descritte le basi teoriche riguardanti il lisciamiento dati e gli algoritmi disponibili a questo scopo in MatLab. Nel capitolo V sono contenuti i risultati dell'analisi sulla periodicità dei dati e la descrizione dell'algoritmo sviluppato per la costruzione del modello previsionale, insieme ad una sua applicazione a scopo di confronto.

Capitolo 1.

Il monitoraggio di strutture e del territorio

Il monitoraggio consiste nello studio dei movimenti di punti appartenenti ad un oggetto nel tempo e nell'analisi critica del loro significato tramite rilievi eseguiti periodicamente. Dai dati raccolti si vuole determinare se l'oggetto si muove, la sua velocità assoluta e relativa, la variazione di spostamento nel tempo. A seconda della velocità attesa che avrà l'oggetto da monitorare è richiesta una precisione diversa: si pensi ad un sistema di monitoraggio dei veicoli per una azienda di trasporti, piuttosto che un sistema di monitoraggio delle deformazioni di una grande opera civile (ponti, dighe, ...).

1. I sistemi di monitoraggio delle frane

Nel monitoraggio di strutture o del territorio allo scopo di sorvegliare il movimento di fenomeni franosi esistono varie tecniche per l'acquisizione di dati.

Le finalità, diverse a seconda della tecnica utilizzata, possono comprendere:

- Delimitazione reale e volumetrica dei fenomeni franosi;

- Studio della loro evoluzione spazio-temporale;
- Attuazione di misure di allerta e prevenzione.

Le tecniche a oggi utilizzate, in particolare nell'ambito della Protezione Civile sono:

1. Monitoraggio con strumentazione geotecnica in foro (inclinometri)
2. Controllo e misurazione della falda nel sottosuolo (con piezometri)
3. Misure di livello e di portata dell'acqua drenata (trasduttori di pressione, pompe, stramazzi)
4. Celle di carico;
5. Prospezioni sismiche dell'area;
6. Supervisione tecnica dell'area oggetto dell'intervento;

Si hanno anche altri strumenti disponibili che , almeno per ora, rimangono a una fase di utilizzo sperimentale o di applicazioni test:

1. Monitoraggio con strumentazione geotecnica di superficie (estensimetri e fessurimetri);
2. Monitoraggio topografico di precisione mediante l'uso di stazione ottica totale, livello e strumentazione GNSS.

Le tecniche di monitoraggio elencate si distinguono per le informazioni che permettono di ottenere. Tramite un monitoraggio con rilievo GNSS si hanno informazioni sullo spostamento dei punti in area di dissesto, ad esempio si può ottenere una mappatura delle velocità di punti distinti, ma non permette di descrivere il corpo frana in dettaglio. Se si vuole descrivere l'area di dissesto dal punto di vista geotecnico (estensione e profondità della superficie di scivolamento, livello di falda, ecc.) saranno necessari piezometri, inclinometri e celle di carico. L'ideale sarebbe far coesistere più tecniche differenti.

2. Il monitoraggio realizzato a Gaggio Montano

Nella sperimentazione di Gaggio Montano avviata dal DISTART si è scelto di utilizzare una tecnica di monitoraggio da applicare agli edifici con un duplice obiettivo:

1. Valutare la possibilità di realizzazione di un sistema di pre-allarme della popolazione e del personale addetto al controllo nel caso di cedimenti o movimenti improvvisi
2. Studiare il trend a lungo termine del movimento franoso attraverso l'acquisizione di una serie temporale consistente di dati.

Nel primo caso è necessario avere un sistema molto preciso, che permetta di “vedere” i più piccoli spostamenti in tempo reale o quasi reale e con una buona affidabilità. Nel caso del movimento a lungo termine invece è possibile un'analisi a posteriori di serie di dati lunghe, eliminando errori e sistematismi.

2.1. Tecniche GNSS

Si è scelto di lavorare con tecniche di monitoraggio GNSS (Global Navigation Satellite System), cioè utilizzando il rilievo satellitare. Attualmente sono disponibili le costellazioni di satelliti americana G.P.S. (Global Positioning System) e russa GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System), mentre per la costellazione GALILEO sviluppata dall'UE è prevista la piena operatività nel 2013.

	GLONASS	G.P.S.	GALILEO
Numero di satelliti	24	30	30 (a regime)
Numero di piani d'orbita	3	6	3
Inclinazione orbita	64°8'	55°	56°
Altitudine	19140 km	20180 km	24000 km

Durata dell'orbita	11h 15m	11h 58m	14h 4m
Base di lancio	Baikonur	Cape Canaveral	Baikonur
Vettore	Proton K / Dm2	Delta II	Soyuz – FG
Anno primo lancio	1982	1978	2005
Orologio Precisione	Cesio $1.8 * 10^{-9}$ s / day	Cesio e rubidio 10^{-8} s / day	Rubidio 10^{-9} s / day

Tabella 1 Caratteristiche della costellazione GPS, GLONASS e GALILEO

La precisione e l'affidabilità dei rilievi per il monitoraggio dipende fortemente dalla possibilità di ricevere il segnale da più satelliti ben localizzati in cielo, mentre la posizione delle frane e delle costruzioni sulle zone a rischio spesso non soddisfano questa condizione: l'utilizzo della costellazione GLONASS e (in futuro) GALILEO dovrebbe apportare dei miglioramenti alla precisione. L'entità di questi miglioramenti è da quantificare con rilievi continuativi tramite "test area" sul territorio, come già avviato con il progetto MONITOR¹ del 2006.

2.2. Contenimento dei costi

Per lo studio realizzato in questo lavoro di tesi saranno impiegate antenne e ricevitori GNSS, in particolare il sistema di monitoraggio satellitare realizzato dall'azienda Leica che viene descritto a pag.68. Più in generale, l'obiettivo della sperimentazione vuole anche essere quello di individuare metodi di rilievo ed analisi a basso costo, che possano andare a costituire un sistema di allerta (legato quindi a determinate soglie di pericolo) operante in tempo reale o quasi reale. Viste sul territorio le tante situazioni potenzialmente pericolose derivanti

¹ MONITOR = progetto commissionato dall'Unione Europea attraverso il Galileo Joint Undertaking (riferimento: Galileo Activities 2nd Call; EU's 6th Framework Programme for Research and Technology Development, AREA 1A: GNSS for Special User Community) www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/progetti_europei/archivio/Monitor.htm

da fenomeni franosi, una Pubblica Amministrazione o qualunque ente coinvolto nella difesa dal rischio idrogeologico, potrebbe trarre vantaggio da questo tipo di sistema. Per favorire la diffusione di questa metodologia di controllo è determinante l'analisi e il contenimento dei costi, questo significa:

- utilizzo di ricevitori e strumentazione dal costo contenuto;
- metodologie di realizzazione semplificate, con uno studio di supporti modulari facilmente installabili;
- automazione del sistema di acquisizione / trattamento dati, e della procedura di allerta.

3. Esperienze pregresse di monitoraggio GNSS

Sono già state avviate varie sperimentazioni di monitoraggio del territorio e di edifici con rilievo satellitare. In particolare questa tecnica risulta vincente rispetto alle tecniche tradizionali quando si ha difficoltà nel delimitare la portata del fenomeno e quindi nell'individuare zone stabili vicine che facciano da riferimento. A questo proposito il GNSS consente portate teoricamente illimitate, conservando buona precisione anche a grandi distanze: si supera il problema dell'inquadramento dell'area controllata cercando i punti fissi a grande distanza.

Si riportano due progetti interessanti, uno realizzato in Italia riguardante il monitoraggio di una frana di elevate dimensioni, e l'altro realizzato in Inghilterra per studiare l'applicazione del rilievo satellitare nel monitoraggio di grandi strutture (ponti, dighe).

3.1. Monitoraggio del territorio: la frana di Ancona

Il 13 dicembre del 1982 si è verificato ad Ancona un movimento franoso su una superficie di circa 340 ettari, con profondità fino a 100 m. I danni sono sta-

ti ingenti, con centinaia di abitazioni danneggiate, oltre alla ferrovia Adriatica, reti di distribuzione di acqua, gas, elettricità. In seguito alla catastrofe lo Stato Italiano ha stanziato svariati miliardi di lire per la ricostruzione, e sono state emanate delle ordinanze di sgombero che riguardavano gli edifici posti nell'area di frana. Nonostante questo molte abitazioni (circa 70) sono ancora occupate, pur essendo all'interno dell'area a rischio. Il Comune di Ancona perciò ha richiesto alla Regione Marche di emettere una Prescrizione di agibilità legata a:

- attivazione di un monitoraggio in continuo dell'area in frana con strumentazione di tipo geodetico e di tipo geotecnico;
- redazione di un piano di emergenza.

L'opera di monitoraggio in continuo è stata realizzata dalla Leica, individuando vari punti di controllo sia interni che esterni all'area di frana. Con riferimento alla Figura 1 sono state materializzate:

- 3 postazioni esterne all'area soggetta a rischio frana + 5 postazioni di controllo interne all'area a rischio classificate come postazioni principali;
- 26 postazioni di controllo secondarie poste sulle abitazioni.

Dal 3 novembre 2008 è operativo il controllo 24 ore su 24 del monitoraggio superficiale della frana. Questo consentirà il rilascio dei primi certificati di abitabilità temporanea per i residenti della zona.

3.1.1. Misure

La strumentazione comprende 7 stazioni totali robotiche automatizzate, 8 sensori GPS doppia frequenza e 26 sensori GPS singola frequenza. L'installazione si differenzia a seconda dei punti. Sulle postazioni di controllo principali, sia interne che esterne all'area a rischio, sono stati installati:

- Sensore GPS GRX1200 a Doppia Frequenza
- Stazione Robotica TCA2003
- Inclino metro biassiale NIVEL210

Il tutto ancorato ad un pilone di cemento armato che si inserisce nel sottosuolo, protetto da una struttura prefabbricata.

Sulle abitazioni invece la strumentazione si riduce a:

- Sensore GPS GX1210 a Singola Frequenza installata sul tetto degli edifici
- Prismi da monitoraggio

La stazione robotica esegue in automatico misure su prismi passivi posizionati sulle abitazioni presenti sia nell'area interessata dal dissesto (punti di monitoraggio) che al di fuori di essa (punti di riferimento). I cicli di misura si ripetono ogni 30 minuti (24 ore su 24) e sono multiple su ogni punto, per un controllo qualitativo delle deviazioni standard sulle misure.

I sensori GPS L1 / L2 GRX 1200 sono impostati per effettuare dei cicli di misura di 6 ore con rate di acquisizione 15 secondi e hanno una capacità di archiviazione dati on-board di 32MB.

L'inclinometro biassiale serve per il controllo della stabilità statica delle postazioni principali della rete di 1° e 2° livello, misurando le inclinazioni su 2 assi ortogonali X e Y insieme alla misura della temperatura interna. Il rate di acquisizione è a 10 secondi.

3.1.2. Trasmissione dati

La trasmissione dati avviene tramite una dorsale di comunicazione basata su tecnologia wireless HyperLan che collega le postazioni principali con il Municipio di Ancona in cui è posto il centro di controllo del sistema, e permette la comunicazione Real Time con elevata velocità di trasferimento (7 MB/s).

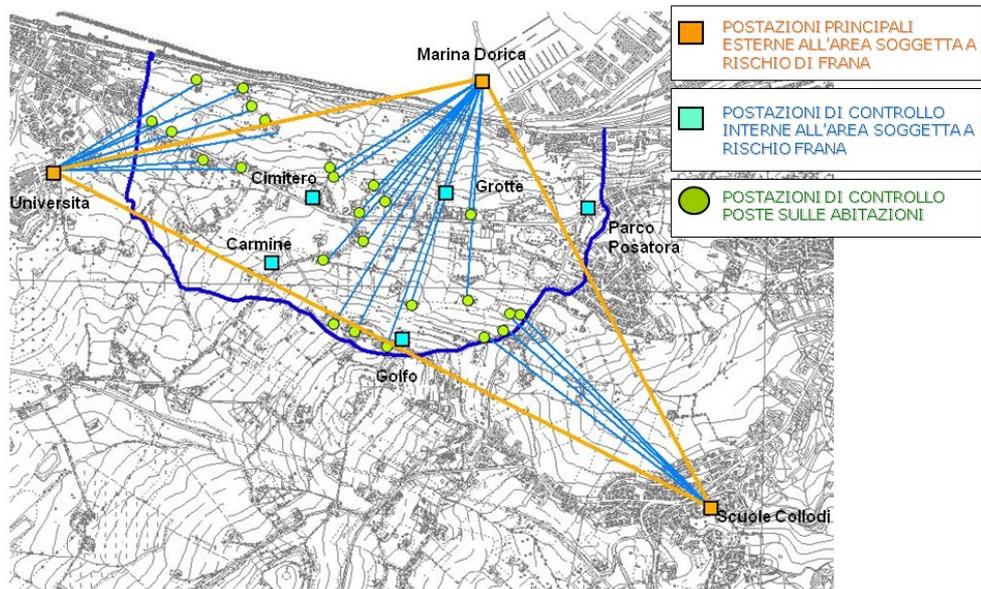


Figura 1 Postazioni installate sul corpo e sul perimetro della frana di Ancona

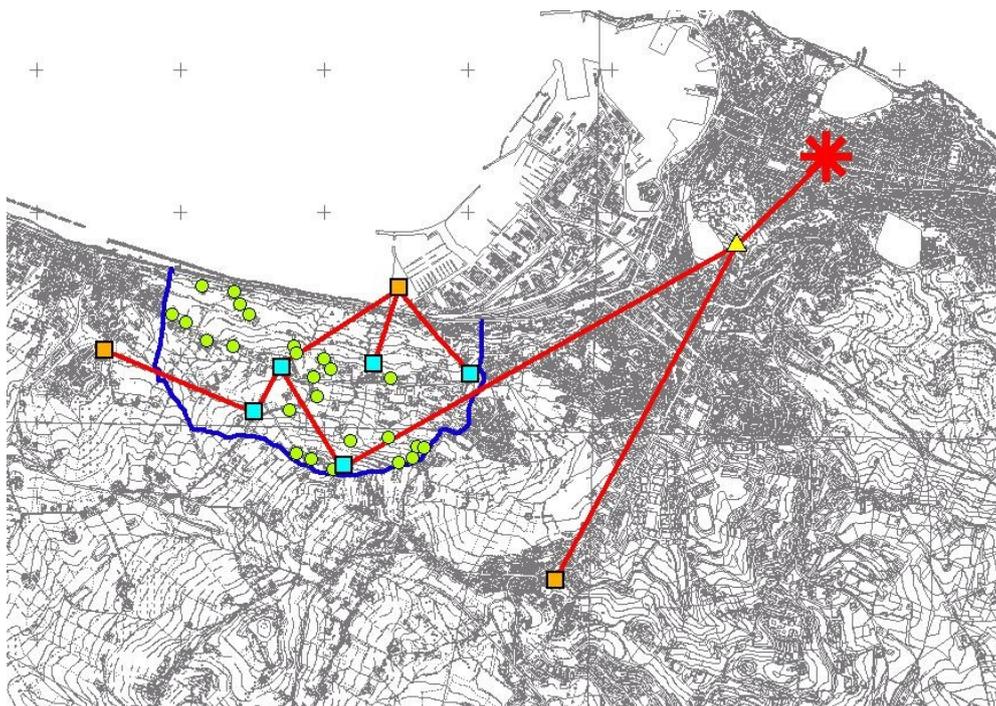


Figura 2 Dorsale di comunicazione che collega le postazioni principali con il municipio di Ancona (asterisco in rosso)

Le postazioni secondarie invece sono collegate al centro di controllo del Comune attraverso modem GSM / GPRS che si connettono periodicamente in modalità dialing per scaricare i dati giornalieri (1,4 MB complessivi a 1.2 Kb/s). La trasmissione richiede circa 7 minuti di connessione.

3.1.3. Piattaforma software

La piattaforma software può essere suddivisa nelle funzioni da svolgere in una parte di gestione dei sensori e una parte di analisi dei dati, e si avvale di 3 software proprietari Leica: Geomos, Spider e System_Anywhere. I sensori vengono gestiti tramite GeoMoS e Spider. In particolare si ha per GeoMoS la gestione e il controllo remoto delle Stazioni Robotiche TCA2003 e degli inclinometri Nivel210, l'impostazione dei parametri di misura (misure multiple, posizione coniugate, finestra di ricerca ATR, ecc) e l'archiviazione dei dati grezzi (Raw Data). Con Spider invece si ha la gestione e il controllo remoto dei Sensori GPS, l'impostazione dei parametri di misura (Rate di acquisizione, angolo di cut-off, ecc), l'impostazione della durata di ogni sessione di misura e il download automatico delle sessioni con l'archiviazione dei dati grezzi.

La parte di analisi dei dati si basa su System_Anywhere e Spider, con il primo si ha l'acquisizione delle misure grezze, la verifica dei vincoli di sistema (stabilità postazioni di misura, schemi di riferimento, ecc), l'analisi e i calcoli (orientamento, calcolo ppm, stazione libera, ecc) compreso il calcolo delle coordinate cartesiane e infine l'archiviazione dei dati. Con Spider vengono creati i prodotti per il post processing (file Rinex), calcolate le baseline (rete di 1°, 2° e 3° livello) e poi vengono archiviati i dati.

Un ultimo modulo si occupa di gestire l'allerta nel caso si abbiano movimenti che superano determinati valori soglia prefissati, confermati da più sensori in simultanea.

3.1.4. Principali differenze con la sperimentazione di Gaggio

Per quanto riguarda la struttura del sistema di postazioni si è optato per punti sia esterni che interni all'area di frana: trattandosi di un'area molto estesa questo garantisce massima affidabilità con minori rischi nel riconoscimento dei movimenti dei punti, anche grazie alla presenza di punti di 1° ordine interni all'area di frana. La tecnica di monitoraggio, diversamente da quanto previsto per Gaggio, è mista, comprendendo inclinometri, sensori GPS e stazione totale con prismi posti sulle abitazioni. Questa differenza è dovuta alla dimensione dell'intervento e alle risorse impiegate, giustificata anche dalla diversa finalità della sperimentazione in atto a Gaggio: volendo verificare la fattibilità di un sistema di monitoraggio a basso costo non è possibile impiegare una sovrapposizione di tecniche diverse, anche se ovviamente porterebbe dei vantaggi in termini di precisione, soprattutto nella valutazione dei movimenti in modalità real time.

3.2. Monitoraggio di strutture: il ponte di Bristol

Un'altra sperimentazione di monitoraggio realizzato tramite tecnica GNSS, con finalità di sorveglianza di grandi opere pubbliche, è stata realizzata sul First Severn Bridge in Inghilterra.

Il Severn Bridge è un ponte sospeso che attraversa il fiume Severn nel sud del Galles, ha una lunghezza complessiva di 1600 metri suddivisa in due campate laterali da 305 metri e una campata centrale da 988 metri. Le due torri raggiungono una elevazione di 136 metri (Figura 3).

Il monitoraggio dell'opera è stato realizzato dal Nottingham Scientific Ltd, utilizzando tre sensori GPS piazzati sulla cima delle torri e nella mezzeria del ponte sul cavo di tensionamento principale della struttura (diametro 0.5 metri). Le basi vengono calcolate rispetto ad un riferimento in prossimità dell'imbocco, con una distanza fra riferimento e ricevitori di circa 1200 – 1600 – 2200 metri. I dati vengono trasferiti via radio.

Nei due grafici sono riportati i movimenti verticali (Figura 4) e orizzontali (Figura 5) registrati dal sensore posto in mezzeria sulla campata centrale. I dati grezzi (in rosso) sono filtrati con medie mobili a 5 (blu) e 30 minuti (verde).

Dai risultati ottenuti è chiaramente visibile la dipendenza degli spostamenti con fattori quali temperatura dell'aria e dell'acciaio.

Gli spostamenti orizzontali sono stati messi in correlazione con velocità del vento e altri fattori quali maree oceaniche e terrestri. È stato verificato che una variazione della velocità del vento di 2 nodi in 30 minuti provoca uno spostamento trasversale di 2 cm circa.

Sono stati quantificati per la prima volta risultati qualitativamente prevedibili. Bisogna considerare che si tratta di spostamenti con ampiezza e velocità maggiori rispetto ad un movimento franoso e quindi più facilmente rilevabili con un monitoraggio di questo tipo, data la precisione degli strumenti utilizzati

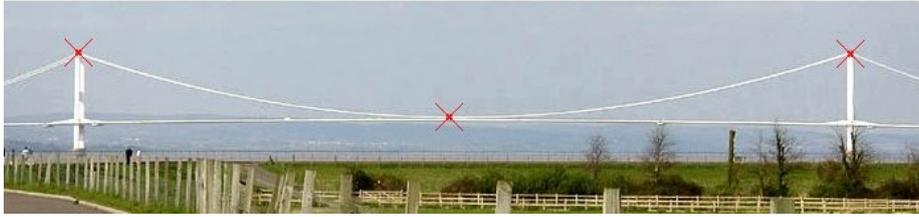


Figura 3 Il First Severn Bridge, in rosso la posizione dei 3 sensori GPS

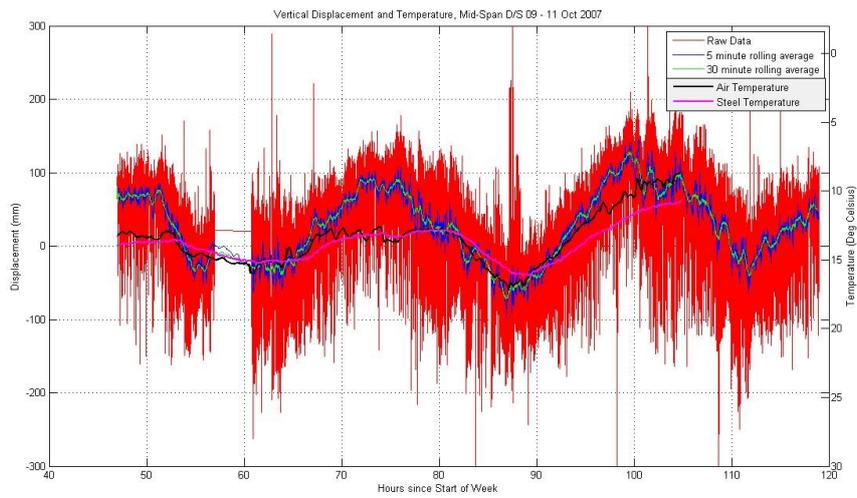


Figura 4 Movimenti verticali, T di acciaio e aria in corrisp. del sensore di mezzeria

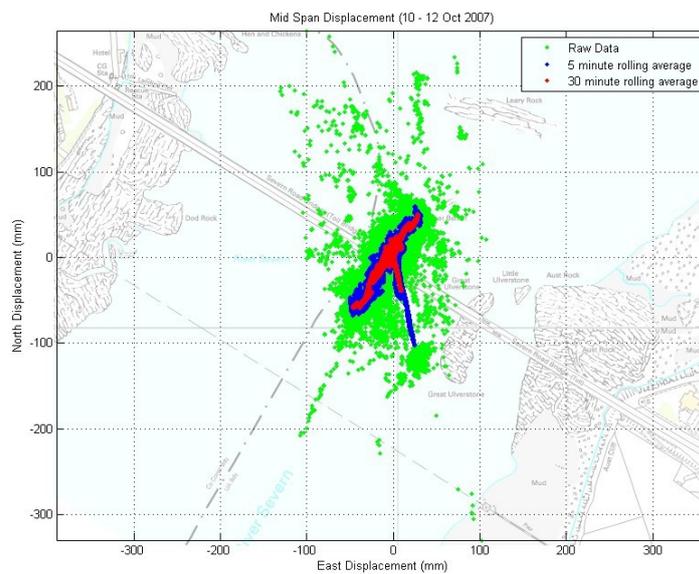


Figura 5 Dati grezzi relativi agli spost. orizz. in mezzeria e medie mobili a 5 e 30 min.

Capitolo 2.

Sperimentazione del 2006 / 2007

a Gaggio Montano

Il primo monitoraggio con tecnologia GNSS della frana di Gaggio Montano è stato realizzato dal DISTART nel periodo compreso fra ottobre 2006 e febbraio 2007. Più in generale questa sperimentazione faceva parte di un ampio progetto Europeo chiamato MONITOR, che aveva lo scopo di fornire una valutazione completa ed esauriente di tutte le possibili applicazioni GNSS nel campo del monitoraggio del territorio e dell'Ingegneria Civile, e dei valori aggiunti che possono derivare a questi scopi dal nuovo sistema di posizionamento e radio-navigazione Galileo in via di realizzazione. Nello specifico, il progetto MONITOR era indirizzato al monitoraggio delle strutture speciali (ponti, dighe, ecc), dei fenomeni naturali (frane, subsidenza, ecc) e alle applicazioni per la sicurezza e la salvaguardia della salute all'interno delle attività nei cantieri. Il progetto prevedeva la realizzazione di alcuni progetti pilota, valutati come applicazioni prioritarie:

- monitoraggio di strutture speciali (ponti, dighe);
- monitoraggio di edifici posti su versanti in frana;
- monitoraggio delle attività nei cantieri;

- realizzazione di un centro operativo per la gestione delle situazioni di criticità rilevate nelle attività di monitoraggio.

Nel seguito del capitolo viene fornita una descrizione della materializzazione dei punti, della raccolta dei dati, della loro analisi ed elaborazione. Questo lavoro fa parte dell'esperienza del 2006 / 2007 ma è direttamente collegato alla sperimentazione attualmente in corso, oggetto della presente Tesi. Si ritiene utile riportare qualche informazione per comprendere meglio la fase di elaborazione dei dati e le scelte di modifica introdotte nel nuovo lavoro su Gaggio.

Nella parte finale del capitolo sono descritte le principali problematiche emerse e sono raccolte le considerazioni su eventuali alternative possibili per la nuova installazione.

1. Scelta del sito per la sperimentazione

La scelta del sito per la collocazione dei sensori GPS nell'ambito della sperimentazione del 2006 nasce dalla collaborazione fra il DISTART dell'Università di Bologna (Istituto di Topografia, Geodesia e Geofisica Mineraria), i geologi della Regione Emilia Romagna e della provincia di Bologna, e i tecnici della società torinese SEPA s.p.a..

1.1. Requisiti richiesti

I criteri adottati per la scelta del sito nella prima sperimentazione, e che costituiscono anche i criteri per cui il sito è stato scelto nuovamente anche per la sperimentazione in corso, sono i seguenti:

1. Frana dell'Appennino Bolognese con qualche segno di attività. Per l'individuazione di un'area opportuna è stata fondamentale la collaborazione con il Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione

Emilia Romagna, che si occupa della gestione di un GIS² relativo alla cartografia geologica dei suoli sul territorio regionale. In esso sono reperibili informazioni dettagliate attraverso un database ad alta risoluzione delle zone soggette a dissesto. È consultabile online all'indirizzo <http://geo.regione.emilia-romagna.it>.

2. Area ad elevata urbanizzazione, anche a discapito della attività del dissesto.
3. Presenza nell'area interessata dal dissesto di edifici pubblici su cui installare i punti di controllo. Questo permette di semplificare le fasi organizzative e di messa in stazione degli strumenti. Inoltre questa scelta ha permesso di utilizzare la rete regionale Lepida per il trasferimento dati dal centro di controllo locale (situato nel Municipio di Gaggio Montano) al DISTART a Bologna. L'individuazione degli edifici pubblici è stata possibile grazie all'utilizzo di un database gestito dalla provincia di Bologna, in cui sono inseriti e catalogati gli edifici di proprietà della provincia stessa.
4. Intervisibilità tra i sensori, e quindi tra gli edifici su cui essi sono installati. Questo perché il sistema di trasmissione dati della ditta che ha collaborato nella prima sperimentazione (SEPA di Torino) sfrutta una trasmissione radio per cui è richiesta intervisibilità. Per la sperimentazione in corso si è cercato di rimuovere questa limitazione, effettuando test di trasmissione con punti non visibili (vedi par RIFERIMENTO), ma anche per i punti della nuova installazione, almeno temporaneamente, si è fatta la scelta di intervisibilità.

Si è giunti quindi alla scelta di Gaggio Montano come sede della sperimentazione, anche perché a Gaggio sono posti da tempo strumenti di carattere "tradizionale" che consentono di monitorare l'evolversi della frana: si hanno ad esempio piezometri e inclinometri dislocati sul territorio comunale, e rintraccia-

²Geographic Information System, sistema informativo computerizzato che permette l'acquisizione, la registrazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni derivanti da dati geografici (geo-referenziati).

bili sul GIS della Regione, le cui misure potrebbero essere confrontate con le misure fornite dalla tecnologia satellitare.

1.2. Descrizione della frana

Nonostante questo lavoro di tesi non abbia come scopo principale lo specifico studio geologico della frana di Gaggio Montano quanto l'applicazione di un sistema di monitoraggio satellitare ad alcuni edifici in frana del paese, può risultare utile descrivere brevemente il problema franoso del sito in esame. L'abitato di Gaggio Montano sorge su di un ampio versante, con una pendenza media di circa 8°, e si sviluppa a quote comprese tra i 700 m s.l.m. della Loc. Doccia, posta ad Ovest del Capoluogo, e i 500 m s.l.m. della zona industriale dello stesso. Lo sviluppo industriale degli ultimi venticinque anni, ha portato ad una notevole espansione urbanistica dell'abitato di Gaggio Montano che, fino agli anni settanta, si sviluppava prevalentemente attorno all'enorme ammasso ofiolitico che caratterizza il Capoluogo e attorno al quale sorge la parte storica dell'abitato. Quest'ultima zona risulta essere l'unica parte del centro abitato di Gaggio Montano non interessata da fenomeni franosi. Il Capoluogo, infatti, è caratterizzato dalla presenza di due estesi fenomeni franosi attivi che si estendono fino al fondovalle interessando la maggior parte del centro abitato; si tratta di due vasti e complessi sistemi franosi che evolvono da frane per colata di terra nelle zone più elevate, a frane per scivolamento traslativo di terra nella parte più bassa di Gaggio Montano. La frana si estende complessivamente per una lunghezza massima di circa 3 km, una larghezza massima di 650 m e coinvolge una superficie di 1,6 km². In relazione a questa situazione la Regione Emilia-Romagna ed il Comune di Gaggio Montano hanno intrapreso, negli ultimi 15 anni, un'attività di prospezione e monitoraggio permettendo di ottenere un quadro esauriente delle caratteristiche del fenomeno franoso. Proprio da queste campagne di misura si è potuto constatare spostamenti della frana nell'ordine di circa 1 cm ogni anno. A conferma di quanto appena detto consul-

tando la Cartografica geologica online già introdotta precedentemente è possibile ottenere mappe come quella rappresentata in figura Figura 6.

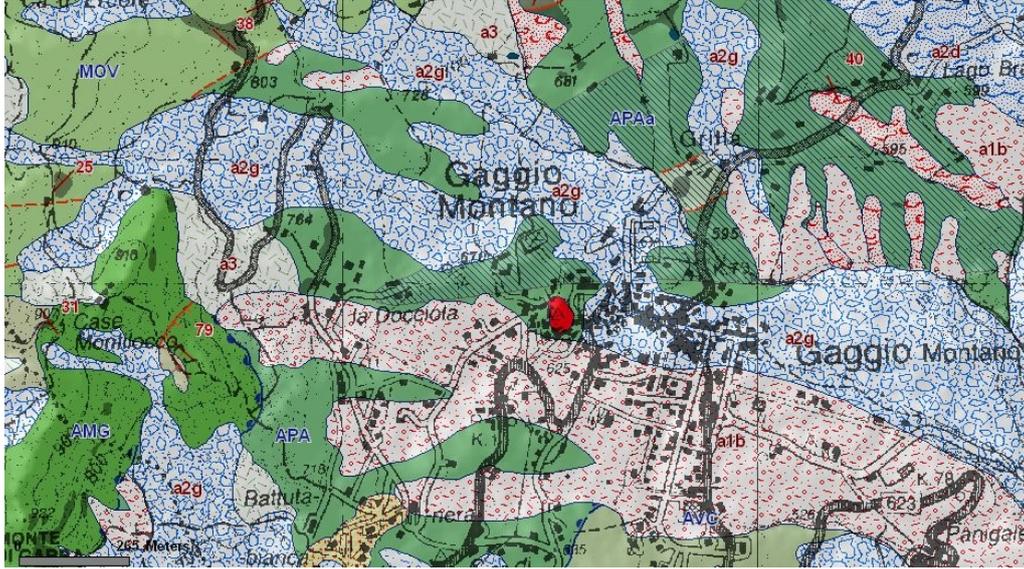


Figura 6 Carta geologica del Comune di Gaggio Montano scala 1:10000

Si può notare come Gaggio sia diviso trasversalmente in due zone colorate in rosso e in blu e identificate da due sigle che si riferiscono alle Unità Geologiche Regionali. In particolare (dal documento fornito dal Servizio Geologico) la sigla a2g identifica una frana quiescente complessa, mentre la sigla a1b è indice di una frana attiva per scivolamento, mentre le altre sigle (APA, APAA – colore verde e verde tratteggiato) si riferiscono alla descrizione dei suoli presenti nella zona. Per chiarire questi termini ricordiamo che la classificazione di una frana può avvenire attraverso diversi criteri tra cui la tipologia di movimento, la valutazione dello stato, dello stile e della distribuzione dell'attività del movimento. Tra i diversi tipi di movimento per una frana troviamo ad esempio lo scivolamento (o scorrimento). Essi si verificano per superamento della resistenza di taglio all'interno di una massa di terreno che può essere omogenea o presentare stratificazioni. La superficie di rottura è arcuata, con concavità verso l'alto e può essere di neoformazione o in parte preesistente. Alla superficie di scorrimento principale, sono spesso associate superfici secondarie. Sono ricorrenti in rocce plastiche ma anche in ammassi omogenei a vario grado di cemen-

tazione ed in coltri alterate. Influenti sono le pressioni dell'acqua e le loro oscillazioni, la presenza di sovraccarichi (es. opere antropiche), l'azione di sismi. Con riferimento invece allo stato di attività il fenomeno osservato potrà essere:

1. Stabilizzato: quando non sono rilevabili evidenze di movimento sul lungo periodo ed inoltre non sono più presenti le condizioni morfologiche e climatiche in cui il fenomeno si era sviluppato;
2. Quiescente: quando pur non essendo rilevabile un'evidenza di movimento sono ancora presenti condizioni morfologiche e climatiche tali da poter riattivare il fenomeno;
3. Attivo: quando sono rilevati, anche con frequenza stagionale, indizi di movimenti tuttora in atto

Ritroviamo invece tra i diversi stili di attività la frana complessa, caratterizzata dalla combinazione, in sequenza temporale, di due o più tipi di movimento (crollo, ribaltamento, scivolamento, espansione, colamento). Per rendersi conto della vastità del problema, si consideri che solo nel territorio regionale si hanno oltre 70000 fenomeni franosi censiti tra attivi e quiescenti (database del Servizio Geologico regionale).

2. Materializzazione della rete

La scelta dei punti su cui installare i sensori è ricaduta su tre edifici pubblici, scelta ripresa anche per la sperimentazione in corso.

1. Municipio
2. Scuola
3. Cimitero

Per la descrizione dettagliata della rete in corso di realizzazione si rimanda al Capitolo 3. Nella carta geologica 1:5000 (Figura 7) sono indicati gli edifici scelti per il posizionamento dei sensori. Il Municipio (punto 1) è posto in un'area relativamente più stabile (quiescente) mentre cimitero (punto 2) e scuo-

la (punto 3) sono sulla porzione più attiva della frana. In particolare il cimitero, anche nella parte nuova, mostra segni evidenti di deformazioni e fessurazioni (Figura 8), sia nella struttura interna che nel parcheggio adiacente. Pare ci sia un movimento differenziale fra la porzione antica e la nuova che si manifesta con una rotazione della parte edificata più di recente rispetto al corpo originario più antico.

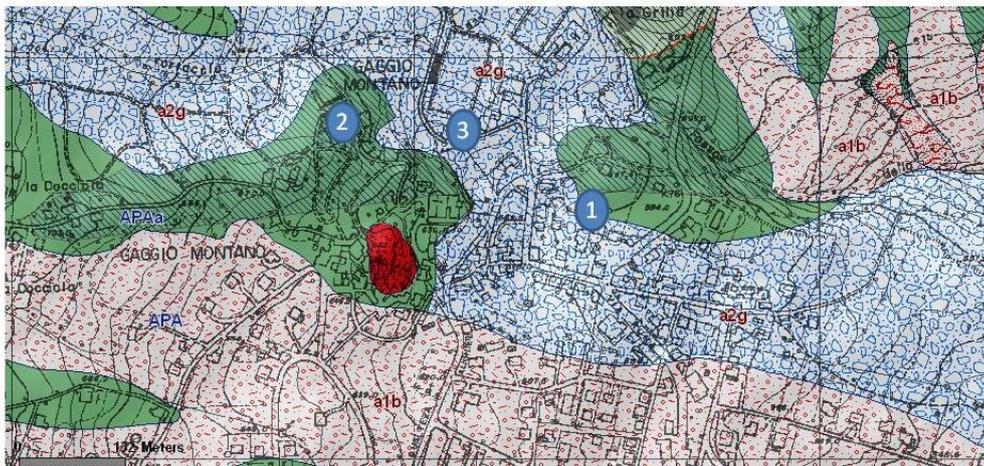


Figura 7 Carta geologica 1:5000 del Comune di Gaggio Montano con indicazione della posizione dei sensori: (1) Municipio (2) Cimitero (3) Scuola



Figura 8 Segni del dissesto sui muri del cimitero di Gaggio

Per queste considerazioni di stabilità relativa dei punti e per la disponibilità della rete per il trasferimento dati, il punto sul Comune, oltre ad essere punto di monitoraggio, costituisce la Stazione Base, mentre gli altri due punti sono classificati come punti di monitoraggio. Una tipica rete di monitoraggio in tempo reale infatti si basa su un insieme di Stazioni di Rilevamento collocate sui punti da monitorare nell'area di interesse, che acquisiscono i dati e li trasmettono ad una Postazione Base, che riceve i dati dalle stazioni di monitoraggio e provvede alla loro elaborazione e memorizzazione. La strumentazione installata dipende dalla classificazione del punto.

3. Strumentazione SEPA

Nel rilievo del 2006 si era scelto di utilizzare il sistema SAMOS realizzato dalla SEPA, specifico per il monitoraggio in tempo reale di un'area opportunamente strumentata, e risultava composto dai seguenti apparati:

- Sensore elementare di monitoraggio installato in corrispondenza delle Stazioni di Rilevamento Cimitero e Scuola;
- Stazione base per l'elaborazione dei dati in corrispondenza della Postazione base sul Comune.

Il sensore elementare di monitoraggio conteneva il ricevitore GPS a singola frequenza per l'acquisizione della fase sulla portante L1 e l'unità di ricetrasmisione radio basata su comunicazioni punto-punto con modem RF per il collegamento con la stazione base. Un microcontrollore provvedeva alla gestione della comunicazione fra questi due elementi e forniva strumenti di diagnostica del sensore stesso: guidava il radio modem nella trasmissione alla stazione base. Il sensore era alimentato da rete (220 V, 50 Hz).

La stazione base era in grado di archiviare sia i dati grezzi che i risultati dell'elaborazione, per eventuali analisi in post-processing. L'interfaccia grafica del software Sepa visualizzava in tempo reale mediante tabelle numeriche e grafici i risultati dell'elaborazione. Il software era inoltre in grado di segnalare

anomalie e lanciare allarmi e conteneva le funzioni necessarie al controllo dei sensori e alla diagnostica del sistema stesso. Essendo il PC collegato ad internet era possibile il controllo da remoto in tempo reale con il software VNC (Virtual Network Computing); i dati archiviati erano disponibili mediante connessione ftp (File Transfer Protocol).

4. Dati ottenuti: pre-elaborazione e analisi

L'acquisizione dei dati è iniziata mercoledì 25 ottobre 2006 per terminare il 31 gennaio 2007. I dati sono stati periodicamente scaricati dal computer della stazione base mediante connessione sftp (secure file transfer protocol) e copiati sui calcolatori del DISTART per la successiva elaborazione. Per il censimento dei dati disponibili si rimanda all'Appendice A (pag. 155). Nella serie temporale sono presenti due interruzioni: dall'11 al 15 novembre a causa di una intrusione nel computer con blocco del sistema, dal 2 al 5 dicembre per introdurre delle modifiche al software. In totale sono stati acquisiti dati per 117 giorni organizzati in file giornalieri contenenti dati grezzi per ciascun punto e il risultato dei calcoli, sotto forma di due file giornalieri relativi ai punti 2 e 3 contenenti le variazioni di posizione rispetto al punto 1 assunto come riferimento.

Questi ultimi file sono i più utili per la fase di elaborazione, in quanto ogni record contiene l'istante del rilievo espresso in secondi della settimana GPS e gli spostamenti del punto nel sistema geodetico locale Δ_{nord} , Δ_{est} , Δ_{up} .

Alcune caratteristiche del dato "grezzo" (dato di shift calcolato in ciascun secondo in real time, senza ulteriore rielaborazione) appaiono evidenti:

- il livello di rumore, che fa oscillare il dato di secondo in secondo su una fascia abbastanza ampia, soprattutto in altimetria, dell'ordine di 2 -3 centimetri;
- la presenza di dati nulli in tutte e tre le componenti dello "spostamento", che non possono essere interpretati come reale valore dello shift, ovvero come effettiva mancanza di movimento in tutte le componenti;

- la presenza di effetti periodici a bassa frequenza con oscillazioni diurne contenute in circa un cm in planimetria e circa il doppio in altimetria, almeno in parte imputabile all'effetto di multipath sulle antenne.

