



# MONITORAGGIO MICROCLIMATICO E STRUTTURALE

Metodi e strumenti per la conservazione del patrimonio culturale

**CONVEGNO SULLE METODOLOGIE  
INNOVATIVE PER LA CONSERVAZIONE  
PROGRAMMATA**

## *Il monitoraggio microclimatico per la conservazione dei Beni Culturali*

*Elisabetta Rosina*



## Sinergie e pianificazioni





## Le finalità del progetto

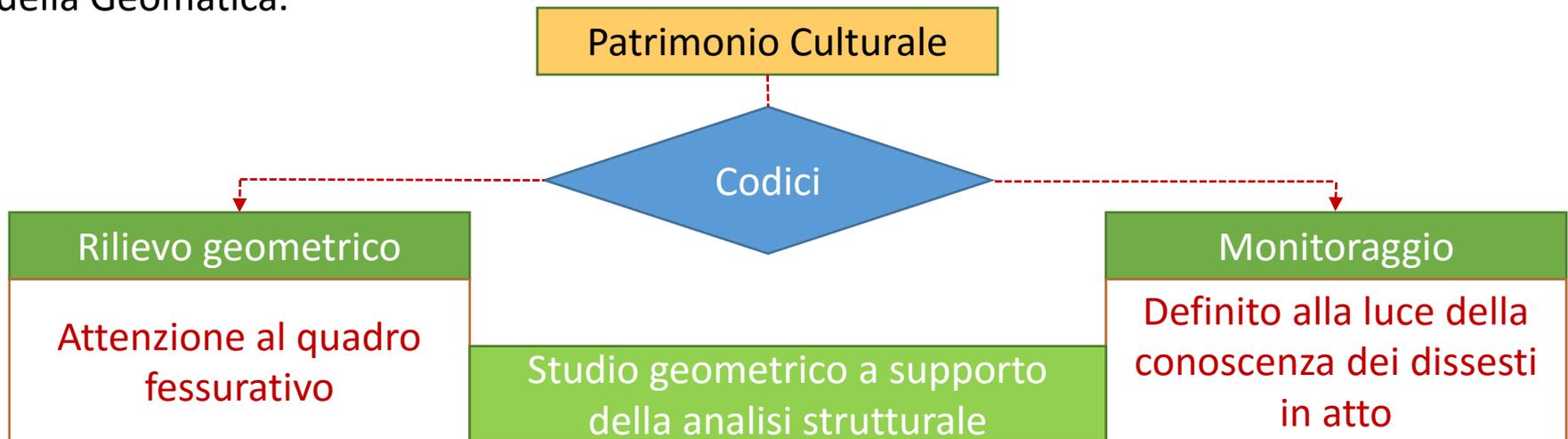
1. Mettere a sistema le risorse per accedere al co-finanziamento di Fondazione Cariplo (Piani CP e Diagnostica innovativa)
2. Generare le condizioni necessarie ad uno studio approfondito su casi di studio ben rappresentativi di materiali e tecniche costruttive locali, e per cui identificare le best practice per la conservazione anche del patrimonio storico diffuso della zona
3. Diffusione: le reti di cui gli enti fanno parte consentono di diffondere i risultati ottenuti ad un vasto numero di osservatori, portatori di interessi, proprietari, ed altri enti locali



## La conoscenza del Bene Culturale attraverso i rilievi e i monitoraggi di controllo. Pianificazione degli interventi

L'importanza sempre maggiore che si attribuisce al patrimonio-storico culturale ha favorito lo sviluppo di sempre più specifiche e mirate normative volte alla sua tutela.

Proprio a partire da questi codici, emerge come, per una conservazione consapevole, sia fondamentale che l'analisi del comportamento strutturale degli edifici venga effettuata attraverso l'integrazione delle tecniche e degli strumenti più innovativi della Geomatica.





## Monitoraggio microclimatico alla concattedrale di Sant'Andrea

Analisi pregresse:

IRT per la tessitura muraria

Misure geoelettriche (sottosuolo)

Monitoraggio:

- Una battuta di prove termoigrometriche e EFD (Maggio 2013)
- Prove termografiche in tutte le stagioni
- Le prove psicrometriche a cadenza stagionale (due al giorno)
- Monitoraggio ambientale, acquisizione oraria per 12 mesi
- Temperatura a contatto (superficie) acquisizione ogni 30 minuti per 12 mesi nei punti risultati più critici per fenomeni di condensazione



## Diagnostica innovativa

Le tecniche innovative che sono state utilizzate a complemento di quelle più tradizionali e standardizzate, per redigere un programma di controlli e un piano delle azioni preventive, a fronte di un limitato numero di interventi.

I monitoraggi e gli accertamenti per mitigare alcuni fattori di rischio e il degrado ormai avanzato di alcuni elementi degli edifici più antichi



## La campagna diagnostica. Analisi pregresse

Sulla storia e struttura del Sant'Andrea, orientamento

L. Volpi Ghirardini

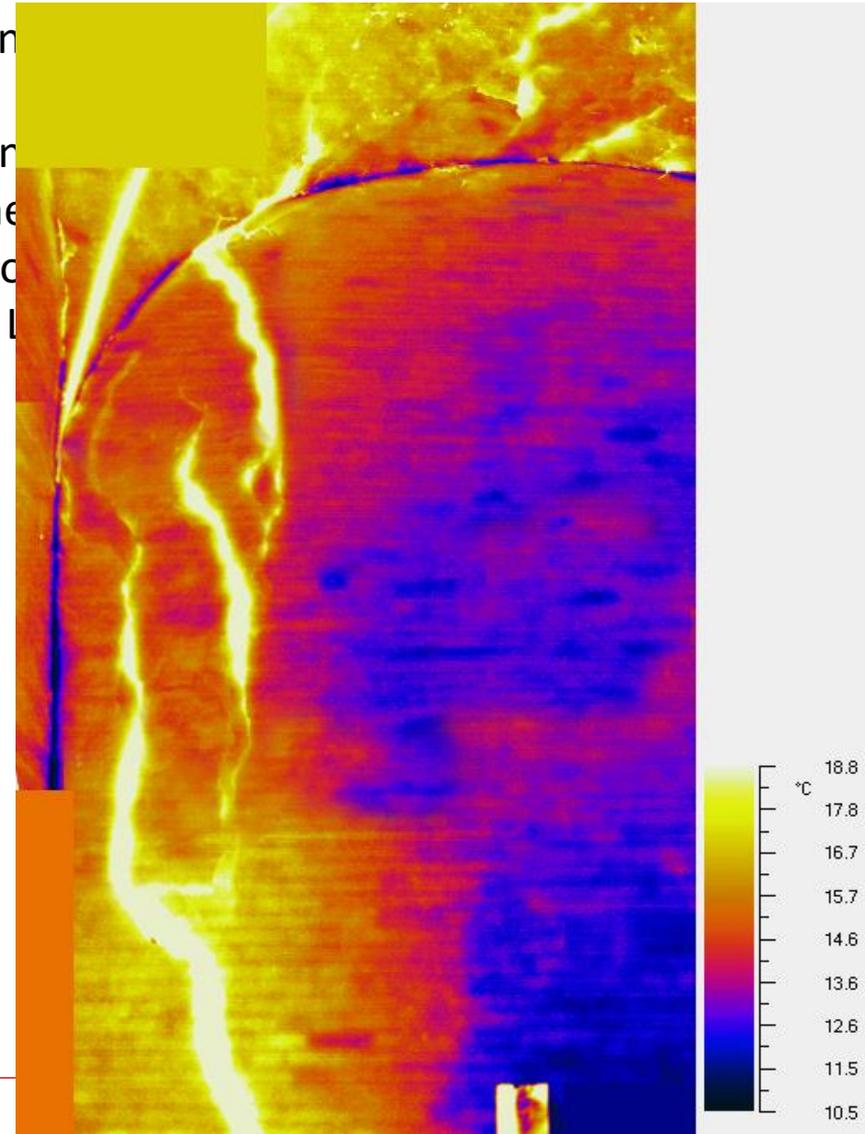
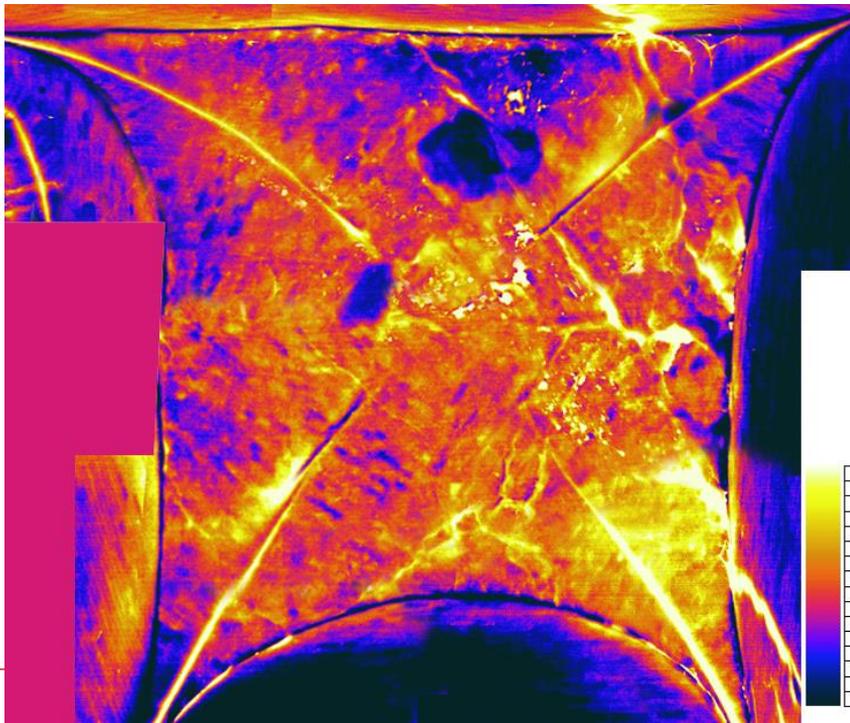
Politecnico di Milano, Laboratorio di Analisi e Diagnostica

Grimoldi : Indagini microclimatiche e termografiche

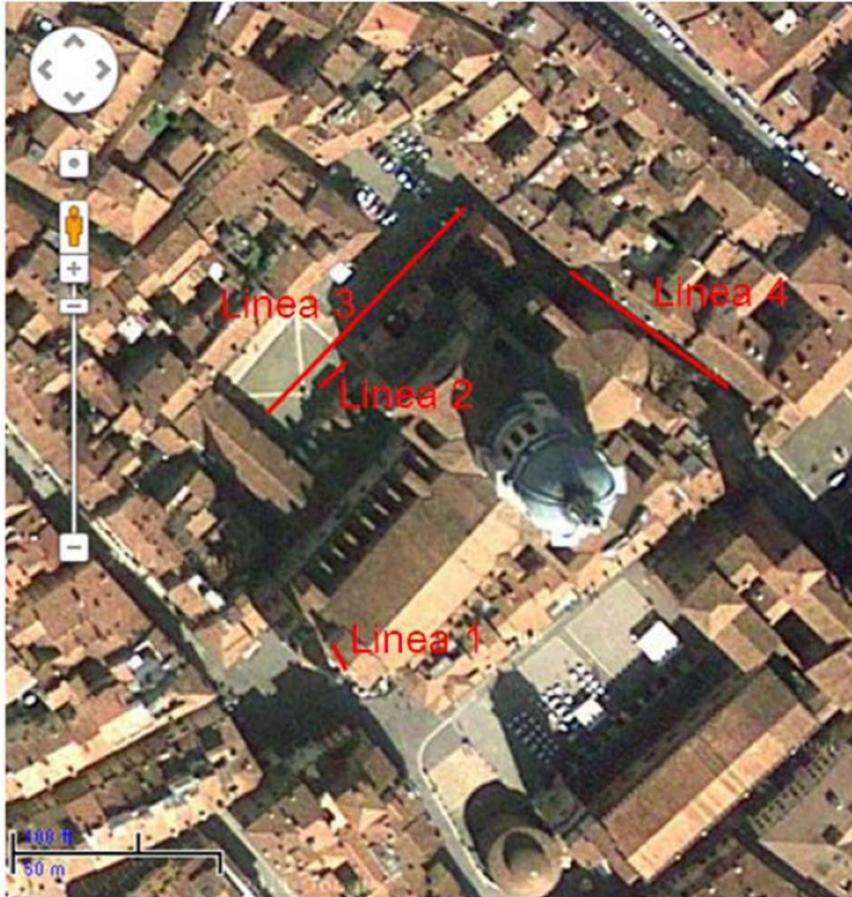
Politecnico di Milano, Laboratorio Sperimentale microclimatico

Laboratorio di Geofisica Applicata, dip. DICA, prof. L. Volpi Ghirardini

2012



## Misure geoelettriche (sottosuolo)



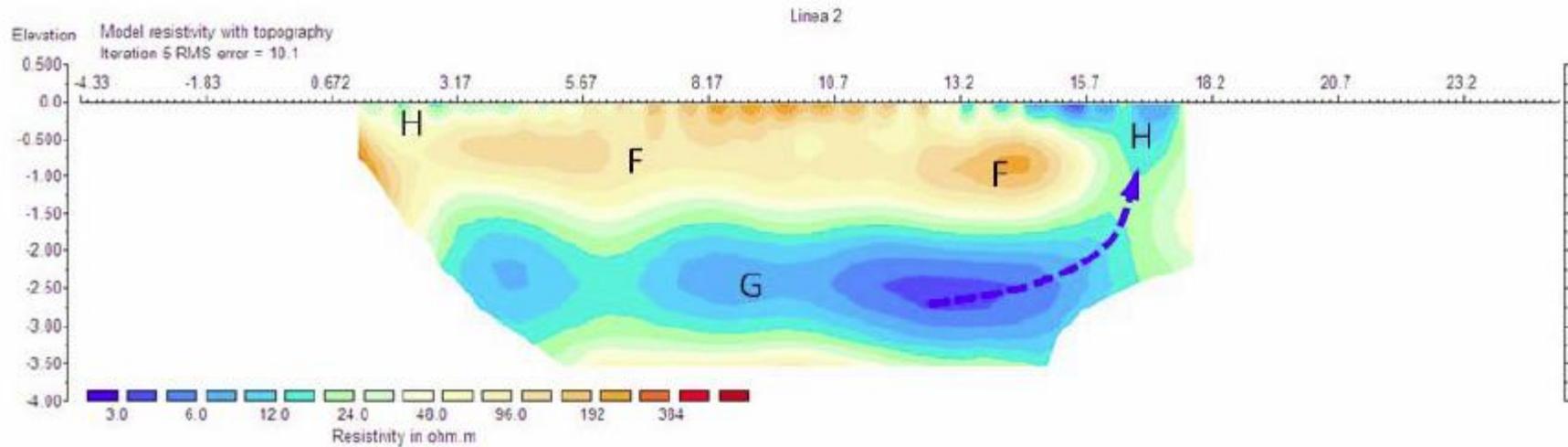
Identificazione dei principali fenomeni di infiltrazione idrica (febbraio 2012, Geoarcheologia, M. Bottacchi, CGT-Università di Siena, su finanziamento Direzione Regionale nell'ambito delle ricerche preliminari relative alla struttura della basilica).

Evidenti fenomeni di risalita delle acque sub-superficiali causa principale delle macchie di umidità e dei distacchi di intonaco sulle pareti esterne della basilica

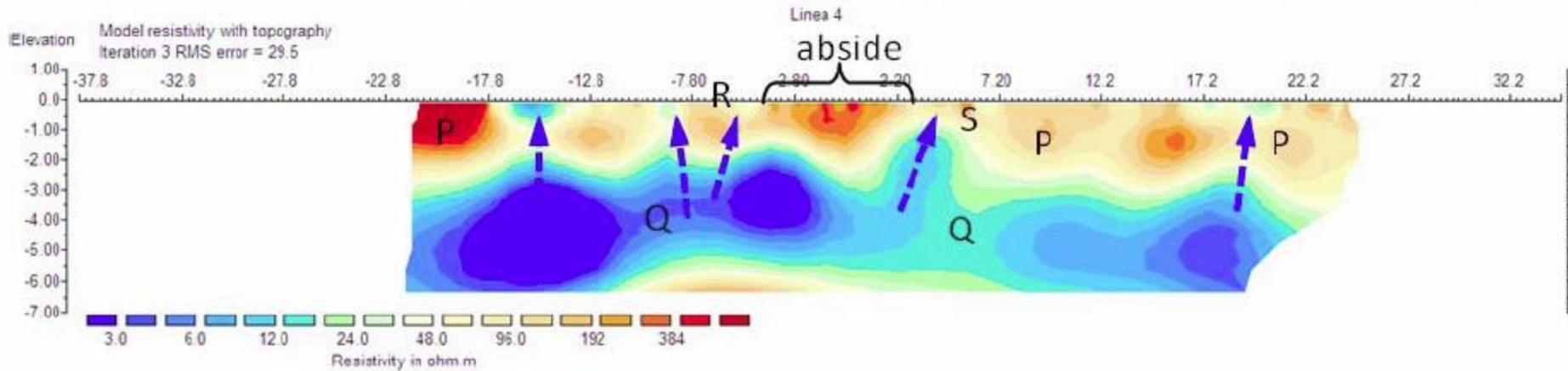
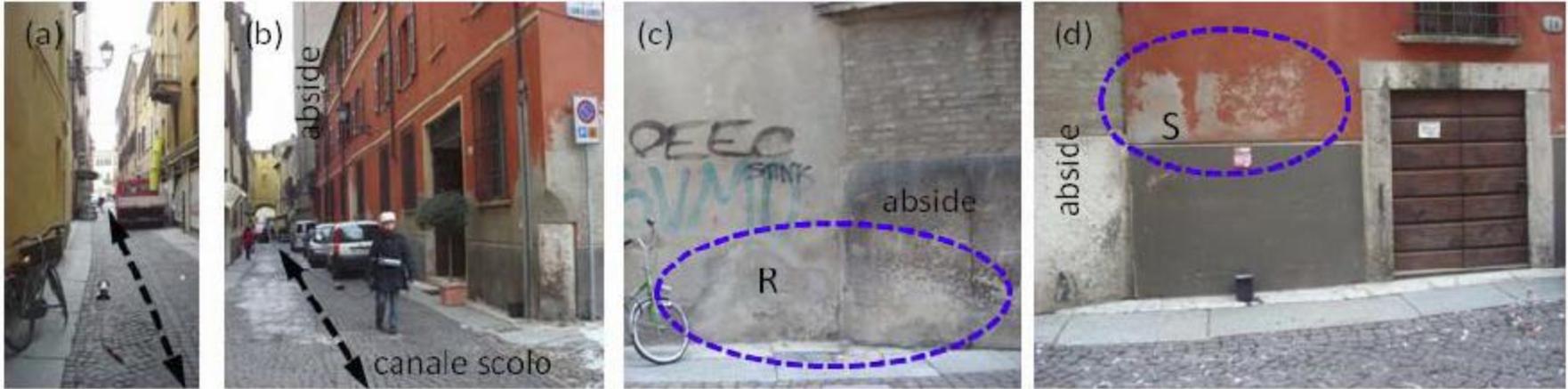
Schema Ohm-Mapper



## Prospezione sulla linea 2



# Prospezione sulla linea 4





## Le nuove indagini

### Finalità

Mappa della distribuzione dell'umidità nelle murature,  
nei punti risultati significativi, verifica del Wc con prove gravimetriche  
e con strumenti innovativi (EDF)

Definire: le condizioni di equilibrio delle finiture in opera con l'ambiente,  
le variazioni indotte dalle escursioni giornaliere e stagionali

Identificazione dei fattori microclimatici che possono costituire un rischio per la  
conservazione delle superfici in opera:

valutare gli sbilanci

definire i valori soglia di T°C e UR ambientali

### Risultati attesi

Ottenere una corrispondenza tra degrado e presenza di acqua, allo stato liquido e  
gassoso, nei diversi periodi dell'anno per

Prevenire il danno: regolare l'uso dell'edificio,

Definire: le pratiche manutentive,

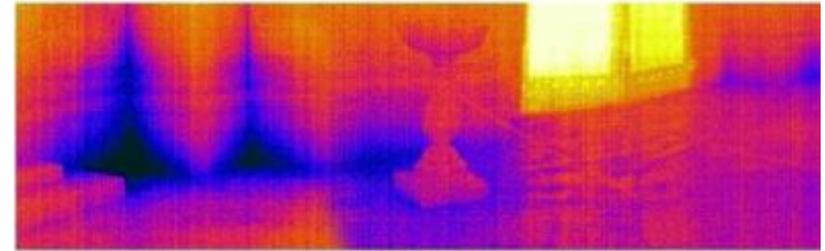
ulteriori interventi di risanamento, se necessari

## IRT

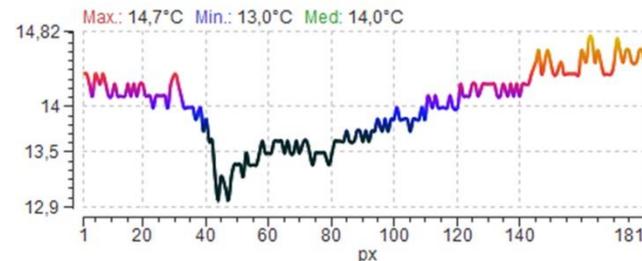
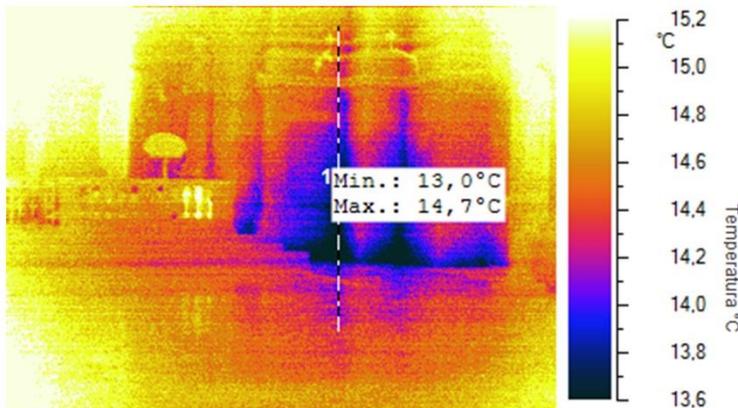
Temperature inferiori su parte delle superfici interne del transetto e delle cappelle del lato nord nella navata

La base delle murature, a contatto con il pavimento, risulta più fredda (conferma dei precedenti rilievi del 2007-2010)

Rischio per la conservazione delle superfici in opera a causa della possibile condensazione dell'umidità ambientale

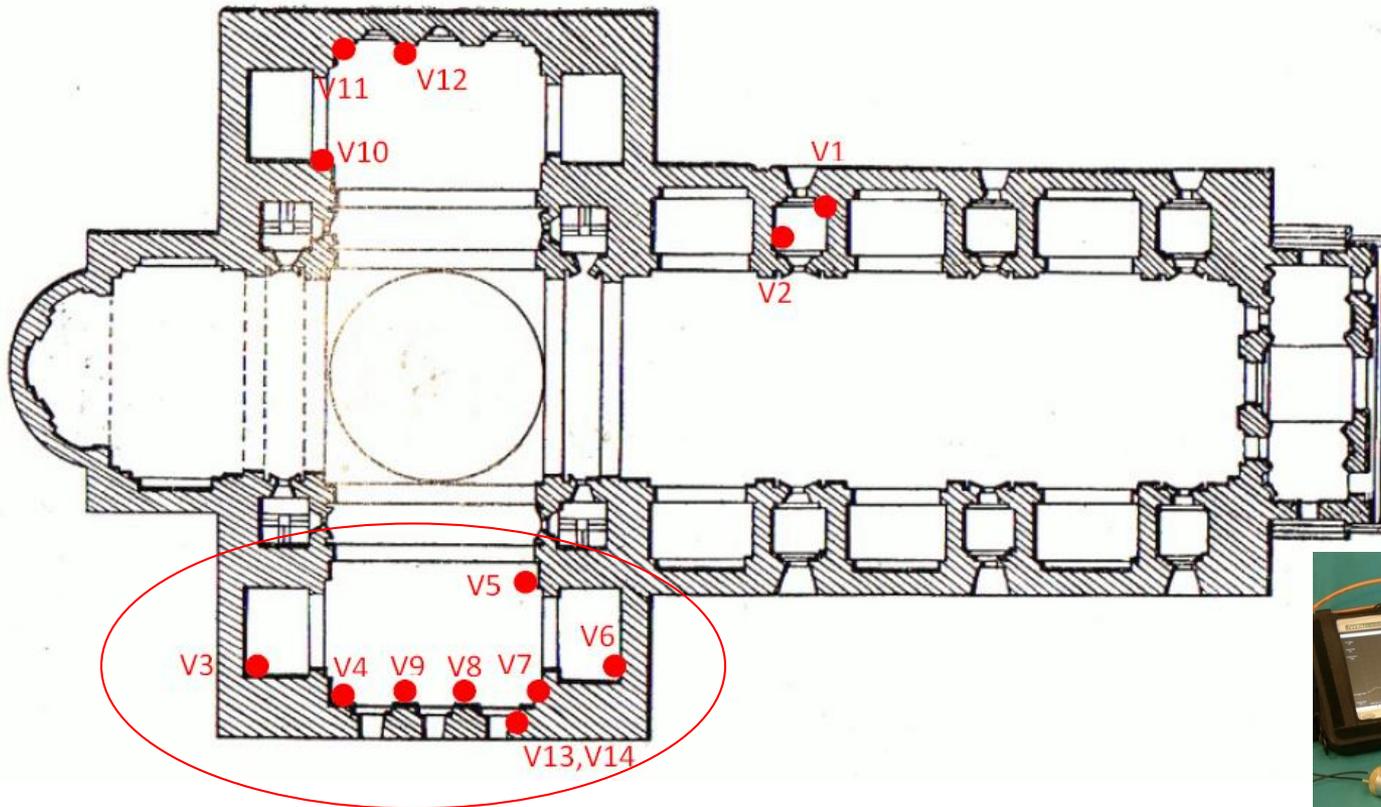


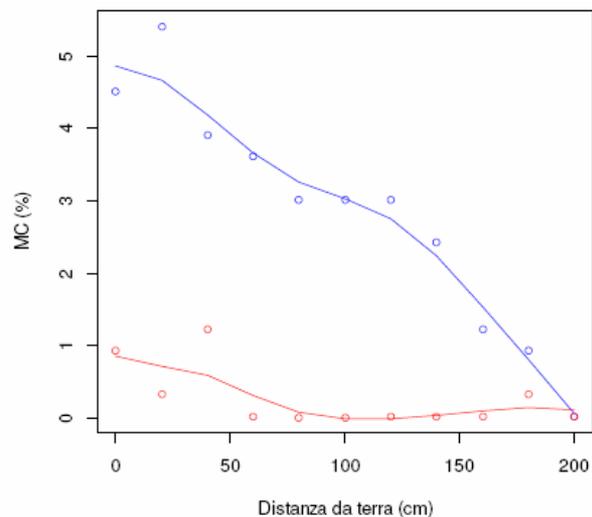
prospetto nord - transetto



## Indagini EFD

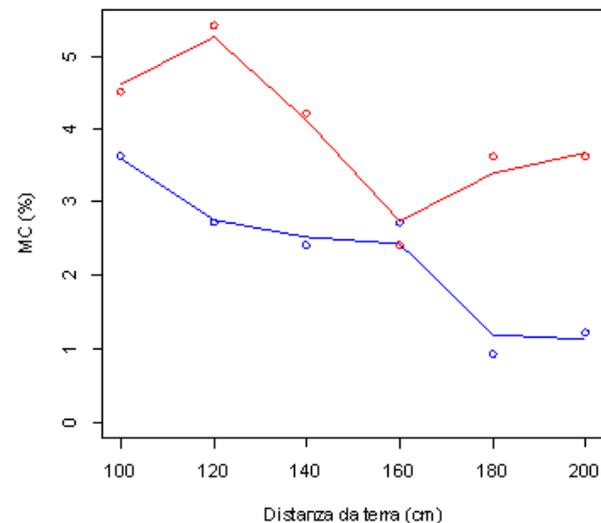
I risultati delle indagini EFD (Evanescent Field Dielectric - R. Olmi, CNR-IFAC) confermano la presenza di contenuti di acqua un poco superiori a quelli considerabili fisiologici per i materiali delle finiture interne in alcune zone





