



1			24/11/14		
Rev	Nome file	Descrizione	Data	Redatto	Appr.

REGIONE VENETO

PROVINCIA DI VENEZIA

COMUNE DI PORTOGRUARO

INTERVENTI URGENTI DI CONSOLIDAMENTO DELLE FONDAZIONI DELLA TORRE CIVICA DI PORTOGRUARO

PROGETTO ESECUTIVO



PIANO DI MONITORAGGIO

N. ELABORATO

R06

DATA NOVEMBRE 2014

SCALA

PROGETTISTI

Progettazione generale, geotecnica e
delle opere di fondazione

Prof. Ing. Francesco Colleselli

colleselli & p.
INGEGNERIA GEOTECNICA

Via Vigonovese, 115 - 35127 Padova
Tel. 049 8705204-953 - Fax 049 7628139
e-mail: info@colleselligeotecnica.it
www.colleselligeotecnica.it

Collaborazione progettazione geotecnica e
delle opere di fondazione

Ing. Giuseppe Colleselli

Via Vigonovese, 115 - 35127 Padova

Documentazione contabile e coord.
sicurezza in fase di progettazione

Ing. Arturo Busetto


Ing. Busetto Arturo
STUDIO TECNICO

Vicolo Forni Vecchi, n° 1/A Pordenone
Tel. 0434.208166 Fax 0434.27005
e-mail: info@busettoarturo.it

Progettazione delle strutture
in elevazione

Ing. Fabio Urban

Via Ippolito Nievo 12 - 33033 Codroipo - UD

CONSULENTI

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRENTO
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
MECCANICA E STRUTTURALE



Gruppo di lavoro:
Dr. Daniele Zonta
Ing. Emiliano Debiassi
Ing. Marco Molinari
Ing. Davide Trapani

SOMMARIO

1	PREMESSE	2
2	SCOPO DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO	2
3	STRUMENTAZIONE GIÀ IN OPERA	3
4	STRUMENTAZIONE DA IMPLEMENTARE IN FASE ESECUTIVA	6
5	PROCEDURA DI ATTIVAZIONE INIZIALE DEI MARTINETTI	6
6	MODALITA' DI ACQUISIZIONE DEI DATI / FREQUENZA DELLE LETTURE	7
7	DEFINIZIONE DELLE SOGLIE E PROCEDURE SPECIFICHE	8
	7.1 Superamento dei valori di attenzione	8
	7.2 Superamento dei valori di allarme	9

ALLEGATI

1 DESCRIZIONE SISTEMA DI MONITORAGGIO

2 DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DA PARTE DEL GRUPPO DI LAVORO UNIVERSITA' DI TRENTO

1 PREMESSE

La particolarità delle opere in progetto richiede un preciso e accurato monitoraggio in corso d'opera.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al T.U. 14/01/2008, al paragrafo 6.2 "Articolazione del progetto" prevedono che il progetto di opere e sistemi geotecnici sia articolato in fasi successive e al punto 6. citano i "piani di controllo e monitoraggio".

Il paragrafo 6.2.5 delle NTC 08 "Monitoraggio del complesso opera-terreno" prescrive che *"Il monitoraggio del complesso opera-terreno e degli interventi consiste nella installazione di un'appropriata strumentazione e nella misura di grandezze fisiche significative - quali spostamenti, tensioni, forze e pressioni interstiziali - prima, durante e/o dopo la costruzione del manufatto"* e attribuisce al monitoraggio la funzione di verifica della corrispondenza tra le ipotesi progettuali e i comportamenti osservati e di controllo della funzionalità dei manufatti nel tempo. Nell'ambito del metodo osservazionale, tramite il monitoraggio è possibile confermare la validità della soluzione progettuale adottata; in caso contrario, la verifica in corso d'opera della stratigrafia, delle condizioni idrogeologiche, dei parametri geotecnici e delle deformazioni, consente di apportare modifiche anche sostanziali al progetto, adottando contromisure o razionalizzazioni in funzione di valori misurati più o meno penalizzanti rispetto a quelli attesi da progetto.

Il paragrafo 6.2.5 indica inoltre che il programma di monitoraggio debba essere definito e illustrato nella relazione geotecnica, che ai sensi del Codice dei Contratti Pubblici (D.Ls. 163 del 13-04-2006) e del regolamento del codice stesso (D.P.R. 207 del 05-10-2010) fa parte degli elaborati del progetto esecutivo.

2 SCOPO DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Lo scopo del sistema di monitoraggio è quello di misurare in tempo reale il comportamento della torre durante le fasi esecutive degli interventi di consolidamento previsti e successivamente al completamento degli stessi per un periodo di 2 anni almeno. A tal fine il sistema di monitoraggio previsto permetterà di:

- misurare in tempo reale gli spostamenti della torre a diverse altezze e della struttura di contrasto in acciaio;
- compensare le misure di spostamento rispetto alla temperatura superficiale delle strutture;

- misurare in tempo reale la forza applicata dai martinetti.

3 STRUMENTAZIONE GIÀ IN OPERA

Nell'ambito della convenzione di ricerca n.7290 il Comune di Portogruaro ha affidato all'Università di Trento le seguenti attività:

- installazione, a partire dall'ottobre 2013, di un sistema di monitoraggio che consenta la lettura in continuo e in tempo reale dell'inclinazione della Torre, tale da poter efficacemente sostituire il sistema di misura a pendolo in essere che deve essere rimosso nel corso dei lavori;
- messa a punto di un sito web capace di rendere disponibile in tempo reale le misure acquisite;
- gestione del sistema sino al 2014.

I risultati di tale monitoraggio sono riportati nel report 18 dell'Università di Trento "Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro 17.10.13-17.10.14" consultabile presso l'ente appaltante.

Nell'ambito di tale intervento è già stata posta in opera una stazione totale Leica TCA 2003, n.12 prismi riflettenti posizionati sulla torre (vedi Figura 1), n.7 prismi riflettenti su capisaldi fissi (vedi Figura 2) e n. 6 termocoppie sulle murature della torre (vedi Figura 3).

Le caratteristiche della strumentazione già posta in opera, così come definite dal gruppo di lavoro dell'Università di Trento, sono riportate in allegato.

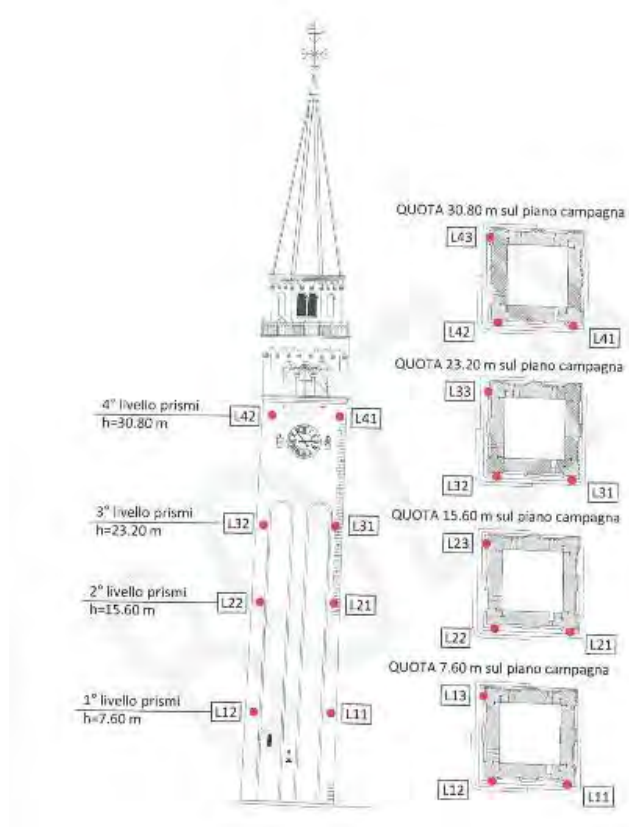


Figura 1: Posizione dei prismi sulla torre. Estratto da Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro 17.10.13-01.07.14 Università di Trento.

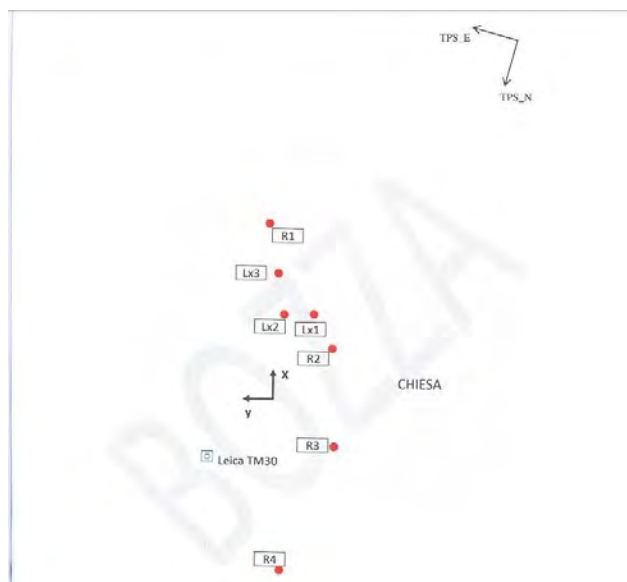


Figura 2: Posizione dei prismi utilizzati come capisaldi Estratto da Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro 17.10.13-01.07.14 Università di Trento.

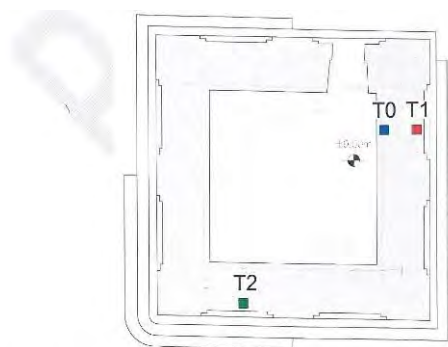


Figura 8 - Posizione delle termocoppie all'interno della torre (quota 3.00)

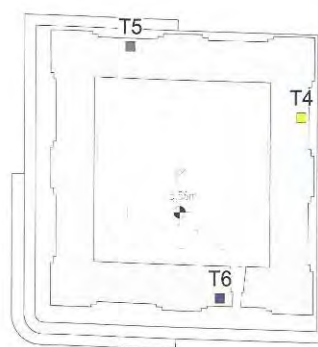


Figura 9 - Posizione delle termocoppie all'interno della torre (quota 9.50)

Figura 3: Posizione termocoppie. Estratto da Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro 17.10.13-01.07.14 Università di Trento.

4 STRUMENTAZIONE DA IMPLEMENTARE IN FASE ESECUTIVA

Il sistema di monitoraggio già realizzato dovrà essere integrato al fine di raccogliere le misure relativamente a:

- spostamento tridimensionale nel tempo di punti appartenenti alla struttura di contrasto e rete di sensori disposti sulla struttura di contrasto in acciaio (sensori di temperatura);
- forza applicata dai martinetti e pressione applicata alla muratura;
- estensione dei martinetti;
- pressione interstiziale nel terreno interessato dall'intervento di consolidamento;
- misure dell'intensità del vento.

I dettagli e le caratteristiche della strumentazione da installare sono anch'essi riportati nell'allegato 1.

Si dovrà provvedere ad un periodo di taratura del sistema di monitoraggio delle strutture provvisorie in carpenteria metallica al fine di valutare le deformazioni termiche prima di procedere al collegamento con le strutture della torre.

5 PROCEDURA DI ATTIVAZIONE INIZIALE DEI MARTINETTI

Una volta completate le strutture per il sostegno in fase provvisoria delle opere (micropali, soletta in c.a. e struttura in carpenteria metallica) prima di procedere con gli scavi per il cordolo di sottofondazione della torre e la successiva posa dei pali tipo Soles, dovrà procedere con una fase di verifica dell'effettivo comportamento del sistema-martinetti-struttura di contrasto.

Ogni singolo martinetto dovrà essere indipendente in modo da poter essere attivato singolarmente. I martinetti dovranno essere gestiti con comandi manuali e non automatici.

La verifica del comportamento del sistema avverrà posizionando i martinetti a contrasto con la struttura della torre con carico minimo e monitorando il comportamento della torre, della struttura in carpenteria metallica e delle variazioni di forze trasmesse attraverso le celle di carico per almeno 5 gg.

La DL potrà a suo insindacabile giudizio chiedere che il periodo di 5 giorni venga prolungato.

I risultati del monitoraggio nel corso del periodo di verifica dovranno essere condivisi e confrontati con il gruppo di lavoro dell'Università di Trento guidato dal dott. Zonta che già

da anni si occupa del monitoraggio della Torre e che si occuperà anche del monitoraggio in corso lavori.

A seguito dei risultati delle verifiche preliminari si potrà decidere di operare con una delle seguenti modalità:

- lasciando i martinetti a contrasto della struttura della torre con carico minimo bloccando le valvole (i.e. la struttura provvisoria contrasta i movimenti della torre in rapporto alla propria rigidità)
- lasciando i martinetti a contrasto della struttura della torre senza chiudere le valvole (i.e. la struttura provvisoria contrasta i movimenti della torre solo in caso di azioni di tipo dinamico quali vento, sisma etc.) ;
- lasciando i martinetti staccati dalla torre (i.e. affinché la struttura provvisoria contrasti i movimenti della torre è necessario l'intervento di un operatore che agisca direttamente sui martinetti).

6 MODALITA' DI ACQUISIZIONE DEI DATI / FREQUENZA DELLE LETTURE

I dati del monitoraggio verranno acquisiti attraverso il sistema Web implementato dall'Università di Trento.

La frequenza minima per ciascuno dei punti di misura è di 4 ore.

7 DEFINIZIONE DELLE SOGLIE E PROCEDURE SPECIFICHE

Il comportamento della Torre è fortemente influenzato dalla temperatura e quindi dalle stagioni. Gli studi condotti dall'università di Trento dimostrano inoltre come vi sia un comportamento molto differente anche nell'ambito della stessa stagione in funzione dell'esposizione solare e della presenza di nuvole.

Le soglie di attenzione e di allarme, ovvero quelle misure rilevate che indicano un comportamento anomalo della Torre a causa dei lavori in corso sono definite in dettaglio in uno specifico elaborato redatto dall'Università di Trento in funzione dei periodi dell'anno e dell'esposizione solare. Tale documento (allegato 2) è parte del presente piano di monitoraggio e controllo.

In linea generale le misure condotte dovranno essere confrontate con:

- la misura zero di riferimento (ovvero la misura a inizio lavori);
- la misura riferita all'alba apparente precedente (dove con alba apparente si intende l'istante in cui gli strumenti cominciano a registrare l'effetto dell'irraggiamento solare sulla torre);
- la misura precedente, ovvero condotta 4 ore prima.

Le soglie definite potranno essere modificate in corso d'opera ed in particolare nella fase di infissione dei pali tipo Soles.

Vengono in seguito descritte per ciascuna delle situazioni le procedure specifiche.

7.1 SUPERAMENTO DEI VALORI DI ATTENZIONE

Nel caso di superamento di almeno una delle soglie di attenzione indicate verrà attivata la seguente procedura:

1. comunicazione immediata a DL e CSE;
2. verifica di tutti i dati di monitoraggio nel tempo compresi i dati per verificare l'andamento e la direzione degli spostamenti e delle azioni dei martinetti sulla struttura;
3. confronto con il responsabile del monitoraggio ovvero il gruppo di lavoro dell'Università di Trento
4. ispezione visiva presso tutti i punti di monitoraggio e delle strutture.

La procedura si articola quindi come riportato nei paragrafi seguenti.

Caso I: non sono stati rilevati danni alle strutture o alle attrezzature e l'andamento e la direzione degli spostamenti non generano preoccupazioni

- Analisi del quadro deformativo generale che emerge dall'elaborazione degli altri punti di monitoraggio e verifica delle necessità di ulteriori monitoraggi
- Valutazione congiunta (DL-CSE) sull'opportunità di proseguire o interrompere i lavori
- Ripresa delle lavorazioni con incremento della frequenza di cicli di misura.
- Ispezione visiva ogni 48h per verificare la presenza di segni di danneggiamento. In caso di danneggiamento si procederà secondo quanto indicato nel paragrafo successivo.

Caso II: sono stati rilevati danni alle strutture o alle attrezzature e la direzione e l'andamento temporale degli spostamenti generano preoccupazioni

- Analisi del quadro deformativo generale che emerge dall'elaborazione degli altri punti di monitoraggio e verifica delle necessità di ulteriori monitoraggi
- Valutazione congiunta (DL-CSE) sull'opportunità di proseguire o interrompere i lavori e sulla necessità di intervenire modificando le forze trasmesse dai martinetti
- Nel caso di ripresa dei lavori i soggetti coinvolti confermeranno il proprio consenso compilando, ognuno, la Scheda di Controllo. L'azione successiva sarà intrapresa solo quando la Direzione Lavori avrà confermato l'avvenuta accettazione della verifica della procedura.
- Nel caso si decida di intervenire modificando le forze trasmesse dai martinetti si dovranno sospendere i lavori sino al raggiungimento di condizioni stabili e procedere come indicato al paragrafo 5, per poi procedere con la ripresa dei lavori come indicato al paragrafo precedente.

7.2 SUPERAMENTO DEI VALORI DI ALLARME

Nel caso di superamento di almeno una delle soglie di allarme indicate per ciascuna delle strutture/impianti critici verrà attivata la seguente procedura:

1. sospensione delle lavorazioni in atto;
2. comunicazione immediata a (DL-progettisti-esecutori-CSE);

3. verifica di tutti i dati di monitoraggio per verificare l'andamento e la direzione degli spostamenti;
4. confronto con il responsabile del monitoraggio ovvero il gruppo di lavoro dell'Università di Trento
5. ispezione visiva presso tutti i punti di monitoraggio della rete topografica e presso altre strutture ed attrezzature per verificare la presenza di segni di danneggiamento.

La procedura si articola quindi come riportato nei paragrafi seguenti.

Caso I: non sono stati rilevati danni alle strutture o alle attrezzature e l'andamento e la direzione degli spostamenti non generano preoccupazioni

- Analisi del quadro deformativo generale che emerge dall'elaborazione degli altri punti di monitoraggio e verifica delle necessità di ulteriori monitoraggi
- Valutazione congiunta (DL-progettisti-esecutori-CSE) sull'opportunità di proseguire o interrompere i lavori
- Nel caso di ripresa dei lavori i soggetti coinvolti confermeranno il proprio consenso compilando, ognuno, la Scheda di Controllo. L'azione successiva sarà intrapresa solo quando la Direzione Lavori avrà confermato l'avvenuta accettazione della verifica della procedura.
- Ripresa delle lavorazioni con incremento della frequenza di cicli di misura.
- Ispezione visiva ogni 48h per verificare la presenza di segni di danneggiamento. In caso di danneggiamento si procederà secondo quanto indicato nel paragrafo successivo.

Caso II: sono stati rilevati danni alle strutture o alle attrezzature e la direzione e l'andamento temporale degli spostamenti generano preoccupazioni

- Analisi del quadro deformativo generale che emerge dall'elaborazione degli altri punti di monitoraggio e verifica delle necessità di ulteriori monitoraggi
- Valutazione congiunta (DL-progettisti-esecutori-CSE) sull'opportunità di proseguire o interrompere i lavori e sulla necessità di intervenire modificando le forze trasmesse dai martinetti
- Nel caso di ripresa dei lavori i soggetti coinvolti confermeranno il proprio consenso compilando, ognuno, la Scheda di Controllo. L'azione successiva sarà intrapresa solo quando la Direzione Lavori avrà confermato l'avvenuta accettazione della verifica della procedura.

- Nel caso si decida di intervenire modificando le modalità operative dei martinetti si dovranno sospendere i lavori ed eseguire un periodo di monitoraggio prima di riprendere le lavorazioni come indicato al paragrafo 5.

prof. ing. Francesco Colleselli

A circular professional stamp of the Order of Engineers of the Province of Padua. The text inside the stamp reads: "ING. FRANCESCO COLLESELLI N. 3212". The outer ring of the stamp contains the text "ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PADOVA". A handwritten signature in blue ink is written over the stamp.

Convenzione di Ricerca
Comune di Portogruaro – Università di Trento

STUDIO DELLA SICUREZZA DELLA
TORRE CIVICA DI PORTOGRUARO (VE)

**MONITORAGGIO DELLA TORRE CIVICA DI
PORTOGRUARO**
01.08.13 – 31.10.14



19

ver. 1 - diff. limitata
File: Portogruaro19-(1).docx

Gruppo di Ricerca:
Dr. Daniele Zonta
Ing. Stefano Toffaletti
Ing. Marco Molinari
Ing. Emiliano Debiasi
Ing. Davide Trapani

1	10/12/14	Emissione	ED	DZ	DZ
n	DATA	REVISIONE	red.	ver.	app.

1 SOMMARIO

1	SOMMARIO	2
2	GENERALITÀ	4
2.1	OGGETTO DELLA RELAZIONE	4
2.2	FASI DI FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO	5
	<i>Fase A: prima dell'intervento di consolidamento</i>	<i>5</i>
	<i>Fase B: durante l'intervento di consolidamento</i>	<i>5</i>
	<i>Fase C: dopo l'intervento di consolidamento</i>	<i>5</i>
3	MODALITÀ DI GESTIONE	7
3.1	CONTROLLO DELLO STATO DI CONSERVAZIONE E DI FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA	8
3.2	AVVIAMENTO DELL'ACQUISIZIONE	8
3.3	INTERRUZIONE DELL'ACQUISIZIONE	9
3.4	GESTIONE DEI DATI ACQUISITI	9
3.5	SEGNALAZIONI	9
4	POSIZIONAMENTO DELLA STRUMENTAZIONE	10
4.1	SISTEMA A PENDOLO	10
4.2	STAZIONE TOTALE	11
4.3	PRISMI RIFLETTENTI	12
4.4	TERMOCOPPIE	16
	<i>Termocoppie precedenti</i>	<i>16</i>
	<i>Termocoppie nuove</i>	<i>17</i>
5	GIORNALE DI MONITORAGGIO	19
6	STORIA TEMPORALE	23
6.1	SOMMARIO DEI DATI ACQUISITI	23
6.2	FORMATO DEI DATI	25
	<i>Pendolo</i>	<i>25</i>
	<i>Stazione totale</i>	<i>26</i>
	<i>Termocoppie nuove</i>	<i>28</i>
6.3	STORIE TEMPORALI DI SPOSTAMENTO DELLA TORRE NELL'INTERO PERIODO	29
	<i>Livello 1 – quota 7.60 m</i>	<i>29</i>
	<i>Livello 2 – quota 15.60 m</i>	<i>30</i>
	<i>Livello 3 – quota 23.20 m</i>	<i>31</i>
	<i>Livello 4 – quota 30.80 m</i>	<i>32</i>
	<i>Pendolo</i>	<i>33</i>
	<i>Rotazione</i>	<i>33</i>

6.4	STORIE TEMPORALI DI TEMPERATURA NELL'INTERO PERIODO	33
6.5	DATI MENSILI.....	35
	<i>Agosto 2013</i>	35
	<i>Settembre 2013</i>	36
	<i>Ottobre 2013</i>	37
	<i>Novembre 2013</i>	38
	<i>Dicembre 2013</i>	39
	<i>Gennaio 2014</i>	40
	<i>Febbraio 2014</i>	41
	<i>Marzo 2014</i>	42
	<i>Aprile 2014</i>	43
	<i>Maggio 2014</i>	44
	<i>Giugno 2014</i>	45
	<i>Luglio 2014</i>	46
	<i>Agosto 2014</i>	47
	<i>Settembre 2014</i>	48
	<i>Ottobre 2014</i>	49
6.6	DEFORMATA	50
7	ANALISI DEI DATI.....	54
7.1	CONFRONTO STAZIONE LEICA 2003 - PENDOLO	56
7.2	ANDAMENTO AL NETTO DELLE ESCURSIONI TERMICHE GIORNALIERE ...	63
7.3	DIFFERENZA TRA IL LIVELLO 4 ED IL LIVELLO 1	69
7.4	ANDAMENTO AL NETTO DELLE ESCURSIONI TERMICHE STAGIONALI (COMPENSAZIONE TERMICA)	74
	<i>Formulazione del problema</i>	74
	<i>Posizione compensata</i>	75
7.5	ANDAMENTO COMPENSATO DELLA POSIZIONE DEI PRISMI FISSI	82
	<i>Formulazione del problema</i>	84
	<i>Posizione compensata</i>	85
7.6	AFFONDAMENTO DELLA TORRE	89
8	ANALISI DEI DATI ACQUISITI DEL PENDOLO	91
8.1	ANDAMENTO AL NETTO DELLE ESCURSIONI TERMICHE GIORNALIERE ...	91
8.2	ANDAMENTO AL NETTO DELLE ESCURSIONI TERMICHE STAGIONALI	94
	<i>Formulazione del problema</i>	94
	<i>Posizione compensata</i>	94
9	OSSERVAZIONI CONCLUSIVE	99

2 GENERALITÀ

2.1 Oggetto della relazione

Nell'ambito della convenzione di ricerca n. 7290, il Comune di Portogruaro ha affidato all'Università di Trento l'esecuzione di un progetto di ricerca avente per oggetto in monitoraggio della Torre Civica del Comune. Lo studio prevedeva in particolare:

- i) l'installazione di un sistema di monitoraggio che consenta la lettura continua e in tempo reale, dell'inclinazione della Torre;
- ii) la messa a punto di un sito web, capace di rendere disponibile in tempo reale le misure acquisite;
- iii) la gestione del sistema e del sito web fino al 18 agosto 2004.

Il sistema, installato nei giorni 7, 8 e 9 ottobre 2003, è operativo e acquisisce con continuità i dati dal giorno 15 ottobre 2003. Il Comune di Portogruaro ha successivamente rinnovato all'Università di Trento l'incarico della gestione del sistema di monitoraggio e del sito web fino al 2015.

I dettagli sul sistema di monitoraggio e sul suo funzionamento sono contenuti nella relazione *5-Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro: Manuale d'uso*.

Nel 2013 il Comune di Portogruaro ha affidato all'Università degli Studi di Trento il monitoraggio strutturale della Torre Civica attraverso l'utilizzo di strumentazione compatibile ai lavori di consolidamento e la sostituzione del precedente sistema di monitoraggio con filo a piombo. Lo studio prevedeva in particolare:

- i) l'installazione di un sistema di monitoraggio presso la Torre Civica di Portogruaro comprendente: una stazione di monitoraggio topografico robotizzata ad alta precisione, 16 micro-prismi, una centralina di controllo;
- ii) installazione di sensori di temperatura;
- iii) la gestione del sistema per almeno due anni dal completamento dell'installazione.

Il sistema, installato nei giorni 15 e 16 ottobre 2013, è operativo e acquisisce con continuità i dati dal giorno 17 ottobre 2013.

La presente relazione costituisce il resoconto tecnico del monitoraggio effettuato con la stazione totale robotizzata del periodo dal 17 ottobre 2013 al 31 ottobre 2014.

I dettagli sul nuovo sistema di monitoraggio e sul suo funzionamento sono contenuti nella relazione *18-Rapporto d'installazione e manuale di gestione*.

data 10/12/2014	Comune di Portogruaro - Università di Trento ver. 1 file: Portogruaro19-(1).docx	pagina 4/100
--------------------	---	-----------------

2.2 Fasi di funzionamento del sistema di monitoraggio

Con riferimento all'intervento di consolidamento della Torre Civica di Portogruaro, si prevede il funzionamento del sistema di monitoraggio nelle seguenti fasi:

- A- fase precedente l'intervento di consolidamento;
- B- fase durante l'intervento di consolidamento;
- C- fase successiva all'intervento di consolidamento.

Il sistema di monitoraggio dell'inclinazione basato sul filo a piombo, attualmente in esercizio, non può rimanere all'interno della torre durante l'intervento di consolidamento. Per questo motivo è stato previsto il nuovo sistema di monitoraggio con la stazione totale, esterna alla torre.

Fase A: prima dell'intervento di consolidamento

Il monitoraggio precedente l'intervento di consolidamento è necessario per confrontare le misure di spostamento ricavate dalla stazione totale con quelle del filo a piombo. Il monitoraggio permette inoltre di determinare il trend in atto e l'influenza della temperatura sulla deformata della torre.

In particolare durante la fase precedente l'intervento di consolidamento vengono raccolte misure di:

- spostamento tridimensionale nel tempo di punti appartenenti agli spigoli SUD-EST, SUD-OVEST e NORD-EST della torre;
- temperatura all'interno della muratura delle facciate SUD, EST, NORD;

Fase B: durante l'intervento di consolidamento

In questa fase l'obiettivo è monitorare il comportamento strutturale della torre durante l'intervento di consolidamento e controllare le forze applicate dai martinetti se necessarie.

Oltre alle misure raccolte durante la fase precedente l'intervento, durante questa fase verranno raccolte misure di:

- spostamento tridimensionale nel tempo di punti appartenenti agli spigoli SUD-EST, SUD-OVEST e NORD-EST della torre;
- temperatura all'interno della muratura delle facciate SUD, EST, NORD;
- temperatura superficiale di punti appartenenti alla struttura di contrasto;
- forza applicata dai martinetti e pressione applicata alla muratura;
- estensione dei martinetti;
- pressione interstiziale nel terreno interessato dall'intervento di consolidamento;

Fase C: dopo l'intervento di consolidamento

Il monitoraggio successivo l'intervento di consolidamento è necessario per monitorare il comportamento della torre a lavori di consolidamento ultimati.

data 10/12/2014	Comune di Portogruaro - Università di Trento ver. 1 file: Portogruaro19-(1).docx	pagina 5/100
--------------------	---	-----------------

In questa fase verranno raccolte misure di:

- spostamento tridimensionale nel tempo di punti appartenenti agli spigoli SUD-EST, SUD-OVEST e NORD-EST della torre;
- temperatura all'interno della muratura delle facciate SUD, EST, NORD;
- pressione interstiziale nel terreno interessato dall'intervento di consolidamento;

3 MODALITÀ DI GESTIONE

La completa descrizione del sistema e del suo funzionamento è riportata nel rapporto *18-Rapporto d'installazione e manuale di gestione*, al quale si rimanda per dettagli. Al fine di chiarire le modalità di gestione, è opportuno ricordare che il sistema è in parte fisicamente localizzato presso la Torre Civica e in parte presso l'Università di Trento. Inoltre alcune delle operazioni di gestione del sistema possono svolgersi in modalità remota, da qualsiasi computer connesso ad Internet e dotato di appropriato software.

Il sistema è in grado di acquisire i dati in maniera automatica, in assenza dell'operatore; interruzioni nella procedura di acquisizione si potrebbero verificare a seguito delle seguenti cause:

- interruzione momentanea di erogazione di energia elettrica in loco (cioè nella Torre Civica);
- interruzione momentanea della fornitura del servizio Internet in un punto qualsiasi del sistema;
- interruzione momentanea di erogazione di energia elettrica in remoto.

Il sistema è in grado di riprendere in maniera automatica l'acquisizione nel momento in cui termini l'interruzione momentanea, eccezion fatta per l'ultimo caso; in questa situazione è infatti necessario un riavvio manuale del sistema da parte dell'operatore.

In loco, l'operatore, può compiere una delle seguenti operazioni:

- controllo dello stato di conservazione e funzionamento del sistema;
- avviamento ed interruzione di un'acquisizione locale (solo per il sistema con stazione totale);
- gestione ed elaborazione dei dati acquisiti (solo per il sistema con stazione totale);
- segnalazioni.

In remoto, l'operatore può compiere una delle seguenti operazioni:

- controllo del funzionamento del sistema;
- avviamento dell'acquisizione;
- interruzione dell'acquisizione;
- gestione dei dati acquisiti;
- elaborazione dei dati acquisiti;
- segnalazioni.

3.1 Controllo dello stato di conservazione e di funzionamento del sistema

Controllo visivo dello stato di conservazione di:

- Enclosure DAQ termocoppie;
- cablaggi sensori termocoppie e cablaggi Mobile-Rack;
- struttura di protezione stazione totale;
- PC Leica, batteria tampone e dispositivi per l'alimentazione;
- cablaggio stazione totale-PC Leica.
- controllo della messa in bolla della stazione totale.

Il controllo dello stato di funzionamento del sistema può avvenire in loco direttamente dal PC Leica, per quanto riguarda il funzionamento della stazione totale, e connettendosi con un PC portatile all'uscita ethernet dell'enclosure per DAQ termocoppie previa installazione del software di acquisizione (per ottenere il software di acquisizione contattare l'Università di Trento nella persona del Dr. Daniele Zonta) e del cambiamento delle proprietà di rete dei dispositivi. Si sconsiglia comunque questa procedura in quanto il cambiamento delle proprietà di rete dei dispositivi pregiudica il funzionamento del sistema di monitoraggio.

Per il controllo della messa in bolla della stazione è sufficiente controllare il tilt trasversale e longitudinale della stazione all'interno del software Leica Geomos. Per controllare tali valori è necessario mettere in pausa l'acquisizione. Il limite massimo del tilt è pari a 0.063 gon. Nel caso di superamento del limite massimo è necessario rimettere in bolla manualmente lo strumento agendo sulle apposite rotelle.

3.2 Avviamento dell'acquisizione

La procedura di avviamento dell'acquisizione della stazione totale prevede:

- posizionamento della stazione totale in modalità RUN;
- collegamento del PC Leica alla rete Internet;
- avvio del PC;
- configurazione di rete del PC;
- avviamento di Leica Geomos;
- posizionamento del software Leica Geomos in modalità RUN;
- avviamento di Leica System Anywhere;
- posizionamento del software Leica Geomos in modalità RUN.

3.3 Interruzione dell'acquisizione

La procedura di interruzione dell'acquisizione prevede:

- interruzione del programma di acquisizione Leica Geomos;
- chiusura del programma di acquisizione Leica Geomos;
- interruzione del programma di acquisizione System Anywhere;
- chiusura del programma di acquisizione System Anywhere;
- eventuale spegnimento della stazione totale TCA2003.

3.4 Gestione dei dati acquisiti

I dati di monitoraggio della stazione totale TCA2003 sono visibili in locale o in remoto utilizzando il software Analysis già installato all'interno del PC Leica. Avviato il software è possibile visualizzare e scaricare i dati di ogni prisma selezionando il rispettivo sensore all'interno del menu a tendina Genera/Nuovo grafico. L'unità di misura con cui vengono visualizzati i dati sono m (per le misure di distanza) e mgon (per le misure di angolo).

3.5 Segnalazioni

L'operatore, qualora se ne verifichi il caso, dà segnalazione, a chi di competenza, di:

- eventuali malfunzionamenti del sistema in loco che richiedano interventi di manutenzione;
- eventuali malfunzionamenti del sistema di acquisizione che richiedano interventi di riavvio o di ripristino;
- eventuali malfunzionamenti del PC Leica che richiedano interventi di riavvio o di ripristino;
- trend di spostamenti o di temperature anomali.

4 POSIZIONAMENTO DELLA STRUMENTAZIONE

4.1 Sistema a pendolo

Il filo a piombo, fissato in maniera solidale con la struttura muraria, permette di avere una indicazione della direzione della verticale. Quindi, approntando un sistema di lettura della sua posizione, solidale con la base, si riesce ad ottenere lo spostamento della verticale nell'arco della giornata.

Esso è costituito da un filo in Invar del diametro di 1.7 *mm* della lunghezza complessiva di circa 32 *m*, fissato ad una estremità alla volta della cella campanaria e all'altra ad un cilindro in ottone del peso di 30 *kg*. Questo cilindro finisce all'interno di una vasca in alluminio dove risulta completamente ricoperto da liquido antigelo; tale liquido ha la funzione di smorzare le oscillazioni del pendolo, in maniera che la lettura, che viene fatta in modalità statica e non dinamica, non risenta di errori dovuti al moto dello stesso. Inoltre è stato utilizzato del liquido antigelo per evitare che nella stagione invernale esso possa gelare, impedendo così lo spostamento del pendolo.



Figura 1 - Rack e strumentazione di monitoraggio del sistema a pendolo..

Tutta la strumentazione è posizionata all'interno di un rack in acciaio posto al piano terra. L'interno del rack è illuminato continuamente da due luci al neon che permettono alla strumentazione di acquisizione dei dati di spostamento, due Network Camera Axis 2120, di inquadrare il filo a piombo e queste tramite un sistema di riconoscimento di immagine determinano la posizione del filo e poi ne definiscono lo spostamento.

Per la lettura della posizione le due Network Camera Axis 2120 utilizzano un software basato sul riconoscimento di immagine, così facendo prima si determina la posizione

data 10/12/2014	Comune di Portogruaro - Università di Trento ver. 1 file: Portogruaro19-(1).docx	pagina 10/100
--------------------	---	------------------

del filo rispetto ad un punto fisso in coordinate x e y misurate in pixel, poi si passa dal sistema conico in pixel al sistema cartesiano in unità ingegneristiche ottenendo coordinate x e t misurate in mm .

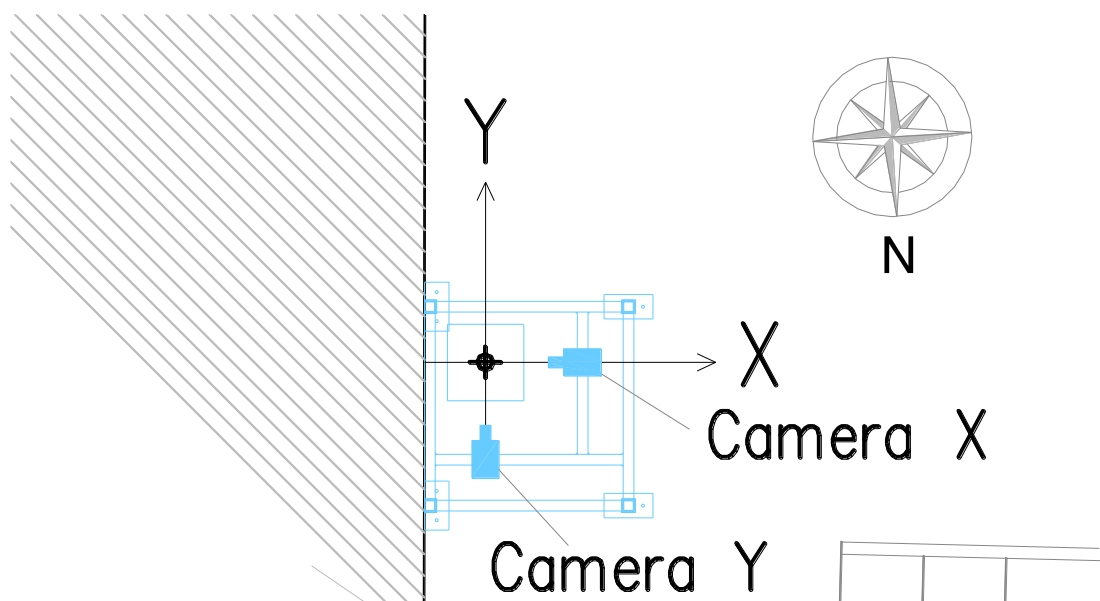


Figura 2 - Posizione delle due Network Camera Axis 2120 all'interno del rack..

4.2 Stazione totale

Il nuovo sistema di monitoraggio è basato sul rilevamento della stazione totale Leica TCA 2003, che registra la posizione dei prismi posti ai vari livelli della torre e quelli dei “punti fissi” o capisaldi posti sulle facciate degli edifici adiacenti.