Al termine della raccolta dati sono seguite due fasi di lavoro:

Fase 1. Elaborazione: conversione da tempo GPS a tempo J2000, campionamento dei dati nulli, compressione dei dati;

Fase 2. Analisi dei dati: effetti periodici, suddivisione dei dati in giorni siderali, miglioramento della precisione attraverso applicazione di un modello rappresentativo dell'andamento degli effetti periodici.

4.1. Elaborazione post acquisizione

La durata del rilievo e l'alta frequenza di osservazione hanno introdotto un duplice ordine di problemi:

- gestione univoca della scala dei tempi, in modo da riferire ogni record della serie ad una scala temporale univoca. Per la post elaborazione infatti è necessario concatenare i dati in intervalli temporali più lunghi del singolo giorno;
- elevata quantità di dati che pone dei problemi di memorizzazione e gestione.

Ad ogni singolo record è perciò stato assegnato un dato temporale in scala J2000 (l'informazione viene "estratta" dal nome del file), successivamente i dati sono stati organizzati in settimane siderali³ (603148 secondi).

³ Il giorno siderale (noto anche come giorno sidereo) è la durata del periodo di rotazione di un pianeta attorno al suo asse. Per la Terra il giorno sidereo ha una durata di 86164 secondi e viene determinato misurando il tempo necessario a fare ritornare il pianeta nella stessa posizione rispetto alle stelle. La durata del giorno solare (86400 secondi) si calcola invece misurando il tempo impiegato da un punto per tornare nella stessa posizione rispetto al sole: siccome nel corso della giornata il pianeta si muove anche intorno al sole, il punto dovrà percorrere un angolo leggermente superiore ai 360° per tornare nella stessa posizione rispetto al sole, per cui il giorno solare risulta più lungo del giorno siderale. Di conseguenza in un anno c'è esattamente un giorno siderale in più dei giorni solari.

Per quanto riguarda la diminuzione della mole di dati è stato eseguito un campionamento sostituendo a un blocco di dati di 52 secondi un solo valore rappresentativo, associato ad un parametro statistico che ne indichi la dispersione. A questo scopo è stata eseguita sui dati del blocco la stima della regressione lineare e assunto come valore rappresentativo quello centrale della regressione. Durante questa fase sono stati eliminati singoli dati che risultano esterni all'intervallo di confidenza fissato al 95%, in altimetria e in planimetria separatamente: in quest'ultimo caso le componenti nord e est sono considerate congiuntamente calcolando l'ellisse d'errore corrispondente al livello di significatività detto. Si sono considerati blocchi di 52 secondi, in modo che i 603148 possibili record settimanali vengano ridotti a 11599, con una contrazione del 98% circa dei dati da elaborare.

Al termine di questa prima fase di elaborazione i dati sono disponibili per l'analisi in due formati:

1. dati "grezzi" con frequenza di acquisizione 1 Hz;
2. dati "compressi" con riduzione delle settimane siderali in 11599 record anziché 603148 e rigetto basato su test statistici.

4.2. Analisi dei dati

Gli edifici monitorati si trovano sul margine di un versante in frana molto esteso strumentati in alcuni punti con dei clinometri. Il movimento indicato dai clinometri è valutabile dalle prime evidenze attorno ad un paio di cm all'anno, e quindi durante il periodo di tempo monitorato eventuali movimenti sarebbero sub centimetrici. L'analisi dei dati non è stata tanto finalizzata alla determinazione del trend, quanto a individuare eventuali effetti periodici che si sovrappongono ad esso e a studiare la possibilità di ridurre la banda di oscillazione che i dati grezzi mostrano grazie alla individuazione e successiva eliminazione di questi eventuali sistematismi.

4.2.1. Analisi di effetti periodici

Per individuare la presenza di effetti periodici nei dati si è calcolata la funzione di autocorrelazione relativamente ad una settimana siderale di dati "compresi", in cui ogni dato è rappresentativo di un blocco di 52 secondi, per controllare se il suo andamento presenta dei picchi in funzione di certi ritardi di correlazione.

Per tutte le componenti si è ottenuta una correlazione in corrispondenza di un giorno siderale (Figura 9): evidentemente un effetto dovuto all'intervallo di tempo per il dispiegamento della stessa costellazione satellitare.

La funzione di autocorrelazione indica solo la presenza di sistematismi ma non indica, al contrario dell'analisi di Fourier, la dimensione delle armoniche e le loro frequenze relative. A tal proposito è stata fatta una analisi nel dominio delle frequenze con l'utilizzo del software "Famous" che permette l'analisi in frequenza di serie temporali campionate in maniera regolare o irregolare. I risultati ottenuti confermano la presenza di fenomeni periodici riconducibili al giorno siderale, interpretabili come principalmente dovuti alla costellazione satelli-

tare.

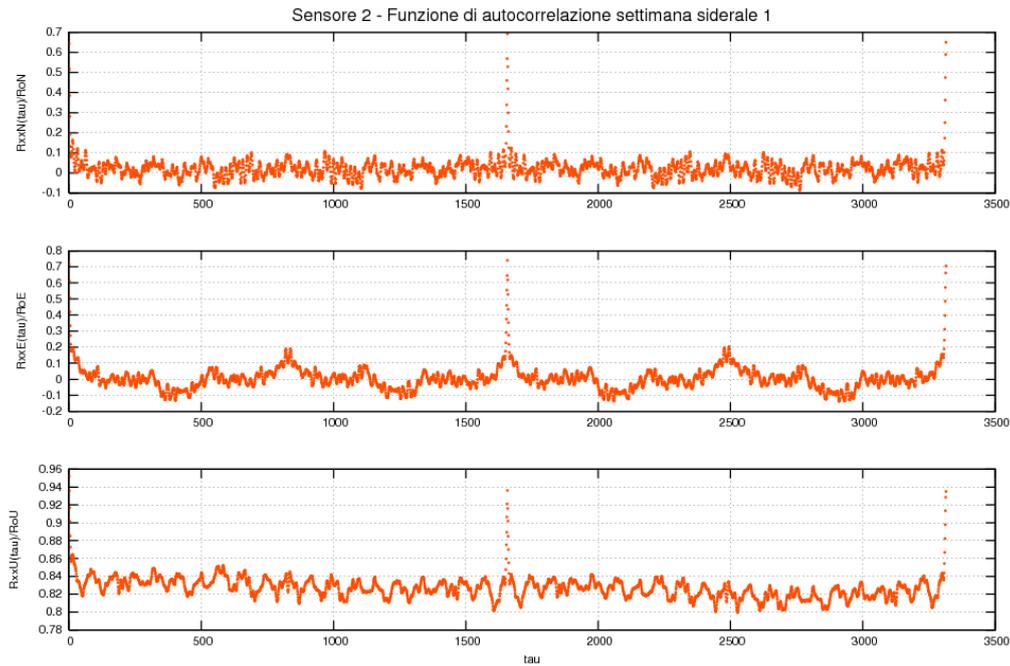


Figura 9 Andamento della funzione di autocorrelazione, sensore 2, settimana siderale 2

4.2.2. Andamento degli effetti periodici

Una analisi alternativa basata su un approccio empirico è stata quella di filtrare attraverso media mobile i dati del singolo giorno siderale e confrontarlo con l'andamento di altri giorni siderali. La media mobile, descritta nel capitolo 4, è stata applicata ai dati grezzi (frequenza di acquisizione 1 Hz), con un intervallo di elaborazione di 451 secondi. Sovrapponendo i dati relativi ad una settimana siderale risulta una forte correlazione tra gli andamenti delle medie mobili di giorni successivi (Figura 10).

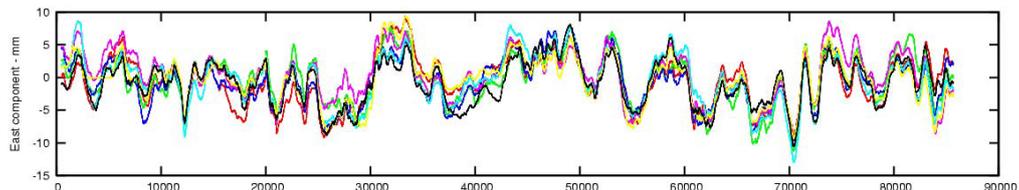


Figura 10 Andamenti giornalieri sovrapposti filtrati con media mobile

Il calcolo è stato ripetuto anche per altre sette settimane consecutive e i risultati settimanali sono stati a loro volta mediati fra di essi per ottenere il modello finale relativo all'andamento quotidiano. Sottraendo questo modello ai dati grezzi si elimina la componente comune ad ogni serie temporale giornaliera. Non si è tuttavia avuta una elevata riduzione del rumore che può essere valutata di poco superiore al 10%, pur non essendo state eseguite valutazioni sistematiche.

5. Struttura dei dati post-elaborazione

Al termine del lavoro di elaborazione svolto all'interno della prima sperimentazione del 2006 / 2007 e riassunto nei paragrafi precedenti, in seguito ai risultati ottenuti dalla analisi delle periodicità, si è deciso di suddividere i dati in giorni siderali. Da questa suddivisione si sono ottenuti 124 file giornalieri per ogni sensore, quindi 228 file in tutto, di cui si fornisce una breve descrizione dato che sono stati utilizzati per il lavoro di tesi descritto nel seguito. Ogni file può contenere fino a 86164 record (se completo), cioè un record al secondo dato che la frequenza di acquisizione è 1 Hz. Ogni record contiene 4 informazioni (Figura 11): tempo in scala J2000 (in modo da avere l'unicità del riferimento temporale) e spostamenti nelle 3 direzioni NORD, EST, UP.

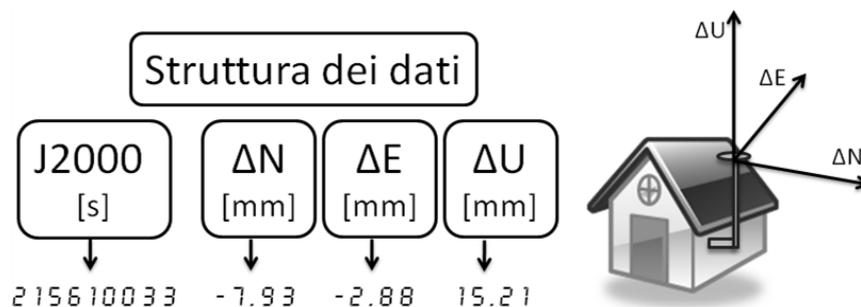


Figura 11 Struttura dei dati relativi alla I sperimentazione come da raggruppamento in giorni siderali

Il nome del file riporta al suo interno l'informazione relativa al giorno e al sensore a cui si riferisce, ad es. il file "t_002_s3.txt" contiene gli spostamenti del sensore 3 (scuola) acquisiti nel secondo giorno siderale. Per il censimento dei file relativi ai giorni siderali si rimanda alla APPENDICE RIFERIMENTO, in cui sono riportati i dati disponibili e i dati nulli (triplette di zero) su ogni giorno della serie temporale.

6. Criticità emerse e possibili alternative

In questa sezione vengono raccolte le problematiche emerse nel corso della prima sperimentazione a Gaggio, insieme alle possibili soluzioni che possono essere adottate.

6.1. Problema della materializzazione dei punti

Nella precedente sperimentazione l'installazione dei sensori era avvenuta utilizzando dei supporti formati da una mensola fissata al muro esterno degli edifici su cui era saldata un'asta verticale cilindrica, di diametro circa 5 cm e lunghezza variabile tra 1 e 2 m a seconda dei punti ().

All'estremità dell'asta erano posti il ricevitore GPS, il microcontrollore (contenente processore e modem radio per la comunicazione dei dati) e l'antenna per la trasmissione. Questo metodo di installazione ha manifestato dei problemi di rigidità della struttura: si è fatta l'ipotesi, verificata in sede di smontaggio, che l'asta potesse flettersi a causa del vento e si registrassero di conseguenza dei movimenti del solo supporto, non riguardanti la stabilità dell'edificio, e responsabili, almeno in parte, del rumore registrato nelle misurazioni. Questa idea nasce anche dalla analisi dei dati grezzi della prima settimana di acquisizione (novembre 2006) riportata nel grafico di Figura 12, in cui è visibile nella parte centrale dei grafici una porzione di dati relativa a circa 11 ore caratterizzata da una banda di oscillazione elevata, per cui si potrebbe supporre o un qualche effetto di multipath oppure un effettivo spostamento fisico della antenna. È da

escludere un calcolo errato da parte del sw, in questo caso infatti il codice fornisce come risultato una tripletta di zeri.

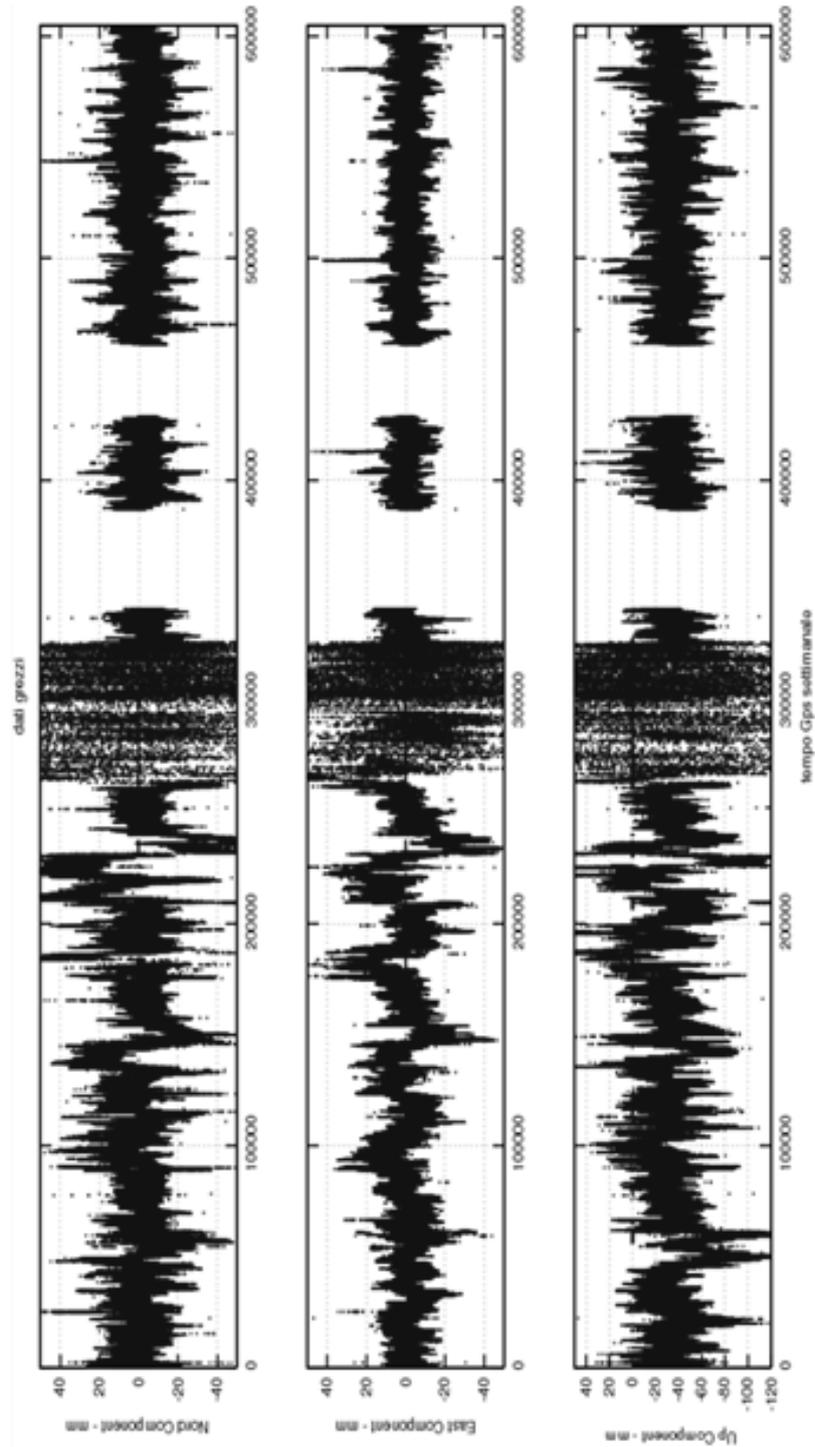


Figura 12 Dati relativi ad una intera settimana siderale di acquisizione(sperimentazione del 2006)

Oltre a questo problema di vibrazione dei supporti, c'è anche l'esigenza, in generale nel caso delle installazioni di antenne GNSS ma ancor più per i punti di una rete di monitoraggio, di un sistema standardizzato di installazione agli edifici e studiato per l'utilizzo specifico in questo tipo di applicazioni.

6.2. Limitazione a punti intervisibili

L'ostacolo dell'intervisibilità tra i punti nasce da una necessità di comunicazione tra i sensori: le postazioni rover infatti devono comunicare i propri dati alla stazione master, o più in generale al centro di controllo, in modo che il software per il monitoraggio possa elaborare i risultati (spostamenti relativi tra i punti). La scelta di adottare strumentazione a basso costo, per quanto riguarda ricevitori e mezzi di trasmissione, ha imposto l'intervisibilità tra i punti monitorati e il punto che acquisisce ed elabora i dati localmente. Dovendo soddisfare questi requisiti (intervisibilità e basso costo) la scelta dei punti di controllo (cimitero, scuola, municipio) ed anche del sistema di trasmissione dei dati è stata per forza vincolata a questi principi. Frequentemente i dissesti del territorio si verificano in aree scarsamente popolate, con presenza diffusa di ostacoli naturali (colline, alberi, ...) e rilasciare la condizione di intervisibilità è necessario se si vuole una reale diffusione di queste tecnologie. Da un punto di vista strettamente tecnologico il limite ad uno sviluppo su larga scala di questi metodi di controllo risiede proprio nel trasferimento dati tra le stazioni locali o tra stazioni locali e centro di controllo. Un primo ostacolo è la complicazione nella realizzazione del sistema di trasmissione, quanto meno per la necessità di utilizzare ponti radio, con evidente aumento della complessità: nuovi punti-antenna da materializzare e alimentare, strumentazione più costosa. Per queste motivazioni è di primaria importanza testare e verificare l'affidabilità di sistemi alternativi alla wireless.

6.2.1. La trasmissione Wlan

In una Wlan, rete locale senza fili (wireless local area network), viene utilizzata una tecnologia di radio frequenza RF per la trasmissione e la ricezione dei dati, minimizzando la necessità di connessioni via cavo (wired), favorendo così una discreta mobilità e una ottima affidabilità. Il limite della trasmissione Wlan è l'incapacità di superare ostacoli fisici: le trasmissioni radio ad alta frequenza richiedono che il percorso tra due antenne sia libero da ostacoli. Questo percorso ottico diretto e privo di ostacoli esistente tra due punti viene comunemente detto line of sight (LOS), letteralmente "linea di visibilità". I seguenti ostacoli possono oscurare una LOS:

- elementi topografici come montagne o colline;
- la curvatura della Terra (apprezzabile solo a grandi distanze);
- palazzi ed altre costruzioni (ponti, campanili, cartelloni pubblicitari, ecc.) alberi.

Si distinguono due tipologie di trasmissione (protocolli) in funzione della frequenza:

- 2.4 GHz, frequenza molto usata (internet wi-fi, cancelli automatici, ...)
- 5.0 GHz, ha il pregio di essere meno usata, quindi c'è meno interferenza e disturbo, ma si dimezza la portata e l'angolo di copertura del segnale.

Il protocollo definisce anche un set di regole che governano la trasmissione dei dati (quanto i pacchetti di dati debbano essere grandi e come i dati possano essere correttamente inviati e ricevuti).



Figura 13 Antenna direzionale wireless

In pratica per queste applicazioni se la distanza e l'orientazione delle antenne lo permettono si preferisce la trasmissione a 5.0 GHz, con antenne direttive (in realtà semi direttive). La frequenza di 2.4 GHz è utilizzata tramite i protocolli "b" e "g" (introdotto nel 2003) che si differenziano per la banda effettivamente disponibile per la trasmissione dati :

Protocollo standard	Freq. (GHz)	Angolo (°)	Banda (Mb/s)	Portata (m)
802.11 a	~ 5.000	15	20	~ 500
802.11 b	~ 2.400	30	6	~ 1000
802.11 g	~ 2.400	30	24	~ 1000

Tabella 2 Caratteristiche protocolli Wireless

I protocolli dispongono di un sistema (ARS) di riduzione delle velocità di trasmissione nel caso di disturbi e interferenze. Nel caso della trasmissione dati a Gaggio verrà realizzata una rete con architettura *ad hoc*, alternativa alla *infrastructure*, in cui due computer (nel nostro caso un sensore e il pc del centro di controllo) comunicano direttamente alla rete wireless. Questo metodo di comunicazione è principalmente utilizzato per il file sharing.

6.2.2. WiMAX

Lo standard 802.11 da qualche anno è stato affiancato da un nuovo standard 802.16 denominato WiMAX, acronimo di Worldwide Interoperability for Microwave Access, ed è una tecnologia che consente l'accesso a reti di telecomunicazioni a banda larga e senza fili (BWA - Broadband Wireless Access). La tecnologia supporta velocità di trasmissione di dati condivisi fino a 70 Mbit/s in aree metropolitane e non richiede necessariamente visibilità ottica, ma senza di essa le prestazioni sono decisamente inferiori e la connettività ristretta ad aree limitate, quindi è da verificare che possa essere una soluzione affidabile al problema dell'intervisibilità tra punti. Le frequenze radio utilizzate coprono le bande dei 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.3 GHz, 3.5 GHz e 5.8 GHz. L'attuale normativa prevede in Italia l'utilizzo della tecnologia WiMAX unicamente nella banda di frequenze 3,4-3,6 GHz, ma nel resto del mondo sono già molti i paesi in cui viene offerto il servizio. La ragione del ritardo italiano è stata la precedente assegnazione delle bande di frequenza al Ministero della Difesa. Nella suddetta banda di frequenza (da 3.4 a 3.6 GHz 200 MHz) sono state previste 3 concessioni di 21 + 21 MHz ciascuna, attraverso asta su base macro-regionale e regionale, che si è conclusa il 27 febbraio 2008 con l'assegnazione di tutte le licenze. Da ottobre 2008 sono disponibili le prime offerte-test su aree limitate (Bari, Brescia).

6.2.3. Radio

Durante il sopralluogo del 3 dicembre a Gaggio sono state effettuate delle prove di trasmissione dati via radio da parte del personale Leica. La prova ha dato buoni risultati: il trasferimento dati tra la scuola e un quarto punto non visibile (condominio) e tra il comune e il medesimo punto non intervisibile ha dato esito positivo. Limite della trasmissione radio è la frequenza temporale di 1 secondo con cui si possono inviare i pacchetti di dati. Inoltre rimane da testare l'affidabilità della trasmissione continuativa di pacchetti di dati GNSS, e sarebbe utile a questo proposito l'installazione del terzo punto non visibile.

Per trasmissione radio si intende l'invio di pacchetti di dati, opportunamente convertiti, utilizzando frequenze più basse rispetto al wireless. In questo modo si riesce a ridurre parzialmente il problema degli ostacoli fisici che riducono la portata del sistema. La trasmissione UHF/VHF si appoggia alla rete radiofonica con i sistemi DARC (DATA Radio Channel) e DAB. Il DARC, standardizzato dall'ETSI (European Telecommunication Standards Institute), è un segnale trasmesso come sottoportante delle trasmissioni FM, progettato per non disturbare le normali trasmissioni radiofoniche. I dati trasmessi sono organizzati in frame (differenziati in quattro tipi) ogni frame è costituito da 272 righe di dati ed ogni riga contiene 288 bit. Per le trasmissioni RTCM vengono impiegati i frame a più bassa latenza. La banda di trasmissione è di 16 kbps, di cui circa la metà è impiegata per la suddivisione dei dati in frame e per il controllo degli errori.

Packet radio invece è un sistema di trasmissione "a pacchetto" dei dati via radio, sviluppato dai radioamatori. I dati trasmessi sono di natura digitale, quindi pacchetti di bit, e la trasmissione via radio avviene modulando la portante radio con i più svariati tipi di modulazione, tipicamente FSK ma anche FM, USB, ed AM. I protocolli sono di vario tipo ad esempio l'AX25. Il packet radio può dirsi un'evoluzione dell'RTTY ossia delle trasmissioni effettuate dalle telescriventi, esso è simile come concetto ai moderni protocolli usati in internet quali il TCP/IP.

6.2.4. GSM e GPRS

Il Global System for Mobile Communications (GSM) è attualmente lo standard di telefonia mobile più diffuso del mondo. Con la versione 97 è stato introdotto il GPRS (General Packet Radio Service), progettato per realizzare il trasferimento di dati a media velocità, e la pacchettizzazione dei dati. La velocità di trasmissione è stata aumentata previa implementazione di un nuovo tipo di modulazione del segnale (EDGE). Attualmente con le tecnologie GPRS/EDGE è possibile effettuare traffico a commutazione di pacchetto ed utilizzare quindi un terminale GSM-GPRS/EDGE come modem per navigare sulla rete internet per scambiare file.

Un problema attualmente aperto nell'utilizzo del GPRS nell'invio dei dati è l'identificazione dell'indirizzo IP: al modem GPRS quando si connette viene fornito un indirizzo IP dinamico da parte del provider di servizi. Senza conoscere questo indirizzo IP non è possibile connettersi direttamente al modem per ottenere l'invio dei dati. Una soluzione, attualmente in fase di collaudo, è quella di connettersi ad un server (ad es. *dyndns.com*) che fornisce un nome fisso alla macchina che lo chiama, anche se questa dispone di IP dinamico. In questo modo la macchina che deve scaricare i dati chiamerà il nome fornito dal server anziché l'IP dinamico della scheda SIM. Altro aspetto critico sono i costi dell'abbonamento flat al provider di servizi internet e del servizio DDNS.

6.2.5. Trasmissione satellitare

Tutte queste soluzioni si basano sulla presenza di determinate condizioni e strutture (intervisibilità, copertura GSM, punti antenna, ecc.) e/o di punti vicini per il trasferimento a remoto dei dati (terminale connesso a rete internet). Ipotizzando l'assenza di un qualsiasi tipo di struttura di appoggio è comunque possibile il trasferimento tramite modem satellitare. Questa soluzione è già stata sperimentata nel quadro della sperimentazione del 2006 /2007 in cui è stato realizzato un collegamento tramite trasmissione satellitare dei dati GPS ad un sito remoto. Sono stati utilizzati dei modem della ELSACOM opportunamente programmati per consentire l'invio dei dati sia in tempo reale (frequenza di 1 Hz) sia mediante pacchetti di due ore di dati. La realizzazione di questa prova era stata eseguita sostanzialmente a cura di Thales-Alenia Italia e ELSACOM, e aveva dato esito pienamente positivo. La trasmissione satellitare non può essere impiegata massicciamente nei sistemi descritti per i costi di funzionamento notevolmente elevati.

6.3. Copertura satellitare

Il monitoraggio di un edificio con metodi di GNSS deve essere possibile dovunque l'edificio sia collocato. Nel caso diffuso di edifici di centri abitati posti

in un versante franoso, il sensore GNSS può avere una visibilità del cielo assai ridotta per ostacoli naturali (il versante montagnoso) e artificiali (forma del tetto, edifici circostanti, alberatura), e questo diminuisce il numero di satelliti utilizzabili, soprattutto se si ha a disposizione una unica costellazione. Nella sperimentazione condotta, nella quale si è potuto scegliere gli edifici da controllare tra quelli a rischio, è presente una buona visibilità al cielo (le antenne erano in cima a tetti), ma nonostante questo si sono avuti problemi di insufficiente numero di satelliti GPS in certi momenti della giornata. La presenza di altre costellazioni interoperanti con il GPS consentirebbe l'utilizzo dei segnali di un maggior numero di satelliti anche in presenza di ostacoli. Per verificare quale potrebbe essere la situazione in presenza della costellazione Galileo completamente dispiegata, si è proceduto alla realizzazione di un software che consente il calcolo del numero di satelliti visibili e del relativo PDOP (COS'è il PDOP e GDOP). Per la simulazione sono state utilizzate orbite Yuma e parametri ricavati dal sito ufficiale della ESA per il Galileo, ed effemeridi broadcast per l'attuale costellazione GPS in corrispondenza del periodo di rilievo. In corrispondenza di un punto nella zona in cui è stata realizzata la rete di monitoraggio, sono stati considerati tre scenari, solo costellazione GPS, Solo Galileo, GPS + Galileo, tutti con una maschera in elevazione di 10° senza prevedere ulteriori ostacoli per una durata di un giorno in corrispondenza dei quali è stato calcolato il numero di satelliti visibili dal punto.

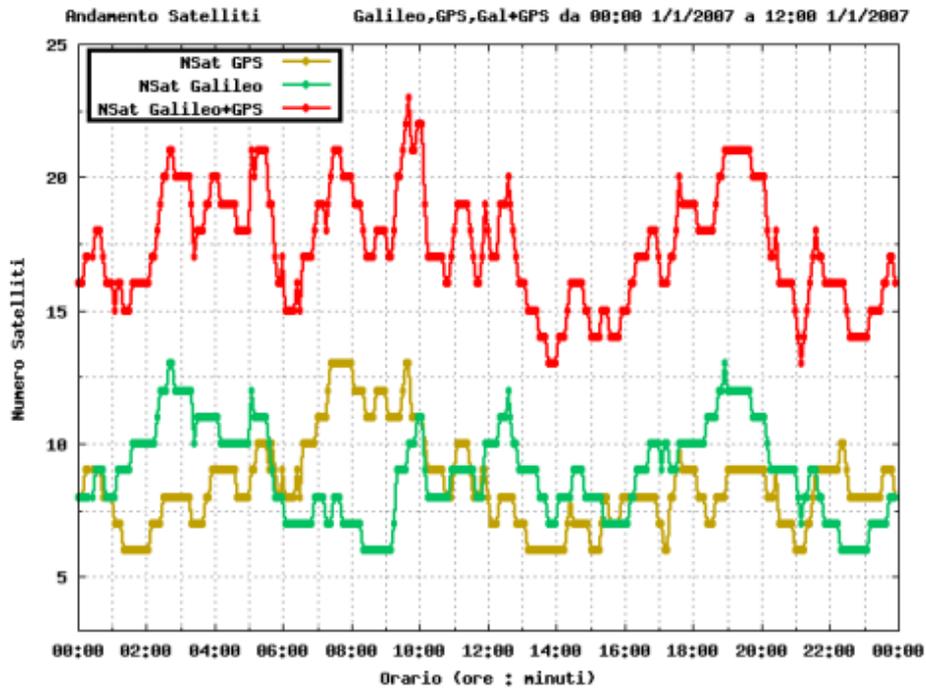


Figura 14 Numerosità di satelliti, solo GPS, solo Galileo, entrambi

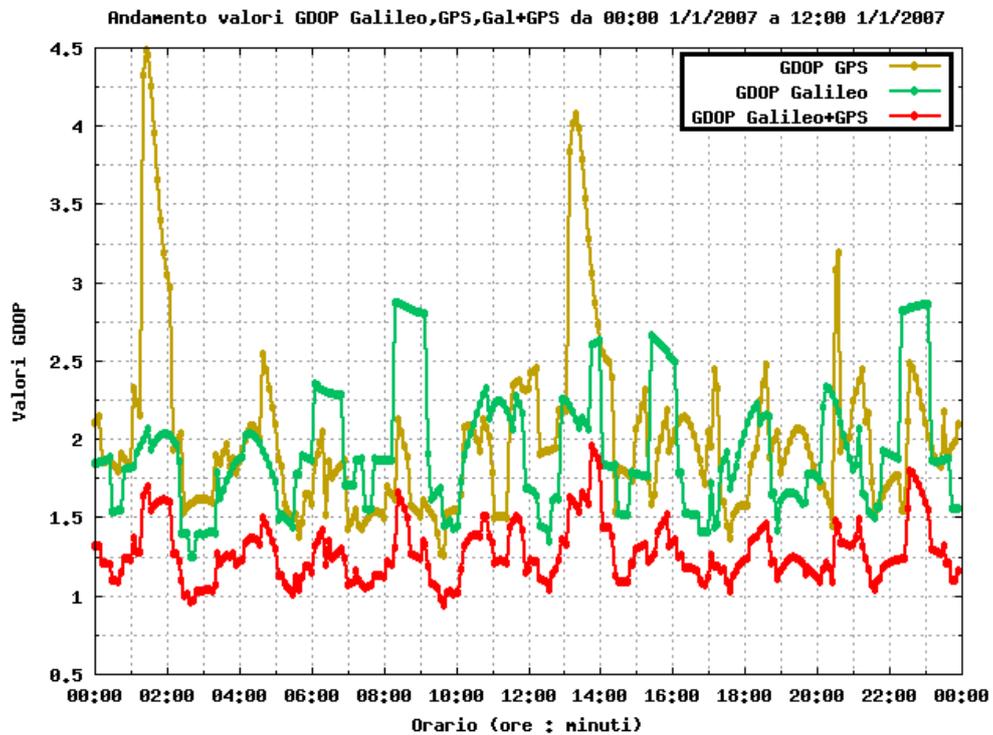


Figura 15 Valore D.O.P: solo GPS, solo Galileo, entrambi

La costellazione GPS presenta (in assenza di ostacoli direzionali) una visibilità variabile da 6 a 12 e lo stesso vale per Galileo da solo, mentre le due costellazioni interoperanti permettono la visibilità da 13 a 23 satelliti. Il calcolo del GDOP mostra valori da 1.5 a 4.5 per il GPS, migliori per il Galileo, (da 1.4 a 2.8) e per le due costellazioni un valore sempre inferiore a 2. Ci si deve dunque aspettare un considerevole miglioramento della situazione quando saranno disponibili entrambe le costellazioni anche nei casi reali, in presenza di ostacoli in certe direzioni.

6.4. Analisi e filtraggio dei dati

Per quanto di durata breve (quattro mesi) l'esperimento effettuato nel 2006 / 2007 ha suggerito che il funzionamento per tempi lunghi del sistema di monitoraggio consente la valutazione della velocità del movimento con precisione sub centimetrica, ma la presenza di fenomeni periodici, in gran parte riconducibili a effetto di multipath, e di un elevato (centimetrico) livello di rumore, rende difficile la valutazione in tempi molto brevi di rapide variazioni del movimento. In questa direzione si era manifestata, al termine della prima sperimentazione, la necessità di affinare l'elaborazione del dato e il suo filtraggio.

In particolare:

1. L'analisi spettrale non è stata approfondita fino a cercare di individuare un modello che spieghi il comportamento della serie temporale ma limitata alla verifica della presenza di una armonica corrispondente al giorno siderale. Tale conferma ha poi indirizzato verso il raggruppamento delle osservazioni per multipli di giorni siderali;
2. occorre continuare lo studio degli effetti combinati del multipath sulle varie antenne e quindi cercare metodi più efficaci di filtraggio e individuazione dell'andamento giornaliero, valutando quali metodi di elaborazione numerica permettono di ottenere un andamento rappresentativo degli effetti periodici.

Nel corso del presente lavoro di tesi, come descritto nei capitoli 5 e 6, è stato ulteriormente approfondito il lavoro di analisi dei dati relativi alla sperimentazione del 2006. Si è ritenuto infatti che i nuovi dati ottenuti da strumentazione Leica avrebbero manifestato le caratteristiche di periodicità dei precedenti, rendendo comunque necessaria una elaborazione e un post processamento dei dati real time per aumentarne la precisione.

Capitolo 3.

La nuova rete di monitoraggio

Partendo dalle considerazioni emerse dall'esperienza precedente, descritte nel capitolo II, il DISTART ha intrapreso una seconda sperimentazione a Gaggio Montano per cercare di introdurre alcuni miglioramenti. Lo scopo, anche in questo caso, non è tanto monitorare la frana di Gaggio, quanto testare le possibilità di utilizzo reale di un sistema di questo tipo e quantificare i possibili miglioramenti alla precisione che è possibile introdurre in fase di post-processing.

I soggetti coinvolti sono l'Ufficio Tecnico del Comune di Gaggio Montano, la Leica spa, che si occupa della fornitura del sistema di monitoraggio, e i tecnici e il personale del DISTART di Ingegneria. Le tempistiche previste sono riassunte nel diagramma di Gantt (Figura 16).

La fase iniziale di progettazione, che comprende tra l'altro la progettazione dei nuovi supporti per le antenne, si è conclusa intorno a metà ottobre 2008. È seguita una fase di costruzione e verifica dei supporti e di impianto della rete a Gaggio, tuttora in corso, che coinvolge anche il personale tecnico Leica e che dovrebbe terminare tra marzo e aprile 2009. La fase di acquisizione si protrarrà per un periodo più lungo rispetto alla precedente (almeno 1 anno) in modo che sia possibile ricavare un trend del movimento del corpo frana.

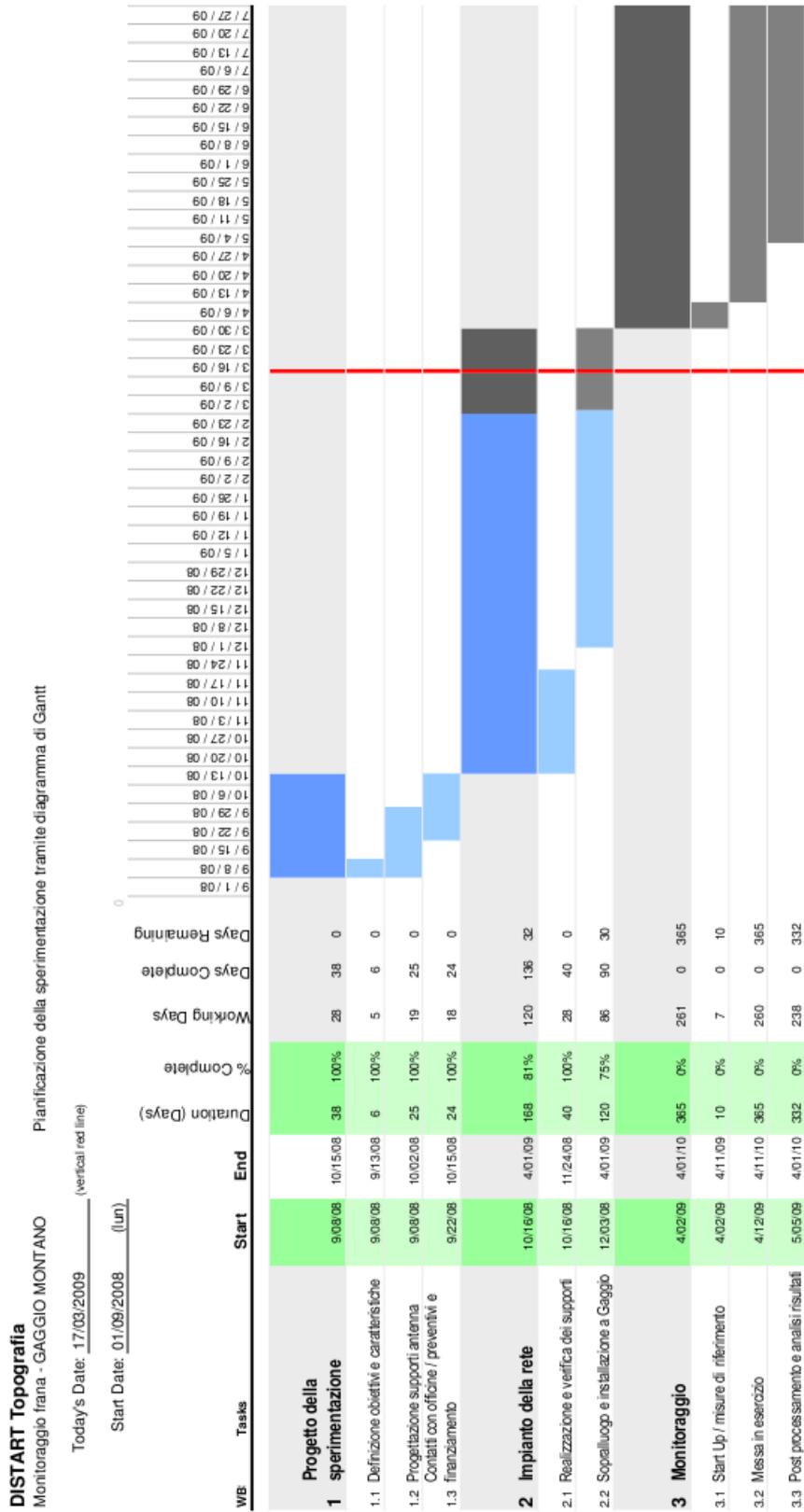


Figura 16 Diagramma di Gantt della sperimentazione in corso a Gaggio

1. Struttura della rete

La rete di monitoraggio in via di installazione a Gaggio è concettualmente molto simile alla precedente. Con riferimento alla Figura 17, i punti materializzati sul territorio sono 3, tutti su strutture pubbliche.



Figura 17 Dislocazione dei sensori della rete a Gaggio Montano (Google Earth)

1. ROVER 1 – Cimitero.

Al cimitero è prevista l'installazione di una antenna integrata Leica 901, su supporto a muro (vedi Figura 27), che comunica tramite convertitore di segnale RS-232 / ethernet con una antenna direzionale w-lan che invia il segnale al centro di controllo locale. Disponibilità di corrente continua 12V.