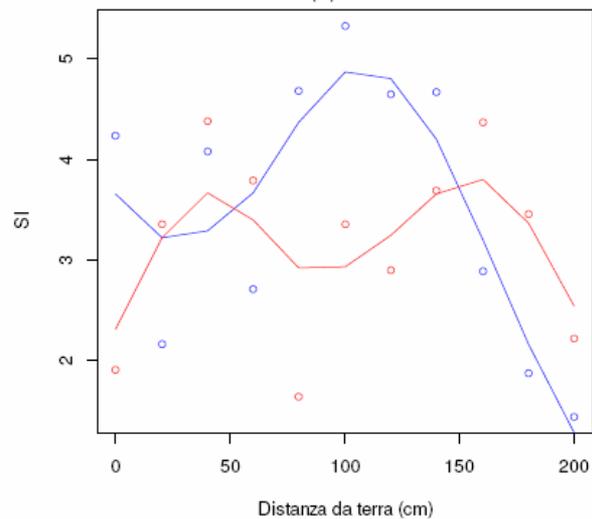
Distanza da terra (cm)

(a)



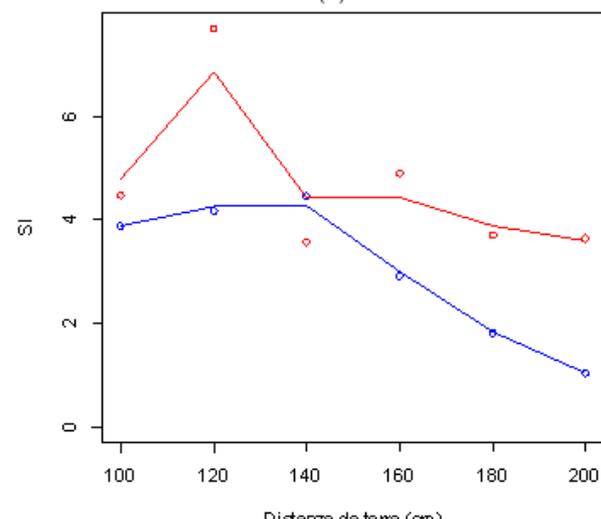
Distanza da terra (cm)

(a)



Distanza da terra (cm)

(b)



Distanza da terra (cm)

(b)

Figura 10: MC (a) e SI (b) sulle verticali 3 (blu) e 6 (rosso)

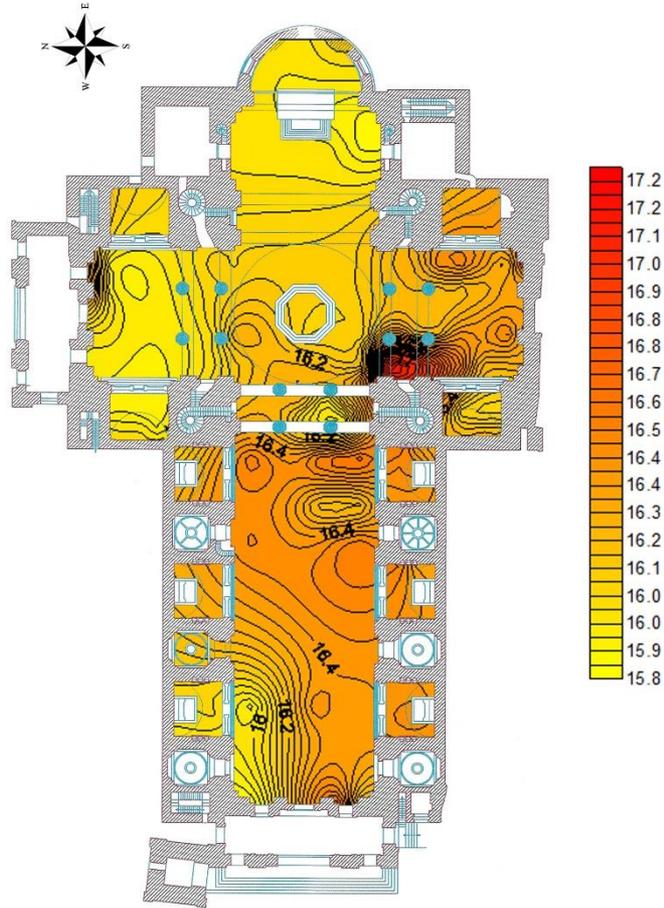
Figura 11: MC (a) e SI (b) sulle verticali 4 (blu) e 7 (rosso)



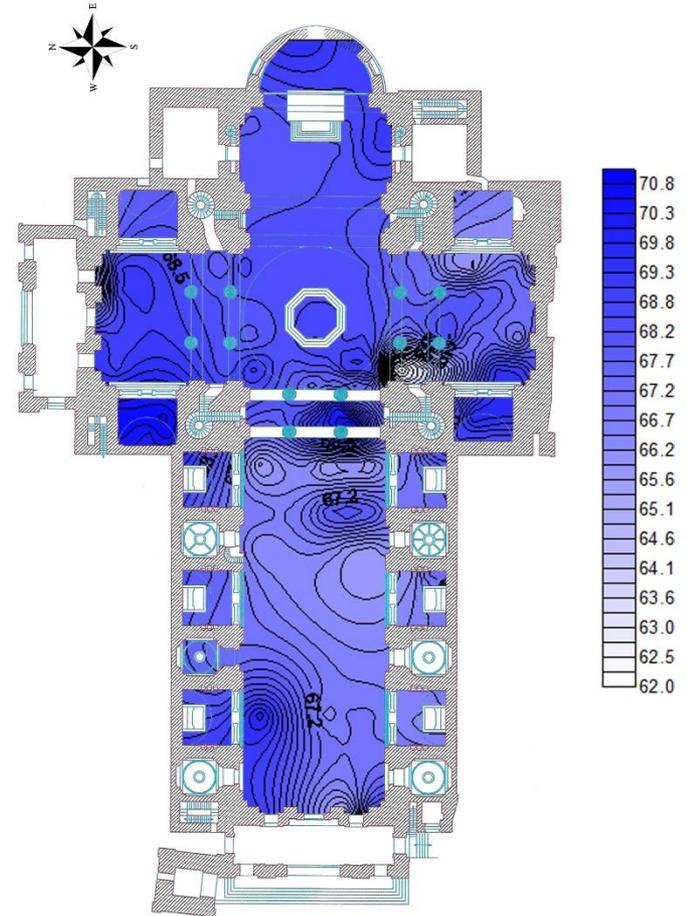
## Data Crossing per la valutazione del contenuto di acqua

# Verticale EFD	Posizione	IRT/PrelieviWc
1	lato sud, 5 <sup>a</sup> cappella	Prelievo 2.1
2	lato sud, 5 <sup>a</sup> cappella	Prelievo 1.1
3	transetto, cappella nord	Prelievo 8.1
4	transetto, lato nord	Termografia
5	transetto, lato ovest	Termografia
6	transetto, cappella ovest	Termografia
7	transetto, lato nord	Termografia
8	transetto, lato nord	Termografia
9	transetto, lato nord	Termografia
10	transetto, lato est	Termografia
11	transetto, lato sud	Termografia
12	transetto, lato sud	Termografia
13	esterno, transetto, lato nord	Termografia
14	esterno, transetto, lato nord	Termografia
15	ingresso al transetto, lato nord	--
16	Esterno (lato nord)	--
17	Esterno (lato nord)	--
18	Esterno (lato nord)	--

## Rilievo psicrometrico, battuta del 20 maggio 2013



Gradiente tra la navata, la parte centrale del transetto, e l'abside.  
Temperature più elevate in navata e in prossimità della scala interna al pilastro (lato sud).  
Temperature inferiori a nord (lato sinistro del transetto) e nelle cappelle sul lato sinistro della navata



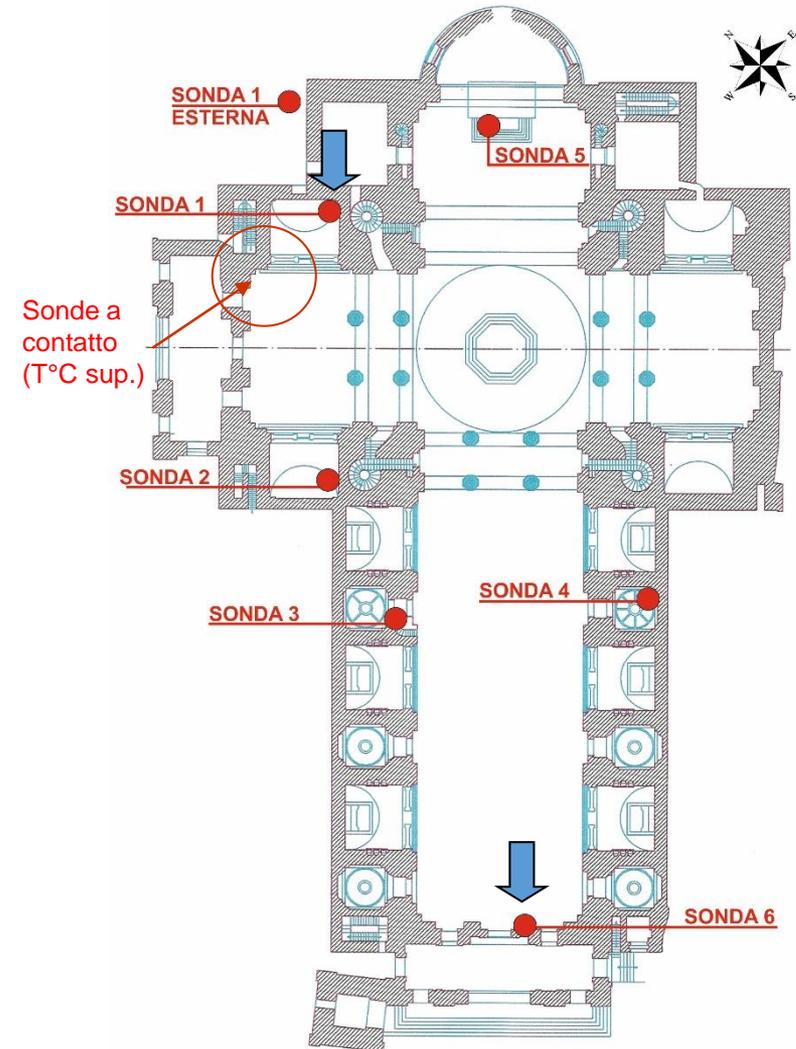
Picchi nel presbiterio.  
UR più elevata nelle cappelle ovest, nell'abside e presbiterio (68-71%).  
transetto, a nord, 62-66%

## Monitoraggio microclimatico

Identificazione delle zone in cui si verificano le variazioni più rapide ed ampie

Valutazione e confronto tra le misure registrate dai sensori.

Discontinuità critiche per la conservazione delle superfici anche in estate (2013)



## Sbilanci e variazioni

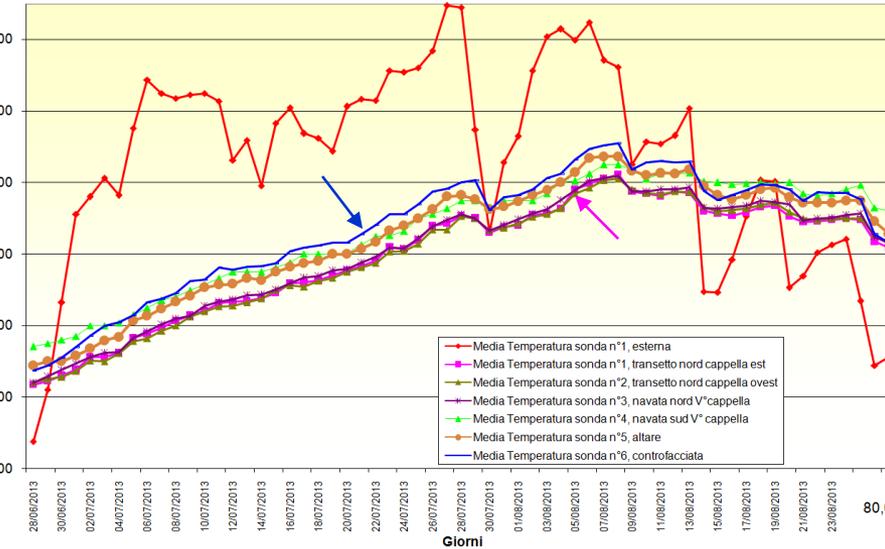
### Sonda n°1 (cappella Nord)

I valori registrati mostrano gradienti di circa 2-3.5°C delle temperature nel mese di agosto, mentre sono meno significativi le escursioni che si registrano a giugno, luglio e settembre

50 < UR < 80%, variazioni fino al 30% (in due giorni)

Alternarsi di cicli di deliquescenza e cristallizzazione dei sali solubili già presenti sulle superfici e appena sotto di esse

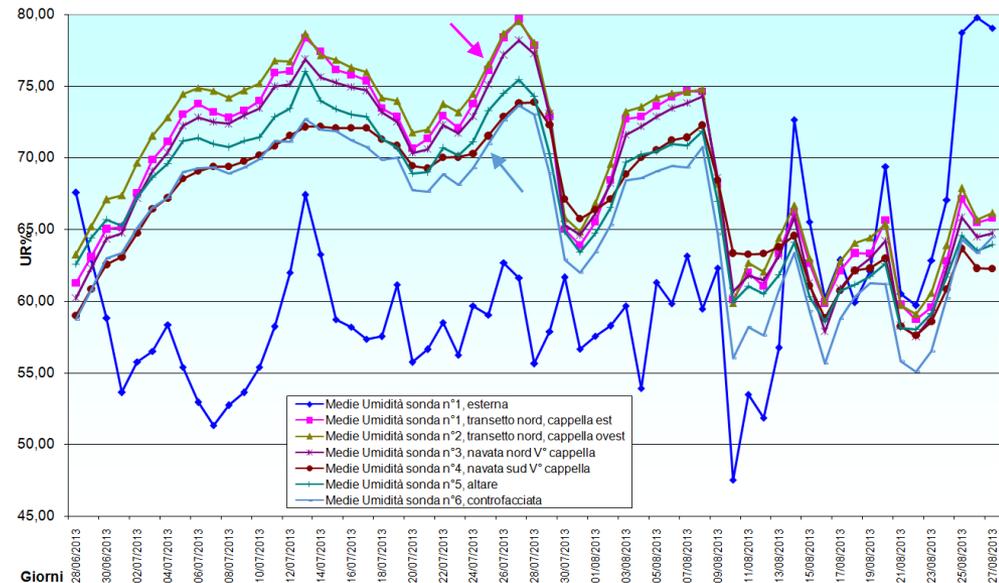
fenomeni di condensazione durante le stagioni in cui le superfici raggiungono temperature attorno ai 5-6°C o inferiori



### Sonda n°6 (controfacciata)

L'andamento dei massimi e minimi ha le maggiori oscillazioni e variazioni (T°max più elevate).

Le variazioni di UR sono più ampie e frequenti: risente delle variazioni climatiche esterne





## Risultati dei test e monitoraggi nella concattedrale di Sant'Andrea

### *Indagini termografiche (2008-2013), gravimetriche, EFD*

IRT: la parte a contatto con il pavimento risulta più fredda per temperatura inferiore del terreno e del basamento  
Maggior rischio nel transetto e delle cappelle del lato nord nella navata di condensazione sulle zone a temperatura inferiore

#### IRT + TEST GRAVIMETRICI + EFD:

contenuti di sali e di acqua più elevati nel transetto, lato nord ed ovest, soprattutto appena sopra la zoccolatura in pietra.

### *Prove geoelettriche*

Vie di adduzione d'acqua lungo il perimetro della Basilica causa principale delle macchie di umidità e dei distacchi (esterni)  
Tomografie dei profili lungo l'abside ed il transetto nord aree di ristagno acque poco profonde  
Risalita aggravata anche dall'apporto di displuvi e sottoservizi di canalizzazione

### *Indagini psicrometriche, monitoraggio microclimatico (2007-2016) e delle temperature superficiali*

Sostanziale omogeneità della distribuzione di T°C e UR all'interno della basilica.  
Temperatura poco influenzata dalle variazioni esterne, solo variazioni stagionali  
Escursione termica giornaliera è quasi assente (circa 1°C nelle stagioni più calde)  
differenza tra le temperature misurate nell'abside (quasi sempre inferiori) rispetto alla zona meridionale del transetto (picchi più elevati)  
a causa orientazione

Zone di scambi più frequenti con l'esterno in controfacciata e transetto (aperture e scale interne):

Variazione tra i 9 e in 17°C in tutto l'arco dell'anno solare (davvero molto contenuta)

UR varia entro il 10%, ma valori mediamente elevati, superiori a quanto raccomandato per la conservazione delle superfici in opera.

valori più bassi a settembre (59-65%); più elevati (63-70%) a gennaio

Valori rappresentativi di una stabilità eccezionale sul lungo periodo; in realtà avvengono variazioni anche ampie e veloci  
nelle zone di maggior scambio con l'esterno

Rischio di condensazione sulle superfici più fredde, che risultano alla base delle murature (pietra o intonaco)

I rilievi termografici e di temperatura superficiale confermano che i periodi più critici sono la tarda primavera e fine estate/inizio autunno



## Indicazioni per la conservazione

Criticità microclimatiche e imbibizione di acqua dovuta sia a condensazione sia a risalita in alcuni punti (transetto, lato nord, e cappella di San Carlo)

Elevato rischio per la conservazione delle superfici, incluse quelle di recente posa.

Aggravante: presenza di possibili materiali incoerenti sotto la pavimentazione della Basilica, che potrebbero assorbire e trattenere a lungo anche limitati quantitativi di acque disperse nel terreno, favorendo fenomeni localizzati di umidità di risalita

### Programma a lungo termine

- miglioramento del drenaggio delle acque meteoriche,
- eliminazione o sostituzione del terreno di fondazione della Basilica,
- carotaggi e videoscopia del terrapieno su cui l'edificio è fondato

### A breve termine

Mitigare gli effetti della condensazione con un blando riscaldamento, a quota pavimento per scongiurare ulteriori danni e aumentare il comfort dei visitatori/fruitori dell'edificio



## Monitoraggio microclimatico al Museo Diocesano

Grafico della temperatura delle medie giornaliere, del piano terra dal 21 settembre al 20 novembre '13

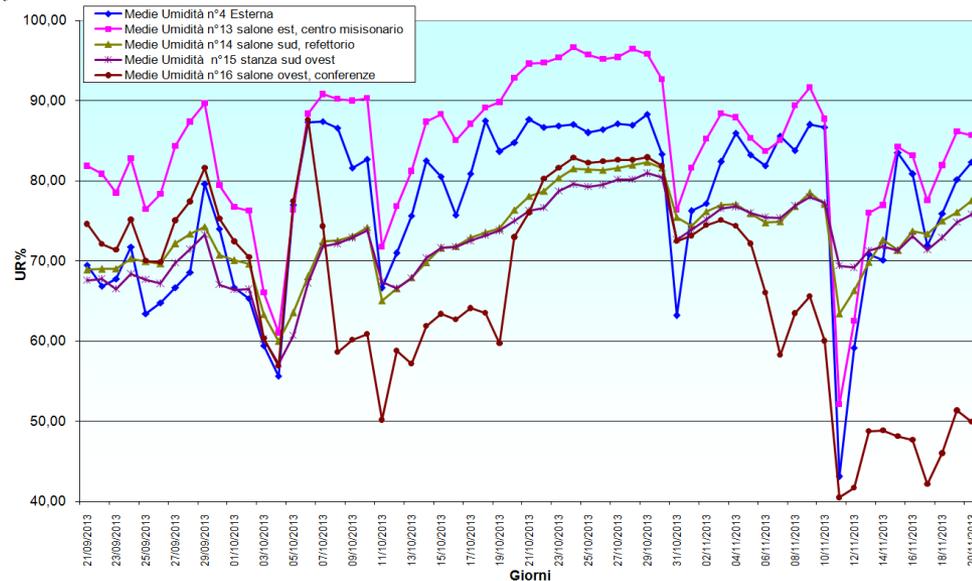
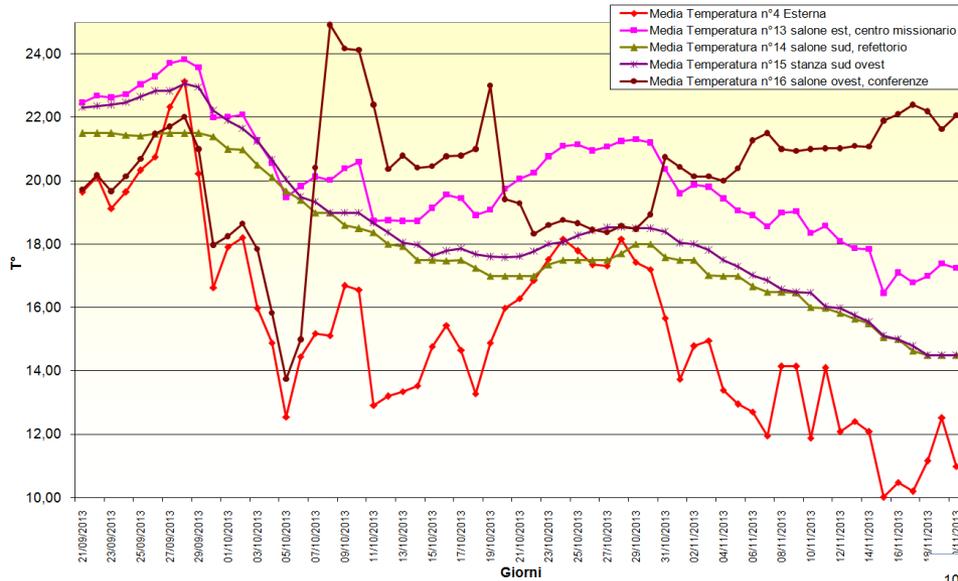


Grafico dell'Umidità Relativa delle medie giornaliere, del piano terra dal 21 settembre al 20 novembre '13

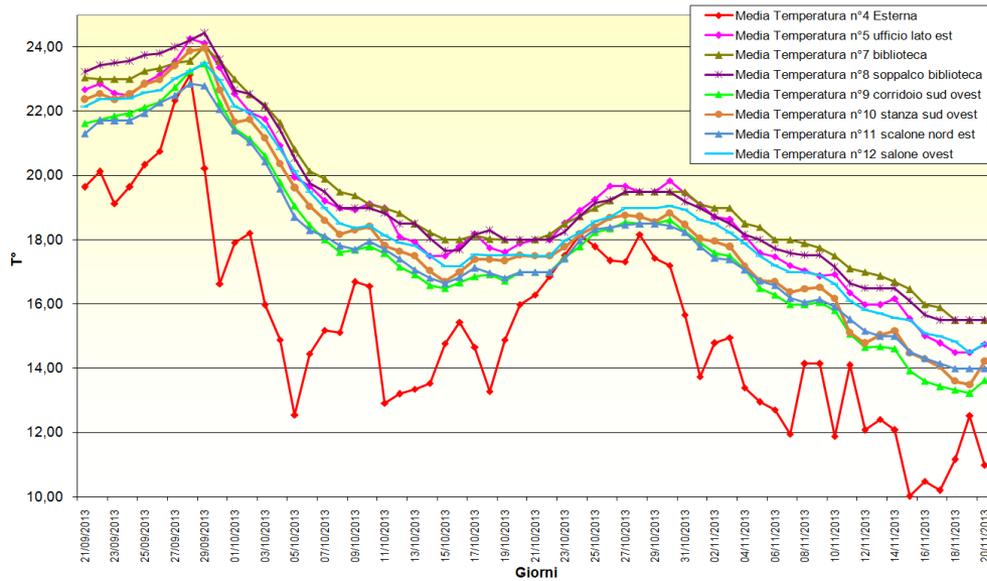
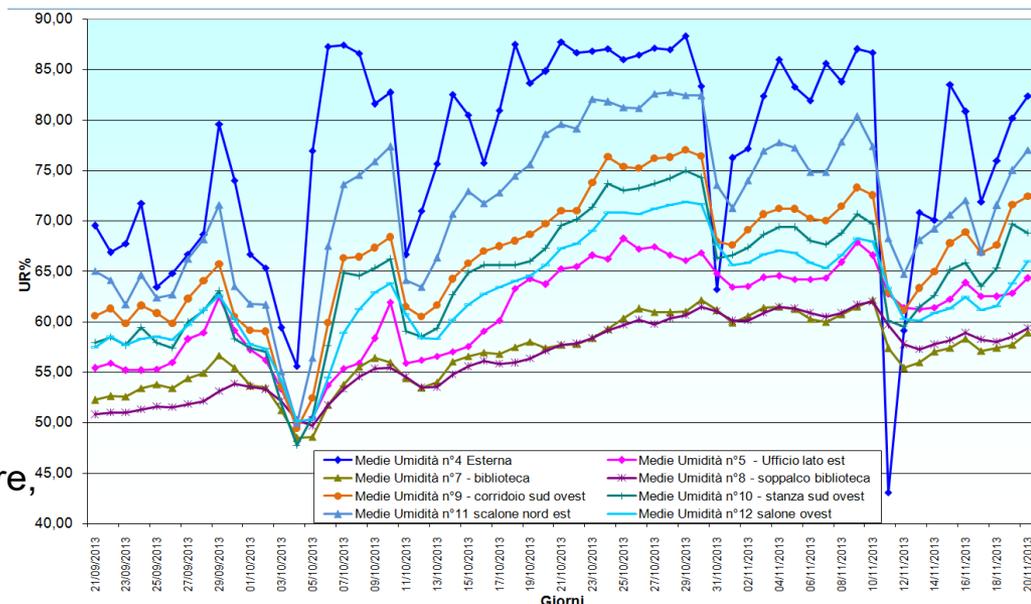


Grafico della temperatura delle medie giornaliere, del primo piano dal 21 settembre al 20 novembre '13

Grafico dell'Umidità Relativa delle medie giornaliere, del primo piano dal 21 settembre al 20 novembre '13



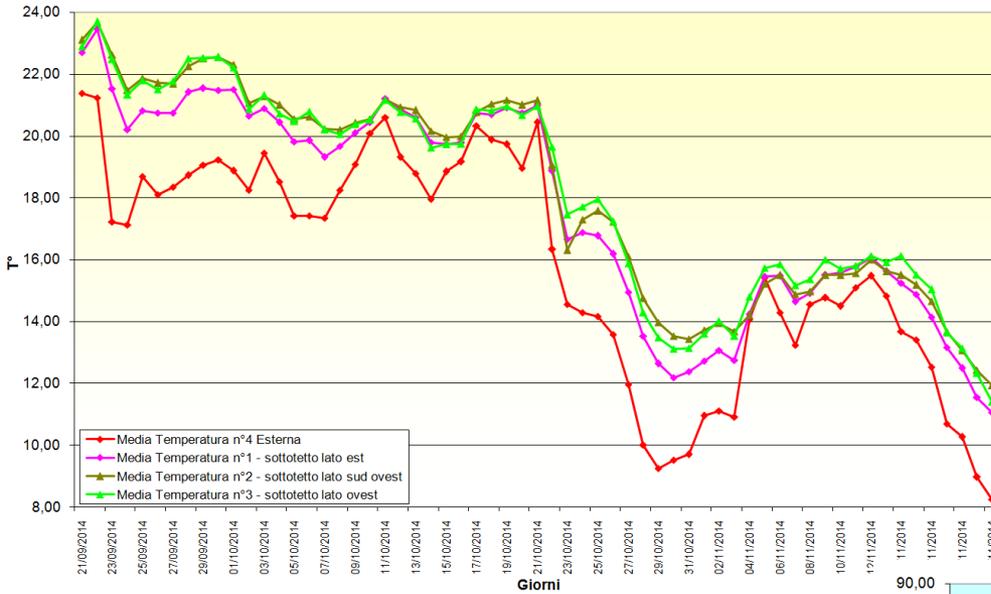


Grafico della temperatura delle medie giornaliere, del sottotetto dal 21 settembre al 20 novembre '14

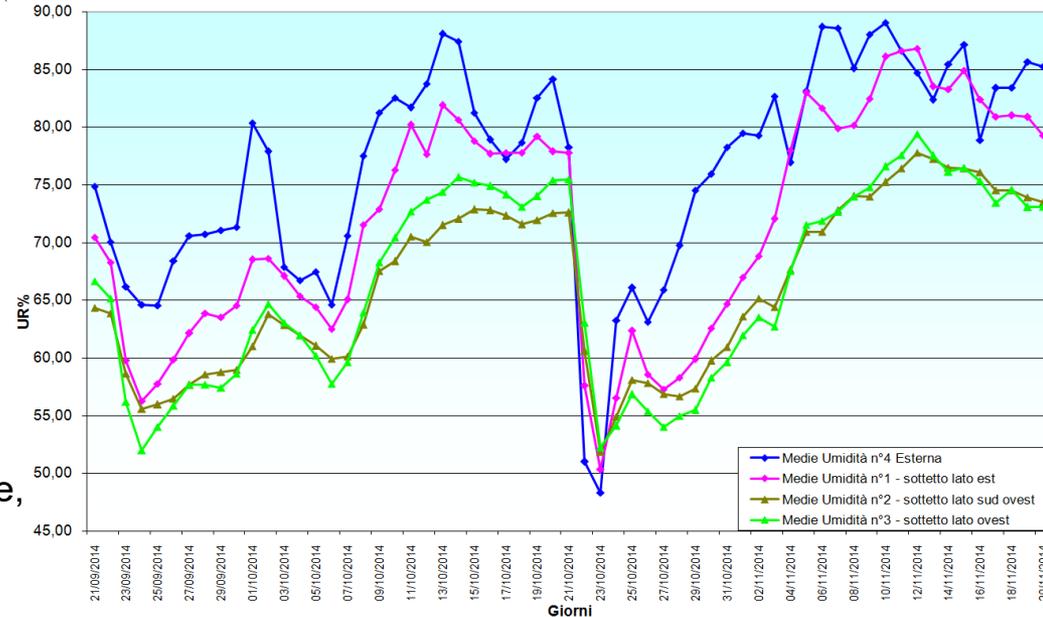


Grafico dell'Umidità Relativa delle medie giornaliere, del sottotetto dal 21 settembre al 20 novembre '14