La stazione totale è stata collocata sulla mensola della seconda finestra dell'ultimo piano fissata sulla superficie esterna dell'edificio di Figura 3a di proprietà di Assicurazioni Generali. Per il posizionamento e l'installazione della stazione totale è stata costruita una mensola in acciaio fissata sotto la finestra in questione, con vista su Piazza del Duomo (Figura 3b).

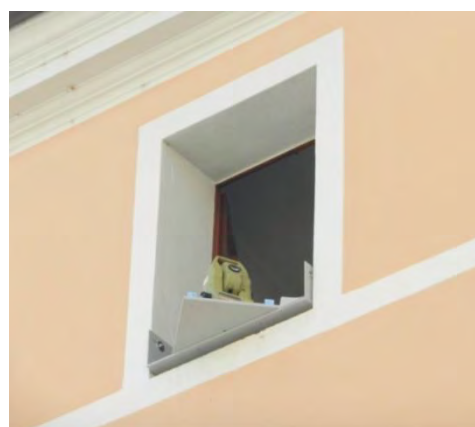


Figura 3 - Posizione stazione totale e relativa piastra di appoggio.

data 10/12/2014	Comune di Portogruaro - Università di Trento ver. 1 file: Portogruaro19-(1).docx	pagina 11/100
--------------------	---	------------------

Da questa posizione è possibile collimare i bersagli collocati sulla torre alle diverse altezze. Tutti i punti della Torre sono stati battuti ed inseriti all'interno del Database della stazione totale a partire dal 17 ottobre 2013, ad esclusione dei 3 punti del livello 4 (vedi Figura 5) che sono stati battuti ed inseriti a partire dal 15 novembre 2013. Questa discrepanza temporale è dovuta al tempo necessario per la fornitura e sostituzione dei vetri di protezione attorno alla stazione totale.

4.3 Prismi riflettenti

L'operazione di posizionamento dei prismi riflettenti è stata eseguita dal Sig. Leri Zilio, guida alpina qualificata, calandosi dal davanzale della cella campanaria posta in sommità alla torre.



Figura 4 - Installazione dei prismi riflettenti

Il fissaggio dei prismi riflettenti è stato eseguito mediante foro della muratura esterna, inserimento di un tassello tipo Fisher $\Phi 8$ e chiodatura.

Sono stati installati un totale di 12 prismi, 3 per ciascuno dei 4 livelli, lungo gli spigoli sud-est, sud-ovest e nord-est. Il livello 4 si riferisce alla posizione di aggancio del fulcro del filo a piombo del precedente sistema di monitoraggio, il livello 2 è all'altezza del baricentro della torre mentre il livello 1 e 3 si dispongono in posizioni intermedie.

I bersagli si identificano con la sigla L (Livello) seguito da un numero a due cifre corrispondente al numero del livello (da 1 a 4) e allo spigolo (da 1 a 3 essendo 1 lo spigolo nord-est e procedendo in senso orario).

La Figura 5 mostra più chiaramente le posizioni e le quote dei prismi riflettenti installati sulla torre.

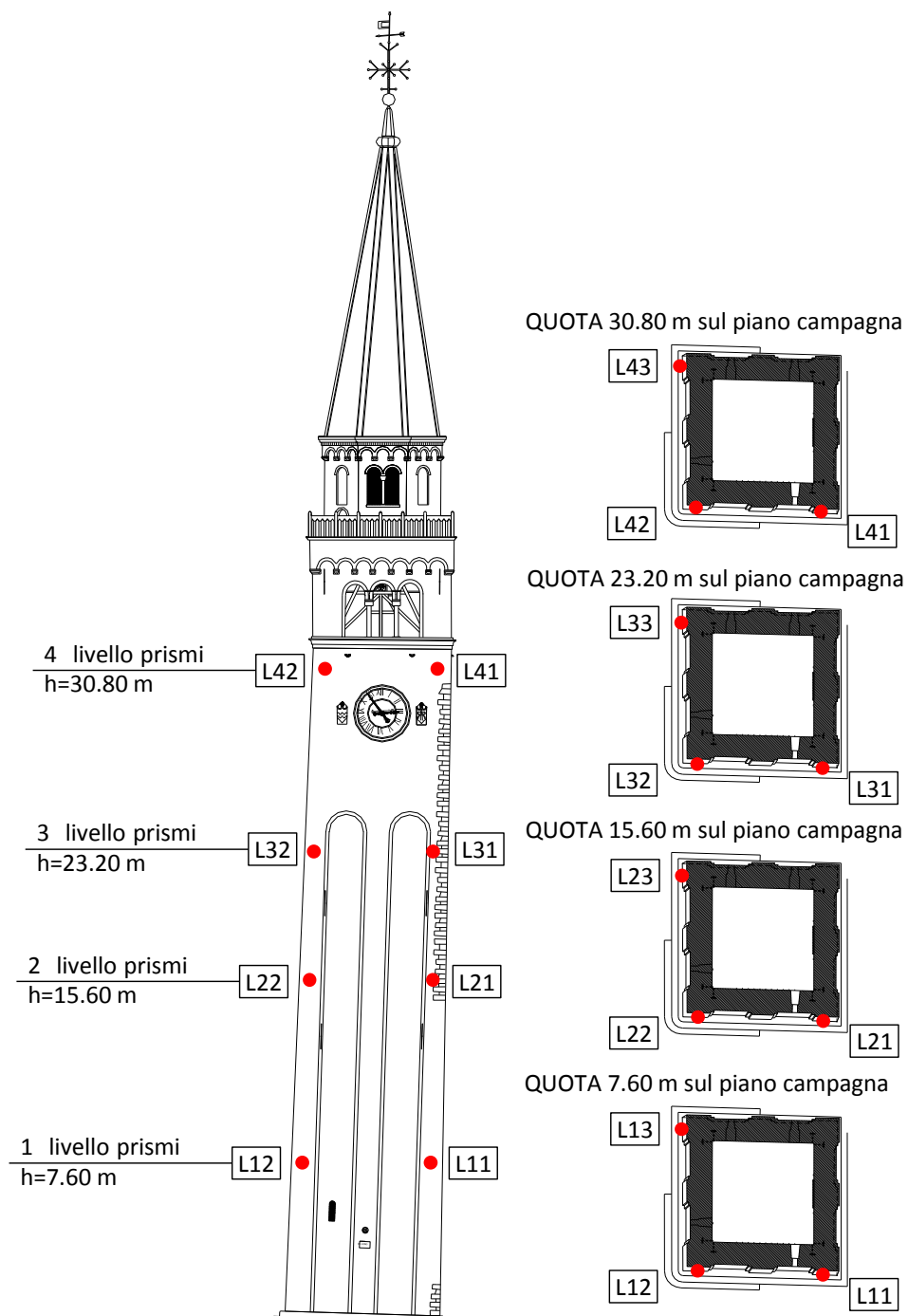


Figura 5 - Posizione dei prismi per il monitoraggio degli spostamenti della torre mediante stazione totale automatica (facciata EST)

Le quote dei vari livelli, mostrate in Figura 5, vengono riassunte anche nella tabella seguente.

Livello 1	7.60 m
Livello 2	15.60 m
Livello 3	23.20 m
Livello 4	30.80 m

Per effettuare il confronto con le misure ricavate dal filo a piombo, si riportano le posizioni esatte dei prismi e quindi anche le loro distanze dagli spigoli con un'immagine esemplificativa di Figura 6.

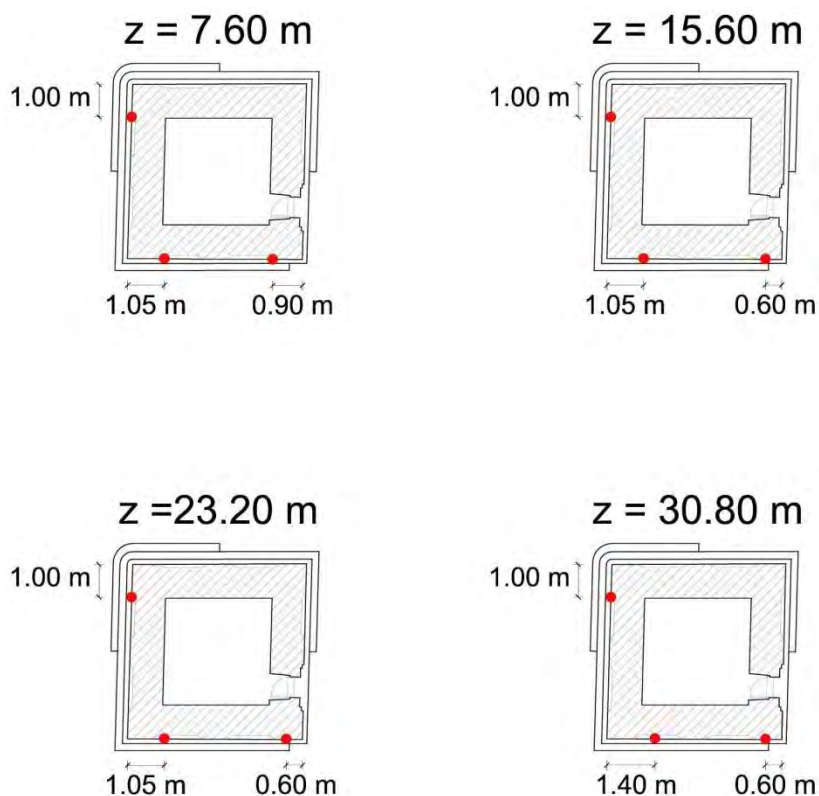


Figura 6 - Posizione dei prismi nel dettaglio visti in pianta

Per calcolare lo spostamento misurato dai prismi fissati sulla torre, è necessario stabilire dei capisaldi. Si sono quindi collocati altri 4 prismi, analoghi a quelli utilizzati sulla torre, nelle posizioni di Figura 7 ed identificati dalla sigla R.

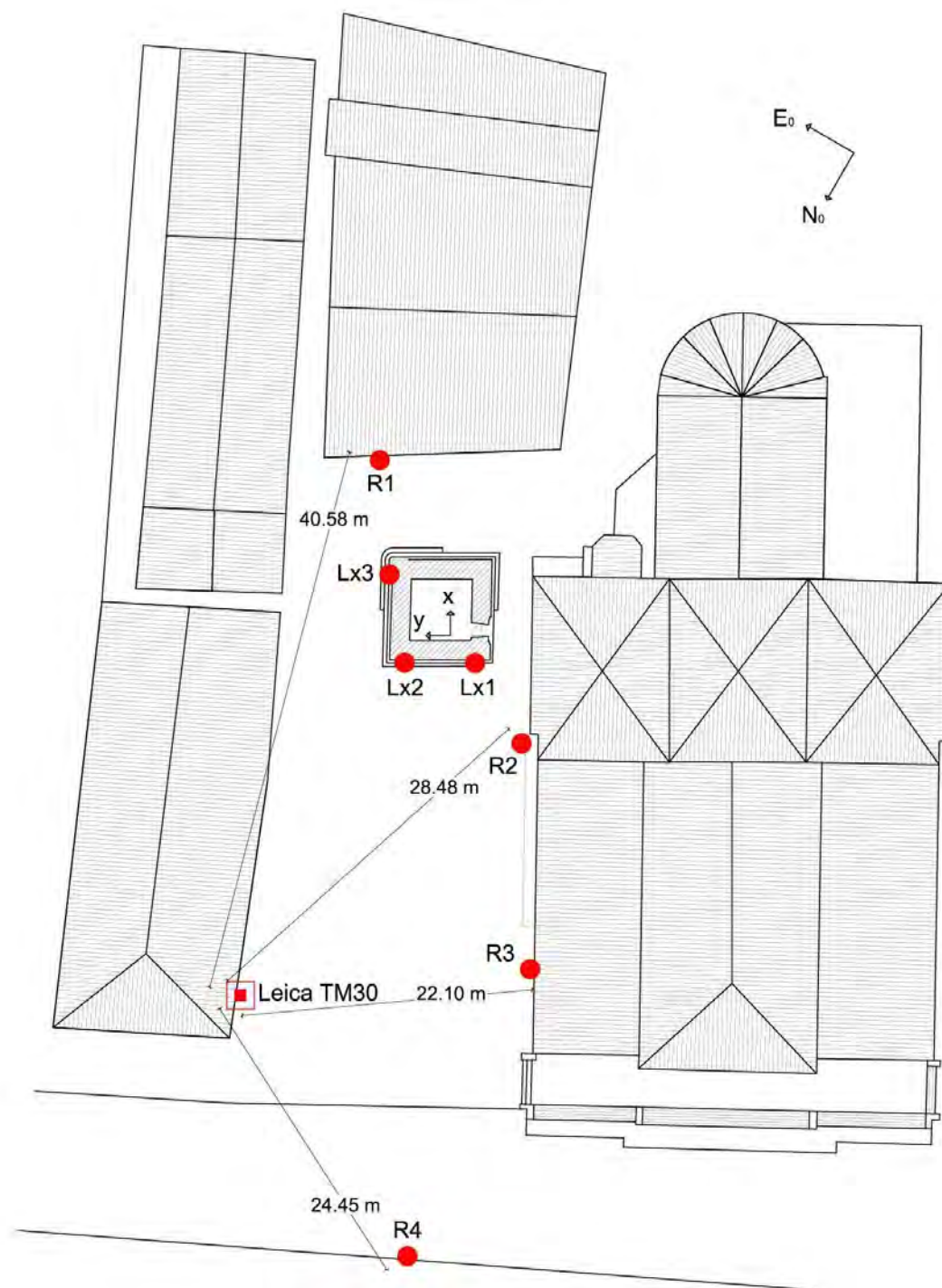


Figura 7 - Planimetria punti di misurazione della stazione totale nel sistema di riferimento locale della macchina

I prismi *R1* e *R4* si trovano su edifici che si affacciano su piazza del Duomo mentre i prismi *R2* e *R3* sulla facciata del Duomo stesso che guarda la piazza. Il loro posizionamento è avvenuto con le stesse modalità dei precedenti, con l'ausilio di un cestello per il raggiungimento della quota di posizionamento.

La stazione utilizza un sistema di riferimento locale. Nel seguito del documento si utilizza il sistema di riferimento x-y del sistema a pendolo per mantenere il sistema di riferimento utilizzato nei rapporti di monitoraggio precedenti. L'angolo tra i due sistemi di riferimento risulta pari a $\theta=56.14^\circ$ (angolo tra asse *x* e asse *E*).

4.4 Termocoppie

Termocoppie precedenti

Assieme al sistema a pendolo erano state installati 5 sensori di temperatura per vedere che tipo di correlazione esiste con gli spostamenti giornalieri e stagionali. Sono state utilizzate delle termocoppie tipo K 2 x 032 con isolamento MFA-MFA del diametro di 2 mm. Fisicamente sono costituiti da due fili isolati tra loro contenuti in una guaina. In totale vengono installati 4 sensori termocoppia nella muratura disposti come in Figura 8 più uno (T0) all'interno del rack in acciaio per misurare la temperatura di operatività della strumentazione. I sensori T1 e T3 sono stati inseriti nella muratura ad una profondità tale da raggiungere il paramento murario esterno; quelli T2 e T4 sono invece stati inseriti ad una profondità tale da non uscire dal paramento murario interno.

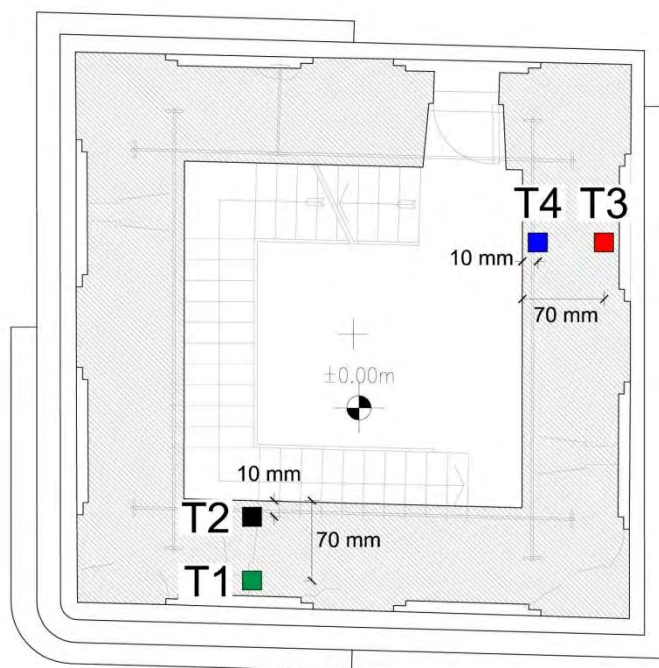


Figura 8 - Termocoppie precedenti all'interno della Torre

Termocoppie nuove

Si è deciso di posizionare 6 nuovi sensori di temperatura su due livelli differenti secondo le modalità utilizzate per quelli vecchi, ovvero cercando di raggiungere il paramento murario esterno in alcuni casi ed in altri mantenendosi nel paramento murario interno.

I 6 nuovi sensori sono termocoppie tipo T costituite da uno stelo metallico in contatto termico con la superficie da monitorare e da un cavo elettrico collegato all'unità di acquisizione. La lunghezza dei cavi utilizzati è pari a 9 m.

L'installazione dei sensori di temperatura è avvenuta in data 26/11/13. L'installazione è avvenuta per ogni sensore forando il muro inserendo lo stelo della termocoppia e sigillando il foro mediante poliuretano espanso.

I 6 sensori di temperatura sono stati installati su due livelli, uno posto al piano terra (a quota +3.00) vicini ai sensori già presenti e uno al piano primo (a quota +9.50 m, cioè a +4.00 dal solaio), in modo da verificare se esistono variazioni di temperatura anche lungo l'altezza del paramento murario della torre.

Le facciate prese in considerazione sono quella est e sud (come per i sensori già presenti) al primo livello e est, sud e nord per il secondo livello.

Il sensore T6 e T7, a quota +3.00 metri, sono stati inseriti all'interno della muratura fino ad una profondità tale da raggiungere il paramento murario esterno (Figura 9). Il sensore T5 è stato invece inserito ad una profondità tale da non uscire dal paramento murario interno (Figura 9).

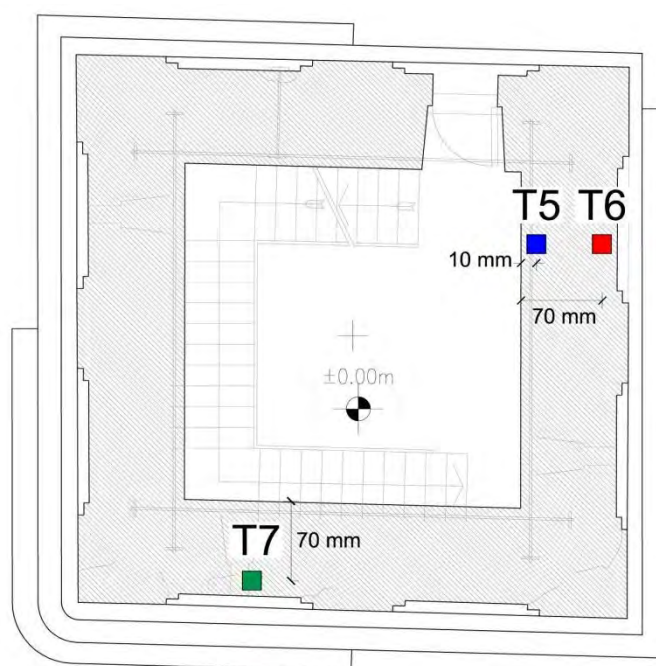


Figura 9 - Posizione delle termocoppie all'interno della torre (quota +3.00)

Tutti i sensori a quota +9.50 metri sono stati inseriti all'interno della muratura fino ad una profondità tale da raggiungere il paramento murario esterno. Il sensore T8 è posizionato nel muro affacciato ad Est, il sensore T9 nel muro affacciato a Nord, mentre il sensore T10 in quello affacciato a Sud (Figura 9).

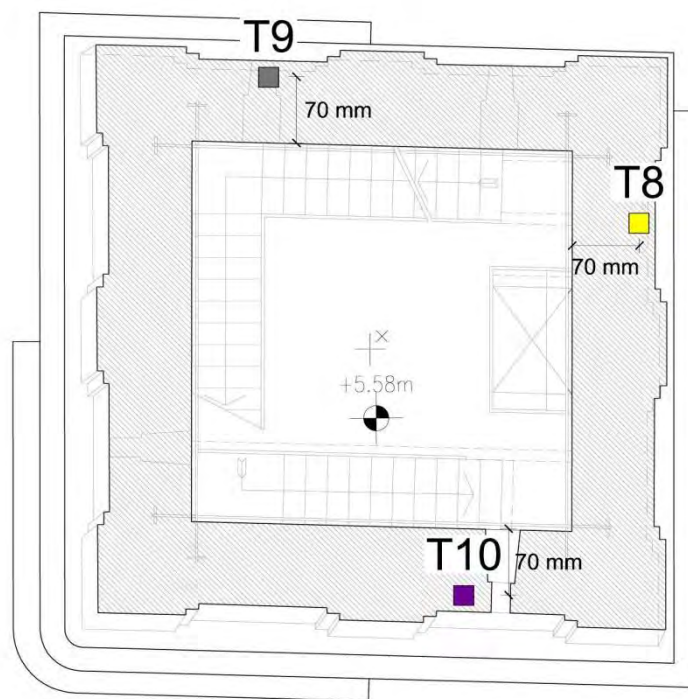


Figura 9 - Posizione delle termocoppie all'interno della torre (quota +9.50)

I due moduli di acquisizione NI 9211 e NI 9219 sono stati posizionati all'interno della torre al primo piano (quota 6.50m) ed inseriti all'interno di un apposito enclosure IP65 per la protezione del modulo da polveri, acqua, e manomissioni. L'uscita, in ethernet, è stata collegata all'HUB 1, anch'esso posto sul primo solaio all'interno della torre.

5 GIORNALE DI MONITORAGGIO

Nel seguito sono riportati in ordine cronologico gli eventi registrati nel corso del periodo di monitoraggio. Gli eventi sono identificati come segue:

I: intervento in sito;

R: rapporto o registrazione interna (per es: di malfunzionamento);

U: upgrade del sistema;

S: segnalazione formale (per es: di anomalia).

I	15.10.13	Intervento:	Installazione stazione totale robotizzata LEICA 2003
		Presenti:	Arch. Marco Mian e 2 tecnici del Comune di Portogruaro, Duilio Guizzetti della Leica Geosystem, Emiliano Debiasi e Davide Trapani dell'Università di Trento.
		Descrizione:	Viene installata la stazione totale robotizzata Leica 2003 e il suo sistema di acquisizione all'interno dello stabile di proprietà di Assicurazioni Generali.

I	16.10.13	Intervento:	Installazione micro-prismi
		Presenti:	2 tecnici del Comune di Portogruaro, Leri Zilio scalatore, Duilio Guizzetti della Leica Geosystem, Emiliano Debiasi e Davide Trapani dell'Università di Trento.
		Descrizione:	Vengono installati 12 micropismi sulla Torre Civica e 4 micropismi di riferimento sugli edifici circostanti.

I	15.11.13	Intervento:	Aggiornamenti di sistema
		Presenti:	Duilio Guizzetti (Leica Geosystem)
		Descrizione:	Intervento sulla struttura protettiva della stazione totale LEICA 2003. Sostituzione del vetro protettivo e rimessa in bolla della stazione.

I	<i>26.11.13</i>	Intervento:	Installazione termocoppie
		Presenti:	1 tecnico del Comune di Portogruaro, Emiliano Debiasi e Davide Trapani dell'Università di Trento.
		Descrizione:	Vengono installate 6 termocoppie e il sistema di acquisizione sulla Torre Civica.

R	<i>25.03.14</i>	Malfunzionamento:	Blocco del sistema di acquisizione termocoppie
		Causa:	Problemi di comunicazione reti Portogruaro-UniTN
		Durata:	3 gg
		Soluzione:	Riavvio manuale del sistema di acquisizione

R	<i>09.04.14</i>	Malfunzionamento:	Blocco del sistema di acquisizione termocoppie
		Causa:	Problemi di comunicazione reti Portogruaro-UniTN
		Durata:	2 gg
		Soluzione:	Riavvio manuale del sistema di acquisizione.

R	<i>16.04.14</i>	Malfunzionamento:	Blocco del sistema di acquisizione termocoppie
		Causa:	Problemi di comunicazione reti Portogruaro-UniTN
		Durata:	6 gg
		Soluzione:	Riavvio manuale del sistema di acquisizione.

R	<i>28.04.14</i>	Malfunzionamento:	Blocco del sistema di acquisizione termocoppie
		Causa:	Problemi di comunicazione reti Portogruaro-UniTN
		Durata:	7 gg
		Soluzione:	Riavvio manuale del sistema di acquisizione.

R	<i>27.05.14</i>	Malfunzionamento:	Blocco del sistema di acquisizione termocoppie
		Causa:	Problemi di comunicazione reti Portogruaro-UniTN
		Durata:	9 gg
		Soluzione:	Riavvio manuale del sistema di acquisizione.

R	06.06.14	Malfunzionamento:	Blocco del sistema di acquisizione termocoppie
		Causa:	Problemi di comunicazione reti Portogruaro-UniTN
		Durata:	3 gg
		Soluzione:	Riavvio manuale del sistema di acquisizione.

R	10.06.14	Malfunzionamento:	Blocco del sistema di acquisizione termocoppie
		Causa:	Problemi di comunicazione reti Portogruaro-UniTN
		Durata:	6 gg
		Soluzione:	Riavvio manuale del sistema di acquisizione.

R	20.06.14	Malfunzionamento:	Blocco del sistema di acquisizione termocoppie
		Causa:	Problemi di comunicazione reti Portogruaro-UniTN
		Durata:	2 gg
		Soluzione:	Riavvio manuale del sistema di acquisizione.

U	08.07.14	Upgrade:	Riavvio del sistema
		Cambiamenti:	Modificato coordinate punti di riferimento e fissato la stazione LEICA 2003 come punto mobile nell'analisi dei dati.
		Durata:	1 h

R	18.07.14	Malfunzionamento:	Blocco del sistema
		Causa:	Blocco server Portogruaro
		Durata:	3 gg
		Soluzione:	Riavvio dei server.

I	28.07.14	Intervento:	Aggiornamenti di sistema
		Presenti:	Emiliano Debiasi (Università di Trento)
		Descrizione:	Intervento sulla struttura protettiva della stazione totale LEICA 2003. Pulizia del vetro protettivo, rimessa in bolla della stazione e controllo avvvitamento dei dadi dei bulloni della mensola metallica sostenente la stazione totale.

R	16.08.14	Malfunzionamento:	Blocco del sistema
		Causa:	Caduta della rete elettrica UniTN
		Durata:	4 gg
		Soluzione:	Riavvio manuale del server.

R	<i>21.08.14</i>	Malfunzionamento:	Interruzione connessione Team Viewer
		Causa:	Caduta della rete elettrica Portogruaro
		Durata:	5 gg
		Soluzione:	Riavvio manuale del PC Leica e scollegamento del monitor.

R	<i>27.10.14</i>	Malfunzionamento:	Blocco del sistema di acquisizione termocoppie
		Causa:	Problemi di comunicazione reti Portogruaro-UniTN
		Durata:	8 gg
		Soluzione:	Riavvio manuale del sistema di acquisizione.

6 STORIA TEMPORALE

6.1 Sommario dei dati acquisiti

La stazione totale è attiva in continuo dal 17 ottobre 2013, sebbene in data 15 novembre 2013 è stato necessario un intervento di sostituzione del vetro protettivo a causa dell'impossibilità di collimare i prismi del livello più alto.

Si riportano in Tabella 1 i dati disponibili per ciascun livello dei prismi.

Tabella 1: quota dei prismi e periodo di monitoraggio

Prismi	Quota (m)	Periodo monitoraggio
Pendolo	29.90	01/08/2013-31/10/2014
Livello 1 (L11, L12, L13)	7.60	17/10/2013-31/10/2014
Livello 2 (L21, L22, L23)	15.60	17/10/2013-31/10/2014
Livello 3 (L31, L32, L33)	23.20	17/10/2013-31/10/2014
Livello 4 (L41, L42, L43)	30.80	15/11/2013-31/10/2014

A partire dal paragrafo 6.5 e per la maggior parte dei capitoli successivi, si riporteranno i grafici dell'inclinazione in μrad invece dello spostamento in mm . Questo perché il confronto tra diverse misure di inclinazione è più preciso rispetto alle misure di spostamento, che sono prese ad altezze differenti. Il calcolo dell'inclinazione avviene come nell'esempio riportato.

$$i_{Lij}[\mu rad] = \frac{x_{Lij}[mm]}{h_{Lij}} \cdot 10^3$$

$$i_{Pendolo}[\mu rad] = \frac{x_{Pendolo}[mm]}{h_{Pendolo}} \cdot 10^3$$

dove i_{Lij} e $i_{Pendolo}$ sono le misure di inclinazione ricavate in termini di μrad , x_{Lij} e $x_{Pendolo}$ sono le misure di spostamento acquisite dai sistemi di monitoraggio, trasformate in mm e riportate nello stesso sistema di riferimento, mentre h_{Lij} e $h_{Pendolo}$ sono le altezze misurate a partire dalla base della torre (per quanto riguarda il pendolo è l'altezza del punto di aggancio del filo a piombo dal sistema di acquisizione). La tabella 1, riportata sopra, mostra le altezze considerate nel calcolo per i prismi e per il pendolo.

Al paragrafo 6.2 si riporta il dettaglio dei file acquisiti per i sistemi di monitoraggio degli spostamenti e per le termocoppie. Vengono descritti l'identificazione dei file, il loro formato e viene indicato il significato delle singole colonne per ciascun file.

Si riportano nel paragrafo 6.3 le storie temporali di spostamento della torre nell'intero periodo lungo X (in magenta), lungo Y (in azzurro) e lungo Z (quota, in verde) della Torre Civica, secondo il sistema di riferimento X-Y utilizzato dal sistema di monitoraggio a pendolo. I dati riportano gli spostamenti relativi rispetto ad una posizione iniziale di zero fissato all'inizio del periodo di monitoraggio (17/10/2013 per i prismi dei primi 3 livelli, 15/11/2013 per i prismi del 4° livello).

Nel paragrafo 6.4 si riportano le storie temporali di temperatura nell'intero periodo di monitoraggio. I dati delle termocoppie precedenti vengono riportati a partire dal 17/10/2013 mentre quelli delle termocoppie nuove a partire dal 24/02/2014 data in cui è avvenuto l'inizio dell'acquisizione.

Nel paragrafo 6.5 si riportano i dati mensili dello spostamento del prisma L41 (in rosso) confrontato con lo spostamento del pendolo nella stessa direzione (in blu). I grafici riportano lo spostamento in direzione X e Y rispetto al sistema di riferimento X-Y del pendolo. I dati riportano gli spostamenti relativi rispetto ad una posizione iniziale di zero fissato all'inizio del periodo di monitoraggio (15/11/2013 per i prismi del 4° livello). Si riportano inoltre i dati acquisiti mensilmente dalle termocoppie precedenti e dalle termocoppie nuove negli stessi periodi.

Il paragrafo 6.6 invece mostra invece la deformata subita dalla Torre lungo tutta la sua altezza nell'arco della giornata del 17/11/2013. Vengono poi riportate le deformate e gli spostamenti in pianta del solo quarto livello della Torre nell'arco di due differenti giornate, il 20/03/2014 ed il 06/06/2014.

6.2 Formato dei dati

Pendolo

Identificazione dei file

Il sistema di acquisizione dati, una volta avviato, genera in maniera automatica i file di acquisizione. Ogni file contiene i dati relativi ad un mese di acquisizione dalle ore 00:00 del primo giorno del mese alle ore 24:00 dell'ultimo giorno, con riferimento all'ora solare del fuso orario GMT +01:00. I file sono disponibili in formato .txt e il nome è in accordo con la seguente convenzione:

aaaamm.txt

dove:

aaaa è l'anno;

mm è il mese, in numero (da 01 a 12);

I file mensili sono disponibili al sito web <http://smarstructures.org/portogruaro>. Un file contenente i dati relativi a tutto il periodo di monitoraggio fino al giorno 31 ottobre 2014, sono contenuti nel *Pendolo.txt* che si allega alla presente relazione.

Formato dei file

All'interno di ciascuno dei file di testo i dati sono organizzati in forma di tabella, con campi separati da tabulazioni. La prima riga della tabella contiene le intestazioni, dalla seconda in poi sono presenti i dati, organizzati in colonna come riportato nel seguente esempio.

Timestamp	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4	Channel 5	Channel 6
13:43:37	13.42	7.35	8.97	10.62	9.28	1770.00

Channel 7	Channel 8	Channel CJ	X Posizion [pixel]	Y Position [pixel]	X Position [mm]	Y Position [mm]
1770.00	1770.00	19.99	-40.25	33.07	-7.09	6.32

Le intestazioni indicano rispettivamente:

Timestamp L'ora a cui è stata eseguita l'acquisizione; l'ora è sempre quella solare del fuso orario GMT +01:00.

Channel 1 Il valore della temperatura, in gradi Celsius, misurata dal sensore collegato al Channel 1. Tale sensore è inserito all'interno del mobile rack.

Channel 2..5 Il valore della temperatura, in gradi Celsius, misurata dai sensori 1 (Channel 2), 3 (Channel 3), 3 (Channel 4), e 4 (Channel 5).

data 10/12/2014	Comune di Portogruaro - Università di Trento ver. 1 file: Portogruaro19-(1).docx	pagina 25/100
--------------------	---	------------------

Channel 6..8	Canali che non hanno collegato alcun sensore e quindi forniscono il valore di "fondo scala" pari a 1770.00 °C.
Channel CJ	Il valore della temperatura, in gradi Celsius, del giunto di compensazione termico, presente all'interno del FieldPoint.
X Position [pixel]	Il valore della posizione X, misurata in pixel sull'immagine acquisita dalle Network Camera.
Y Position [pixel]	Il valore della posizione Y, misurata in pixel sull'immagine acquisita dalle Network Camera.
X Position [mm]	Il valore della posizione X, misurata in mm. Essa si ottiene, tramite un sistema di trasformazione di coordinate, dai valori di X ed Y misurati in pixel.
Y Position [mm]	Il valore della posizione Y, misurata in mm. Essa si ottiene, tramite un sistema di trasformazione di coordinate, dai valori di X ed Y misurati in pixel.

Le posizioni dei sensori di temperatura e l'orientazione degli assi di riferimento della posizione del filo a piombo sono riportate nel dettaglio al capitolo 4. Si ricorda inoltre che lo zero della posizione del filo a piombo registrata nel file è relativa ad un caposaldo infisso alla base della Torre al momento dell'installazione.

La completa descrizione del sistema e del suo funzionamento è riportata nel rapporto 5- *Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro: Manuale d'uso*, a cui si rimanda.

Stazione totale

Identificazione dei file

Il sistema, una volta avviato, acquisisce in maniera automatica i dati dei prismi installati sulla Torre e dei capisaldi che si affacciano sulla piazza del Duomo.

I dati, dalla data di inizio del monitoraggio fino all'ultimo giorno di acquisizione, vengono salvati in remoto direttamente dalla sede a Trento in formato .txt ed il nome è in accordo con la seguente convenzione:

Misure_ggmmaa.txt

dove:

gg è l'ultimo giorno di monitoraggio presente nel file (da 01 a 31);
mm è il mese, in numero (da 01 a 12);
aa è l'anno.

Un file contenente i dati relativi a tutto il periodo di monitoraggio fino al giorno 31 ottobre 2014, sono contenuti nel *Misure_311014.txt* che si allega alla presente relazione.

Formato dei file

All'interno di ciascuno dei file di testo i dati sono organizzati in forma di tabella, con campi separati da virgole. Già dalla prima riga sono presenti i dati, ma per delucidazione al lettore vengono riportati con l'intestazione, organizzati come nel seguente esempio.

Timestamp	Prisma	MisHz	MisV	MisSqrt
17/10/2013 12:00	R1	183.27990	106.44624	40.5752

Est	Nord	Quota
1010.4801	961.0167	95.8984

Le intestazioni indicano rispettivamente:

Timestamp Il giorno e l'ora a cui è stata eseguita l'acquisizione; l'ora è sempre quella solare del fuso orario GMT +01:00.

Prisma Il prisma di riferimento per tutti i dati che seguono nella stessa riga. I primi installati sulla Torre sono numerati come *L11*, *L12*, *L13*, *L21*, *L22*, *L23*, *L31*, *L32*, *L33*, *L41*, *L42*, *L43*, mentre i capisaldi *R1*, *R2*, *R3*, *R4*.

MisHz Il valore della dell'angolo di misura orizzontale, in gradi centesimali (*gon*), misurata dalla stazione totale rispetto al suo punto di riferimento.

MisV Il valore della dell'angolo di misura verticale, in gradi centesimali (*gon*), misurata dalla stazione totale rispetto al suo punto di riferimento.

MisSqrt Il valore della distanza, misurata in metri (*m*), misurata dalla stazione totale rispetto al prisma di riferimento.

Est Il valore della posizione X, misurata in metri (*m*), nel sistema di riferimento della stazione totale.

Nord Il valore della posizione Y, misurata in metri (*m*), nel sistema di riferimento della stazione totale.

Quota Il valore della quota Z, misurata in metri (*m*), nel sistema di riferimento della stazione totale.

Le posizioni dei prismi l'orientazione degli assi di riferimento della stazione totale sono riportate nel dettaglio al capitolo 4.

La completa descrizione del sistema e del suo funzionamento è riportata nel rapporto *18-Rapporto d'installazione e manuale di gestione*, a cui si rimanda.

Termocoppie nuove

Identificazione dei file

Il sistema di acquisizione dati, una volta avviato, genera in maniera automatica i file di acquisizione. Ogni file contiene i dati dalla data di inizio del monitoraggio fino all'ultimo giorno di acquisizione, con riferimento all'ora solare del fuso orario GMT +01:00. I file sono disponibili in formato .txt e il nome è in accordo con la seguente convenzione:

Dati_Temperatura_ggmmaa.txt

dove:

gg è l'ultimo giorno di monitoraggio presente nel file (da 01 a 31);
mm è il mese, in numero (da 01 a 12);
aa è l'anno.

Un file contenente i dati relativi a tutto il periodo di monitoraggio fino al giorno 31 ottobre 2014, sono contenuti nel *Dati_Temperatura_311014.txt* che si allega alla presente relazione.

Formato dei file

All'interno di ciascuno dei file di testo i dati sono organizzati in forma di tabella, con campi separati da tabulazioni. La prima riga della tabella contiene le intestazioni, dalla seconda in poi sono presenti i dati, organizzati in colonna come riportato nel seguente esempio.