2. ROVER 2 – Scuola

Alla scuola è prevista l'installazione di una antenna Leica Leiax 1202GG con ricevitore Leica 902GG su supporto a muro (vedi Figura 26). Anche in questo

caso la trasmissione del segnale avviene con tecnologia *wireless* e i dati vengono inviati al server Spider del centro di controllo locale. Disponibilità di corrente alternata 220V.

3. MASTER – Municipio

Il punto principale, che funziona da centro di controllo locale del sistema di monitoraggio, verrà installato presso il Municipio di Gaggio. Il server Spider calcola la posizione dei due punti Rover rispetto al punto Master, e una perdita di dati relative a questo punto comporterebbe l'inutilità dei dati relativi ai punti Rover. Inoltre il punto sul Comune entrerà a far parte della rete di stazioni GNSS permanenti BoPos (vedi pag.57). Per queste motivazioni si è scelto di installare al Comune un ricevitore Leica System1200GG che essendo dotato di memoria interna salvaguarda dalla possibile perdita di dati. L'antenna del ricevitore e l'antenna wireless per la ricezione dei dati dalle altre postazioni verranno collocate su supporto fissato al tetto dell'edificio, in collegamento con una macchina posta in rete e dotata di un indirizzo IP statico.

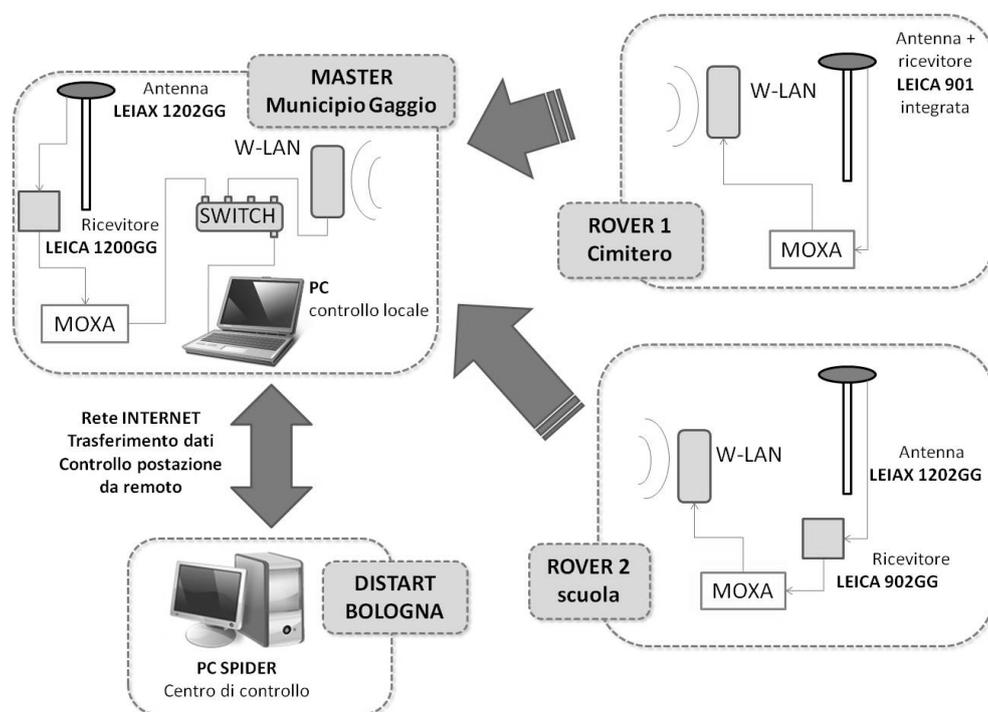


Figura 18 Schema della nuova rete di monitoraggio

Le 3 stazioni GPS e GNSS inviano i dati al server Spider installato su PC presso il Comune di Gaggio. Spider provvede ad elaborare una soluzione in RT che verrà archiviata su file e / o resa disponibile attraverso porta ethernet o seriale. Il PC sarà configurato per essere visibile e controllabile da remoto in modo che sia possibile in ogni momento gestire eventuali modifiche al sistema direttamente da Bologna e scaricare i dati per l'elaborazione. Verranno archiviati anche i file Rinex relativi a tutti e tre i ricevitori, in questo modo sarà possibile anche una post elaborazione dei dati non elaborati dall'algoritmo di Spider per RTK.

Per una descrizione più dettagliata sul sistema di trasmissione dati *wireless* e sul confronto fra le varie tecniche di trasmissione dati si rimanda a pagina 44 e seguenti.

2. Inserimento del centro di controllo nella rete BOPOS

La rete di stazioni permanenti per il posizionamento in tempo reale, gestita dal DISTART dell'Università di Bologna, nasce nel 2003 per lo studio delle problematiche connesse alla realizzazione di un servizio di posizionamento basato sull'approccio Network Real Time Kinematic. Nella sua configurazione iniziale la rete era formata da sole 4 stazioni permanenti (Bologna, Reggio Emilia, Ferrara e Forlì) nel corso degli anni, tale numero si è incrementato sino a raggiungere le 11 stazioni operative (più una stazione di controllo, per un totale di 12) che coprono zone dell'Emilia Romagna, del nord delle Marche, della Toscana e una piccola parte della Lombardia. L'ampliamento è stato realizzato sia per ottenere un miglior funzionamento, sia per meglio comprendere aspetti differenti del sistema, anche non spiccatamente topografici: l'impianto di una struttura NRTK richiede di affrontare differenti problematiche, sia dal lato del gestore (tecnologico e geodetico) sia dal lato dell'utenza (Barbarella et al., 2004). La materializzazione delle stazioni è stata effettuata sia su edifici pub-

blici che privati. I ricevitori GPS in dotazione sono di differenti modelli, LEICA (GX1230, GRX1200 PRO, RS500, SR530), TOPCON (TPS GB-1000), JAVAD (JPS LEGACY), TRIMBLE (RS). La trasmissione dati tra Stazioni di Riferimento e Centro di Controllo, ubicato presso il DISTART di Bologna, viene realizzata usando sia la rete di trasmissione universitaria (GARR) che i collegamenti di tipo commerciale (ADSL). Nel corso degli anni sono stati testati, mediante varie sperimentazioni, tre software di gestione della rete, netGPS di Trimble (nel periodo settembre 2003 –Marzo 2004), GNSMART GNNS Network di Geo++® (nel periodo Marzo 2004 – Marzo 2005) e SpiderNET di Leica Geosystems (da Marzo 2005 ad oggi).

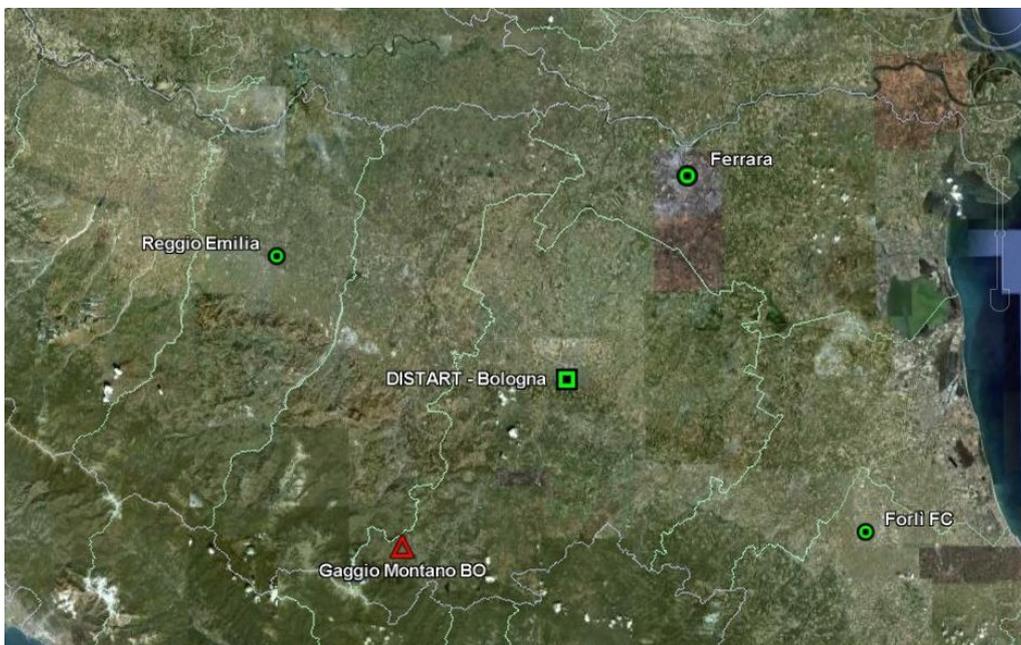


Figura 19 Configurazione della rete BoPoS (fonte GoogleEarth)

Come si può vedere dalla Figura 19, è previsto l’inserimento all’interno della rete di stazioni permanenti BoPoS del punto materializzato sul Municipio di Gaggio (centro di controllo locale della rete di monitoraggio). Questo permetterebbe tra l’altro di tenere monitorati gli spostamenti del punto rispetto alle altre stazioni permanenti della rete (Bologna, Ferrara, Reggio e Forlì’), in modo da verificarne l’effettiva stabilità, per ora confermata da indagini di tipo geolo-

gico e dalla assenza di deformazioni sugli edifici. È di particolare importanza la stabilità del punto sul Municipio in quanto costituisce il riferimento rispetto cui vengono calcolati gli spostamenti degli altri due punti monitorati.

L'inserimento della stazione nella rete BoPos non richiede ulteriore strumentazione rispetto a quanto verrà installato per la rete di monitoraggio, in quanto la scelta di installare un ricevitore dotato di scheda di memoria interna (Leica System 1200) è motivata anche dalla sua funzione di stazione permanente. I dati raccolti ed elaborati dal Sever Spider locale (Site Positioning) installato sulla macchina al Municipio verranno inviati tramite internet al Server Spider remoto (Network Server) presente al Distart di Ingegneria, che provvederà al calcolo e alla disseminazione delle correzioni NRTK.

3. Nuova materializzazione

Per ovviare ai problemi di stabilità del sistema di fissaggio ed elevazione delle antenne, che si sono manifestati nella prima sperimentazione del 2006, sono stati realizzati dei supporti studiati appositamente per questo tipo di applicazioni, tra cui un utilizzo a Gaggio Montano, che rispondessero alle seguenti caratteristiche:

- versatilità e modulabilità, per potersi adattare alle diverse situazioni reali;
- rigidità della struttura per evitare errori di misura;
- resistenza alla corrosione, peso contenuto, economicità.

3.1. Studio e progettazione delle componenti

Il sistema di installazione delle antenne deve essere pensato per rispondere ad esigenze contrapposte: deve essere sufficientemente rigido per impedire il movimento derivante da sollecitazioni (ad es. vento) che falserebbero le misure,

ma deve anche essere leggero e permettere una buona elevazione per avere visibilità dell'antenna rispetto agli ostacoli circostanti.

E' stato progettato un sistema composto da più moduli, che possono essere aggiunti per aumentare l'altezza e il braccio del supporto. Si riportano nel seguito alcune informazioni tecniche riguardanti la progettazione dei pezzi, il lavoro è stato svolto dall'Ing. Gandolfi Massimo. Il dimensionamento della struttura è stato realizzato quantificando le flessioni massime derivanti da simulazione tramite calcolo agli elementi finiti sulla struttura, cercando di evitare un sovradimensionamento che avrebbe comportato un aumento considerevole del peso e conseguenti difficoltà di installazione, trasporto e sollecitazione della zona di ancoraggio. Si sono ipotizzate due configurazioni costruttive sollecitate con forza trasversale di 200N come visibile da Figura 3 e Figura 4 (si ringrazia l'Ing. Gandolfi Massimo): la flessione massima è di circa 1,4 mm in configurazione 1 e 1,6 mm in configurazione 2.

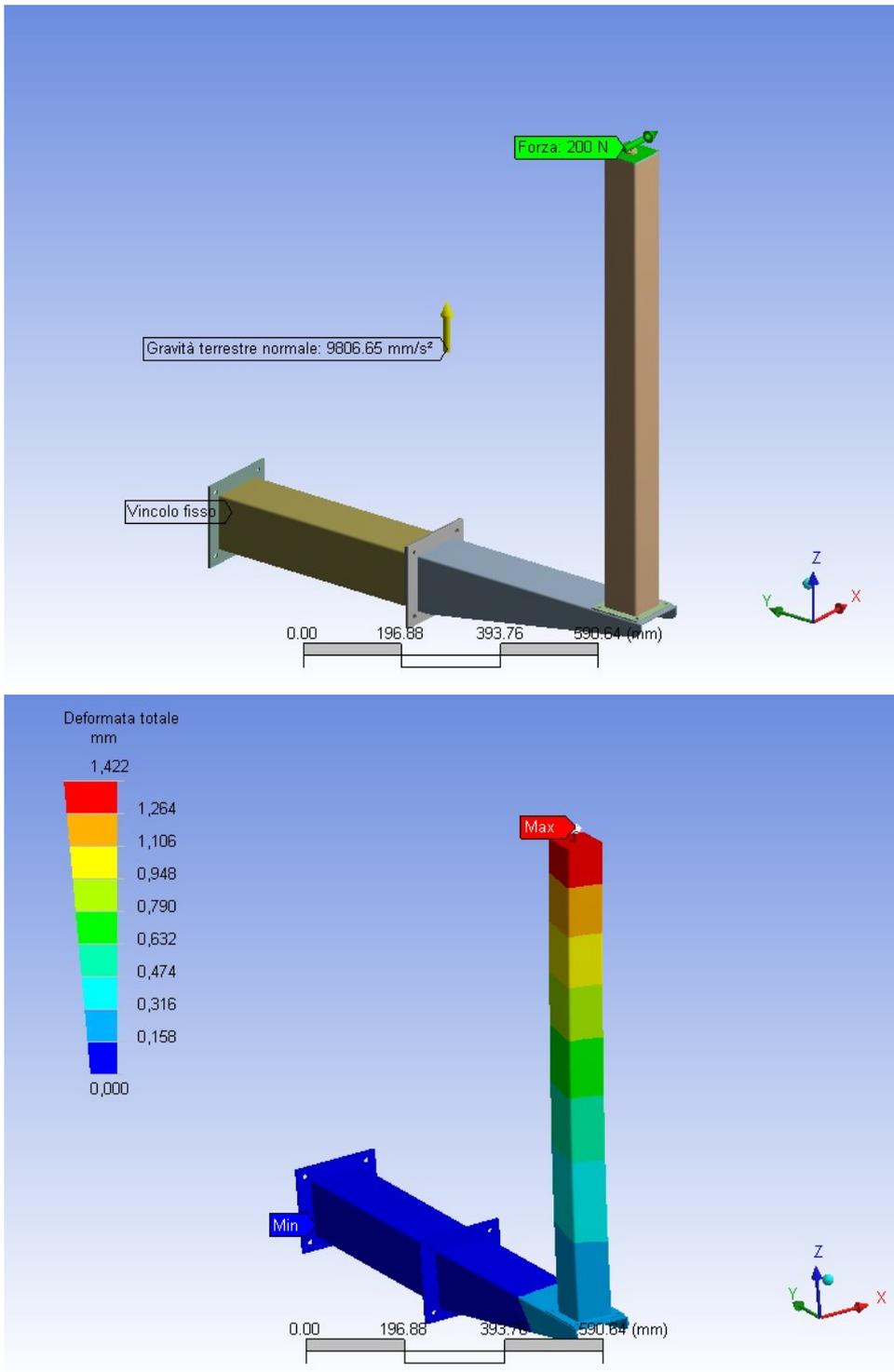


Figura 20 Prova e deformazione I

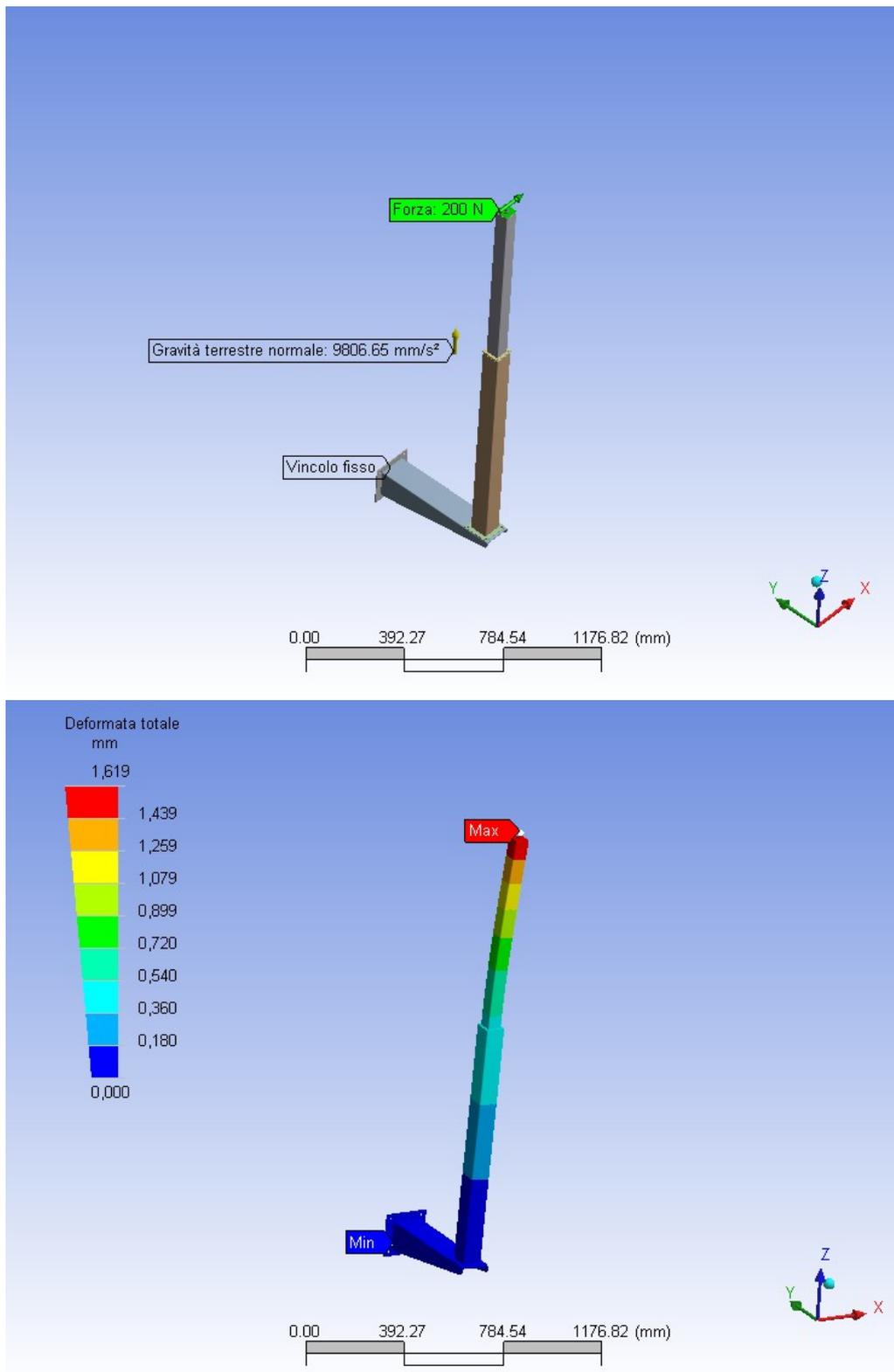
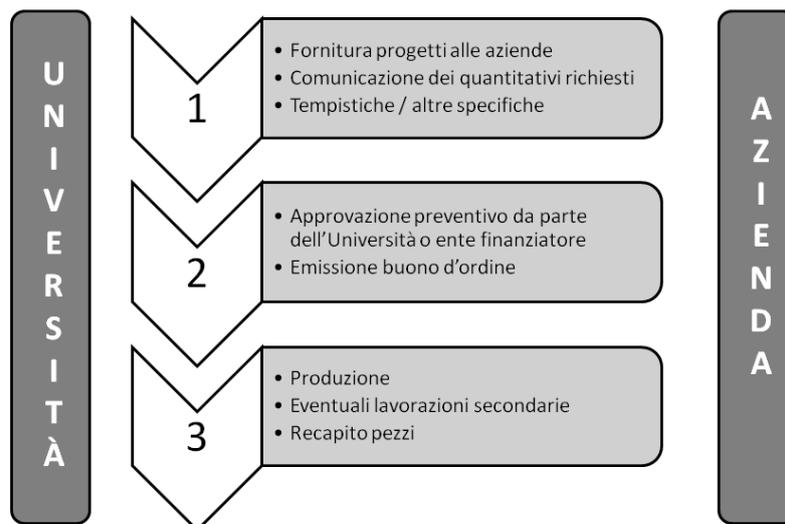


Figura 21 Prova e deformazione II

Per risolvere i problemi di corrosione dovuti all'installazione esterna si è optato per una struttura in ferro zincato che permette di contenere i costi rispetto all'acciaio inossidabile a fronte di una maggiore complessità realizzativa. La tecnica di zincatura a caldo viene effettuata da poche aziende specializzate, quindi i pezzi vengono realizzati in officina e successivamente trasferiti per la zincatura. Questa tecnica comporta un riporto importante di materiale che non è opportuno per i componenti "terminale antenna" e "adattatore" (vedi elenco seguente), contenenti filettature e giunzioni di precisione, che vengono realizzati in acciaio inossidabile. E' stato necessario asportare tramite limatura parte della zincatura nelle zone di giunzione, perché si erano formate bave e depositi di materiale che impedivano una adesione corretta. Tutti gli assemblaggi avvengono tramite giunzioni vite e dado autobloccante, il fissaggio alla parete avviene con tasselli e/o collante chimico.

3.2. Realizzazione dei pezzi

Una volta definite le caratteristiche dei supporti e ottenuti i disegni in Autocad, si è passati alla fase realizzativa, per cui sono state coinvolte varie aziende. Nello schema seguente sono riassunte le operazioni necessarie per arrivare alla realizzazione dei pezzi.



Il primo passaggio, una volta contattata l'azienda e verificata la disponibilità a collaborare, è la comunicazione all'azienda stessa delle informazioni dettagliate necessarie alla stesura di un preventivo:

1. disegni Autocad dei progetti;
2. quantitativi;
3. accordo sulle tempistiche di realizzazione, eventuali lavorazioni esterne, recapito dei pezzi, documentazione (documento di trasporto, ...).

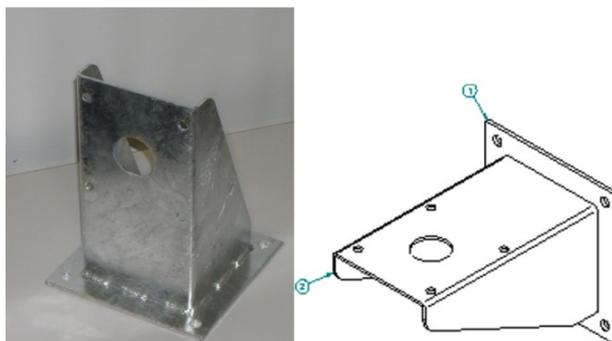
In seguito all'approvazione del preventivo da parte dell'Università o ente finanziatore si ha l'emissione di un buono d'ordine.

A questo punto l'azienda può avviare la produzione, a cui seguono eventuali lavorazioni aggiuntive, e infine i pezzi vengono recapitati presso l'Università o ritirati presso l'azienda come concordato.

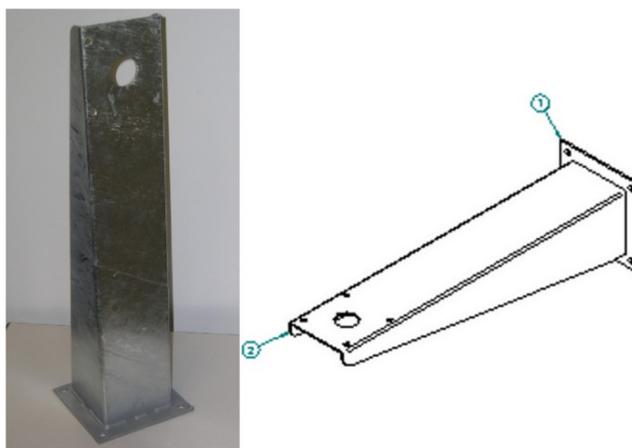
In particolare, i montanti e le mensole sono stati ottenuti tramite taglio laser (officina Classe48 con sede a Formigine), l'asola (passaggio dei cavi) dei montanti è stata ottenuta per fresatura (officina Ricamar con sede sempre a Formigine), il tutto è stato poi zincato a caldo (Galvan Tubi di Modena). L'adattatore e il terminale antenna sono stati realizzati entrambi per tornitura (aziende Tinti Enzo srl di Villanova di Castenaso e Minutecnica Bolognese snc di Rastignano) ed essendo realizzati in acciaio inox non necessitano di trattamenti superficiali.

I pezzi realizzati sono:

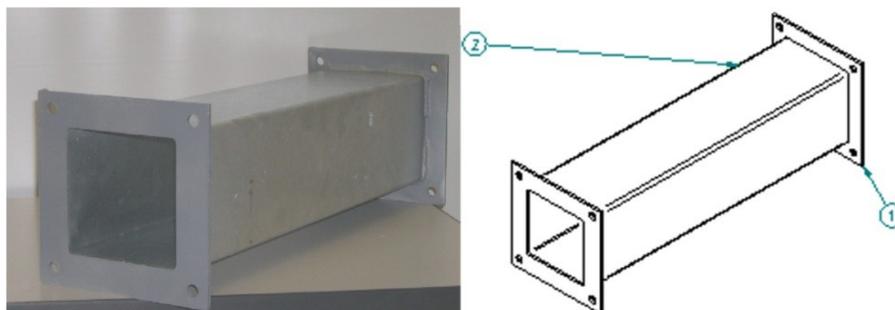
1. mensola corta, permette l'ancoraggio della struttura alla parete nel caso non siano presenti ostacoli in altezza



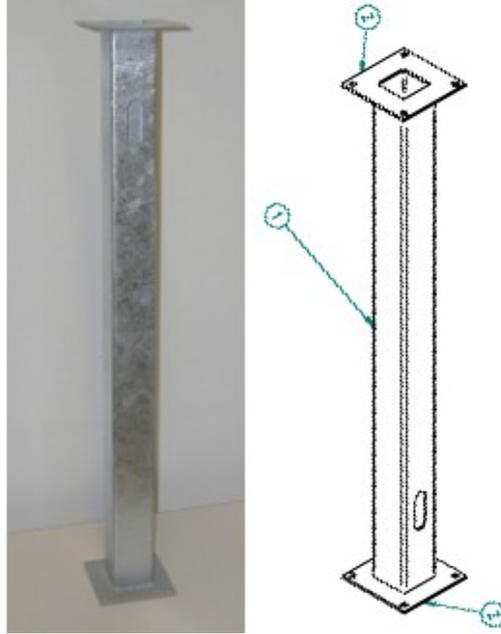
2. mensola lunga, permette l'ancoraggio della struttura alla parete realizzando uno scostamento orizzontale di circa 50 cm;



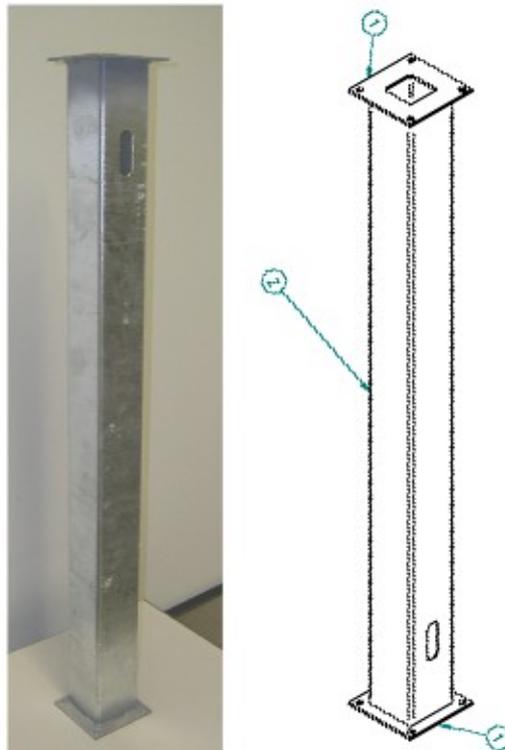
3. prolunga mensola, abbinandola alla mensola si può variare la distanza tra supporto e parete fino ad un massimo di circa un metro;



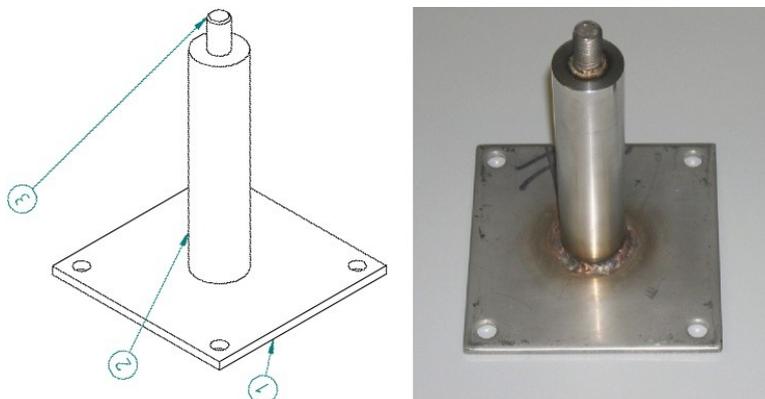
- montante, viene posizionato sulla mensola per ottenere una elevazione in altezza di circa 80 cm;



- prolunga montante, viene abbinato al montante per ottenere una ulteriore elevazione di un metro;



6. terminale antenna e adattatore 5/8 whitworth – M8, realizzato in acciaio inox, permette il fissaggio della antenna al supporto;



3.2.1. Costo indicativo della struttura per una singola installazione

Uno degli obiettivi della sperimentazione è valutare la fattibilità di un sistema di monitoraggio a basso costo tramite misure GNSS; in quest'ottica si ritiene utile riportare il costo di massima sostenuto per la realizzazione dei pezzi che vanno a comporre i supporti delle antenne. Le strutture in lamiera (14 moduli) sono state prodotte tramite taglio laser con un costo complessivo di 534,00 euro iva inclusa, a cui vanno aggiunti 102,00 euro di zincatura, per un prezzo medio di ogni singolo modulo di circa 45 euro. Per fissare le antenne ai supporti è necessario un particolare in acciaio inox (costo 30,00 euro) e un adattatore per filetto Whitworth-M8 (costo 6,24 euro). Per una installazione "tipica" composta da 3 moduli si ha un costo complessivo, escluso il montaggio, pari a:

Tipo	Q.tità	Prezzo (€)
Modulo (prezzo medio)	3	45,43
Adattatore	1	6,24
Adattatore witworth / M8	1	30,00
Minuteria	-	10,00
TOTALE		182,53

4. Strumentazione Leica

4.1. Hardware

Come già descritto la struttura della rete prevede tre punti dislocati sul territorio del Comune di Gaggio:

1. master al Municipio, che fungerà sia da stazione permanente da inserire all'interno della rete BoPos che da centro di controllo locale per il sistema di monitoraggio;
2. rover alla scuola;
3. rover al cimitero.

Al Municipio verrà installato un ricevitore Leica System1200 doppia frequenza con memoria. La doppia frequenza delle portanti L1 e L2 è utile quando le distanze da calcolare sono nell'ordine di km in quanto permette di ridurre l'errore ionosferico: disponendo di un segnale a due frequenze si può apprezzare il ritardo di una frequenza rispetto l'altra e tramite questo ricostruire l'effetto della ionosfera⁴. Il ricevitore è dotato di memoria e gestisce GLONASS e GPS:

GNSS GX 1230 GG	
Tecnologia GPS / GNSS	Smart Track +
Canali	12L1+12L2 GPS 12L1+12L2 WAAS GLONASS/EGNOS
RTK	Si, Smartcheck
Porte	1 porta di potenza, 3 porte seriali, 1 porta controller, 1 porta antenna
Antenna	SmartTrack + AX1202 GG Ground plane incorporato

Tabella 3 Caratteristiche tecniche Leica System1230

⁴ La differenza tra il valore misurato e il valore geometrico del range Δ_{iono} risulta dipendente dalla frequenza f e dall'integrale della concentrazione di ioni lungo il percorso TEC :

$$\Delta_{iono} = \frac{c \cdot TEC}{f^2}$$

Dato che la distanza fra i due punti di monitoraggio e la stazione master è dell'ordine di qualche centinaio di metri, al cimitero e alla scuola non c'è la necessità di installare ricevitori doppia frequenza. Per questo motivo si è scelto, per contenere i costi, di installare i ricevitori 901 e 902 della Leica, specifici per il monitoraggio. La differenza fra i due è che il GMX901 non è in grado di gestire i satelliti GLONASS (solo GPS), mentre il 902 è a tutti gli effetti un ricevitore GNSS in grado di gestire sia GLONASS che GPS:

	GMX901	GMX902 GG
Tecnologia GPS	Clear Track	Clear Track
Canali	GPS 12 L1	GPS: 28 L1/L2 GLONASS: 24 L1/L2 Data rate 20Hz
Data rate	1Hz	20Hz
Porte		2 RS232 / 1 PPS per sincronizz. altro sensore
Antenna	Integrata Leica AT501 Groundplane incorporato	- Esterna Leica AX1202 Groundplane incorporato - CHOKE Ring AT504
Alimentazione	12V	12V
Consumo	1,7W	2,0W
Specifiche ambientali	Umidità sino a 100% Impermeabilità IP67 Range T -40° +65°C	Umidità sino a 95% Impermeabilità IP67 Range T -40° +65°C
Peso	0,75kg	0,8kg + antenna

Tabella 4 Caratteristiche GMX901 e GMX902GG

Entrambi non sono dotati di memoria e devono essere costantemente in grado di scaricare il dato su pc, nel momento in cui si perde la comunicazione non si ha più la possibilità di recuperare i dati.



Figura 22 Antenna Leica LEIAX 1202GG e ricevitore Leica SYSTEM1230GG



Figura 23 Antenna e ricevitore integrato Leica GMX901



Figura 24 Antenna Leica LEIAX 1202GG (dx) e ricevitore Leica GMX902GG (sx)

Per ogni ricevitore e modem è previsto un alloggiamento con armadio (grado di protezione IP66) che comprende all'interno:

- Unità di alimentazione con batteria in tampone al Pb da 55 A/h con sistema automatico di ricarica da Rete 220VAC. Nel caso sia previsto è possibile anche la ricarica da pannello solare.
- Regolatore di carica con protezioni sia in ingresso che in uscita con dispositivo di riarmo automatico in caso di interruzione e successivo ripristino della linea 220V.
- Connettori a parete a tenuta stagna.
- Ventole di raffreddamento con termostato.



Figura 25 Esempio armadietto per postazione fissa rover gps

4.2. Software

I 3 ricevitori forniscono in uscita dati originali in formato binario Leica (MDB) che vengono gestiti con software proprietario Leica GPS Spider opzione Positioning Site, installato sulla macchina presente al Municipio.

Il software provvede ad elaborare le basi tra i ricevitori e può fornire in output vari prodotti:

- Risultato di precisione in post processing a varie finestre temporali.
- Elaborazione real time delle coordinate dei punti in vari formati di trasmissione;
- File giornalieri in formato Rinex per il post processing.

In particolare il prodotto real time può essere direttamente memorizzato in file, di cui è possibile specificare la lunghezza temporale (10 min., 1h, 1 day,...), oppure indirizzato con protocollo TCP / IP ad un IP su macchina esterna o sulla stessa macchina per svariate applicazioni. Per una descrizione dettagliata del SW Spider e dei prodotti di elaborazione si rimanda a pagina 127.

5. Stato di installazione della rete

In data 03 dicembre 2008 si è proceduto con l'installazione a muro dei supporti sui punti Cimitero e Scuola (Figura 26 e Figura 27) a Gaggio Montano. Sono stati montati i moduli necessari alla elevazione dell'antenna al di sopra del tetto degli edifici per permettere una buona visibilità dei satelliti, conservando un angolo di cutoff di 10° . Al cimitero questo ha significato montare tre moduli che hanno permesso una elevazione di 1,80 m e uno sbraccio orizzontale di circa 20 cm mentre alla scuola sono stati montati sempre tre moduli ma per ottenere una elevazione di 1 m e uno sbraccio di circa 90 cm.



Figura 26 Supporto antenna installato alla scuola di Gaggio



Figura 27 Supporto antenna installato al cimitero di Gaggio

Per poter avviare la fase di raccolta dei dati rimane ancora da:

1. materializzare il punto al Comune, per cui è stato necessario modificare i supporti a muro per adattarli alla installazione sul tetto;
2. installare le antenne GNSS, le antenne direzionale *wireless*, la stazione PC e altro *hardware*;
3. configurare il sistema di monitoraggio in collaborazione con i tecnici Leica.

Capitolo 4.

Lisciamento dati: cenni di teoria e software utilizzato

Con l'impianto della nuova sperimentazione a Gaggio Montano si è cercato, come già descritto, di ovviare agli inconvenienti riscontrati con la precedente esperienza. Questo ha significato un miglioramento della componente hardware: nuovi sensori, materializzazione più solida e appositamente progettata, software specifico per il monitoraggio, ecc.

Verosimilmente i dati ottenuti nel corso del nuovo progetto presenteranno caratteristiche simili ai precedenti e rimane quindi la necessità di un miglioramento della precisione del segnale per il posizionamento real time, raggiungibile con l'individuazione e modellizzazione di errori casuali e periodicità del segnale.

Nel presente capitolo vengono descritti gli strumenti e le tecniche di analisi numerica che possono essere utilizzati per il trattamento di questo tipo di dati. Nel capitolo successivo sono mostrate alcune tecniche di miglioramento della precisione dei dati, e i risultati ottenuti dalla loro applicazione ai dati "vecchi" relativi alla sperimentazione del 2006 / 07.

1. Smoothing data

Nell'approssimazione di un fenomeno discreto (noto per punti) mediante un modello continuo, l'interpolazione determina una funzione (polinomio, spline,...) che coincide con il fenomeno da approssimare nei punti dati. Nelle applicazioni tale modello non sempre è conveniente: se si ha un numero molto elevato di dati, come nel caso dell'acquisizione di misure tramite GPS, forzare una funzione a passare esattamente per tutti i punti non sempre produce una curva utile per visualizzare l'andamento del fenomeno. È più conveniente utilizzare una curva che passi attraverso tali dati ma con un andamento più "liscio" (curva smooth) così da rappresentare la tendenza globale dei dati. Se poi i dati sono affetti da un errore di tipo sperimentale, ossia del tipo:

$$y_i = b(x_i) + e_i$$

non è ragionevole descrivere $b(x)$ con una funzione che riflette tutto l'errore, è più opportuno descrivere tali dati mediante una funzione che rappresenta la maggior parte delle informazioni e poco l'errore.

La tecnica migliore per risolvere problemi di questo tipo è effettuare uno smoothing dei dati, determinare cioè una funzione che si scosti poco dai dati, in modo da non perdere le informazioni contenute, e che smorzi l'eventuale errore in essi presente.

Il problema da risolvere è il seguente: dati m punti $x(i)$ ed m valori $y(i)$ si vuole determinare una funzione $f(x)$ che si scosti "poco" dai dati e che smorzi l'eventuale errore presente in essi.

Per risolvere univocamente tale problema bisogna:

1. scegliere il tipo di funzione approssimante (polinomi, spline,...);
2. definire una misura dello scostamento del modello dai dati.

Le due assunzioni base che sottintendono allo smoothing sono:

- corrispondenza fra i dati originali e i dati liscati;

-
- la procedura di liscio porta ad una stima migliore della misura reale rispetto al dato sperimentale, in quanto il rumore è stato ridotto.

La procedura di smoothing va considerata come una tecnica di “esplorazione” dati che invalida l'assunzione di distribuzione normale degli errori.

Nel seguito del capitolo verranno descritte le tecniche di smoothing data e gli algoritmi corrispondenti a ciascuna di esse che sono stati implementati a scopo di confronto tramite i programmi di calcolo MatLab e Octave.

2. Descrizione dei software utilizzati

Gli obiettivi principali del lavoro di analisi dei dati sono:

1. verificare la presenza di un trend periodico nel segnale;
2. quantificarne l'effetto sulla precisione dei dati;
3. costruire un modello che tenga conto di questi sistematismi per migliorare la precisione.

Per svolgere un lavoro di questo tipo si pu' decidere di lavorare in tanti modi diversi, la scelta `e ricaduta su MatLab e Octave per il calcolo numerico, Gnu-plot per comporre grafici e Bash per svolgere operazioni su più file.

2.1. MatLab

MatLab (abbreviazione di Matrix Laboratory) è un ambiente per il calcolo numerico e l'analisi statistica che consente di manipolare matrici, visualizzare funzioni e dati, implementare algoritmi, creare interfacce utente, e interfacciarsi con altri programmi. MatLab `e stato utilizzato soprattutto nella fase iniziale del lavoro, poi `e stato sostituito quasi completamente con Octave, software concettualmente molto simile nelle funzioni che vengono svolte e anche nella sintassi del linguaggio interpretato. Il passaggio da MatLab a Octave `e dovuto alla possibilità di utilizzare Octave in combinazione con script Bash in sistema

operativo Linux per iterare funzioni concatenate e ripetitive quali l'analisi, l'elaborazione, la modifica di dati contenuti su file diversi (i file giornalieri, vedi 4.2). Per sfruttare uno dei pregi di MatLab, cioè le funzioni già implementate all'interno delle librerie e in grado di svolgere operazioni complesse quali il lisciamiento dei dati, i file .m sono stati "trapiantati" e interpretati in Octave, il tutto senza problemi di sintassi data la similarità dei linguaggi e la flessibilità di interpretazione di Octave.