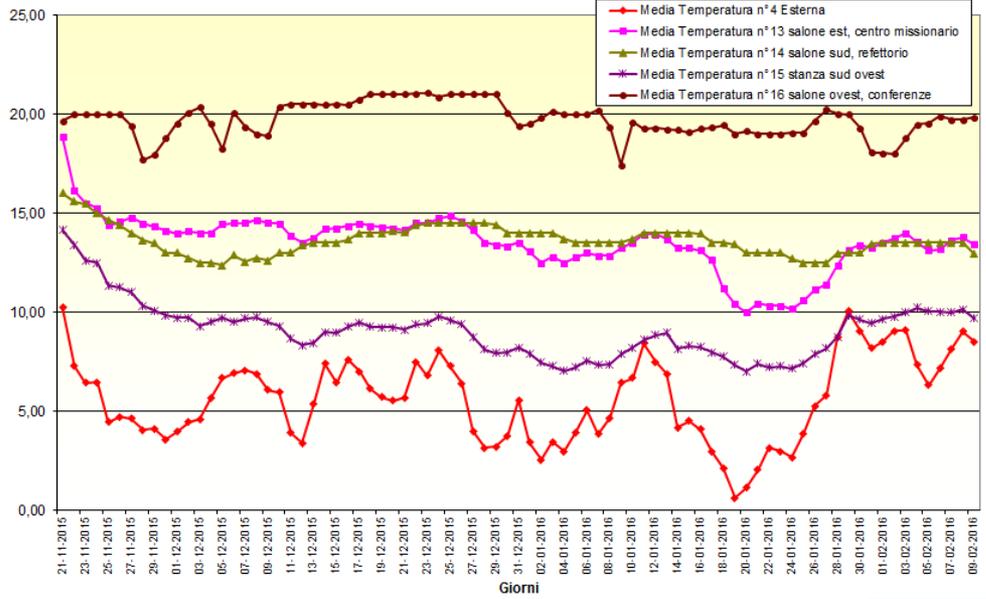
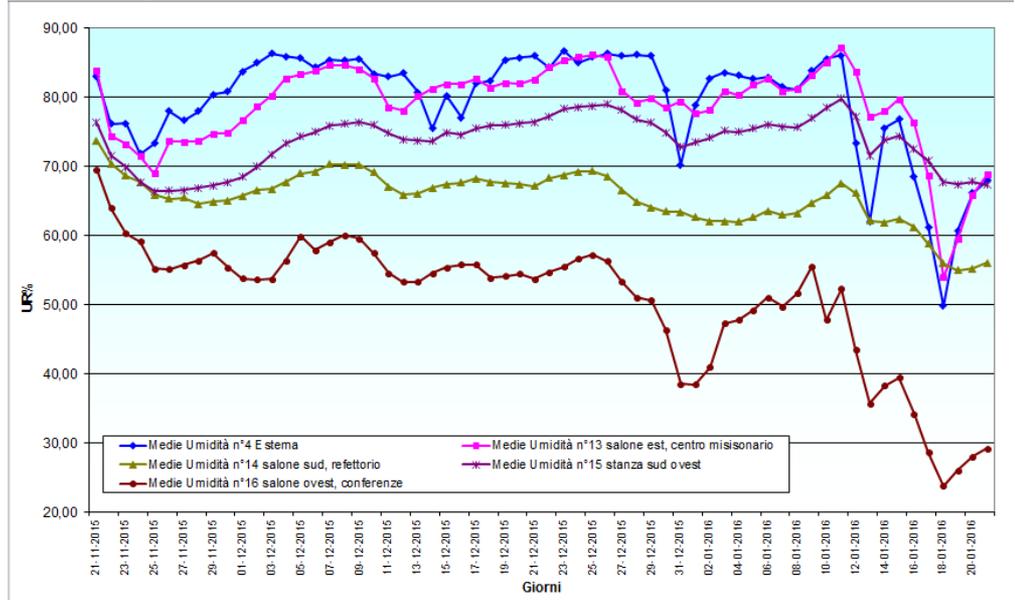


Grafico della temperatura delle medie giornaliere, del piano terra dal 21 novembre '15 al 9 febbraio '16

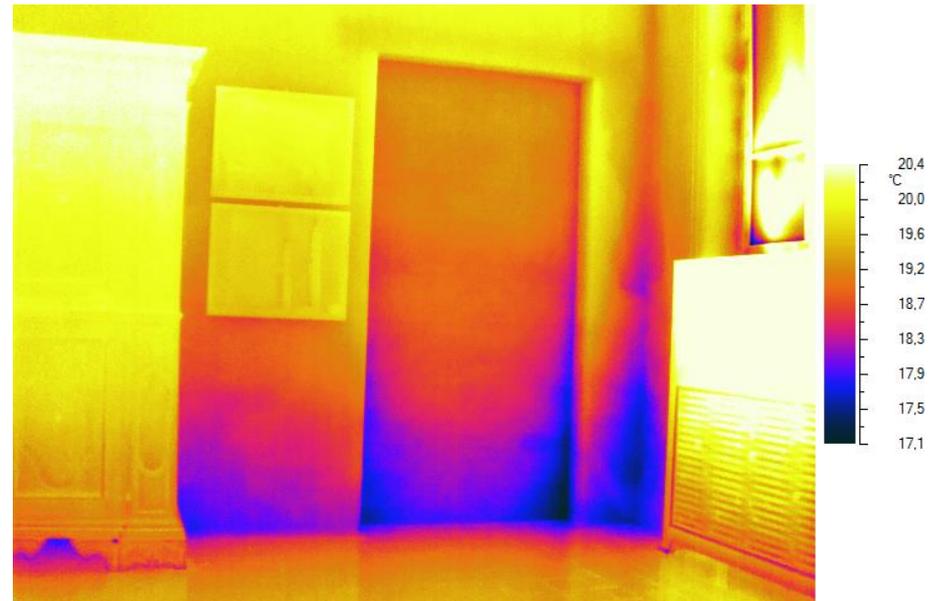
Grafico dell'Umidità Relativa delle medie giornaliere, del piano terra dal 21 novembre '15 al 9 febbraio '16





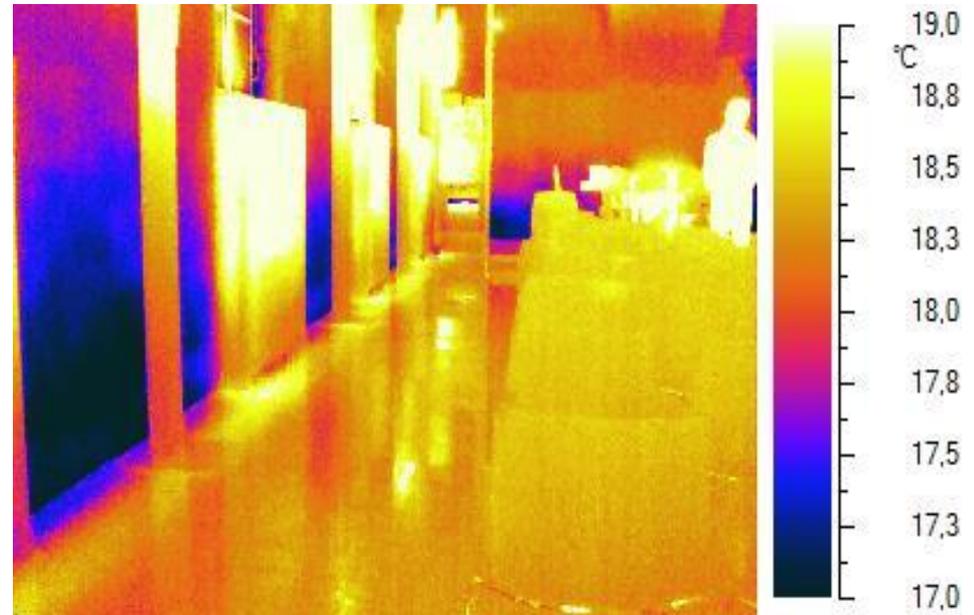
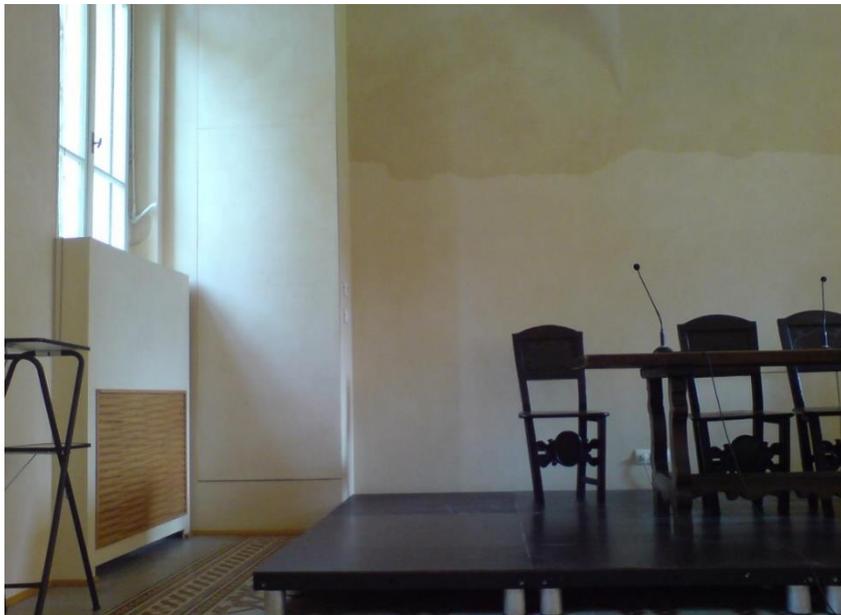
## Indagini Termografiche, la sala conferenze

Termogramma della parete sud ovest verso destra, battuta dell'11 novembre '15



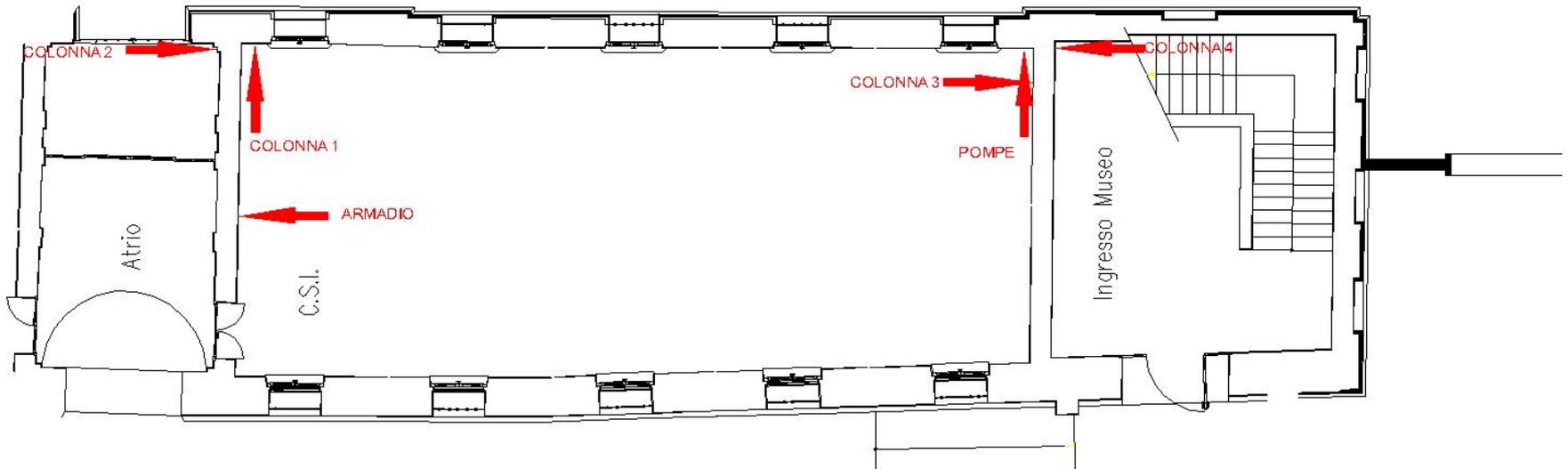


Termogramma della parete nord ovest e la parete nord est (lato sinistro), battuta del 24 marzo '16





## Prove gravimetriche





CAMPIONE	PESO BAGNATO 23/04/2016	TEMPO 23/04/2016	Wc% 23/04/2016	PESO ASCIUTTO 23/04/2016	MATERIALE	Wc% 11/11/2015
interno sud ovest						
1.1.s	1,130	2,20	3,2	1,093	intonaco	3.5%
1.1 p	1,414	2,60	5,2	1,338	Malta di calce	15.6%
1.2 s	2,593	2,2	1,7	2,549	intonaco	2.6%
1.2 p	1,256	2,2	9,8	1,139	Malta di calce /mattone	8.8%
esterno sud ovest						
2.1s	1,679	2,50	5,0	1,610	intonaco	2.4%
2.1 p	1,456	2,20	6,9	1,341	mattone / Malta di calce	2.1%
2.2 s	1,692	1,8	3,0	1,645	intonaco	12.5%
2.2 p	1,995	3,4	5,8	1,871	Malta di calce	5.5%
interno nord est						
3.1s	2,083	4,20	6,8	1,943	intonaco	4.8%
3.1 p	1,956	4,60	10,4	1,755	mattone	7.4%
3.2 s	1,302	3	1,6	1,283	intonaco	1%
3.2 p	1,768	1,8	1,1	1,750	Malta di calce	1.5%
esterno nord est						
4.1s	0,980	1,80	6,2	0,926	intonaco	4.5%
4.1 p	0,959	2,60	8,4	0,881	Malta di calce / mattone	6.1%
4.2 s	2,450	2,6	5,1	2,328	intonaco	3.3%
4.2 p	1,351	1	3,8	1,304	Malta di calce / mattone	4%
pompe 20 s	1,258	4,20	2,8	1,225	Intonaco cementizio	-
pompe 20 p	2,463	4,20	9,8	2,220	mattone	-
pompe 60 s	2,084	4,2	6,3	1,056	Intonaco cementizio	-
pompe 60 p	1,173	2,2	8,0	1,083	mattone	-
pompe 100 s	1,487	3,00	2,7	1,449	Intonaco cementizio	-
pompe 100 p	2,143	2,60	4,4	2,055	Malta di calce	-
armadio 40 s	1,452	2,2	4,7	1,386	intonaco	-
armadio 40 p	1,500	5,0	7,4	1,390	Malta di calce	-
armadio 80 s	1,747	2,60	5,8	1,653	intonaco	-
armadio 80 p	1,072	2,60	11,2	0,945	mattone	-
armadio 130 s	2,091	2,2	2,2	2,051	intonaco	-
armadio 130 p	1,122	1,4	2,6	1,102	mattone	-



## Risultati delle indagini

### *IRT*

Umidità su parte delle superfici interne alla base delle murature PT del centro missionario e Sala Conferenze (test gravimetrici in Sala Conferenze, muratura verso la piazza, androne e scalone; contenuto elevato fino a 40-60 cm)

### *Indagini psicrometriche*

Poca dipendenza dalle variazioni esterne

le differenze riscontrate dipendono:

- orientazione/esposizione dei vani
- dispersioni termiche (corridoio al primo piano prima della sostituzione dei serramenti, le T°C erano di 9-10°C in inverno)
- condizioni di uso (ventilazione dei locali)

Al piano terreno e primo, durante l'inverno e inizio primavera:

elevata differenza tra gli ambienti riscaldati e orientati a SE (16 e i 17°C; 20°C negli uffici) rispetto a quelli orientati a NO (9-11°C)

UR e US distribuite similmente, dipendenti dalla distribuzione delle T (70-80% nei locali non riscaldati;

al primo piano scalone e corridoi, prima della sostituzione dei serramenti)

Nei locali riscaldati valori troppo bassi (30-40%)

Si creano quindi ampi sbilanci nei vani adiacenti a quelli riscaldati.



## Risultati del monitoraggio microclimatico

Le variazioni riscontrate sono dovute a:

l'orientazione

la posizione dei locali (al piano terreno o al primo piano),

l'isolamento o la continuità con l'esterno

PT: centro missionario temperature stazionarie (maggiori in inverno, minori in estate rispetto all'esterno) per il maggiore isolamento dei locali.

UR maggiori rispetto all'esterno (70 - 85% per buona parte dell'anno)

Valori eccezionalmente elevati si registrano nella sala conferenze dalla tarda primavera 2015 sala conferenze e locali sud ovest: maggiori e più frequenti variazioni di UR e Temperatura, con rischio per la conservazione delle superfici a causa del riscaldamento.

In inverno inferiori fino al 40% di quelli misurati negli altri locali, aumentano drasticamente al termine del riscaldamento a causa dell'elevata UR esterna anche nei mesi estivi

Scalone:

- maggiori sbilanci (dipendente dall'esterno), e anche nel corridoio SO, stanze SO e O
- gli sbilanci di UR sono elevati in tutti i mesi

La zona più isolata in tutto l'edificio è la biblioteca (specialmente il soppalco), anche se valori elevati e variabili di UR in primavera e autunno (circa il 70%) mentre in inverno i valori sono tra i più bassi (35-50%)



## Indicazioni per il piano di conservazione

- Ridurre le variazioni indotte dal riscaldamento, soprattutto nella sala conferenze
- La causa dell'umidità di risalita sembra legata alla presenza di displuvi incassati nella muratura, possibili perdite al piede
- Si suggerisce la canalizzazione per lo smaltimento e allontanamento delle acque meteoriche
- L'intervento di sostituzione dei serramenti al primo piano ha migliorato notevolmente le condizioni microclimatiche
- Nel centro missionario la risalita capillare può essere ridotta con il risanamento delle murature e intonaci, anche in questo caso con il miglioramento dello smaltimento e allontanamento delle acque meteoriche
- Ventilazione controllata (dipendente dalle condizioni esterne)

# Monitoraggio microclimatico

Grafico della temperatura delle medie giornaliere dal 21 maggio al 20 luglio '13

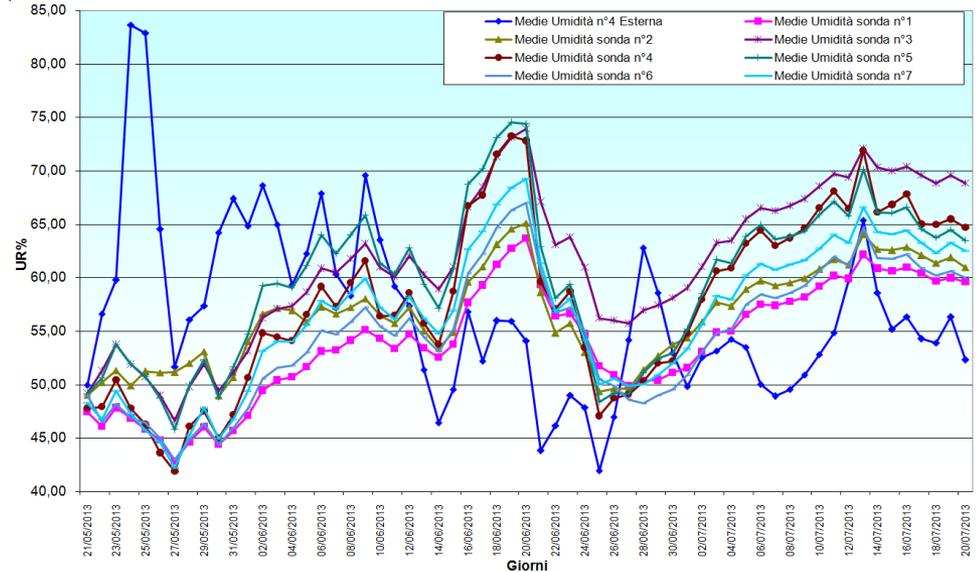
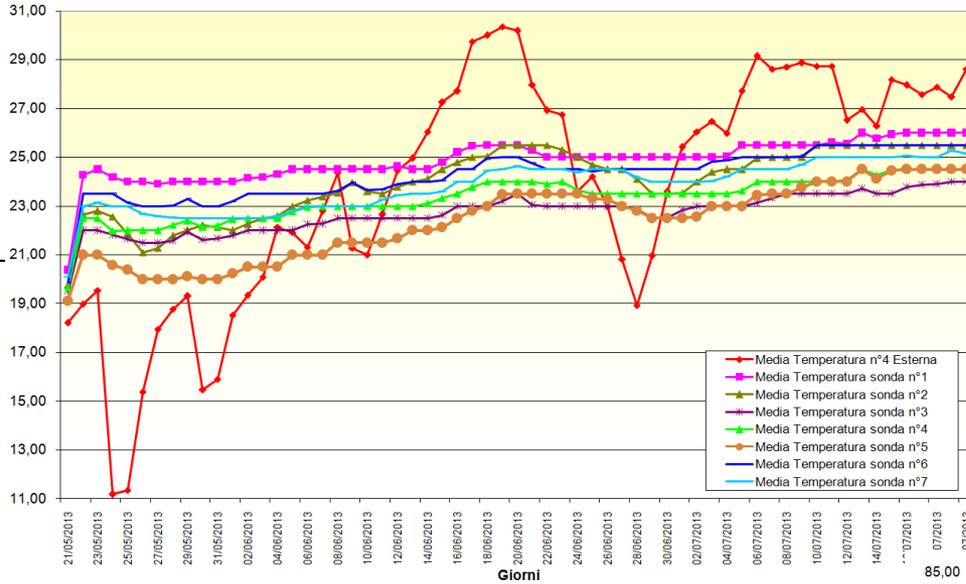
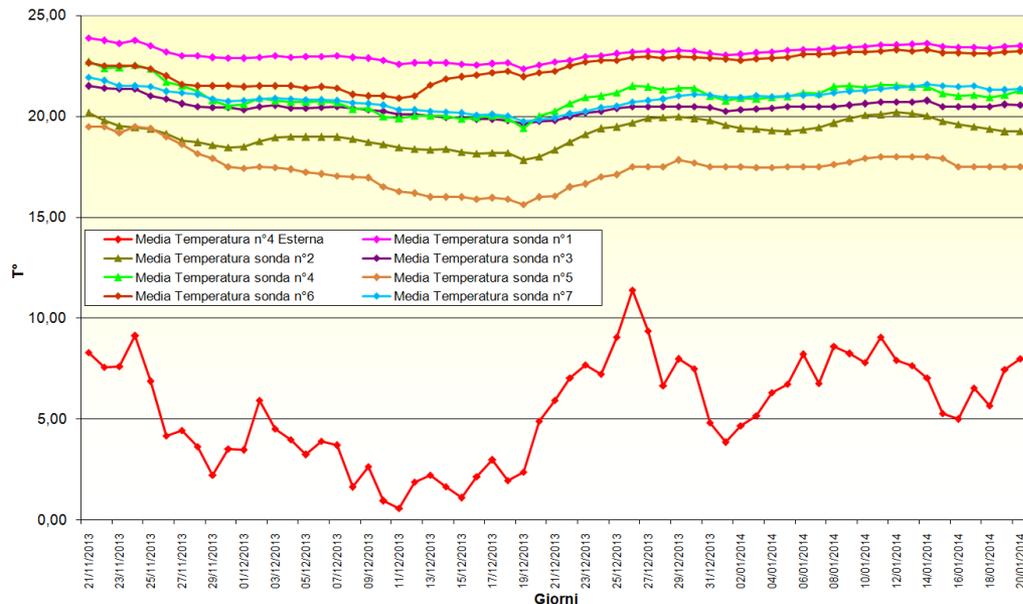


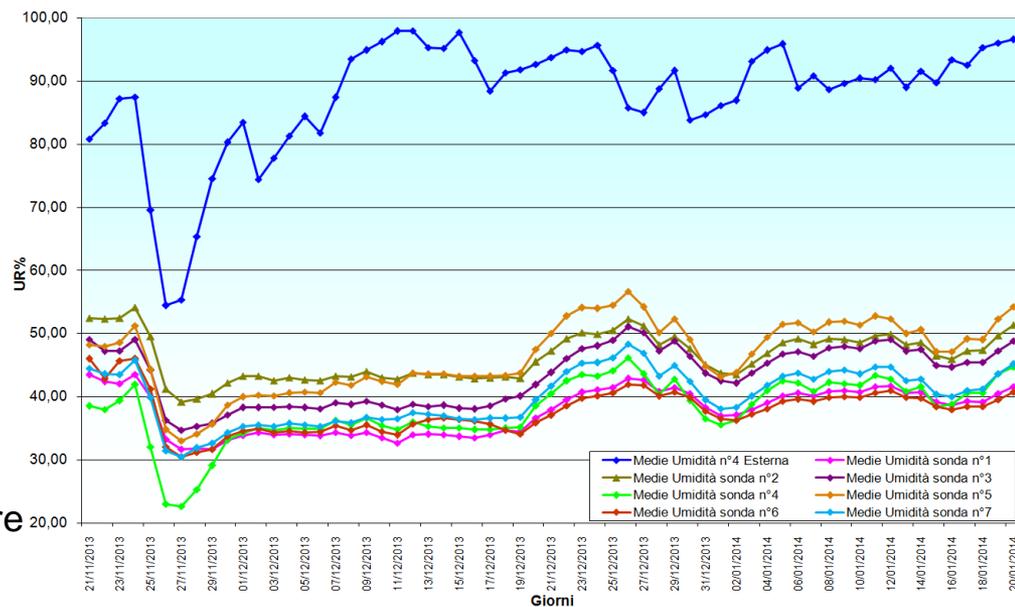
Grafico dell'Umidità Relativa delle medie giornaliere dal 21 maggio al 20 luglio '13



# Grafico delle Temperature delle medie giornaliere dal 21 novembre '13 al 20 gennaio '14



# Grafico dell' Umidità Relativa delle medie giornaliere dal 21 novembre '13 al 20 gennaio '14





## Risultati del monitoraggio microclimatico

Le temperature mantengono una elevata stabilità.

Ciò non avviene per i valori di UR

I valori giornalieri medi di UR variano tra il 42 e il 78% con grandi, frequenti e rapide oscillazioni quando il riscaldamento e raffrescamento non sono in funzione.

Da marzo sino alla fine di maggio si misurano valori meno elevati, ma poi in continuo aumento a causa dello spegnimento del riscaldamento.

I dati registrati dalle diverse sonde si differenziano con gradienti elevati (fino al 20-25% sui valori medi giornalieri), e dalla metà di giugno hanno anche l'andamento maggiormente è diversificato:

- valori più elevati sono la n 3 (installata in nel primo locale a nord dell'ala nord ovest), la n 4 (installata in nel secondo locale a ovest nell'ala sud ovest) e la n 5 (installata nel locale centrale dell'ala sud ovest)
- valori meno elevati sono la n 1 (installata nel secondo locale a est, ala nord est) e la n 6 (installata nel secondo locale a sud, ala sud ovest)

Invece da novembre a marzo i valori giornalieri medi di UR sono molto simili per tutte le sonde, variano tra il 30% (sonde n 1, 6, 7) e il 50% (sonda n 5) e sono un poco influenzati dalle variazioni esterne di maggior ampiezza e durata. La sonda che mostra maggiori variazioni è la n 5.