Timestamp	Ch. 1	Ch. 2	Ch. 3	Ch. 4	Ch. 5	Ch. 6
22/02/2014 19:03	14.24	10.16	14.23	9.67	11.27	9.54

Le intestazioni indicano rispettivamente:

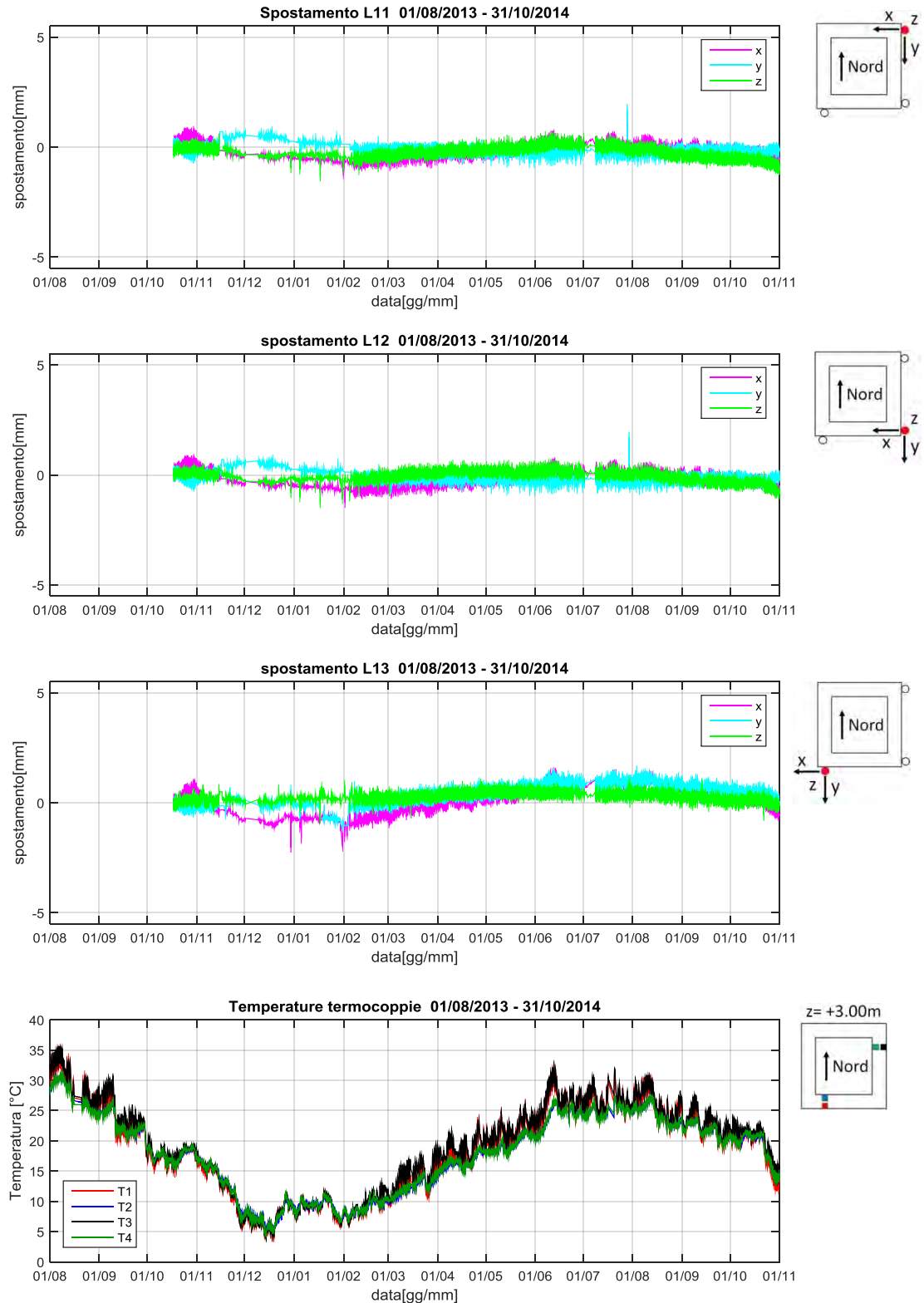
Timestamp Il giorno e l'ora a cui è stata eseguita l'acquisizione; l'ora è sempre quella solare del fuso orario GMT +01:00.

Ch. 1..6 Il valore della temperatura, in gradi Celsius, misurata dai sensori 5 (Ch. 1), 6 (Ch. 2), 7 (Ch. 3), 8 (Ch. 4), 9 (Ch. 5) e 10 (Ch. 6).

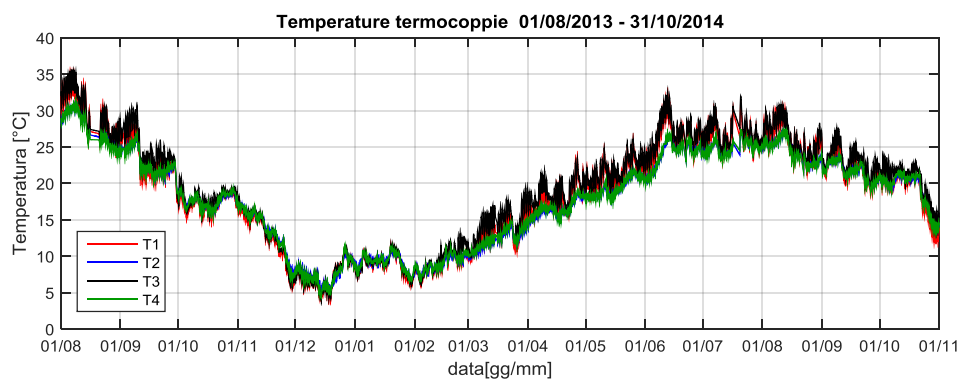
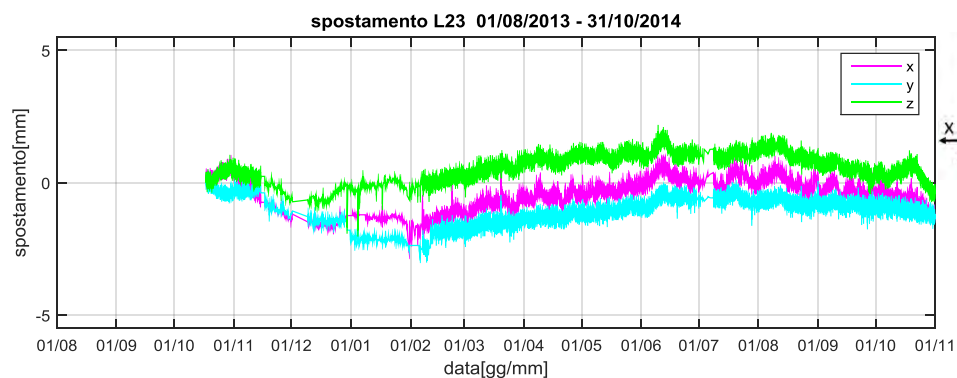
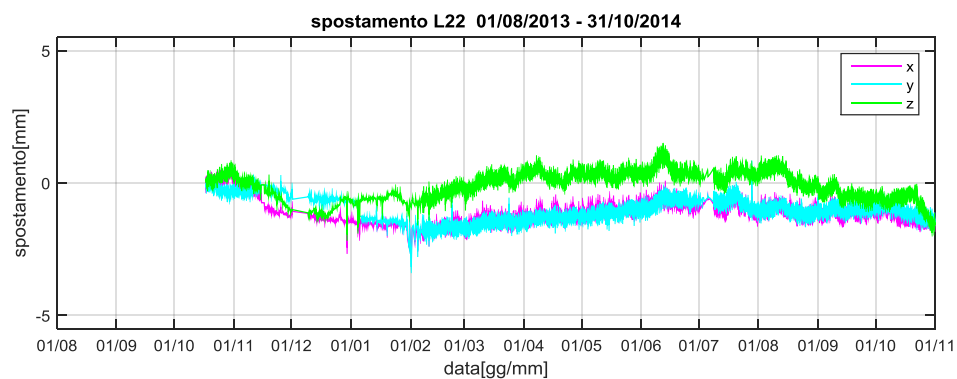
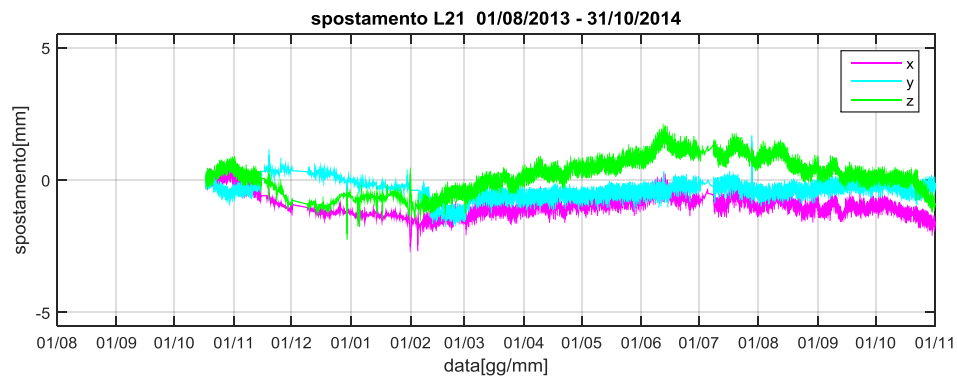
Le posizioni delle termocoppie sono riportate nel dettaglio al capitolo 4.

6.3 Storie temporali di spostamento della Torre nell'intero periodo

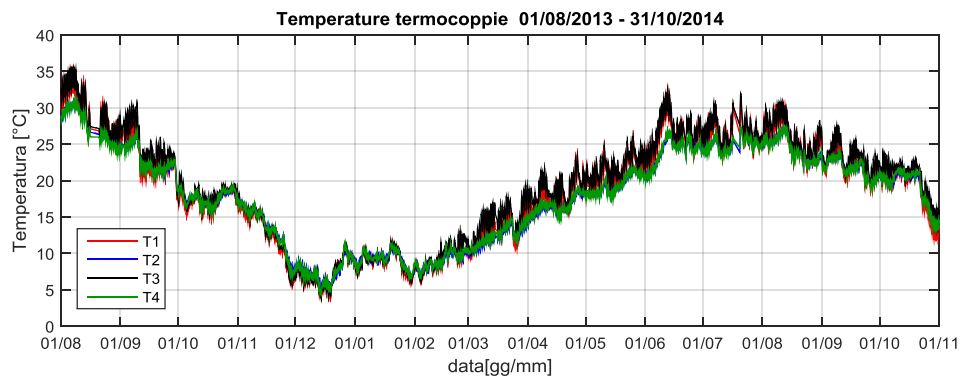
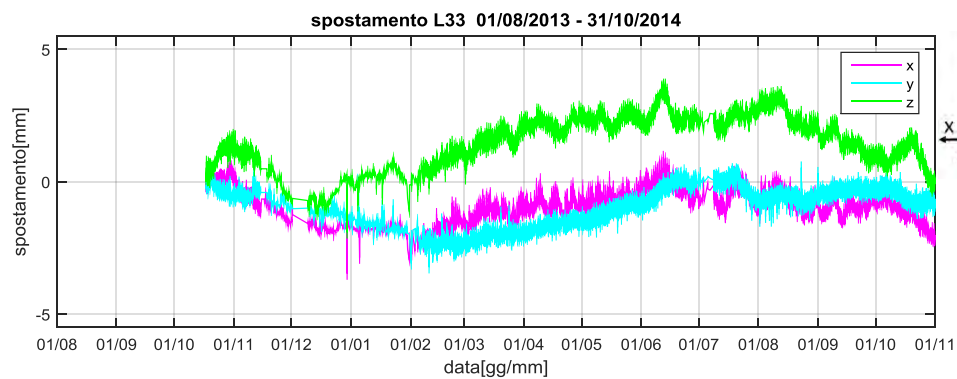
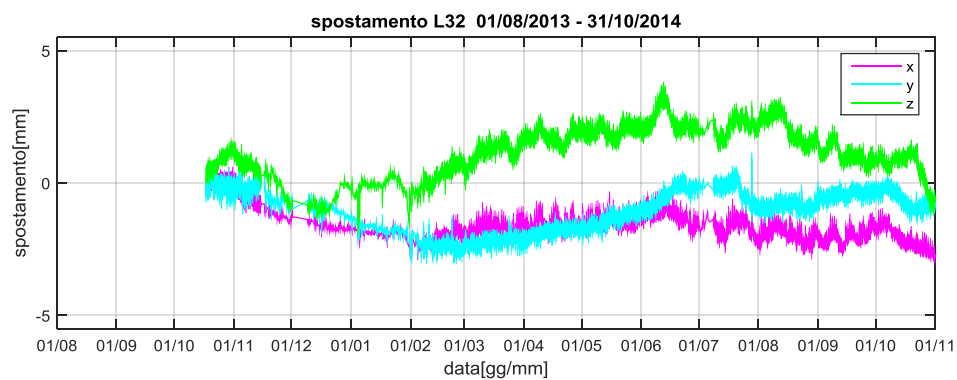
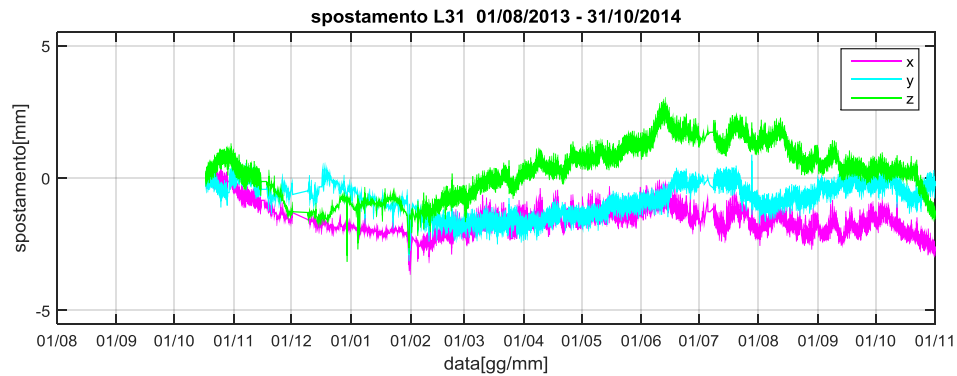
Livello 1 – quota 7.60 m



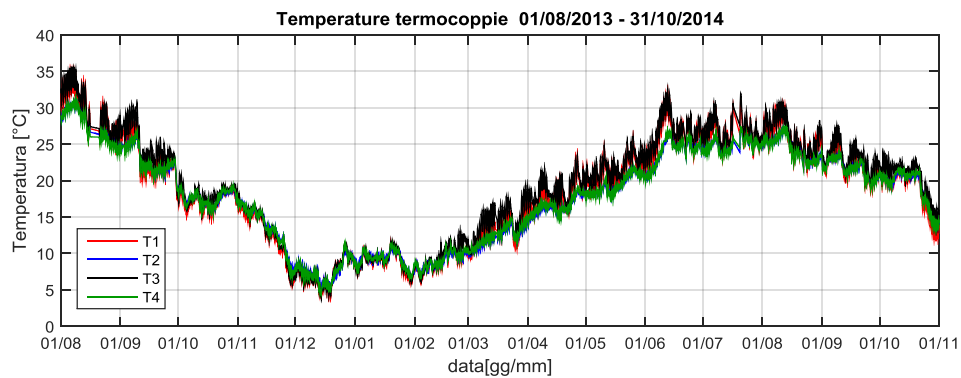
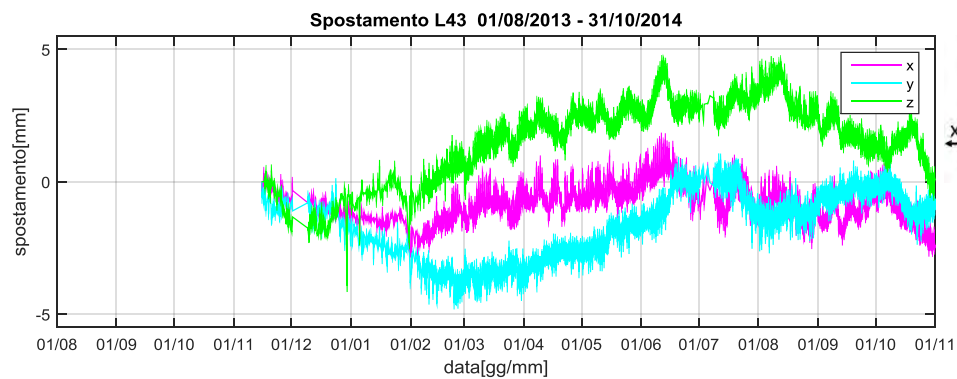
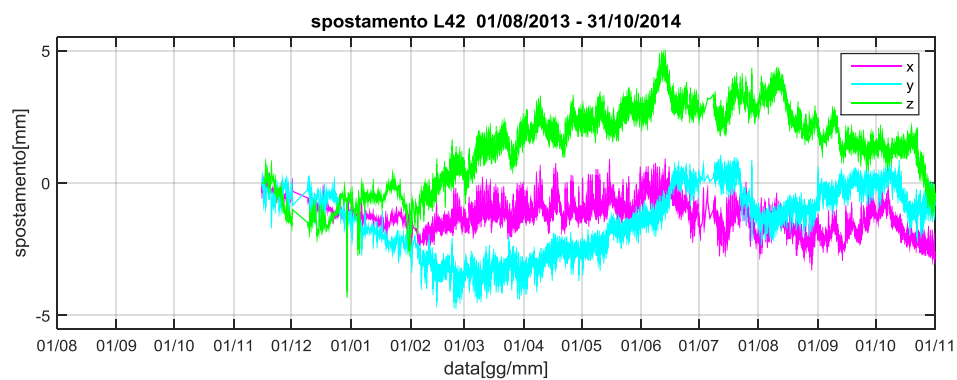
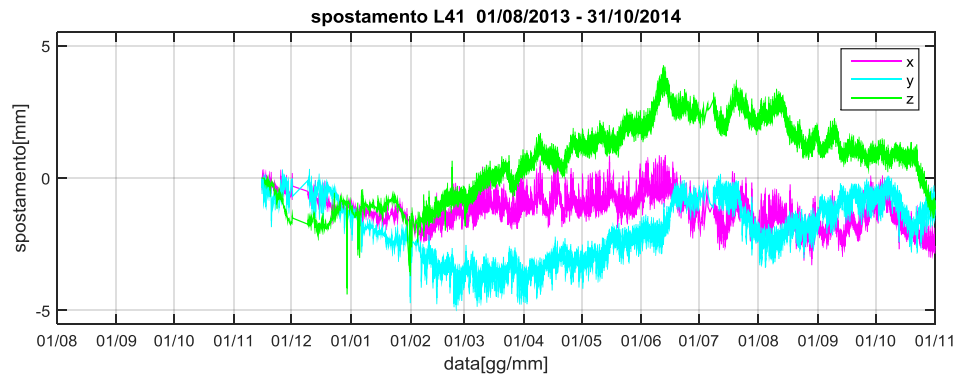
Livello 2 – quota 15.60 m



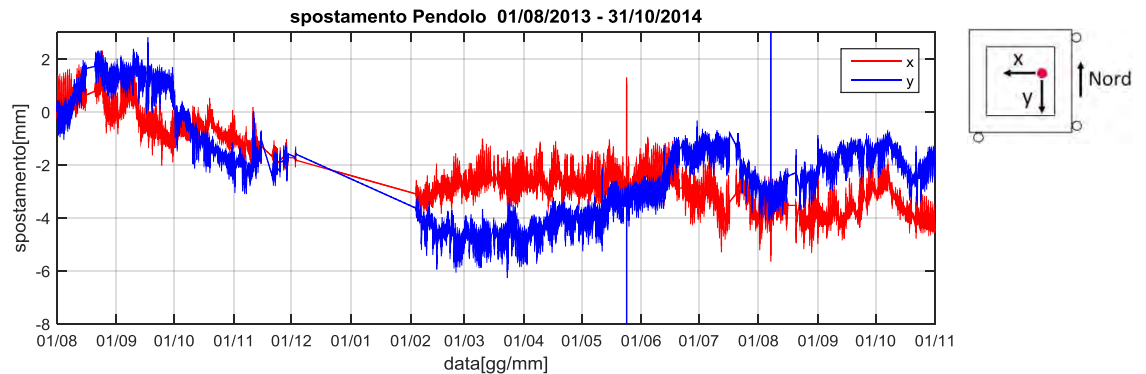
Livello 3 – quota 23.20 m



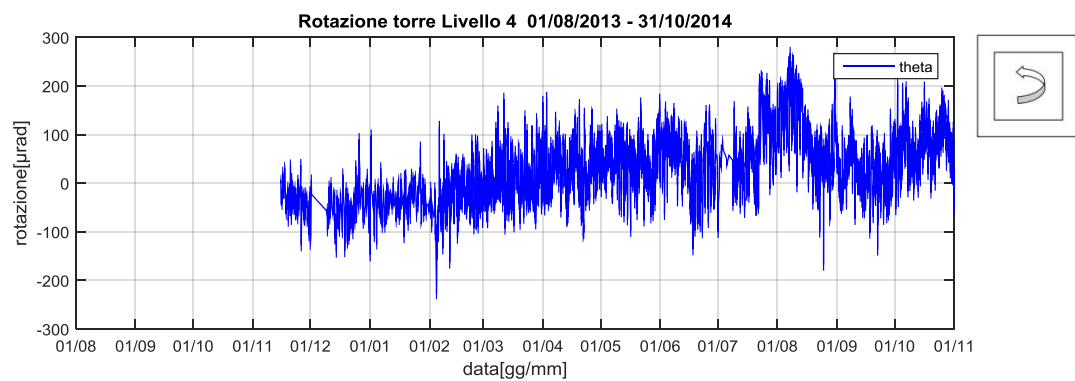
Livello 4 – quota 30.80 m



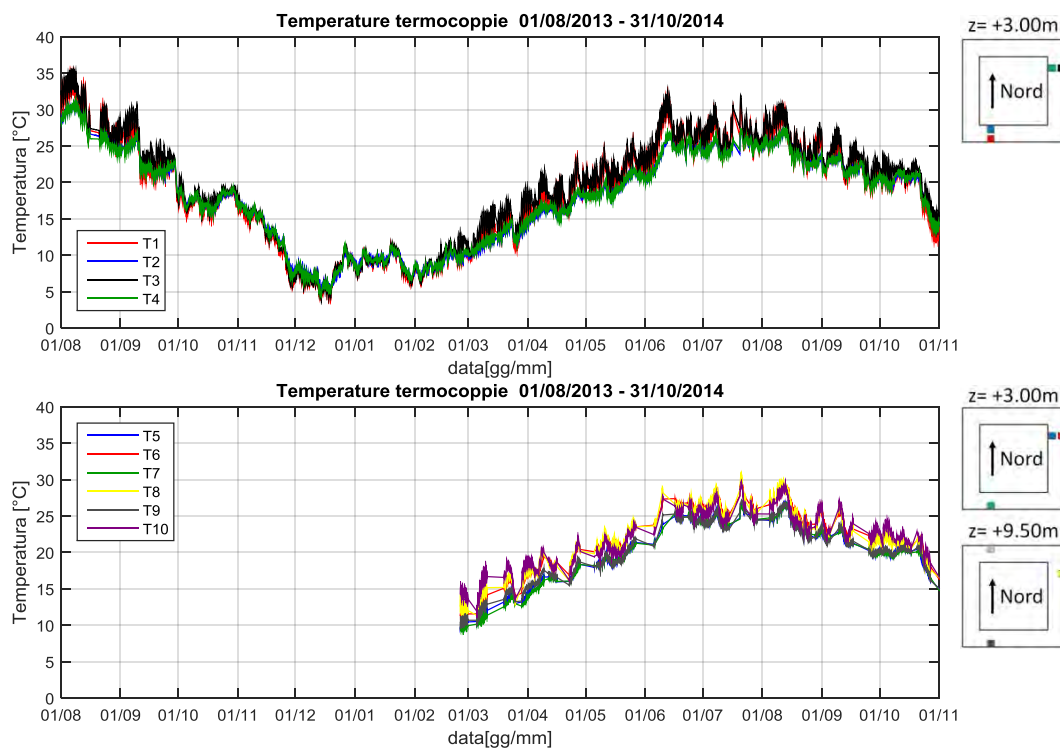
Pendolo



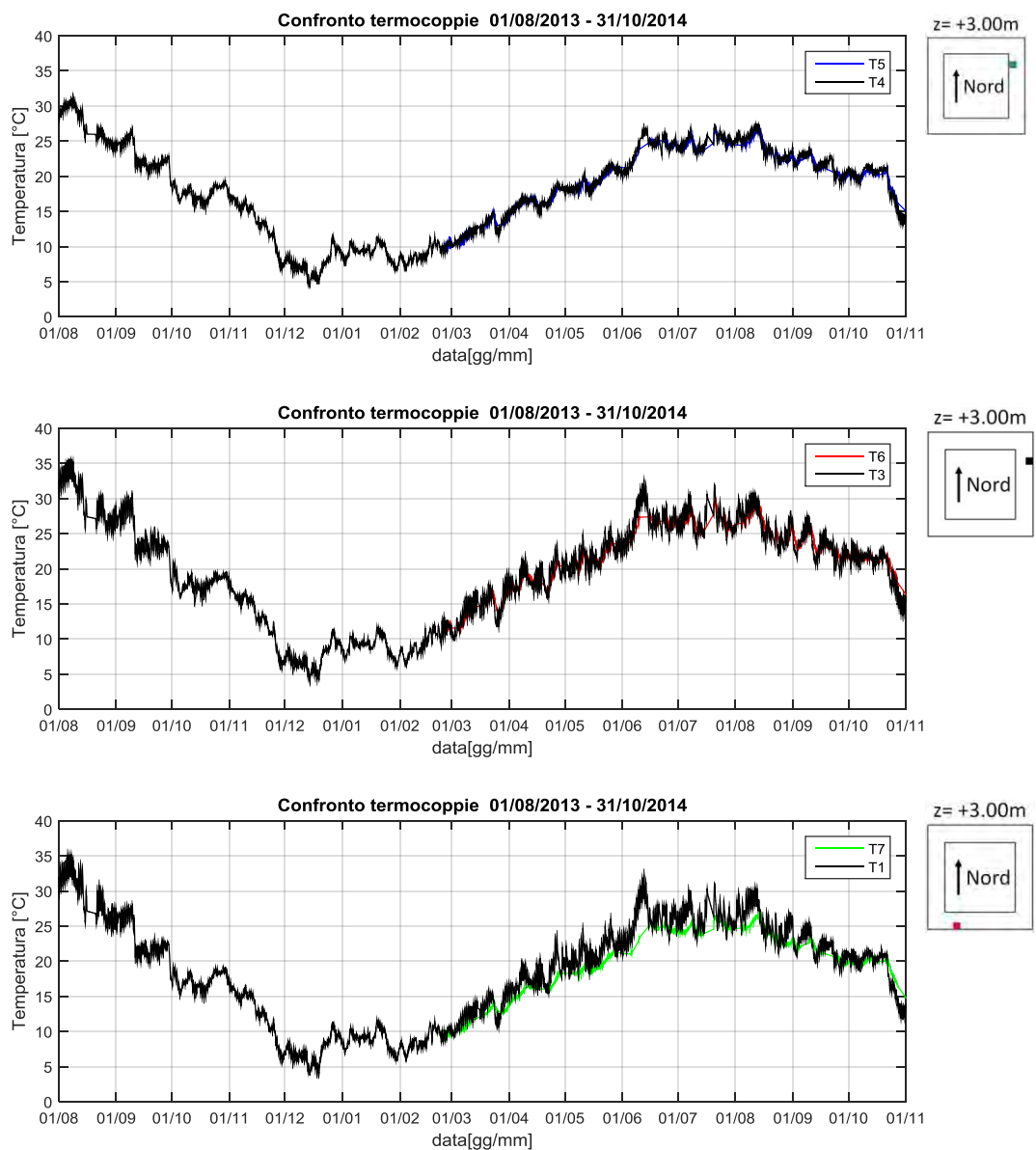
Rotazione



6.4 Storie temporali di temperatura nell'intero periodo

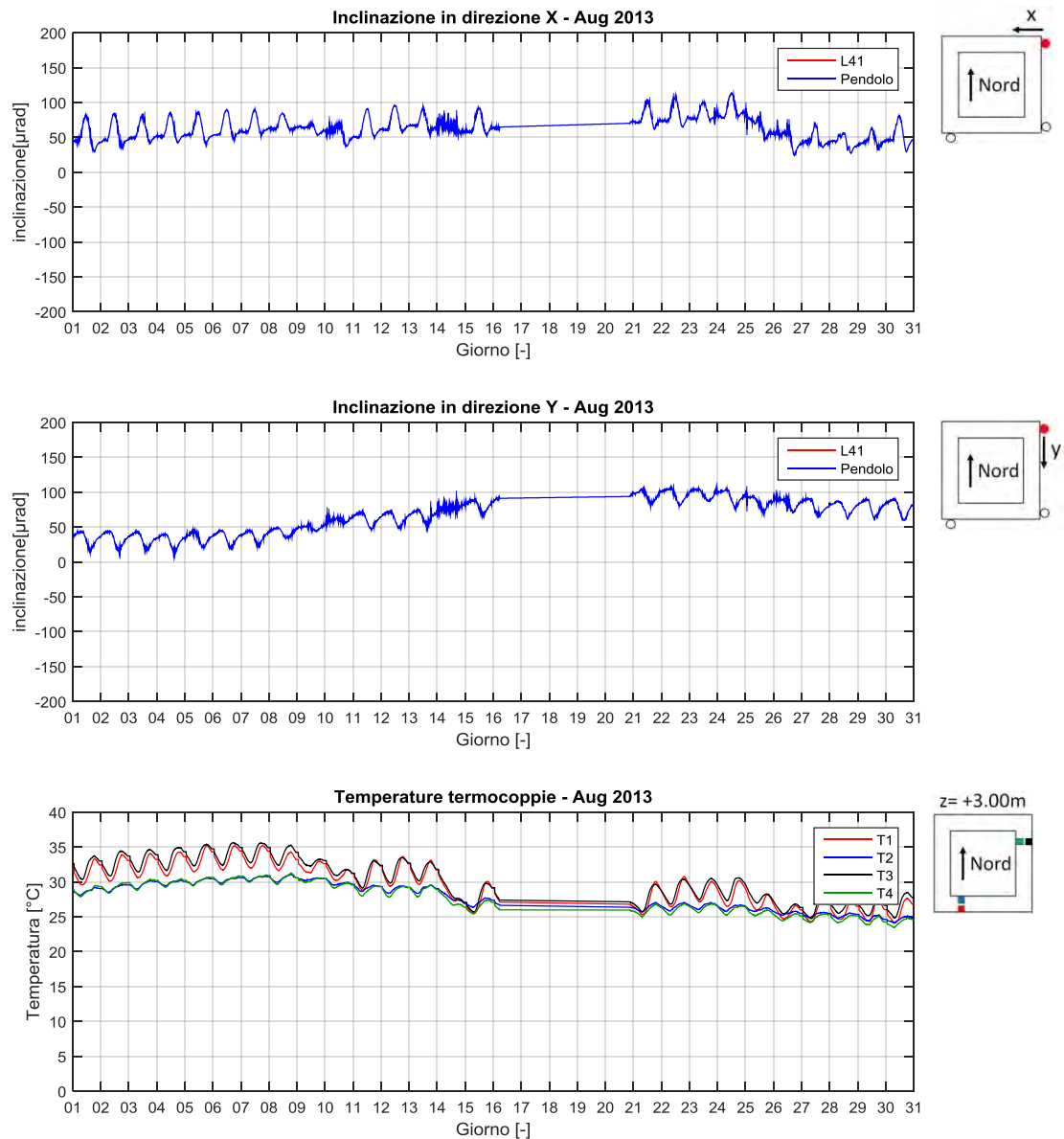


Si riporta, nelle posizioni dove è possibile, il confronto tra le termocoppie precedenti e le termocoppie nuove.

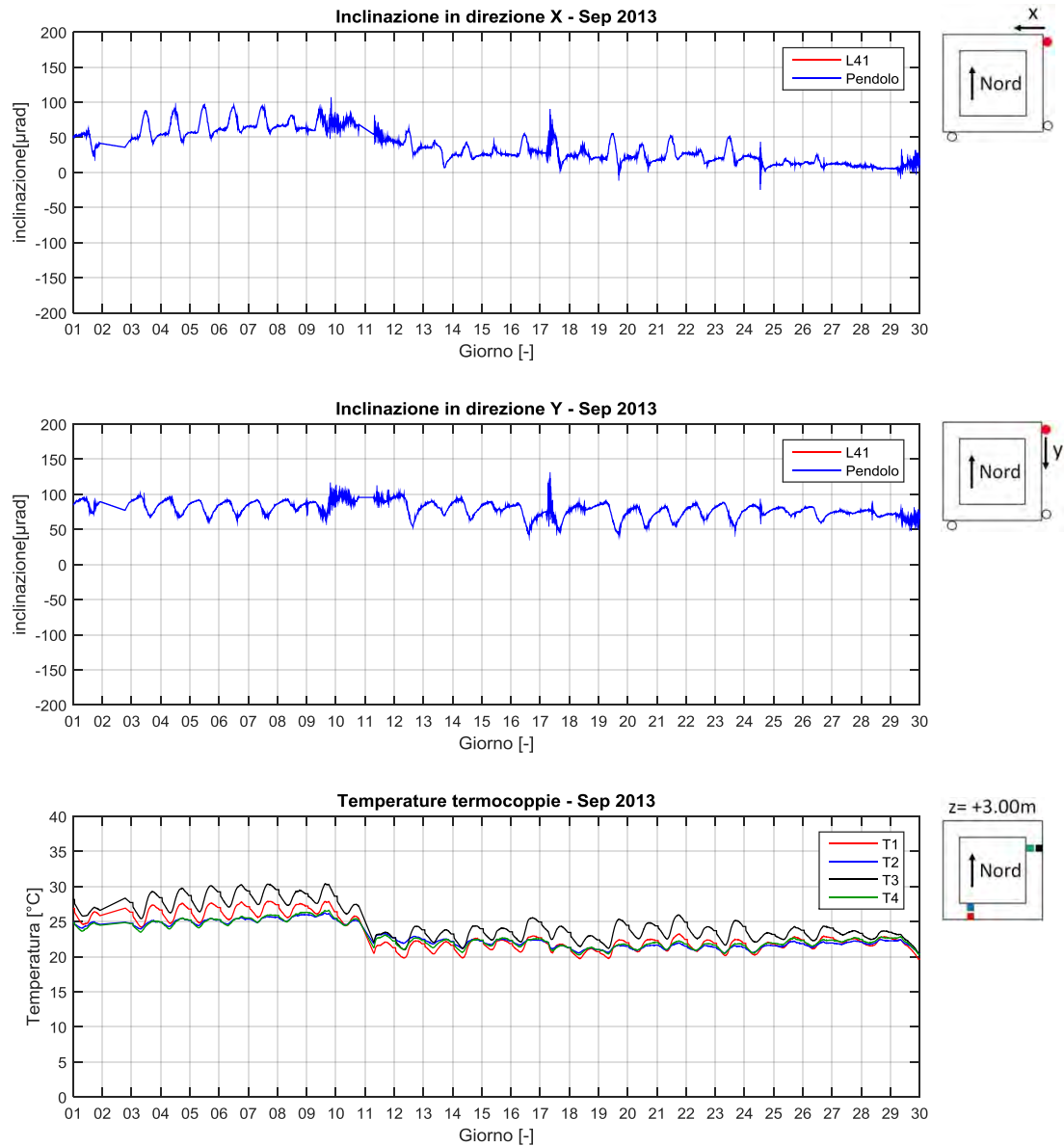


6.5 Dati mensili

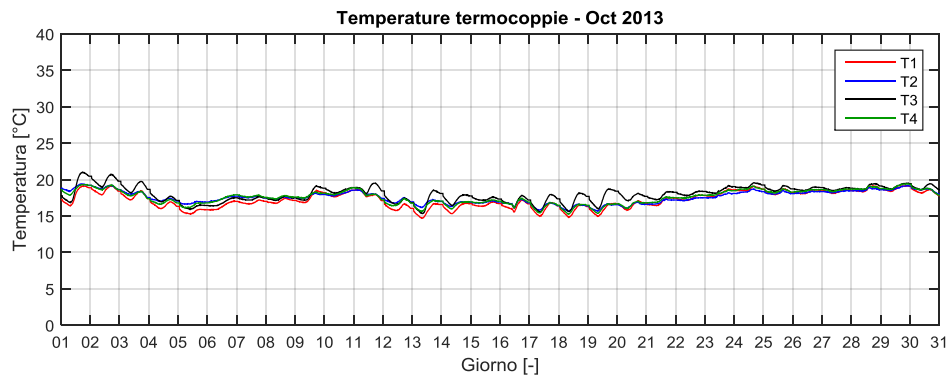
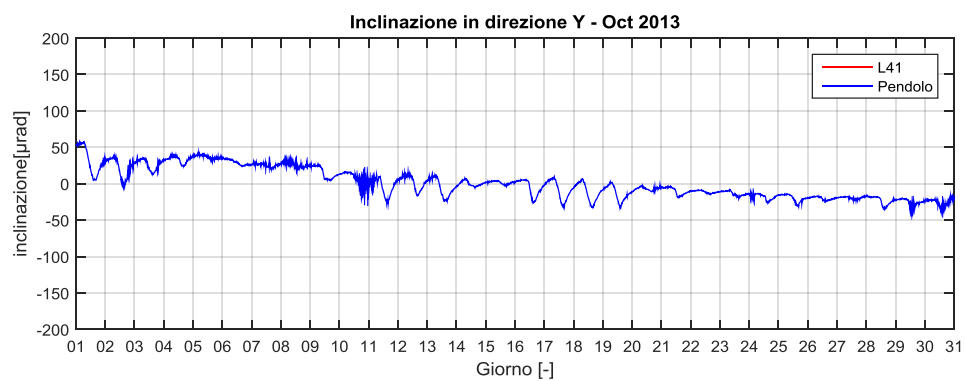
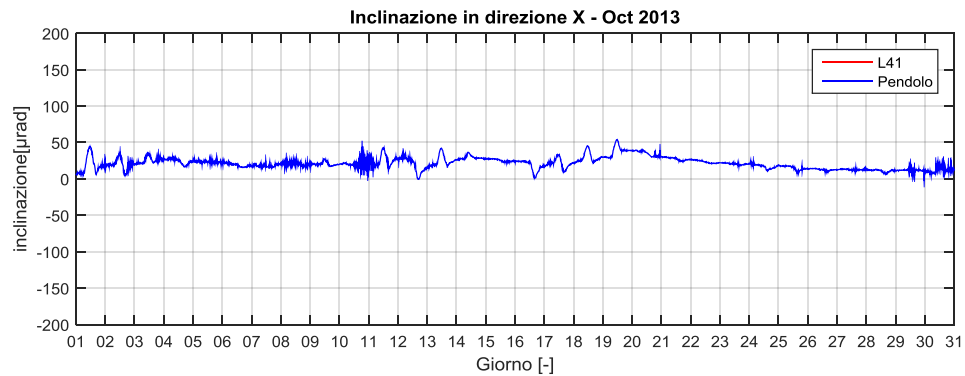
Agosto 2013