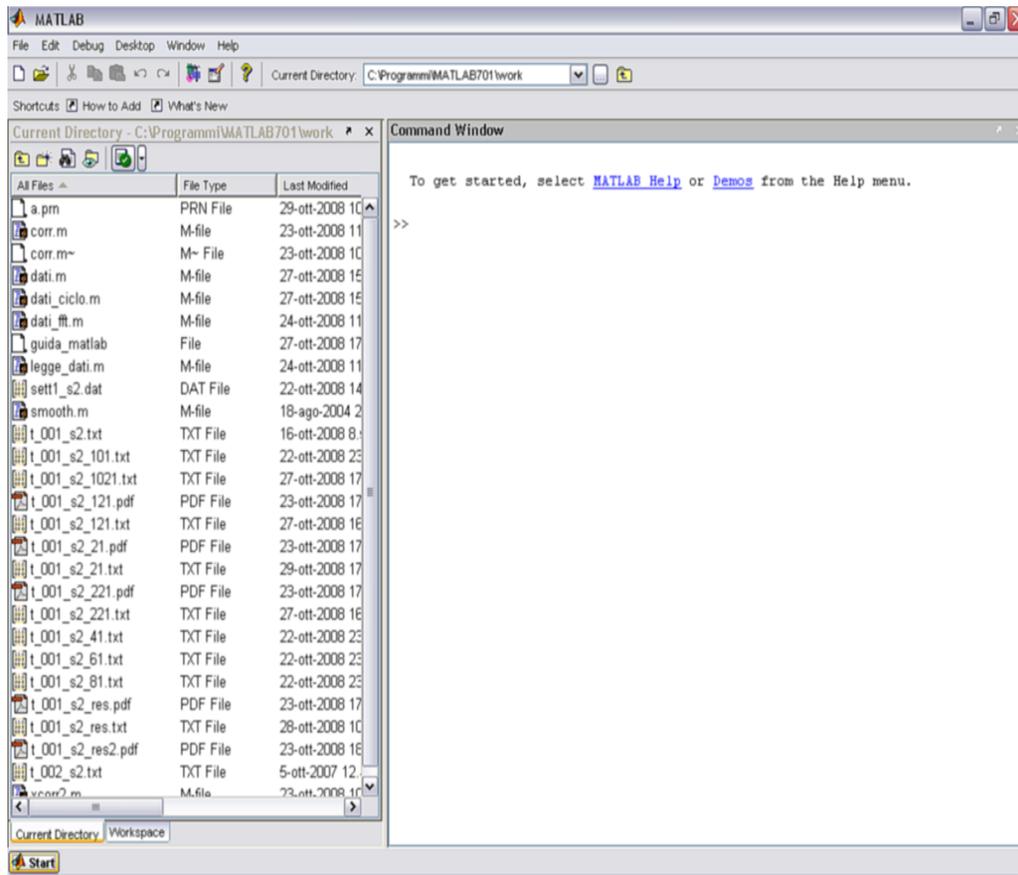


Figura 28 Screenshot MatLab

2.2. Octave

GNU Octave è un'applicazione software per l'analisi numerica che supporta diverse system calls e funzioni UNIX. I programmi scritti con Octave sono degli script o liste di chiamate a funzioni. Il linguaggio dispone di diversi tipi di

dati: oltre quello numerico esistono anche un tipo logico (true, false), uno di tipo stringa e strutture dati analoghe alle struct del linguaggio C. Per il lavoro di elaborazione dati è stato utilizzato quasi esclusivamente il linguaggio matriciale. Il linguaggio di Octave mette a disposizione varie strutture per il controllo del flusso, come i test logici if-else e switch ed i cicli while e do-until. Come già detto, la sintassi è molto simile a quella di MatLab, ed è possibile scrivere script che girano sia sotto Octave che su MatLab.

```
GNU Octave, version 3.0.3
Copyright (C) 2008 John W. Eaton and others.
This is free software; see the source code for copying conditions.
There is ABSOLUTELY NO WARRANTY; not even for MERCHANTABILITY or
FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. For details, type `warranty'.

Octave was configured for "i686-pc-linux-gnu".

Additional information about Octave is available at http://www.octave.org.

Please contribute if you find this software useful.
For more information, visit http://www.octave.org/help-wanted.html

Report bugs to <bug@octave.org> (but first, please read
http://www.octave.org/bugs.html to learn how to write a helpful report).

For information about changes from previous versions, type `news'.

octave:1> █
```

Figura 29 Screenshot Octave

2.3. Gnuplot

Gnuplot è un programma freeware che permette di creare grafici 2D e 3D di funzioni matematiche o tracciare diagrammi partendo da serie di dati incolonnate in un file di testo. Oltre a lavorare sui dati infatti è necessario avere la possibilità di visualizzare in maniera agile i risultati, le serie temporali e altri indicatori ottenuti. Si tratta spesso di grandi quantità di dati, che sarebbe effettiva-

mente troppo complicato gestire con un foglio di calcolo: per questo si è adottato Gnuplot. Il file di testo da cui vengono letti i dati da plottare può essere un file della serie temporale dei risultati del rilievo, oppure l'output di una elaborazione Octave o MatLab. Il programma gira su tutti i principali computer e sistemi operativi e può produrre un'uscita sia a schermo che nei principali formati di file. È stata utilizzata soprattutto la modalità da shell, che consente di salvare le istruzioni per creare le immagini in semplici script.

2.4. Bash Script

Bash (acronimo per bourne again shell) è una shell testuale del progetto GNU usata nei sistemi operativi Unix e Unix-like, specialmente in GNU/Linux. Si tratta di un interprete di comandi che permette all'utente di comunicare col sistema operativo attraverso una serie di funzioni predefinite, o di eseguire programmi.

Bash è in grado di eseguire i comandi che le vengono passati, utilizzando la re-direzione dell'input e dell'output per eseguire più programmi in cascata in una pipeline software, passando l'output del comando precedente come input del comando successivo. Oltre a questo, bash mette a disposizione un semplice linguaggio di scripting che permette di svolgere compiti più complessi, non solo raccogliendo in uno script una serie di comandi, ma anche utilizzando variabili, funzioni e strutture di controllo del flusso. Altre shell alternative a bash e piuttosto diffuse sono la Korn shell, la C shell e tcsh.

3. Le tecniche di Smoothing da libreria MatLab

I codici *.m prodotti durante il lavoro di tesi, composti da script e chiamate di funzioni, non hanno dato problemi di compatibilità funzionando su Octave e MatLab senza necessità di modifica. Un aspetto positivo di MatLab è la possi-

bilità di attingere da una vasta libreria di codici, fornita direttamente con il software e scaricabile dalla rete, in grado di svolgere svariate operazioni di calcolo. All'interno di MatLab questa libreria è organizzata in sezioni dette ToolBox, che permettono di orientarsi tra le molteplici possibilità di utilizzo del programma. Alcuni esempi sono: Bioinformatic ToolBox, Communications ToolBox, Control System T., Curve Fitting T., Data Acquisition T., Database T., ecc. In queste ToolBox, attraverso una interfaccia grafica, è possibile inserire i dati, selezionare l'operazione da svolgere su di essi, escludere dati, plottare un grafico: sono tutte facilitazioni che permettono di utilizzare MatLab senza passare da riga di comando. Nel nostro caso la mole di dati da trattare e la necessità di svolgere più operazioni in sequenza ha reso sfavorevole l'utilizzo diretto di queste finestre. Dalla ToolBox sono stati "estratti" gli M-File functions contenuti in essa (vedi figura) e utilizzati all'interno degli script esposti in seguito.

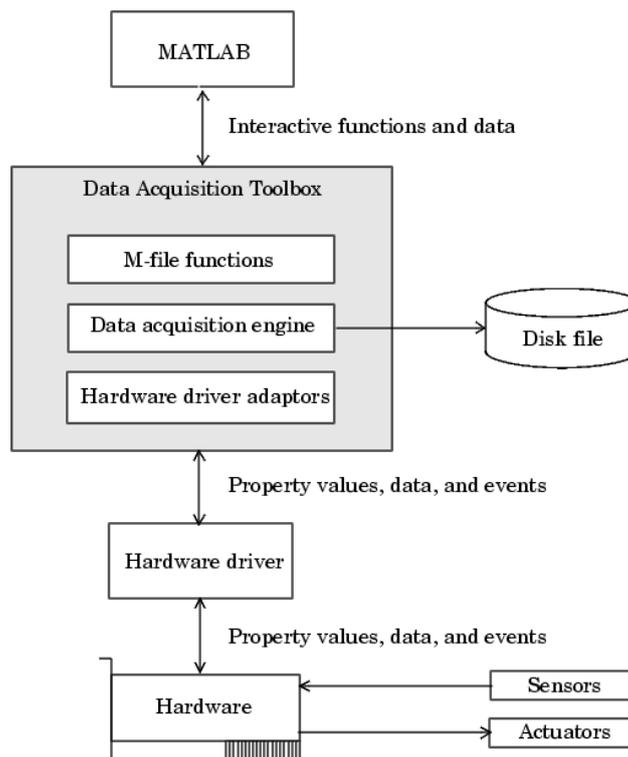


Figura 30 Schema delle function di Matlab

Le tipologie di lisciamiento dati presenti all'interno del programma di calcolo MatLab si possono suddividere in due categorie principali:

1. filtraggio attraverso media mobile semplice e generalizzata
2. regressione lineare e quadratica.

Entrambe operano una approssimazione locale: richiedono di definire uno span (intervallo) su cui operare, cioè una finestra di dati da includere nel calcolo (per ogni dato che deve essere approssimato). Intuitivamente una finestra ampia incrementa lo smoothness ma diminuisce la risoluzione, viceversa una finestra ridotta diminuisce il lisciamiento ma aumenta la risoluzione. Lo span ottimale dipende dalla tipologia di dati e dal metodo utilizzato, e la sua quantificazione richiede varie prove sperimentali. Gli strumenti di data smoothing come già detto sono raggruppati nella sezione Curve-Fitting Toolbox, nello specifico si sono analizzati:

1. Moving Average
2. Lowess
3. Robust lowess
4. Loess
5. Robust loess
6. Savitzky-Golay

La function `smooth:m` (vedi Tabella 5) suddivide i dati secondo l'intervallo impostato e varia nella sintassi a seconda dell'algorithmo che viene richiamato:

$$yy = \text{smooth}(ydata, span, 'method', degree)$$

ydata	Vettore colonna dei dati da elaborare
span	Numero dei dati da includere per ogni iterazione dell'algorithmo. Per i metodi <i>loess</i> e <i>loess</i> lo span viene inserito come percentuale del totale, ad es. intervallo di 10 dati su 100 si ha span 0.1
method	Metodo di lisciamiento utilizzato: 'moving' = media mobile 'lowess' = regressione ai minimi quadrati con polinomio di grado 1 'loess' = regressione ai minimi quadrati con polinomio di grado 2

	'sgolay' = media mobile generalizzata con coefficienti da metodo Savitzky – Golay
Degree	Grado del polinomio (solo per metodo Savitzky – Golay)
yy	Vettore dei dati lisciati

Tabella 5 Function smooth di Matlab

Si fornisce nei paragrafi seguenti una descrizione teorica e applicativa dei metodi utilizzati.

3.1. Media mobile – moving average

Il metodo più semplice per attenuare il rumore è utilizzare una media mobile, che permette di sostituire ogni dato sperimentale con la media dei punti compresi nell'intervallo definito. Si ottiene un risultato paragonabile ad un filtro passa-basso, descritto dalla seguente equazione alle differenze:

$$y_s(i) = \frac{1}{2N + 1} [y(i + N) + y(i + N - 1) + \dots + y(i - N)]$$

$y_s(i)$ è il valore lisciato per l' i -esimo dato

N è il numero di dati considerato a destra e a sinistra di x_i

$2N + 1$ è l'intervallo

Caratteristiche specifiche della function di media mobile contenuta nel Curve Fitting Toolbox di MatLab:

- intervallo composto da un numero dispari di elementi;
- lo span viene decrementato in automatico per i dati posti agli estremi, in modo da ottenere alla fine del procedimento una serie di dati avente lo stesso numero di elementi;
- il punto iniziale e finale non vengono mediati.

A titolo di esempio, i primi 4 valori di una media mobile con intervallo 5 sono dati da:

$$y_s(1) = y(1)$$

$$y_s(2) = \frac{1}{3}[y(1) + y(2) + y(3)]$$

$$y_s(3) = \frac{1}{5}[y(1) + y(2) + y(3) + y(4) + y(5)]$$

$$y_s(4) = \frac{1}{5}[y(2) + y(3) + y(4) + y(5) + y(6)]$$

3.2. Lowess e loess

Le approssimazioni "locally weighted scatter plot smooth" sono basate su una regressione ai minimi quadrati pesata in un intervallo locale: ogni dato viene processato definendo una funzione di regressione che approssimi i punti entro lo span, ciascun punto considerato in base alla distanza dal dato centrale.

3.2.1. Polinomio di minimi quadrati

Dati m punti x_i ed m valori y_i , scelta come funzione approssimante un polinomio di primo grado: $p(x) = a + bx$ bisogna definire la distanza di tale funzione dall'insieme di dati. Posto:

$$r_i = y_i - (a + bx_i) \quad i = 1, \dots, m$$

r_i è la distanza verticale di $p(x)$ dal punto $(x_i; y_i)$.

La distanza di $p(x)$ dall'insieme dei nodi si definisce allora come:

$$\sum_{i=1}^m r_i^2 = \sum_{i=1}^m (y_i - (a + bx_i))^2$$

La soluzione del problema, ossia la retta di minimi quadrati $p(x)$ che minimizza la distanza dai dati, è tale che:

$$\sum_{i=1}^m (y_i - (a + bx_i))^2 = \text{minimo}$$

Si dimostra inoltre che tale retta è quella che minimizza l'errore medio. La soluzione si ottiene imponendo che le derivate rispetto ad a e b siano nulle, e ciò porta ad un sistema lineare di due equazioni nelle incognite a e b , detto sistema

normale, che ha una ed una sola soluzione se le ascisse sono tutte distinte tra loro.

Risolvendo il sistema normale:

$$\begin{cases} ma + \left(\sum_{i=1}^m x_i\right)b = \sum_{i=1}^m y_i \\ \left(\sum_{i=1}^m x_i\right)a + \left(\sum_{i=1}^m x_i^2\right)b = \sum_{i=1}^m y_i x_i \end{cases}$$

si ottengono i coefficienti a e b della retta di minimi quadrati.

La retta viene utilizzata nell'algoritmo lowess, mentre nell'algoritmo loess la funzione utilizzata per descrivere l'insieme di dati è un polinomio di II grado. Il polinomio di secondo grado di minimi quadrati è quel polinomio $p(x) = a + bx + cx^2$ tale che:

$$\sum_{i=1}^m (y_i - (a + bx_i + cx^2))^2 = \text{minimo}$$

I coefficienti a, b e c si determinano risolvendo il sistema normale a tre equazioni:

$$\begin{cases} ma + \left(\sum_{i=1}^m x_i\right)b + \left(\sum_{i=1}^m x_i^2\right)c = \sum_{i=1}^m y_i \\ \left(\sum_{i=1}^m x_i\right)a + \left(\sum_{i=1}^m x_i^2\right)b + \left(\sum_{i=1}^m x_i^3\right)c = \sum_{i=1}^m y_i x_i \\ \left(\sum_{i=1}^m x_i^2\right)a + \left(\sum_{i=1}^m x_i^3\right)b + \left(\sum_{i=1}^m x_i^4\right)c = \sum_{i=1}^m y_i x_i^2 \end{cases}$$

3.2.2. Algoritmo di calcolo filtro lowess / loess

Per entrambi gli algoritmi viene fatta una regressione pesata: questo significa che nell'intervallo scelto per la determinazione del polinomio di approssimazione i dati hanno peso variabile, in questo caso definito a seconda della distanza dal dato centrale. Questo è espresso dalla funzione:

$$\omega_i = \left(1 - \left|\frac{x - x_i}{d(x)}\right|^3\right)^3$$

x = dato che deve essere elaborato

x_i = punto interno all'intervallo a cui verrà applicato peso omega i

$$d(x) = |x - x_i|$$

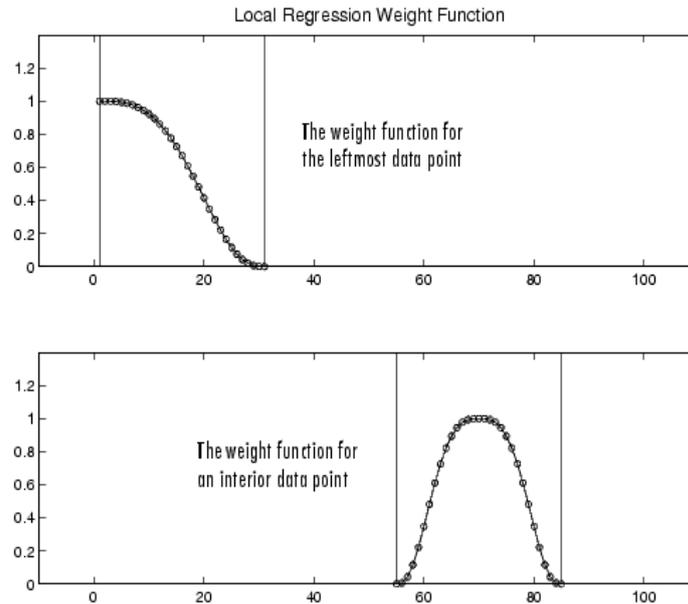


Figura 31 Funzione dei pesi per l'algorithmo lowess - loess

Di conseguenza saranno nulli i pesi esterni allo span e massimo quello associato al dato da elaborare. Se il calcolo riguarda lo stesso numero di dati vicini da entrambe le parti, allora la funzione dei pesi è simmetrica, altrimenti la funzione dei pesi sarà non simmetrica (Figura 1.4). Diversamente dalla media mobile, lo span non cambia alle estremità.

I pesi ω_i sono poi inseriti nei minimi quadrati visti prima.

Nel caso del filtro lowess:

$$\sum_{i=1}^m \omega_i (y_i - (a + bx_i))^2 = \text{minimo}$$

Nel caso del filtro loess:

$$\sum_{i=1}^m \omega_i (y_i - (a + bx_i + cx^2))^2 = \text{minimo}$$

L'intervallo può essere composto da un numero pari o dispari di elementi e va specificato come una frazione del totale dei dati.

La procedura è composta da tre punti:

1. definizione dei pesi per ogni dato dell'intervallo;
2. regressione ai minimi quadrati pesati: per il metodo lowess la regressione viene fatta con un polinomio di I grado, per loess con un polinomio di II grado;
3. y_i attenuato è dato dal valore del polinomio in corrispondenza della ascissa x_i , ovvero il valore centrale dell'intervallo.

3.3. Algoritmo di calcolo varianti robuste rlowess / rloess

Sono disponibili due varianti ai filtri lowess e loess, richiamate con rlowess e rloess, particolarmente utili nei casi si abbiano dei punti outliers, cioè valori che si discostano dall'andamento complessivo della serie di dati. In questo caso la serie lisciata verrebbe influenzata da questi singoli punti. Per risolvere il problema viene inserita una procedura ulteriore che calcola i coefficienti "robust weight" che andranno a sostituire i coefficienti precedenti in una nuova regressione:

1. Calcolo dei residui dalla procedura descritta per loess e lowess.
2. Calcolo dei robust weight per ogni dato dello span:

$$\begin{cases} \omega_i = \left[1 - \left(\frac{r_i}{6MAD} \right)^2 \right]^2 & |r_i| < 6MAD \\ \omega_i = 0 & |r_i| \geq 6MAD \end{cases}$$

r_i è il residuo dell' i -esimo dato della regressione

MAD è la mediana del vettore dei residui

La mediana è il valore per il quale la frequenza cumulata vale 0.5. La proprietà interessante della mediana è di rendere minima la somma dei valori assoluti degli scarti delle x_i da un generico valore c :

$$\sum_{i=1}^N |x_i - MAD| \leq \sum_{i=1}^N |x_i - c| \quad \forall c$$

Se il residuo del dato è maggiore della mediana dei residui amplificata da un coefficiente 6 significa che il dato si discosta dall'andamento generale e viene assunto come outlier.

3. La regressione viene ricalcolata con i nuovi coefficienti: i dati non outlier vengono incrementati dai coefficienti ricalcolati, i dati outlier hanno coefficiente ricalcolato nullo.
4. Il procedimento di controllo (punti 2 e 3) viene iterato altre due volte.

Il risultato di questa procedura è esemplificato nella Figura 1.5. Nel diagramma (a) è visibile l'influenza dei dati outliers (punti lowess) sul lisciamento dei dati vicini; in (b) si vede come il residuo degli outliers sia maggiore di 6 volte il valore assoluto della mediana dei residui, perciò il coefficiente robusto per questi punti è 0. Il grafico (c) mostra il risultato della procedura di lisciamento tramite rlowess: i dati outliers non influenzano più l'andamento della serie lisciata. Questa procedura è computazionalmente molto onerosa e rallenta il calcolo per serie di dati lunghe come i file giornalieri delle osservazioni GPS (vettori di circa 86000 elementi).

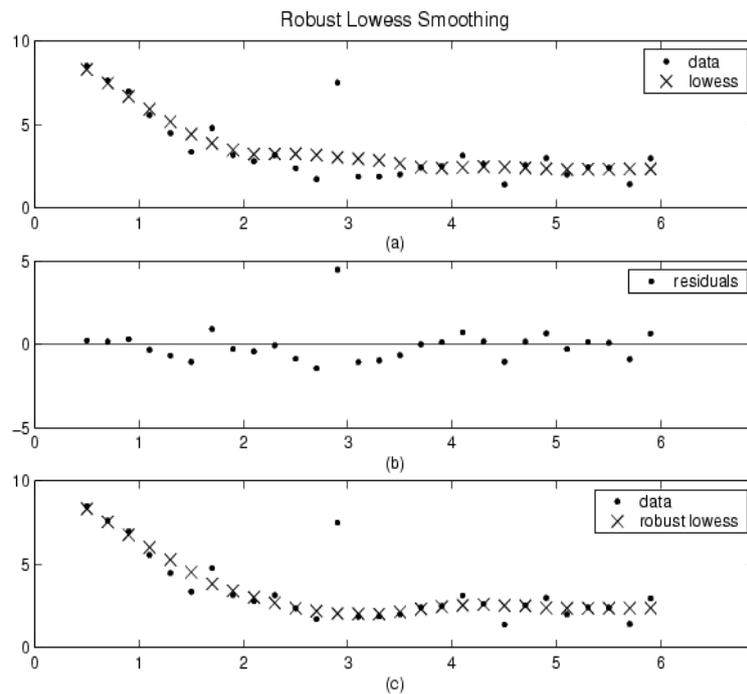


Figura 32 Effetto dell'applicazione dell' algoritmo Rlowess

3.4. Savitzky-Golay

Il filtro Savitzky-Golay può essere rappresentato come una media mobile generalizzata, in cui i coefficienti sono determinati da una regressione lineare non pesata ai minimi quadrati. Il grado del polinomio utilizzato nella regressione viene scelto a seconda del risultato che si vuole ottenere: un grado elevato realizza un buon livello di smoothing senza una eccessiva attenuazione delle caratteristiche dei dati (senza perdere troppo in risoluzione), viceversa un grado basso fornisce l'andamento globale della serie. È molto usato per le applicazioni in cui è importante preservare le componenti di alta frequenza del segnale, dove utilizzando una semplice media mobile si filtrerebbe una porzione significativa del segnale conservando solo la componente centrale. Per questo motivo però il filtro Savitzky-Golay è meno performante di un filtro media mobile nella rimozione del rumore.

L'algoritmo che realizza il lisciamiento dei dati tramite il metodo Savitzky- Golay contenuto nella Curve Fitting Toolbox di MatLab ha le seguenti caratteristiche:

- lo span deve contenere un numero dispari di elementi;
- il grado del polinomio deve essere minore dello span;
- non è richiesta la distribuzione uniforme dei dati, aspetto di particolare interesse per le serie temporali GPS, contenenti spesso dati nulli e salti di tempo.

Come visibile da Figura 1.6 all'aumentare del grado del polinomio si ottiene una curva che descrive bene altezza e larghezza dei picchi nell'andamento dei dati ma è meno accurata nelle bande centrali del segnale. Il grafico (a) mostra i dati con rumore (non riportati negli altri due grafici), in (b) sono graficati i risultati del lisciamiento con applicazione del filtro Savitzky-Golay con polinomio di II grado. Nel diagramma (c) invece si è utilizzato un filtro Savitzky-Golay con polinomio di grado IV.

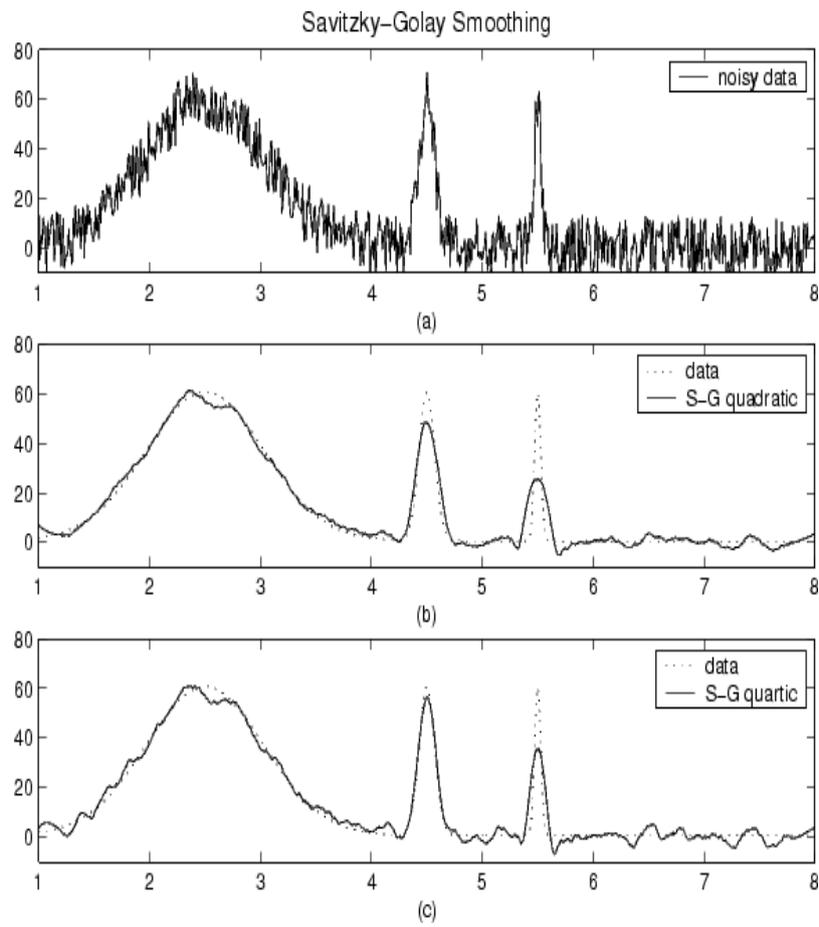


Figura 33 Effetto dell'applicazione dell' algoritmo Savitzky Golay

Capitolo 5.

Elaborazione dati

Partendo dalla analisi già svolta sui dati da cui si era rilevata analiticamente, tramite funzione di autocorrelazione e analisi in frequenza, ed empiricamente, tramite sovrapposizione di giorni consecutivi, una somiglianza tra i giorni siderali vicini negli andamenti dello spostamento rilevato (effetto periodico), si è cercato di valutare meglio la correlazione tra i giorni siderali e di affinare le tecniche di costruzione del modello, da cui si vuole ottenere un miglioramento della precisione del dato.

Si ricorda infatti che mentre per la valutazione a lungo termine della velocità della frana (trend) non ci sarebbero particolari problemi, ai fini della valutazione in real time del movimento la precisione raggiunta dalle misure non consente di distinguere eventuali movimenti improvvisi. Si vogliono indagare metodi numerici che permettano una riduzione della banda di oscillazione del dato.

Nella parte iniziale del capitolo vengono mostrati i risultati del confronto tra metodi numerici alternativi alla media mobile, adatti a ricavare un andamento delle serie temporali dai dati grezzi. Nella parte seguente si è lavorato sulla periodicità tramite l'analisi dei dati nulli (le triplete di dati nulli significano una mancata elaborazione delle basi da parte del software) e l'indice di correlazione. Nella parte finale è descritta la costruzione del modello previsionale, basato

sulle caratteristiche di periodicità del segnale, da utilizzare per il miglioramento della precisione.

Le tecniche di miglioramento della precisione dei dati attraverso costruzione e applicazione di un modello descritti in questo capitolo potranno essere applicati anche ai dati che verranno raccolti nei prossimi mesi nel corso della sperimentazione a Gaggio.

1. Rumore e periodicità

Preso una variazione del dato puntuale che può ragionevolmente essere ipotizzata come errore, data la natura del movimento reale e quanto riportato nelle osservazioni, e volendo caratterizzarla come rumore o come effetto dovuto a periodicità, si è scelto di utilizzare gli strumenti matematici per il lisciamiento dei dati presenti in MatLab per costruire l'andamento generale della serie, da cui si vorrebbero distinguere gli spostamenti effettivamente casuali (rumore). In realtà non è facile fare questa distinzione, e il risultato dipende da quale strumento di lisciamiento viene scelto per l'individuazione del trend della serie. Nel grafico di Figura 34 viene rappresentato uno spezzone di pochi minuti della serie temporale, relativo al primo giorno di misura sul sensore s2 componente nord. Utilizzando il filtro media mobile per costruire il modello (rappresentato dalla linea blu), e facendo l'ipotesi che l'andamento del filtraggio sia rappresentativo degli andamenti periodici (riempimento blu sfumato), si può rappresentare il rumore nella misura (riempimento a strisce orizzontali) come la differenza fra il dato originale e il modello (blu). Analogamente, nel grafico di Figura 35 è stato utilizzato come metodo per costruire il trend della serie il filtraggio Savitzky-Golay. Come si vede dai due grafici il rapporto fra rumore ed effetti periodici cambia molto a seconda del metodo utilizzato per il filtraggio.

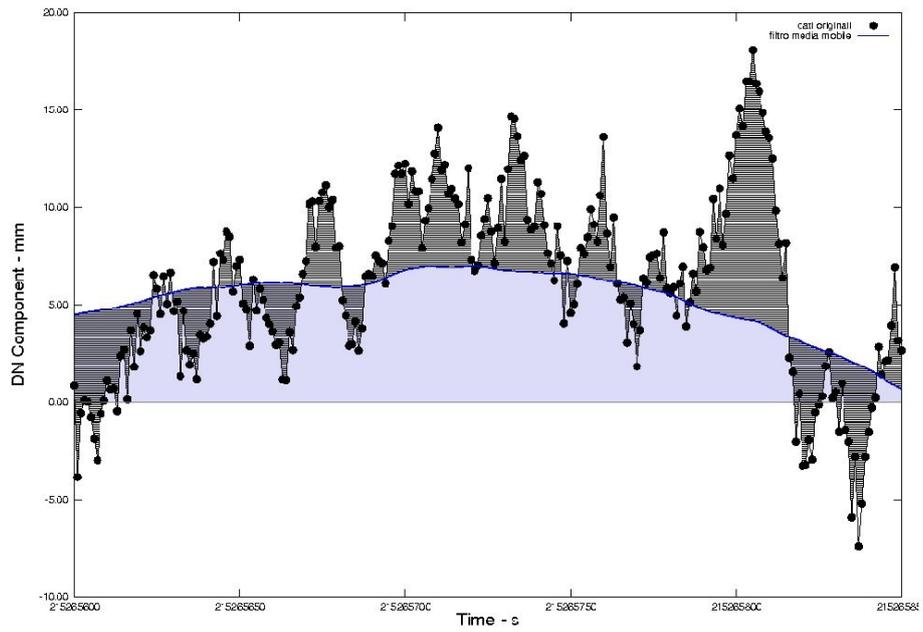


Figura 34 Dati originali (nero) e andamento della media mobile (blu)

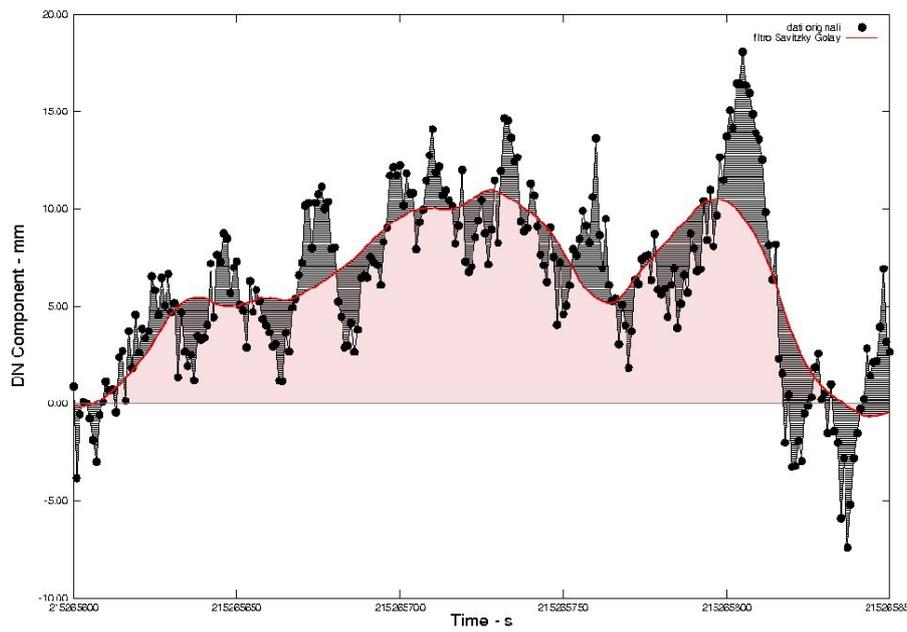


Figura 35 Dati originali (nero) e andamento del filtro Savitzky-Golay (rosso)

2. Studio delle caratteristiche dei filtri

L'obiettivo di questa prima parte del lavoro di analisi dei dati è di studiare le caratteristiche dei filtri che possono essere utili nella costruzione di un modello, che sarà oggetto della seconda parte del lavoro di elaborazione dati. In particolare si è cercato di quantificare le frequenze che vengono "tagliate" e di conseguenza la riduzione della banda di oscillazione dei dati, a seconda dell'algoritmo (cioè del metodo di filtraggio) e dell' intervallo di elaborazione che viene utilizzato.

Nello specifico, tramite software Octave si sono studiate le differenze nella periodicità e nel rumore riscontrate nei modelli ottenuti dai dati "grezzi" attraverso l' elaborazione con le function di MatLab. Questo ha significato confrontare le prestazioni dei diversi strumenti di lisciamiento delle curve descritti nel capitolo precedente, applicandoli su vari spezzoni giornalieri di dati.

2.1. Serie temporali lisciate

Per valutare le differenze nella rappresentazione di effetti periodici e rumore tra i vari algoritmi, sono stati elaborati i dati del primo giorno della serie temporale del sensore s2. I risultati sono riportati in grafico per poterli confrontare. Lo script *dati*, riportato in appendice a pag. 168, elabora i dati con i metodi descritti nel capitolo precedente: media mobile, regressione lineare e quadratica, regressione lineare e quadratica robusta, media mobile generalizzata Savitzky-Golay. Una volta lanciato lo script viene richiesto di inserire il nome del file da cui devono essere presi i dati, il nome del file su cui devono essere salvati i risultati e l'intervallo che si intende utilizzare. Lo script è suddiviso in 4 sezioni:

1. Acquisizione dei dati in forma matriciale: viene aperto il file specificato in input e i report vengono inseriti in una matrice A di dimensione

massima 86164×4 . Questa matrice riporta in prima colonna i tempi (secondi), e nelle altre colonne gli spostamenti nord est up. Se il file giornaliero non contiene tutti gli 86164 dati (giorno sidereo, uno ogni secondo) la matrice creata avrà numero di righe inferiore e pari al numero dei dati disponibili. Una volta acquisita la matrice A vengono poi creati 4 vettori riga At, An, Ae, Au relativi rispettivamente a tempo e spostamento nelle 3 direzioni. Da questo punto in poi, viene considerata la sola componente nord (vettore An).

2. Calcolo dei valori smooth derivanti dalla applicazione dei metodi di lisciamiento: viene richiamata la function smooth.m. I risultati vengono memorizzati in quattro vettori: AnMM (media mobile), AnSG (Savitzky Golay, grado 10 del polinomio), AnLS (loess), AnRS (robust loess), AnLWS (lowess), AnRWS (robust lowess).
3. Calcolo dei residui attraverso un ciclo di iterazione for. Il residuo viene calcolato come descritto nel paragrafo seguente.
4. Stampa dei risultati sul file indicato al momento del lancio dello script.

Il risultato è un file di output in cui vengono riportati i valori sperimentali e quelli derivanti da tutti i metodi di lisciamiento, insieme ai residui (scarto fra i dati originali e quelli liscati). Si ha un residuo relativo a un intero giorno siderale, per ognuno dei metodi di lisciamiento.

2.1.2. Realizzazione dei grafici

Con il programma Gnuplot è possibile tracciare un grafico utilizzando i dati organizzati in colonne di un file di testo. A pag. 173 è riportato a titolo di esempio lo script Gnuplot "lisciam_21.plt" che realizza il grafico in Figura 36 con i dati contenuti nel file "t_001_s2_21.txt" (realizzato con Octave). I codici utilizzati per tracciare i grafici di Figura 37 e Figura 38 non sono riportati perché analoghi tranne alcuni parametri. Per avere un'idea del comportamento degli algoritmi sul lisciamiento dei dati è stata riportata in alto nei grafici una porzione ridotta di dati (10 minuti) e in basso una porzione più consistente (60

minuti). Le curve rappresentano gli andamenti risultanti dall'applicazione dei diversi algoritmi per il liscio. Sono possibili alcune osservazioni:

3. Aumentando l'intervallo da 21 secondi a 401 e 801 secondi si hanno delle curve più regolari che non seguono l'andamento puntuale della serie ma ne rappresentano un trend complessivo.
4. Il metodo media mobile, in verde nei grafici, è quello che taglia di più le alte frequenze. Questo aspetto, ben visibile nei grafici, è confermato dal valore del residuo elevato.
5. Con filtraggio Savitzky-Golay, linea nera, si ottiene il risultato opposto e vengono mantenute le alte frequenze del segnale (complice il grado 10 del polinomio). Questa caratteristica rimane, seppur attenuata, anche per intervalli di liscio più elevati.
6. Rloess e Rlowess non si discostano molto dalle varianti non robuste, probabilmente perché la notevole variabilità dei residui non permette una buona stima della mediana.