## Monitoraggio microclimatico

Grafico delle Temperature delle medie giornaliere dal 21 maggio al 20 luglio '13

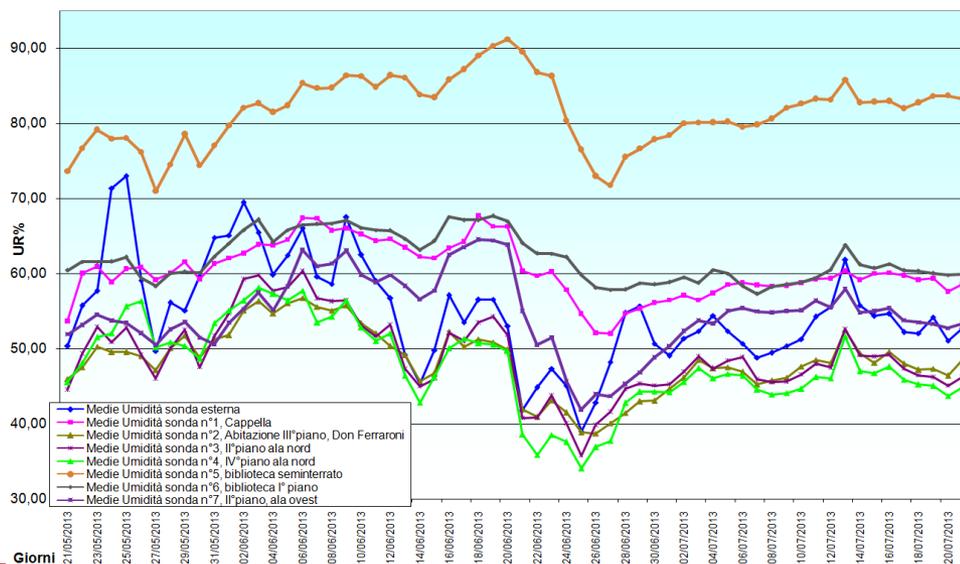
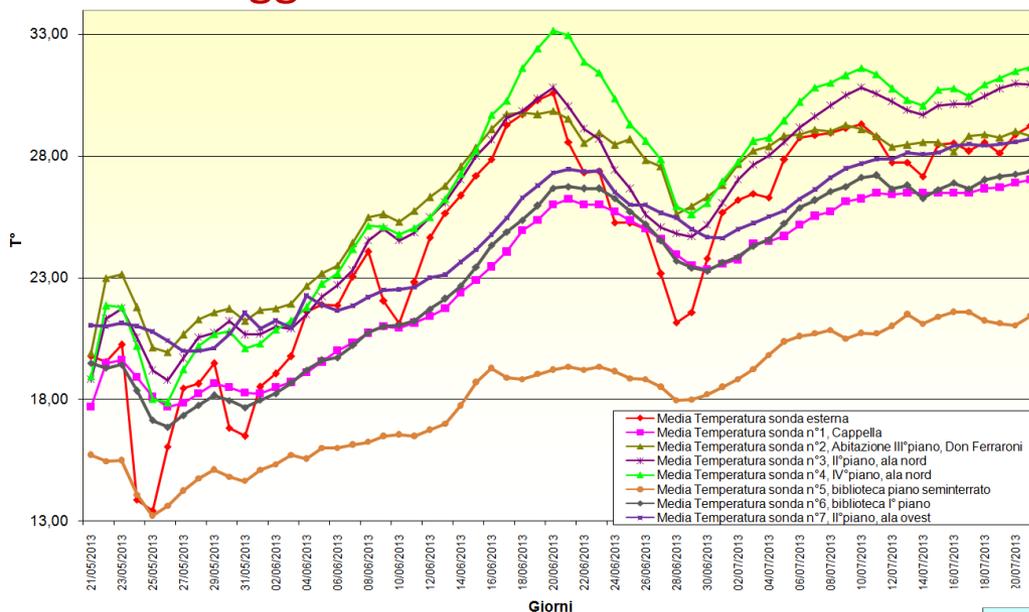
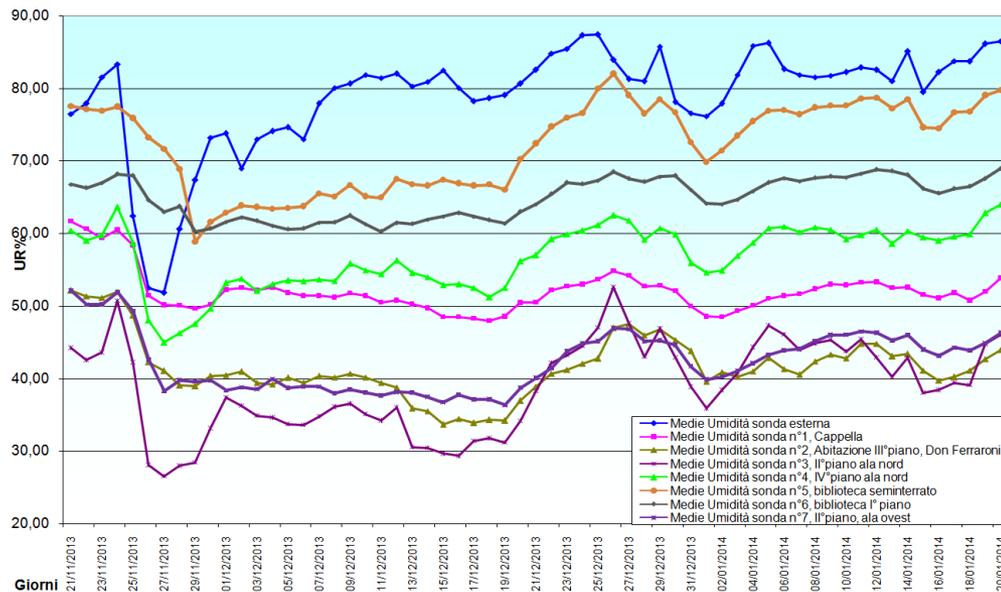
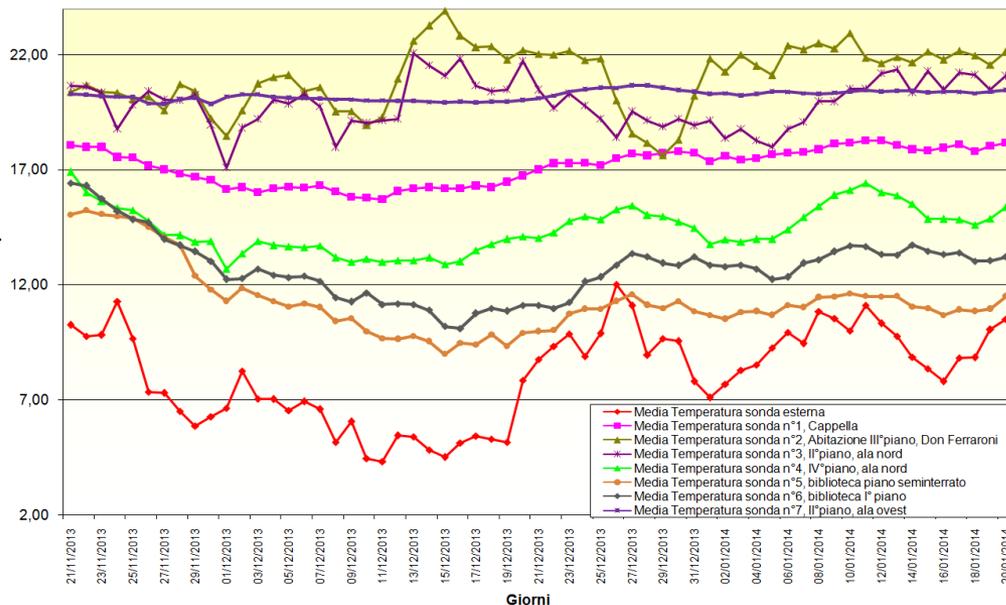


Grafico dell'Umidità Relativa delle medie giornaliere dal 21 maggio al 20 luglio '13



# Grafico delle Temperature delle medie giornaliere dal 21 novembre '13 al 21 gennaio '14



# Grafico dell'Umidità Relativa delle medie giornaliere dal 21 novembre '13 al 21 gennaio '14



**CONVEGNO SULLE METODOLOGIE  
INNOVATIVE PER LA CONSERVAZIONE  
PROGRAMMATA**

## *Il monitoraggio strutturale per la conservazione dei Beni Culturali*

*Luigi Fregonese*

## Sinergie e pianificazioni





## Le finalità del progetto

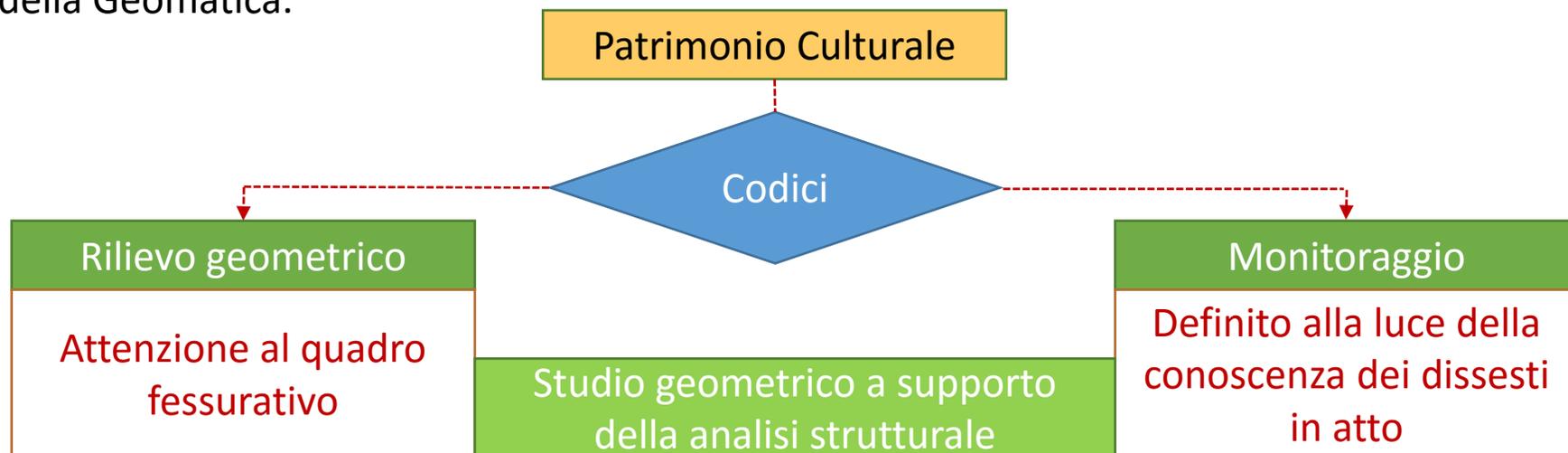
1. Mettere a sistema le risorse per accedere al co-finanziamento di Fondazione Cariplo (Piani CP e Diagnostica innovativa)
2. Generare le condizioni necessarie ad uno studio approfondito su casi di studio ben rappresentativi di materiali e tecniche costruttive locali, e per cui identificare le best practice per la conservazione anche del patrimonio storico diffuso della zona
3. Diffusione: le reti di cui gli enti fanno parte consentono di diffondere i risultati ottenuti ad un vasto numero di osservatori, portatori di interessi, proprietari, ed altri enti locali



## La conoscenza del Bene Culturale attraverso i rilievi e i monitoraggi di controllo. Pianificazione degli interventi

L'importanza sempre maggiore che si attribuisce al patrimonio-storico culturale ha favorito lo sviluppo di sempre più specifiche e mirate normative volte alla sua tutela.

Proprio a partire da questi codici, emerge come, per una conservazione consapevole, sia fondamentale che l'analisi del comportamento strutturale degli edifici venga effettuata attraverso l'integrazione delle tecniche e degli strumenti più innovativi della Geomatica.





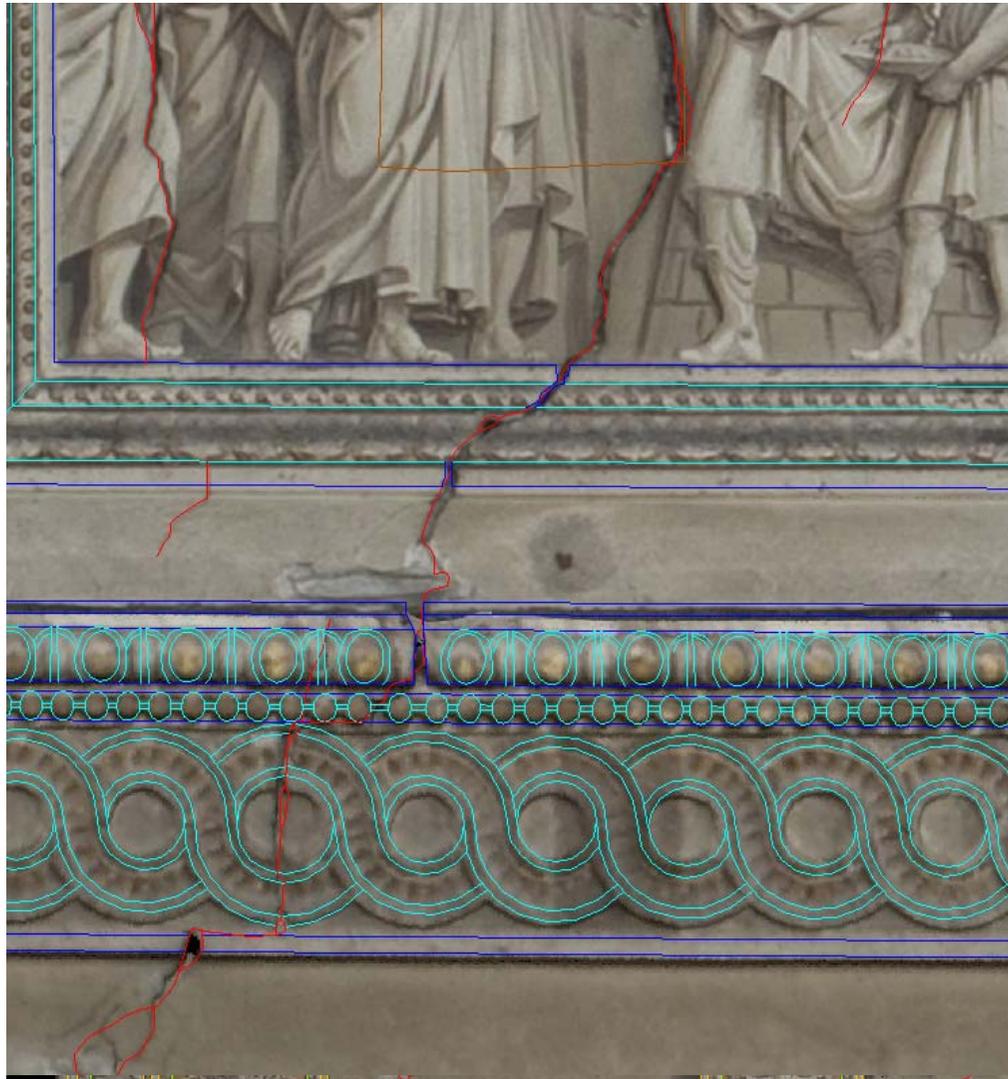
## Pianificazione degli interventi: Il rilievo della fabbrica



Lo studio geometrico a supporto della analisi strutturale della Basilica è stato limitato al complesso della facciata monumentale ed in particolare alla controfacciata interna. Sono state realizzate **acquisizioni range-based mediante sensore TLS**



## Pianificazione degli interventi: Il rilievo della fabbrica



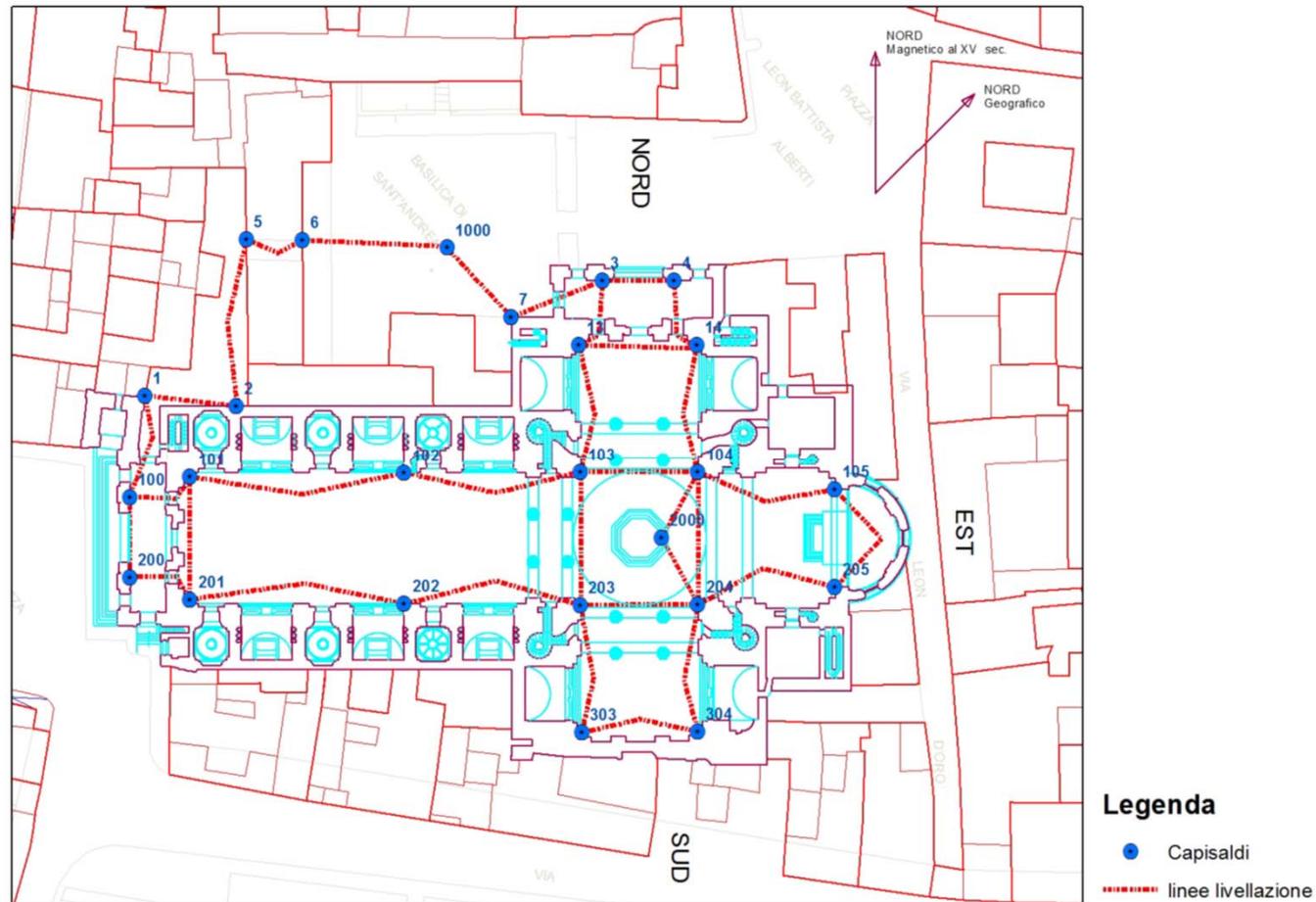
Successivamente per confronto e completezza è stato effettuato un **rilievo fotogrammetrico di tipo image-based** dove la tecnica di image-matching automatico ha permesso lo sviluppo di un modello denso dal quale successivamente è stata estratta la superficie di rappresentazione continua a mesh tridimensionale.



## Pianificazione degli interventi: Il rilievo della fabbrica



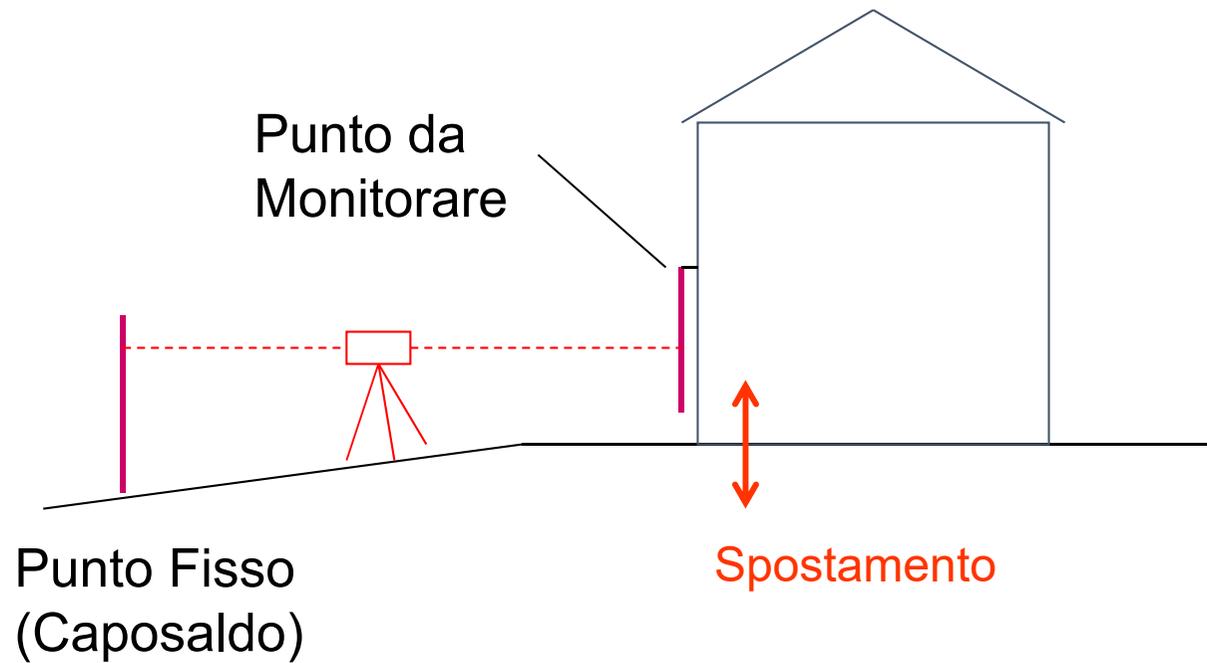
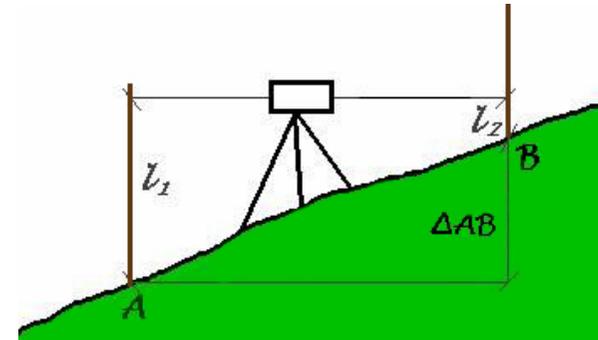
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico



Livellazione geometrica di alta precisione con sistemi di lettura digitali



## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico





## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico

### Livello digitale Leica DNA03



Questo strumento è in grado di fornire un valore nominale chilometrico di precisione di  $\pm 0.3\text{mm}$

Technical data	LEICA DNA03	LEICA DNA10
Area of use	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Quick measurements of heights, height differences and stake outs</li> <li>– I. and II. order levelling</li> <li>– Precision measurements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Quick measurements of heights, height differences and stake outs</li> <li>– Cadastral levelling</li> <li>– Technical levelling</li> </ul>
Accuracy	Standard deviation height measurement per 1km double-run (ISO 17123-2)	
Electronic measurements: with Invar staffs	0.3mm	0.9mm
with standard staffs	1.0mm	1.5mm
Optical measurements	2.0mm	2.0mm
Standard deviation distance measurement (electr.)	1cm/20m (500ppm)	
<b>Range</b>		
Electronic measurement	1.8m – 110m	
Optical measurement	from 0.6m	



## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico

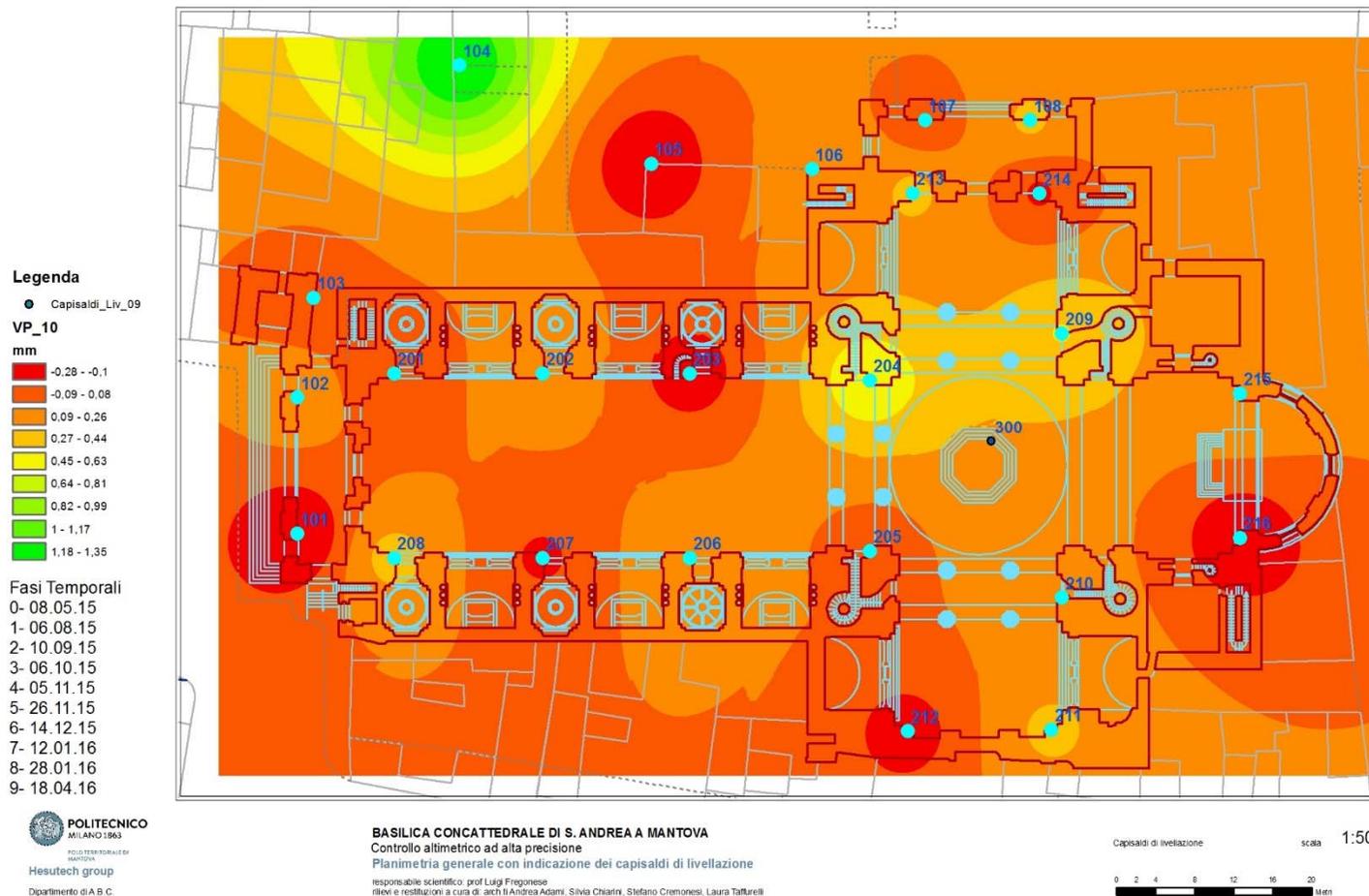
### Accessori per la livellazione

Coppia di stadie in Invar a graduazione a barre lunghe 2 m, dotate di supporti telescopici di sostegno e livella sferica per il corretto posizionamento in verticale.