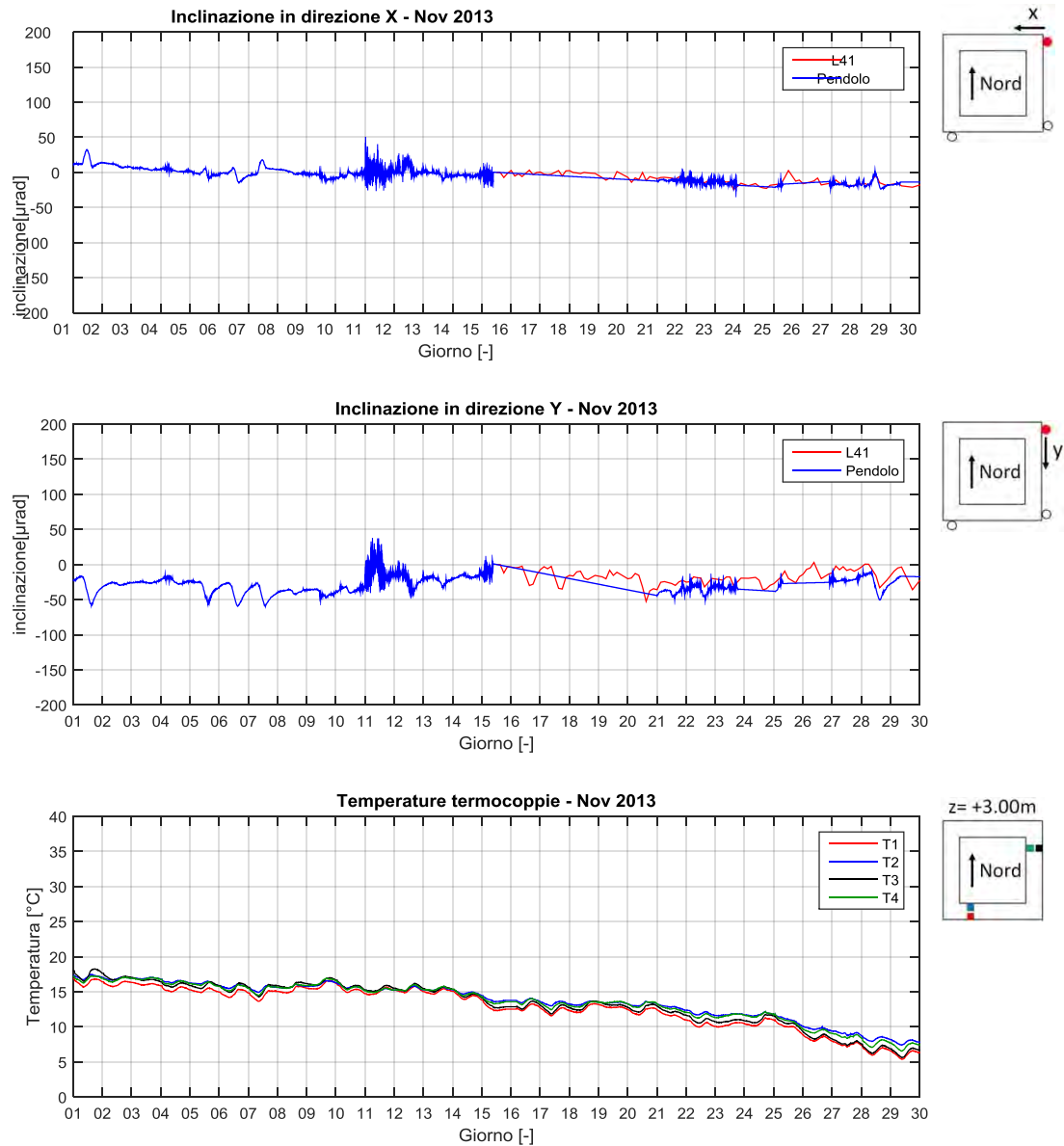
Settembre 2013



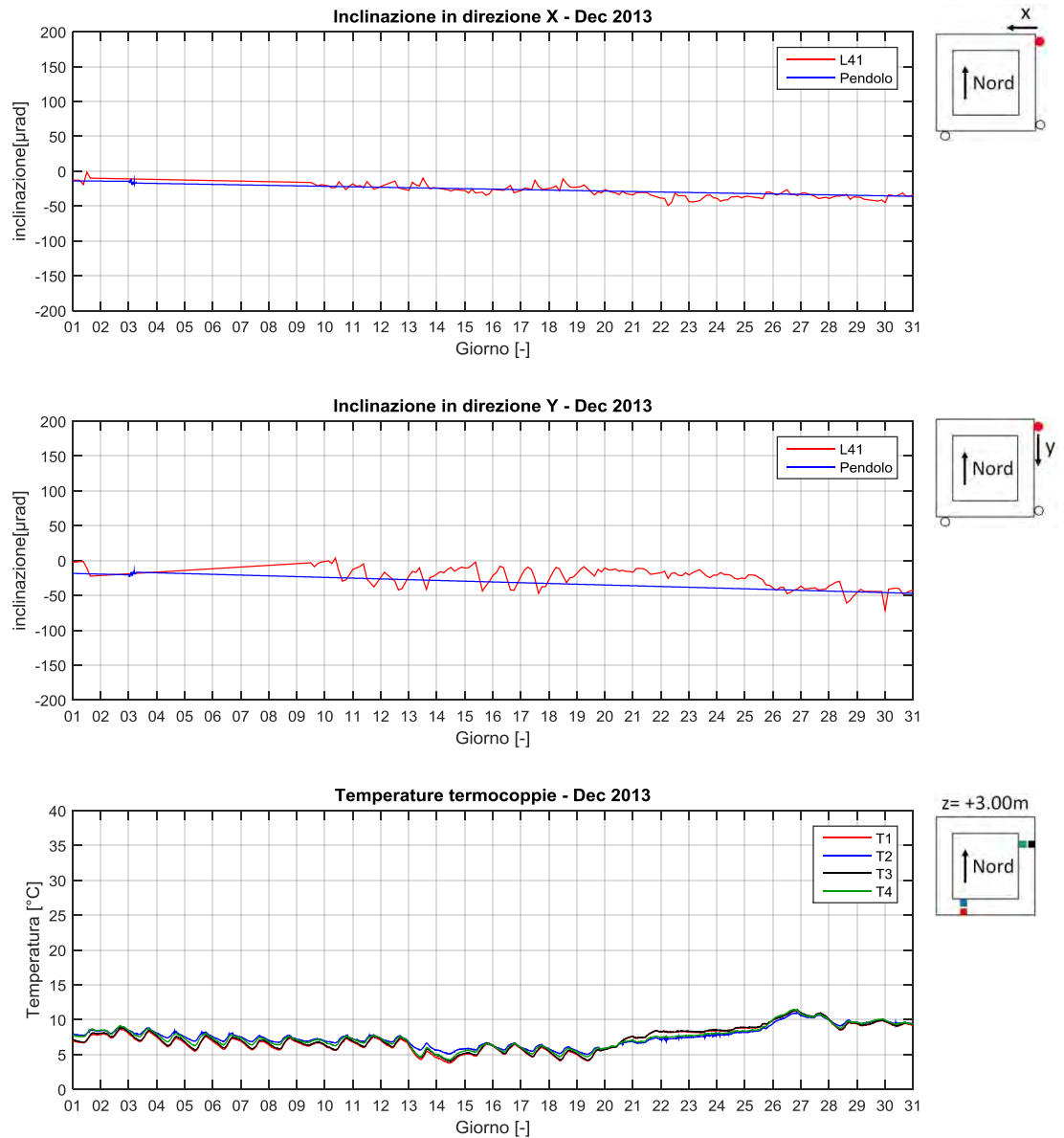
Ottobre 2013



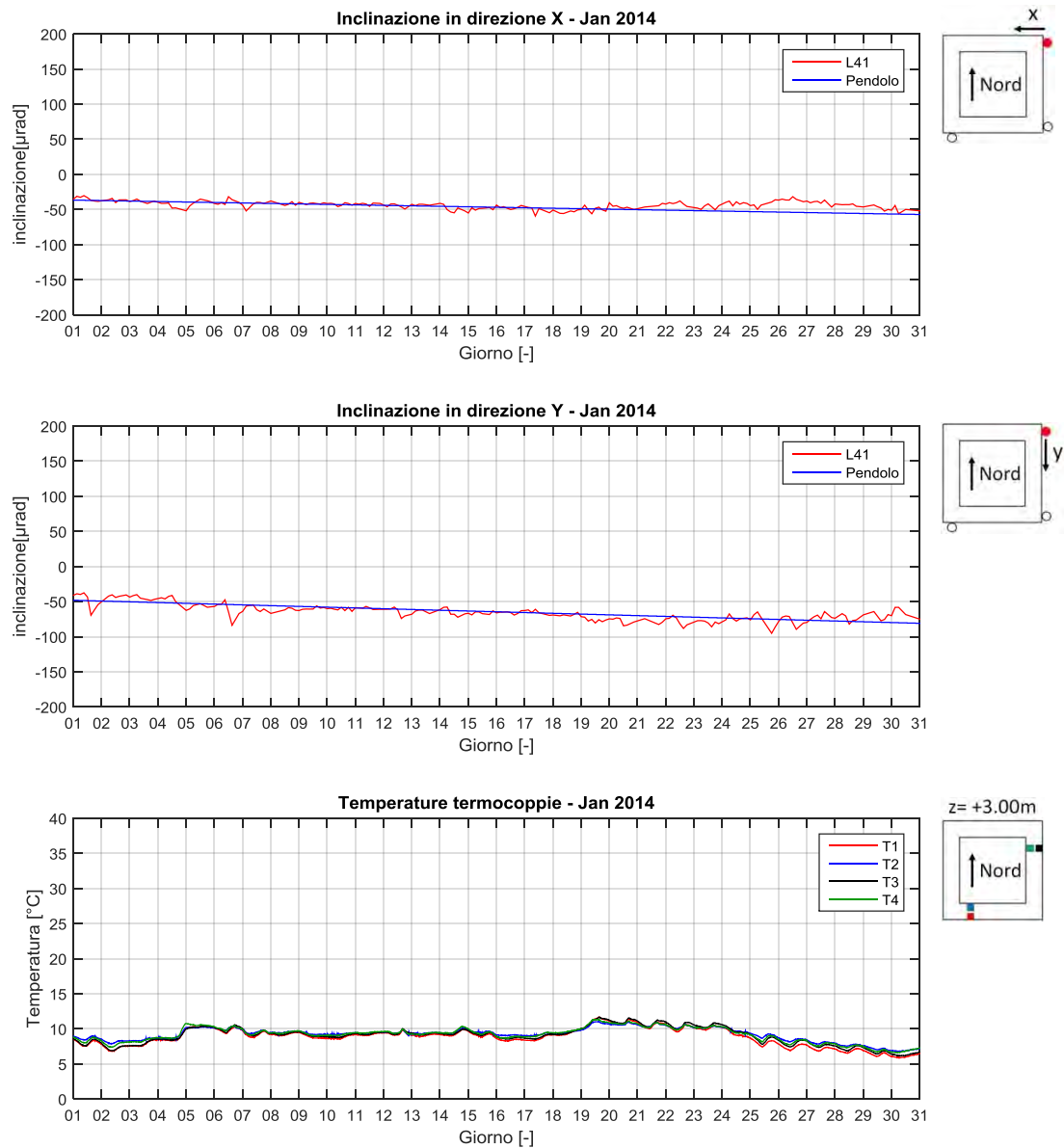
Novembre 2013



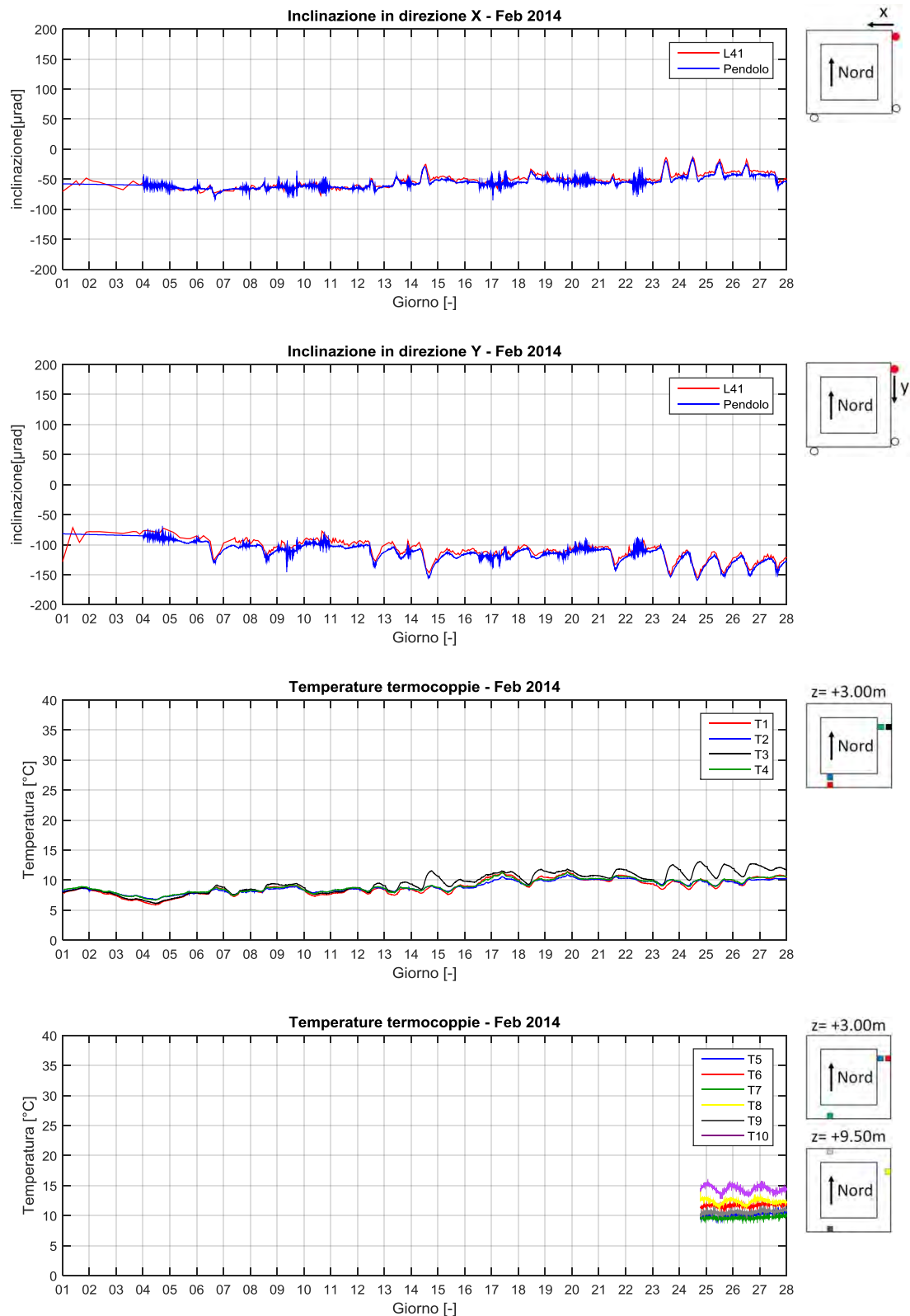
Dicembre 2013



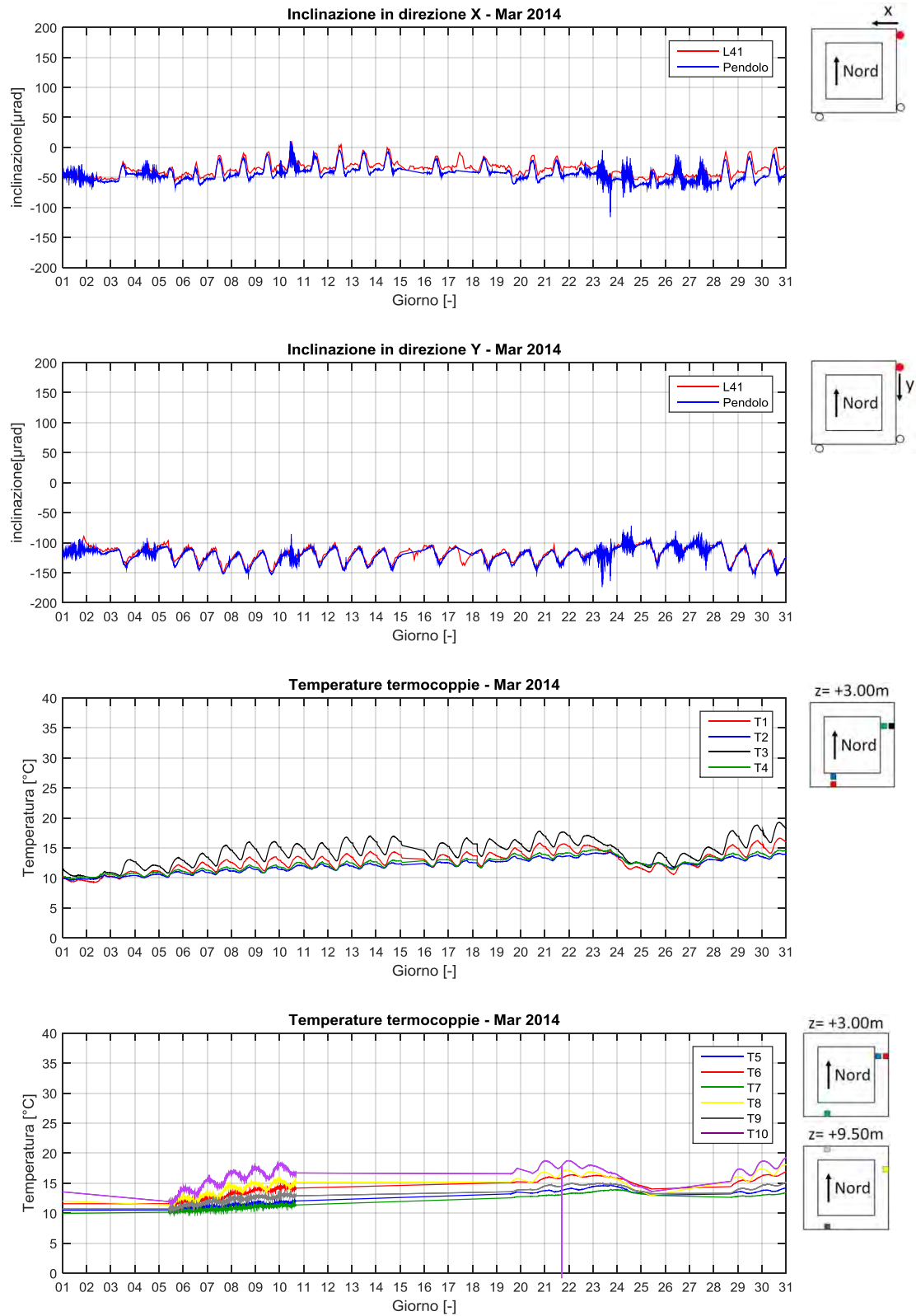
Gennaio 2014



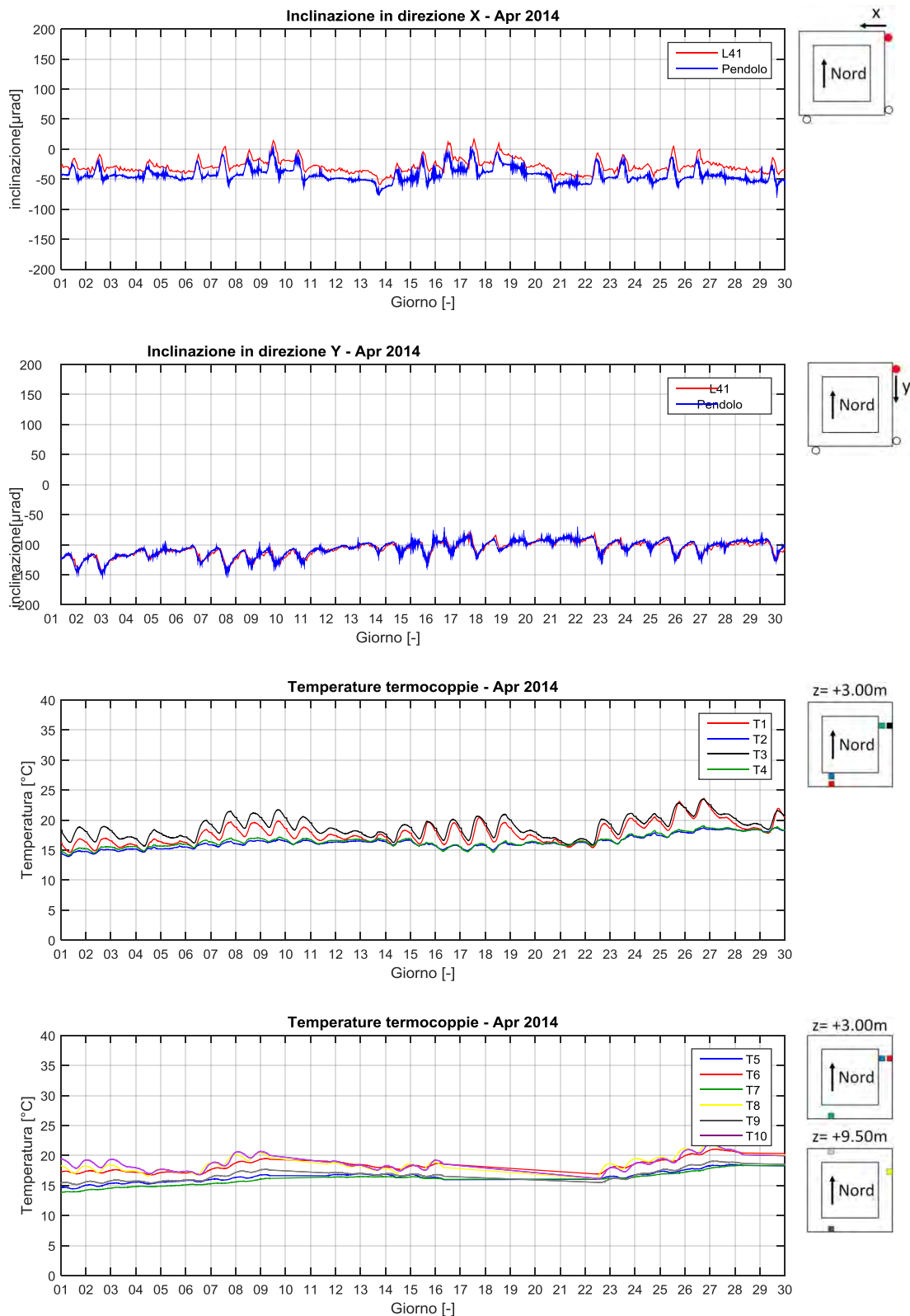
Febbraio 2014



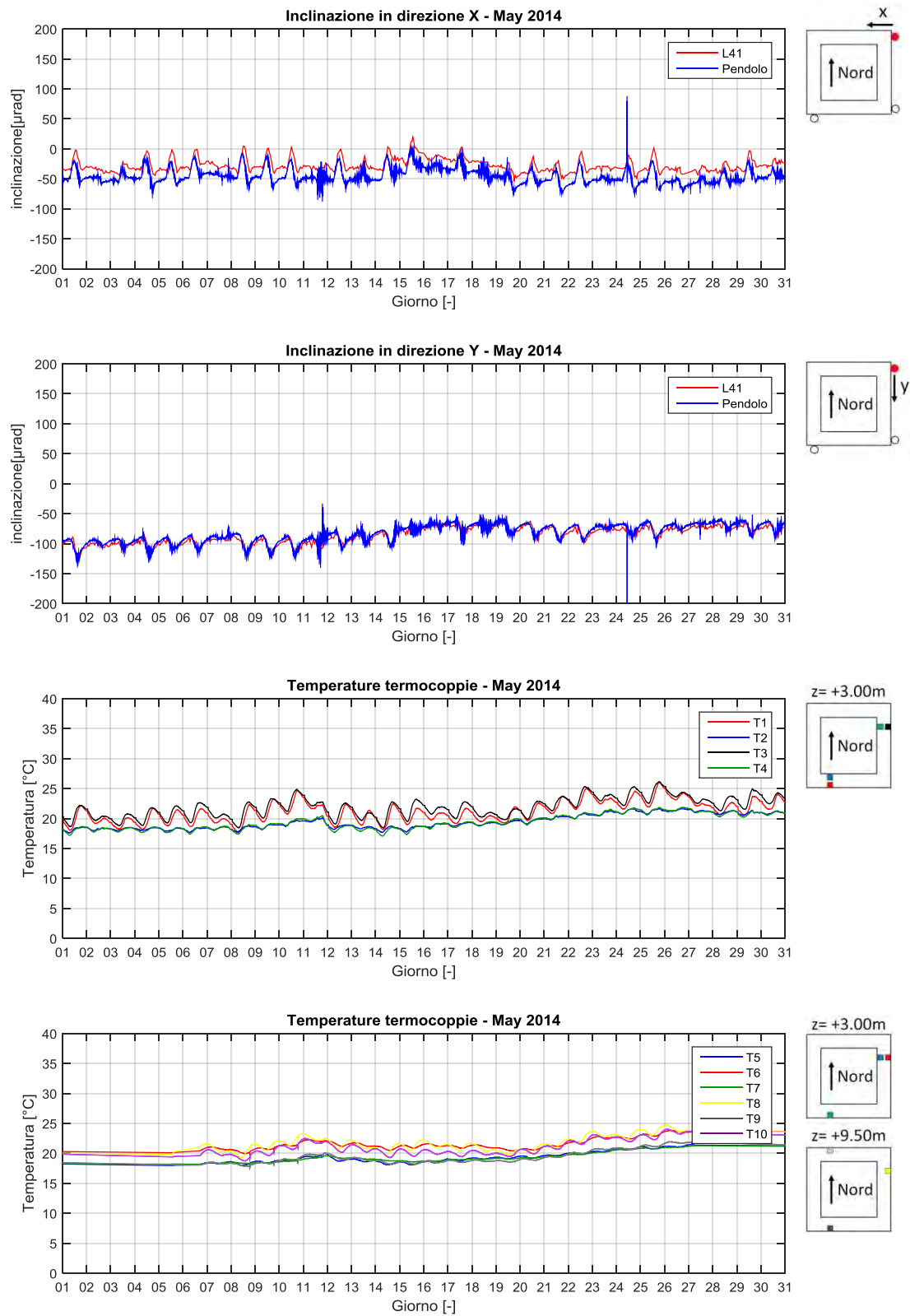
Marzo 2014



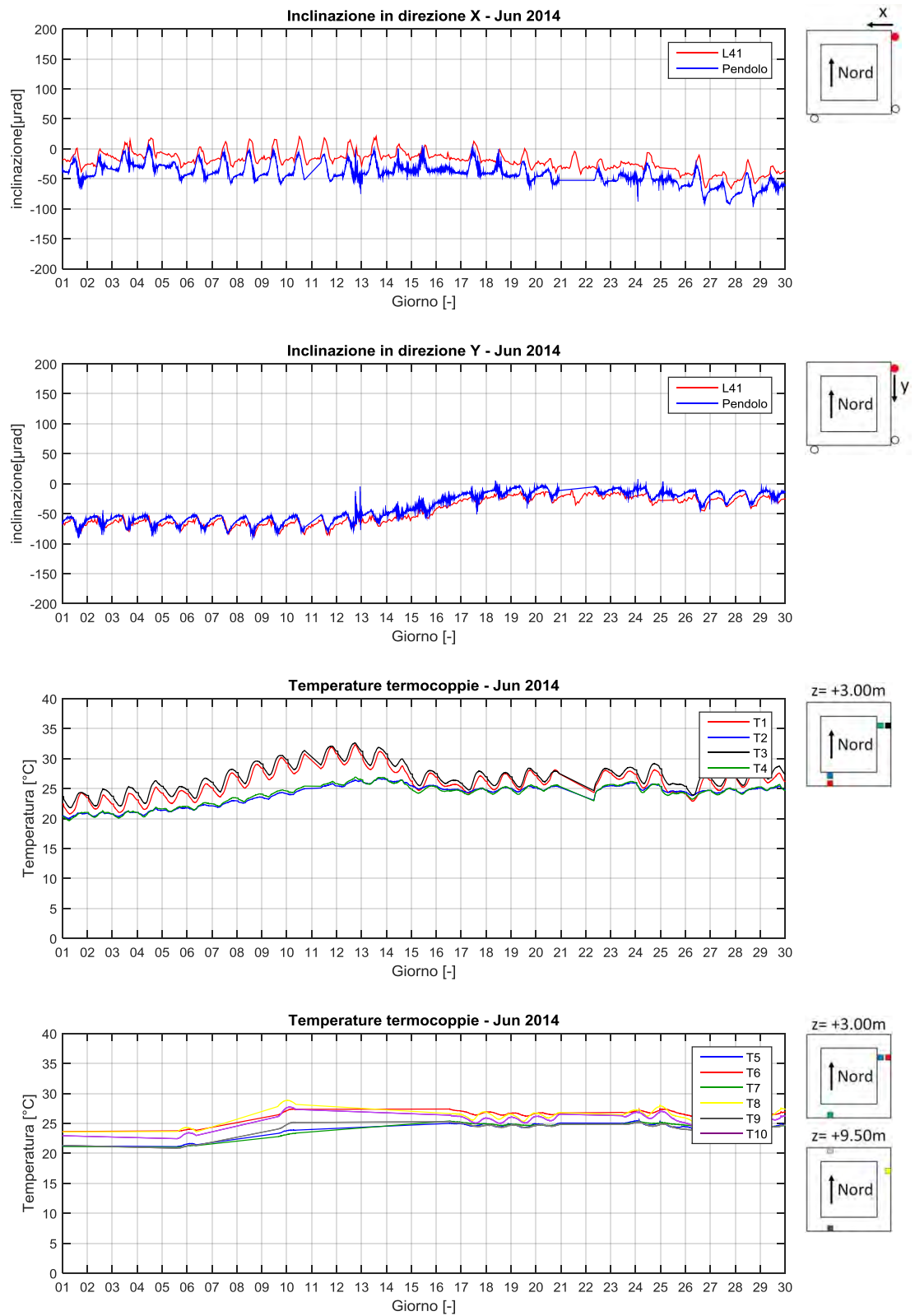
Aprile 2014



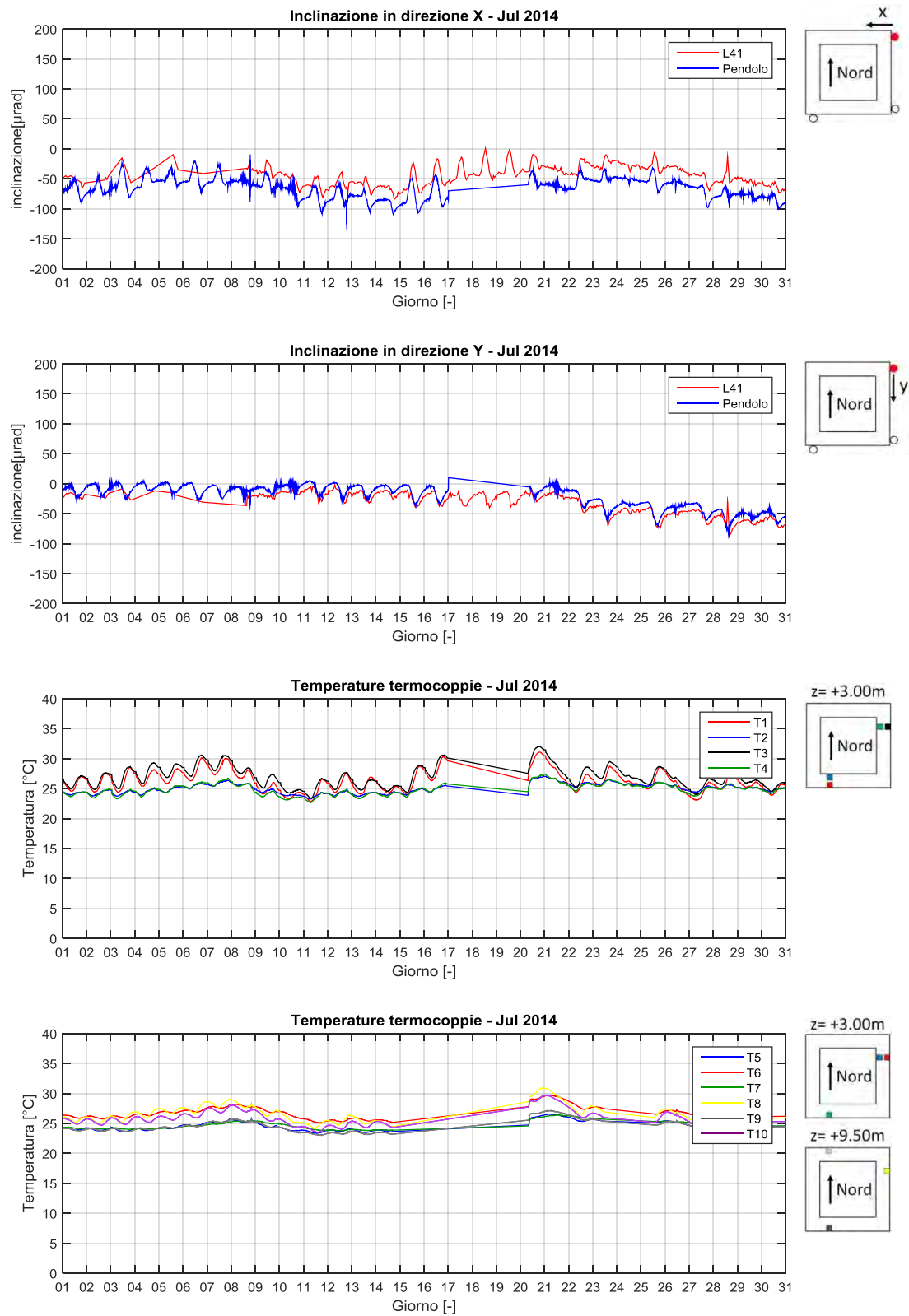
Maggio 2014



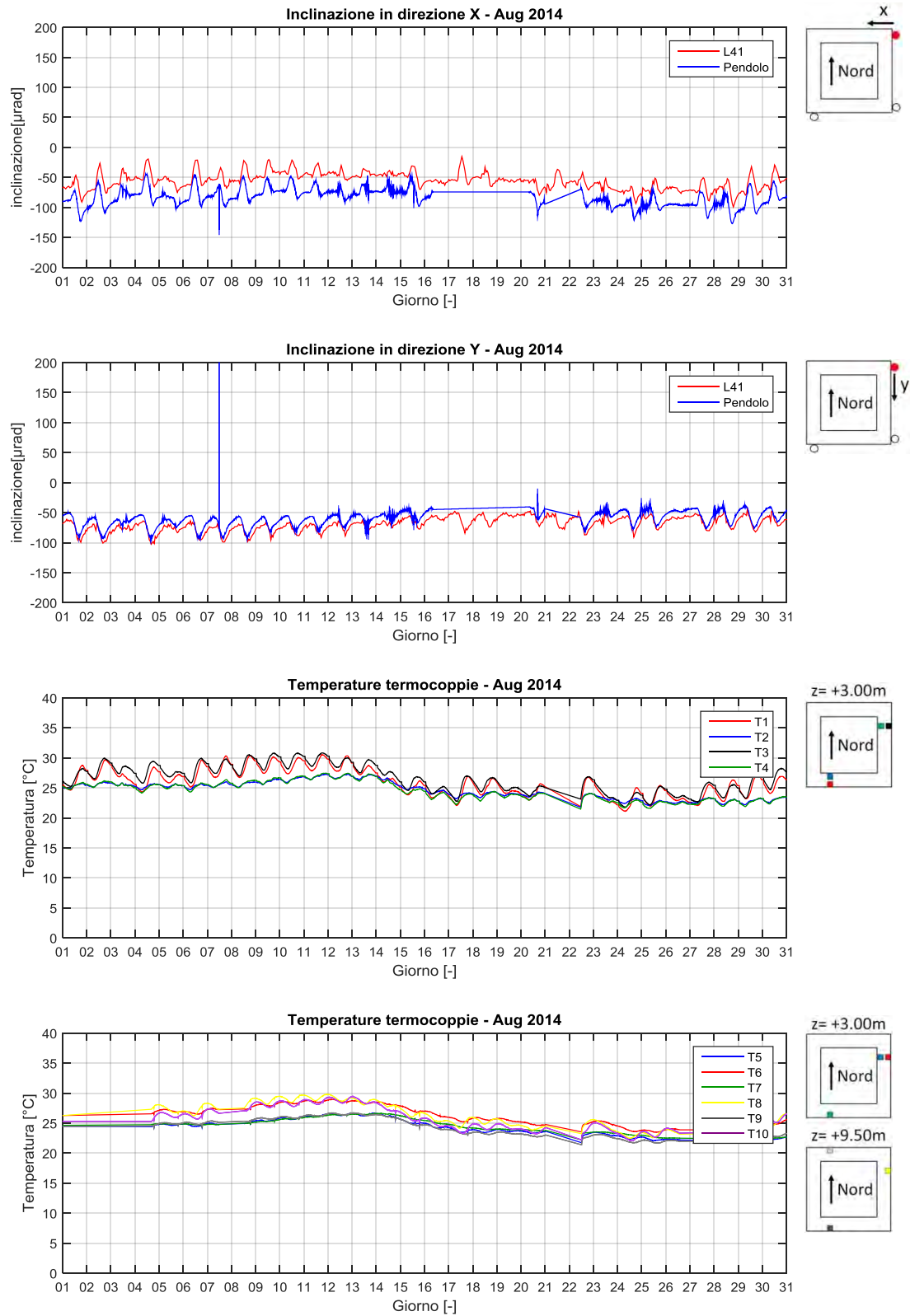
Giugno 2014



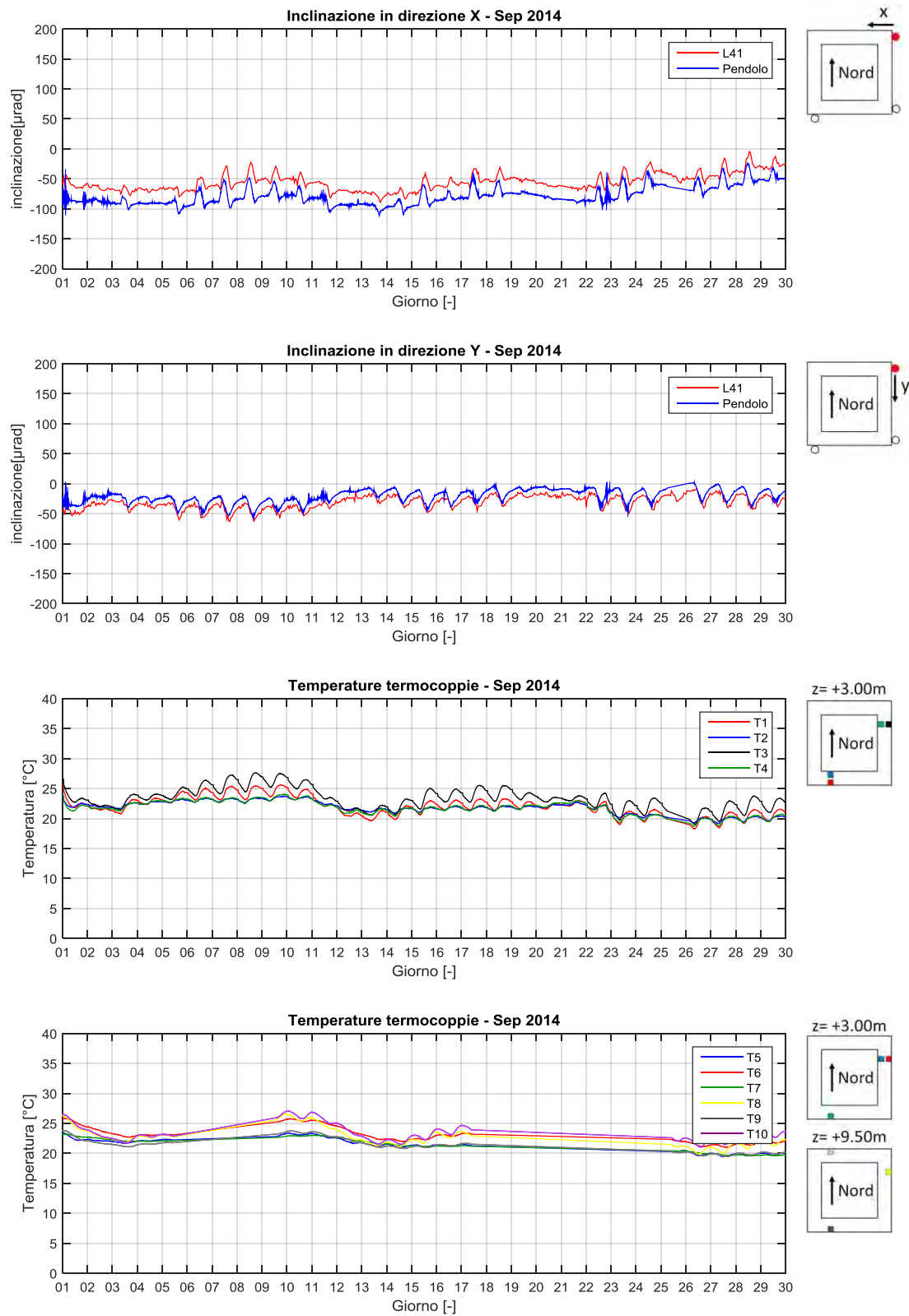
Luglio 2014



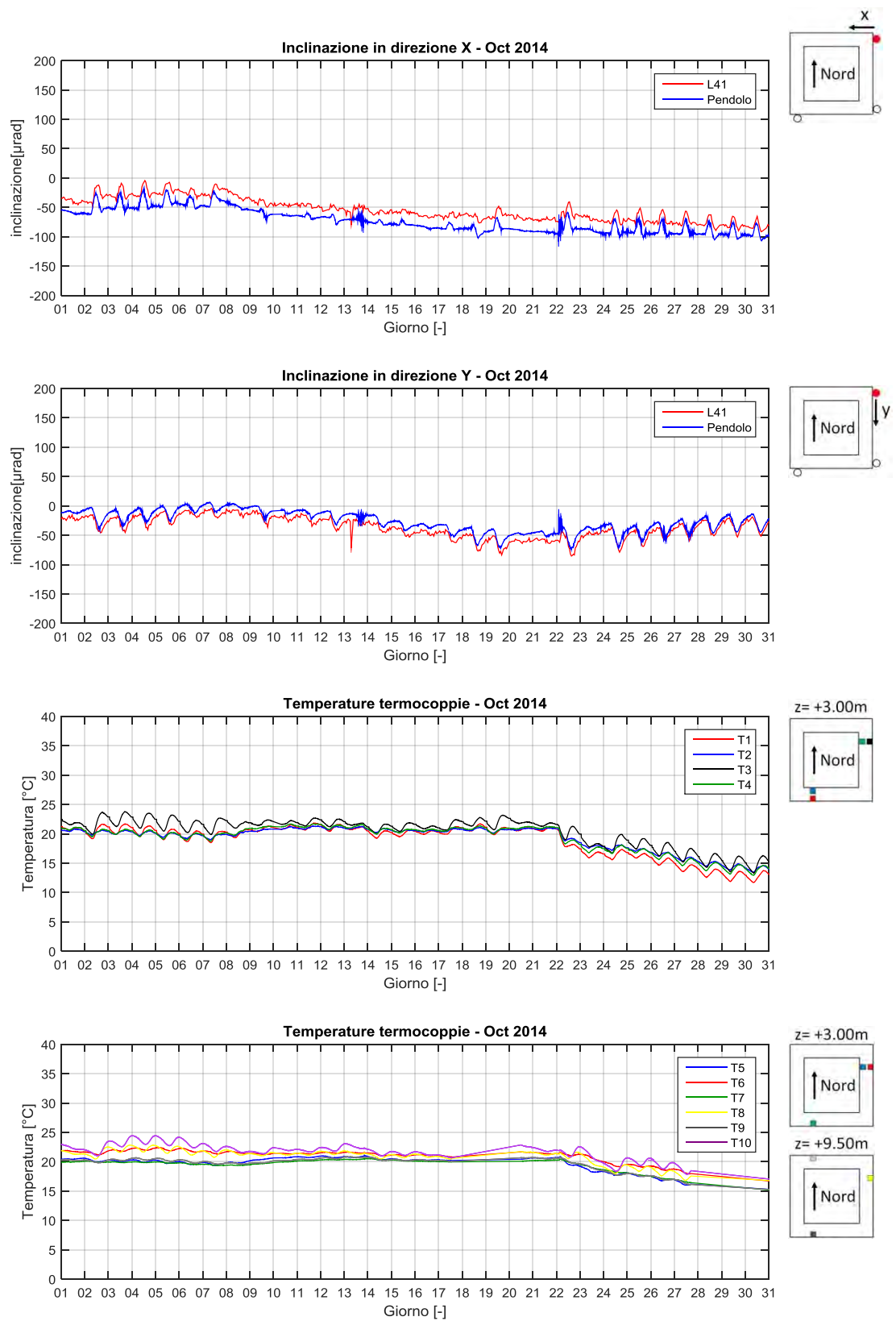
Agosto 2014



Settembre 2014



Ottobre 2014



6.6 Deformata

L'utilizzo della stazione totale come sistema di monitoraggio permette di conoscere dei dati aggiuntivi rispetto alle informazioni date dal pendolo. E' possibile infatti ricostruire la deformata della torre lungo tutta la sua altezza avendo disposto i prismi su 4 livelli (Figura 10).