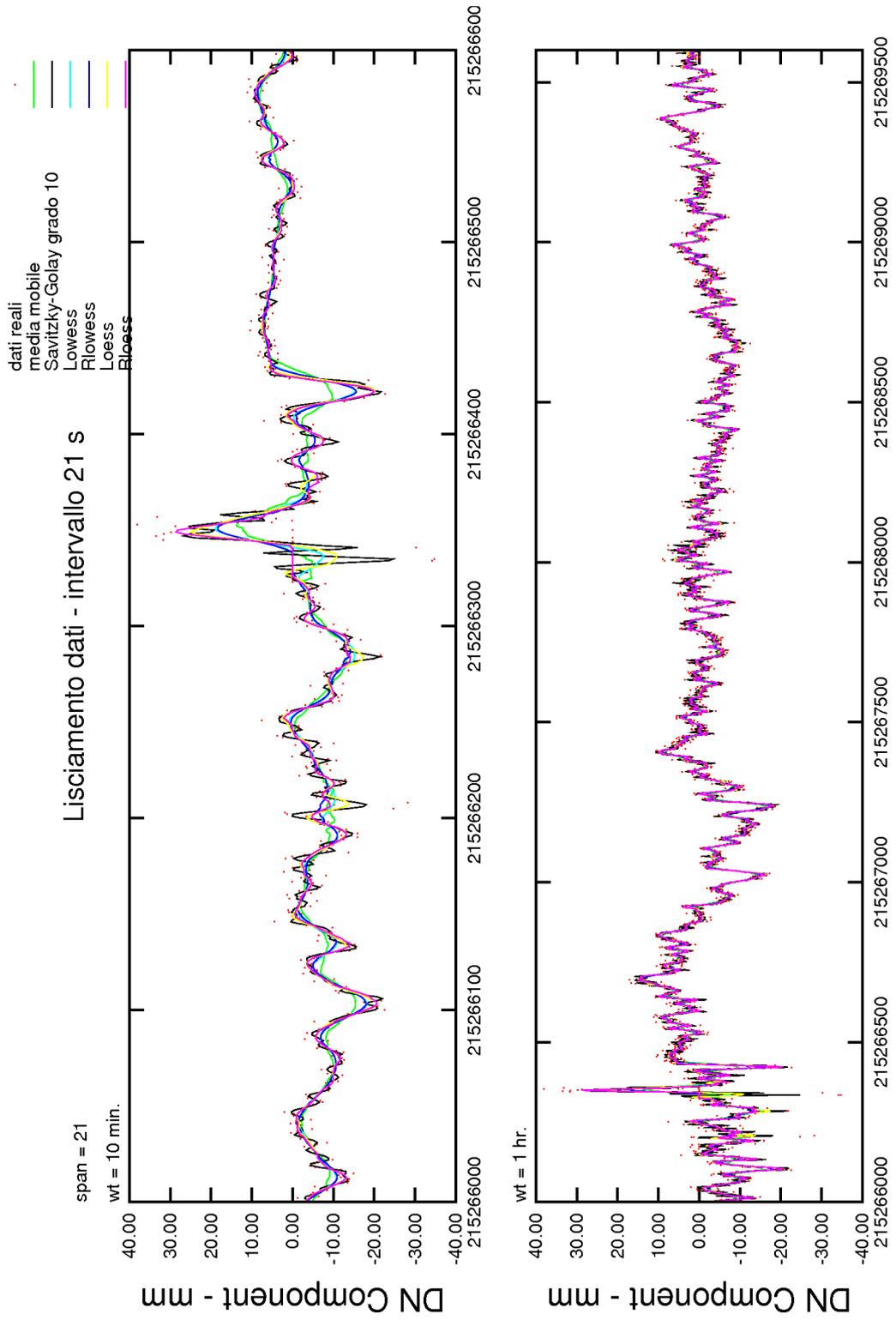


Figura 36

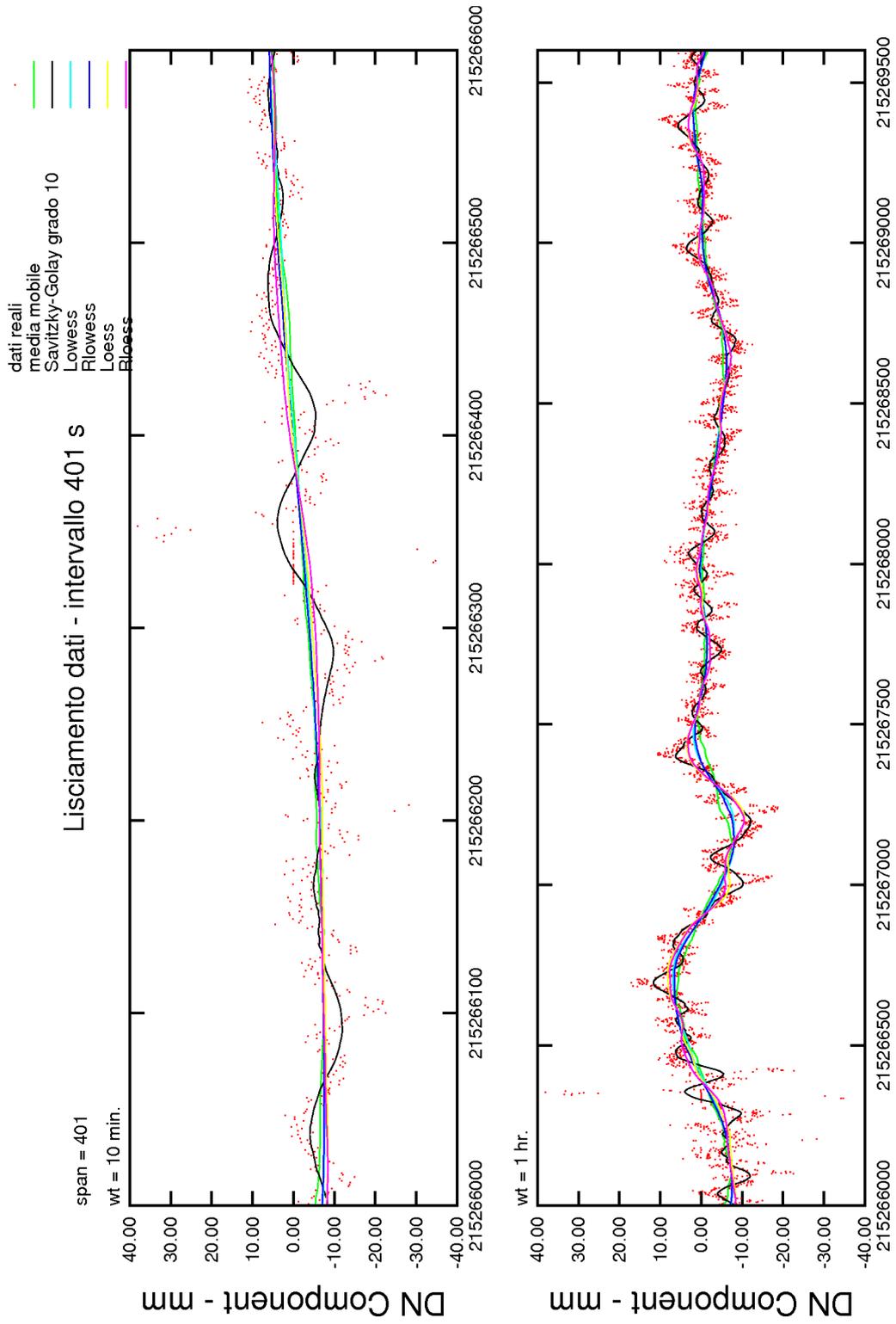


Figura 37

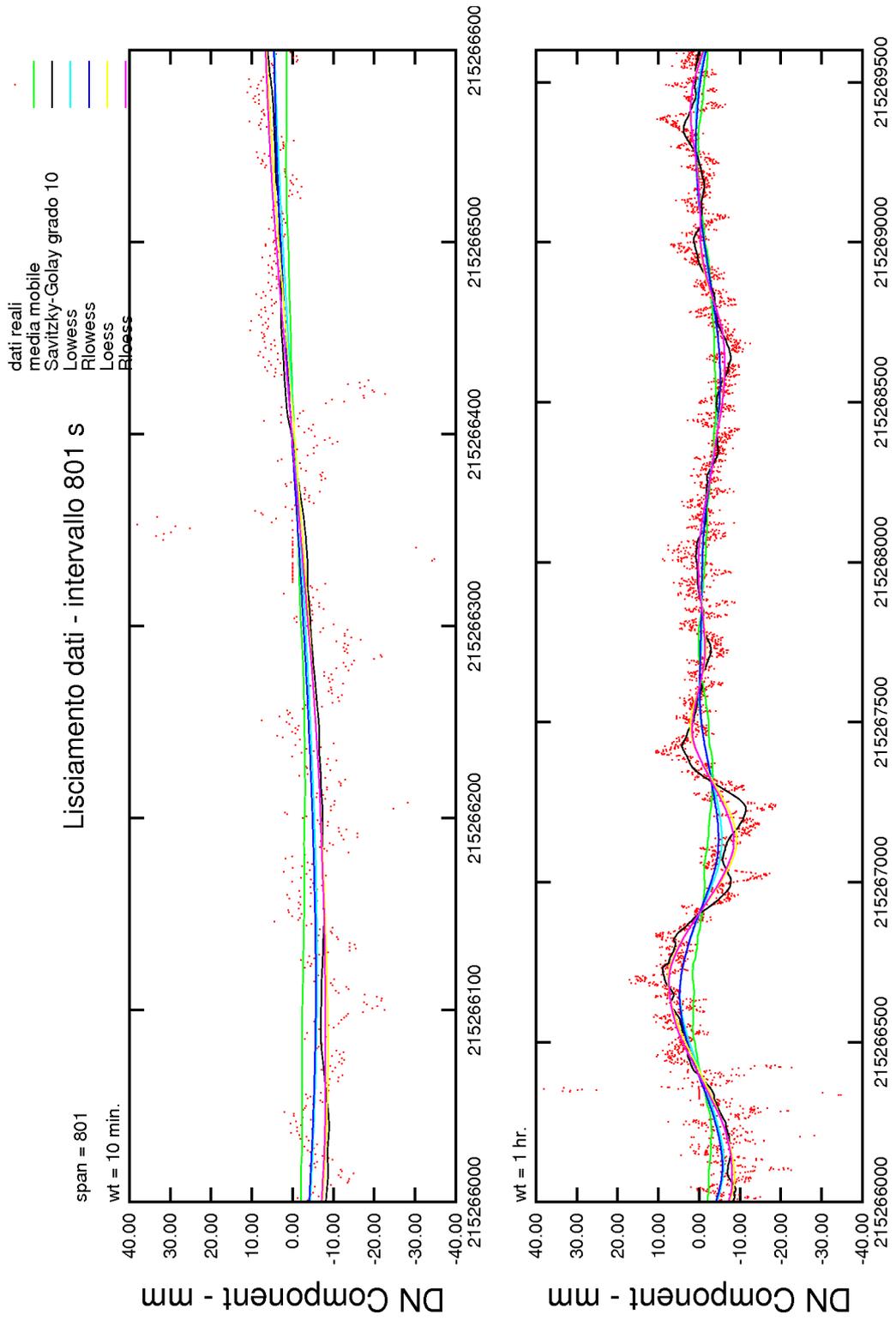


Figura 38

2.2. Calcolo del residuo e variazione in funzione dell'intervallo di smoothing

Per valutare l'efficacia dei metodi di lisciamiento è necessario quantificare la riduzione del rumore nelle misure. Si introduce un parametro definito residuo r che permette una valutazione di quanto vengono tagliate complessivamente le alte frequenze sul giorno siderale analizzato, attraverso un confronto fra la serie lisciata e quella di partenza. Il parametro r è simile ad uno scarto quadratico medio e si ottiene dall'equazione:

$$r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{s_i})^2}{N}}$$

x_i = valore originale all'istante i -esimo

x_{s_i} = valore lisciato all'istante i -esimo

N = numero totale di dati (86164)

E' stato incrementato l'intervallo interno degli algoritmi in maniera regolare e per ogni incremento è stato calcolato il residuo: in questo modo è possibile mettere in relazione l'ampiezza dell'intervallo con il valore assunto dal residuo.

La procedura viene svolta dallo script Octave *dati_ciclo* (pag. 169) che ha la seguente struttura:

1. acquisizione dei dati in forma matriciale (analogo allo script *dati*);
2. ciclo che viene implementato dal valore di intervallo iniziale al valore finale con incremento a scelta;
3. sottociclo interno in cui vengono calcolati i residui per ogni metodo e vengono riportati nel file di output;

Nei due grafici seguenti è riportato il risultato di questa operazione sui residui, insieme al tempo necessario all'iterazione dei diversi metodi di lisciamiento. Il grafico di Figura 39 è riferito a tutti i metodi analizzati, i tempi per i metodi robusti sono in un grafico separato perché l'ordine di grandezza è 3 volte

maggiore. In Figura 40 invece ci sono i risultati che riguardano solo il metodo Savitzky Golay e in particolare l'effetto sul parametro r della variazione del grado del polinomio da 2 a 100.

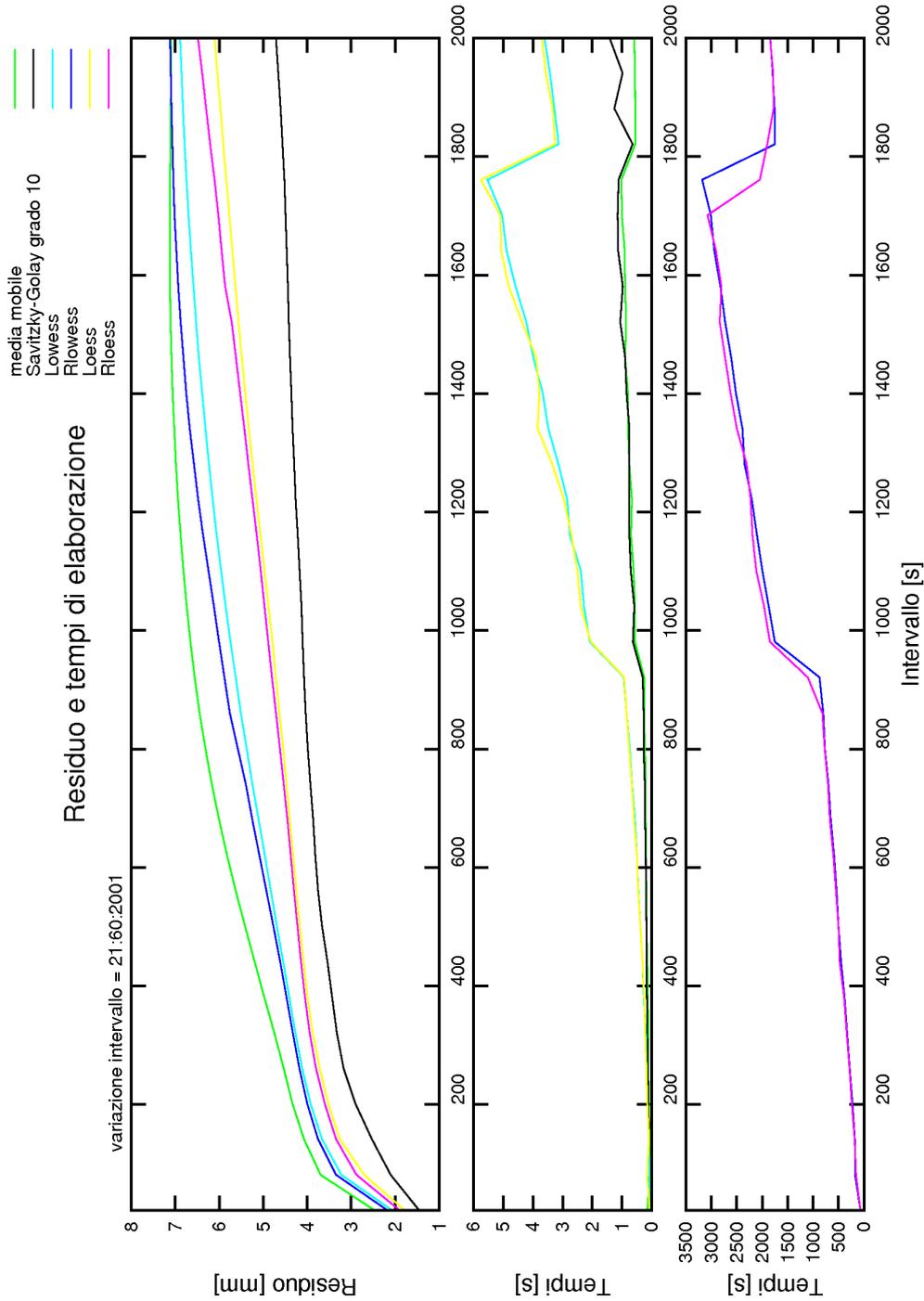


Figura 39 Valore del residuo e tempi di elaborazione in funzione della variazione dell' intervallo di elaborazione dei dati per vari metodi di lisciamento delle curve.

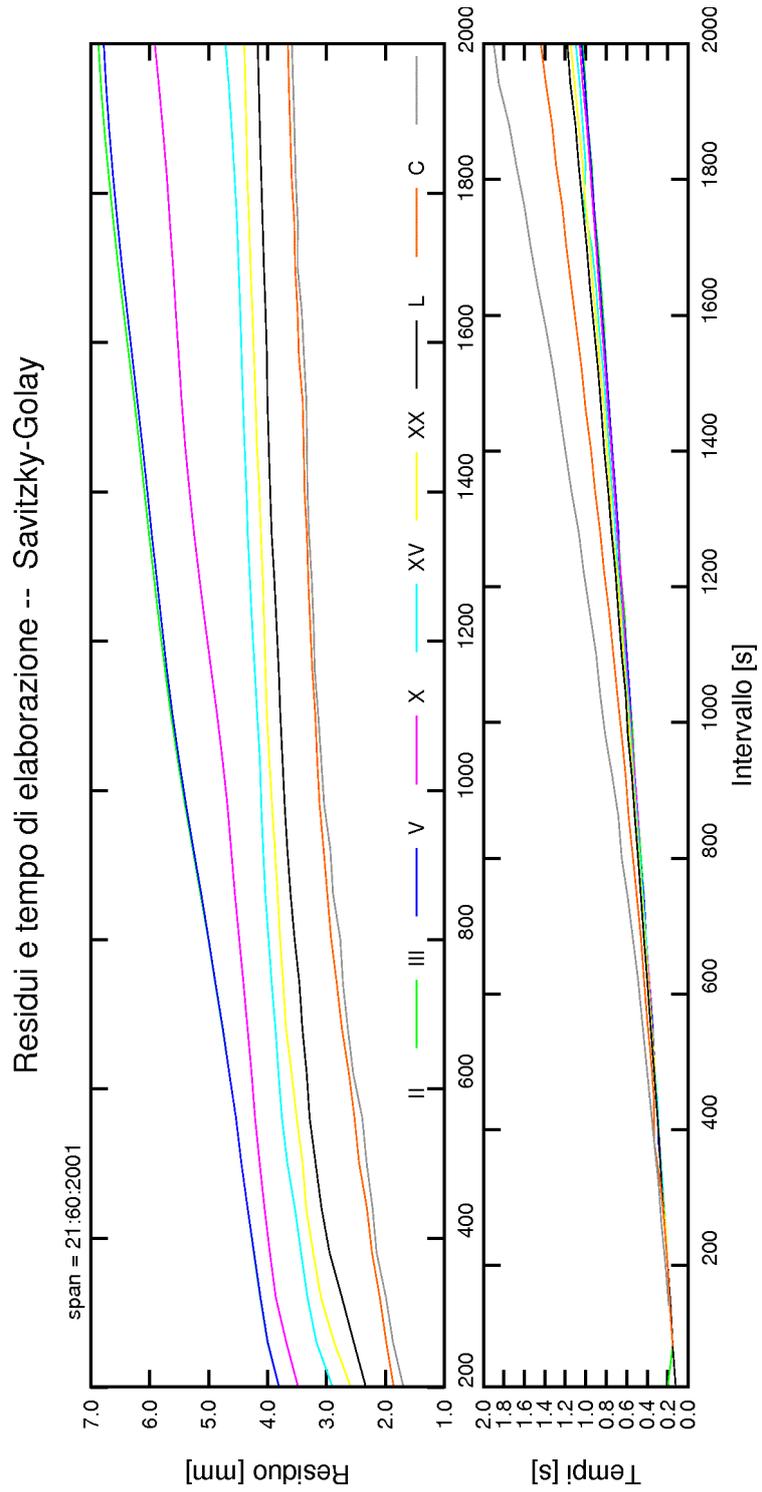


Figura 40 Valore del residuo e tempi di elaborazione in funzione della variazione dell' intervallo di elaborazione dei dati e del grado del polinomio Savitzky-Golay.

3. Analisi di effetti periodici

Durante il lavoro precedentemente svolto sui dati grezzi si erano individuate caratteristiche di periodicità nel segnale derivanti dal fatto che il posizionamento satellitare è affetto da errori sistematici, alcuni dei quali sono dipendenti dalle condizioni al contorno: se queste si presentano con regolarità l'errore indotto viene ad assumere un andamento periodico. Questa periodicità si vede bene nella Figura 41 in cui sono sovrapposte le misure su quattro giorni siderali consecutivi per la componente nord. I dati, non elaborati ma filtrati con media mobile a finestra 1001 secondi, regressione lineare e quadratica e algoritmo Savitzky Golay, hanno in generale un andamento che segue percorsi simili a conferma di come ciò che avviene nella misura per un dato secondo sia correlato con il comportamento ad uno o più giorni siderali di distanza.

3.1. Dati nulli e periodicità

Sono presenti nei dati numerosi record composti da triplette di zeri. Il fatto che per un determinato istante temporale gli spostamenti nelle tre direzioni siano contemporaneamente nulli può essere dovuto sia a perdita di collegamento tra stazioni di monitoraggio e stazione base, sia ad un numero di satelliti in vista insufficiente a calcolare la base in tempo reale. Il codice SEPA infatti era costruito in modo da restituire una tripletta di zeri nel caso non riuscisse a calcolare la base con un numero di ambiguità fissato.

Attraverso lo script Bash *controllo_nan* che richiama la function Octave *controllo_nan.m* viene fatto un controllo su tutti i 248 file delle serie temporali relative al sensore s2 ed s3. Le triplette di zeri vengono sostituite con il simbolo NaN (Not a Number) e per ogni giorno di analisi viene conteggiato il numero di dati nulli presenti.

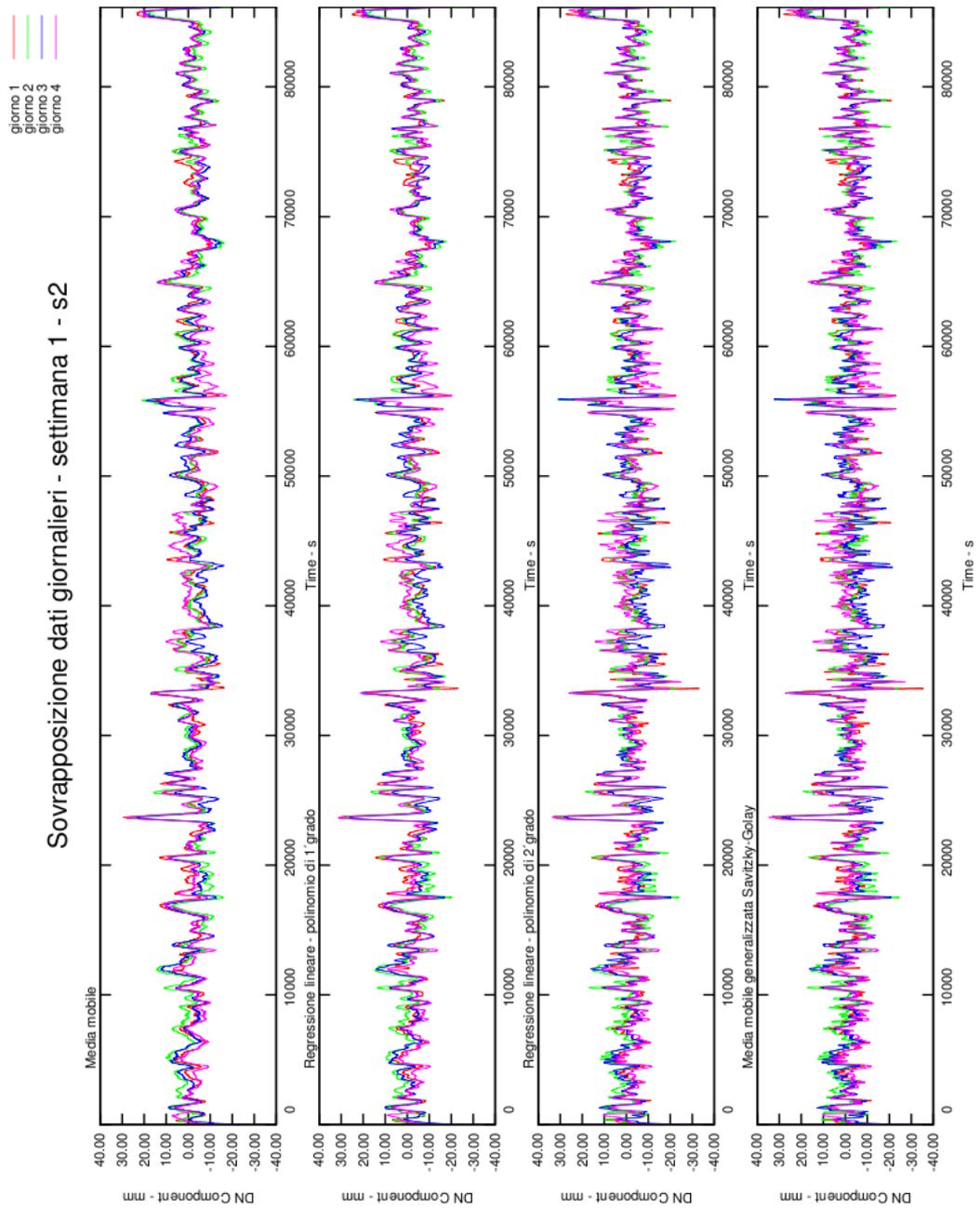


Figura 41: Sovrapposizione delle serie temporali lisciate con i diversi metodi relative a 4 giorni della prima settimana

Questo ha permesso di valutare il numero di dati nulli per ogni giorno della serie temporale. I risultati sono riportati in Appendice A pag. 155.

Per descrivere la periodicità degli errori nei dati si è pensato di conteggiare il numero di dati nulli (NaN) che si presenta per un determinato secondo di ogni giorno siderale completo. In pratica attraverso lo script Bash *somma_nan* che richiama la function Octave *somma_nan.m* vengono conteggiati i dati nulli (triplette nulle) sul 1° secondo di tutti i giorni completi del sensore s2, sul 2° secondo di tutti i giorni completi del sensore s2, fino all'n-esimo secondo (86164) di ogni giorno completo del sensore s2. La somma viene divisa per i dati effettivamente disponibili (pari al numero di giorni completi) per ottenere una somma percentuale. Il calcolo è stato ripetuto anche per il sensore s3. Il risultato è visibile nel grafico di Figura 43, in cui sono riportate le somme di dati nulli per il sensore s2 ed s3 per ogni secondo dei giorni siderali completi.

Questo procedimento ha lo scopo di valutare una periodicità interna al giorno siderale: avendo già verificato che esiste una periodicità con frequenza pari a 86164 secondi nell'andamento dei dati, ci si è chiesto se potessero esserci anche degli effetti che si verificano con frequenza minore. Effettivamente sono visibili dei picchi nella frequenza delle triplette di dati nulli, ma la percentuale rimane comunque troppo bassa (massimo 0,3) per poter supporre la presenza di una periodicità globale nei dati.

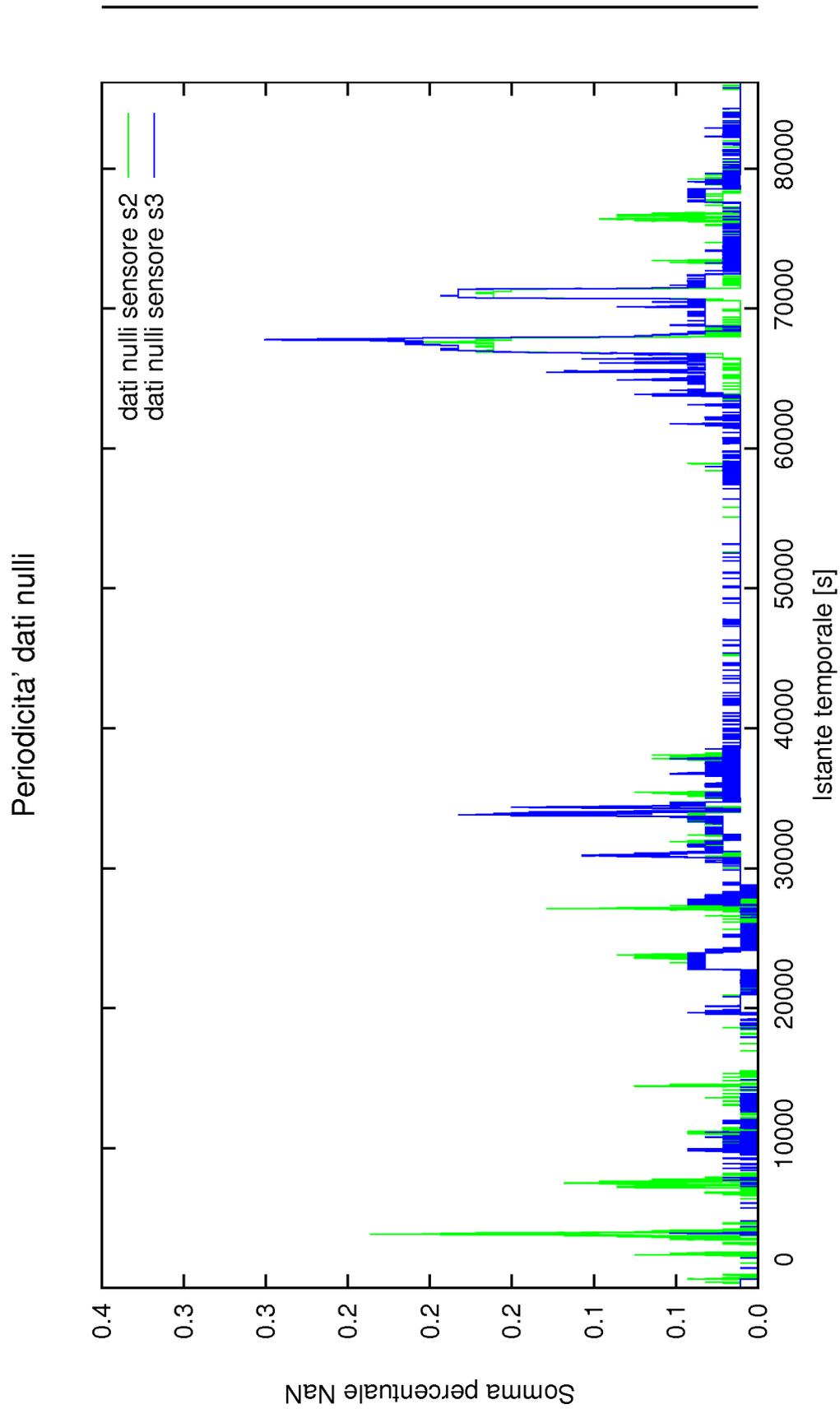


Figura 42 Numero di dati nulli per ogni secondo di ciascun giorno siderale completo

3.2. Indice di correlazione

Si vuole avere una indicazione del numero di giorni da considerare nella realizzazione di un modello che sia rappresentativo del giorno da correggere. È essenziale che tra i giorni del modello ci sia una buona correlazione, per valutare ciò si calcola l'indice di correlazione tra i dati dei giorni. Per correlazione si intende una relazione tra due variabili casuali tale che a ciascun valore della prima variabile corrisponda con una certa regolarità un valore della seconda. Non si tratta necessariamente di un rapporto di causa ed effetto ma semplicemente della tendenza di una variabile a variare in funzione di un'altra. Talvolta le variazioni di una variabile dipendono dalle variazioni dell'altra (relazione tra la statura dei padri e quella dei figli ad esempio), talvolta sono comuni (relazioni tra la statura e il peso di un individuo); talvolta sono reciprocamente dipendenti (relazione tra prezzo e domanda di una merce: il prezzo influisce sulla domanda e la domanda influisce sul prezzo). La correlazione si dice diretta o positiva quando variando una variabile in un senso anche l'altra varia nello stesso senso (alle stature alte dei padri corrispondono stature alte dei figli); si dice indiretta o inversa quando variando una variabile in un senso l'altra varia in senso inverso (a una maggiore produzione di grano corrisponde un prezzo minore). La correlazione dicesi semplice quando i fenomeni posti in relazione sono due (per esempio, numero dei matrimoni e il numero delle nascite); doppia quando i fenomeni sono tre (per esempio, circolazione monetaria, prezzi e risparmio); tripla quando sono quattro ecc... Il grado di correlazione fra due variabili viene espresso mediante i cosiddetti indici di correlazione. Questi assumono valori compresi tra meno uno (quando le variabili considerate sono inversamente correlate) e l'unità (quando vi sia correlazione assoluta cioè quando alla variazione di una variabile corrisponde una variazione rigidamente dipendente dall'altra), ovviamente un indice di correlazione pari a zero indica un'assenza di correlazione e quindi le variabili sono indipendenti l'una dall'altra. I coefficienti di correlazione sono derivati

dagli indici di correlazione tenendo presenti le grandezze degli scostamenti dalla media μ .

In particolare, il coefficiente di correlazione di Pearson, che è quello calcolato tramite la function *cor* di Octave, è calcolato come rapporto tra la covarianza delle due variabili σ_{xy} ed il prodotto delle loro deviazioni standard σ_x e σ_y :

$$\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y)^2}}$$

Nella Figura 43 sono visibili i valori dell'indice di correlazione calcolati considerando come prima variabile (fissa) il giorno 96 e come seconda variabile uno dei giorni antecedenti dal giorno 95 al giorno 50. È stata calcolata la correlazione tra le componenti del giorno 96 e le rispettive componenti dei giorni antecedenti.

Il risultato è che si ha una buona correlazione positiva (circa 0.80) con il giorno antecedente, che decresce in fretta nel giro di qualche giorno (soprattutto per il sensore s3). Dall'osservazione dei valori di correlazione, per lo specifico caso esaminato, risulta che fino a 5 giorni antecedenti si ha un indice di correlazione superiore a 0.40:

GIORNO	S2			S3		
	NORD	EST	UP	NORD	EST	UP
90	0.44	0.50	0.53	0.44	0.43	0.53
91	0.51	0.54	0.51	0.54	0.54	0.62
92	0.52	0.52	0.42	0.58	0.59	0.64
93	0.57	0.56	0.54	0.68	0.62	0.69
94	0.64	0.64	0.64	0.75	0.70	0.76
95	0.73	0.73	0.74	0.76	0.77	0.79

Tabella 6 Valori dell'indice di correlazione per i giorni direttamente antecedenti al gg 96

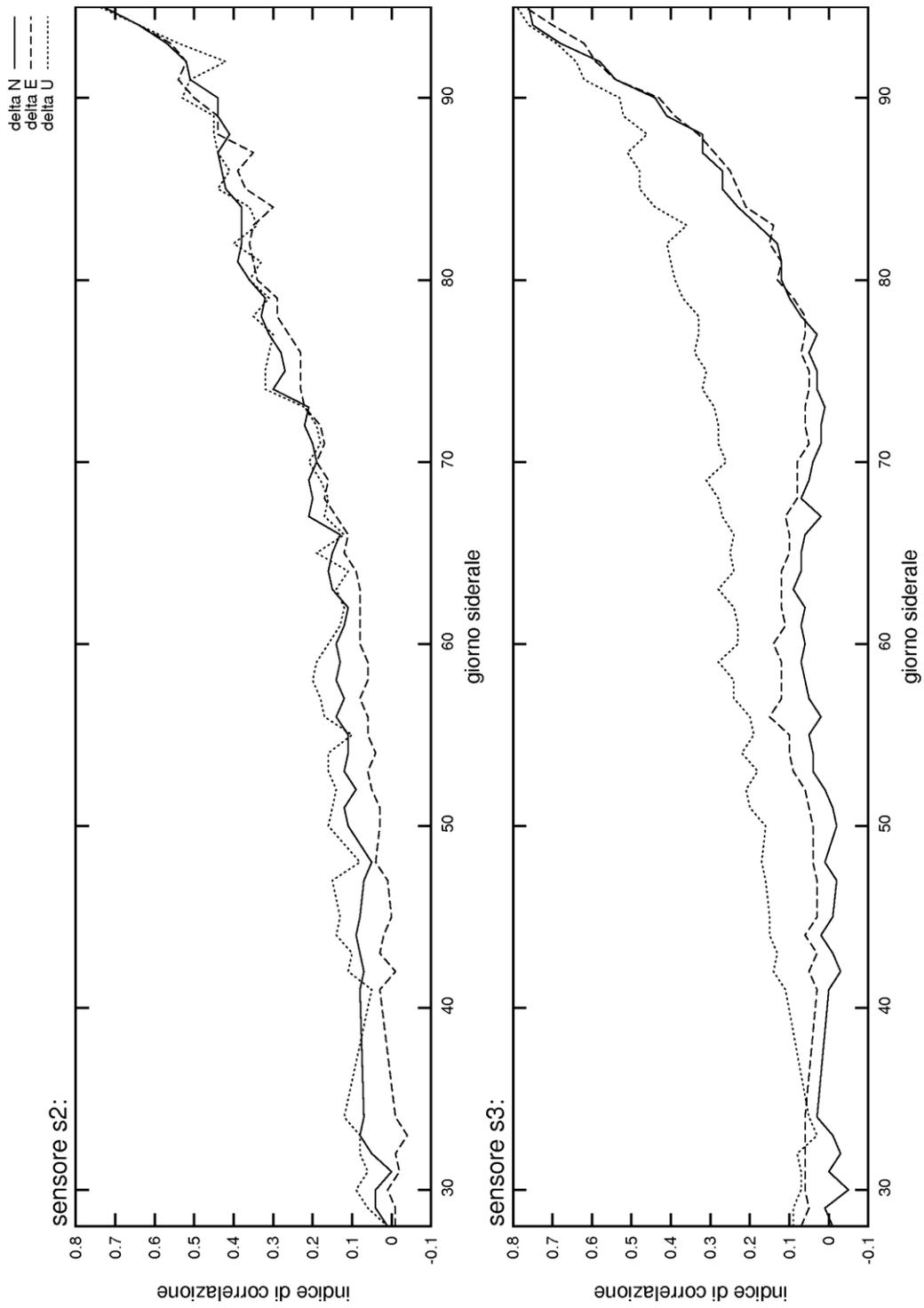


Figura 43 Indice di correlazione tra il giorno 96 e i giorni antecedenti

3.3. Indice di correlazione su dati lisciati

In realtà si va a correggere il dato con delle serie lisciate, si vuole valutare se il dato lisciato è maggiormente correlato con i dati del giorno da correggere. Per questo viene calcolato l'indice di correlazione tra il giorno 96 e i giorni antecedenti elaborati con gli algoritmi media mobile, lowess, loess, savitzky golay. I risultati sono riportati in Figura 44.

Fino a 5 giorni antecedenti al giorno 96 l'indice di correlazione maggiore si ha per i dati lisciati con filtro Savitzky-Golay. Per i giorni antecedenti al 91 l'indice di correlazione maggiore si ha per filtro media mobile, anche se i dati filtrati Savitzky-Golay hanno comunque una correlazione migliore rispetto ai dati originali.

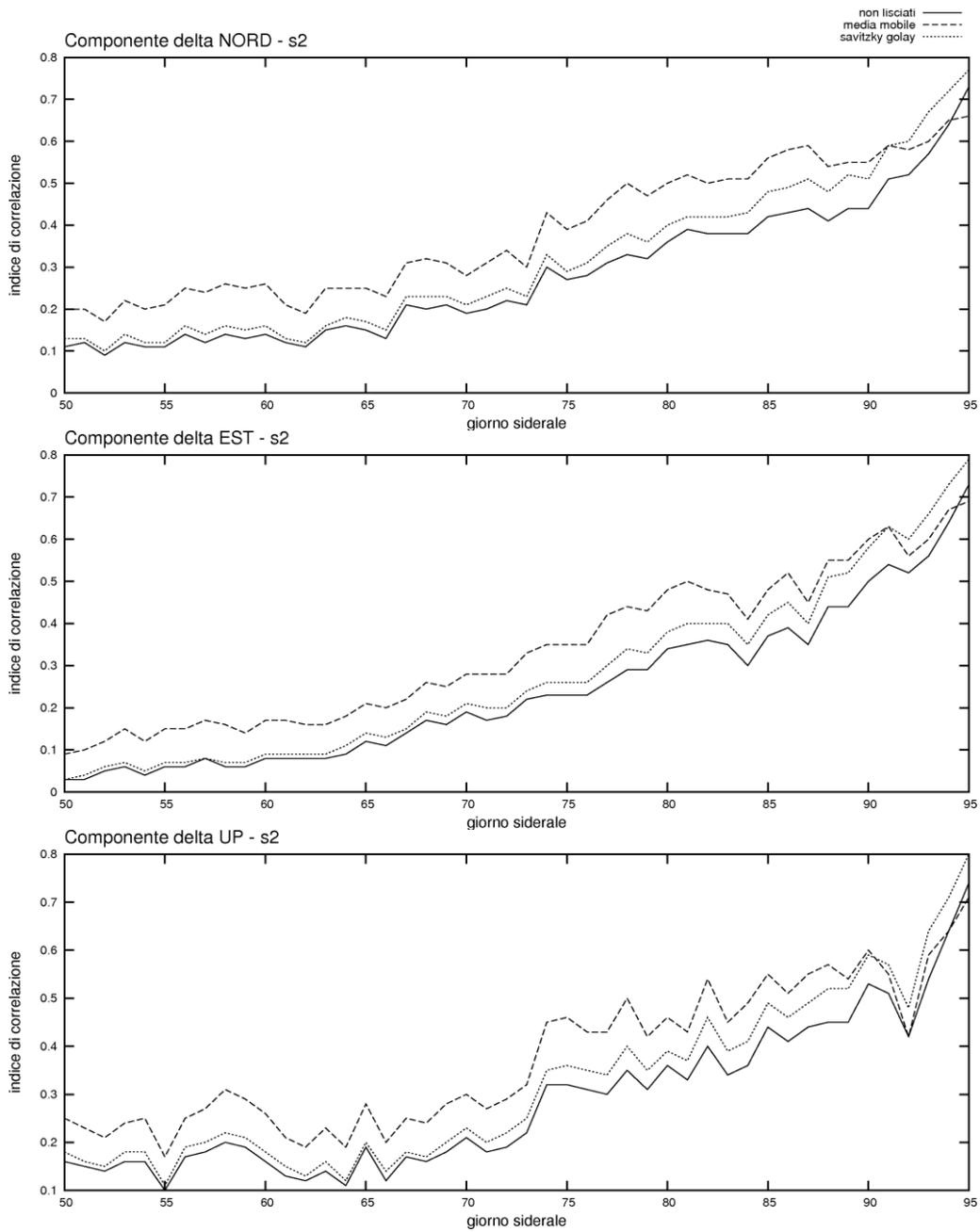


Figura 44 Indice di correlazione tra il giorno 96 e i dati lisciati dei giorni precedenti

4. Correzione dei dati sulla base dei giorni precedenti

In un'ottica di utilizzo dei dati per una valutazione in tempo reale degli spostamenti del punto, si valuta la possibilità di attenuare gli effetti periodici di un giorno tramite un modello previsionale costruito con i dati dei giorni precedenti.

Le operazioni sono:

1. Costruzione del modello tramite rappresentazione dei dati di n giorni siderali in una serie temporale di lunghezza 86164 secondi (modello del giorno siderale), costruita sulla base di un certo calcolo numerico;
2. Correzione dei dati, cioè sottrazione del modello costruito al giorno siderale successivo.

In particolare:

- dopo aver valutato le differenze tra i metodi di lisciamiento si è voluto indagare su quale di questi sia indicato per la costruzione di un modello;
- inoltre, ci si è chiesti quanti giorni devono andare a comporre il modello, fattore che dipende dalla correlazione fra le misure di giorni siderali diversi. Se c'è una buona correlazione fra le misure allora ha senso che queste siano utilizzate per la correzione, altrimenti il risultato della correzione sarà l'introduzione di ulteriori errori nella serie temporale giornaliera.