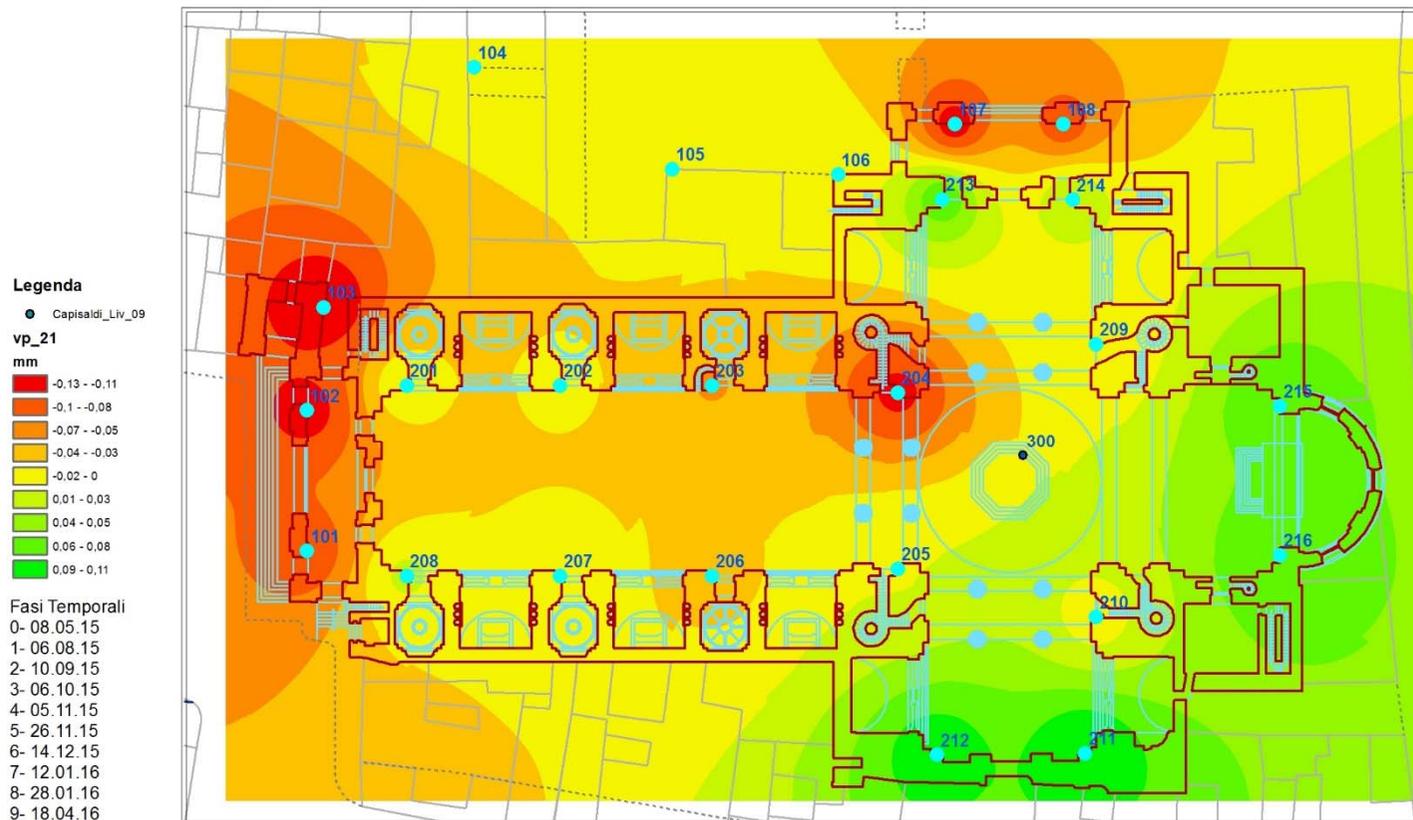
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico

### Variazione Parziale Capisaldi



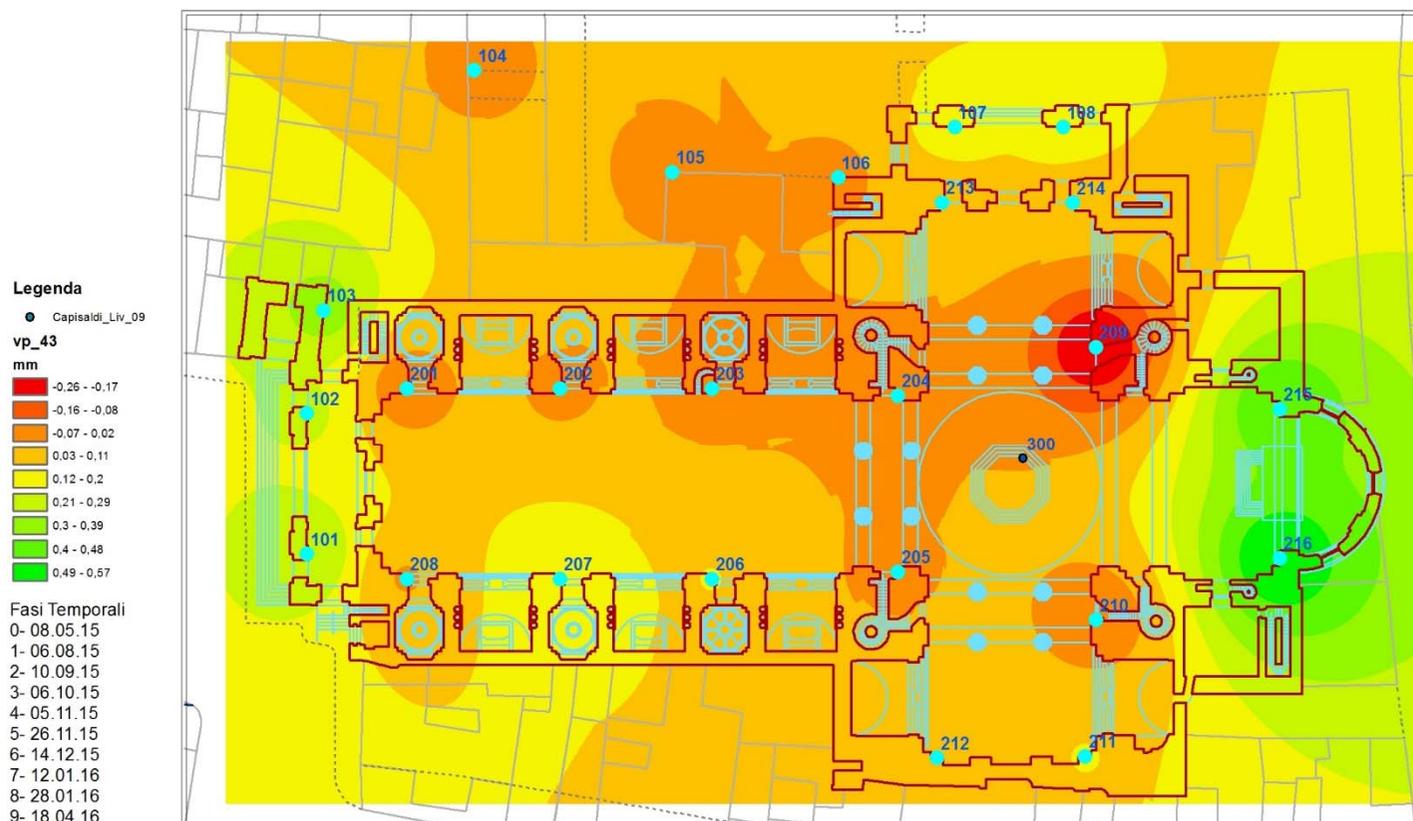
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico

### Variazione Parziale Capisaldi



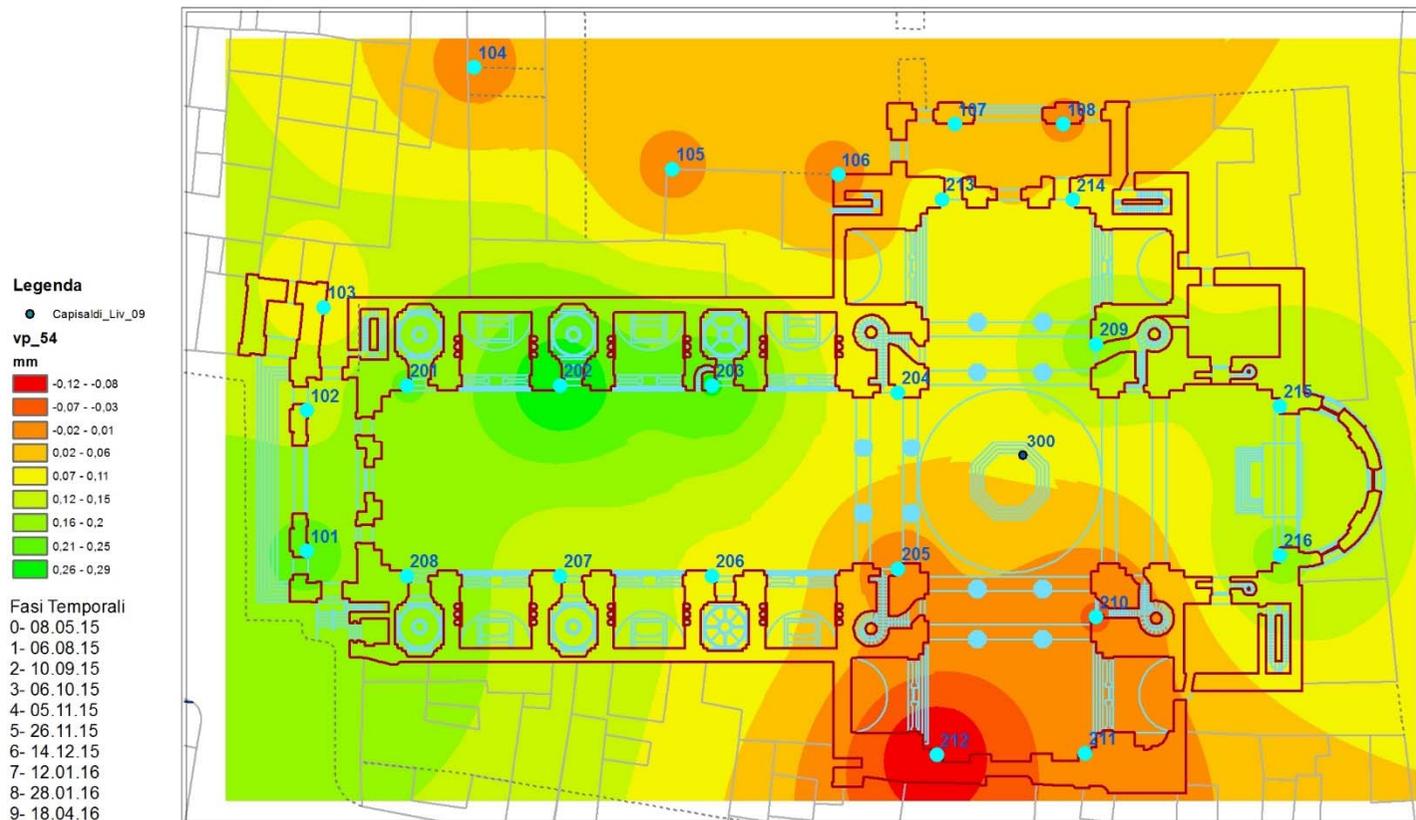
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico

### Variazione Parziale Capisaldi



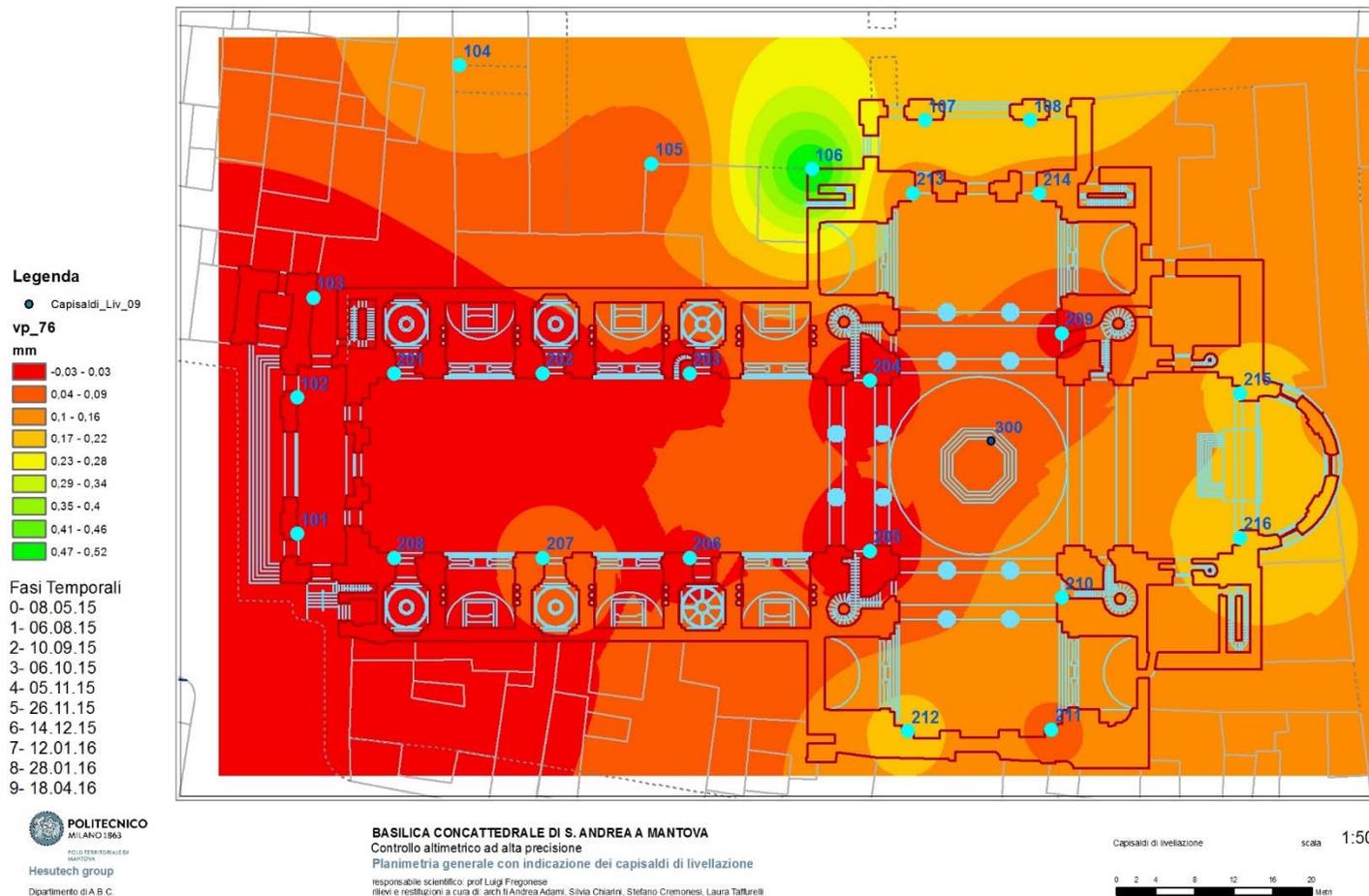
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico

### Variazione Parziale Capisaldi



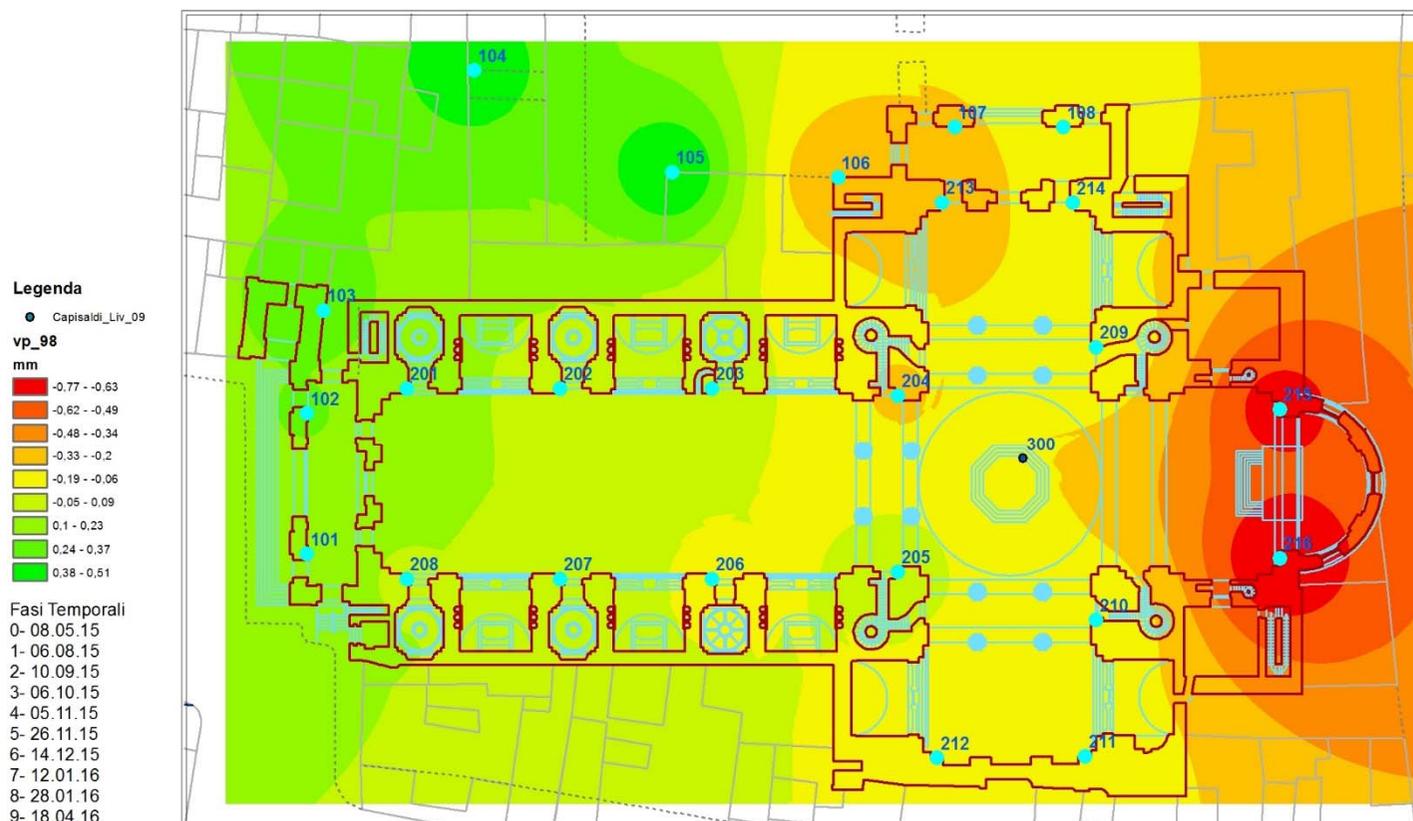
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico

### Variazione Parziale Capisaldi



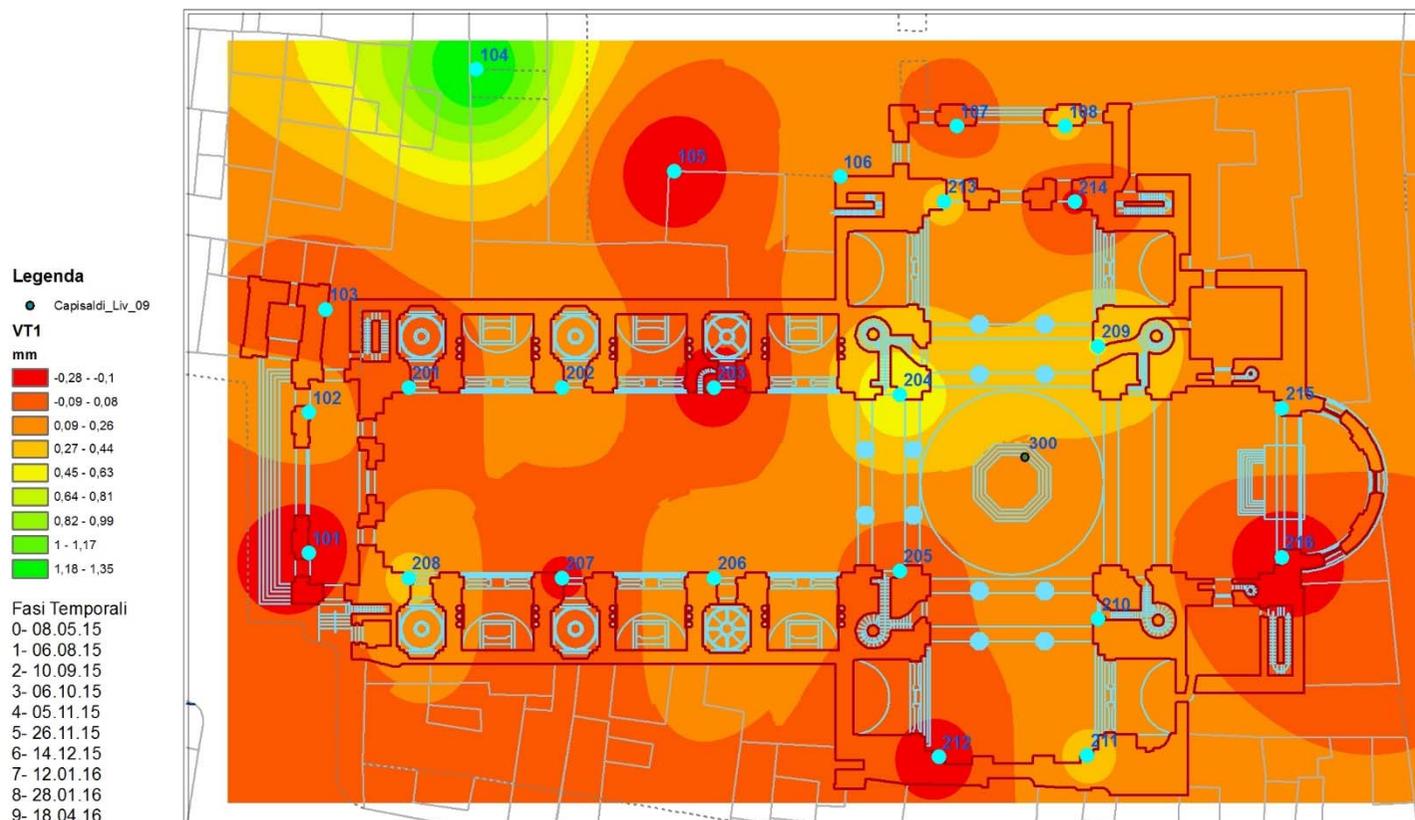
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico

### Variazione Parziale Capisaldi



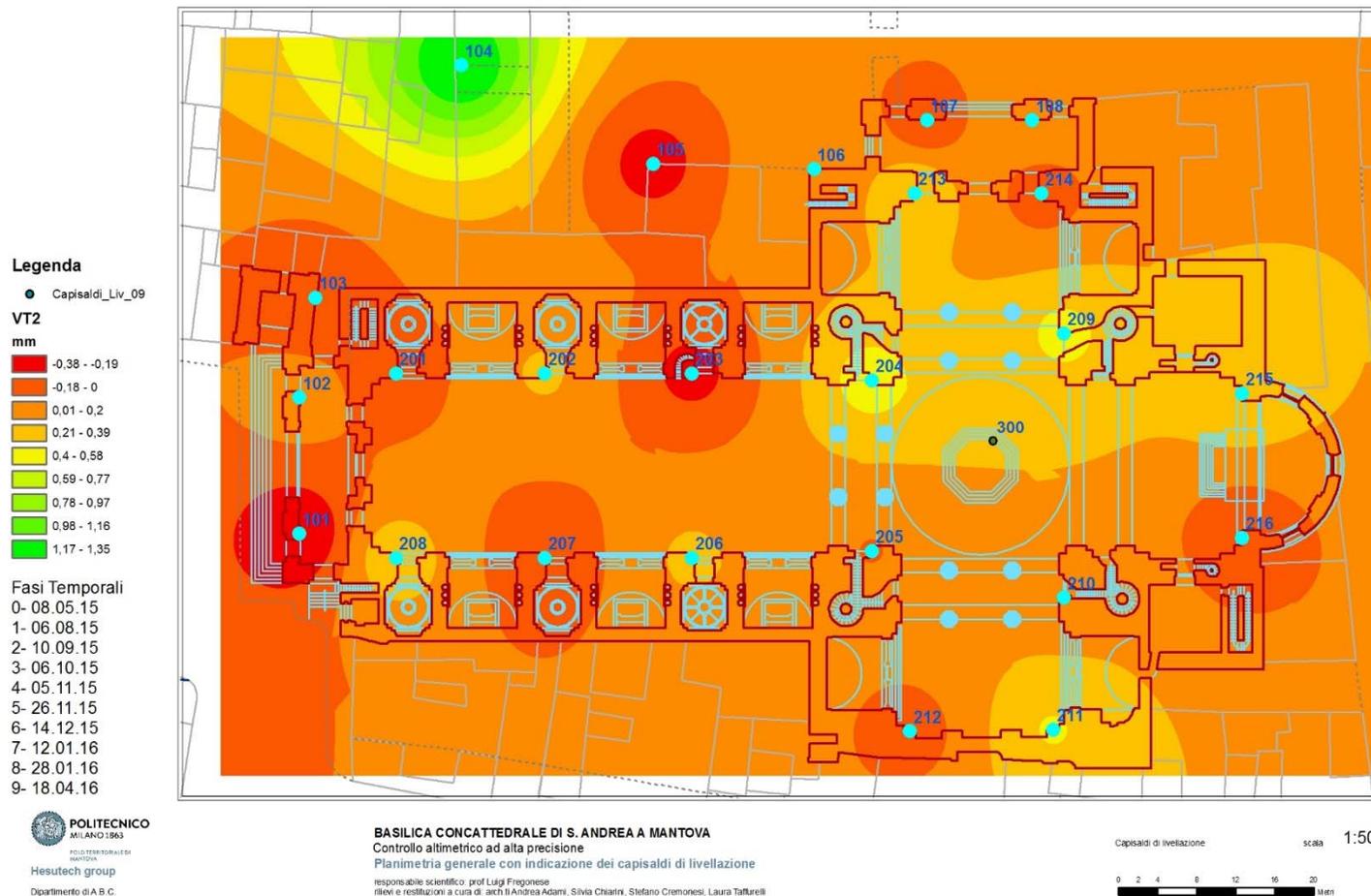
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico – Variazioni Totali

### Variazione Totali Capisaldi



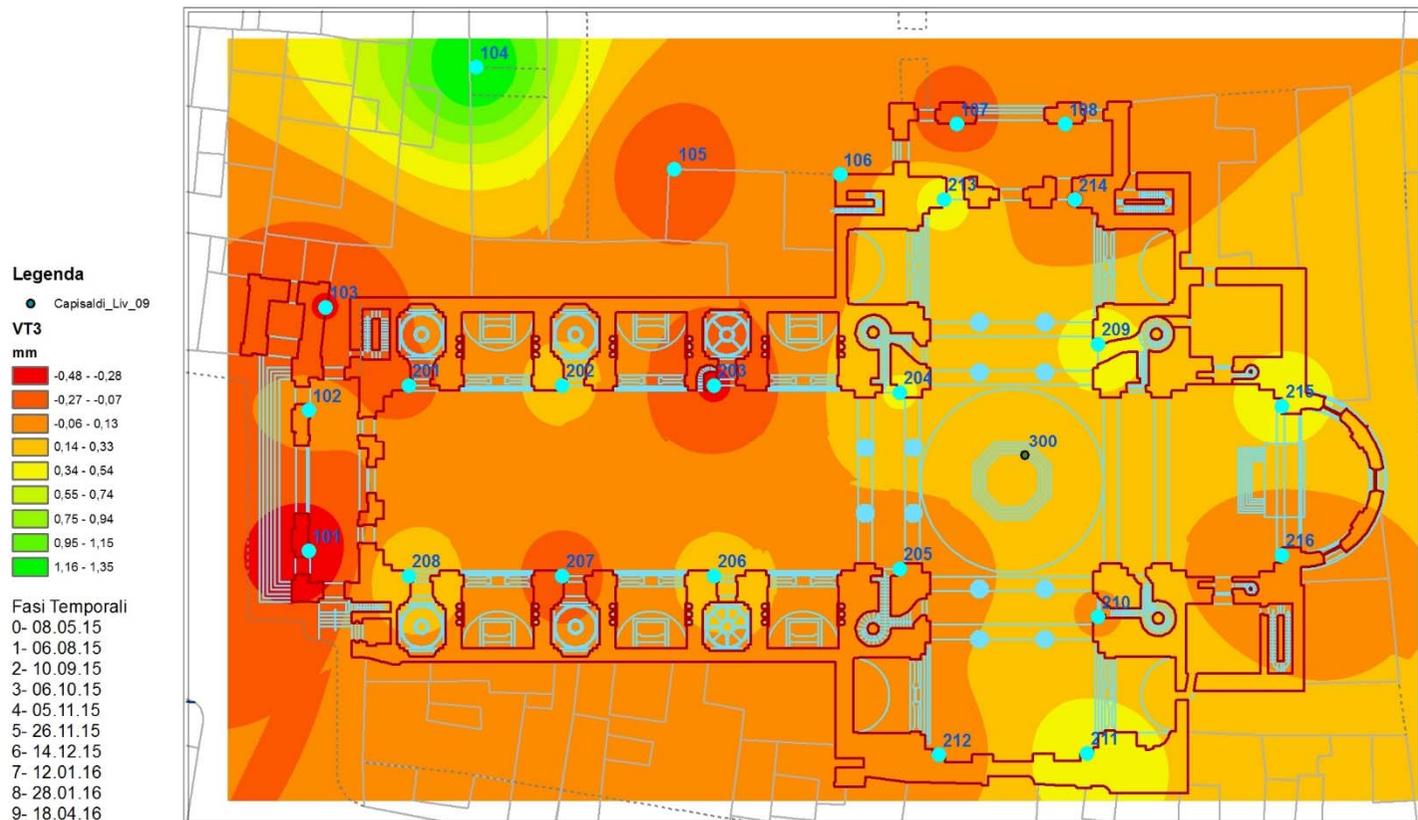
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico – Variazioni Totali