In Figura viene rappresentata la deformata della torre civica in corrispondenza dei 4 prismi L12, L22, L32, L42 posizionati vicino allo spigolo sud-est della torre. In particolare si mostra la deformata della torre in due diverse ore del giorno, ore 00:00 e ore 06:00, proiettata rispetto alla direzione nord-sud.

Il giorno dal quale si sono estratti i dati è il 17/11/2013.

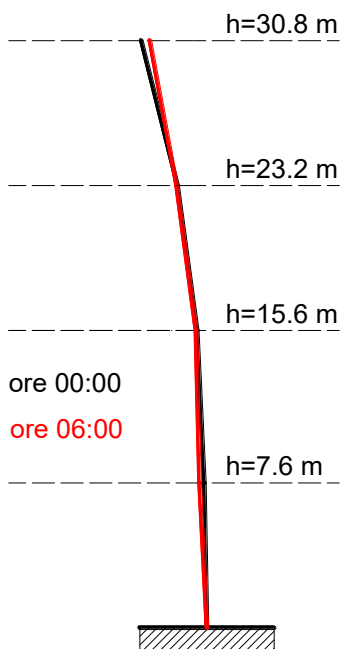


Figura 10 - Deformata dello spigolo sud-est della torre civica (prismi L12, L22, L32, L42) del giorno 17/11/2013.

In Figura si mostra invece, per gli stessi momenti della giornata, la deformata dei 4 livelli della torre con vista dall'alto. La deformata è stata amplificata di 1000 volte.

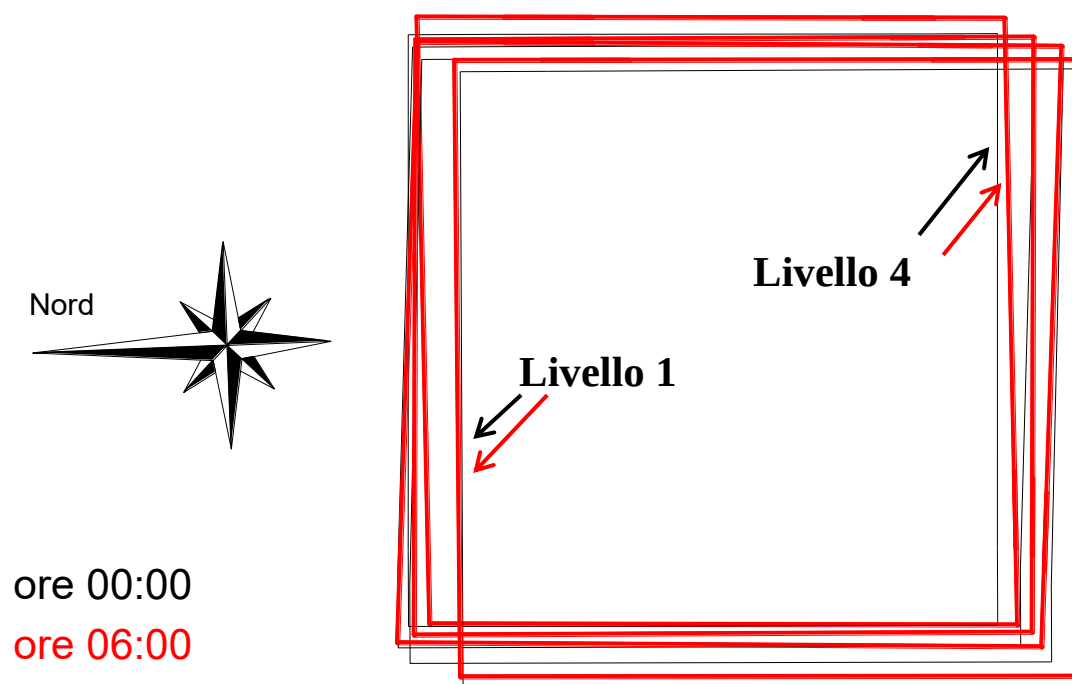
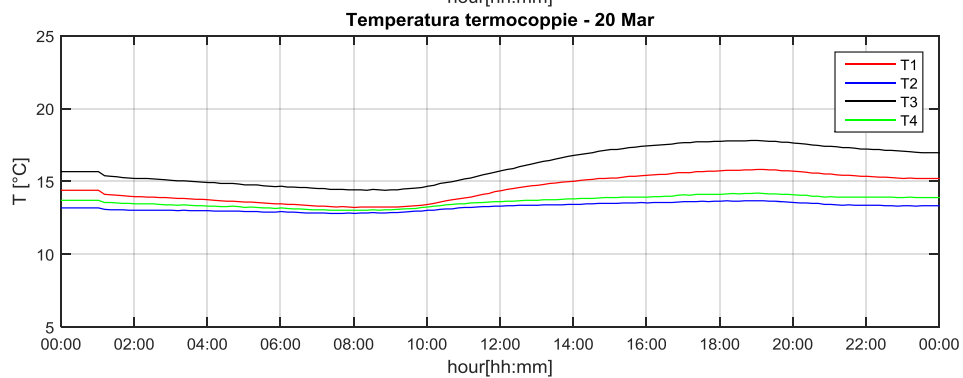
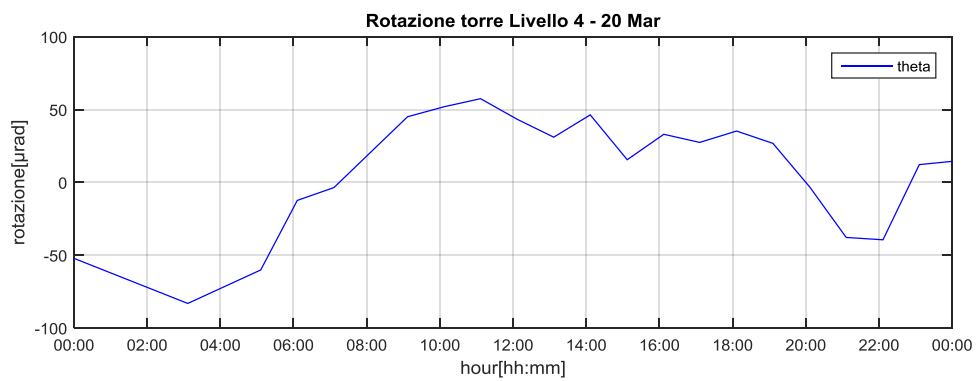
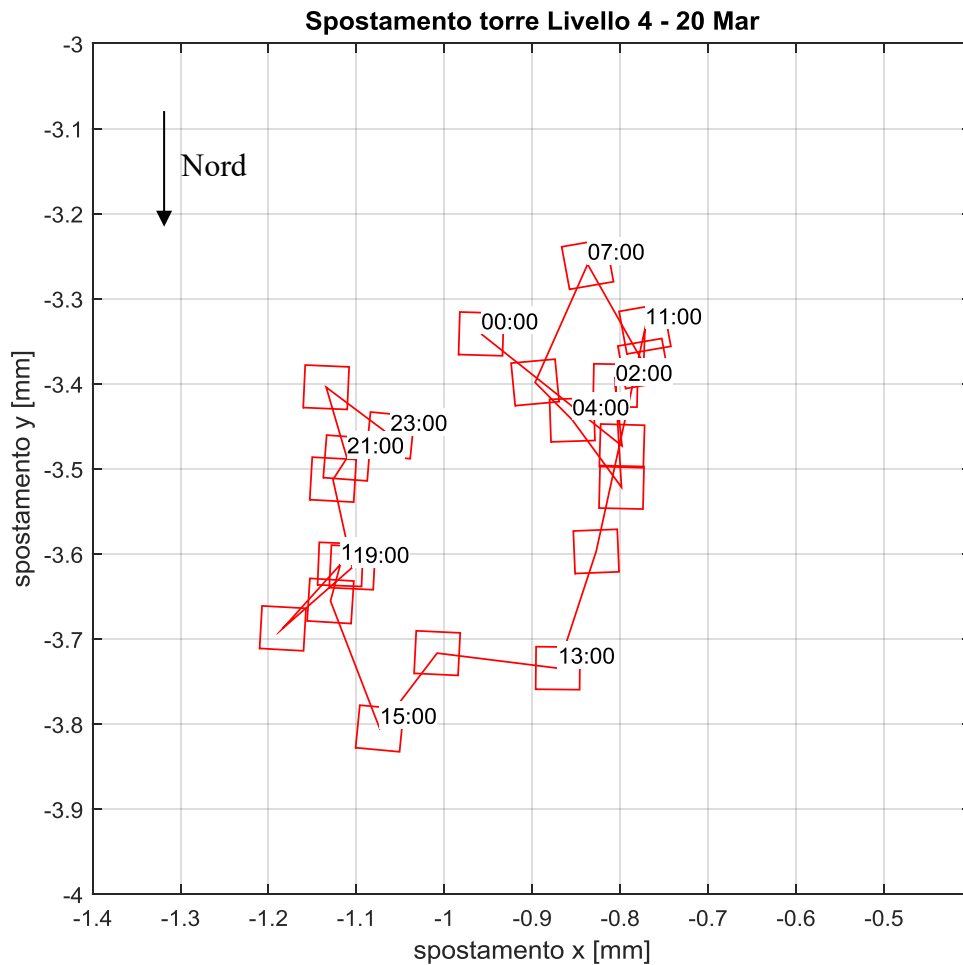


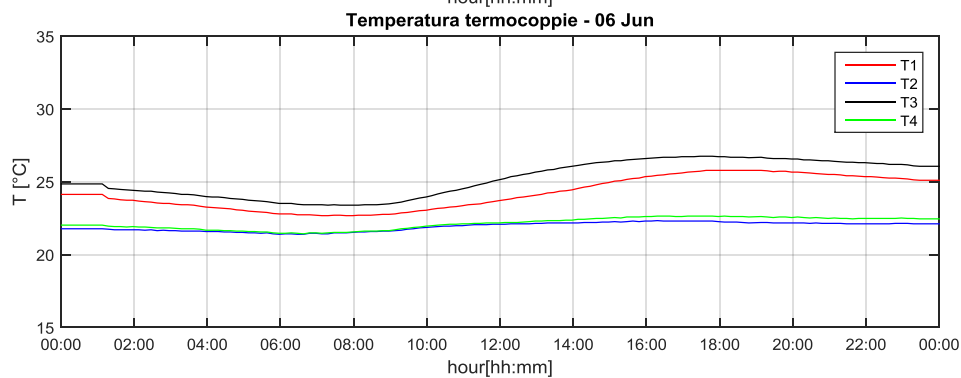
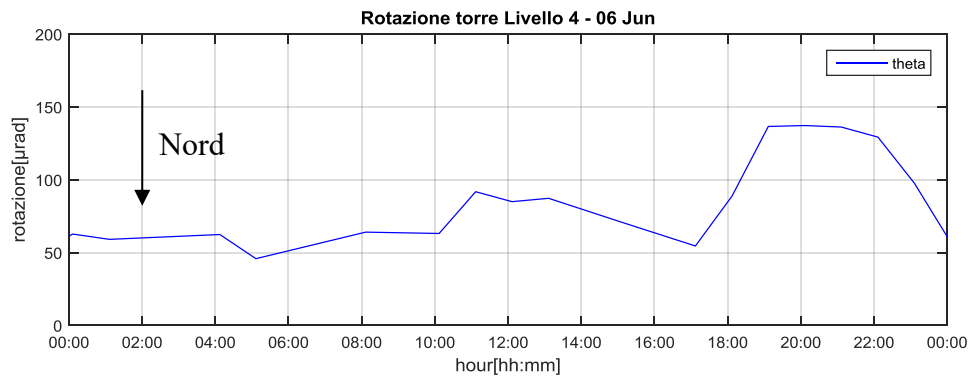
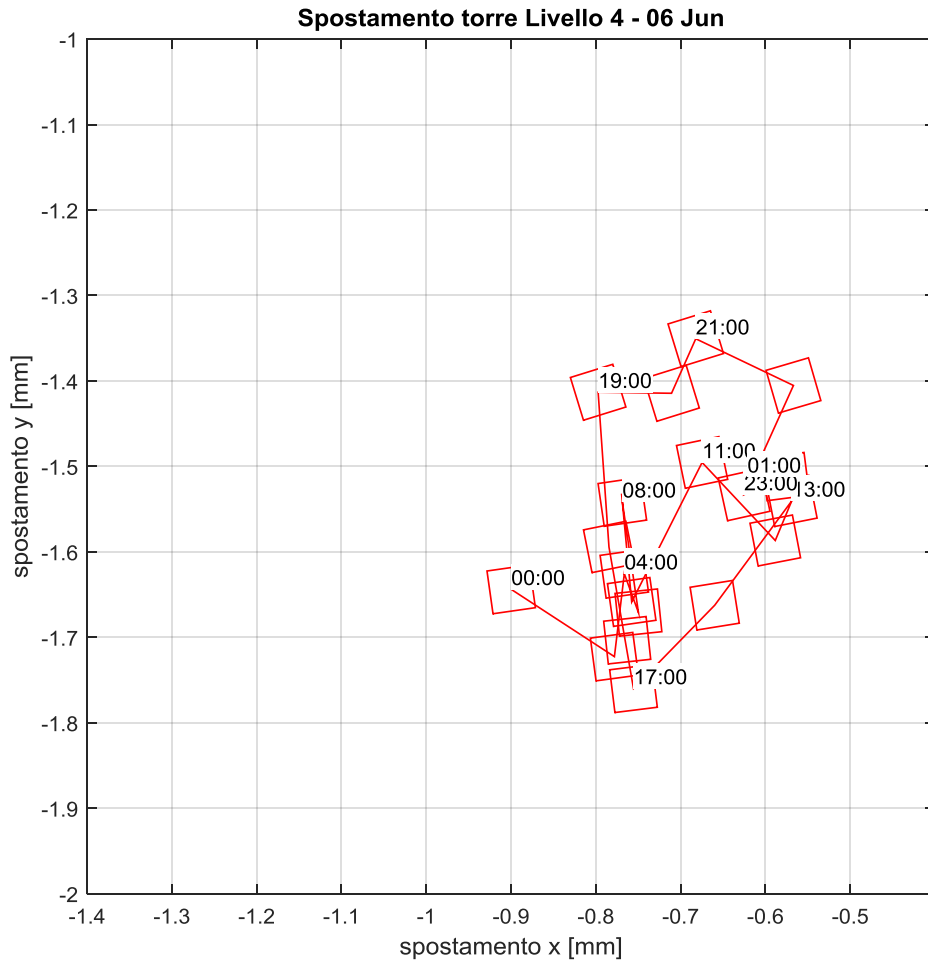
Figura 11 - Deformata del giorno 17/11/2013 dei 4 livelli della torre vista dall'alto

Si può notare dalle figure soprastanti che dalle ore 00:00 alle ore 06:00 la torre si è spostata prevalentemente in direzione sud, perciò raddrizzandosi rispetto alla posizione originaria. Come ci si aspetta il livello 4 subisce le deformazioni più elevate. Si può notare inoltre una leggera rotazione in senso orario della torre.

Nelle figure sottostanti si mostrano invece la deformata del solo livello 4 nell'arco della giornata del 20/03/2014 e del 06/06/2014, secondo il sistema di riferimento X-Y del pendolo. Nelle stesse giornate si riporta anche la rotazione del livello 4 (positivo in senso antiorario) e le temperature registrate dalle termocoppie.

Come ci si aspetta si può notare che la deformata della struttura tende a riportarsi nella posizione iniziale a fine giornata.





7 ANALISI DEI DATI

Il presente capitolo riporta il confronto eseguito tra la stazione totale con i dati derivati dalle misure del sistema a pendolo.

Il confronto avviene in termini di inclinazione lungo X, in micro radianti, tra il sistema di monitoraggio topografico, in rosso, e sistema di monitoraggio a pendolo, per i punti di misura posti al 4° livello (quota 30.80 m). Il confronto è possibile solo nei periodi temporali nei quali sono presenti i dati da entrambe le fonti.

I grafici verranno sempre seguiti da altri che riportano l'andamento della differenza, in termini di inclinazione, tra le misure registrate dal sistema di monitoraggio topografico e le misure registrate dal sistema a pendolo. Anche in questo caso si prendono in considerazione gli spostamenti dei soli punti appartenenti al 4° livello. Nei grafici la differenza viene riportata in nero, mentre la linea di tendenza viene riportata in rosso.

Si riporta al paragrafo 7.1 il confronto semplice tra i due sistemi di monitoraggio, senza alcuna elaborazione. Da esso si nota chiaramente la presenza di un trend lineare nella differenza tra i due, del quale si è voluto capire il motivo per poter correggere i dati ricavati dalla Stazione Totale.

Al paragrafo 7.2 si è voluta eliminare la dipendenza dello spostamento dalle escursioni termiche giornaliere. Si è fatto riferimento alla posizione della Torre nel periodo appena precedente all'alba apparente, dove per *alba apparente* qui si intende l'istante in cui gli strumenti cominciano a rilevare l'effetto dell'irraggiamento solare sulla Torre.

Sulla base di questo principio, è stato ricalcolato l'andamento globale delle grandezze misurate, al netto delle escursioni termiche giornaliere.

Successivamente al paragrafo 7.3 si è eliminata qualsiasi dipendenza da errori provocati dalla stazione totale, facendo riferimento alla differenza tra le misure ottenute al livello 4 ed il livello 1, quest'ultima sempre confrontata con le misure del sistema a pendolo.

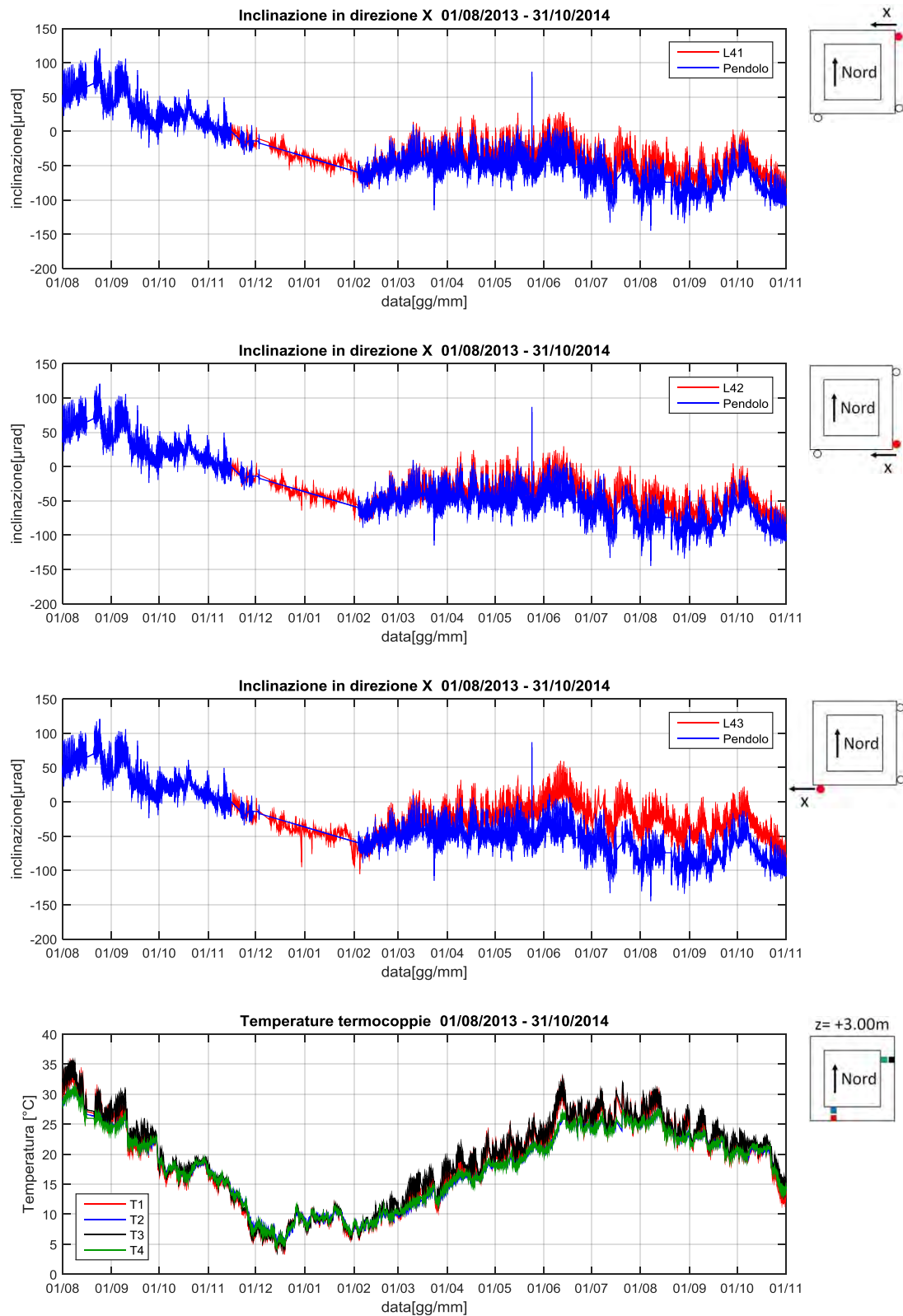
Sulla base di questo principio, è stato ricalcolato l'andamento globale delle grandezze misurate.

Al paragrafo 7.4 viene riportato l'andamento al netto delle escursioni termiche stagionali, ovvero compensato delle temperature. Per fare questo si sono utilizzati i dati delle termocoppie già presenti da tempo all'interno della Torre (T_1 , T_2 , T_3 , T_4) e si sono ridefinite gli spostamenti ricavati sia dal pendolo che dalla stazione totale. Questa formulazione ha portato ad un buon risultato in termini di differenza tra i due sistemi di monitoraggio, in quanto si sono ridotti al minimo sia il trend prima presente, sia l'errore in termini di rms.

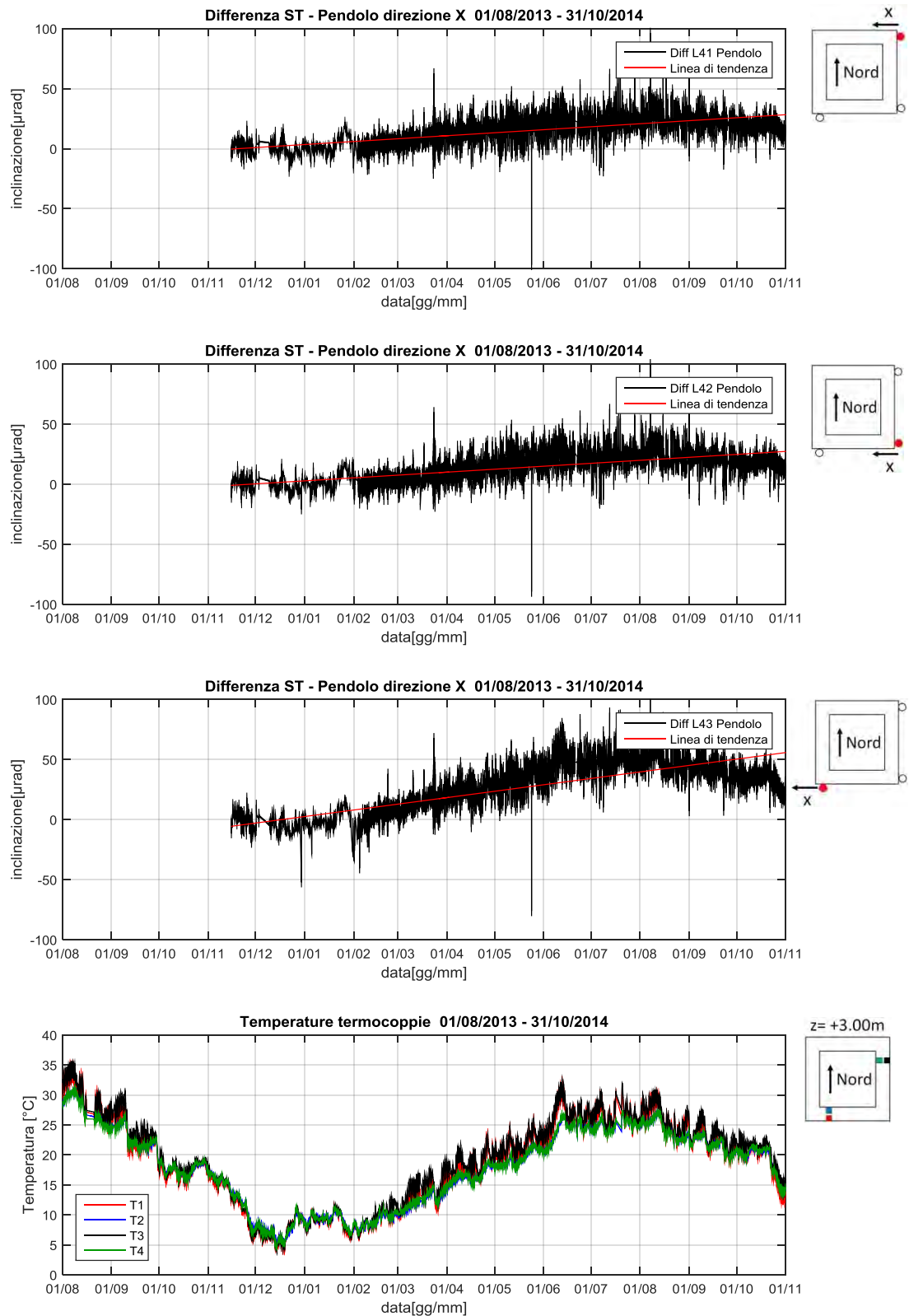
Al paragrafo 7.5 si è voluto cambiare l'approccio utilizzato nella compensazione termica, che prevede il confronto tra misure compensate. Eliminando la dipendenza delle misurazioni della stazione, dal proprio movimento e quello dei capisaldi ($R1$, $R2$, $R3$, $R4$), si ricavano dei valori di spostamento dei prismi installati sulla Torre molto prossimi a quelli misurati dal sistema a pendolo. In questo modo si migliora ancora una volta la differenza tra i due sistemi di monitoraggio, portando prossimi allo zero i valori di trend ed errore in termini di rms.

L'ultimo paragrafo, il 7.6, descrive un'altra quantità monitorata dalla Stazione Totale: l'affondamento della torre. Questo viene ricavato dalla media tra le differenze di quota z dei 3 prismi più bassi, quelli del livello 1, anch'esse compensate delle temperature.

7.1 Confronto stazione Leica 2003 - Pendolo



Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14



Dall'osservazione degli andamenti emerge la possibilità di un trend lineare della differenza tra i due sistemi di misura per quanto riguarda le misure di inclinazione lungo X. Tale trend è di 0.0302 mrad/anno (0.930 mm/anno) per il prisma L41, 0.0311 mrad/anno (0.958 mm/anno) per il prisma L42 e 0.0642 mrad/anno (1.977 mm/anno) per il prisma L43.

L'errore in termini di rms è pari a 0.0202 mrad (0.606 mm) per il prisma L41, 0.0196 mrad (0.588 mm) per il prisma L42 e 0.0377 mrad (1.131 mm) per il prisma L43.

Si può notare che il trend lungo la direzione x dei prismi L42 e L43 differisce di poco più di un millimetro in un anno. Con semplici calcoli si può dimostrare che questa differenza è dello stesso ordine di grandezza dell'allungamento subito da quel lato della torre durante l'anno a causa dell'escursione termica.

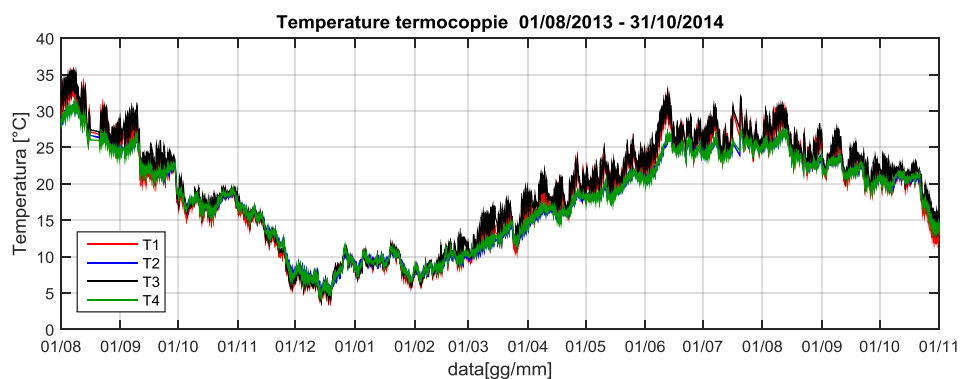
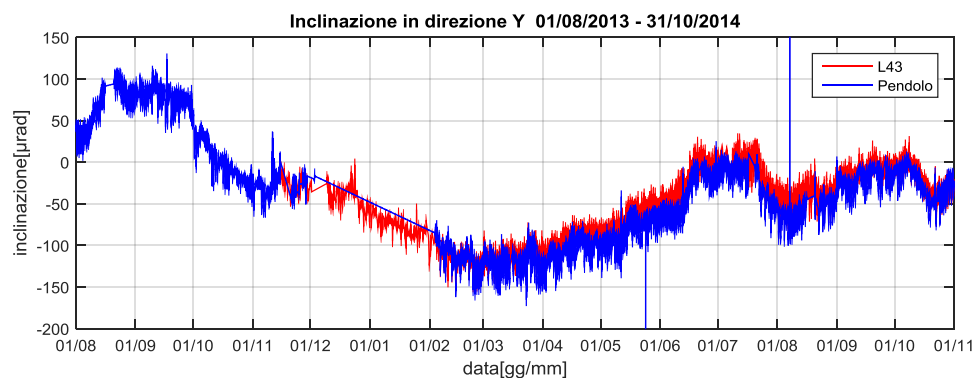
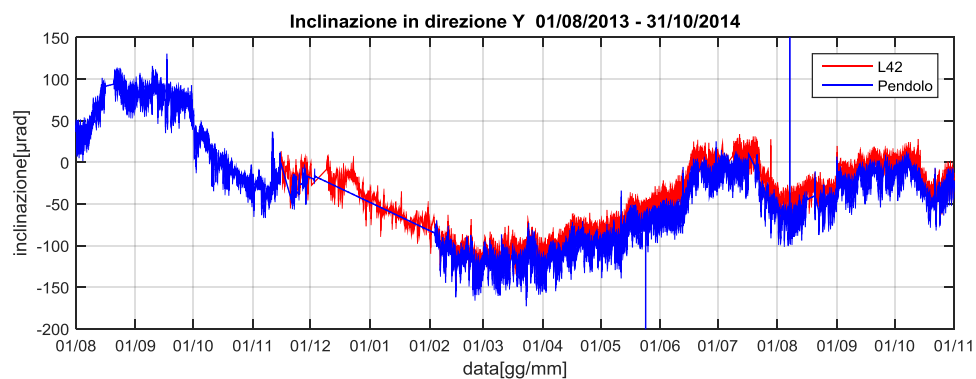
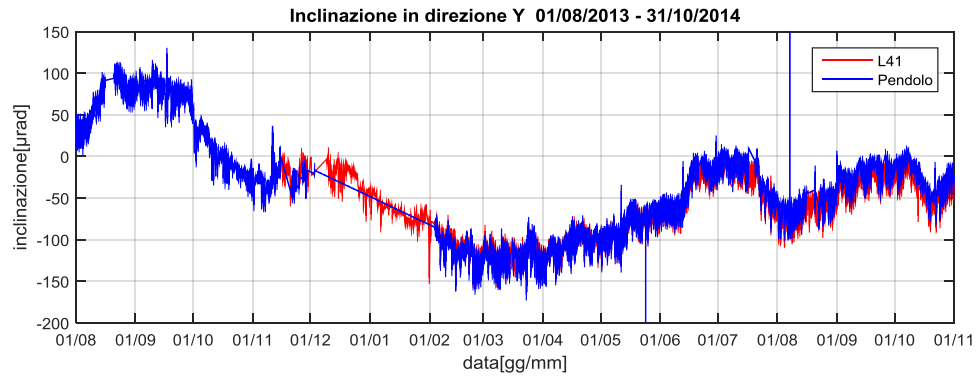
$$\Delta x_{L43} - \Delta x_{L42} = 1.977 \text{ mm} - 0.958 \text{ mm} = 1.019 \text{ mm}$$

$$\Delta x_{L43} - \Delta x_{L42} \approx \alpha \cdot \Delta T \cdot L_{lato} = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 25 \cdot 7.3 = 1.095 \text{ mm}$$

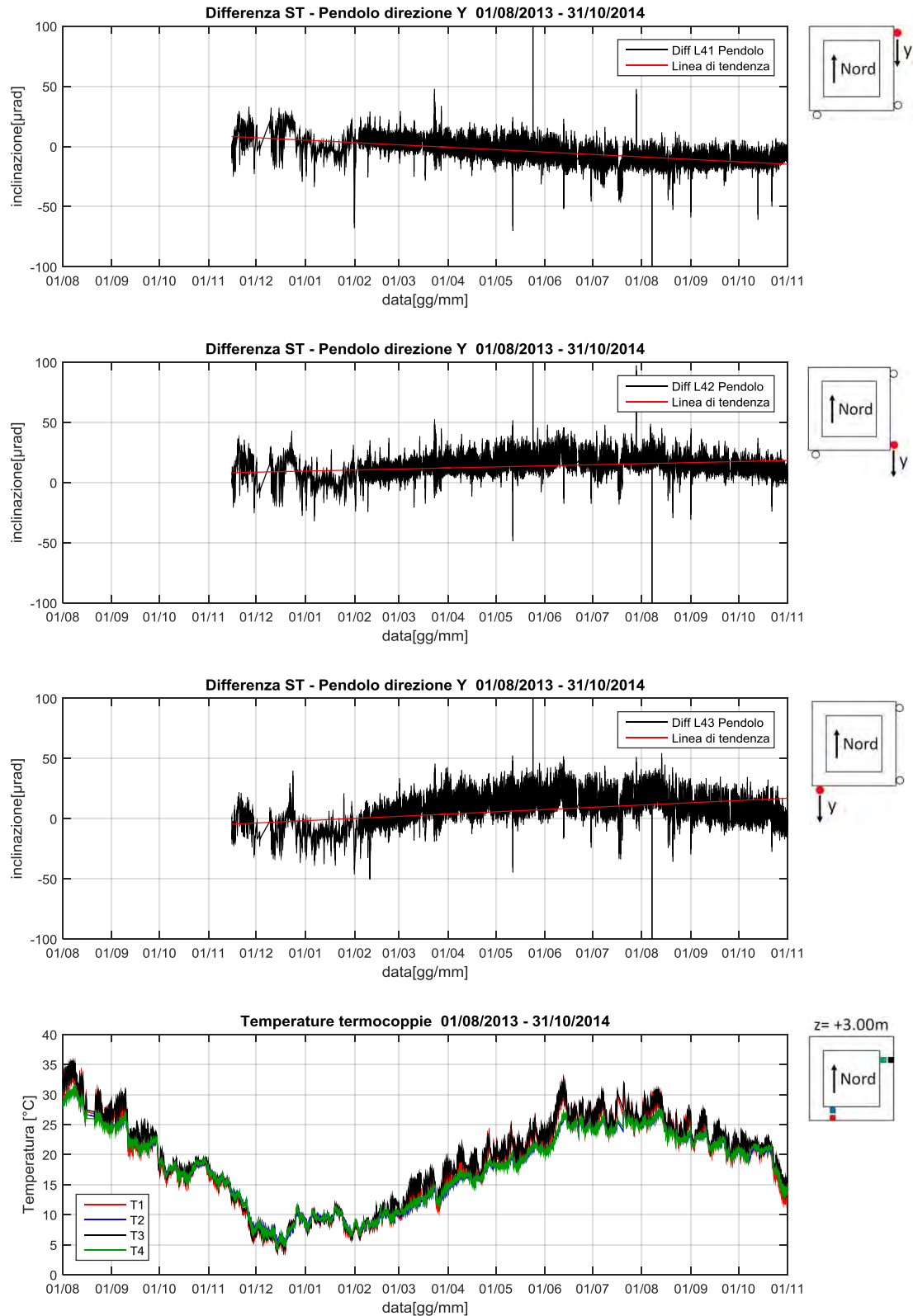
con Δx_{L42} e Δx_{L43} spostamenti annuali in direzione X rispettivamente dei prismi L42 e L43, α coefficiente di dilatazione termica della muratura, ΔT uguale a 25°C per l'anno in questione e distanza dai due prismi L_{lato} pari a 7.3 metri.