Si sottolinea come in questo lavoro di miglioramento della precisione del dato non è stata fatta alcuna operazione di selezione o sfoltimento dei dati in base a test statistici. Questo perché lo scopo è l'individuazione di movimenti improvvisi del punto, in modalità real time o quasi real time.

Se lo scopo fosse l'individuazione di un trend negli spostamenti, attraverso la variazione di velocità dei punti registrata nelle misure, allora si dovrebbero a-

nalizzare delle serie temporali molto più lunghe. In questo caso si renderebbe necessario:

1. sfolgimento dei dati attraverso l'individuazione di un valore rappresentativo di una finestra di dati;
2. applicazione di un criterio di rigetto delle misure basato su parametri statistici.

4.1. Costruzione del modello

Sono state fatte più prove variando i metodi di lisciamiento e i giorni utilizzati nelle medie.

1. Modello “non lisciati” su dati non lisciati, facendo una media aritmetica sui dati allo stesso istante temporale di n giorni consecutivi

$$mod_i = \frac{x_{1,i} + x_{2,i} + \dots + x_{n,i}}{n} \quad i = 1, \dots, 86164$$

2. modello “moving” su dati lisciati con media mobile: per ogni giorno viene fatto un lisciamiento giornaliero con media mobile a 401 s e poi il modello si ottiene con una media aritmetica sui dati allo stesso istante temporale di n giorni consecutivi:

$$mod_i = \frac{xmm_{1,i} + xmm_{2,i} + \dots + xmm_{n,i}}{n} \quad i = 1, \dots, 86164$$

3. Modello “sgolay” su dati lisciati con Savitzky Golay grado 10: per ogni giorno viene fatto un lisciamiento giornaliero con SG grado 10 intervallo 401 s e poi il modello si ottiene con media aritmetica sui dati lisciati agli stessi istanti temporali di più giorni consecutivi:

$$mod_i = \frac{xsg_{1,i} + xsg_{2,i} + \dots + xsg_{n,i}}{n} \quad i = 1, \dots, 86164$$

4. Modello “lowess” su dati lisciati con lowess intervallo 401: per ogni giorno viene fatto un lisciamiento giornaliero con lowess intervallo 401 s e poi il modello si ottiene con media aritmetica sui dati lisciati agli stessi istanti temporali di più giorni:

$$mod_i = \frac{xlws_{1,i} + xlws_{2,i} + \dots + xlws_{n,i}}{n} \quad i = 1, \dots, 86164$$

5. Modello “loess” su dati lisciati con loess intervallo 401: per ogni giorno viene fatto un lisciamiento giornaliero con loess intervallo 401 il modello si ottiene con media aritmetica sui dati lisciati agli stessi istanti temporali di più giorni consecutivi:

$$mod_i = \frac{xls_{1,i} + xls_{2,i} + \dots + xls_{n,i}}{n} \quad i = 1, \dots, 86164$$

Riassumendo, si ottengono 20 modelli per ogni componente analizzata:

- 4 intervalli di giorni:
 - 3giorni (92 - 93 - 94)
 - 10giorni (da 85 a 94)
 - 20giorni (da 75 a 94)
 - 45giorni (da 50 a 94)
- 5 tipologie di trattamento dei dati prima della costruzione del modello: non_lisciati, moving, sgolay, lowess, loess.

Si è proceduto a correggere il giorno successivo a quelli utilizzati per il modello, sottraendo ai dati sperimentali del giorno 95 sensore 2 i modelli stessi (modelli 1, 2, 3, 4, 5).

Per valutare quale delle tecniche utilizzate fosse più adatta alla costruzione del modello (quindi quale metodo di lisciamiento e intervallo di giorni) si introduce un parametro per quantificare la riduzione del rumore ottenuta dal procedimento:

$$\vartheta = \sqrt{\sum_{i=1}^{86164} \left(\frac{x_i - mod_i}{x_i} \right)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{86164} \left(1 - \frac{mod_i}{x_i} \right)^2}$$

Sostanzialmente per il calcolo del parametro vengono sommati i valori ottenuti dalla correzione con il modello, normalizzati al valore originale. Se questo residuo è basso significa che i dati sono meno dispersi attorno allo zero ed è migliore la correzione apportata alla serie temporale. ϑ infatti varia tra 0 e 1: è

nullo se il dato da correggere è uguale al dato del modello, e vale 1 se il dato da correggere si discosta molto dal modello. È importante anche avere una indicazione della banda di oscillazione dei dati prima e dopo la correzione, per questo si riportano anche i valori massimi e minimi giornalieri, evidenziando i casi in cui il valore corretto è effettivamente più basso, in valore assoluto, rispetto al valore di partenza.

Per realizzare i modelli si utilizza lo script bash *modello* (pag. 177) per produrre vari script Octave *temp* che svolgono i calcoli via via necessari. Lo script produce i modelli e un file contenente i risultati del calcolo del residuo e i valori massimi e minimi che rimangono dopo l'applicazione della correzione.

Con riferimento allo script riportato in appendice la struttura è suddivisa in 5 parti:

1. Contiene i parametri da impostare sullo script stesso, ovvero i giorni da utilizzare per la costruzione del modello, il giorno che si vuole correggere, il grado del polinomio usato nell'algoritmo Savitzky-Golay, l'intervallo di smoothing dei metodi;
2. Controllo e “conversione” delle variabili inserite come variabili posizionali⁵ al momento del lancio dello script;
3. Copia dei file giornalieri necessari alla costruzione del modello e controllo della completezza di ciascuno di essi, cioè che contengano 86164 record;
4. Costruzione del modello con i 5 metodi di lisciamiento. Attraverso un ciclo for viene iterato il calcolo del lisciamiento per ogni giorno e i risultati sono memorizzati in matrice. Da questa matrice con una media aritmetica su ogni riga viene fatto il calcolo del modello definitivo come media aritmetica sul medesimo istante temporale;
5. Calcolo della correzione, sottraendo ai valori di partenza il modello costruito con i giorni precedenti. Come già detto i risultati sono il residuo

Ogni file comandi può prevedere degli argomenti (detti variabili posizionali) il cui valore deve essere fornito al momento del lancio del comando stesso.

della correzione (θ , vedi sopra) e i valori massimi e minimi che rimangono dopo la correzione.

4.2. Risultati della applicazione del modello

Le tabelle a pagina 162 e 168 contengono i risultati relativi alla correzione del giorno 95 con i vari modelli, rispettivamente per la componente *NORD*, *EST*, *UP*. Per ognuno dei 20 modelli si ha il valore del residuo derivante dalla correzione e la correzione sui massimi e minimi giornalieri (in evidenza i dati che vengono effettivamente diminuiti dal processamento).

Osservazioni:

1. Per tutte e tre le componenti (anche se la componente *EST* evidenzia una correlazione minore), per entrambe le misure *s2* ed *s3*, il residuo aumenta all'aumentare del numero dei giorni utilizzati per la costruzione del modello, questo fa pensare che ci sia una migliore correlazione per giorni vicini;
2. La correzione apportata ai valori massimi e minimi è aleatoria, e in generale non significativa: il modello non è efficace nella correzione dei dati “fuori scala”, è necessario un altro metodo per la loro rimozione;
3. Adottando un modello costruito con dati non lisciati c'è il rischio, soprattutto considerando pochi giorni nelle medie (vedi modello a 3 giorni), di introdurre degli errori notevoli nei nuovi dati (questo si verifica se i picchi non si ripresentano precisamente allo stesso istante), questo problema si risolve adottando un lisciamiento “preciso” come *sgolay* o *loess* per cui il residuo rimane basso e in più non si introducono errori nei dati. In altre parole, se si costruisce il modello con i dati lisciati si otterrà un processamento più “sicuro”, nel senso che difficilmente andremo ad introdurre ulteriori picchi di segnale con la correzione, ma non si andranno neanche a correggere i picchi già presenti. Più è spinto il lisciamiento (quindi ad es. usando un filtro *media mobile*) più il modello costruito non introduce ulteriori errori nella serie temporale, ma la

rimozione del rumore è limitata. Viceversa con poco lisciamiento dati si ottiene un basso valore di residuo, ma con il rischio di introdurre nuovi errori.

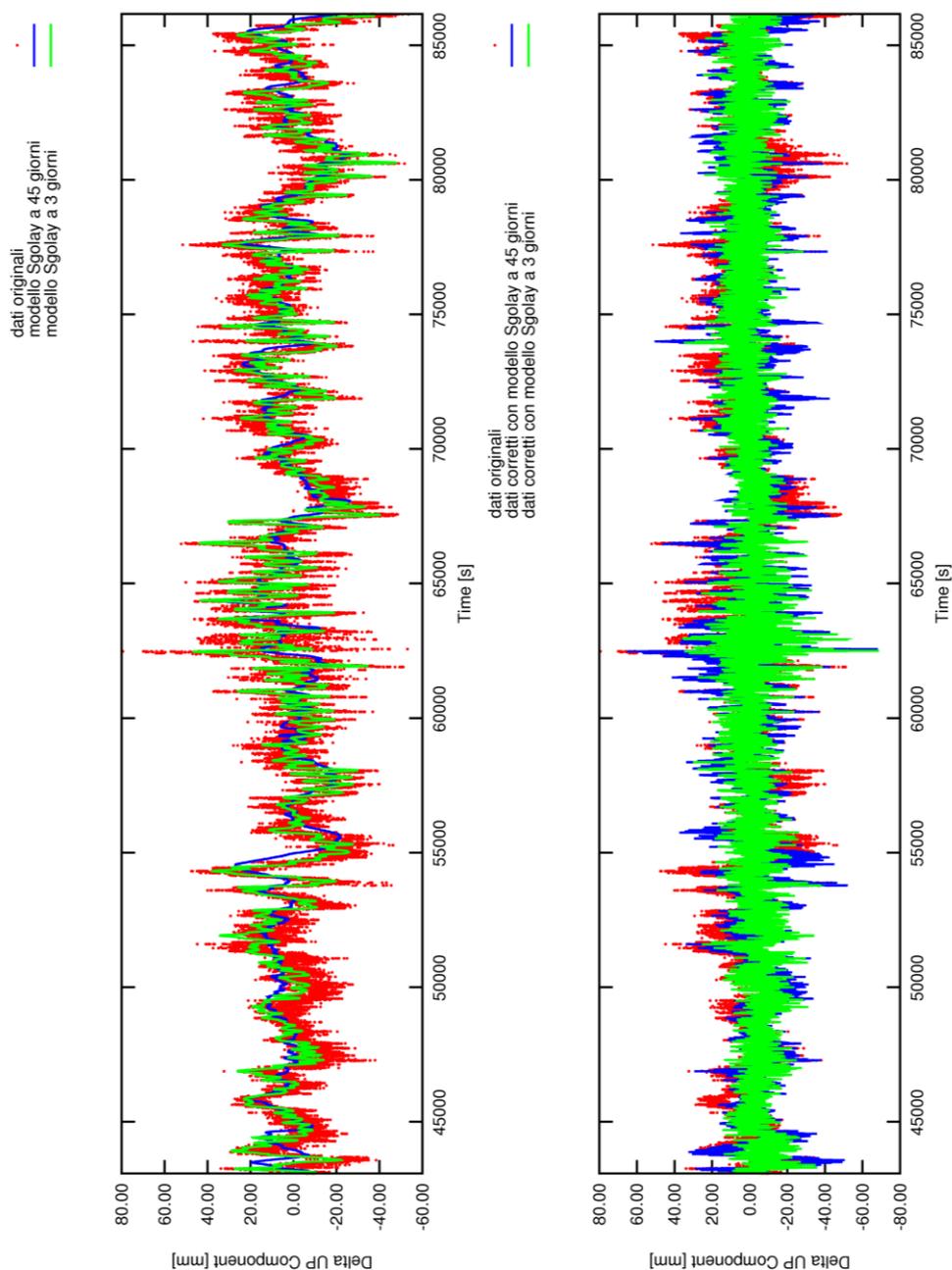


Figura 45 In alto: in verde modello Sgolay a 3 giorni (92-93-94) e in blu modello Sgolay a 45 giorni (da 50 a 94), per la componente ΔUP del sensore s2. In basso: correzione del giorno 95 (dati originali in rosso) con i modelli a 3 gg (in verde) e a 45 gg (blu).

Si riporta in Figura 45 in alto il grafico contenente i modelli sgolay a 3 giorni e a 45 giorni della componente up del sensore s2, insieme ai dati originali. Effettivamente il modello a 3 giorni segue meglio l'andamento dei dati originali. Nel grafico in basso invece sono riportate le correzioni dei dati derivanti dalla applicazione dei modelli. Il filtraggio con modello Savitzky-Golay permette di rimuovere una banda maggiore di rumore, anche se riporta qualche problema con i valori outliers.

A conferma del fatto che la correlazione tra i dati diminuisce con la distanza fra i giorni siderali, calcolando una correzione del giorno 95 realizzata con un modello costruito sui giorni 82-83-84 si ottengono valori del residuo più elevati rispetto ai corrispondenti valori ottenuti con un modello costruito con i giorni direttamente antecedenti al giorno da correggere. In un caso addirittura l'applicazione del modello ai dati peggiora il dato stesso (residuo maggiore di 1):

CORREZIONE DEL GIORNO 95 SENSORE 2COMPONENTE EST			
Massimo componente EST		40.71 mm	
Minimo componente EST		-30.54 mm	
Modello a 3 GIORNI: 82 – 83 – 84			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
Loess	0.93	36.04	-47.54
Loess	0.88	36.32	-48.89
Moving	0.86	36.88	-50.88
non_lisciato	1.02	35.59	-47.74
Sgolay	0.97	35.96	-48.75

CORREZIONE DEL GIORNO 95 SENSORE 2 – COMPONENTE NORD			
Massimo componente EST		59.17 mm	
Minimo componente EST		-50.60 mm	
Modello a 3 GIORNI: 82 – 83 – 84			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)

Loess	0.76	50.99	-51.57
Loess	0.72	51.29	-51.33
Moving	0.70	51.02	-51.86
non_lisciato	0.84	46.19	-64.86
Sgolay	0.80	49.31	-55.55

CORREZIONE DEL GIORNO 95 SENSORE 2 – COMPONENTE UP			
Massimo componente UP		69.47 mm	
Minimo componente UP		-64.77 mm	
Modello a 3 GIORNI: 82 – 83 – 84			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
Loess	0.77	69.69	-72.83
Loess	0.73	68.55	-73.60
Moving	0.72	65.91	-74.68
non_lisciato	0.84	77.40	-71.44
Sgolay	0.80	69.62	-70.94

Questo conferma quanto già evidenziato: esistono degli effetti periodici che introducono degli errori nella misura dello spostamento dei punti, questa periodicità si manifesta con frequenza pari a 86164 secondi. Dalla analisi sperimentale sui modelli si evidenzia una correlazione più forte per i dati temporalmente più vicini e allontanandosi dal dato da correggere si perde parte di questa correlazione. Quindi costruire un modello con molti giorni siderali è controproducente ai fini del miglioramento della precisione del dato. Conviene costruire un modello “dinamico”, considerando pochi giorni antecedenti al giorno da correggere.

Capitolo 6.

Test della strumentazione a

Ingegneria

Nel mese di febbraio 2009 è stato realizzato un test di installazione della strumentazione che verrà utilizzata prossimamente a Gaggio Montano. Il test si è svolto al DISTART della facoltà di Ingegneria in viale Risorgimento e ha avuto le finalità di:

- verifica di installazione dei supporti realizzati per le antenne;
- studio del software Leica Spider e dei dati forniti in *real time*;
- applicazione degli algoritmi già sviluppati per la correzione dei dati e lo studio di periodicità.

Il test ha permesso di acquisire dati per una durata complessiva di 21 giorni, dall'11 febbraio al 4 marzo 2009.

1. Installazione

È stata installata una antenna Leica Leiax AX1202GG sul tetto della facoltà di Ingegneria in viale Risorgimento (Figura 46, stazione BA01 – Base 01), utiliz-

zando i supporti modulari appositamente progettati e realizzati per questo tipo di applicazioni. In prossimità di questa antenna, a circa 6 m di distanza, è presente l'antenna Leiax AX1202GG della stazione permanente di Bologna (Figura 46, stazione RO01 – Rover 01), facente parte delle reti di stazione permanenti BoPos e ItalPos finalizzate alla disseminazione delle correzioni per i rilievi NRTK.



Figura 46 Installazione test a Ingegneria



Figura 47 Installazione test a Ingegneria - particolare

Con riferimento allo schema di Figura 48, entrambe le antenne sono collegate a ricevitori Leica System1200GG, posti all'interno del DISTART. Ognuno di questi passa i dati ad un com-server Lantronix⁶ dotato di indirizzo IP statico. In questo modo i server Spider, installati su due macchine distinte per la stazione permanente di Bologna e per il test, possono collegarsi in rete agli indirizzi IP dei com-server relativi alle due stazioni, e trasferire i dati dalla porta predefinita (solitamente 2101). I dati possono essere distribuiti dal ricevitore con formato proprietario Leica *raw-data* nel caso in cui siano utilizzati da sw Leica, oppure con un formato di comunicazione passivo standard *RTCM*⁷. Fino a questo punto le informazioni sulle due stazioni hanno viaggiato su canali separati.

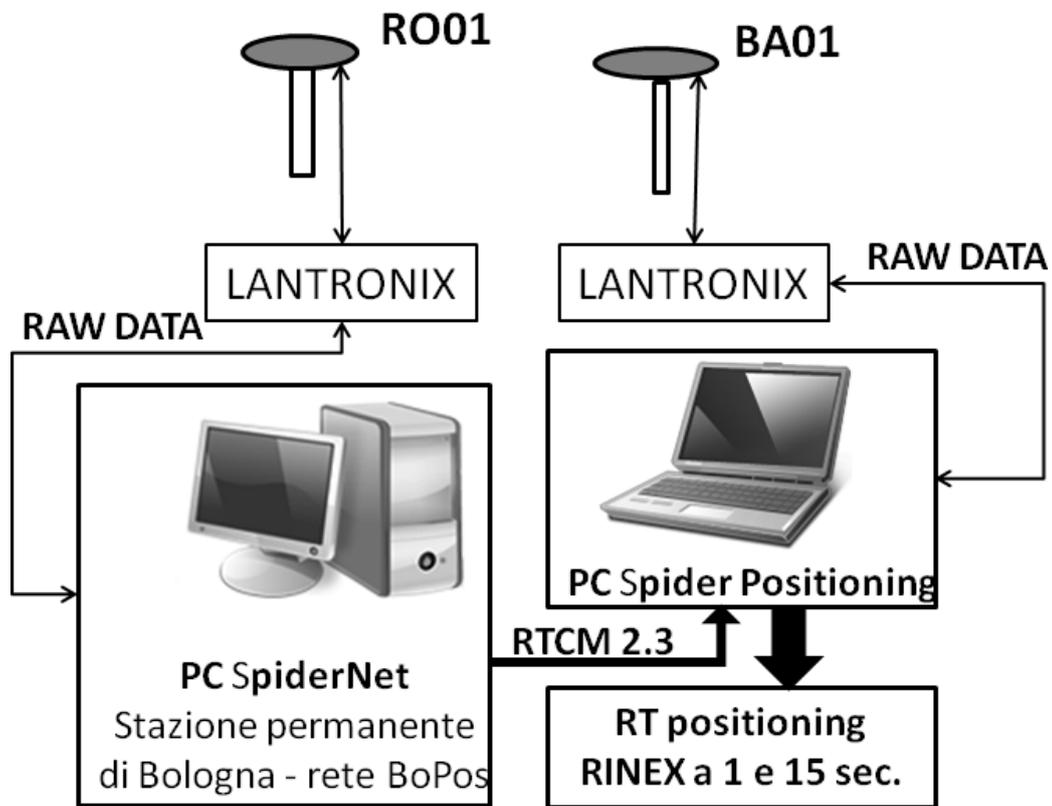


Figura 48 Schema dell'installazione

⁶ convertitore di segnale da seriale a ethernet

⁷ RTCM= Radio Technical Commission for Maritime Services. Il software di gestione Spider-Net permette l'uso del nuovo standard RTCM 3.1, disponibile con i ricevitori di nuova generazione. L'impiego dello standard RTCM 2.3 è però sempre possibile.

Le coordinate del punto rover invece servono successivamente, in fase di post elaborazione dei dati real time, per valutare gli spostamenti apparenti della posizione del punto, cioè le variazioni della coordinate fornite in RT rispetto alle coordinate iniziali. In un primo momento si erano prese come coordinate iniziali del punto RO01 le coordinate della stazione permanente di Bologna:

- RO01 ellissoidiche 11°19'43.81008 longitudine
 44°29'15.42458 latitudine
 140.2232 m quota
RO01 UTM_WGS84 4928671.7339 m nord
 685177.3997 m est

Successivamente corrette con le coordinate ottenute dalla media del primo giorno di acquisizione, che sono praticamente uguali a parte la quota:

- RO01 UTM_WGS84 4928671.732 m nord
 685177.399 m est
 140.158 m

Con le informazioni acquisite dai due ricevitori e conoscendo le coordinate iniziali del punto master (BA01) è possibile ottenere tramite Spider, in modalità real time, la posizione del punto rover (RO01) a istanti successivi. Conoscendo anche la posizione iniziale (al momento in cui viene fatto partire il rilievo) del punto rover (RO01) è possibile calcolare a partire dalle coordinate fornite da Spider, i suoi spostamenti nel tempo con precisione millimetrica.

2. Software Spider

Leica GNSS Spider è una suite di software per la gestione, il funzionamento e il controllo in continuo di stazioni di riferimento GNSS e per la disseminazione di correzioni RTK ed NRTK.

È basato su una architettura client / server che comprende:

- *Spider Client* → interfaccia grafica di utilizzo (stile Windows) del server
- *Spider Server* → gestisce in continuo le stazioni di riferimento, ovvero permette il setting del ricevitore, il download dei dati e operazioni connesse (controllo, conversione, archiviazione, distribuzione) e il monitoraggio dell'operatività dell'intero sistema
- *Spider SQL Database* → in cui vengono archiviate informazioni quali configurazione di sistema, informazioni sui sensori e siti, connessioni attive, dati prodotti. Nel database non vengono archiviati i file dei dati GNSS richiesti dall'utente (file di RT, file Rinex, file .mdb,...), che sono archiviati in una struttura a cartelle definibile dall'utente, accessibile anche se Spider non è in esecuzione.
- *Spider Data Dispatcher (DD)* → assicura la sincronizzazione fra i dati dei client e i dati del server, in modo che ogni cambiamento apportato da un client o server sia immediatamente disponibile ad altri utenti collegati.

Nello specifico per quanto riguarda il funzionamento sono disponibili due moduli (licenze) di utilizzo:

- *SpiderNet* che permette l'analisi di una rete di stazioni e la gestione di servizi ad essa connessi, ad esempio la modellazione e disseminazione di correzioni NRTK.
- *Spider Positioning e Post-Processing*, specifico per applicazioni di monitoraggio, che permette la gestione real-time e/o post-processing di stazioni GNSS.

La licenza, oltre alle funzionalità permesse, comprende anche il numero di prodotti che possono essere rilasciati contemporaneamente durante l'utilizzo di Spider.

2.1. File Products: Post Processing

Per il rilievo test (della durata complessiva di tre settimane) si è scelto di salvare i dati per il post processing relativi alle singole stazioni nei seguenti formati Rinex⁸

- Rinex a 1 secondo, che vengono prodotti da Spider con intervalli di:
 - un'ora per la stazione BA01 dai file proprietari Leica (.mdb) scaricati ogni ora dalla scheda di memoria;
 - un giorno per la stazione RO01 dai dati *RTCM* inviati dal server BoPos
- Rinex a 15 secondi prodotti da Spider con le stesse modalità

Lo scopo dell'acquisizione è anche di valutare la quantità di spazio necessario all'archiviazione nel caso di rilievi di lunga durata.

2.2. File Products: Real Time positioning

I dati per RT positioning sono disponibili con un certo rate di acquisizione (da 0.05 a 60 secondi) in formato NMEA e possono essere gestiti in varie modalità di invio streaming o logging.

Lo standard NMEA è un protocollo basato sul principio che la fonte (*talker*, nel nostro caso Spider) può soltanto inviare le frasi con i dati (*sentences*) e la ricevente (*listener*) può soltanto riceverli. Tutte le *sentences* hanno una struttura del tipo:

```
$PREFISSO,dato1,dato2 ... datoN, *CHECKSUM
```

Il prefisso è la prima parte della stringa, che serve a specificare di che tipo è il talker, ad esempio, autopilota, dispositivo GPS, controllo velocità, controllo direzione, ecc. In caso dell'utilizzo di un dispositivo GPS, il prefisso è GP seguito dal tipo di frase (Figura 49). Tutte le frasi vengono identificate con 3 lettere

⁸ Rinex = Receiver Independent Exchange Format

(es: RMC,RMB, ecc.). Le frasi sono in totale più di 50, la maggior parte proprietarie di ciascun dispositivo, e si differenziano per i contenuti inviati.

Spider è in grado di inviare segnali NMEA contenenti le seguenti frasi:

1. GGA, serve per trasmettere le coordinate di un punto. Il segnale non contiene la data, le coordinate sono geografiche. Si riporta un esempio di stringa del segnale:

```
$GPGGA,111925.00,4429.2570749,N,01119.7301689,E,4,07,1,200,140.160,M,0.000,M,,0000*5B
```

Nella tabella sono descritti i contenuti dei singoli campi:

Format	Content
\$xxGGA,	Either GPGGA for NMEA message from GPS system, GLGGA for GLONASS or GNGGA for GPS&GLONASS. Header, incl . Talker ID, message sent from the Receiver
hhmmss.ss ,	UTC time of Position
llll.ll ,	Latitude
a,	Hemisphere "N"/"S"
yyyyy.yy ,	Longitude
a,	"E"/"W"
x,	GPS Quality Indicator 0 = fix not available or invalid 1 = No Realtime position, navigation fix 2 = Realtime position, ambiguities not fixed (3 = PPS solution, not used by Leica rover) 4 = Realtime position, ambiguities fixed (5 = Realtime position, float ambiguities, not used by Leica rover) 6 = Estimated (dead reckoning) mode
xx ,	Number of satellites in use, 00-12
x.x ,	HDOP
x.x ,	Antenna altitude above/below mean sea level. Note, if no orthometric height is available the local ellipsoidal height will be exported. The geoid separation can be configured in the Site Properties: Antenna .
M,	Units of altitude meters (fixed text "M")
x.x ,	Geoid separation
M,	Units of geoid separation meters (fixed text "M").
x.x ,	Age of differential GPS data, null when DGPS not used
xxxx	Differential Reference Station ID, 0000-1023

* hh	Checksum
<CR>	Carriage Return
<LF>	Line Feed

Tabella 7 NMEA GGA

2. GGQ, simile a GGA ma viene indicata la data ed è contenuta qualche informazione in meno. Si riporta un esempio di stringa del segnale:

```
$GPGGQ,11.2243.00,030209,4429.2570745,N,01119.7301677,E,3,07,0.012,140.165,M*0E
```

Nella tabella sono descritti i contenuti dei singoli campi:

Format	Content
\$GPGGQ,	Header, including Talker ID, message sent from receiver. sentence formatter.
hhmmss.ss,	UTC of position fix
mmddyy,	UTC date
1111.11,	Latitude
a,	Hemisphere "N"/"S"
yyyyy.yy,	Longitude
a,	"E"/"W"
x,	GPS Quality Indicator 0 = fix not available or invalid 1 = No Realtime position, navigation fix 2 = Realtime position, ambiguities not fixed 3 = Realtime position, ambiguities fixed.
xx,	Number of satellites in use (Common satellites between reference and rover, values between 00 to 12 may be different from the number in view).
x.x,	Coordinate Quality
x.x,	Antenna altitude above/below mean sea level. Note, if no orthometric height is available the local ellipsoidal height will be exported. The geoid separation can be configured in the Site Properties: Antenna.
M	Units of altitude in meters (fixed text "M")
*hh	Checksum
<CR>	Carriage return
<LF>	Line feed

Tabella 8 NMEA GGQ

3. LLQ, serve per trasmettere le coordinate locali di un punto. Nel nostro caso il messaggio contiene le coordinate UTM. Spider calcola a partire dalle coordinate del punto il fuso di appartenenza, deve però essere indicata la posizione del falso est e falso nord. L'Italia è compresa nei fusi 31 e 32 e il falso est vale 500 km. Si riporta un esempio di stringa del segnale:

```
$GPRLLQ,112131.00,030209,185177.399,M,4928671.729,M,3.07,0.012,140.161,M*01
```

Nella tabella sono descritti i contenuti dei singoli campi:

Format	Content
\$GPRLLQ,	Header, incl . Talker ID,message sent from the Receiver
hhmmss.ss	UTC time of position
,	
mmddyy ,	UTC date
eeeeee.eee	Grid Easting, meters
,	
M,	Meter (fixed text "M")
nnnnnn.nn	Grid Northing, meters
n ,	
M,	Meter (fixed text "M")
x,	GPS Quality 0 = fix not available or invalid 1 = No Realtime position, navigation fix 2 = Realtime position, ambiguities not fixed 3 = Realtime position, ambiguities fixed
xx ,	Number of satellites used in computation
x.x ,	Coordinate Quality
x.x ,	Antenna altitude above/below mean sea level. Note, if no orthometric height is available the local ellipsoidal height will be exported. The geoid separation can be configured in the Site Properties: Antenna.
M	Meter (fixed text "M")
* hh	Checksum
<CR>	Carriage Return
<LF>	Line Feed

Tabella 9MEA LLQ

4. Formato proprietario Leica (LMM), rispetta gli standard NMEA e contiene elementi della matrice di varianza e covarianza.

Nella tabella sono descritti i contenuti dei singoli campi:

Format	Content
\$GPLMM,	Header, incl . Talker ID,message sent from GPS LMM Sentence Formatter (Leica Monitoring Message)
hhmmss.ss	UTC of Position Fix
mmddyy ,	UTC date
lll.ll ,	Latitude
a,	Hemisphere "N"/"S"
yyyyy.yy ,	Longitude
a,	"E"/"W"
x,	GPS Quality Indicator 0 = fix not available or invalid 1 = No Realtime position, navigation fix 2 = Realtime position, ambiguities not fixed 3 = Realtime position, ambiguities fixed.
xx ,	Number of Satellites in Use
x.x ,	Coordinate Quality
x.x ,	Antenna altitude above/below mean sea level. Note, if no orthometric height is available the local ellipsoidal height will be exported.
M	Units of altitude meters (fixed text "M")
x.x ,	GDOP
x.x ,	A posteriori variance factor. Show to 4 decimal places.
x.x ,	Element C11 from the variance-covariance matrix. Show to 4 decimal places.
x.x ,	Element C12 from the variance-covariance matrix. Show to 4 decimal places.
x.x ,	Element C13 from the variance-covariance matrix. Show to 4 decimal places.
x.x ,	Element C22 from the variance-covariance matrix. Show to 4 decimal places.
x.x,	Element C23 from the variance-covariance matrix. Show to 4 decimal places.
x.x,	Element C33 from the variance-covariance matrix. Show to 4 decimal places.
* hh	Checksum
<CR>	Carriage Return
<LF>	Line Feed

Tabella 10 NMEA LLM

Per quanto riguarda la gestione dei dati prodotti in standard NMEA, si possono selezionare i seguenti canali di invio streaming:

- Porta ethernet per applicazioni locali o remote, es. modalità di allarme. Per il test si è scelto di inviare i dati sulle porte 10000 (formato GGA), 10001 (formato LLQ) e 10002 (formato GGQ) . Il flusso di informazioni è visibile tramite *telnet* da shell:

```
casalu84@casalu84-laptop:~$ telnet 137.204.61.214 10001
Trying 137.204.61.214...
Connected to 137.204.61.214.
Escape character is '^]'.
$GPRLLQ,083353.00,021809,185177.400,M,4928671.731,M,3,07,0.010,140.156,M*0C
$GPRLLQ,083354.00,021809,185177.400,M,4928671.731,M,3,07,0.010,140.157,M*0A
$GPRLLQ,083355.00,021809,185177.400,M,4928671.732,M,3,07,0.010,140.158,M*07
$GPRLLQ,083356.00,021809,185177.401,M,4928671.732,M,3,07,0.010,140.156,M*0B
$GPRLLQ,083357.00,021809,185177.400,M,4928671.731,M,3,07,0.011,140.156,M*09
$GPRLLQ,083358.00,021809,185177.401,M,4928671.731,M,3,07,0.010,140.158,M*08
$GPRLLQ,083359.00,021809,185177.400,M,4928671.732,M,3,07,0.011,140.155,M*07
$GPRLLQ,083400.00,021809,185177.401,M,4928671.729,M,3,07,0.011,140.156,M*04
$GPRLLQ,083401.00,021809,185177.401,M,4928671.732,M,3,07,0.012,140.161,M*08
```

Figura 49 Messaggio LLQ disponibile su porta ethernet

- Segnale su porta seriale COM.
- Invio a software Leica GeoMos che permette di gestire simultaneamente sensori GPS e di altra tipologia (inclinometri, stazioni totali, ...). In questo caso il segnale non è inviato come standard NMEA.

Oltre all'invio in streaming i dati possono essere salvati in file *.rtf*⁹. È possibile salvare i dati in file di lunghezza variabile tra 10 minuti e un giorno. Si è individuata una particolarità nella gestione delle archiviazioni da parte di Spider in quanto i file non vengono creati con la durata specificata di un giorno (cioè precisamente 86400 s) ma risultano di durata variabile all'incirca tra 86250 e 86650 s.

⁹ Rich Text Format, formato di scambio tra programmi di elaborazione testo.

3. Acquisizione e gestione dei dati

Inizialmente si è proceduto a salvare l'informazione dell'elaborazione real time positioning nei 3 formati GGA, GGQ ed LLQ, per poter analizzare e confrontare i tipi di messaggio. Si è scelto di mantenere un rate di acquisizione di 1 secondo e di salvare i dati in file di lunghezza 24 ore. Potendo scegliere tra i vari messaggi disponibili si è optato di lavorare nel seguito del lavoro di test con il messaggio LLQ, per il semplice motivo che riporta delle informazioni in metri, appropriate allo scopo di valutare gli spostamenti (in questo caso apparenti) del punto, e nel singolo record è indicata la data di elaborazione del segnale.

Lo script Bash *llq2oct* (pag. 181), richiamando la function Octave *completa.m* (pag. 171), svolge in automatico alcune conversioni che riguardano:

- Scala temporale in secondi GPS dal 1° gennaio 2009;
- Sottrazione delle coordinate “iniziali”, in modo da ottenere le variazioni di posizione del punto nel tempo (secondo per secondo) lungo i tre assi nord, est, up;
- Struttura (separatori di campo, record contenenti campi nulli, ...);
- Aggiustamento falso est;

Al termine della procedura si ottiene un file ASCII completo (i dati mancanti vengono inseriti tramite *completa.m*), contenente una matrice, che può essere caricato da Octave per successive elaborazioni. Il problema è che questi record non risultano di lunghezza fissa (vedi Tabella 12). Per questo motivo, una volta elaborato un certo numero di file giornalieri di acquisizione, è possibile suddividerli tramite lo script Octave *siderali.m* in giorni siderali (lunghezza 86164 s) per analizzarli con alcune delle procedure descritte nel capitolo V.

3.1. Scala temporale

L'informazione relativa all'istante temporale è contenuta nel messaggio NMEA LLQ nel secondo campo (ora *hhmmss,ss*) e nel terzo campo (data

mmggyy). Per poter utilizzare il file di dati è stato necessario convertire i due campi in un'unica informazione. È importante che l'algoritmo utilizzato per la conversione non risenta dei passaggi di data, cambi di calendario, anni bisestili... Si è utilizzato l'applicativo *doy* (pacchetto *Gamit*), di cui viene riportato un esempio di conversione di data e ora da shell:

```
casalu84@casalu84-laptop:~$ doy 09 02 18 12 30
Date 2009/02/18 12:30 hrs, DOY 49 JD 2454881.0208 MJD 54880.5208
GPS Week 1519 Day of week 3, GPS Seconds 304200 Day of Week Wed
Decimal Year 2009.132934
```

L'informazione temporale deve essere fornita come *yy mm gg* e l'ora come *hh mn*. Il risultato è contenuto in tre record: il primo contiene la data e l'ora in diverso formato, i giorni trascorsi dal primo gennaio, il giorno giuliano¹⁰, e il giorno giuliano modificato¹¹. Nella seconda riga sono contenute le informazioni su: settimana GPS¹², giorno della settimana GPS (domenica = 0, sabato = 6), secondi GPS trascorsi dalle 0:00 di domenica (giorno 0) alle *hh:mn* del giorno *yy mm gg* (immessi in input per *doy*), giorno della settimana (lunedì, martedì...). Infine nell'ultima riga è espressa l'informazione di ora e data in decimal year (decimo di anno).

I campi di input vengono estratti dalla stringa LLQ del messaggio NMEA. Con riferimento al tempo GPS, dall'output di *doy*, si estraggono le settimane e i secondi. Moltiplicando poi il numero di settimane per i secondi totali in una settimana (604800), sommando il numero di secondi trascorsi dall'inizio della settimana fino alle *hh:mn* e infine sommando il numero di secondi estratto dalla

¹⁰ Il giorno giuliano (Julian Day, JD) è il numero di giorni passati dal mezzogiorno del lunedì 1° gennaio 4713 a.C. Il sistema dei giorni giuliani è stato progettato per fornire agli astronomi un singolo sistema di date che potesse essere usato per lavorare con differenti calendari, e per unificare differenti cronologie storiche, giacché esso non presenta la difficoltà di anni bisestili, cambi di calendario, eccetera.

¹¹ Il giorno giuliano modificato (MJD), introdotto dallo Smithsonian Astronomical Observatory nel 1958 per registrare l'orbita dello Sputnik, è definito in termini di giorni giuliani come segue: $MJD = JD - 2400000,5$

¹² Il tempo GPS parte dall'anno di prima attivazione del sistema (1980). La data GPS viene espressa come numero di settimane e numero di giorni della settimana. Il giorno della settimana GPS è espresso come un campo di 10 bit nel codice C/A e P(Y) del messaggio di navigazione. La prima settimana GPS è quella cominciata il 6 gennaio 1980 alle 00:00:00 UTC.

stringa del messaggio LLQ si ottiene il numero di secondi GPS trascorsi fino alle *hh:mn:ss* del giorno di acquisizione:

$$GPSs_{tot} = GPSw \cdot 604800 + GPSs + ss \quad [s]$$

In questo modo si ottiene il numero totale di secondi GPS (cioè riferiti alla scala temporale GPS con inizio il 6 gennaio 1980 alle 0:00:00 ora UTC) all'istante considerato. Il numero però risulta elevato e per questo si è deciso di porre come istante zero il 1 gennaio 2009 alle 0:00:00 che nella scala GPS corrisponde al secondo 914803200:

$$time_{1genn2009} = time_{6genn1980} - 914803200 \quad [s]$$

Il risultato di questa operazione di conversione è il numero di secondi GPS trascorsi a decorrere dal 1 gennaio 2009 alle ore 0:00:00. Nel seguito è riportato un esempio di conversione, a sx i campi della stringa LLQ relativi a ora e data, a dx la conversione:

145910.00,021109	→	3596354
145911.00,021109	→	3596355
145912.00,021109	→	3596356
145913.00,021109	→	3596357
145914.00,021109	→	3596358

La conversione viene realizzata all'interno dello script Bash *llq2oct* riportato a pag. 181.

3.2. Operazioni sulla struttura del file

Un file di testo per essere caricato in Octave tramite il comando *load* deve possedere alcune caratteristiche precise, tra cui:

- struttura a matrice (righe e colonne) di soli valori numerici;
- le virgole o gli spazi rappresentano la separazione tra colonne, la “andata a capo” (carriage return e line feed) rappresenta la separazione tra righe;

- tutte le righe devono contenere lo stesso numero di campi, in altre parole devono essere presenti tutti gli elementi della matrice. I campi nulli possono essere inseriti come “NaN” (Not a Number).

Nel caso in cui manchino dei campi dalla matrice, Octave non riconosce la struttura e ferma l’acquisizione dei dati.

Si è preferito convertire i separatori di campo da “,” a spazi vuoti, eliminare dal file i campi composti da lettere e i campi contenenti informazioni sovrabbondanti e inserire un controllo sui campi nulli. Nel caso ad un record manchi un campo, esso viene spostato su un file a parte (prefisso *log*), su cui vengono anche riportate altre informazioni sulla completezza del file.

A questo punto il file è pronto per essere utilizzato con Octave. Per poter utilizzare gli strumenti descritti a pag.80 e in particolare gli algoritmi per la creazione di un modello e per l’analisi di correlazione tra i giorni siderali, è necessario disporre di file giornalieri siderali completi (86164 record). Per questo si è deciso di sviluppare una function Octave (pag.171) che verifichi la successione di secondi e nel caso ci sia un salto temporale nell’acquisizione “riempia” con record opportuni la serie. In generale questa *function* è in grado di completare una matrice, tenendo come riferimento per la successione di valori la prima colonna della matrice stessa, che nel nostro caso contiene gli istanti temporali.