### Variazione Totali Capisaldi



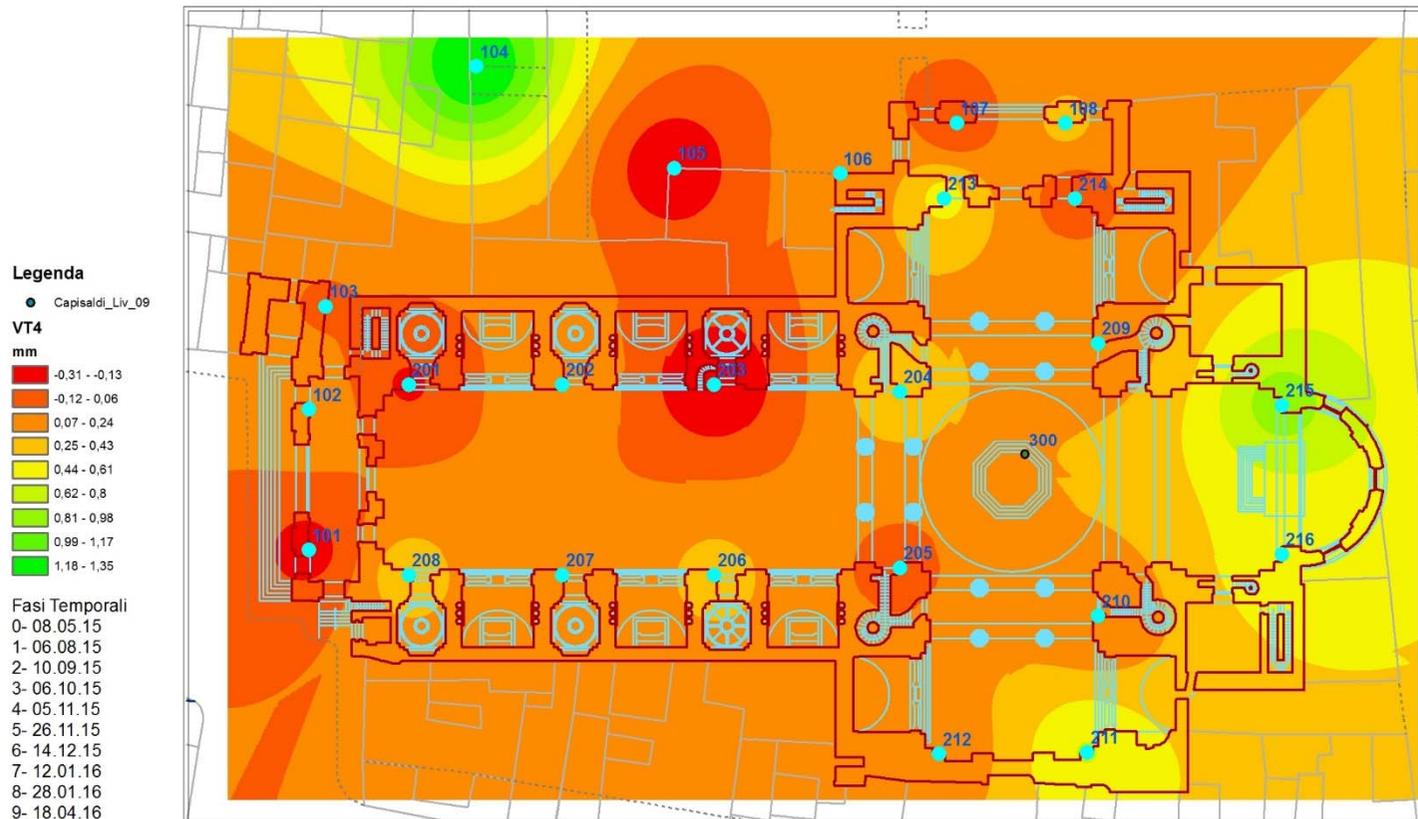
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico – Variazioni Totali

### Variazione Totali Capisaldi



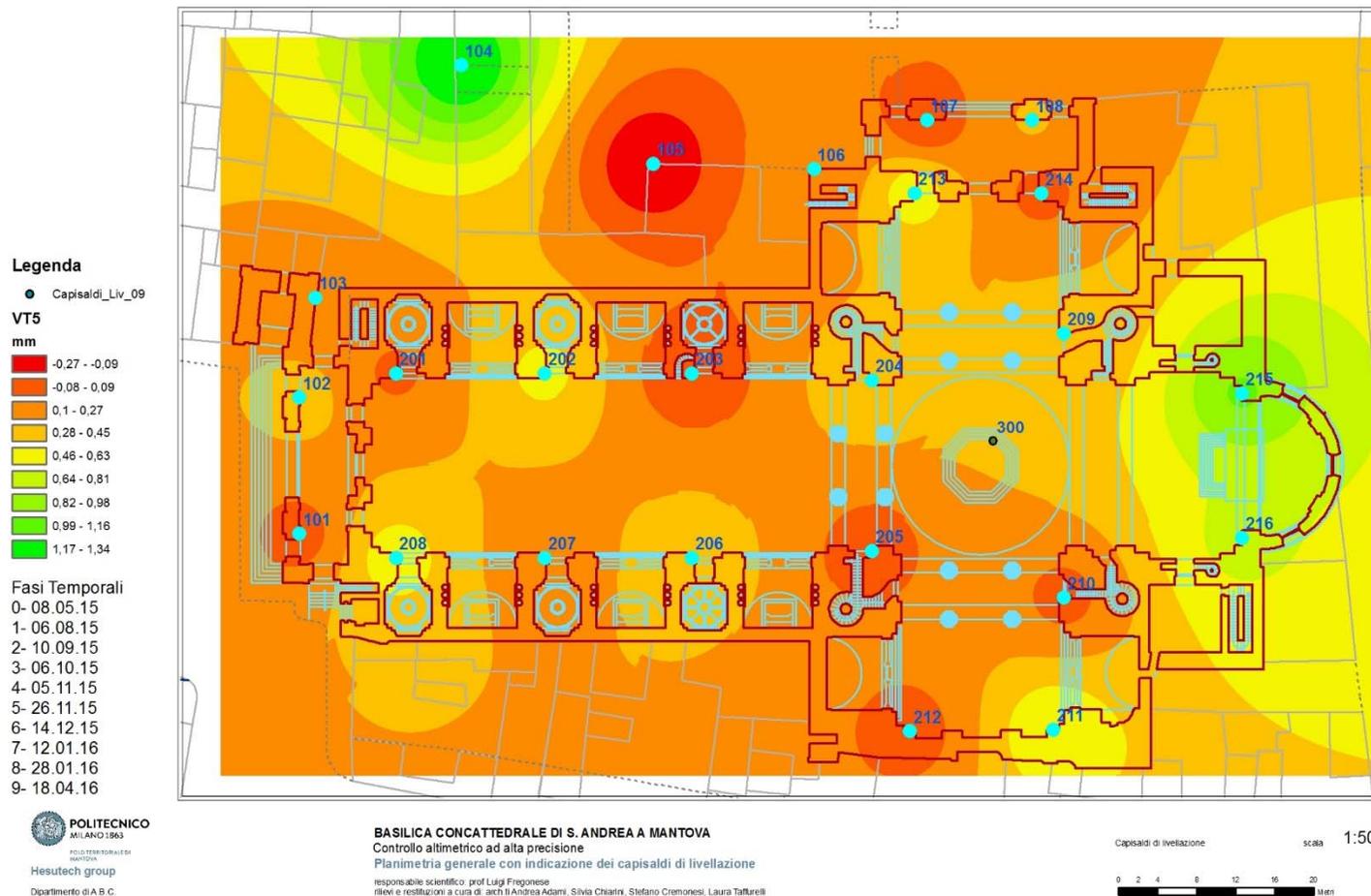
# Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico – Variazioni Totali

## Variazione Totali Capisaldi



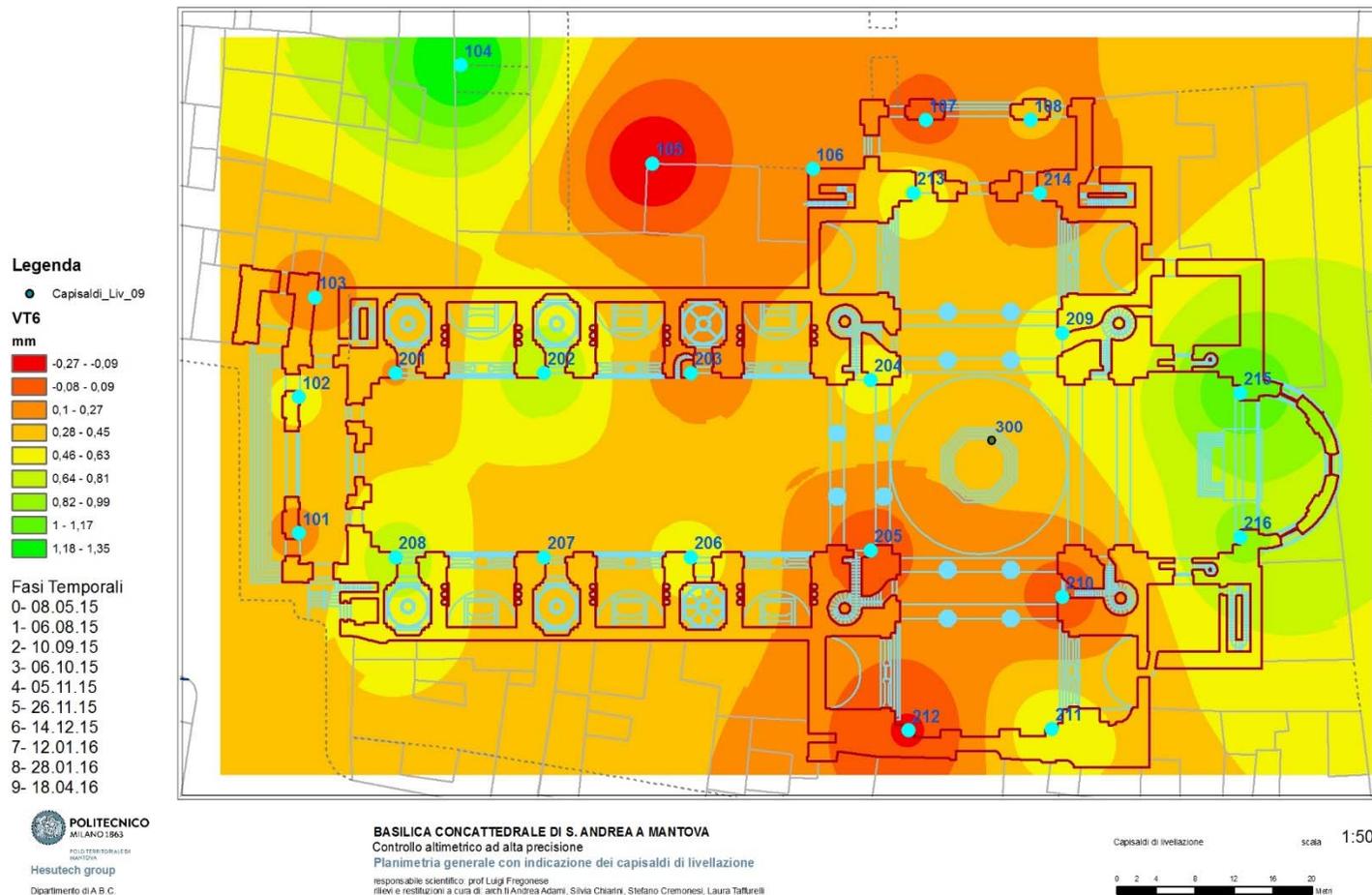
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico – Variazioni Totali

### Variazione Totali Capisaldi



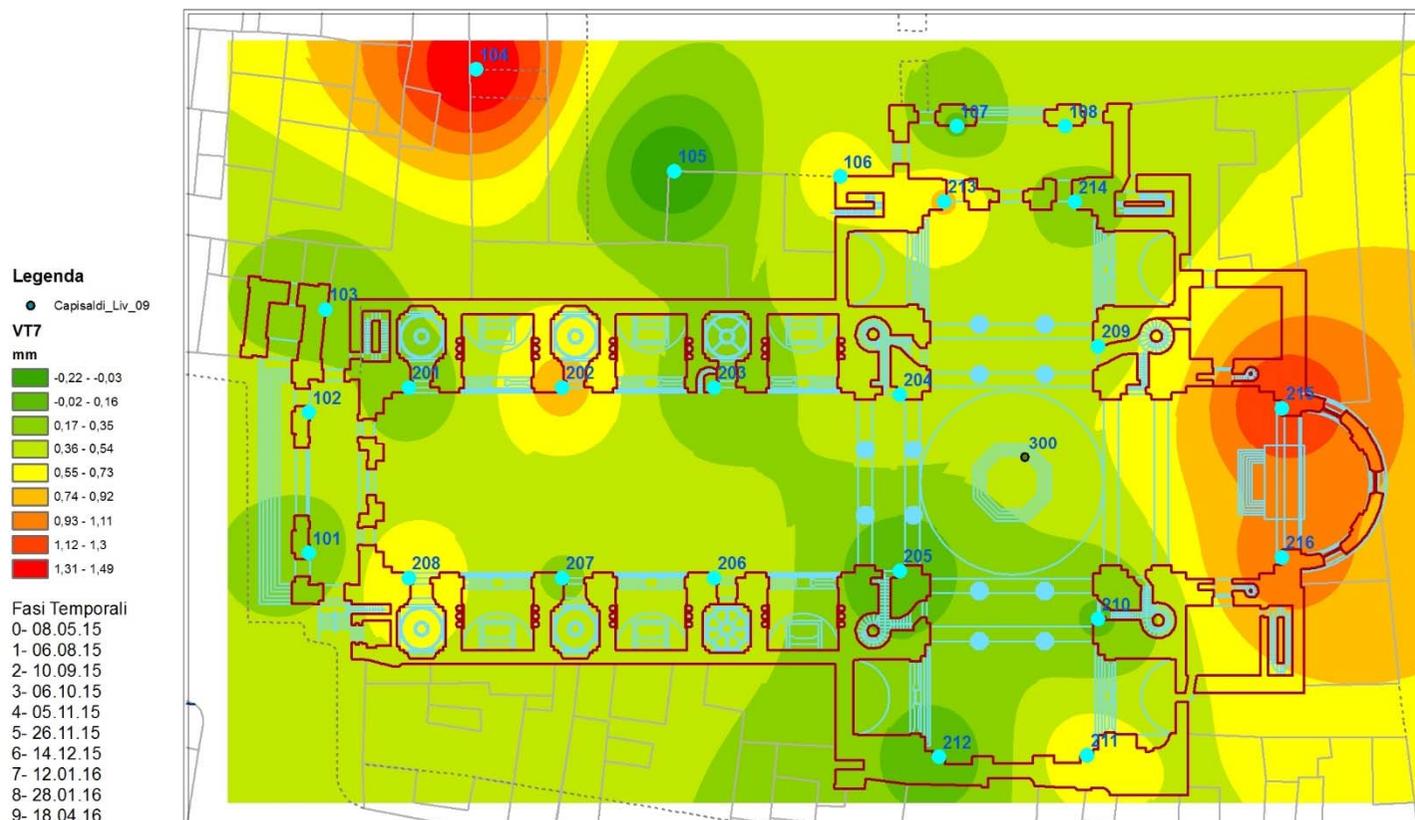
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico – Variazioni Totali

### Variazione Totali Capisaldi



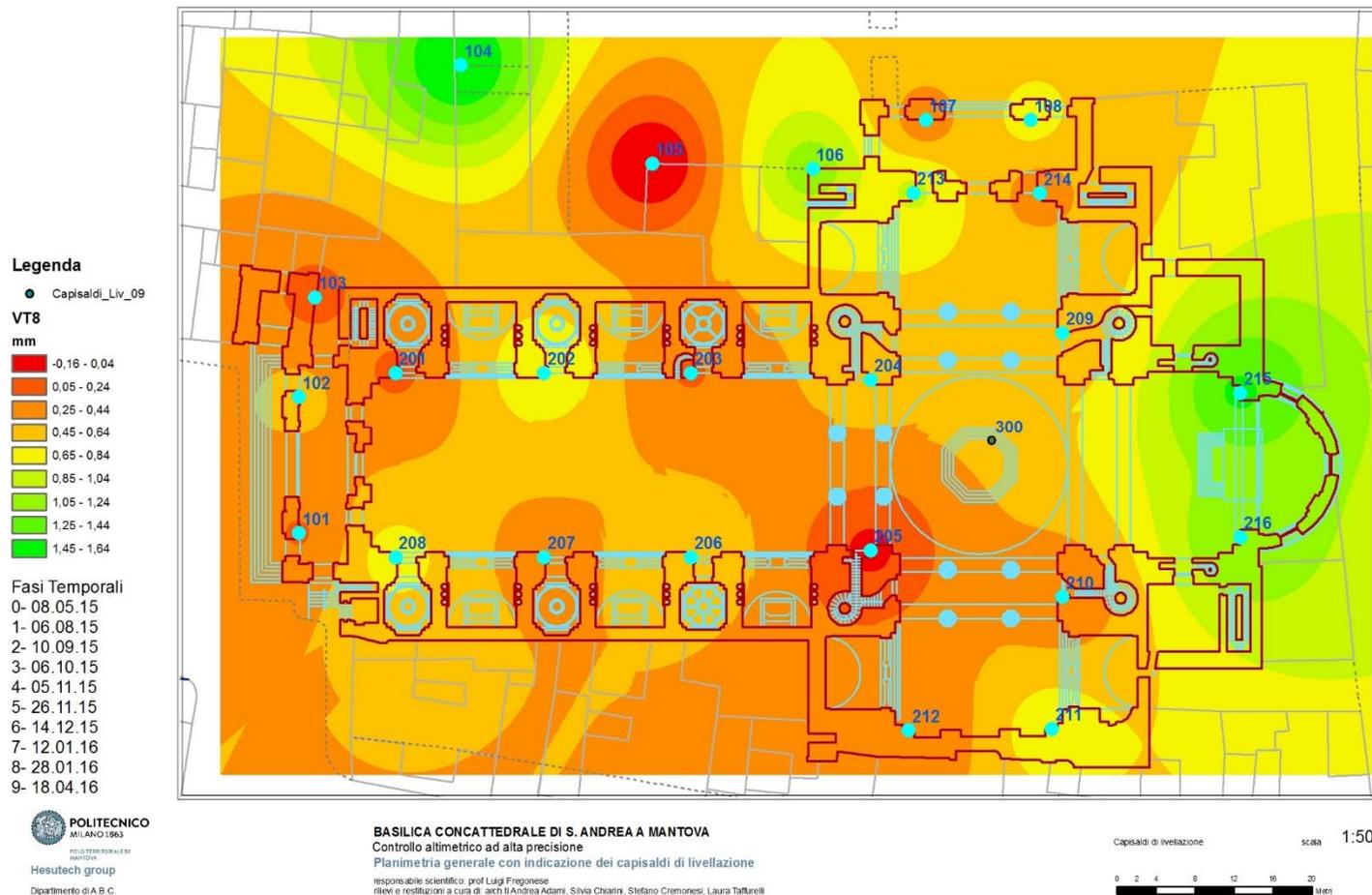
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico – Variazioni Totali

### Variazione Totali Capisaldi



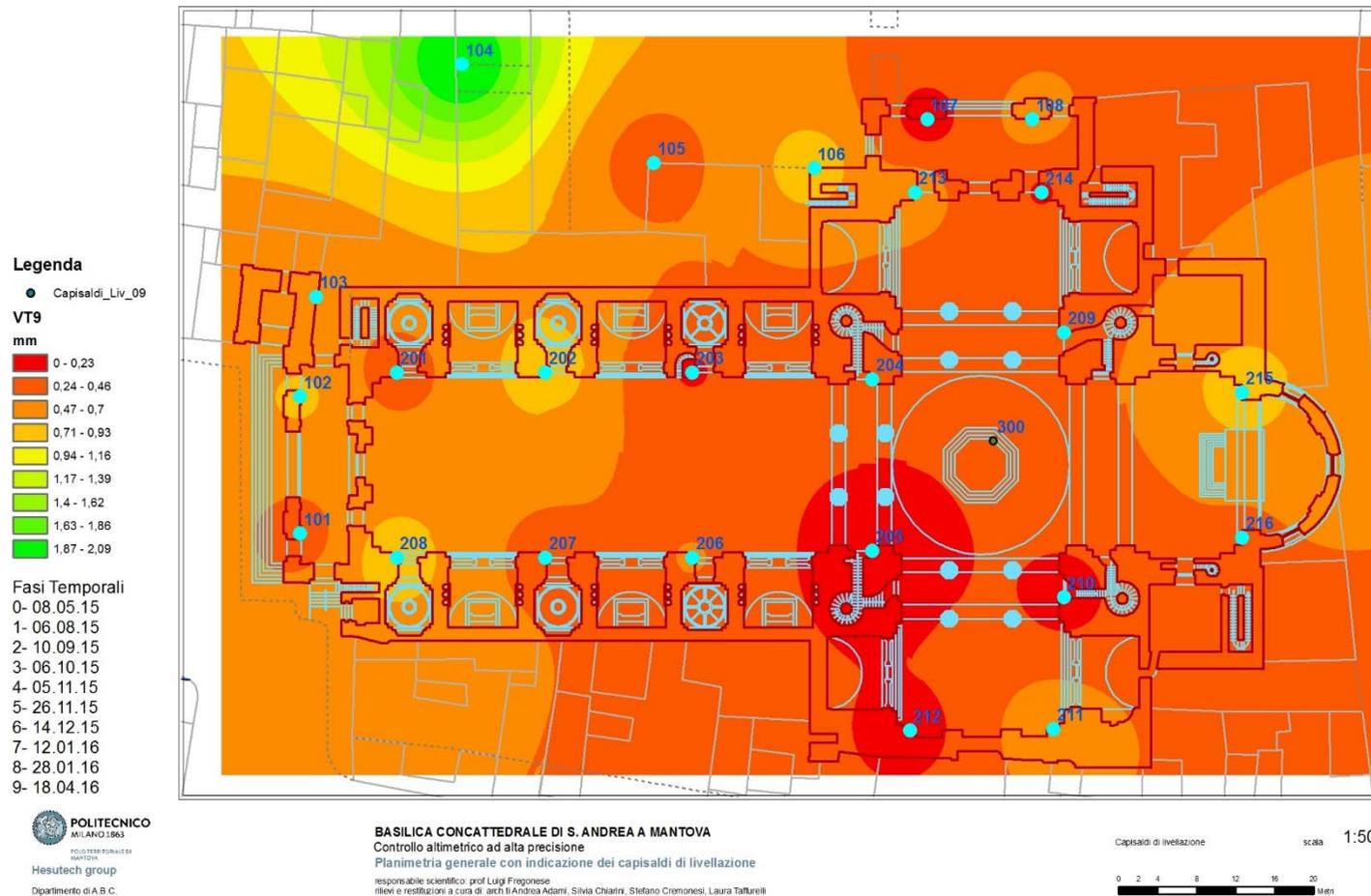
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico – Variazioni Totali

### Variazione Totali Capisaldi



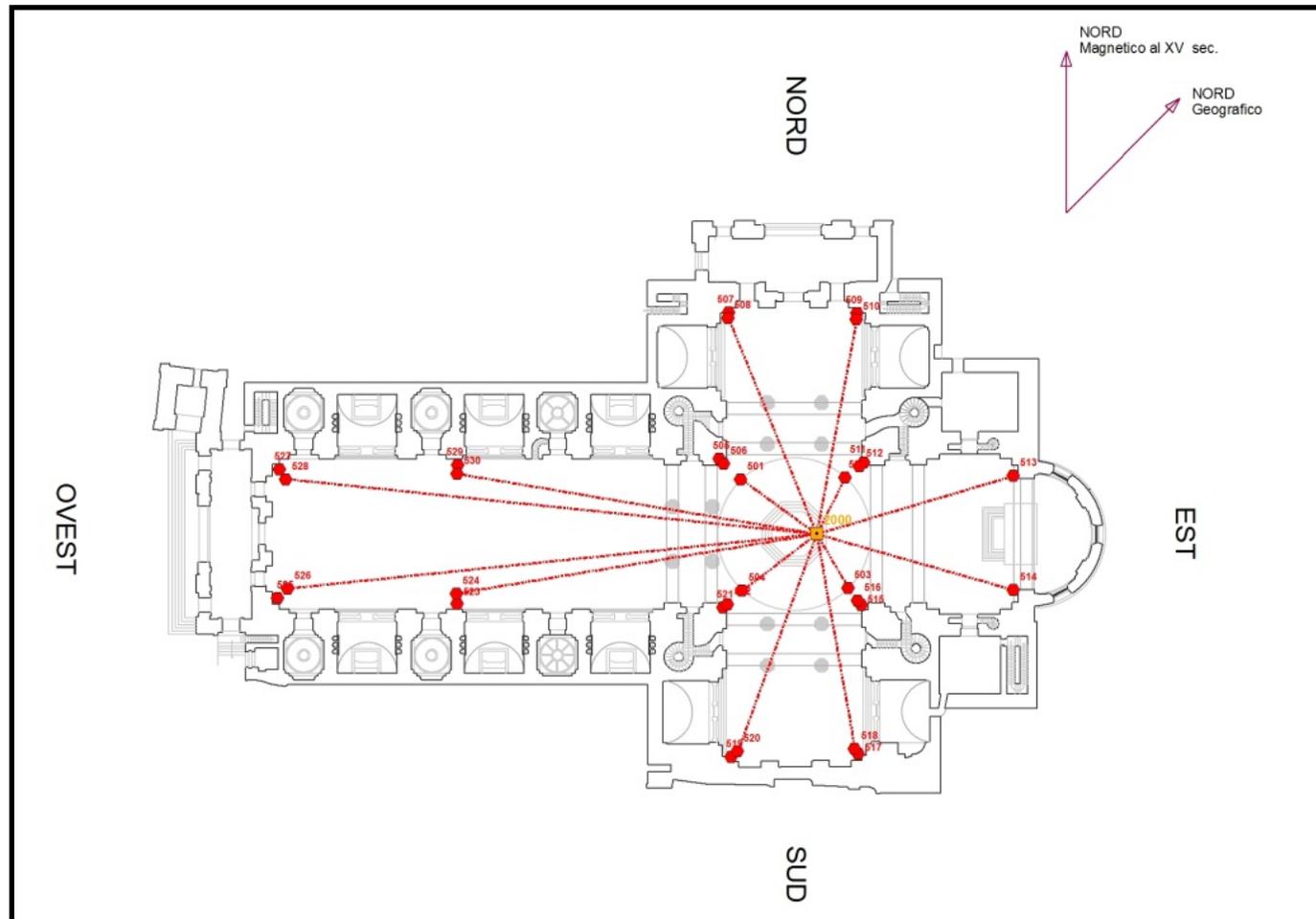
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio altimetrico – Variazioni Totali

### Variazione Totali Capisaldi





## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio tridimensionale



Monitoraggio con stazione totale risoluzione angolare pari a  $\pm 0.5''$



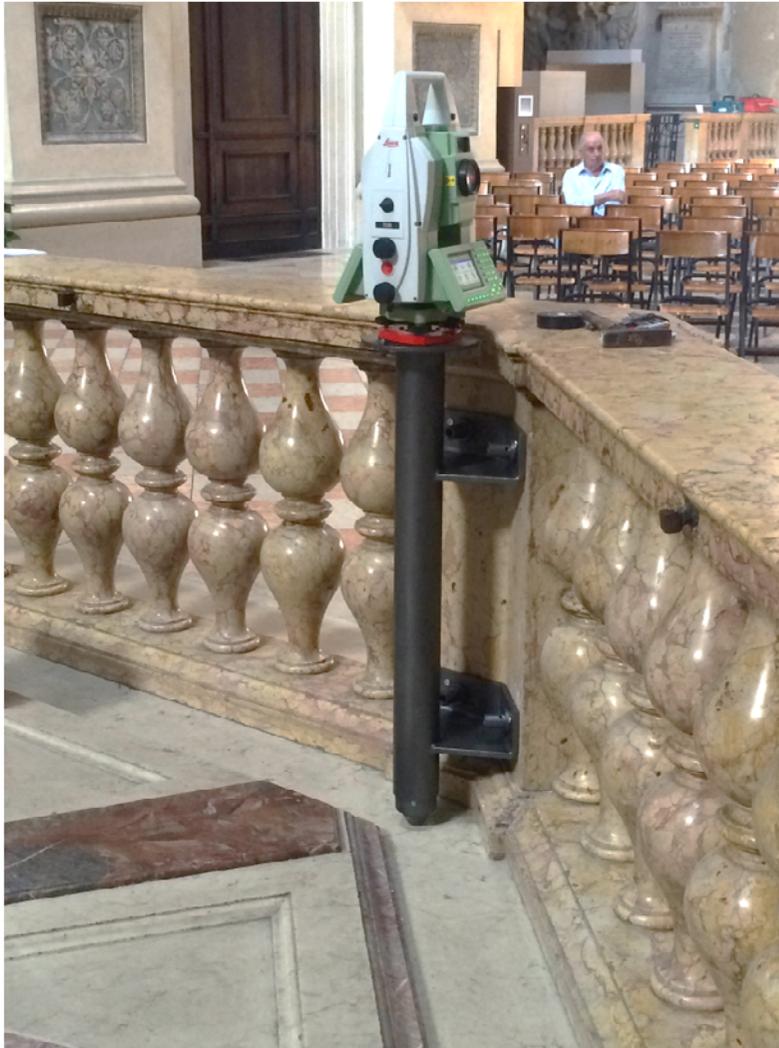
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio tridimensionale



e precisione sulla distanza pari a  $\pm 0.6\text{mm} + 1\text{ppm}$ .