Nei grafici seguenti viene riportato il confronto in termini di inclinazione lungo Y, in micro radianti, tra i due sistemi di misura e, successivamente, l'andamento della differenza tra i due sistemi di misura.

Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14



Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14



Anche lungo Y l'osservazione degli andamenti suggerisce la presenza di un trend lineare. Tale trend è di -0.0300 mrad/anno (-0.924 mm/anno) per il prisma L41, 0.0050 mrad/anno (0.154 mm/anno) per il prisma L42 e 0.0101 mrad/anno (0.311 mm/anno) per il prisma L43.

L'errore in termini di rms è pari a 0.0096 mrad (0.288 mm) per il prisma L41, 0.0180 mrad (0.54 mm) per il prisma L42 e 0.0153 mrad (0.459 mm) per il prisma L43.

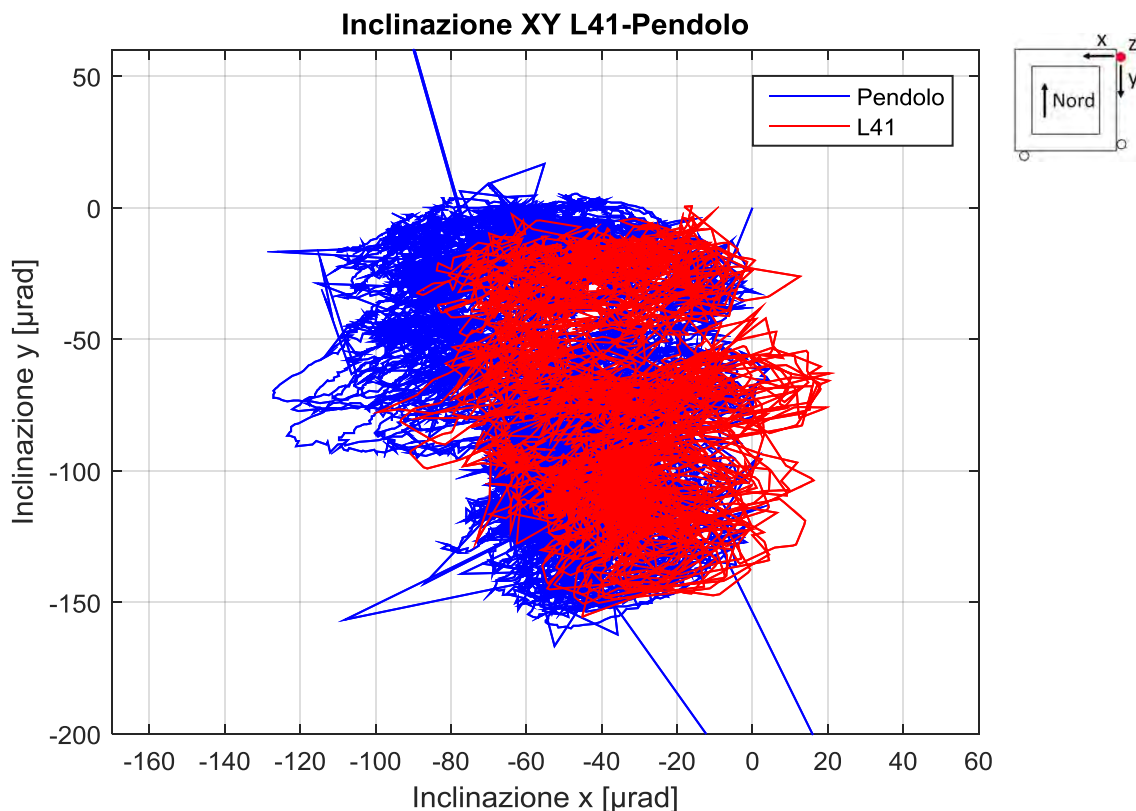
Anche in direzione y si nota che c'è una differenza di spostamento tra i prismi L41 e L42. Con semplici calcoli si può dimostrare che questa differenza è pari (in termini di ordine di grandezza) all'allungamento subito da quel lato della torre durante l'anno a causa dell'escursione termica.

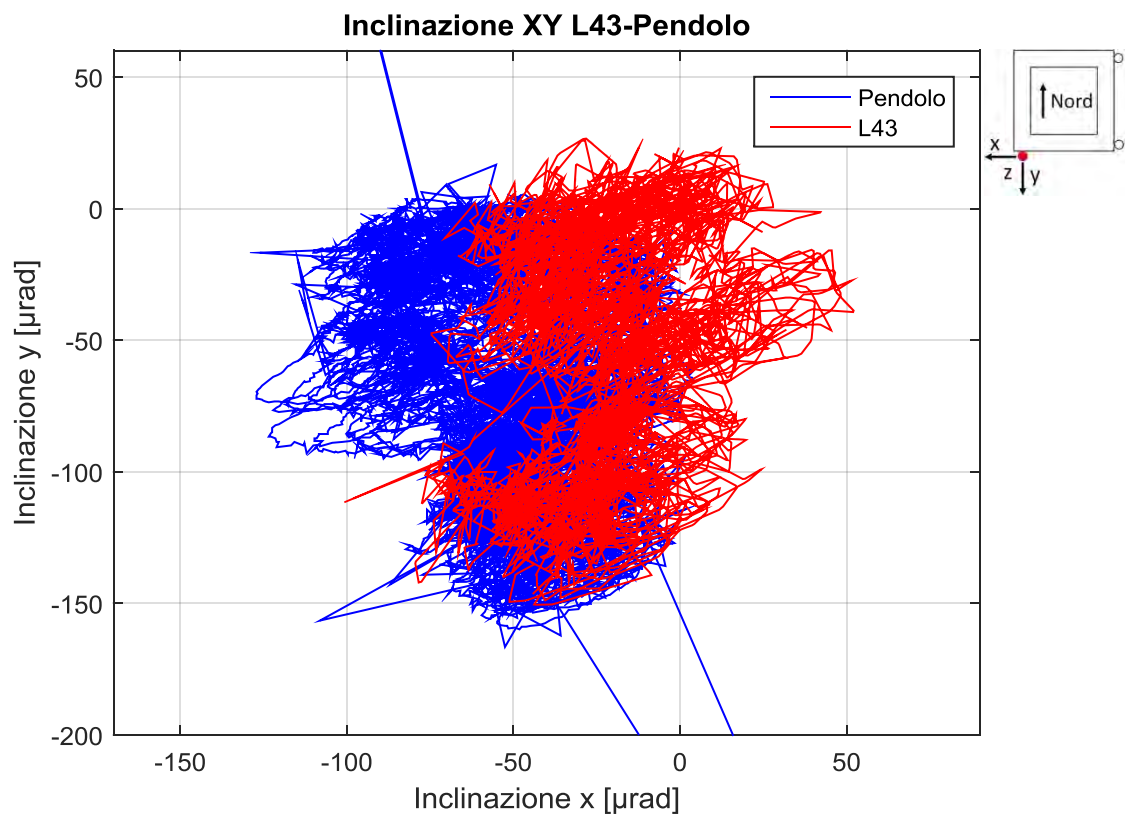
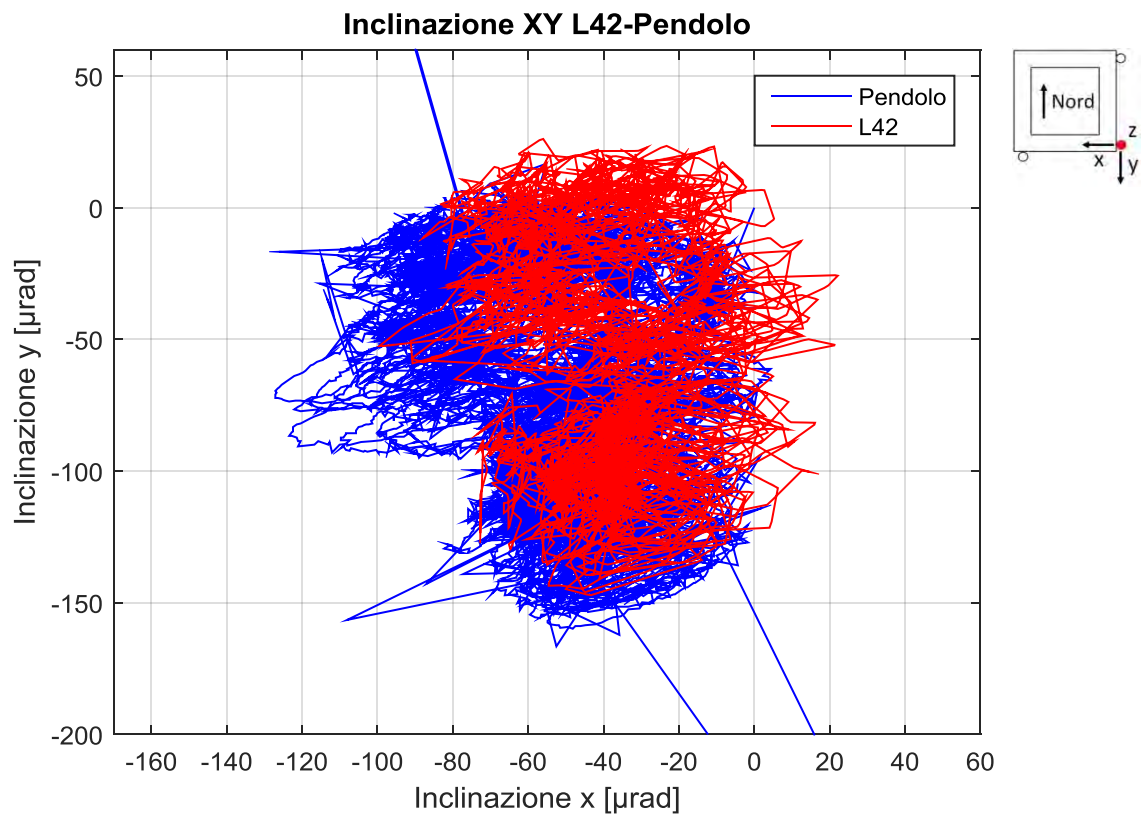
$$\Delta y_{L42} - \Delta y_{L41} = 0.154 \text{ mm} - (-0.924 \text{ mm}) = 1.078 \text{ mm}$$

$$\Delta y_{L42} - \Delta y_{L41} \approx \alpha \cdot \Delta T \cdot L_{lato} = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 25 \cdot 7.3 = 1.095 \text{ mm}$$

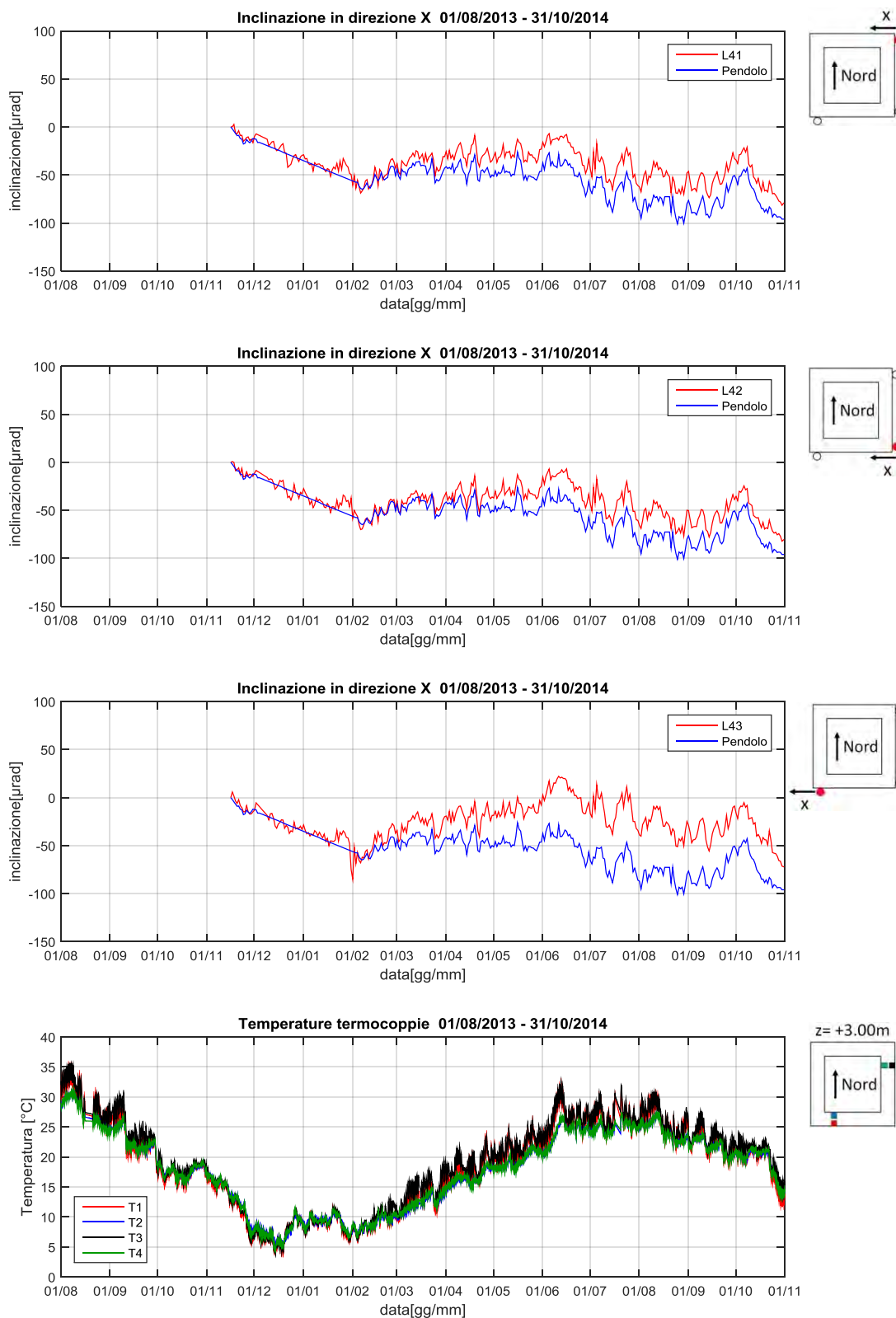
con Δy_{L42} e Δy_{L43} spostamenti annuali in direzione Y rispettivamente dei prismi L42 e L43, α coefficiente di dilatazione termica della muratura, ΔT considerato uguale a 25°C per l'anno in questione e distanza dai due prismi L_{lato} pari a 7.3 metri.

Nei grafici che seguono viene riportato l'andamento nel piano X-Y della misura di inclinazione registrata dal pendolo e dell'inclinazione dei prismi L41, L42 e L43.

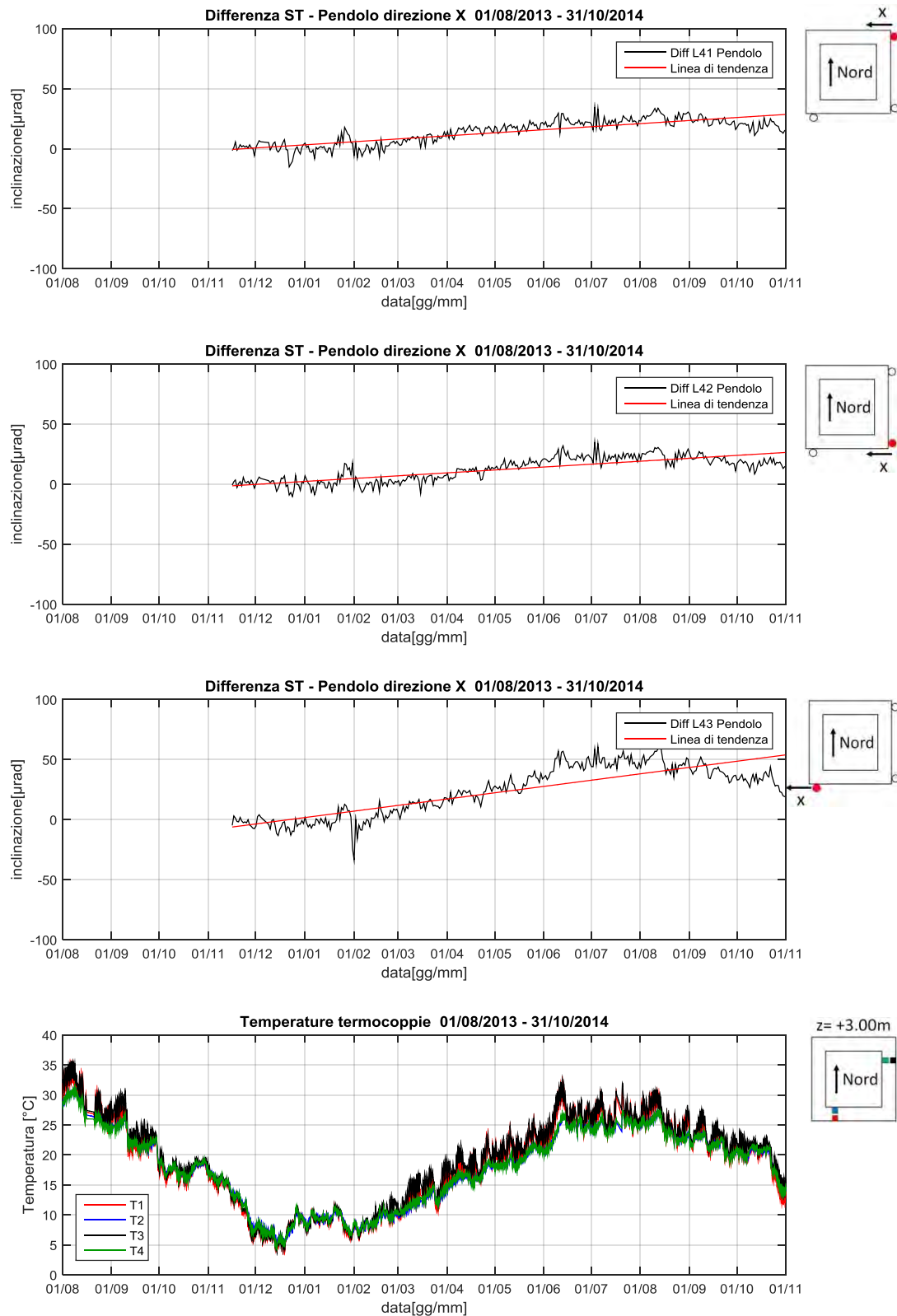




7.2 Andamento al netto delle escursioni termiche giornaliere



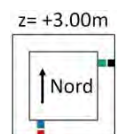
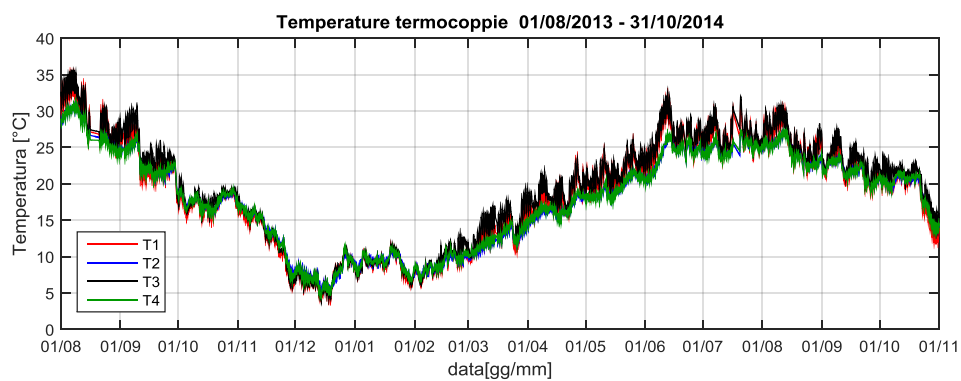
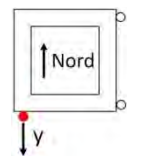
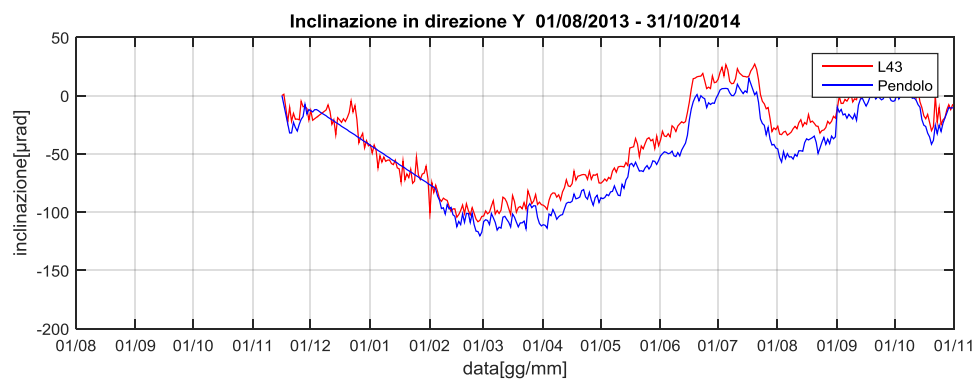
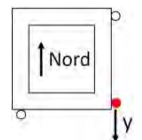
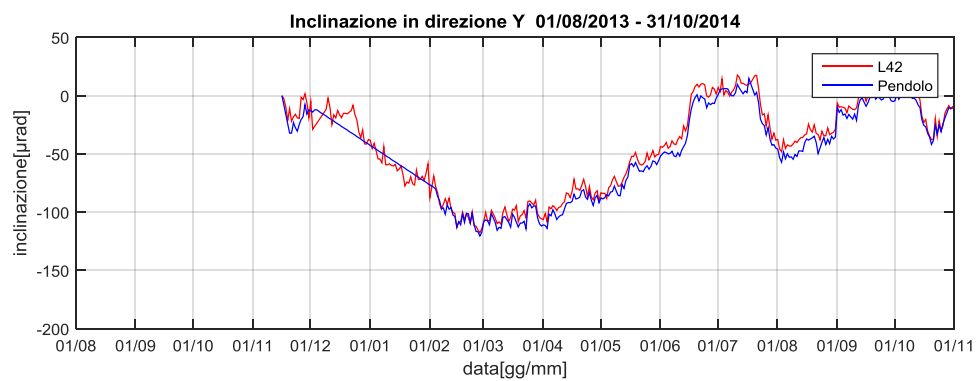
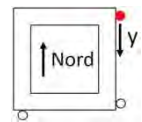
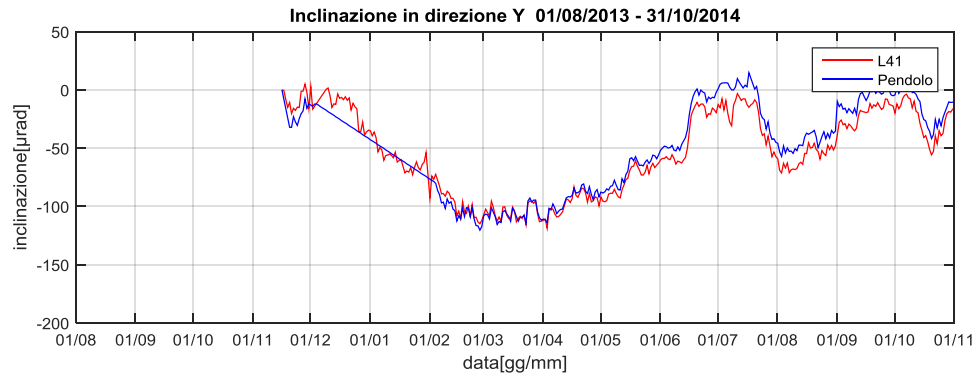
Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14



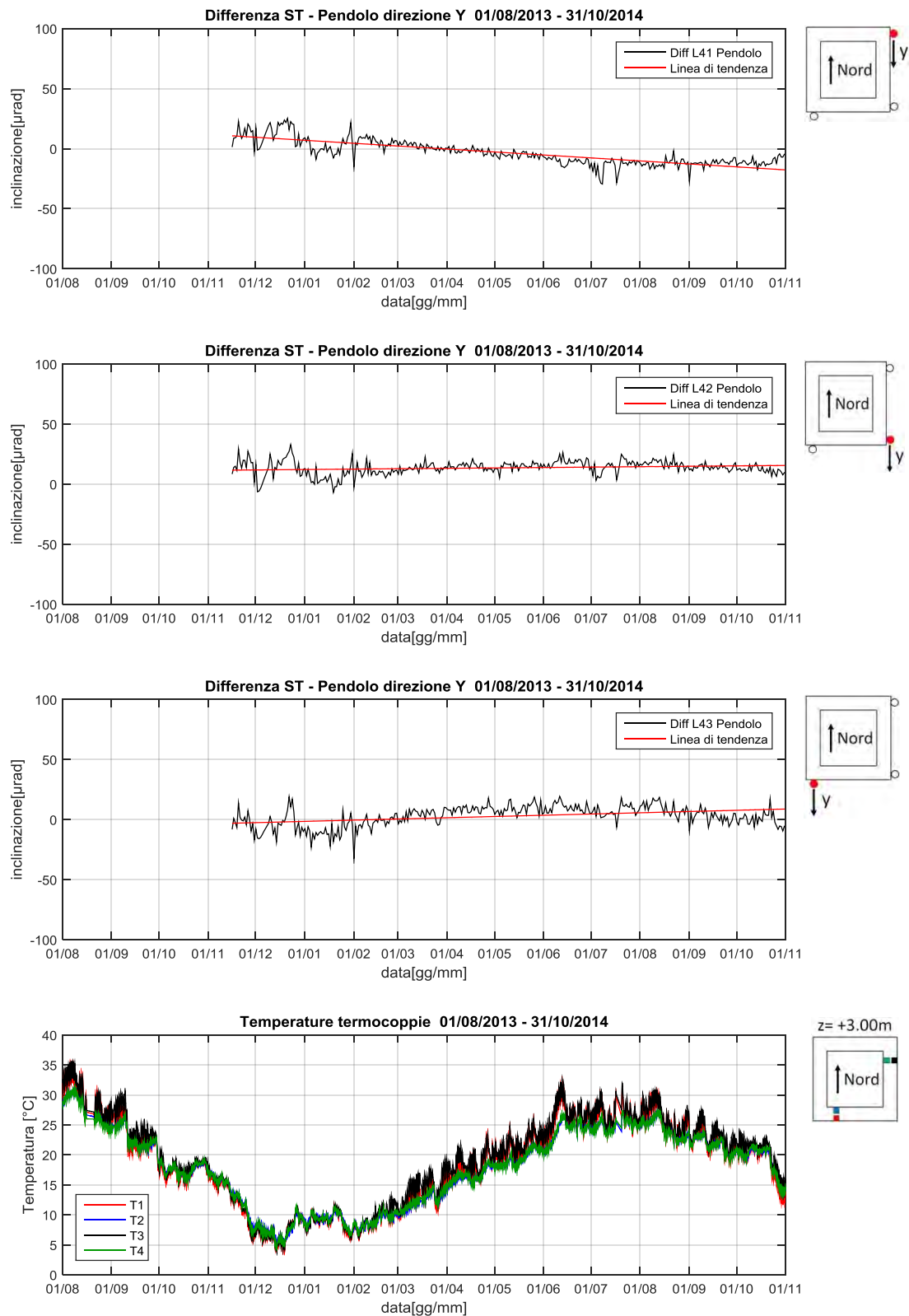
Dall'osservazione degli andamenti viene confermato un trend lineare della differenza tra i due sistemi di misura per quanto riguarda le misure di inclinazione lungo X. Tale trend è di 0.0329 mrad/anno (0.987 mm/anno) per il prisma L41, 0.0312 mrad/anno (0.936 mm/anno) per il prisma L42 e 0.0689 mrad/anno (2.067 mm/anno) per il prisma L43. L'errore in termini di rms è pari a 0.0174 mrad (0.522 mm) per il prisma L41, 0.0161 mrad (0.483 mm) per il prisma L42 e 0.0317 mrad (0.951 mm) per il prisma L43.

Nei grafici seguenti viene riportato il confronto in termini di inclinazione lungo Y, in micro radianti, tra i due sistemi di misura e, successivamente, l'andamento della differenza tra i due sistemi di misura.

Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14



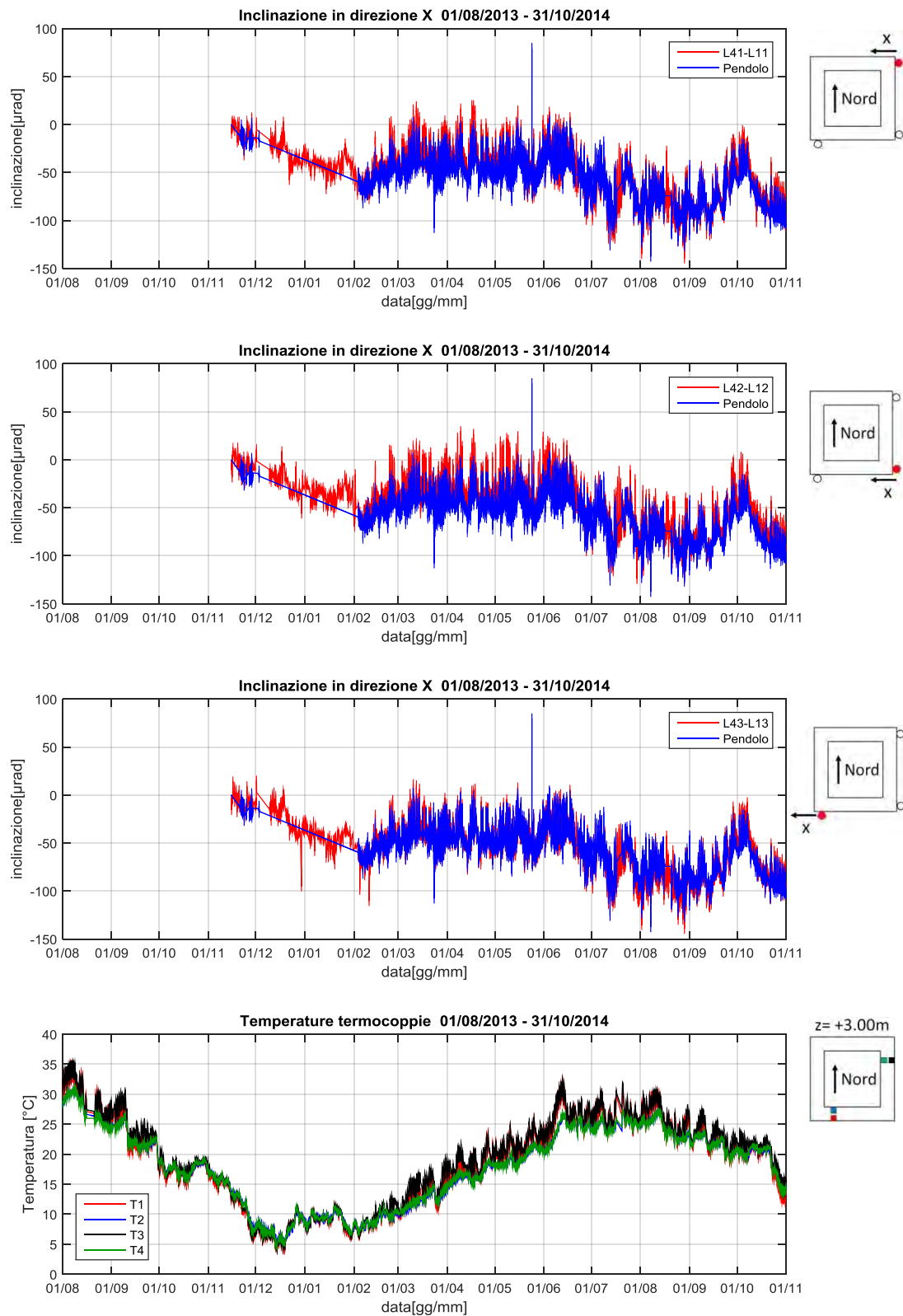
Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14



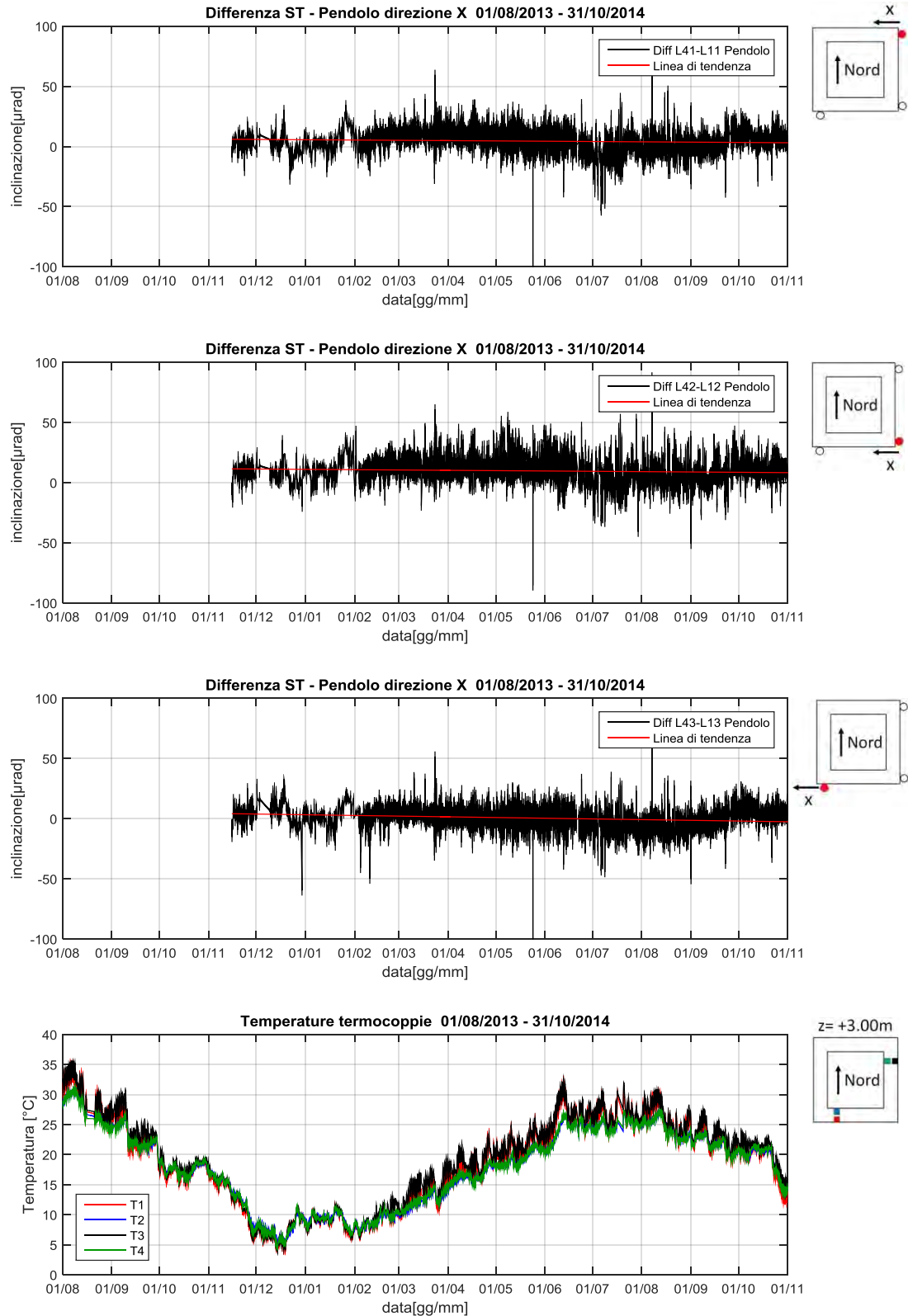
Anche lungo Y l'osservazione degli andamenti suggerisce la presenza di un trend lineare anche se rispetto agli andamenti rilevati non al netto delle escursioni termiche il trend dei tre prismi diminuisce. Tale trend è di -0.0318 mrad/anno (-0.954 mm/anno) per il prisma L41, 0.0056 mrad/anno (0.168 mm/anno) per il prisma L42 e 0.0147 mrad/anno (0.441 mm/anno) per il prisma L43.

L'errore in termini di rms è pari a 0.0104 mrad (0.312 mm) per il prisma L41, 0.0158 mrad (0.474 mm) per il prisma L42 e 0.0094 mrad (0.282 mm) per il prisma L43.