L’ultimo lavoro da effettuare sulla struttura dei file è tagliare i record in modo da creare i file di giorni siderali completi. Per questo è stata scritta una procedura Octave *siderali.m* che acquisisce un certo numero di file “giornalieri” (file completi dal punto di vista della successione temporale e di durata variabile intorno a 86400 secondi) in una unica matrice che viene poi separata in file consecutivi di durata 86164 secondi (giorno siderale).

Le operazioni svolte sul messaggio originale in uscita da Spider in formato NMEA LLQ sono riassunte nello schema seguente:

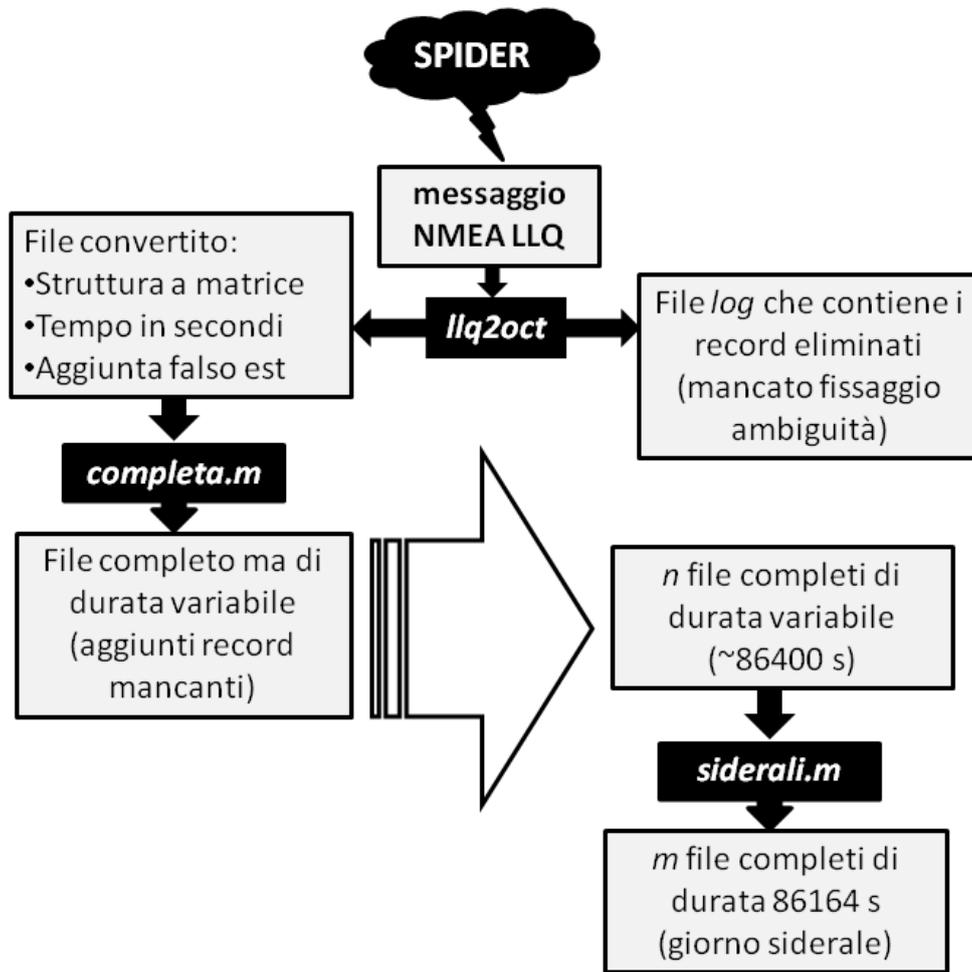


Figura 50 Schema delle operazioni eseguite sul messaggio NMEA LLQ

4. Risultati del rilievo

Il rilievo, della durata di 21 giorni, ha permesso di definire le operazioni da svolgere sui dati real time che saranno disponibili in fase di acquisizione dalla sperimentazione a Gaggio.

4.1. Caratteristiche dei dati acquisiti

I file giornalieri ottenuti dal rilievo a Ingegneria hanno una durata di circa 24h, cominciando all'orario di prima attivazione, quindi indicativamente alle 16:00 (ora locale), e terminando alle 16:00 del giorno successivo.

I file Rinex invece vanno dalle 0:00:00 alle 23:59:59 del giorno successivo.

Per tutti i 21 file giornalieri, da cui sono già stati eliminati i record per cui non si ha fissaggio delle ambiguità, si ottengono i seguenti valori statistici di media μ e deviazione standard σ riferiti alle coordinate UTM_WGS84 del punto RO01:

	μ (m)	σ (m)
UTM nord	4928671.732	0.003
UTM est	685177.399	0.002
Quota ell.	140.158	0.004

Tabella 11 Valori statistici costanti per ogni giorno del rilievo

Questi valori costituiscono la posizione “zero” del punto, in base alla quale sono riferiti gli spostamenti apparenti delle coordinate.

Nei dati ottenuti dal rilievo e raccolti in file giornalieri si presentano sporadicamente record mancanti, record incompleti (mancanza delle coordinate) o record per cui si è perso il fissaggio delle ambiguità (cycle slip). Anche se in numero molto limitato sul totale (vedi Tabella 12), sono stati sostituiti nel file in un primo momento con la stringa NaN (Not a Number), in seguito si è scelto di

sostituirli con una tripletta di 0 per problemi di svolgimento di alcune operazioni con Octave.

Nella tabella seguente sono raccolti il numero di dati validi e rigettati per ogni file giornaliero fornito dal rilievo:

Data rilievo 24h	Validi	Nul / nf	Tot. Dati
11-12 / 02 / 2009	86615	19	86634
12-13 / 02 / 2009	86429	13	86442
13-14 / 02 / 2009	86397	1	86398
14-15 / 02 / 2009	86290	91	86381
15-16 / 02 / 2009	86333	33	86366
16-17 / 02 / 2009	86377	6	86383
17-18 / 02 / 2009	86365	12	86377
18-19 / 02 / 2009	86244	35	86279
19-20 / 02 / 2009	86393	0	86393
20-21 / 02 / 2009	86382	14	86396
21-22 / 02 / 2009	86336	68	86404
22-23 / 02 / 2009	86314	31	86345
23-24 / 02 / 2009	86311	84	86395
24-25 / 02 / 2009	86356	13	86369
25-26 / 02 / 2009	86355	27	86382
26-27 / 02 / 2009	86363	10	86373
27-28 / 02 / 2009	86360	10	86370
28/02-01/03/2009	86284	91	86375
01-02 / 03 / 2009	86314	32	86346
02-03 / 03 / 2009	86369	10	86379
03-04 / 03 / 2009	86358	23	86381

Tabella 12 Record acquisiti dal rilievo

In Figura 51 sono riportate le variazioni apparenti rilevate dal sistema di monitoraggio sulle 3 componenti Nord, Est, Up. È visibile la periodicità giornaliera nell'andamento del segnale, ad es. confrontando i valori outlier sulla componente nord. Escludendo i valori fuori scala, i dati presentano una variabilità abbastanza contenuta: la banda di oscillazione per la componente nord e up è intorno a 10 – 15 mm, mentre per la componente est intorno ai 5 – 10 mm.

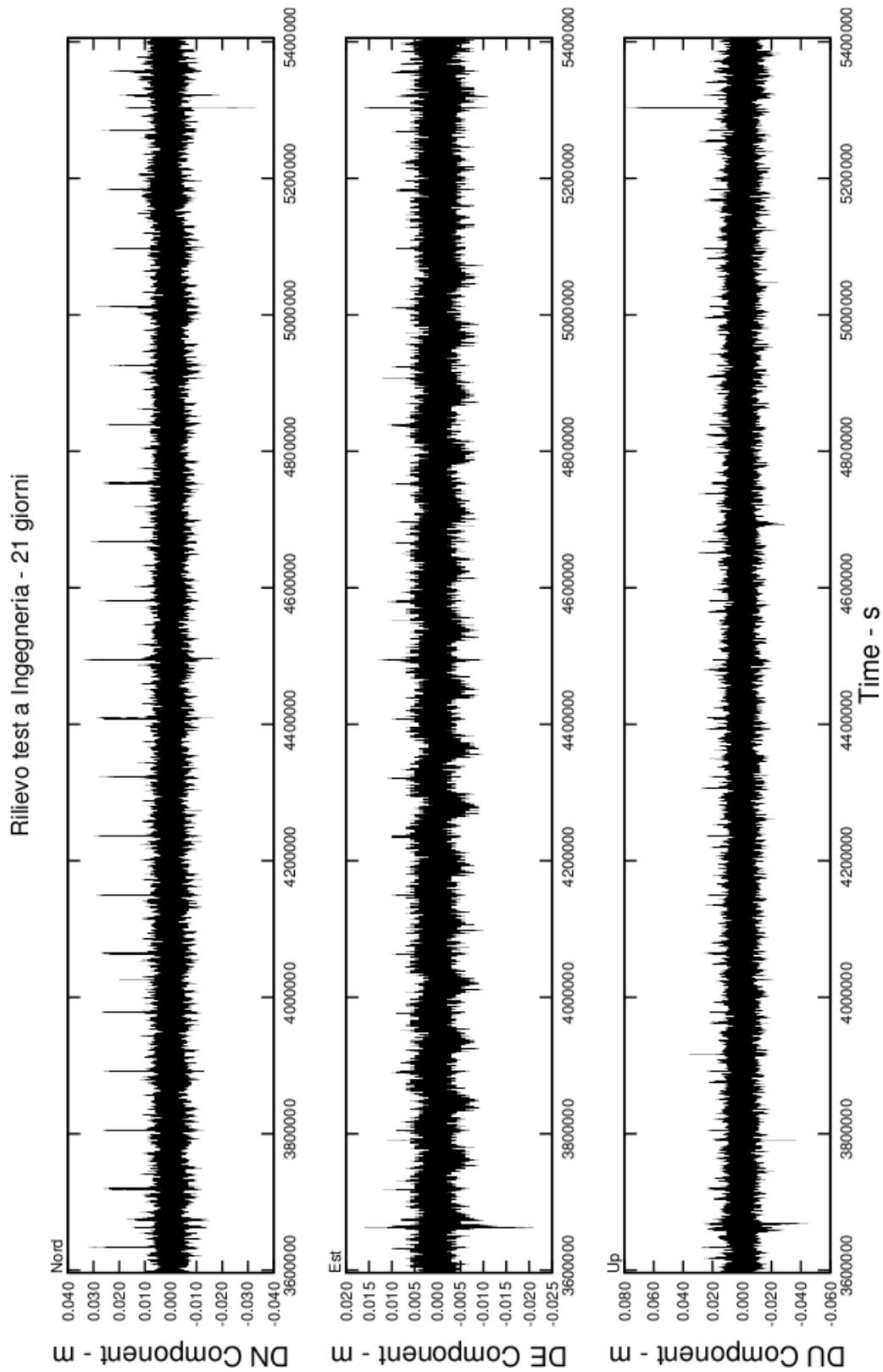


Figura 51 Rilievo test a Ingegneria - dati grezzi relativi ai 21 giorni siderali acquisiti

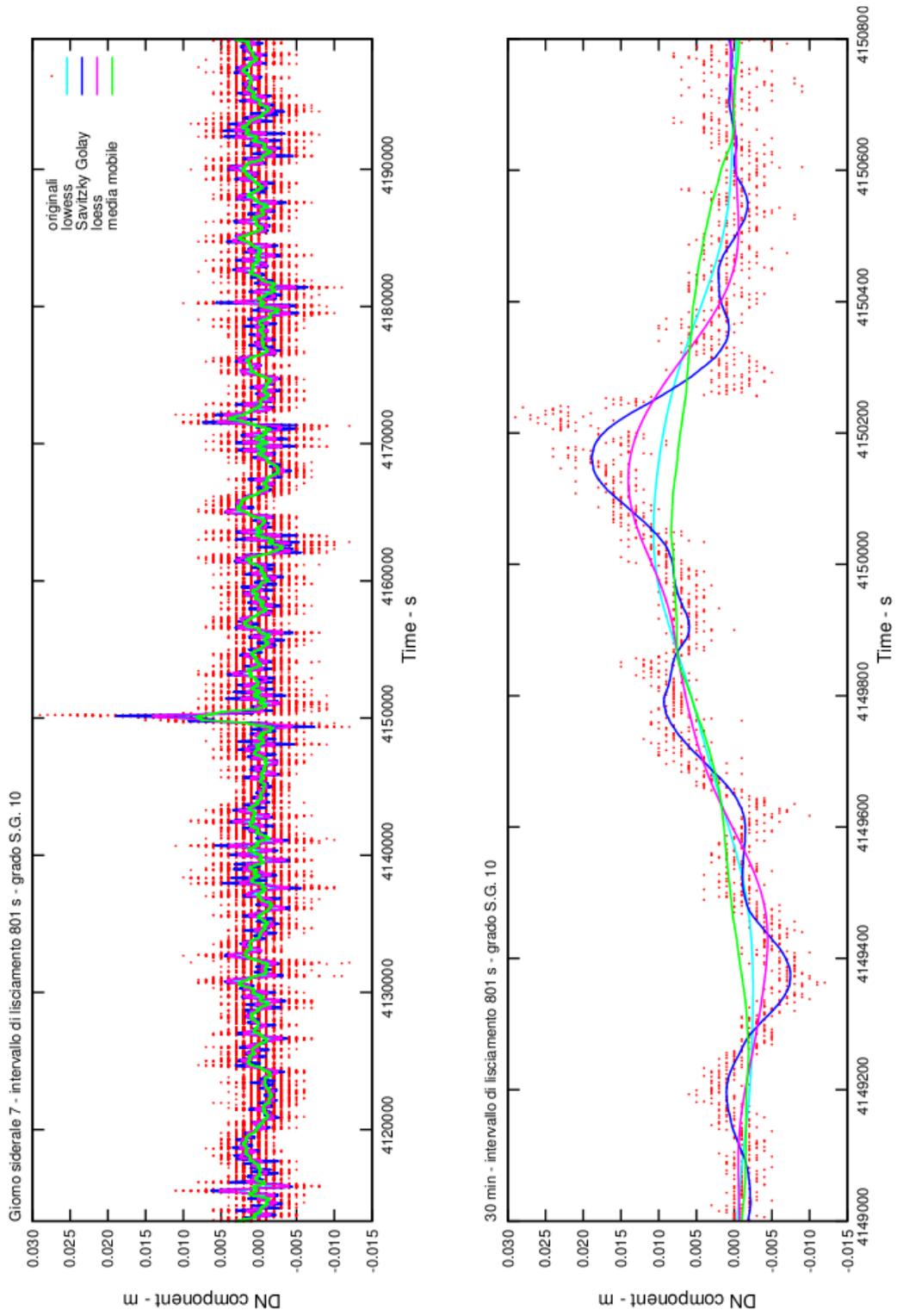


Figura 52 Giorno siderale 7 del rilievo - dati originali e lisciati

Nella figura della pagina precedente (Figura 52) sono riportati i dati relativi al giorno siderale 7 di acquisizione per la componente nord, e gli stessi dati liscciati con le tecniche già viste nei capitoli precedenti: filtri media mobile, loess, lowess e Savitzky-Golay. In particolare si vede come l'algoritmo Savitzky-Golay riporti anche in questo caso con buona approssimazione dei picchi di segnale, mentre il filtro media mobile sia adatto a rappresentare il trend generale della serie. Trattandosi di misure su punto fisso, gli spostamenti riportati nei grafici sono apparenti e dovuti ad errori di vario tipo. Per questo motivo i dati forniti dal rilievo sono particolarmente adatti per lo studio dell'andamento di errori casuali o errori sistematici (ad es. multipath, costellazione satellitare).

4.2. Elaborazione dati: applicazione degli algoritmi

Come si è visto, dal prodotto elaborato da Spider (messaggio NMEA LLQ) si sono ricavati i record contenenti l'istante temporale (in secondi GPS dal 01/01/2009 alle 0:00:00) e la variazione delle coordinate Nord Est Up in metri (sistema di coordinate UTM WGS84). Questi record sono suddivisi in 21 giorni siderali consecutivi, avendo già verificato la periodicità del segnale con frequenza di un giorno siderale, visibile chiaramente anche dal grafico di Figura 51.

Per valutare le caratteristiche di periodicità del segnale si è applicato l'algoritmo per la valutazione dell'indice di correlazione tra i dati di giorni siderali diversi. Per la trattazione teorica riguardante l'indice di correlazione si rimanda a pag. 109. L'algoritmo applicato è *correlazione_TM* (pag.180) sviluppato precedentemente sui dati della sperimentazione di Gaggio del 2006 / 2007.

I risultati sono riportati in Figura 53. Anche per i dati acquisiti nella sperimentazione a Ingegneria rimane la caratteristica di maggiore correlazione per giorni siderali vicini, che risulta amplificata se i dati sono liscciati. Anche in questo caso il liscciamento media mobile produce una maggiore correlazione sui dati più

lontani, mentre il filtro Savitzky-Golay permette di ottenere una elevata correlazione sui dati di giorni siderali vicini.

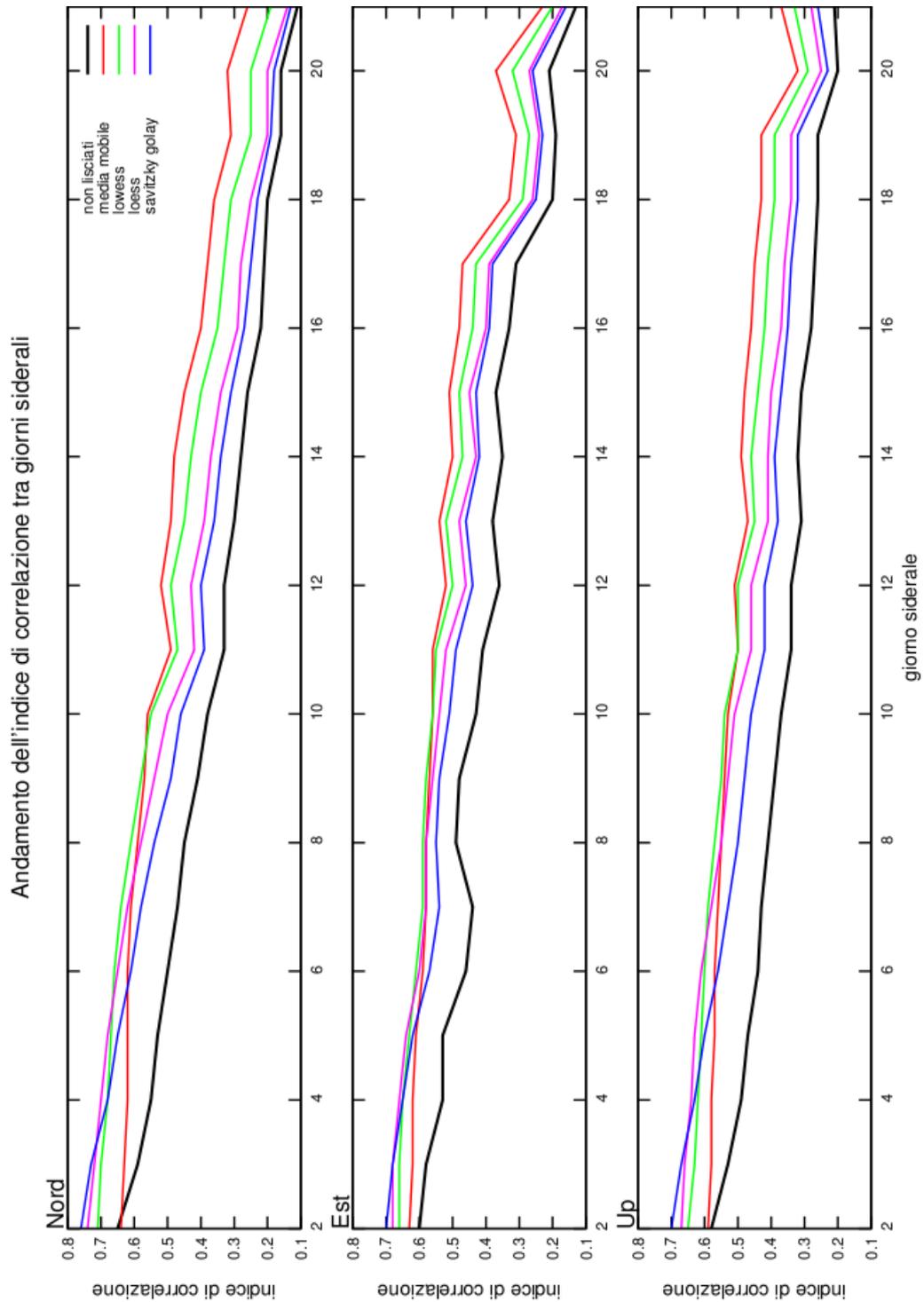


Figura 53 Indice di correlazione calcolato sui dati grezzi e lisciati dei giorni siderali da 2 a 21 rispetto al 1° giorno siderale

Avendo verificato, per quanto riguarda l'indice di correlazione, caratteristiche simili a quanto già visto sui dati "vecchi" si è applicato l'algoritmo *Bash modello* per la correzione dei dati tramite costruzione di un modello rappresentativo, basato su giorni siderali vicini e precedenti al giorno che si vuole correggere.

- modello basato su media mobile, considerando 2 giorni antecedenti al giorno da correggere.
- modello basato su filtro Savitzky-Golay, considerando sempre 2 giorni antecedenti al giorno da correggere.

In entrambi i casi quindi si sono utilizzati i giorni 25 e 26 febbraio, nel primo caso però lisciati con media mobile, mentre nel secondo caso lisciati con metodo Savitzky-Golay. Il modello previsionale ottenuto (per il metodo numerico utilizzato per la costruzione dei modelli confr. pag. 115 e seguenti) è stato applicato al giorno 27 febbraio.

I risultati relativi alla componente EST sono riportati nei grafici di Figura 54 e Figura 55: in rosso i dati originali, in verde il modello e in nero i dati corretti. Il grafico in alto comprende l'intero giorno siderale, mentre il grafico in basso riguarda una finestra di visualizzazione relativa a mezz'ora di dati in cui si è verificato un picco di valori. Dal confronto fra i due grafici si può osservare come in Figura 54 (algoritmo Savitzky-Golay) il modello riesca a seguire più fedelmente i dati originali mentre nel grafico di Figura 55 (algoritmo media mobile) il modello, pur rappresentando abbastanza bene la serie originale, non riesce a "copiarne" perfettamente l'andamento. Ne consegue una attenuazione peggiore degli effetti periodici rispetto al primo modello. In entrambi i casi i risultati sono comunque interessanti.

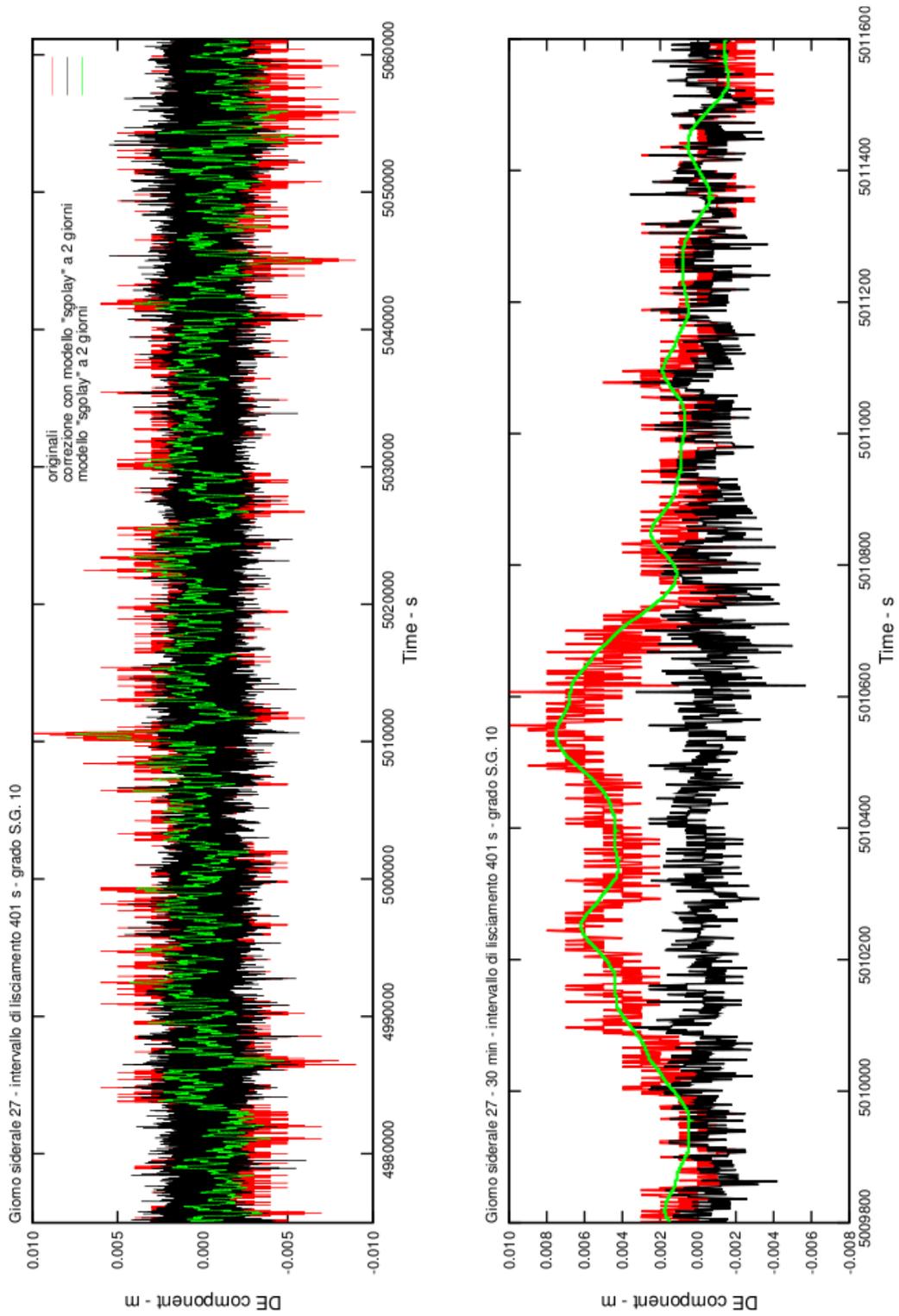


Figura 54 Giorno 27 febbraio - componente EST - correzione con modello basato su Savitzky Golay a 2 giorni. Grafico a dx finestra temporale di 1/2 ora.

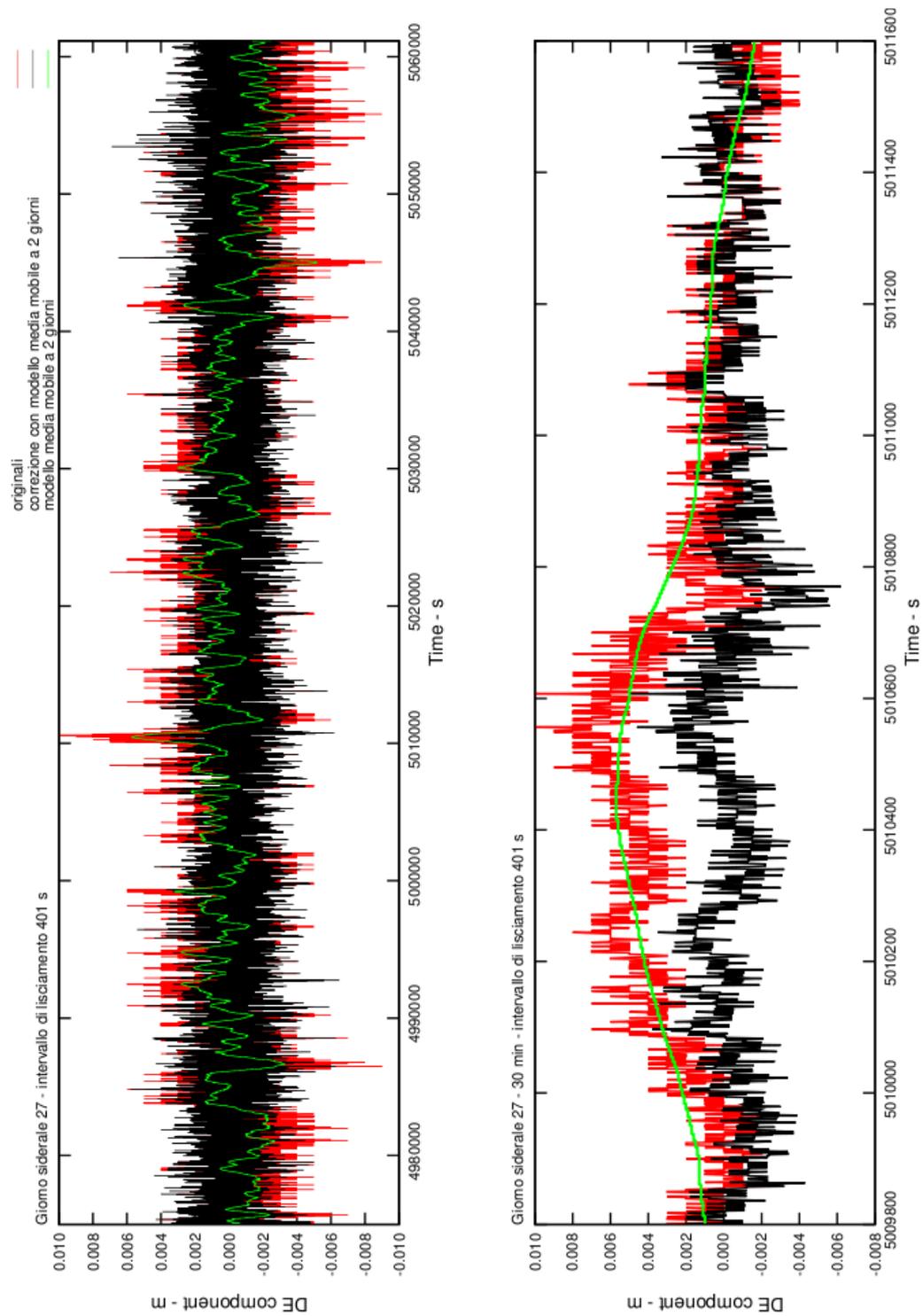


Figura 55 Giorno 27 febbraio - componente EST - correzione con modello basato su Media Mobile a 2 giorni. Grafico a dx finestra temporale di 1/2 ora.

Nel grafico di Figura 56 invece è riportata la componente NORD corretta con la stessa tipologia di modello previsionale. In questo caso però i dati originali presentano un andamento fortemente irregolare intorno al secondo 5011700 (istante critico a tutte le serie giornaliere per la componente NORD) che non riesce ad essere modellizzato dall' algoritmo Savitzky-Golay e dall' algoritmo media mobile. Ne risulta un eccesso di correzione con aggiunta di un errore negativo nella serie. Rimane quindi da affrontare il problema della modellazione di serie con dati fortemente irregolari.

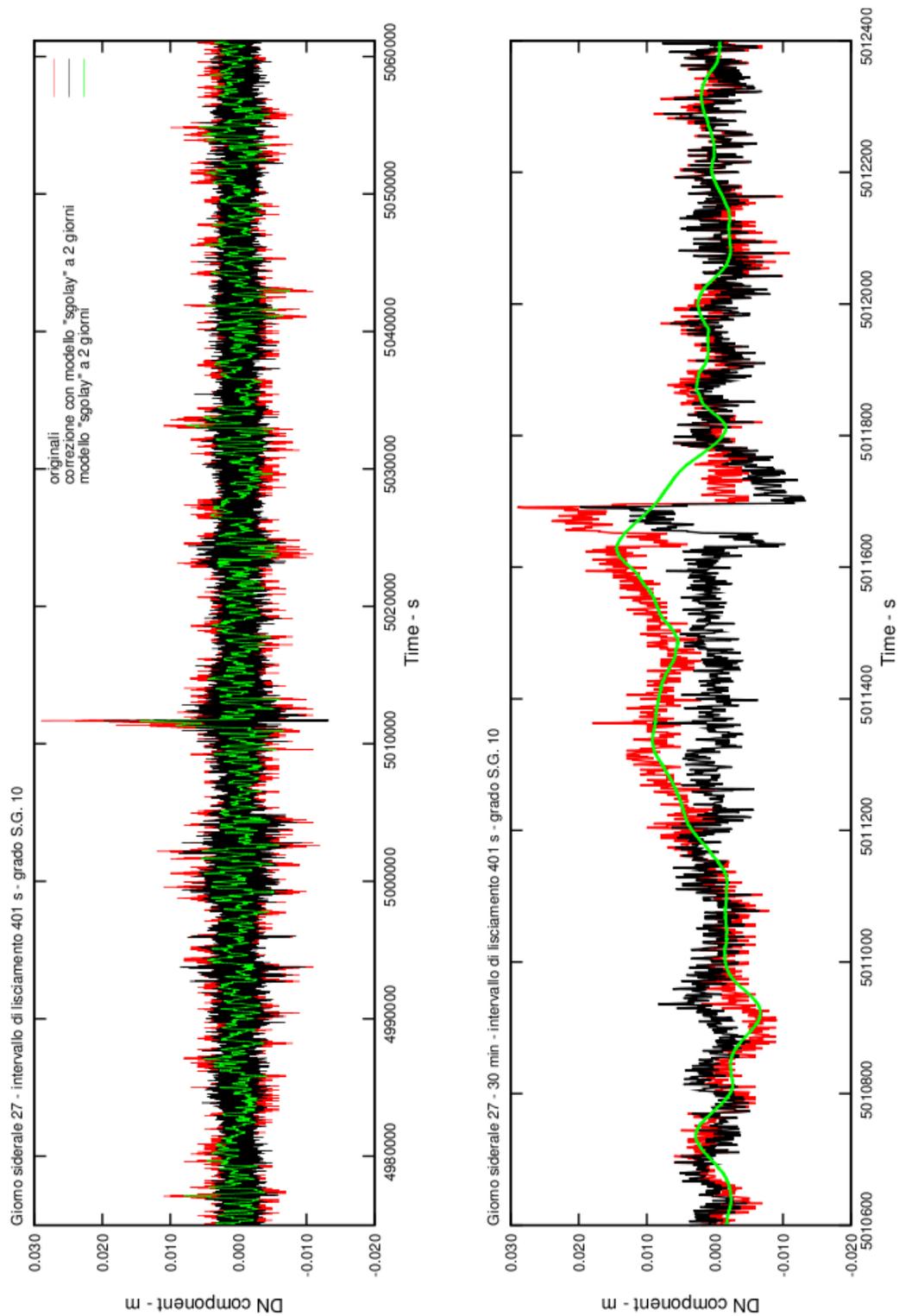


Figura 56 Giorno 27 febbraio - componente nord - correzione basata su modello Savitzky Golay. Grafico a dx finestra temporale di 1/2 ora.

Conclusioni

Il lavoro di Tesi svolto presso il DISTART può essere suddiviso in due parti distinte:

- Progettazione della nuova rete di monitoraggio a Gaggio Montano e materializzazione dei punti sul territorio;
- Costruzione ed applicazione di un modello previsionale che permetta di aumentare la precisione del rilievo in post-elaborazione.

Aspetto sperimentale di impianto della rete a Gaggio

Tramite l'analisi delle criticità emerse nel corso della sperimentazione "prototipo" già realizzata a Gaggio, si è cercato di introdurre alcuni miglioramenti: a questo scopo sono stati studiati e realizzati dei nuovi supporti per le antenne GNSS, composti da una struttura modulare, che limitano il problema della vibrazione ma permettono comunque di mantenere le caratteristiche di elevazione, visibilità dell'antenna ed economicità.

La struttura è stata installata preventivamente a Ingegneria per testarne la rigidità e poter confrontare i risultati rispetto alle strutture installate nella sperimentazione precedente. Verificata la bontà della materializzazione si è proceduto con l'installazione sui siti Cimitero e Scuola a Gaggio.

Una volta conclusa la materializzazione dei punti sarà da realizzare l'installazione relativa alla parte hardware: postazione PC locale, installazione

delle antenne e degli armadi per i sensori GPS e GNSS, installazione delle antenne wireless per la trasmissione dati. Seguirà una fase di misura per settare gli strumenti e verificare la trasmissione dati sia al PC locale che alla postazione remota a Bologna. Verificata la piena funzionalità del sistema si potrà procedere con l'acquisizione dei dati.

Avviato il monitoraggio, rimane comunque aperta la possibilità di inserimento nella rete di ulteriori sensori: si pensa di materializzare un terzo punto da monitorare, ubicato in una zona non visibile e tale da non permettere la trasmissione dei dati via wireless, allo scopo di testare l'affidabilità di tecniche alternative di trasmissione (radio, GPRS, UMTS).

Analisi dei dati e costruzione del modello previsionale

Parallelamente al lavoro di sviluppo della rete si è proceduto con lo studio dei dati raccolti durante la sperimentazione prototipo realizzata a Gaggio nel 2007, allo scopo di mettere a punto su dati realistici procedure di analisi. In totale si dispone di 4 mesi di acquisizione dati.

Tramite lo studio di parametri statistici, quale ad esempio l'indice di correlazione tra giorni siderali, è stato possibile definire meglio le caratteristiche di periodicità del segnale già riscontrate.

È stato messo a punto un algoritmo per la creazione di un modello che, una volta applicato ai dati, ne permetta di ridurre la banda di oscillazione attraverso l'eliminazione di effetti periodici comuni a tutta la serie temporale. Utilizzando all'interno dell'algoritmo le tecniche di lisciamiento dati - media mobile, regressione lineare e quadratica, Savitzky Golay - già studiate in precedenza nel corso del lavoro, e variando opportunamente l'intervallo di lisciamiento, il grado del polinomio e il numero di giorni da considerare (basandosi sui valori dell'indice di correlazione) si è giunti alle seguenti conclusioni:

- Il modello previsionale basato su 2-3 giorni antecedenti al giorno da correggere, cioè costruito con i dati lisciati attraverso Savitzky-Golay con polinomio di grado 10 (o comunque tramite una regressione con

polinomio di grado elevato) e intervallo di lisciamiento ridotto (intorno a 400 secondi), segue in maniera interessante le oscillazioni della serie di dati originali, permettendo una buona attenuazione degli effetti periodici nel breve termine;

- Le tecniche di lisciamiento media mobile e regressione lineare permettono di ottenere un modello previsionale che, pur non avendo la precisione del modello precedentemente descritto, può risultare utile per l'elaborazione di serie di lungo periodo.

Rimangono da affrontare alcuni problemi di modellazione della serie di dati in presenza di valori outliers o con andamento fortemente irregolare.

Queste conclusioni sono state confermate applicando i medesimi algoritmi alla serie temporale della durata di tre settimane (dall'11 febbraio al 4 marzo) acquisita durante l'installazione test che si è svolta sull'edificio di Ingegneria in viale Risorgimento, con l'impiego degli stessi apparati che verranno impiegati nella sperimentazione a Gaggio Montano.

I dati acquisiti durante il corso del test presentano caratteristiche parzialmente simili ai precedenti:

- Presenza di effetti periodici con frequenza di un giorno siderale, con ogni probabilità conseguenza di effetti di multipath sulle antenne dovuti al ripetersi della configurazione di satelliti;
- Presenza di outliers, istanti temporali a cui corrispondono campi vuoti, o mancanza completa di record (salti temporali);
- Banda di oscillazione intorno a 10 mm per la componente est e nord, 20 mm per la componente up, mentre per i dati ottenuti dalla precedente sperimentazione (sistema di monitoraggio della ditta Sepa) risultava più elevata; ma questo potrebbe dipendere dalle differenti condizioni ambientali, ad es. una migliore solidità nella materializzazione (rigidità dei supporti) e la minore distanza fra i sensori master e rover.

È utile precisare che gli algoritmi sviluppati per la prima fase di studio dei dati e per lo studio della serie acquisita durante il test svolto a Ingegneria, potranno essere applicati anche ai dati che verranno acquisiti durante il monitoraggio della frana a Gaggio Montano.

La sperimentazione condotta fino ad ora ha offerto importanti spunti per l'allargamento della ricerca in varie direzioni; sarebbe infatti utile valutare:

- la rispondenza fra uno spostamento reale e quanto rilevato dal sistema di monitoraggio, ad esempio utilizzando delle slitte meccaniche che simulino uno spostamento di determinata ampiezza e durata;
- il calcolo degli spostamenti del punto controllato con software alternativi a Spider.