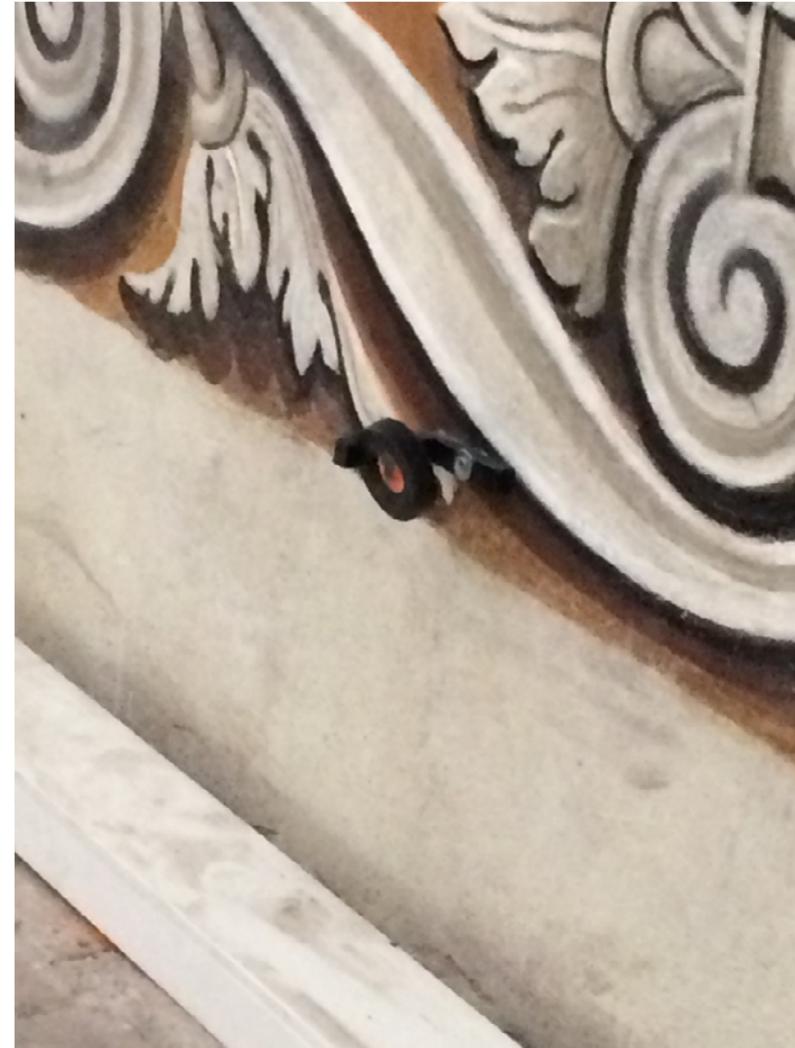


## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio tridimensionale



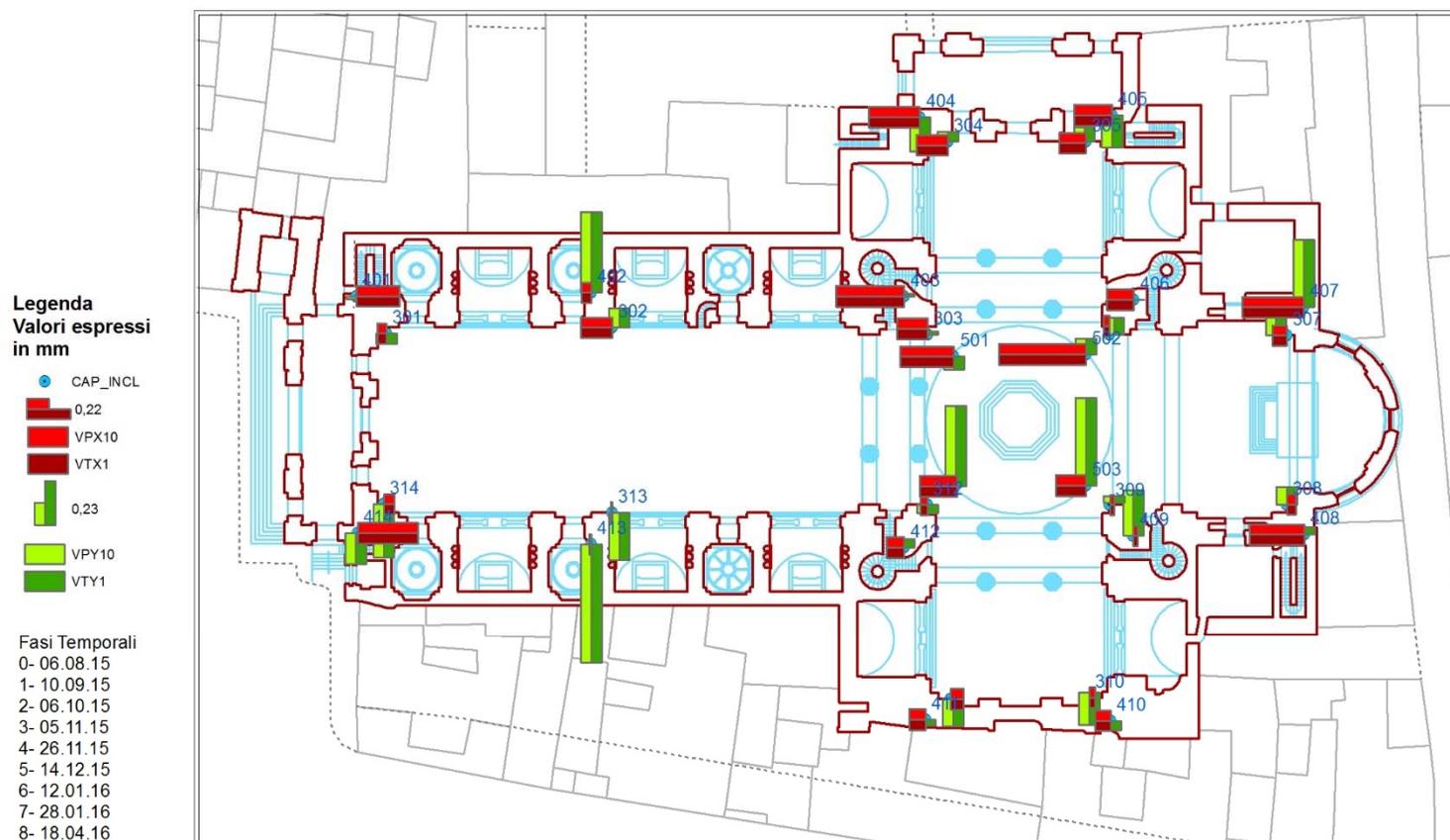


## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio tridimensionale



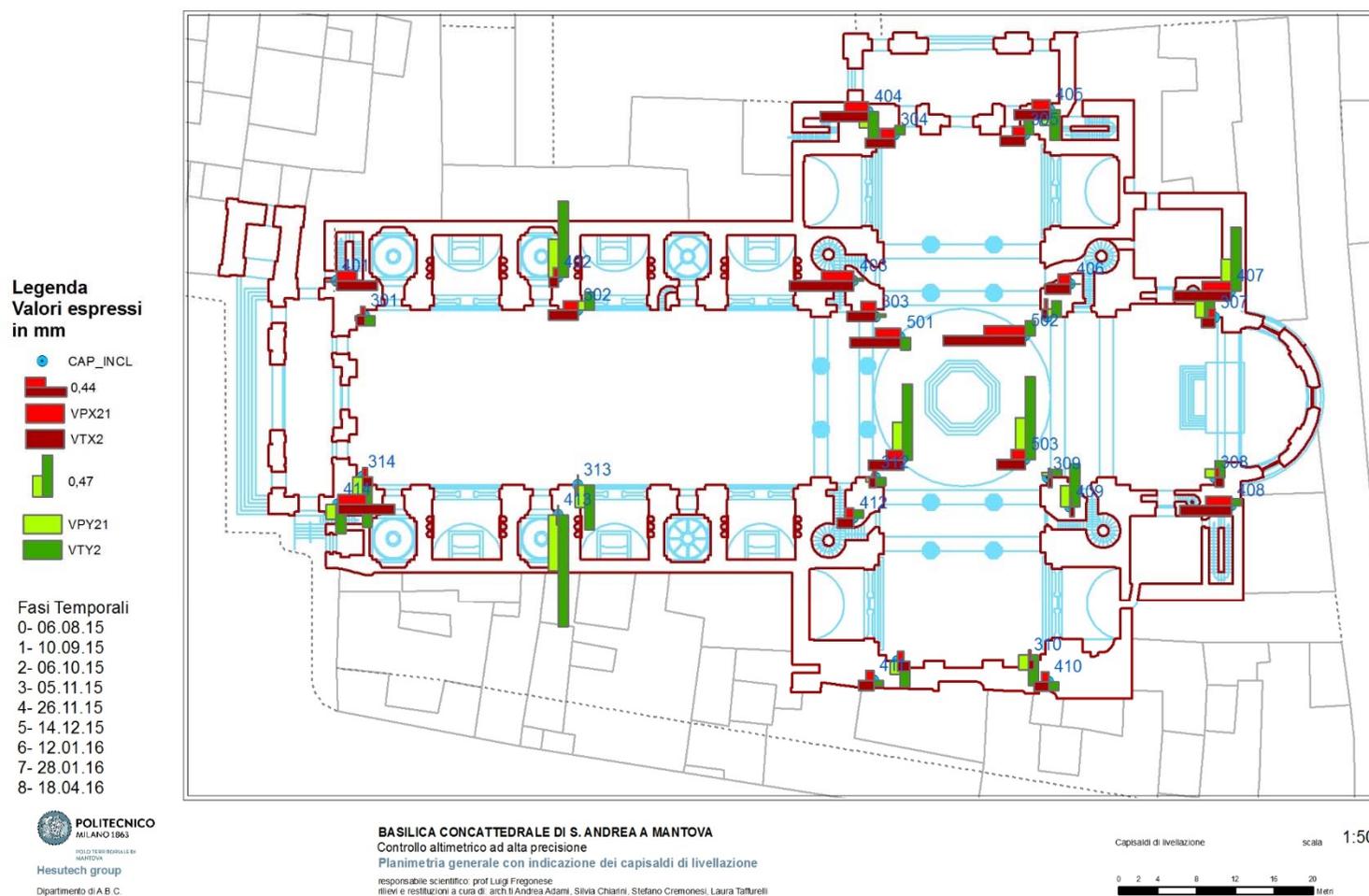
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio tridimensionale

### Variazione di inclinazione Capisaldi



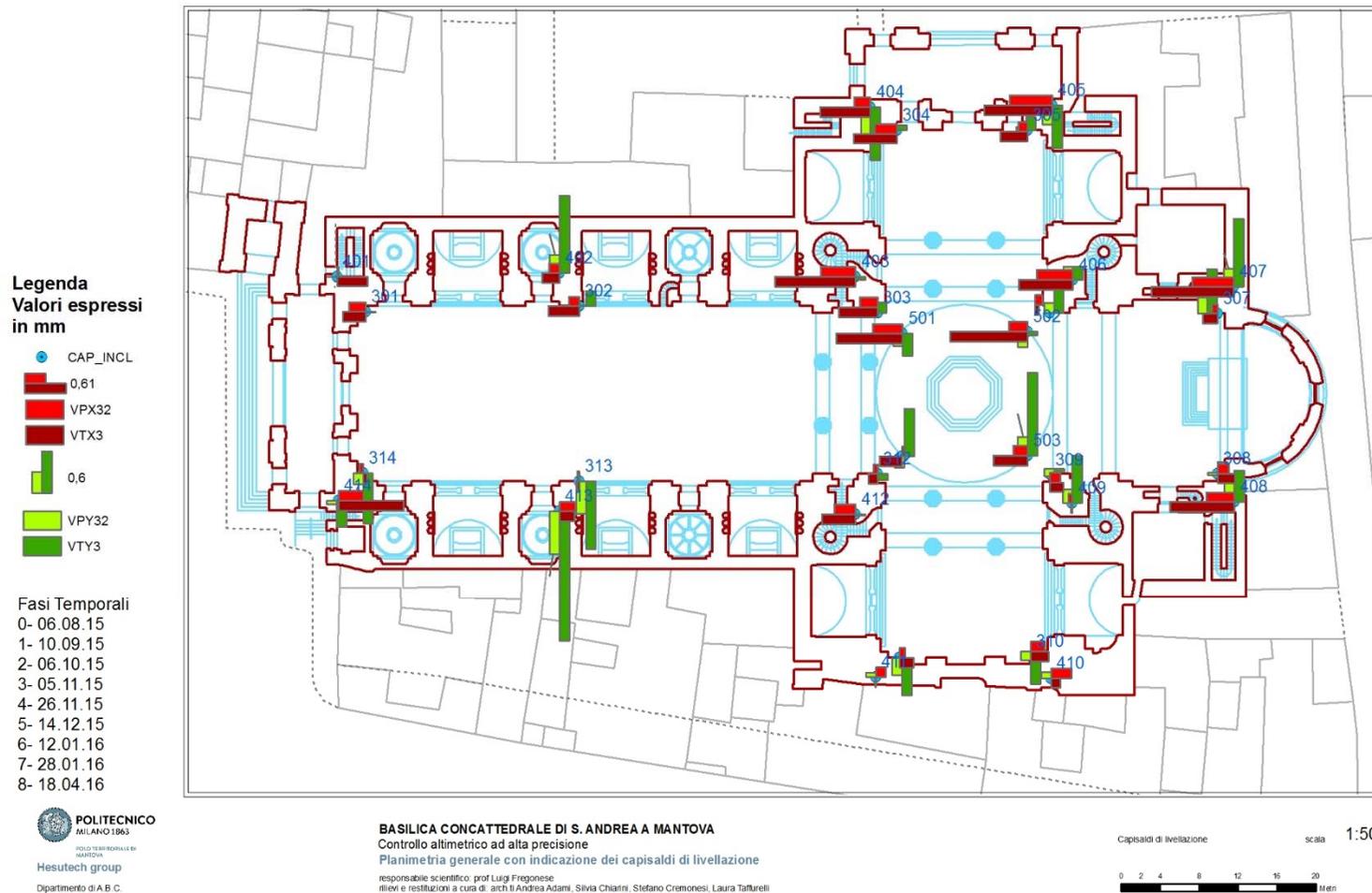
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio tridimensionale

### Variazione di inclinazione Capisaldi



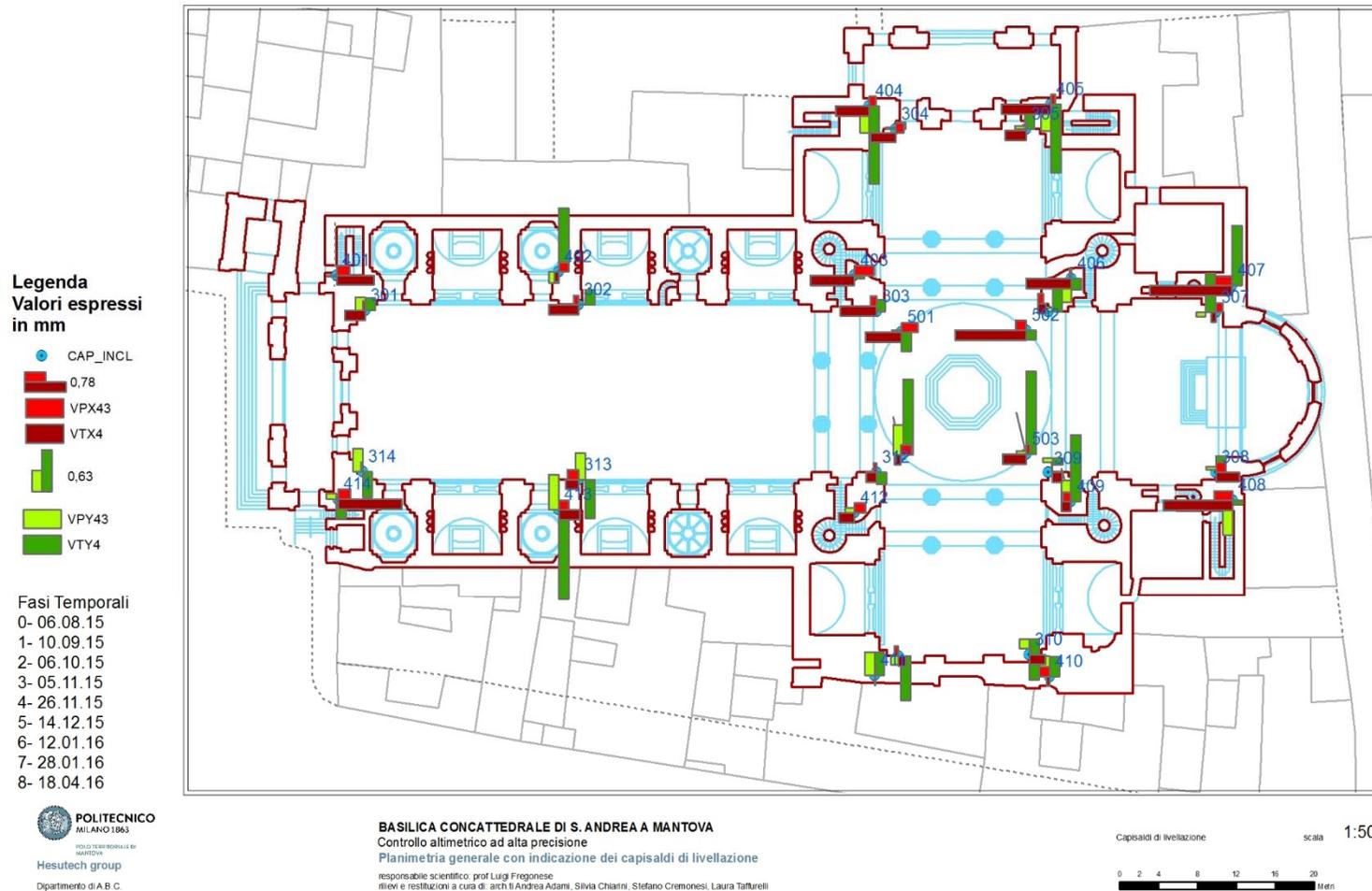
# Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio tridimensionale

## Variazione di inclinazione Capisaldi



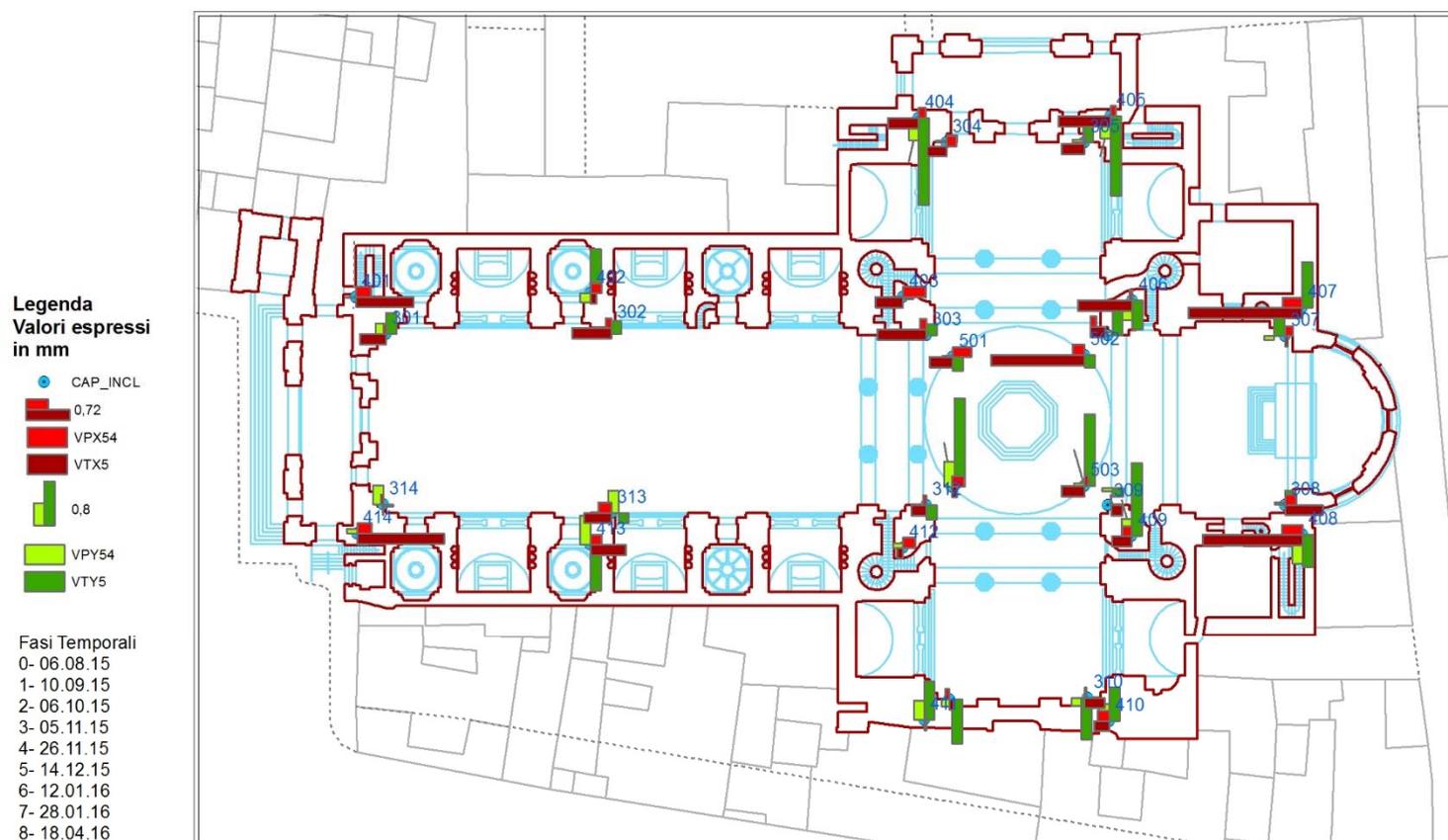
# Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio tridimensionale

## Variazione di inclinazione Capisaldi



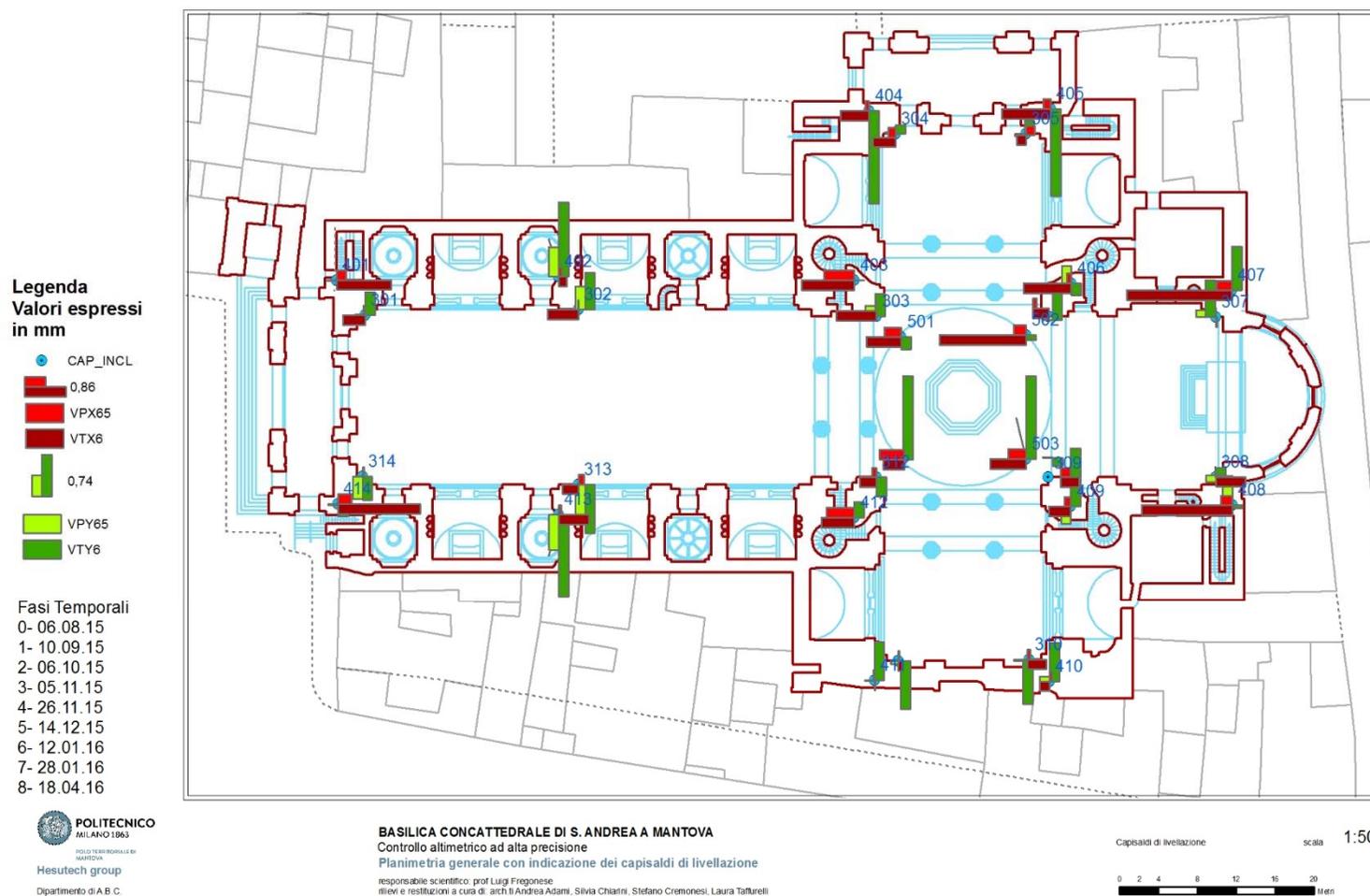
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio tridimensionale