7.3 Differenza tra il livello 4 ed il livello 1



Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14

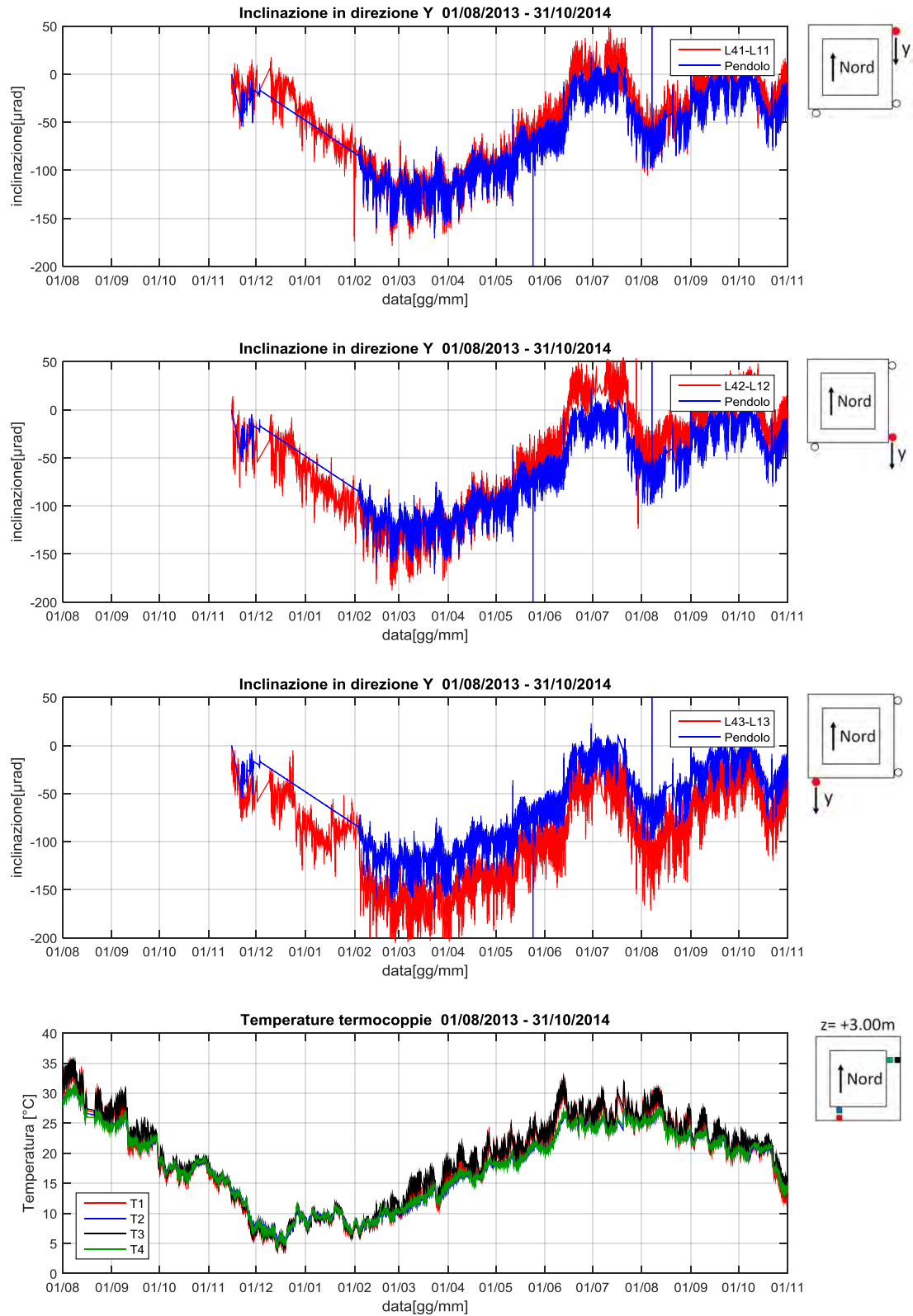


Si può osservare che di fatto non esiste un trend lineare apprezzabile tra le misure effettuate dalla stazione totale e dal pendolo per quanto riguarda le misure di inclinazione lungo X.

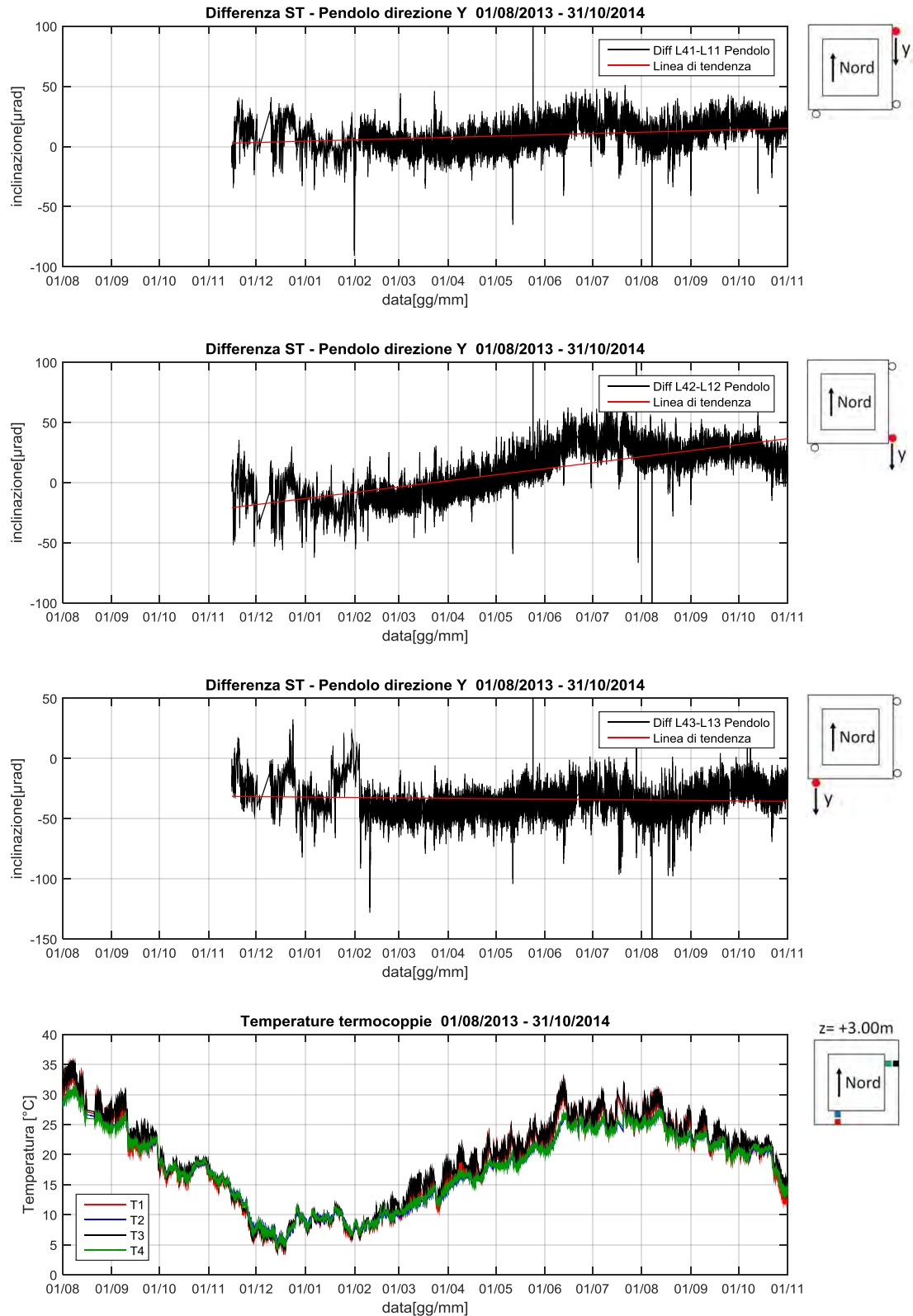
L'errore in termini di rms è pari a 0.0098 mrad (0.294 mm) per il prisma L41, 0.0106 mrad (0.318 mm) per il prisma L42 e 0.0078 mrad (0.234 mm) per il prisma L43.

Nei grafici seguenti viene riportato il confronto in termini di inclinazione lungo Y, in micro radianti, tra i due sistemi di misura e, successivamente, l'andamento della differenza tra i due sistemi di misura.

Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14



Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14



Lungo Y l'osservazione degli andamenti suggerisce la presenza di un trend lineare molto ridotto.

L'errore in termini di rms è pari a 0.0148 mrad (0.444 mm) per il prisma L41, 0.0169 mrad (0.507 mm) per il prisma L42 e 0.0374 mrad (1.122 mm) per il prisma L43.

7.4 Andamento al netto delle escursioni termiche stagionali (compensazione termica)

Per eliminare la dipendenza dello spostamento dalle temperature e dalle escursioni termiche stagionali, si è fatto riferimento alle temperature misurate dalle termocouple precedenti.

Sulla base di questo principio, è stato ricalcolato l'andamento globale delle grandezze misurate, al netto delle temperature.

Formulazione del problema

Al fine di definire un andamento dello spostamento indipendente dalla temperatura, viene un modello di spostamento dipendente dalle temperature misurate attraverso funzioni lineari del tipo:

$$X = c_{x0} + c_{x1}T_1 + c_{x2}T_2 + c_{x3}T_3 + c_{x4}T_4$$

$$Y = c_{y0} + c_{y1}T_1 + c_{y2}T_2 + c_{y3}T_3 + c_{y4}T_4$$

dove i coefficienti c_{xi} e c_{yi} sono ricavati sperimentalmente, come di seguito descritto. La coordinata X e la coordinata Y sono dei vettori, contenenti tutti i valori per un determinato periodo di tempo. L'espressione precedente diventa quindi un sistema lineare di equazioni che può essere scritto in forma compatta come:

$$X = Tc_x$$

dove X è il vettore contenente la serie temporale delle coordinate X; c_x è il vettore contenente i coefficienti lineari di correlazione della variabile X:

$$c_x^T = [c_{x0} \ c_{x1} \ c_{x2} \ c_{x3} \ c_{x4}]$$

mentre la matrice T ha l'espressione:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & T_{1_1} & T_{2_1} & T_{3_1} & T_{4_1} \\ 1 & T_{1_2} & T_{2_2} & T_{3_2} & T_{4_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & T_{1_n} & T_{2_n} & T_{3_n} & T_{4_n} \end{bmatrix}$$

Il sistema è ridondante, cioè presenta più equazioni che incognite. La soluzione del sistema sarebbe esatta solo se tutte le espressioni venissero contemporaneamente soddisfatte. Questo in pratica avviene solo in assenza di errori di misura e nel caso in

cui non ci sia dipendenza da grandezze diverse dalle temperature misurate. Pertanto la soluzione del sistema è calcolata in maniera approssimata, ed è quella che fornisce lo scarto quadrato minimo fra la misura acquisita X e quella teorica X^* . Numericamente la soluzione del sistema, cioè i coefficienti di correlazione c_{xi} , si ricavano attraverso il calcolo della pseudo-inversa di T .

Un'analoga procedura è seguita per il calcolo dei coefficienti di correlazione della coordinata Y .

Utilizzando i dati acquisiti nel periodo di monitoraggio considerato, sono stati trovati i coefficienti c_x e c_y . I risultati sono i seguenti:

	c_{x0} [mrad]	c_{x1} [mrad °C ⁻¹]	c_{x2} [mrad °C ⁻¹]	c_{x3} [mrad °C ⁻¹]	c_{x4} [mrad °C ⁻¹]
<i>Pendolo</i>	-0.2120	-0.0054	0.0138	0.0123	-0.0228
<i>L41</i>	-0.0433	-0.0056	0.0143	0.0144	-0.0240
<i>L42</i>	-0.0445	-0.0042	0.0155	0.0132	-0.0253
<i>L43</i>	-0.0610	-0.0058	0.0139	0.0149	-0.0223

	c_{y0} [mrad]	c_{y1} [mrad °C ⁻¹]	c_{y2} [mrad °C ⁻¹]	c_{y3} [mrad °C ⁻¹]	c_{y4} [mrad °C ⁻¹]
<i>Pendolo</i>	-0.1362	-0.0083	0.0068	-0.0062	0.0147
<i>L41</i>	-0.1619	-0.0078	0.0091	-0.0056	0.0100
<i>L42</i>	-0.1740	-0.0088	-0.0108	-0.0042	0.0096
<i>L43</i>	-0.1864	-0.0086	0.0090	-0.0028	0.0100

Posizione compensata

È possibile quindi definire una posizione convenzionale, indipendente dalla temperatura, compensando l'effetto termico attraverso le seguenti espressioni:

$$X_{compensata} = X - (c_{x0} + c_{x1}T_1 + c_{x2}T_2 + c_{x3}T_3 + c_{x4}T_4)$$

$$Y_{compensata} = Y - (c_{y0} + c_{y1}T_1 + c_{y2}T_2 + c_{y3}T_3 + c_{y4}T_4)$$

Per eseguire il confronto, il procedimento sopra descritto va fatto sia per il sistema a pendolo, sia per il sistema topografico di monitoraggio.

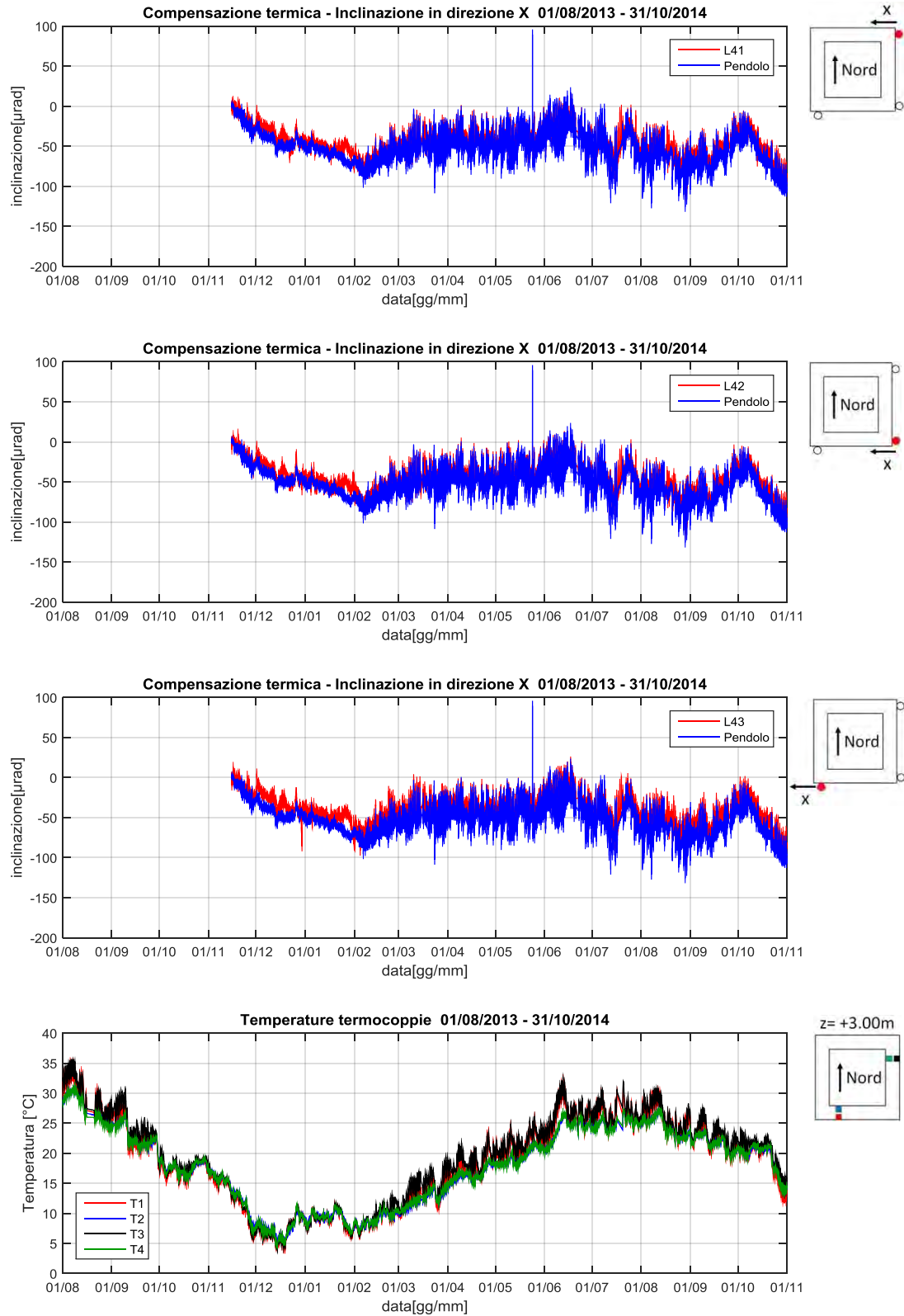
In questo sistema di riferimento, ogni variazione rispetto allo zero è legata o al rumore della misura o a cause non correlate alle temperature misurate, quindi il confronto tra i due sistemi di monitoraggio dovrebbe risultare molto migliore rispetto ai casi precedenti.

I risultati della compensazione termica nei due sistemi sono rappresentati nelle figure alle pagine successive.

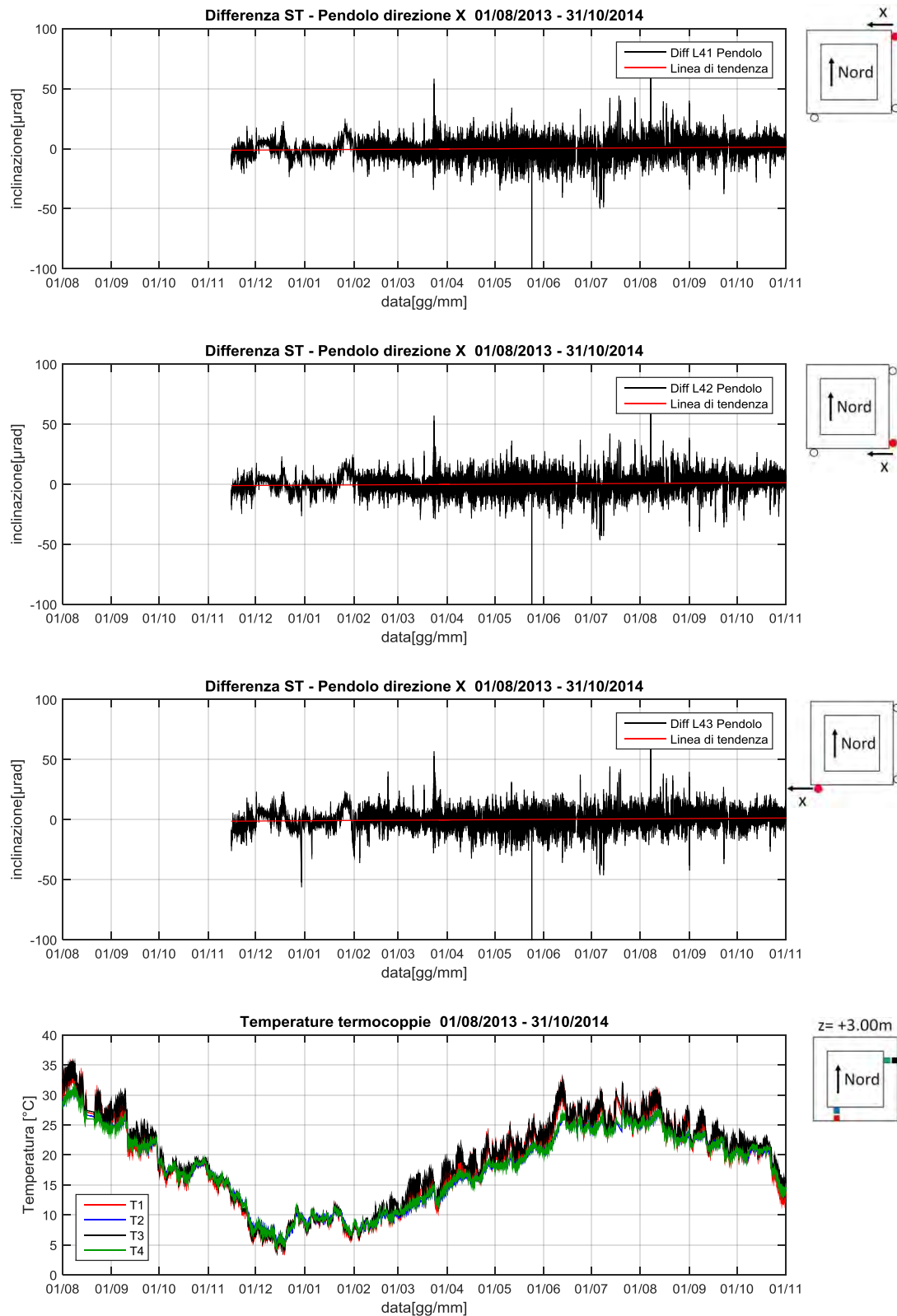
Nei grafici seguenti viene riportato il confronto in termini di inclinazione lungo X, in micro radianti, tra il sistema di monitoraggio topografico, in rosso, e sistema di monitoraggio a pendolo, per i punti di misura posti al 4° livello (quota 30.80 m). Il confronto è possibile solo nei periodi temporali nei quali sono presenti i dati da entrambe le fonti.

Nei grafici successivi viene riportato l'andamento della differenza, in termini di inclinazione, tra le misure registrate dal sistema di monitoraggio topografico e le misure registrate dal sistema a pendolo. Anche in questo caso si prendono in considerazione gli spostamenti dei soli punti appartenenti al 4° livello. Nei grafici la differenza viene riportata in nero, mentre la linea di tendenza viene riportata in rosso.

Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14



Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14



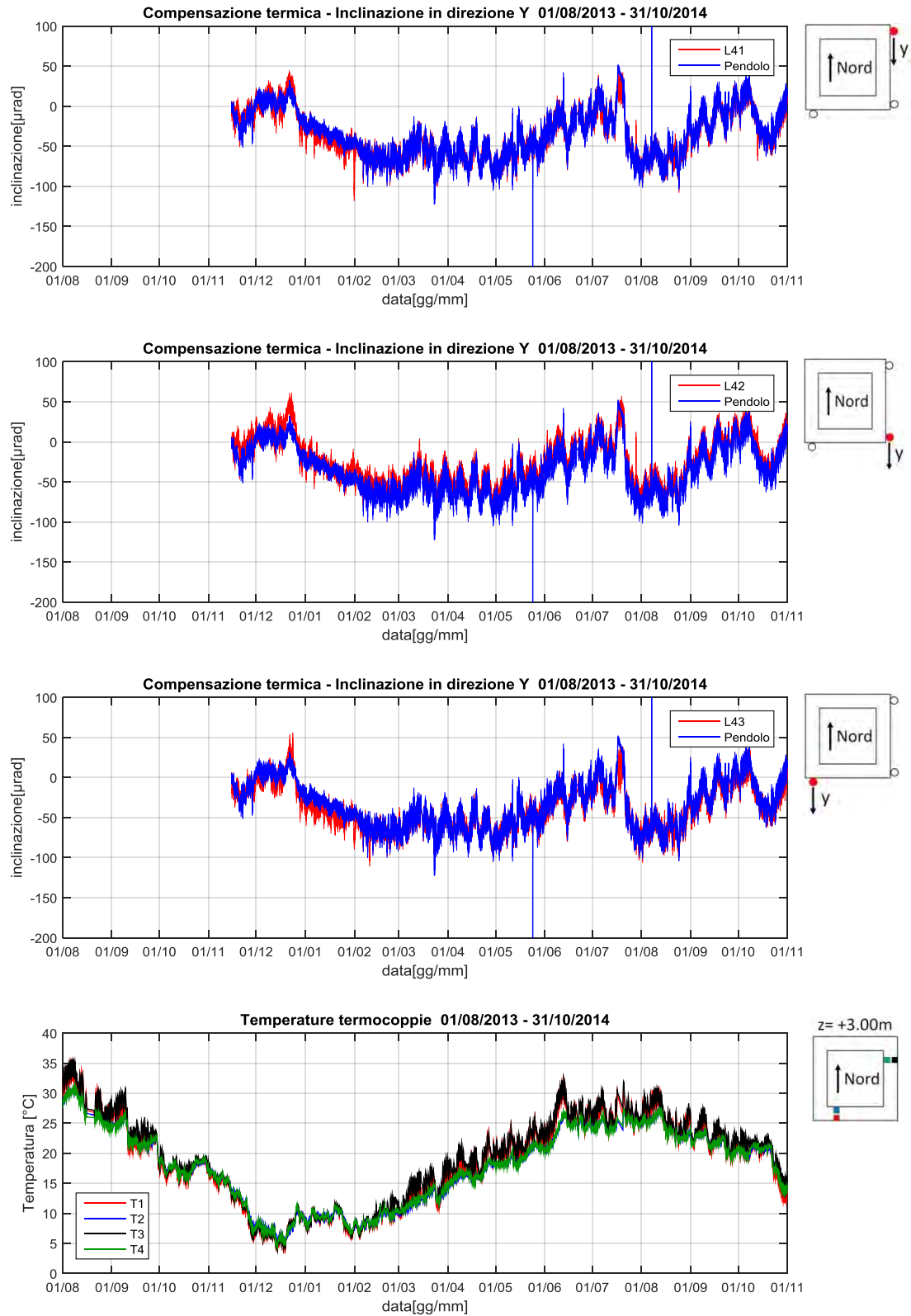
Dall'osservazione degli andamenti si nota come il trend lineare non sia più apprezzabile e come la differenza di misura tra i due strumenti sia diminuita.

L'errore in termini di rms è pari a 0.0062 mrad (0.186 mm) per il prisma L41, 0.0061 mrad (0.183 mm) per il prisma L42 e 0.0059 mrad (0.177 mm) per il prisma L43.

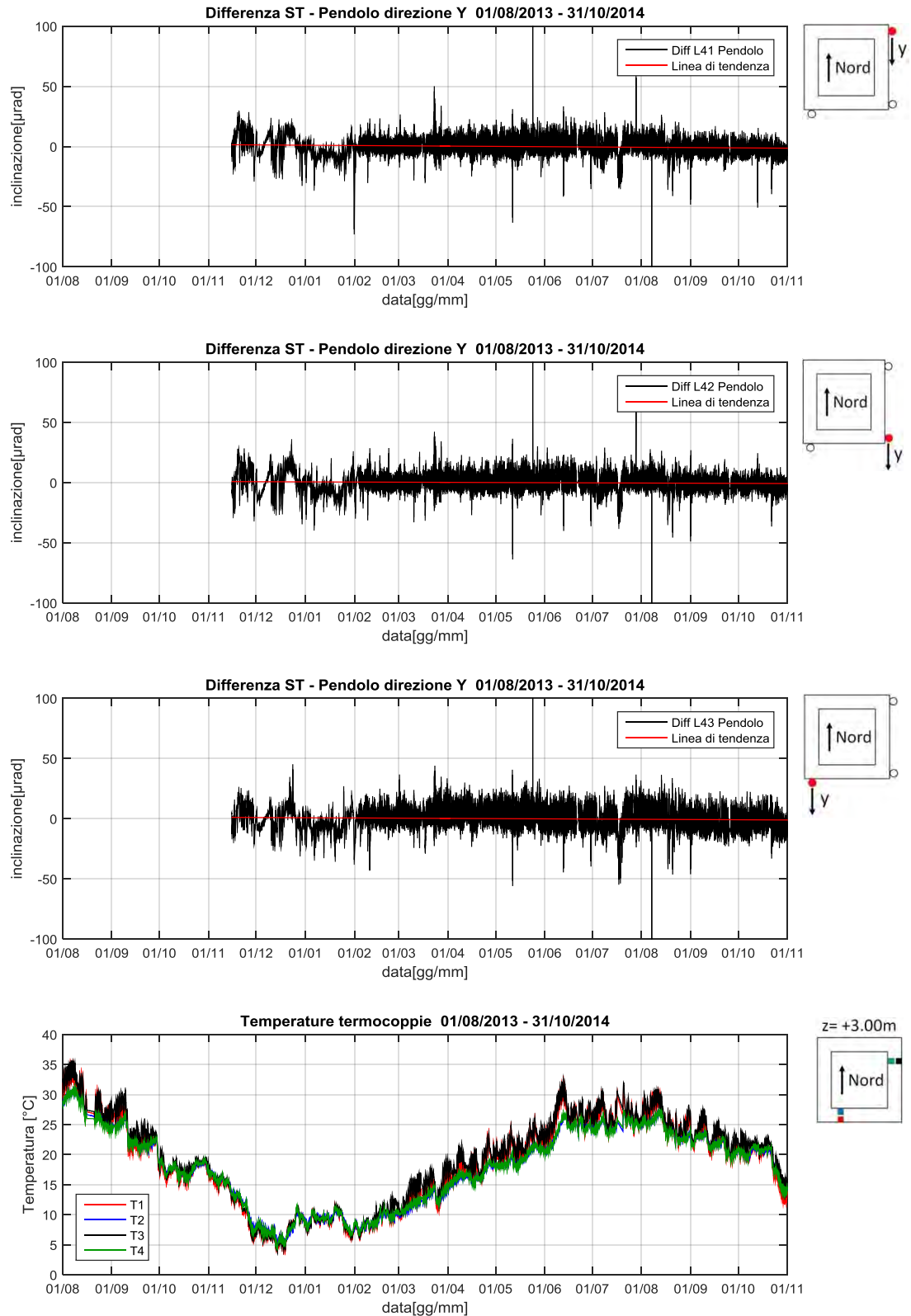
Da questi ultimi dati si nota che l'errore medio è minore dell'incertezza di misura della stazione totale (1 mm+1ppm).

Nei grafici seguenti viene riportato il confronto in termini di inclinazione lungo Y, in micro radianti, tra i due sistemi di misura e, successivamente, l'andamento della differenza tra i due sistemi di misura.

Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14



Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14



Anche lungo la direzione Y dall'osservazione degli andamenti si nota come il trend lineare non sia più apprezzabile e come la differenza di misura tra i due strumenti sia diminuita.

L'errore in termini di rms è pari a 0.0058 mrad (0.174 mm) per il prisma L41, 0.0060 mrad (0.180 mm) per il prisma L42 e 0.0078 mrad (0.234 mm) per il prisma L43.

Anche in questo caso si può affermare che la verifica della corrispondenza tra le misure ottenute dalle due fonti è soddisfatta.

7.5 Andamento compensato della posizione dei prismi fissi

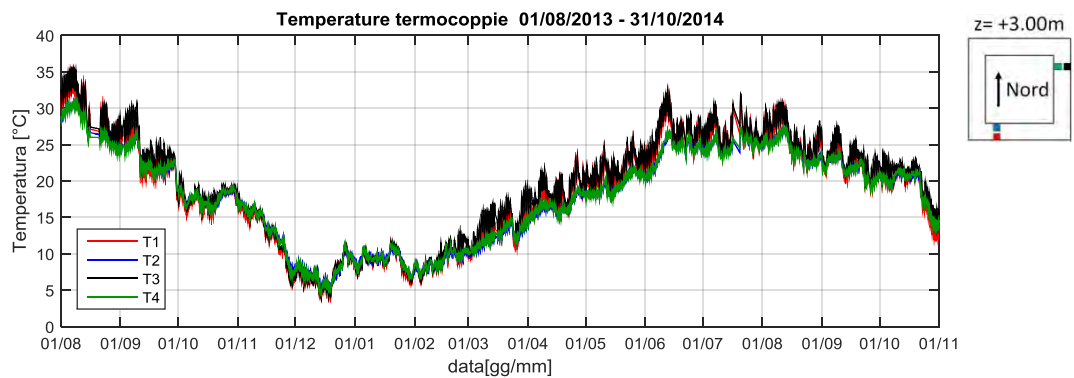
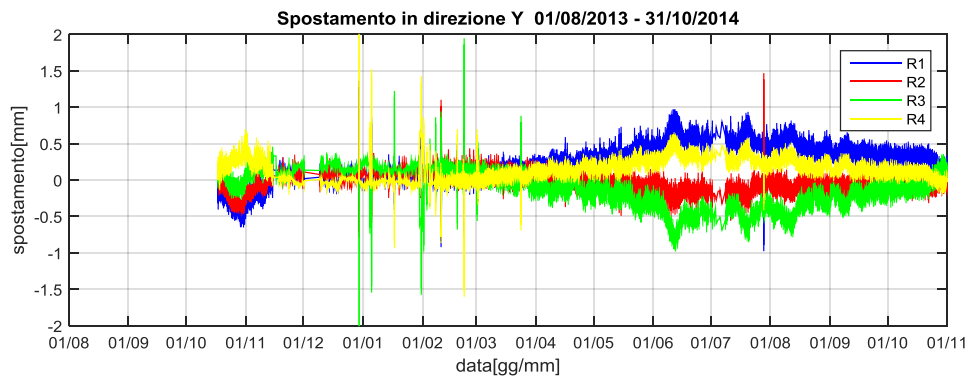
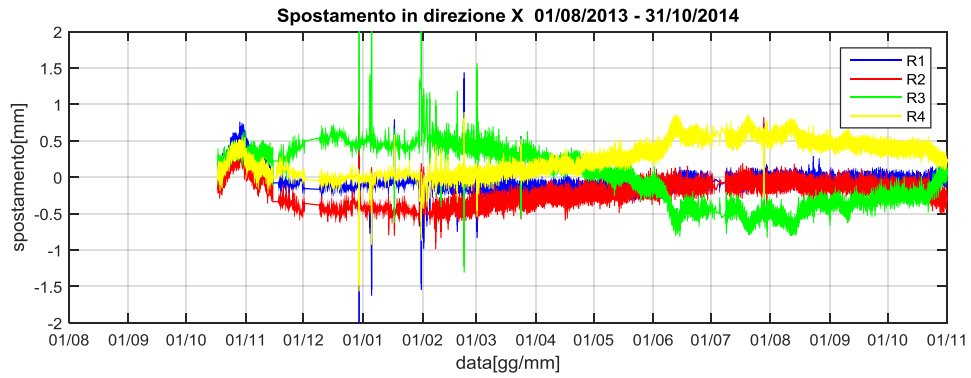
Si è visto come la compensazione termica dei dati misurati dalla stazione totale porti a valori praticamente prossimi a quelli misurati dal pendolo. Da ciò risulta che la stazione totale può sostituire il pendolo nel monitoraggio degli spostamenti della torre quando, durante i lavori di consolidamento, esso dovrà essere rimosso dalla sua sede per facilitare i lavori stessi.

Tuttavia l'approccio utilizzato prevede il confronto tra misure compensate. In questo paragrafo si vuole determinare, se possibile, una corrispondenza diretta tra le misure della stazione totale e quella del pendolo.

Analizzando i dati dei paragrafi precedenti si può dedurre che la differenza tra le misure effettuate dal pendolo e dalla stazione totale sia dovuta allo spostamento planimetrico della stazione totale. Questo è a sua volta dovuto allo spostamento dei punti di riferimento fissi $R1$, $R2$, $R3$, $R4$ causati dalle deformazioni termiche delle strutture su cui sono posizionati. Infatti nel paragrafo 7.3 si può osservare come andando ad analizzare la differenza tra 2 prismi, Livello 4 e Livello1, eliminando quindi l'errore di posizionamento della stazione totale, il trend lineare tende ad annullarsi.

Si riportano i grafici degli spostamenti dei punti fissi $R1$, $R2$, $R3$, $R4$ in direzione X ed in direzione Y nel periodo di riferimento in questione.

Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14



Formulazione del problema

Al fine di definire un andamento dello spostamento indipendente dalla temperatura e dal movimento dei punti di riferimento, viene definito un modello di spostamento attraverso funzioni lineari del tipo:

$$X_c = c_{x0} + c_{x1}X_{R1} + c_{x2}X_{R2} + c_{x3}X_{R3} + c_{x4}X_{R4}$$

$$Y_c = c_{y0} + c_{y1}Y_{R1} + c_{y2}Y_{R2} + c_{y3}Y_{R3} + c_{y4}Y_{R4}$$

dove i coefficienti c_{xi} e c_{yi} sono ricavati sperimentalmente, come di seguito descritto, e X_{Ri} , Y_{Ri} sono le coordinate dei prismi fissi per un determinato periodo di tempo. La coordinata X_c e la coordinata Y_c sono dei vettori, contenenti tutti i valori di differenza tra le coordinate del pendolo e quelle misurate dalla stazione totale in riferimento al prisma più vicino (L41). L'espressione precedente diventa quindi un sistema lineare di equazioni che può essere scritto in forma compatta come:

$$\mathbf{X}_c = \mathbf{R}_{tot,x} \mathbf{c}_x$$

dove $\mathbf{X}_c$ è il vettore contenente la serie temporale delle coordinate X_c ; $\mathbf{c}_x$ è il vettore contenente i coefficienti lineari di correlazione della variabile X_c :

$$\mathbf{c}_x^T = [c_{x0} \ c_{x1} \ c_{x2} \ c_{x3} \ c_{x4}]$$

mentre la matrice $\mathbf{R}_{tot,x}$ ha l'espressione:

$$\mathbf{R}_{tot,x} = \begin{bmatrix} 1 & X_{R1_1} & X_{R2_1} & X_{R3_1} & X_{R4_1} \\ 1 & X_{R1_2} & X_{R2_2} & X_{R3_2} & X_{R4_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_{R1_n} & X_{R2_n} & X_{R3_n} & X_{R4_n} \end{bmatrix}$$

Il sistema è ridondante, cioè presenta più equazioni che incognite. La soluzione del sistema sarebbe esatta solo se tutte le espressioni venissero contemporaneamente soddisfatte. Questo in pratica avviene solo in assenza di errori di misura e nel caso in cui non ci sia dipendenza da grandezze diverse dal movimento dei prismi fissi. Pertanto la soluzione del sistema è calcolata in maniera approssimata, ed è quella che fornisce lo scarto quadrato minimo fra la misura acquisita X_c e quella teorica X_c^* . Numericamente la soluzione del sistema, cioè i coefficienti di correlazione c_{xi} , si ricavano attraverso il calcolo della pseudo-inversa di $\mathbf{R}_{tot,x}$.

Un'analoga procedura è seguita per il calcolo dei coefficienti di correlazione della coordinata Y .

Utilizzando i dati acquisiti nel periodo di monitoraggio considerato, sono stati trovati i coefficienti c_x e c_y . I risultati sono i seguenti:

c_{x0} []	c_{x1} []	c_{x2} []	c_{x3} []	c_{x4} []
-0.5372	0.2617	-0.9832	0.1612	-0.3085

c_{y0} []	c_{y1} []	c_{y2} []	c_{y3} []	c_{y4} []
-0.0454	1.0516	0.0173	-0.3813	-1.0675

Posizione compensata

È possibile quindi definire una posizione convenzionale, indipendente dallo spostamento dei punti fissi.

$$X_p = X_{L41} + (c_{x0} + c_{x1}X_{R1} + c_{x2}X_{R2} + c_{x3}X_{R3} + c_{x4}X_{R4})$$

$$Y_p = Y_{L41} + (c_{y0} + c_{y1}Y_{R1} + c_{y2}Y_{R2} + c_{y3}Y_{R3} + c_{y4}Y_{R4})$$

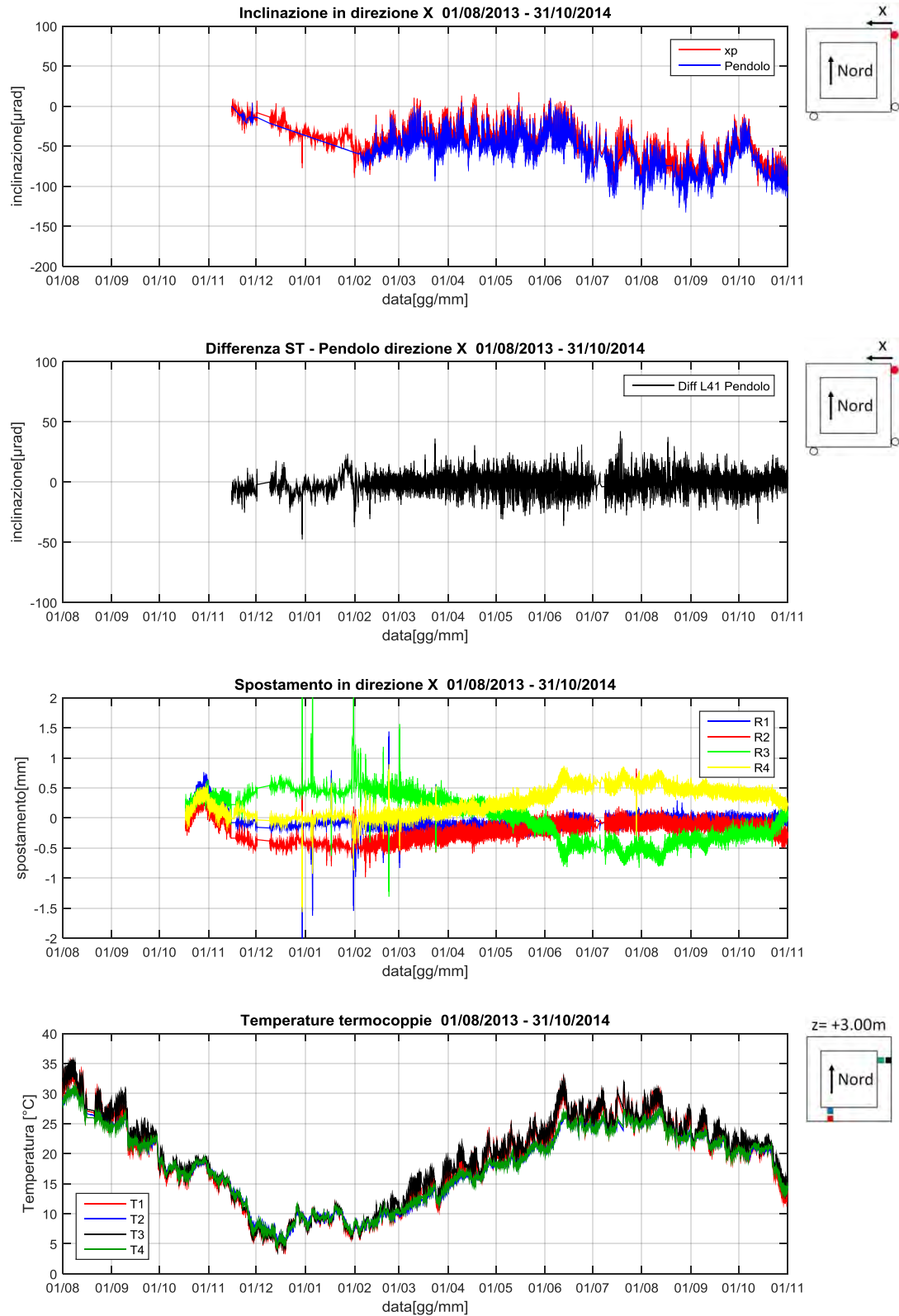
dove X_p e Y_p sono i valori compensati che andremo ad utilizzare e confrontare con i valori misurati dal pendolo e X_{L41} e Y_{L41} sono i valori di spostamento misurati dalla stazione totale in riferimento al prisma più vicino (L41) senza alcuna elaborazione.