Appendice A

Censimento file: dati disponibili e triplette di dati nulli

GIORNO	DATI S2		DATI S3	
	DISPONIBILI	NULLI	DISPONIBILI	NULLI
1	86164	255	86164	128
2	86164	206	86164	118
3	86164	234	86164	132
4	86164	174	86164	135
5	80396	184	80396	106
6	41569	51	41569	0
7	58895	28	58895	97
8	86164	85	86164	138
9	86164	55	86164	189
10	71233	52	71233	114
11	41739	18	41739	802
12	86164	940	86164	871
13	86164	4370	86164	5394
14	28835	67	28835	17
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0

20	47577	98	47577	0
21	86164	377	86164	148
22	86164	355	86164	210
23	86164	166	86164	154
24	86164	279	86164	974
25	85114	241	85114	149
26	51219	18	51219	2
27	76603	402	76603	163
28	86164	295	86164	193
29	86164	535	86164	404
30	86164	1098	86164	642
31	86164	1040	86164	842
32	86164	239	86164	171
33	86164	3359	86164	3301
34	86164	246	86164	574
35	73476	51815	73476	51806
36	0	0	0	0
37	0	0	0	0
38	0	0	0	0
39	0	0	0	0
40	39313	39	39313	1908
41	86164	401	86164	386
42	86164	238	86164	136
43	86164	278	86164	244
44	86164	285	86164	118
45	86164	171	86164	126
46	82580	125	82580	105
47	86164	284	86164	173
48	86164	213	86164	52
49	52547	108	52547	0
50	86164	342	86164	2110
51	86164	124	86164	33
52	86164	216	86164	41
53	86164	74	86164	68
54	86164	88	86164	47
55	86164	82	86164	2064
56	86164	73	86164	22

57	86164	269	86164	194
58	86164	54	86164	2046
59	86164	53	86164	21
60	86164	101	86164	62
61	86164	1869	86164	9257
62	86164	1832	86164	9322
63	86164	1847	86164	2116
64	86164	1854	86164	2132
65	86164	1875	86164	2046
66	86164	1884	86164	2155
67	86164	2031	86164	2039
68	86164	1953	86164	1996
69	86164	1870	86164	2052
70	86164	1927	86164	1978
71	86164	1927	86164	2073
72	86164	2011	86164	1968
73	86164	1992	86164	2175
74	86164	154	86164	201
75	86164	239	86164	348
76	86164	225	86164	169
77	86164	152	86164	160
78	86164	236	86164	76
79	86164	218	86164	72
80	86164	364	86164	44
81	86164	232	86164	123
82	86164	190	86164	57
83	86164	1681	86164	1567
84	86164	1636	86164	1421
85	86164	287	86164	40
86	86164	150	86164	68
87	86164	187	86164	118
88	86164	246	86164	279
89	86164	213	86164	116
90	86164	53	86164	271
91	86164	24	86164	157
92	86164	187	86164	113
93	86164	68	86164	206

94	86164	181	86164	98
95	86164	722	86164	563
96	86164	48	86164	60
97	86164	3062	83360	2885
98	26369	53	16699	1
99	86102	228	86164	207
100	86164	90	86164	57
101	24984	37	24984	3
102	86164	94	86164	40
103	86164	93	86164	108
104	86164	400	86164	146
105	86164	1696	86164	1772
106	86164	307	86164	94
107	86164	246	86164	95
108	86164	143	86164	66
109	86164	310	86164	81
110	86164	201	86164	113
111	86164	215	86164	87
112	86164	295	86164	124
113	37955	112	37955	101
114	28566	211	28566	267
115	86164	175	86164	95
116	27377	142	27377	16
117	82233	33	82233	78
118	86164	244	86164	69
119	86164	318	86164	171
120	86164	263	86164	86
121	86164	226	86164	104
122	86164	57391	86164	57392
123	86164	869	86164	663
124	29266	218	29266	3

Tabella 13 Dati disponibili e triplette di dati nulli per ciascun giorno siderale dei sensori s2 ed s3

Correzione del giorno 95

Sensore 2

CORREZIONE DEL GIORNO 95 SENSORE 2			
COMPONENTE NORD			
Massimo componente NORD		59.17 mm	
Minimo componente NORD		-50.60 mm	
Modello a 3 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
Loess	0.59	59.63	-56.26
Loess	0.60	58.52	-56.76
Moving	0.64	57.26	-55.68
non_lisciato	0.63	59.51	-98.33
Sgolay	0.58	59.67	-54.59
Modello a 10 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
Loess	0.62	56.35	-55.37
Loess	0.62	55.95	-55.65
Moving	0.64	54.84	-55.03
non_lisciato	0.65	58.27	-60.08
Sgolay	0.63	56.00	-54.16
Modello a 20 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
Loess	0.68	53.64	-53.25
Loess	0.66	53.83	-53.08
Moving	0.67	53.75	-53.09
non_lisciato	0.69	53.31	-54.11
Sgolay	0.68	53.43	-53.72
Modello a 45 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)

Loess	0.78	51.46	-50.25
Loess	0.76	51.75	-50.11
Moving	0.75	52.85	-49.67
non_lisciato	0.78	53.32	-50.25
Sgolay	0.78	52.67	-49.87
COMPONENTE EST			
Massimo componente EST			37.19 mm
Minimo componente EST			-52.65 mm
Modello a 3 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
loess	0.69	33.56	-51.88
lowess	0.71	35.36	-51.83
moving	0.75	36.15	-51.01
non_lisciato	0.73	59.57	-51.28
sgolay	0.68	32.80	-48.72
Modello a 10 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
loess	0.73	34.73	-49.83
lowess	0.73	36.29	-50.88
moving	0.76	37.24	-51.28
non_lisciato	0.76	33.58	-48.82
sgolay	0.74	33.64	-48.15
Modello a 20 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
loess	0.80	36.40	-49.84
lowess	0.79	37.06	-50.84
moving	0.79	37.59	-51.77
non_lisciato	0.82	36.59	-49.29
sgolay	0.81	36.42	-49.28
Modello a 45 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
loess	0.93	39.04	-50.96

lowess	0.91	38.98	-51.51
moving	0.90	38.83	-51.94
non_lisciato	0.93	38.95	-50.50
sgolay	0.93	39.02	-50.69
COMPONENTE UP			
Massimo componente UP			69.47 mm
Minimo componente UP			-64.77 mm
Modello a 3 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
loess	0.58	69.58	-64.88
lowess	0.60	67.79	-67.94
moving	0.63	65.43	-71.70
non_lisciato	0.62	80.68	-124.44
sgolay	0.57	67.48	-69.46
Modello a 10 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
loess	0.61	67.15	-64.05
Loess	0.61	66.73	-67.34
Moving	0.64	65.97	-71.24
non_lisciato	0.63	69.69	-68.51
Sgolay	0.61	67.92	-67.75
Modello a 20 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
Loess	0.66	63.47	-70.87
Loess	0.65	64.22	-73.52
Moving	0.66	64.42	-75.52
non_lisciato	0.67	65.79	-72.12
Sgolay	0.66	64.42	-71.55
Modello a 45 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
Loess	0.76	61.90	-80.11
Loess	0.75	61.68	-80.51

Moving	0.74	61.00	-80.33
non_lisciato	0.76	62.56	-80.00
Sgolay	0.76	62.18	-79.49

Tabella 14 Correzione del giorno 95 sensore 2

Sensore 3

CORREZIONE DEL GIORNO 95 SENSORE 3			
COMPONENTE NORD			
Massimo componente NORD			50.86 mm
Minimo componente NORD			-60.06 mm
Modello a 3 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
Loess	0.58	71.62	-52.99
Loess	0.65	68.11	-54.66
moving	0.77	64.74	-55.33
non_lisciato	0.58	73.14	-52.36
Sgolay	0.55	74.20	-50.72
Modello a 10 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
Loess	0.69	66.69	-55.93
Loess	0.70	63.56	-57.90
moving	0.77	60.41	-58.30
non_lisciato	0.72	67.70	-57.28
Sgolay	0.71	67.18	-57.41
Modello a 20 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
Loess	0.80	66.48	-55.80
Loess	0.77	63.57	-56.88
moving	0.78	60.56	-57.31
non_lisciato	0.82	67.20	-57.35
Sgolay	0.82	66.37	-57.00

Modello a 45 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
loess	0.85	59.68	-57.93
lowess	0.84	58.94	-57.45
moving	0.83	58.02	-56.68
non_lisciato	0.86	60.04	-57.18
sgolay	0.86	58.91	-57.59
COMPONENTE EST			
Massimo componente EST			40.71 mm
Minimo componente EST			-30.54 mm
Modello a 3 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
loess	0.64	40.45	-25.85
lowess	0.73	41.24	-26.86
moving	0.86	41.72	-28.39
non_lisciato	0.67	39.91	-56.65
sgolay	0.61	41.05	-25.31
Modello a 10 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
loess	0.77	35.98	-32.99
lowess	0.79	38.58	-30.74
moving	0.86	40.54	-29.00
non_lisciato	0.81	33.52	-36.35
sgolay	0.79	34.55	-34.81
Modello a 20 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
loess	0.89	36.08	-34.27
lowess	0.86	38.80	-30.98
moving	0.87	41.18	-28.59
non_lisciato	0.92	35.30	-36.44
sgolay	0.92	35.92	-35.97
Modello a 45 GIORNI			

Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
loess	0.95	41.79	-29.19
lowess	0.94	42.00	-29.25
moving	0.93	42.05	-29.42
non_lisciato	0.96	41.38	-29.97
sgolay	0.96	41.79	-29.41
COMPONENTE UP			
Massimo componente UP			126.96 mm
Minimo componente UP			-100.53 mm
Modello a 3 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
Loess	0.58	118.68	-86.11
Loess	0.64	111.99	-89.52
Moving	0.73	119.10	-91.26
non_lisciato	0.60	132.30	-94.02
Sgolay	0.56	120.39	-91.60
Modello a 10 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
Loess	0.67	115.55	-82.71
Loess	0.69	117.87	-89.33
Moving	0.74	122.01	-94.42
non_lisciato	0.70	118.70	-83.37
Sgolay	0.68	117.52	-81.56
Modello a 20 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz (mm)	Min dopo correz (mm)
Loess	0.75	110.38	-86.67
Loess	0.74	117.17	-90.66
Moving	0.76	123.55	-96.17
non_lisciato	0.78	117.28	-94.63
Sgolay	0.77	116.56	-91.66
Modello a 45 GIORNI			
Metodo	Residuo	Max dopo correz	Min dopo correz

		(mm)	(mm)
loess	0.83	110.79	-92.82
lowess	0.82	113.27	-94.05
moving	0.83	119.37	-94.67
non_lisciato	0.84	110.78	-93.66
sgolay	0.83	110.25	-93.66

Tabella 15 Correzione del giorno 95 sensore 3

Appendice B

dati_ciclo

```

%legge i dati dal file specificato e li inserisce nella matrice A
clear all;
dat=input('Inserire tra apici il nome del file di dati ');
datsalva=input('Inserire tra apici il nome del file dove salvare
              i dati elaborati ');
start=input('Valore iniziale di span = ');
step=input('Valore di step = ');
nn=input('Numero di iterazioni = ');
finish=step*nn+start;

A=load dat;
a=size(A);a=a(1);

%Crea i vettori del tempo e degli spost nord est up
At=A(:,1);An=A(:,2);Ae=A(:,3);Au=A(:,4);clear A;

%apre il file dove verranno salvati i dati
foutl=fopen(datsalva,'w');
fprintf(foutl,'span = %4d : %4d : %4d \n',start,step,finish);
fprintf(foutl,'Span      rAnMM   rAnSG   rAnLWS  rAnRWS  rAnLS
              rAnRS   \n');

tic
% Ciclo che calcola i residui per ogni intervallo, variando secondo
% le indicazioni fornite
for span=[start:step:finish]

    %1 Media mobile
    AnMM=smooth(An,span,'moving');

    % 2 Savitzky-Golay
    AnSG=smooth(An,span,'sgolay',10);

    % intervallo considerato per loess, rloess, lowess, rlowess
    % (è espresso come una frazione del totale dei dati)
    spanLS=span/a;

    % 5 Approssimazione "locally weighted scatter plot smooth -
    % polinomio grado 1"
    AnLWS=smooth(An,spanLS,'lowess');

    % 6 Approssimazione "robust locally weighted scatter plot
    % smooth - polinomio grado 1"
    AnRWS=smooth(An,spanLS,'rloess');

    % 3 Approssimazione "locally weighted scatter plot smooth -
    % polinomio grado 2"
    AnLS=smooth(An,spanLS,'loess');

    % 4 Approssimazione "robust locally weighted scatter
    % plot smooth - polinomio grado 2"
    AnRS=smooth(An,spanLS,'rloess');

    % Calcolo dei "residui": attraverso questo sottociclo viene
    % calcolato il residuo per ogni metodo relativo allo span
    sMM=0;sSG=0;sLS=0;sRS=0;sLWS=0;sRWS=0;
    for i=1:a
        sMM=sMM+(An(i)-AnMM(i))^2;
        sSG=sSG+(An(i)-AnSG(i))^2;
        sLS=sLS+(An(i)-AnLS(i))^2;
        sRS=sRS+(An(i)-AnRS(i))^2;
        sLWS=sLWS+(An(i)-AnLWS(i))^2;

```

```

        sRWS=sRWS+(An(i)-AnRWS(i))^2;
    end;
    rAnMM=sqrt(sMM/a);
    rAnSG=sqrt(sSG/a);
    rAnLS=sqrt(sLS/a);
    rAnRS=sqrt(sRS/a);
    rAnLWS=sqrt(sLWS/a);
    rAnRWS=sqrt(sRWS/a);
    fprintf(fout1,'% -6f%-8.4f%-8.4f%-8.4f%-8.4f%-8.4f\n'
        ,span,rAnMM,rAnSG,rAnLWS,rAnRWS,rAnLS,rAnRS);
    clear rAnMM;clear rAnSG;clear rAnLWS;clear rAnRWS;
    clear rAnLS;clear rAnRLS;
end
fprintf(fout1,'\tCPUtime = %1.1e secondi',toc);

```

controllo_nan.m

```

[A,a]=controllo_nan(nf);
%
% legge in ingresso i dati dal file "nf" e li inserisce nella matrice A
% in uscita fornisce:
% A = matrice degli spostamenti "pulita" (cioè triplette di  $\theta = \text{NaN}$ )
% a = numero di dati disponibili nel file "nf"
%
A=load nf;
a=size(A);
for i=1:a(1)
    c=0;
    if (A(i,2)==0) & (A(i,3)==0) & (A(i,4)==0)
        A(i,2)=NaN;
        A(i,3)=NaN;
        A(i,4)=NaN;
    end;
end;

```

somma_nan.m

```

function [null]=somma_nan(nf)

# La function "somma_nan.m" preso in ingresso il nome del file "nf" restituisce un
# vettore che contiene 0 e 1 a seconda che i dati siano nulli (1) o ci siano (0).

A=load nf;
for i=1:size(A)(1)
    if (A(i,2)==0) & (A(i,3)==0) & (A(i,4)==0)
        A(i,2)=1;
    else
        A(i,2)=0;
    end;
end;
A=A(:,2);

```

completa.m

```
function [A,b]=completa(X)

% [A,b]=completa(X)
% X = matrice a cui devono essere aggiunti i record mancanti
% A = matrice completa
% b = vettore che contiene gli elementi della prima colonna
%     delle righe aggiunte in A

X(:,2)=X(:,2)-4928671.732;
X(:,3)=X(:,3)-685177.399;
X(:,4)=X(:,4)-140.158;
i=1;t=1;ii=0;
A(1,:)=X(1,:);
do
    if (X(t+1,1)==X(t,1)+1)
        A(i+1,:)=X(t+1,:);
    else
        do
            A(i+1,1)=A(i,1)+1;
            ii=ii+1;b(ii)=A(i+1,1);
            A(i+1,2)=0;
            A(i+1,3)=0;
            A(i+1,4)=0;
            A(i+1,5)=0;
            A(i+1,6)=0;
            i++;
        until (A(i,1)==X(t+1,1))
    endif
    t=t+1;
    i=size(A)(1);
until (t==size(X)(1))
```

siderali.m

```

% siderali.m è uno script che permette di separare una serie di
% giorni successivi in giorni siderali. Lo schema è:
% 1. carica il numero di matrici specificate in input, il nome dei file
% deve essere del tipo 'clear_11-12'
% 2. costruisci una unica matrice A
% 3. separa
% 4. restituisce in output una serie di file

% FILE IN INGRESSO: 'clear_nn-nn'
% FILE IN USCITA: 't_00X_s2.txt'
% BISOGNA DIRGLI QUANTI FILE DEVE USARE: nf=X

clear all
i=11;b=1;c=0;z=0;file='clear_11-12';nf=20;B(1:6)=0;nf=nf+i;
do
    file(7:8)=num2str(i);file(10:11)=num2str(i+1)
    load (eval('file'));
    B(b:(rows(A)+b-1),1:columns(A))=A;
    b=rows(B)+1;z=z+1;
    settimana_siderale(z).a=B( (z-1)*86164+1:z*86164,1:6);
    if (i<10)
        g='t_001_s2.txt';g(5)=num2str(i);
    else if (i<100)
        g='t_001_s2.txt';g(4:5)=num2str(i);
    else if (i<1000)
        g='t_001_s2.txt';g(3:5)=num2str(i);
    end
end
end
fout=fopen(eval('g'),'w');
fprintf(fout,'%9d %-6.3f %-6.3f %6.3f\n',settimana_siderale(z).a(:,1:4))
fclose(fout);
i++
until (i==nf+1)
exit

```

Script GNUPLOT

lisciam_21.plt

```
#
                                GRAFICO A 21 SECONDI

set output
set terminal postscript landscape enhanced color 8
set output "/media/ACERDATA/TESI/tesi_latex/img/t_001_s2_21.eps"

set size 0.80,0.80
set lmargin 2.5
set rmargin 5
set bmargin 0
set tmargin 7.5
set title "Liscciamento dati - intervallo 21 s" font "Helvetica, 12" offset 0,+1.5

set multiplot

set size 0.75,0.40
set origin 0.05,0.45
unset label
set label "span = 21" at graph 0.00,1.15
set xrange[215266000:215266600]
set yrange[*:*]
set ytics font "Helvetica, 8"
set xtics font "Helvetica, 8"
set autoscale xfix
set pointsize 0.2
set format y "%4.2f"
set format x "%9.0f"
set ylabel "DN Component - mm" font "Helvetica, 14"
set noxlabel
set key over right vertical Left
set label "wt = 10 min." at graph 0.0,1.05
p 't_001_s2_21.txt' using 1:2 title 'dati reali' w p pt -1,\
't_001_s2_21.txt' using 1:3 title 'media mobile' w l lw 0.4 lt -1 lc 2,\
't_001_s2_21.txt' using 1:4 w l lw 0.4 lt -1 lc 7 title 'Savitzky-Golay grado 10',\
't_001_s2_21.txt' using 1:7 title 'Lowess' w l lw 0.4 lt -1 lc 5,\
't_001_s2_21.txt' using 1:8 title 'Rlowess' w l lt -1 lw 0.4 lc 3,\
't_001_s2_21.txt' using 1:5 title 'Loess' w l lt -1 lc 6 lw 0.4,\
't_001_s2_21.txt' using 1:6 title 'Rloess' w l lt -1 lc 4 lw 0.4

set size 0.75,0.40
set origin 0.05,0.10
set notitle
unset label
set xrange[215266000:215269600]
set yrange[*:*]
set ytics font "Helvetica, 8"
set xtics font "Helvetica, 8"
set autoscale xfix
set format y "%4.2f"
set format x "%9.0f"
set ylabel "DN Component - mm" font "Helvetica, 14"
set noxlabel
set nokey
set label "wt = 1 hr." at graph 0.0,1.05
p 't_001_s2_21.txt' using 1:2 title 'dati reali' w p pt -1,\
't_001_s2_21.txt' using 1:3 title 'media mobile' w l lw 0.4 lt -1 lc 2,\
't_001_s2_21.txt' using 1:4 w l lw 0.4 lt -1 lc 7 title 'Savitzky-Golay grado 10',\
't_001_s2_21.txt' using 1:7 title 'Lowess' w l lw 0.4 lt -1 lc 5,\
't_001_s2_21.txt' using 1:8 title 'Rlowess' w l lt -1 lw 0.4 lc 3,\
't_001_s2_21.txt' using 1:5 title 'Loess' w l lt -1 lc 6 lw 0.4,\
't_001_s2_21.txt' using 1:6 title 'Rloess' w l lt -1 lc 4 lw 0.4
```



```

        echo `echo $i | cut -c 3-5` `wc $i | cut -c 3-7` `grep 'NaN'
        risultati/'$f'_clear.txt` > risultati_s2/lista_s2.txt
done

# Rimuove la function Octave "controllo.m"
rm controllo.m

#
#
#
#
# apre cartella dove sono contenuti i file di dati:
cd /media/ACERDATA/TESI/CODICI_DATI_VECCHI/
    4_fase_s3_day_sid_sorted_semplificato

# copia la function di octave "controllo.m" nella cartella dove
# sono contenuti i dati:
cp /home/casalu84/work/function+script/controllo.m /media/ACERDATA/
    TESI/CODICI_DATI_VECCHI/4_fase_s3_day_sid_sorted_semplificato/

# crea la cartella dove mettere i risultati della procedura:
mkdir risultati_s3

# ciclo che per ogni file che comincia con "t_":
# - scrive uno script Octave "temp" che richiama la function
# "controllo.m" che apre il file della giornata e sostituisce alle
# triplette di 0 la stringa NaN (not a number).
# - compila in Octave lo script "temp" e scrive i risultati nel file
# corrispondente
# - cancella "temp" una volta terminata la compilazione
# - scrive sul file lista_s*.txt il numero di dati disponibili e il
# numero di dati nulli, ricavati tramite comando "cut" dal comando
# shell "grep" che ricerca una stringa all'interno di un file di testo
# e il comando "wc" che fornisce numero di righe, di stringhe e di
# lettere all'interno del file
# - i risultati sono poi messi in cartella "risultati"

for i in `ls | grep t_`
do
    echo "clear all">temp
    echo "[A,a]=controllo(\"\\\"$i\\");" >> temp
    echo "for i=1:a">>temp
    echo "fprintf('%-12d %-8.2f %-8.2f %-8.2f',A(i,1),A(i,2),A(i,3),
        A(i,4));fprintf(\"\\\"\\\"\\n\\");" >>temp
    echo "end;">>temp
    f=`echo $i|cut -c 1-8`
    octave temp | sed '1,18d' > risultati/'$f'_clear.txt
    rm temp
    echo `echo $i | cut -c 3-5` `wc $i | cut -c 3-7` `grep 'NaN'
    risultati/'$f'_clear.txt` > risultati_s3/lista_s3.txt
done

# Rimuove la function Octave "controllo.m"
rm controllo.m

```

somma_nan

```
#!/bin/bash

cp somma_nan.m dati_s3/
cd dati_s3

# Scrive il file di Octave

echo "clear all;">temp
count=0
for i in `ls | grep t_`
do
    if test `wc $i | cut -c 3-7` -eq 86164
    then day=`echo $i | cut -c 3-5`
        count=$((count+1))
        echo "[S$day]=somma_nan("\`$i\`");">>temp
        echo "S(:, $count)=S$day;clear S$day;">>temp
    else echo $i non è completo
    fi
done
echo
echo "for r=1:86164">>temp
echo "fprintf("\`%-10d\`", r);">>temp

# La parte seguente permette di stampare le colonne relative ad
# ogni singolo file (può essere omessa se si desidera solamente
# la somma finale dei dati nulli):

echo "somma=sum(S(r,:))/(size(S)(2));">>temp
echo "fprintf("\`%1.4f\`", somma);">>temp
echo "fprintf("\`\\n\`");">>temp
echo "end;">>temp

octave temp | sed '1,18d' > somma_nan_s3.txt
rm temp
rm somma_nan.m
cd ..
```

modello

```
#!/bin/bash

#-----PARAMETRI DA IMPOSTARE-----

# GIORNI DA USARE NEL MODELLO
day="92 93 94"

# GIORNO DA CORREGGERE
daycorr="95"

#intervallo di smoothing e grado del sgolay
INT=401
DEGR=10
#-----PARAMETRI PER IL CALCOLO-----
#----- (DA VARIABILI POSIZIONALI)-----

# SENSORE
s=$1

# COMPONENTE: nord=2 est=3 up=4
if test $2 = nord; then comp=2;
else if test $2 = est; then comp=3;
else if test $2 = up; then comp=4;
fi;fi;fi

#-----

# copia i file da usare per il modello
for dd in $day
do
    cp /media/ACERDATA/TESI/CODICI_DATI_VECCHI/4_fase_s"$s"_day_sid_sort
    ed_semplificato/t_0"$dd"_s"$s".txt $PWD
done

# necessario un controllo di completezza sui file:
for i in `ls | grep t_`
do
    if test `wc $i | cut -c 3-7` -eq 86164
    then echo uso $i nel modello
    else echo $i; /bin/rm $i
    fi
done

#-----COSTRUZIONE-MODELLO-----

for TM in non_lisciato moving sgolay lowess loess
do
    count=0;
    echo "clear all">temp
    echo calcolo modello $TM ...
    # con questo primo ciclo si ottiene la matrice AnC dei dati lisciati,
    # ovvero quello che viene usato per il modello, ogni colonna della
    # matrice corrisponde ad un giorno (presente nella directory corrente),
    # ogni riga è un secondo:
    for file in `ls | grep t_`
    do
        echo "A=load $file;">>temp
        dayz=`echo $file | cut -c 3-5`
        count=$((count+1))
        echo "info($count)=$dayz;">>temp
        # a seconda del metodo usato per l'eventuale lisciamento cambia
        # anche la procedura nell'utilizzo della smooth.m:
    done
done
```

```

        if test $TM = non_lisciato
        then echo "AeC(:, $count)=A(:, $comp);">>temp
        else if test $TM = sgolay
            then echo "AeC(:, $count)=smooth(A(:, $comp), $INT,
                '\'$TM\'', $DEGR);">>temp
            else echo "AeC(:, $count)=smooth(A(:, $comp), $INT,
                '\'$TM\'');">>temp
        fi
    fi
    echo "clear A">>temp
done
# stampo l'informazione relativa al metodo di lisciamento e ai gg usati
# sul file di uscita:
echo "fprintf('\'\# "Modello $TM componente $2 usando i giorni:\'");
fprintf('\'' %3d \''', info);">>temp
echo "fprintf('\'\n\'');">>temp
# ciclo octave che permette il calcolo del modello:
echo "for r=1:size(AeC)(1)">>temp
# il modello è ottenuto semplicemente dalla media dei valori
# (eventualmente lisciati) allo stesso istante:
echo "mod=mean(AeC(r,:));">>temp
echo "fprintf('\'' %-10d %4.2f \''', r, mod);">>temp
echo "end;">>temp
octave temp | sed '1,18d' > mod_s"$s"-"$2"-"$TM"
echo "modello $TM ok"
rm temp
done

#Rimuovo i file per la costruzione del modello
for dd in $day
do
    /bin/rm t_0"$dd"_s"$s".txt
done

#-----CALCOLO DELLA CORREZIONE-----

#Copio il file da correggere
cp /media/ACERDATA/TESI/CODICI_DATI_VECCHI/4_fase_s"$s"_day_sid_sorted_semplicato/t_0"$daycorr"_s"$s".txt $PWD

#Applico la correzione e calcolo i risultati
for i in `ls | grep mod_`
do
    echo "mod=load $i;">>temp
    echo "A=load t_0"$daycorr"_s"$s".txt;">>temp
    echo "Ae=A(:, $comp);">>temp
    echo "AeC=Ae-mod(:, 2);">>temp
    echo "res=sqrt(sum(AeC.^2)/sum(Ae.^2));">>temp
    echo "massimo=max(AeC);">>temp
    echo "minimo=min(AeC);">>temp
    echo "fprintf('\'' $i\'\'t%-8.2f\'\'t%4.2f\'\'t%4.2f\'\'n\'\'', res,
        massimo, minimo);">>temp
    octave temp | sed '1,18d' >>ris_s"$s"_"$2"
    rm temp
done

#rimuovo il file da correggere
rm t_0"$daycorr"_s"$s".txt

#sposto i file dei modelli in una cartella a parte
mkdir s"$s"_"$2"
mv mod_* s"$s"_"$2"

```

correlazione

```

#!/bin/bash
#-----PARAMETRI DA IMPOSTARE-----

# GIORNI DA USARE NEL CALCOLO DELLA CORRELAZIONE
day="90 91 92 93 94 95"
# GIORNO RISPETTO A CUI SI VUOLE CALCOLARE LA CORRELAZIONE
daylast="96"

# SENSORE
s=2

echo "clear all;">temp

echo "t"$daylast"s"$s="load /media/ACERDATA/TESI/CODICI_DATI_VECCHI/
4_fase_s"$s"_day_sid_sorted_semplificato/
t_0"$daylast"_s"$s".txt;">>temp
echo "fprintf("\">#calcolo della correlazione fra il giorno $daylast
e i giorni:""\n# $day "\">\n# per il sensore $s"\">\n\');">>temp
# carico le matrici dei giorni e per ognuno calcolo la correlazione

for dd in $day
do
echo "t"$dd"s"$s="load /media/ACERDATA/TESI/CODICI_DATI_VECCHI/
4_fase_s"$s"_day_sid_sorted_semplificato/
t_0"$dd"_s"$s".txt;">>temp
echo "C=cor(t"$dd"s"$s",t"$daylast"s"$s");">>temp
echo "fprintf("\">#dd"\">\t%4.2f"\">\t%4.2f"\">\t%4.2f"\">\n\',"
C(2,2),C(3,3),C(4,4));">>temp
echo "clear C;clear t"$dd"s"$s;">>temp
done
octave temp | sed '1,18d' > correlazione_s"$s"

```

correlazione_TM

```

#!/bin/bash
#-----PARAMETRI DA IMPOSTARE-----

# GIORNI DA USARE NEL CALCOLO DELLA CORRELAZIONE
day="82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94"
# GIORNO RISPETTO A CUI SI VUOLE CALCOLARE LA CORRELAZIONE
daylast="95"

# SENSORE
s=3

echo "clear all;">temp

echo "t"$daylast"s"$s"=load /media/ACERDATA/TESI/CODICI_DATI_VECCHI/
4_fase_s"$s"_day_sid_sorted_semplificato/t_0"$daylast"_s"$s".txt;">>temp
echo "fprintf("\n#calcolo della correlazione fra il giorno $daylast e i
giorni:\n# $day \n# per il sensore s"\n\n");">>temp
# carico le matrici dei giorni e per ognuno calcolo la correlazione

for dd in $day
do
echo "t"$dd"s"$s"=load /media/ACERDATA/TESI/CODICI_DATI_VECCHI/
4_fase_s"$s"_day_sid_sorted_semplificato/
t_0"$dd"_s"$s".txt;">>temp
echo "C=cor(t"$dd"s"$s",t"$daylast"s"$s");">>temp
echo "fprintf("\n#calcolo della correlazione fra il giorno $daylast e i
giorni:\n# $dd \n# per il sensore s"\n\n");">>temp
C(2,2),C(3,3),C(4,4));">>temp
echo "clear C;clear t"$dd"s"$s";">>temp
done
octave temp | sed '1,18d' > correlazione_s"$s"

echo "clear all;">temp

# ALTRI METODI

for TM in moving sgolay lowess loess
do
echo "clear all;">temp
echo "t"$daylast"s"$s"=load /media/ACERDATA/TESI/CODICI_DATI_VECCHI/
4_fase_s"$s"_day_sid_sorted_semplificato/
t_0"$daylast"_s"$s".txt;">>temp
echo "fprintf("\n#calcolo della correlazione fra il giorno $daylast
e i giorni:\n# $day \n# per il sensore s"\n\n");">>temp
# carico le matrici dei giorni e per ognuno calcolo la correlazione

for dd in $day
do
echo "t"$dd"s"$s"=load /media/ACERDATA/TESI/CODICI_DATI_VECCHI/
4_fase_s"$s"_day_sid_sorted_semplificato/
t_0"$dd"_s"$s".txt;">>temp
echo "t"$dd"s"$s"sm(:,2)=smooth(t"$dd"s"$s"(:,2),
401,"\n#TM\n",10);">>temp
echo "t"$dd"s"$s"sm(:,3)=smooth(t"$dd"s"$s"(:,3),
401,"\n#TM\n",10);">>temp
echo "t"$dd"s"$s"sm(:,4)=smooth(t"$dd"s"$s"(:,4),
401,"\n#TM\n",10);">>temp
echo "C=cor(t"$dd"s"$s"sm,t"$daylast"s"$s");">>temp
echo "fprintf("\n#calcolo della correlazione fra il giorno $daylast e i
giorni:\n# $dd \n# per il sensore s"\n\n");">>temp
C(2,2),C(3,3),C(4,4));">>temp
echo "clear C;clear t"$dd"s"$s";">>temp
done
octave temp | sed '1,18d' > correlazione_s"$s"_$TM

```

llq2oct

```
#!/bin/bash

# Variabili posizionali
# 1 : file da convertire
# 2 : file convertito
rm oct/$2
cat $1 |
while read line;
do
  if test -z `echo "${line}" | cut -d ',' -f 4`;
  then # Stringa che viene visualizzata in altro file
      echo "${line}" >> temp_$1
      # per i record completi vengono visualizzate tempo [s] in
      # tempo GPS UTM
      else # controllo sulle ambiguità, se il param è diverso da 3
          # non tiene i record
          if test `echo ${line} | cut -d ',' -f 8` -ne 3
          then echo "${line}">> temp_$1
          else # estraggo le informazioni di tempo per doy
              time=`echo ${line} | cut -d ',' -f 2`;
              hh=`echo $time | cut -b 1-2`
              mn=`echo $time | cut -b 3-4`
              ss=`echo $time | cut -b 5-6`
              date=`echo ${line} | cut -d ',' -f 3`
              mm=`echo $date | cut -b 1-2`
              gg=`echo $date | cut -b 3-4`
              yy=`echo $date | cut -b 5-6`
              # converto il tempo con doy da yy mm gg in settimana
              # GPS e day of week
              a=`doy $yy $mm $gg $hh $mn | grep Day`
              GPSw=`echo $a | cut -d ' ' -f 3`
              SoW=`echo $a | cut -d ' ' -f 10`
              # Sistema la cosa dei numeri OTTALI (dopo doy che è
              # sensibile) dichiarando la base 10
              let "ss = 10#$ss"
              # dai campi ore, minuti, secondi trovo tempo in secondi
              # GPS dalle 0:00:00 della domenica, a questi aggiungo
              # i secondi GPS trascorsi complessivamente (estratti dalle
              # settimane GPS) e infine sottraggo i secondi trascorsi fino
              # al 1 gennaio del 2009
              GPSss=$((ss+SoW+GPSw*604800-914803200));
              # estraggo le altre informazioni dal record LLQ
              UTMe=`echo ${line} | cut -d ',' -f 4`
              # aggiungo il falso est, BASH non gestisce numeri reali
              # quindi scompongo interi e decimali
              UTMfe=$((`echo $UTMe | cut -b 1-6`+500000))`echo $UTMe |
              cut -b 7-10`
              UTMn=`echo ${line} | cut -d ',' -f 6`
              UTMu=`echo ${line} | cut -d ',' -f 11`
              sats=`echo ${line} | cut -d ',' -f 9`;
              cq=`echo ${line} | cut -d ',' -f 10`;
              # Stringa che viene visualizzata sul file inserito come
              # seconda variabile posizionale
              echo "$GPSss $UTMn $UTMfe $UTMu $sats $cq">>oct/$2
          fi
      fi
done
echo "File $1">"log/log_$2"
echo >> "log/log_$2"
echo "N° dati validi: `wc oct/$2 | cut -d ' ' -f 3`">>"log/log_$2"
echo "N° totale di dati in $1: `wc $1 | cut -d ' ' -f 3`">>"log/log_$2"
echo >> "log/log_$2"
echo "Record eliminati: ">>"log/log_$2"
```

```
cat temp_$1 >>"log/log_$2"
echo "Record aggiunti: ">>"log/log_$2"
# Il file prodotto viene elaborato con Octave: viene completato dalla function "completa.m"
# inserendo al posto dei record nulli o inesistenti la stringa NaN, poi la matrice
# viene salvata sul file clear_nomefile
cd oct
echo "clear all">temp_$2
echo "X=load $2;">>temp_$2
echo "[A,b]=completa(X);">>temp_$2
echo "fout=fopen('\clear_$2\','\w\');fprintf(fout,\'\'%-9d %-4.3f %-4.3f %-4.3f %d
%-4.3f \\n\','A\');fclose(fout);">>temp_$2
echo "fid=fopen('\aggiunti_$2\','\w\');fprintf(fid,\'\'%-9d\\n\','b\');
fclose(fid);">>temp_$2
octave -q temp_$2
rm temp_$2
cd ..
mv oct/"aggiunti_$2" log/
cat log/"aggiunti_$2" >> log/log_$2
rm log/"aggiunti_$2"
echo "numero totale di dati dopo l'aggiunta dei mancanti: `wc oct/clear_$2|cut -d ' ' -f 2`"
>> log/log_$2
exit
```

Bibliografia

- [1]. A.D'Alessio, *Lezioni di calcolo Numerico e Matlab*, Liguori editore 2006

- [2]. G.Naldi, L.Pareschi, *Matlab concetti e progetti*, Apogeo editore 2002

- [3]. T.Parker, *Linux*, Apogeo 1999

- [4]. P.Ancilotti, M.Boari, A.Ciampolini, G.Lipari, *Sistemi Operativi*, McGraw-Hill 2008

- [5]. H.Hahn, *Guida a Unix*, McGraw Hill 2000

- [6]. Alberto Cina, *GPS – Principi, modalità e tecniche di posizionamento*, ed CFFelid, 2000

- [7]. B.Hofmann-Wellenhof, H.Moritz, *Physical geodesy*, Springer Wien New York, 2005

- [8]. John W. Eaton, David Bateman, Søren Hauberg, *GNU OCTAVE –v.3.0.3*, 2007, reperibile online:
<http://www.gnu.org/software/octave/doc/interpreter/>

- [9]. T. Williams, C. Kelley, *Gnuplot: an interactive plotting program*, 2008, reperibile on-line:
<http://www.gnu.org/software/octave/doc/interpreter/>
- [10]. F. Zama (2007), *Dispense del Corso di Analisi Numerica LS*
Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio Anno Accademico 2006-2007
- [11]. Barbarella (2007), *Dispense del Corso di Geomatica LS*
Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio Anno Accademico 2006-2007
- [12]. Gandolfi S. Barbarella M., *Monitoraggio GPS in Real Time di edifici con strumenti basso costo*, atti 11^a Conferenza Nazionale Asita 6-9 novembre 2007
- [13]. Bergonzini A., *Monitoraggio di edifici in frana con strumentazione GNSS a basso costo: il caso di Gaggio Montano*, Tesi di Laurea inedita, Università di Bologna, AA 2005 / 2006
- [14]. Ranuzzini S., *Procedure di elaborazione dati GNSS per il monitoraggio di edifici posti in frana*, Tesi di Laurea inedita, Università di Bologna, AA 2005 / 2006
- [15]. Meffe A., *Realizzazione di una stazione di riferimento temporanea GNSS per l'impiego in reti RTK*, Tesi di Laurea inedita, Università di Bologna, AA 2007 / 2008

Siti web

Cartografia regionale:

<http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/>

Allineamento dei tempi:

<http://www.wikipedia.org/wiki/>

Software Octave:

<http://www.octave.org>

Software GnuPlot:

<http://www.gnuplot.info/>

Software Proj:

<http://trac.osgeo.org/proj/>

Calendario GPS:

<http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Gpscal.html>

Sito della Leica:

http://www.leica-geosystems.com/it/it/lgs_13528.htm

Tutorial Unix e Bash:

http://www.freebsd.org/doc/it_IT.ISO8859-15/books/unix-introduction/index.html

<http://digilander.libero.it/bash/bash-intro/node4.html>

Ringraziamenti

Ringrazio tutto il DISTART di topografia, in particolare il Prof. Barbarella perché mi ha davvero seguito, ascoltato e consigliato in questo percorso e il Prof. Gandolfi per le tante dimostrazioni di grande disponibilità. Un ringraziamento a parte per Luciano che mi ha trasmesso un sacco di esperienza e consigli, oltre a condividere l'“ufficio”, le pause caffè, la “gita” a Gaggio e a Lodi. Grazie Lucio, buona parte del lavoro di questa tesi è anche merito tuo!

Grazie anche all'Ing. Massimo Gandolfi per il lavoro di progettazione dei supporti.

Un grazie a Pino e Chiara per la loro allegria, i dottorandi dei piani alti (i soprapalcati) Alessandro ed Emanuele e i laureandi Francesco e Lorenzo per la compagnia in questi mesi.

Un grazie davvero speciale è per mio zio Alde, e per il personale della Ricamar di Formigine e dell'officina Classe48 che mi hanno permesso di realizzare i pezzi per i supporti delle antenne.

Grazie alla mia numerosa famiglia che mi è stata vicino in questi anni di studio: Pà e la Mamma che mi hanno sempre spronato a studiare ma anche a non esagerare e non prenderla poi troppo sul serio... Ben perché lavora troppo, Ste perché è un pazzo furente, Richi perché c'ha i muscoli, Angi perché è il pros-

simo universitario (gufata). E poi mi hanno sopportato quando avevo gli esami, cioè abbastanza spesso.

Un grazie con abbraccio alla Titti per i giorni di studio e per le gite, per le centinaia di pranzi in giro per pizzerie e mense di Bologna e perché mi tira su il morale sempre e comunque e mi ascolta sempre...6 ottima...

Grazie a Manu, Lubri, Catta, Lele, Diniz, Barrantz, Uzzo, Nek, l'Ellen&laChiari, laGiò, Meri, Giuli, ChiaV, Marghe, Laura&Serri, ...

Grazie a tutti quelle persone con cui vivo mille esperienze diverse che mi permettono di staccare e respirare aria pulita: tutta la Comunità Capi del Formigine1 con cui condivido una grande passione, i ragazzi del Clan e Noviziato del Formigine, lo staff R/S.

Gli Alpinisti del Lambrusco (Mitch, dott.Ronchi, Giampa, Nonno, Vins ...) per il viaggio in Perù di quest'estate e per tutte le volte (sempre troppo poche..) che si va in montagna e alla Pietra insieme.

I frati e gli ospiti della Casa di Carità di Cogenno.

Un saluto al mitico gruppo macchina bolognese: Serra, la Sissa, Dotti, grazie Ansa per l'ospitalità a Vienna (grazie Mari!).

E poi i colleghi modenesi Titti, Fabio, Nando, la Chicca, Michi, laFra&laGiudi, e tutte le persone con cui ho trascorso un pezzo di questi anni di grandi studiate e soddisfazioni!