I risultati di questa compensazione vengono rappresentati nelle figure alle pagine successive.

Viene riportato il confronto in termini di inclinazione lungo X, in micro radianti, tra il sistema di monitoraggio topografico compensato come si è visto sopra, in rosso, e il sistema di monitoraggio a pendolo. Il confronto è possibile solo nei periodi temporali nei quali sono presenti i dati da entrambe le fonti.

Viene inoltre riportato l'andamento della differenza, in termini di inclinazione, tra le due misure.

Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14



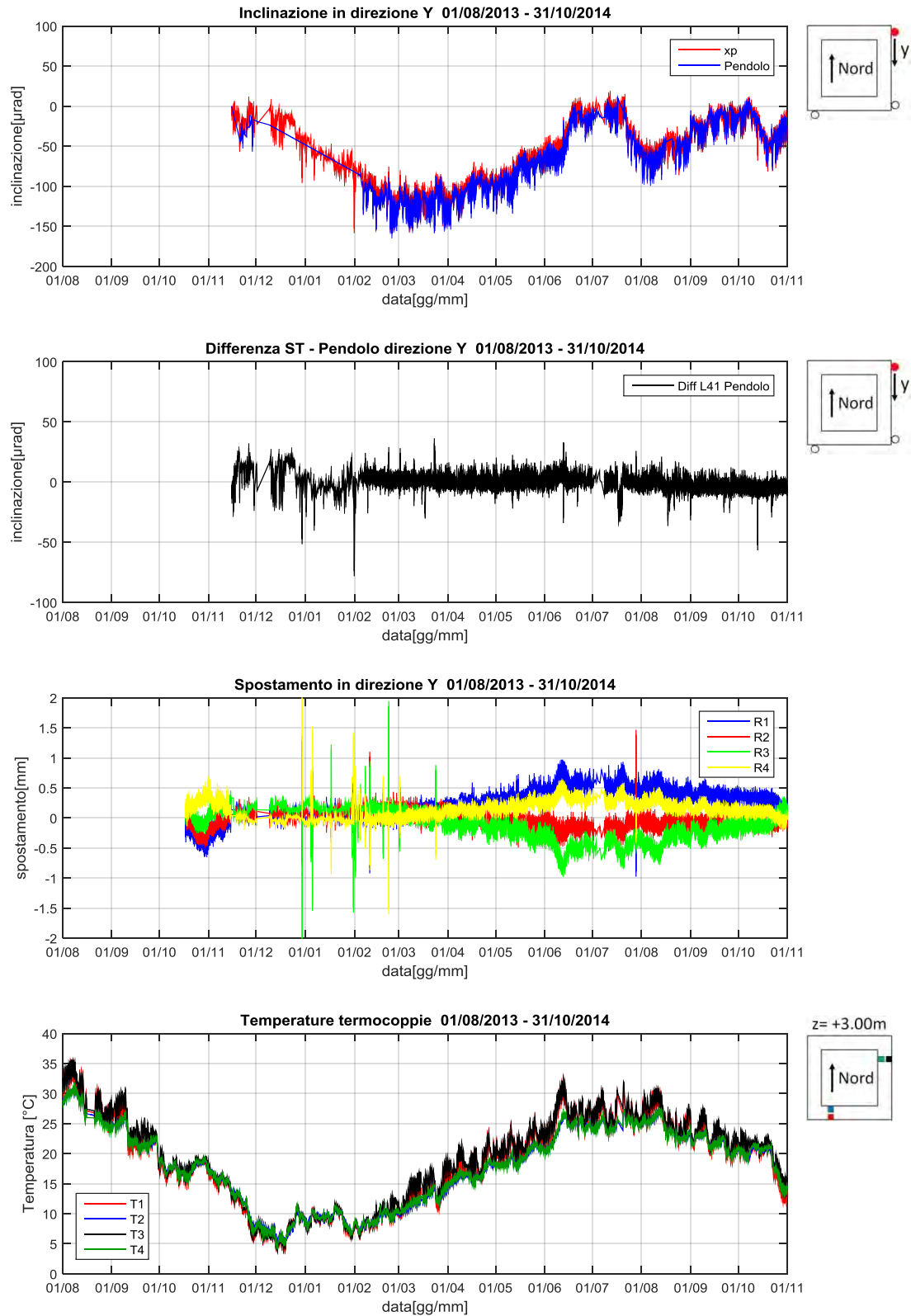
Dall'osservazione degli andamenti si nota chiaramente come di fatto non esista un trend lineare per quanto riguarda le misure di inclinazione lungo X.

L'errore in termini di rms è pari a 0.0064 mrad (0.197 mm) per il prisma L41.

Da questi ultimi dati si nota che l'errore medio è minore dell'incertezza di misura della stazione totale (1 mm+1ppm).

Nei grafici seguenti viene riportato il confronto in termini di inclinazione lungo Y, in microradianti, tra i due sistemi di misura e, successivamente, l'andamento della differenza tra i due sistemi di misura.

Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14



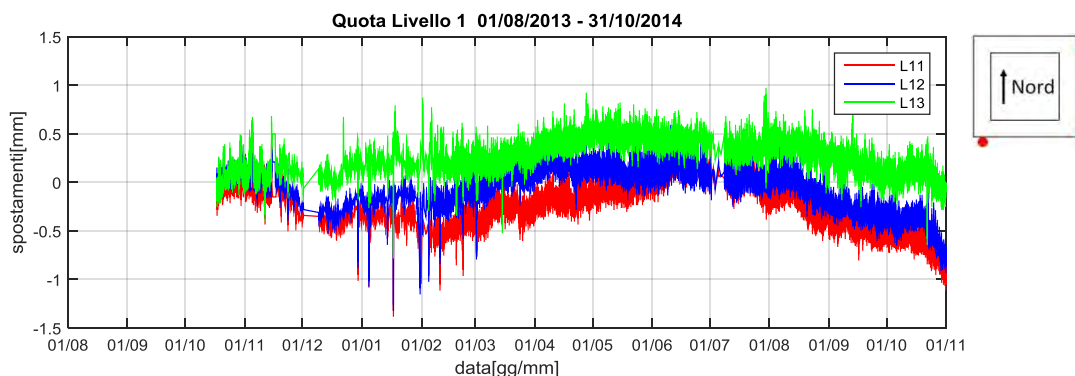
Anche lungo Y l'osservazione degli andamenti suggerisce l'assenza del trend.
L'errore in termini di rms è pari a 0.0061 mrad (0.188 mm) per il prisma L41.
La prosecuzione del monitoraggio permetterà di tarare in maniera più ottimale i pesi dei punti di riferimento.

7.6 Affondamento della Torre

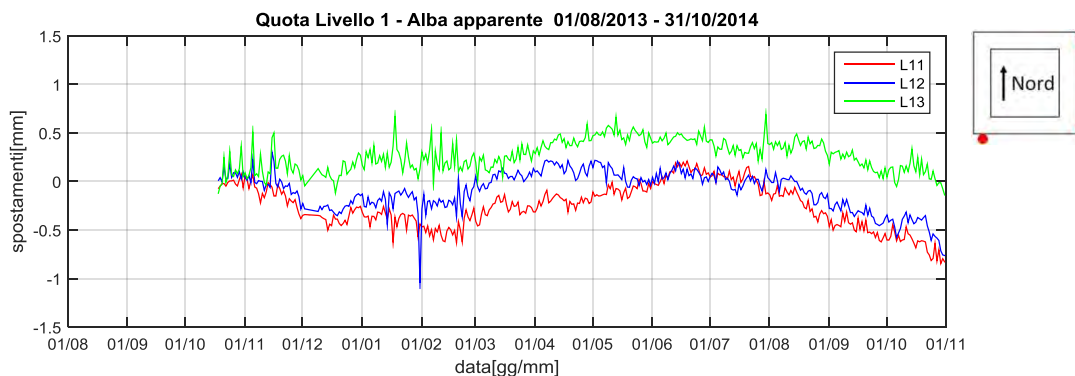
Un'altra quantità monitorata è l'affondamento della Torre, ovvero i suoi movimenti lungo l'asse verticale, in modo da verificare se ci sono stati ulteriori cedimenti del terreno nell'ultimo anno di monitoraggio.

A questo scopo la stazione totale, oltre alle 2 coordinate in pianta, ci fornisce un terzo valore che corrisponde alla quota. Abbiamo preso in considerazione i dati misurati del primo livello di prismi (il più basso), per l'elaborazione delle quote ed i calcoli che seguono.

Si riportano le quote dei 3 prismi L11, L12 e L13 opportunamente traslate con partenza dal punto 0.



Per eliminare la dipendenza dello spostamento dalle escursioni termiche giornaliere, è stato applicato esattamente lo stesso criterio riportato nei capitoli precedenti. Si riportano quindi direttamente i risultati ottenuti.



Al fine di definire un andamento dello spostamento indipendente dalla temperatura, viene adottata la stessa formulazione proposta nei capitoli precedenti.

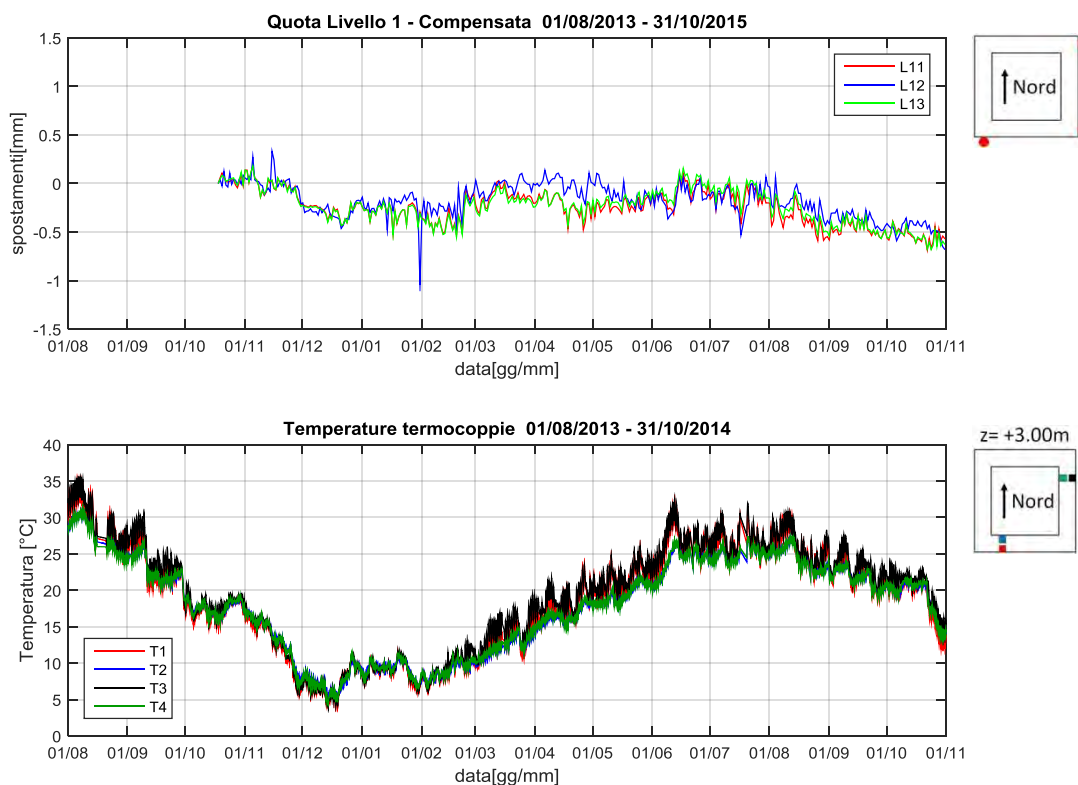
Si ricorda che, in particolare, il modello di spostamento adottato dipende dalle temperature misurate attraverso funzioni lineari del tipo

$$H = c_{h0} + c_{h1}T_1 + c_{h2}T_2 + c_{h3}T_3 + c_{h4}T_4$$

Utilizzando i dati acquisiti nell'intero periodo di monitoraggio, sono stati calcolati i coefficienti c_h . I risultati sono i seguenti:

	c_{x0} [mm]	c_{x1} [mm °C ⁻¹]	c_{x2} [mm °C ⁻¹]	c_{x3} [mm °C ⁻¹]	c_{x4} [mm °C ⁻¹]
<i>L11</i>	-0.4061	0.1275	0.0941	-0.0516	-0.1594
<i>L12</i>	-0.1355	0.0515	-0.0063	0.0301	-0.0750
<i>L13</i>	0.1722	0.1144	0.0508	-0.0412	-0.1178

Da cui si ricava, con il procedimento descritto ai capitoli precedenti, il grafico delle quote compensate con la temperatura.



L'affondamento della torre in questo primo anno di monitoraggio, facendo la media aritmetica dei tre prismi, è risultato essere pari a 0.49 mm.

8 ANALISI DEI DATI ACQUISITI DEL PENDOLO

8.1 Andamento al netto delle escursioni termiche giornaliere

Per eliminare la dipendenza dello spostamento dalle escursioni termiche giornaliere, è stato applicato esattamente lo stesso criterio riportato nei capitoli precedenti. Si riportano quindi direttamente i risultati ottenuti.

La Figura 12 conferma che la velocità di spostamento non varia con continuità, ma esistono dei periodi della durata di alcune settimane in cui la Torre sembra subire delle accelerazioni nel suo movimento. Questi movimenti sembrano assenti nelle stagioni invernali.

L'andamento in pianta della posizione del filo a piombo, rappresentato in Figura 13, conferma che il moto della torre generale della Torre segue, con una certa approssimazione, un andamento a spirale, con verso antiorario. Il trend di spostamento è abbastanza chiaramente in direzione NE, corrispondente alla direzione di massima pendenza della Torre.

Lo spostamento complessivo, Δs , e gli spostamenti lungo ciascuna coordinata, ΔX e ΔY , dall'inizio del monitoraggio, al netto delle escursioni termiche giornaliere, risultano:

Δs [mm]	ΔX [mm]	ΔY [mm]
29.62	-23.92	-17.47

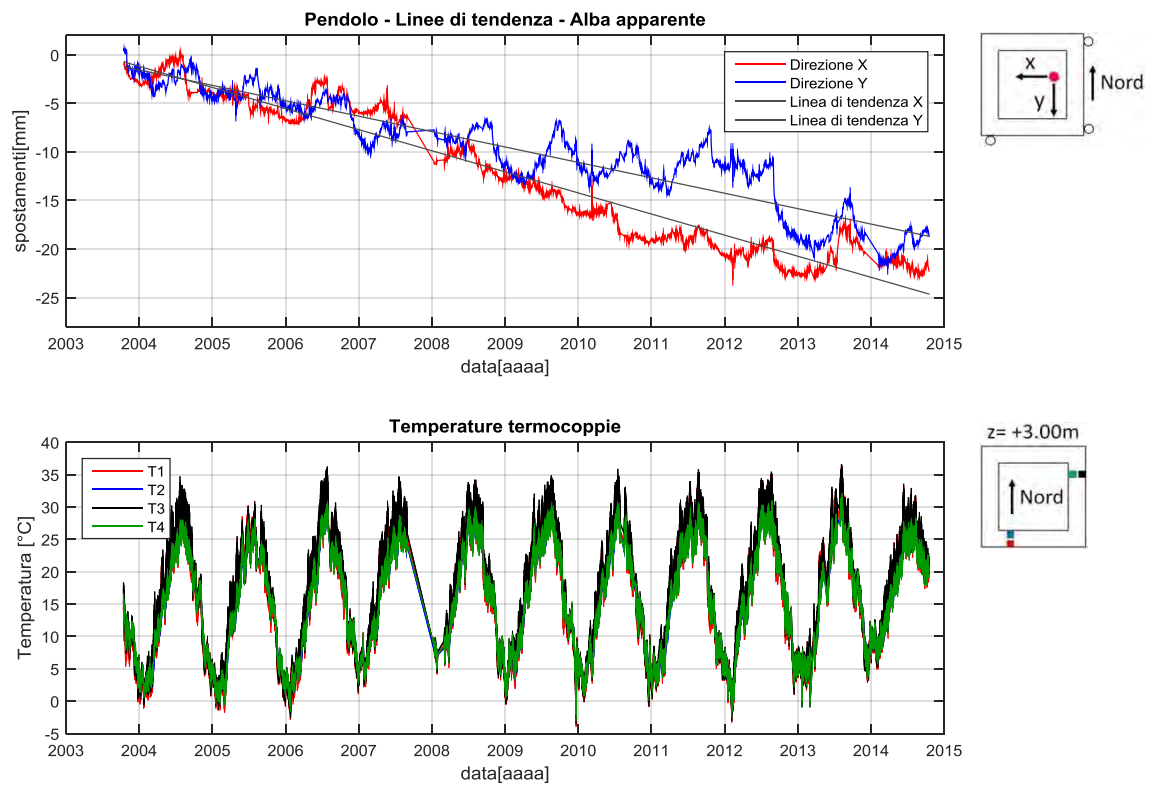


Figura 12 - Serie temporali globali al netto dell'escursione termica giornaliera

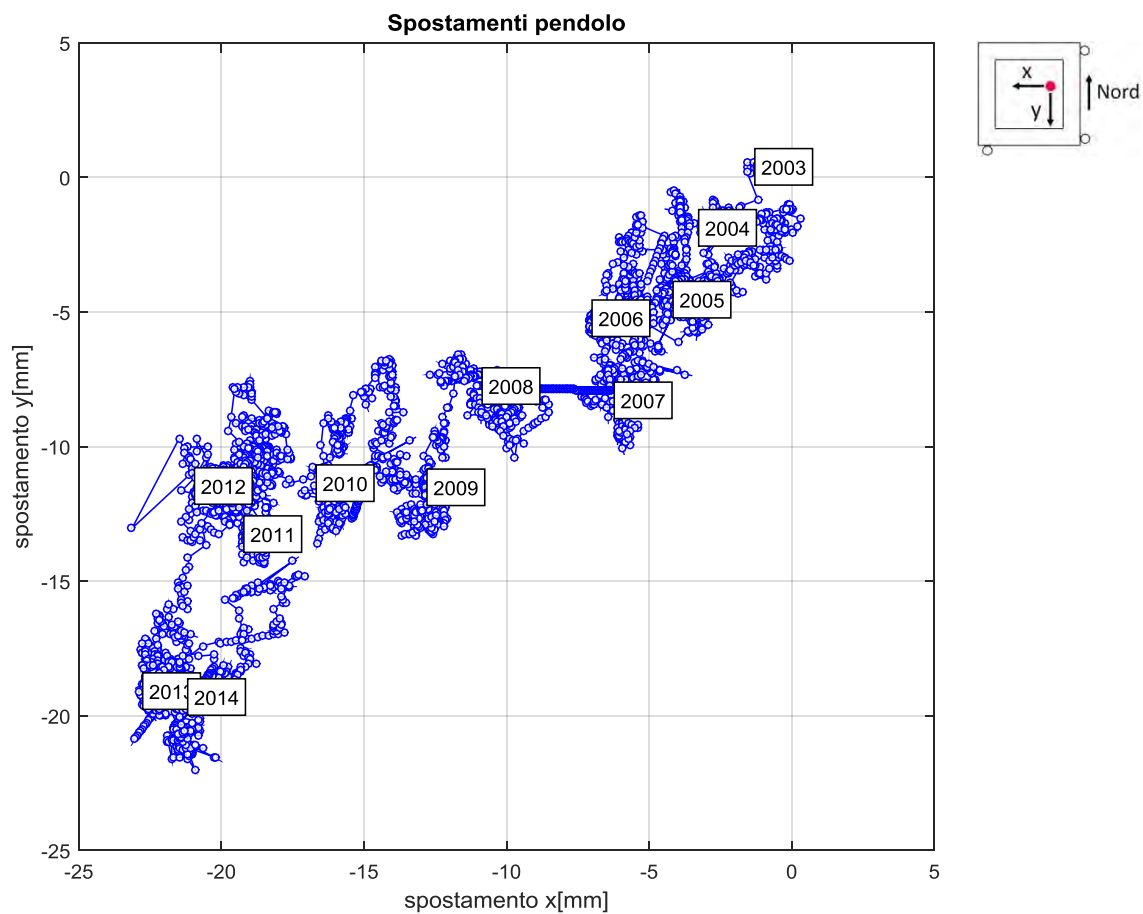


Figura 13 - Posizione del filo a piombo nel corso del periodo di monitoraggio al netto dell'escursione termica giornaliera.

8.2 Andamento al netto delle escursioni termiche stagionali

Formulazione del problema

Al fine di definire un andamento dello spostamento indipendente dalla temperatura, viene adottata la stessa formulazione proposta nei capitoli precedenti. Si ricorda che, in particolare, il modello di spostamento adottato dipende dalle temperature misurate attraverso funzioni lineari del tipo:

$$X = c_{x0} + c_{x1}T_1 + c_{x2}T_2 + c_{x3}T_3 + c_{x4}T_4$$

$$Y = c_{y0} + c_{y1}T_1 + c_{y2}T_2 + c_{y3}T_3 + c_{y4}T_4$$

dove i coefficienti c_{xi} e c_{yi} sono ricavati sperimentalmente, come di seguito descritto.

Utilizzando i dati acquisiti nell'intero periodo di monitoraggio, sono stati aggiornati i coefficienti c_x e c_y . I risultati sono i seguenti:

c_{x0} [mm]	c_{x1} [mm °C ⁻¹]	c_{x2} [mm °C ⁻¹]	c_{x3} [mm °C ⁻¹]	c_{x4} [mm °C ⁻¹]
-12.597	-0.868	-4.405	0.869	4.336

c_{y0} [mm]	c_{y1} [mm °C ⁻¹]	c_{y2} [mm °C ⁻¹]	c_{y3} [mm °C ⁻¹]	c_{y4} [mm °C ⁻¹]
-10.924	-1.249	-2.896	0.582	3.602

Si ricorda che i coefficienti c_{x0} e c_{y0} rappresentano le coordinate che la Torre dovrebbe avere per una distribuzione uniforme di temperatura pari allo zero termico. Nella tabella queste coordinate sono espresse in relazione al valor medio calcolato precedentemente.

Posizione compensata

È possibile definire una posizione convenzionale del pendolo indipendente dalla temperatura, compensando l'effetto termico attraverso le seguenti espressioni:

$$X_{compensata} = X - (c_{x0} + c_{x1}T_1 + c_{x2}T_2 + c_{x3}T_3 + c_{x4}T_4)$$

$$Y_{compensata} = Y - (c_{y0} + c_{y1}T_1 + c_{y2}T_2 + c_{y3}T_3 + c_{y4}T_4)$$

In questo sistema di riferimento, ogni variazione rispetto allo zero è legata o al rumore della misura o a cause non correlate alle temperature misurate.

La Figura 14, permette di riconoscere molto chiaramente un trend di spostamento in direzione negativa delle due coordinate, cioè uno spostamento della torre in direzione NE. Possiamo in prima approssimazione ipotizzare una dipendenza lineare dello spostamento compensato dal tempo, secondo espressioni del tipo:

$$\bar{X} = \bar{X}_0 + m_x \Delta t$$

$$\bar{Y} = \bar{Y}_0 + m_y \Delta t$$

dove Δt è il tempo trascorso da un determinato istante convenzionale t_0 , $\bar{X}_0$ e $\bar{Y}_0$ sono le coordinate previste al tempo t_0 , m_x e m_y sono i gradienti di spostamento nelle due direzioni. Approssimando in questo modo le curve sperimentali si ottengono i seguenti gradienti di spostamento:

m	m_x	m_y	m_i
0.007368 mm gg ⁻¹ 2.689 mm anno ⁻¹	-0.005949 mm gg ⁻¹ -2.172 mm anno ⁻¹	-0.004346 mm gg ⁻¹ -1.586 mm anno ⁻¹	246.42 10 ⁻⁹ rd gg ⁻¹ 89.944 10 ⁻⁶ rd anno ⁻¹

dove m è il trend complessivo e m_i è il trend di rotazione della torre, calcolato tenendo conto che la differenza di quota fra il fulcro del pendolo la posizione di misura è $\delta=29.9$ m. Con questi valori, risulta che la direzione dello spostamento della Torre è a 53.85° rispetto all'asse Y (asse N-S), verso NE.

Questi risultati sono ancora una volta coerenti con il trend e la direzione di spostamento stimate nelle precedenti relazioni annuali.

L'andamento temporale delle due coordinate, compensate dall'escursione termica stagionale, è rappresentato in Figura 14. Anche se l'osservazione degli ultimi mesi del monitoraggio può apparire in controtendenza rispetto al trend di inclinazione, in realtà il trend complessivo non ha subito variazioni rispetto allo scorso anno. Lo stesso grafico evidenzia ancora una volta un'apparente componente periodica dello spostamento, già osservata nelle precedenti relazioni, con periodo pari a circa 6 mesi, con minimi approssimativamente in corrispondenza degli equinozi.

La rappresentazione nel piano X-Y di Figura 15 mostra ancora una volta con chiarezza che i campioni, sono raggruppati preferenzialmente lungo la direzione SO-NE, e l'osservazione della sequenza temporale dei campioni conferma come la Torre tenda a spostarsi verso NE.

Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro
 Monitoraggio della Torre Civica di Portogruaro – 01.08.13 – 31.10.14

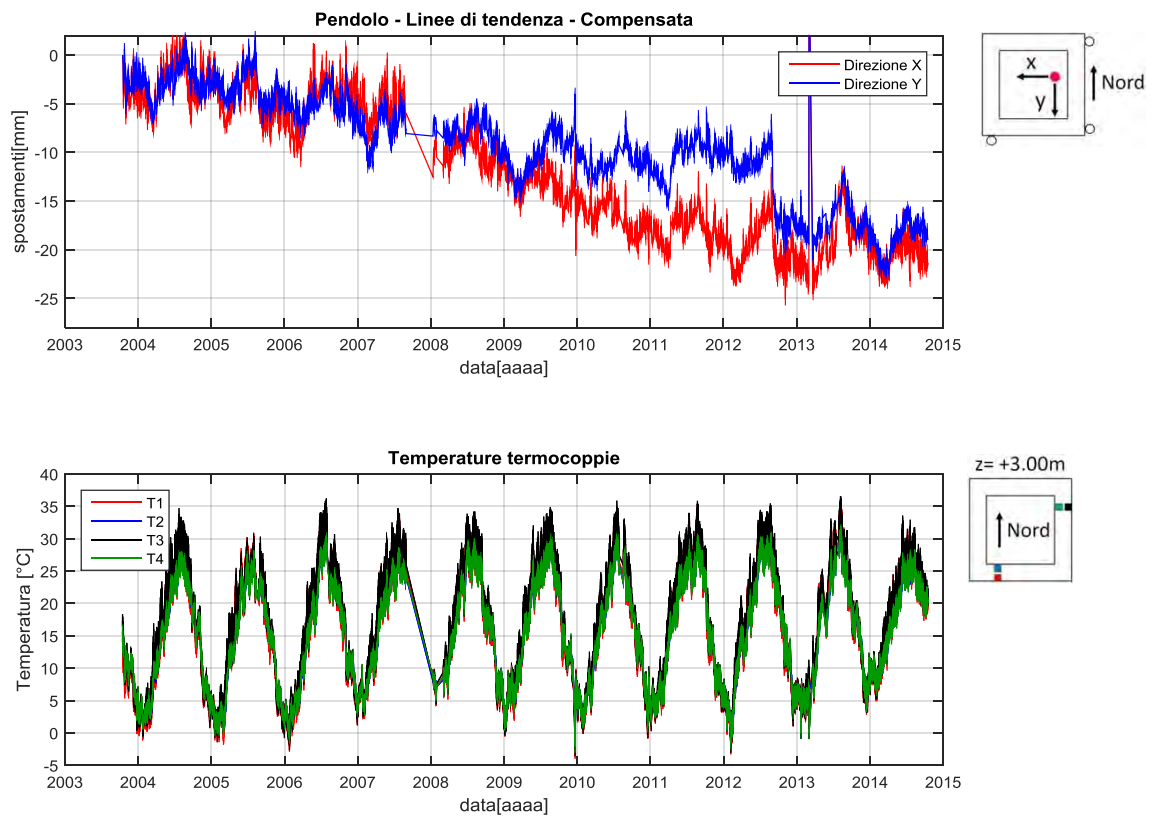


Figura 14 - Serie temporali in coordinate compensate termicamente.

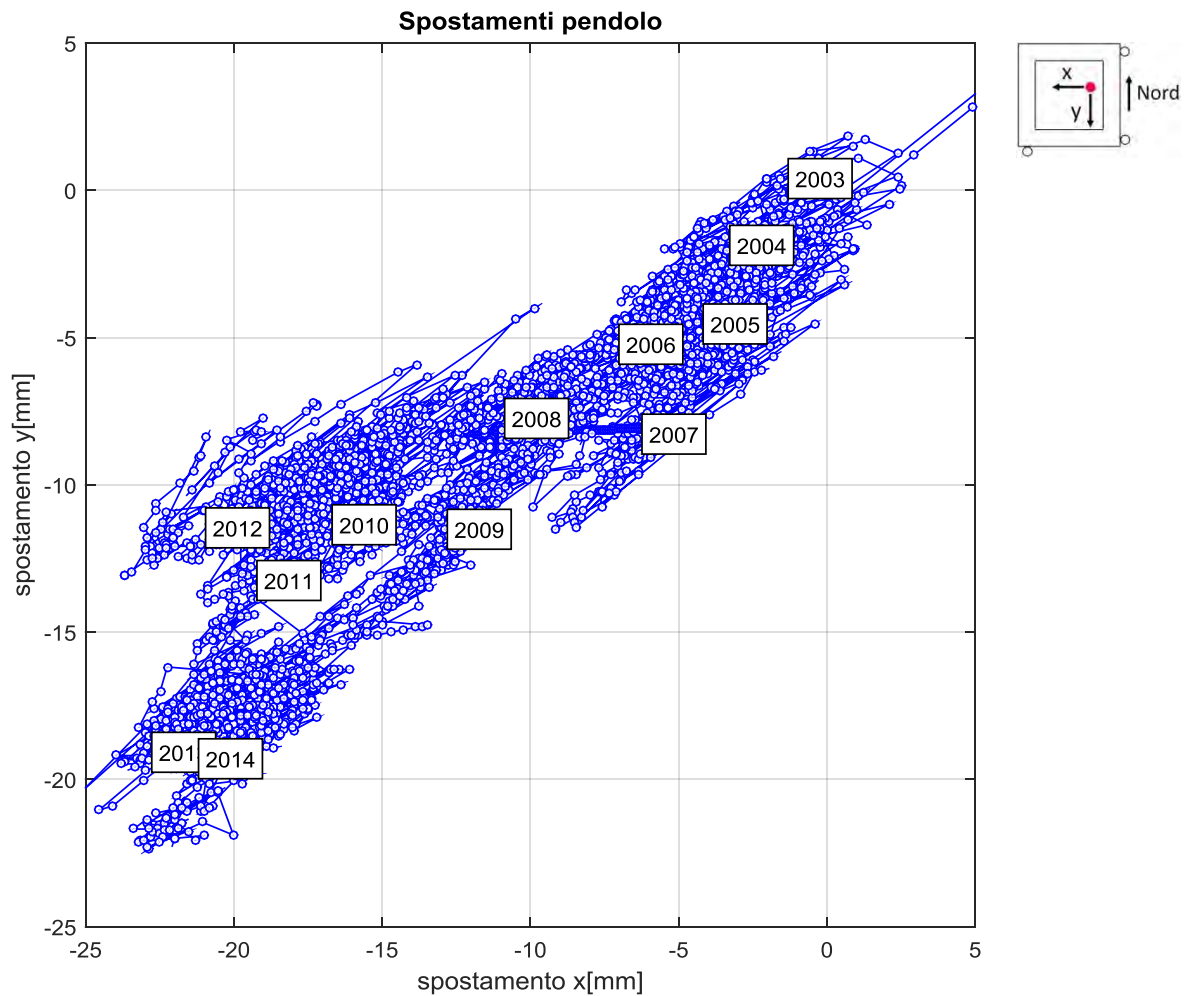
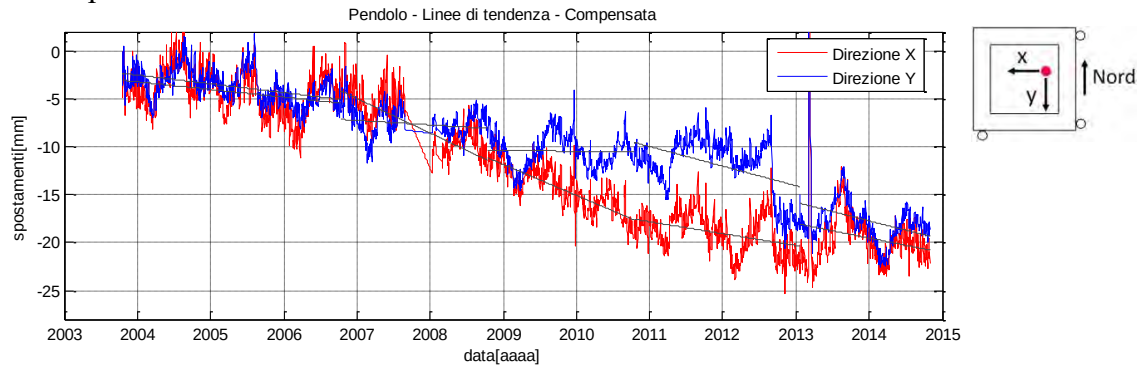


Figura 15 - Posizione del filo a piombo nel corso del periodo di monitoraggio in coordinate compensate termicamente.

Nel grafico successivo si riporta il trend deformativo della torre, calcolando il trend per intervalli temporali della durata di 2 anni.



Si riporta successivamente una tabella contenente tutti i valori ricavati, sia in termini di spostamento, sia in termini di inclinazione per le due direzione X e Y.

<i>Periodo</i>	m_x [mm/anno]	m_y [mm/anno]	m_{ix} [mrad/anno]	m_{iy} [mrad/anno]
2003-2006	-0.79705	-0.91788	-0.026657	-0.030698
2006-2008	-3.6064	-0.47213	-0.12062	-0.01579
2008-2010	-3.2343	-0.088143	-0.10817	-0.0029479
2010-2012	-1.2376	-2.0424	-0.041391	-0.068306
2012-2014	-1.5233	-1.9373	-0.050946	-0.064791

9 OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

- In questa relazione sono riportati i dati acquisiti dal sistema di monitoraggio della Torre Civica di nel periodo dall'1 agosto 2013 al 31 ottobre 2014, per un totale di 457 giorni. Il sistema comprende: un sistema per il rilievo dell'inclinazione basato su pendolo ottico, funzionante dal 15 ottobre 2003; un sistema di rilievo topografico basato su stazione robotizzata ad alta precisione, funzionante dal 17 ottobre 2013.
- Sulla base dei dati acquisiti, è stato sviluppato un algoritmo per stimare la risposta del pendolo sulla base delle misure della stazione topografica. L'algoritmo è una combinazione lineare dei dati della stazione, i cui coefficienti sono stati identificati attraverso una regressione lineare dei dati del pendolo. La deviazione standard della stima è stata calcolata in 0.197 mm in direzione X, e 0.188 mm in direzione Y. Si tratta di valori paragonabili con la precisione di misura del pendolo, pari a 0.15 mm.
- Come nelle precedenti relazioni annuali, per l'analisi sono stati utilizzati i dati acquisiti nell'intero periodo di monitoraggio, e cioè dal 15 ottobre 2003 al 31 ottobre 2014, corrispondenti ad un arco temporale di 4034 giorni.
- L'analisi dei dati del pendolo utilizza gli stessi algoritmi riportati nelle relazioni presentate al termine dei precedenti periodi di monitoraggio. I risultati confermano ancora una volta quanto già osservato nelle precedenti relazioni annuali.
- Considerati tutti i dati del monitoraggio, compensate le variazioni termiche stagionali e assunto un trend lineare, la stima è di **2.353 mm/anno** in direzione **68.83°** rispetto all'asse Y, verso NE, cioè approssimativamente nella direzione di massima pendenza. In termini di rotazione, il trend stimato è di **78.701 10⁻⁶ rad/anno**. Sulla base di questo modello interpretativo, **la Torre si è spostata permanentemente di 29.62 mm dall'inizio del monitoraggio**.
- Le misure della stazione totale hanno permesso di osservare anche l'affondamento della Torre. Considerati i dati acquisiti dal 17 ottobre 2013 e compensate le variazioni termiche stagionali, è possibile stimare su questo periodo un **affondamento apparente della Torre è di 0.49 mm**. Si tratta di un valore modesto, sul limite della risoluzione della misura. Con la continuazione del monitoraggio si potrà verificare l'effettiva esistenza di un trend di affondamento.

- Nell'assunzione che verrà eseguito a breve un intervento di consolidamento della Torre per interrompere la progressione dell'inclinazione, confermo la necessità di continuare, nel frattempo, il monitoraggio dell'inclinazione, per riconoscere tempestivamente i sintomi di possibili stati critici per la sicurezza della Torre.

Trento, 10/12/2014,

Daniele Zonta