### Variazione di inclinazione Capisaldi



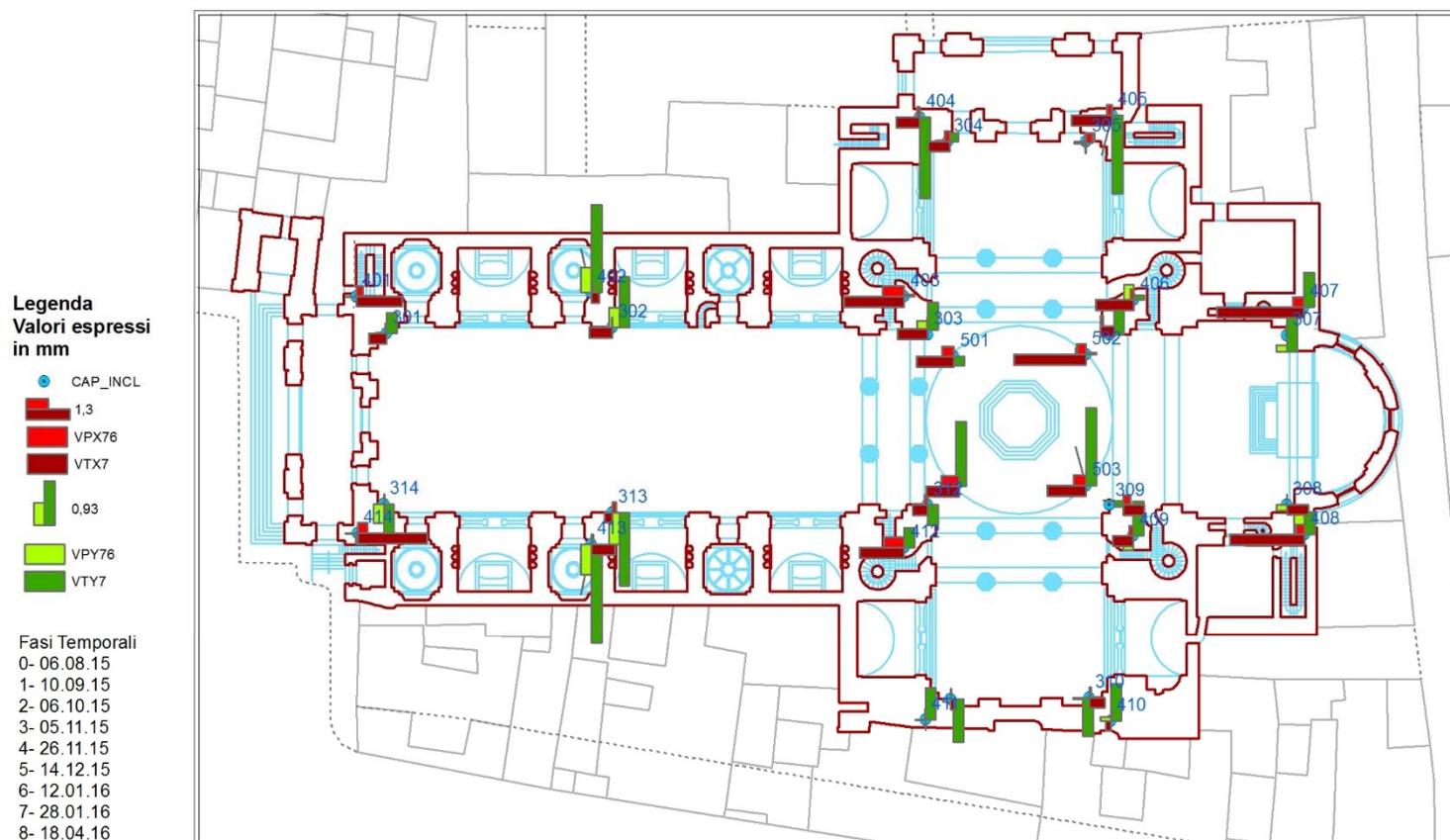
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio tridimensionale

### Variazione di inclinazione Capisaldi



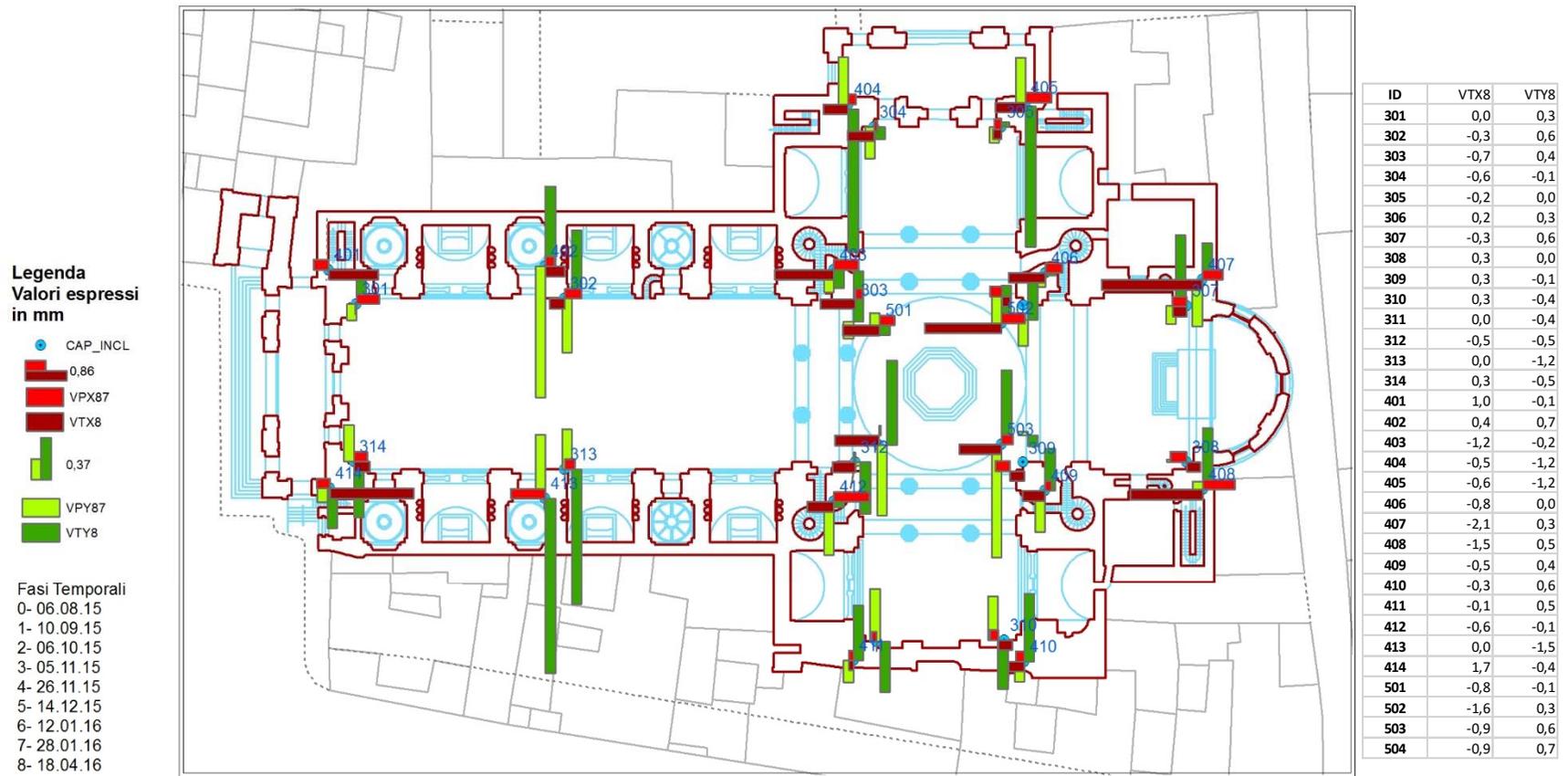
# Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio tridimensionale

## Variazione di inclinazione Capisaldi



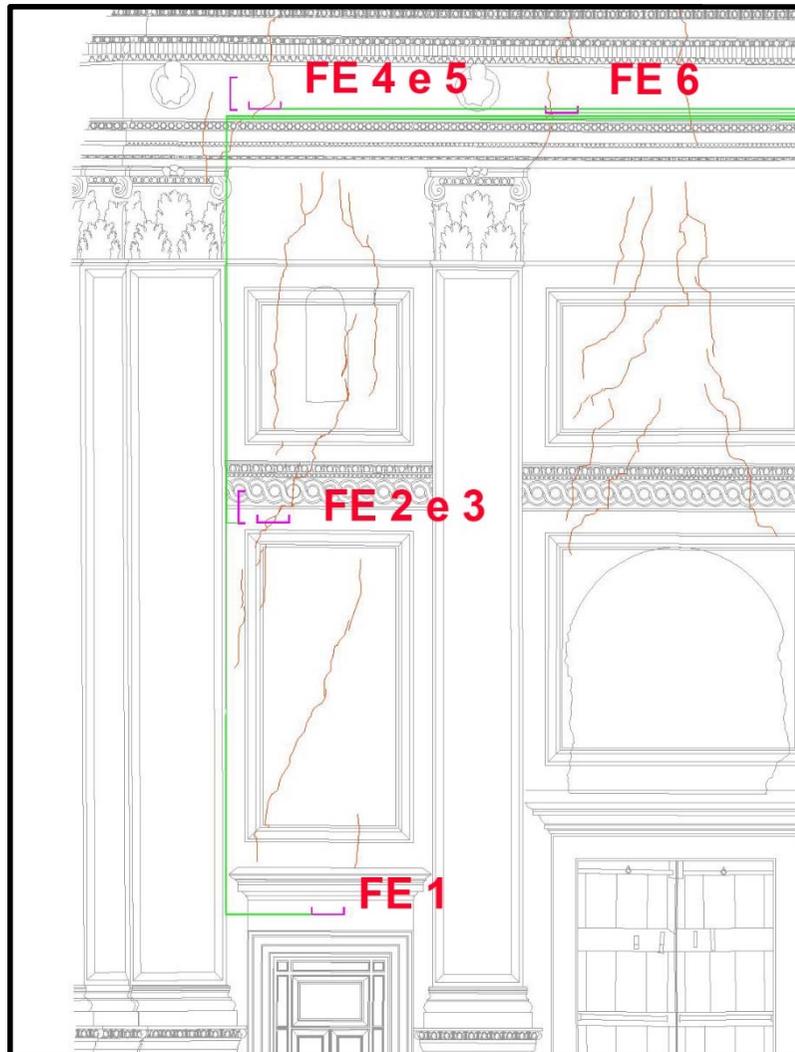
## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio tridimensionale

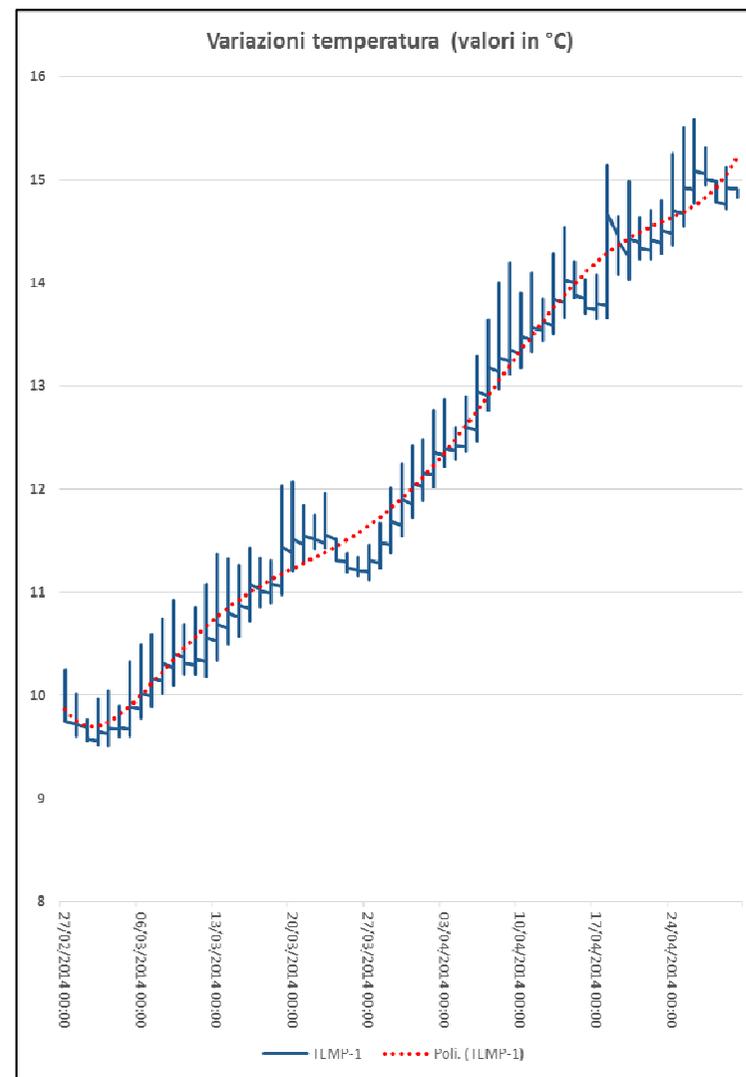
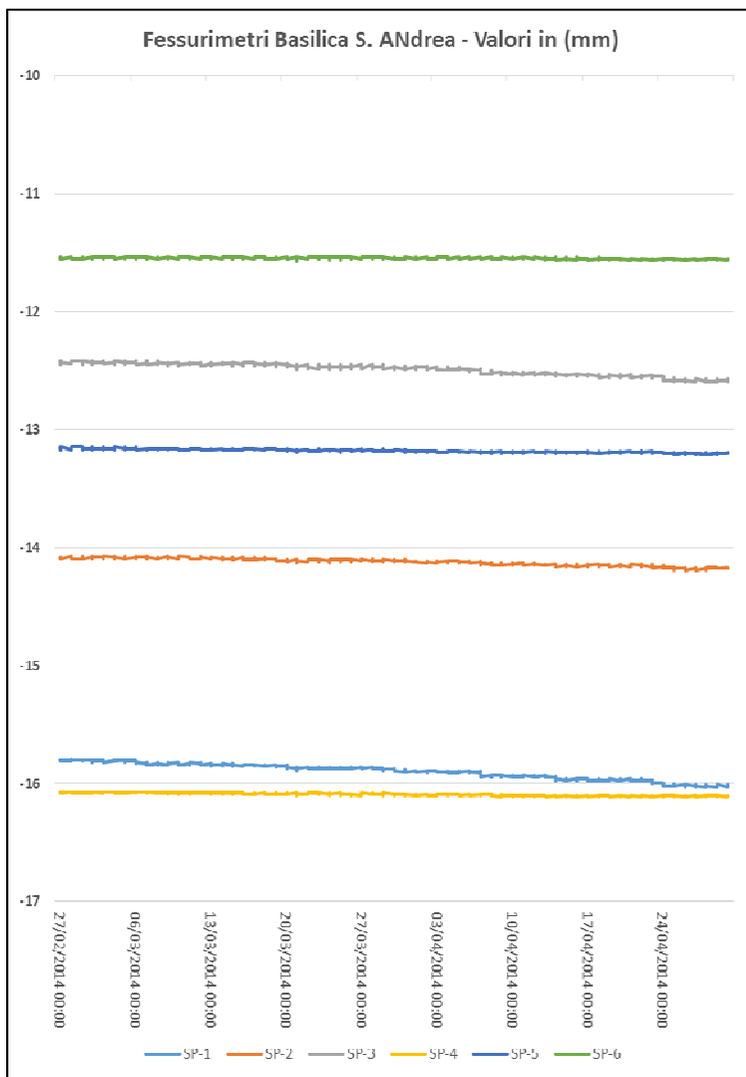
### Variazione di inclinazione Capisaldi

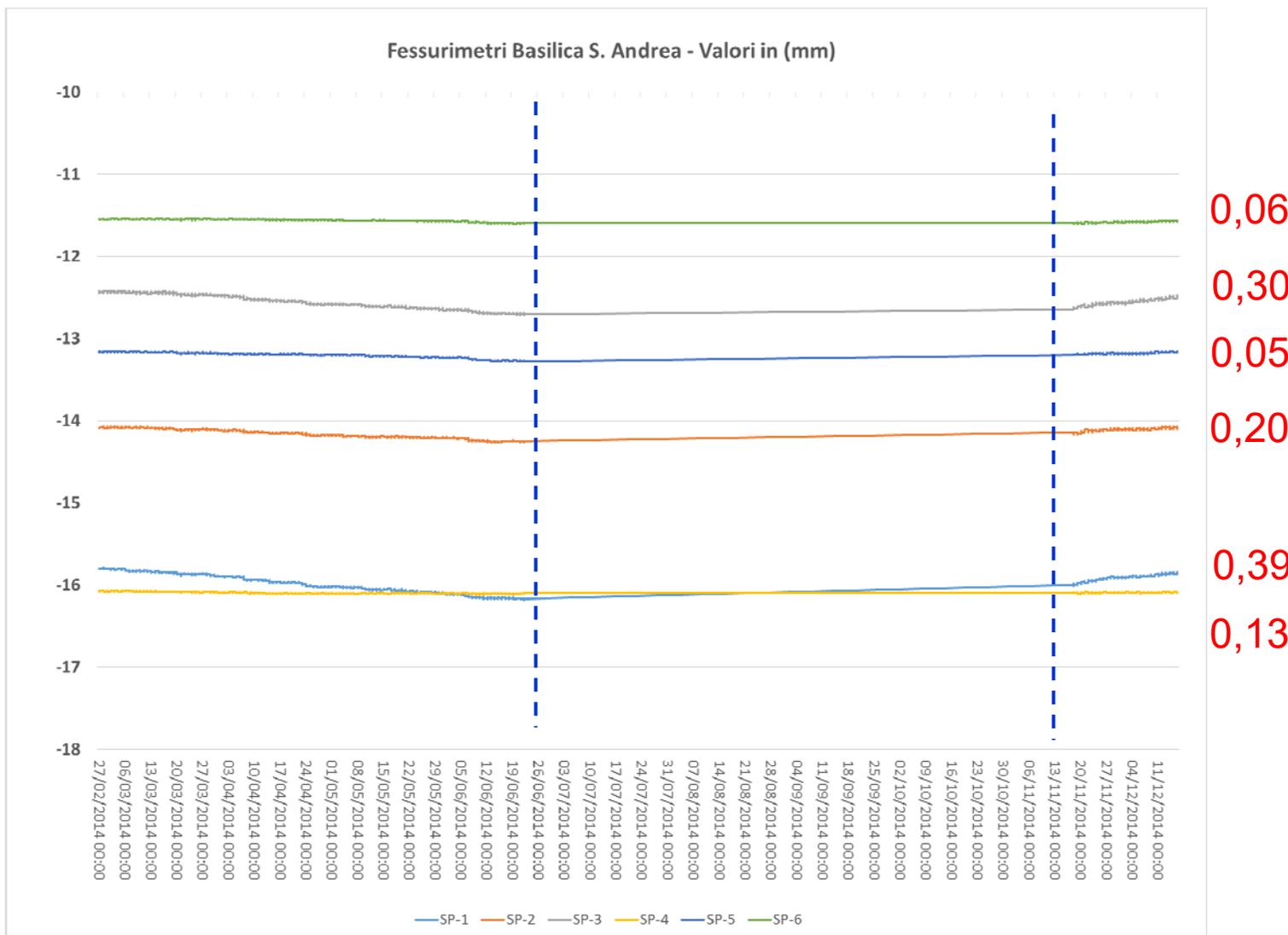


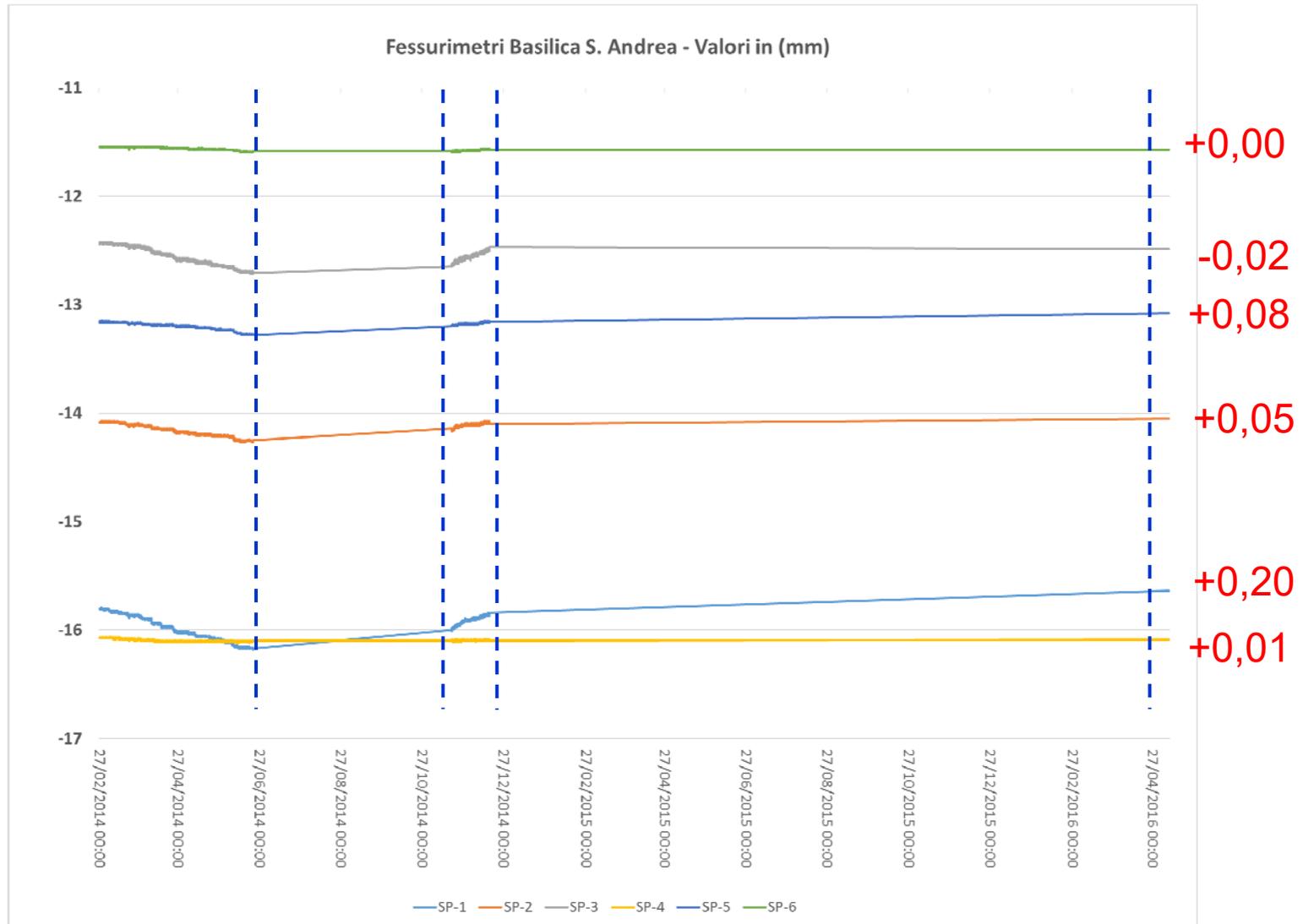


## Pianificazione degli interventi: Il monitoraggio del quadro fessurativo









## Il monitoraggio strutturale del Museo Diocesano



**PALAZZO VESCOVILE**  
**Piazza Sordello 1 - Mantova**



Il **monitoraggio strutturale**, applicato ad edifici e manufatti, può fornire informazioni essenziali per la corretta interpretazione del funzionamento strutturale degli stessi, in particolar modo per strutture di particolare complessità o fenomeni di degrado in atto.

Per i **Beni culturali** l'importanza del monitoraggio è ribadita all'interno della "Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9/02/2011 - Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni – 14/01/2008" rif art. 4.1.9: "Il controllo periodico della costruzione rappresenta il principale strumento per una consapevole conservazione, in quanto consente di programmare la manutenzione ed attuare in tempo, quando realmente necessari, gli interventi di riparazione, in caso di danno strutturale, e di consolidamento, finalizzato alla prevenzione. [...] In alcuni casi, quando l'eventuale dissesto è ben compreso e possono essere definite soglie di sicurezza, il monitoraggio può rappresentare un'alternativa all'intervento, a vantaggio della conservazione."







Il Palazzo fu costruito tra 1776 e il 1786, ed appartenne alla famiglia dei marchesi Bianchi fino al 1823, quando fu venduto alla Curia diocesana e divenne sede vescovile. Il fabbricato si sviluppa intorno ad un cortile centrale. L'elegante facciata si caratterizza per due poderosi telamoni ai lati dell'ingresso, che reggono una balconata marmorea. All'interno, un imponente scalone conduce ad ampie sale, affrescate dal pittore mantovano settecentesco Bazzani. Nel 1967, il Vescovo Antonio Poma ristrutturò il piano interrato per ospitare l'Archivio Storico Diocesano, che possiede un ricco patrimonio documentale relativo alla diocesi di Mantova

Dopo gli eventi sismici del maggio 2012:

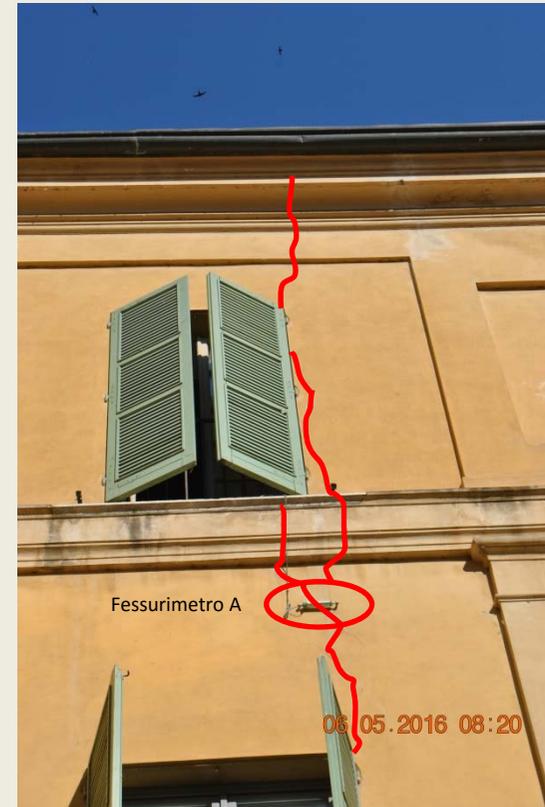
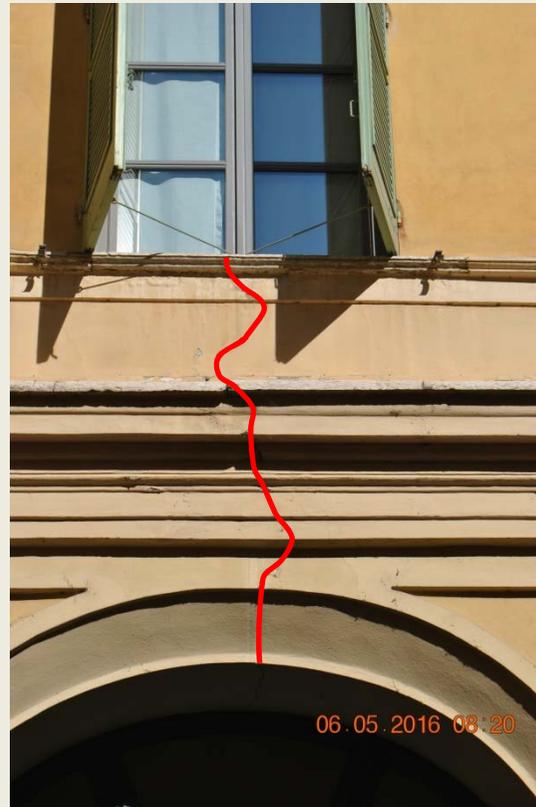
- Verifica quadro fessurativo.

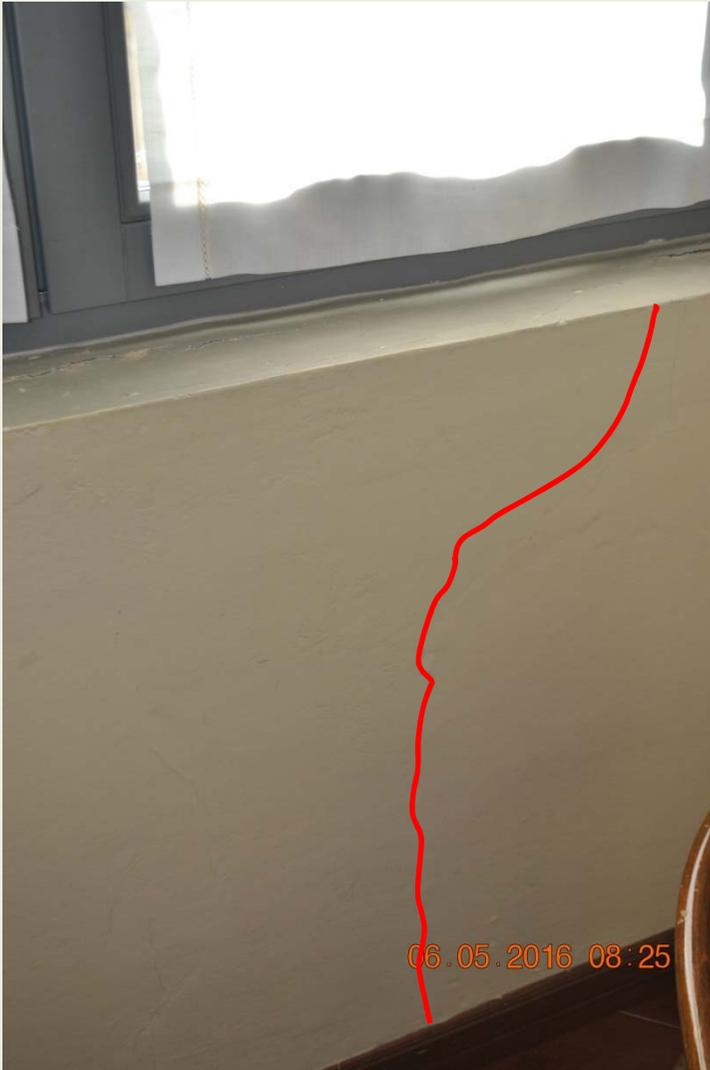
Le indagini sommarie svolte rilevano:

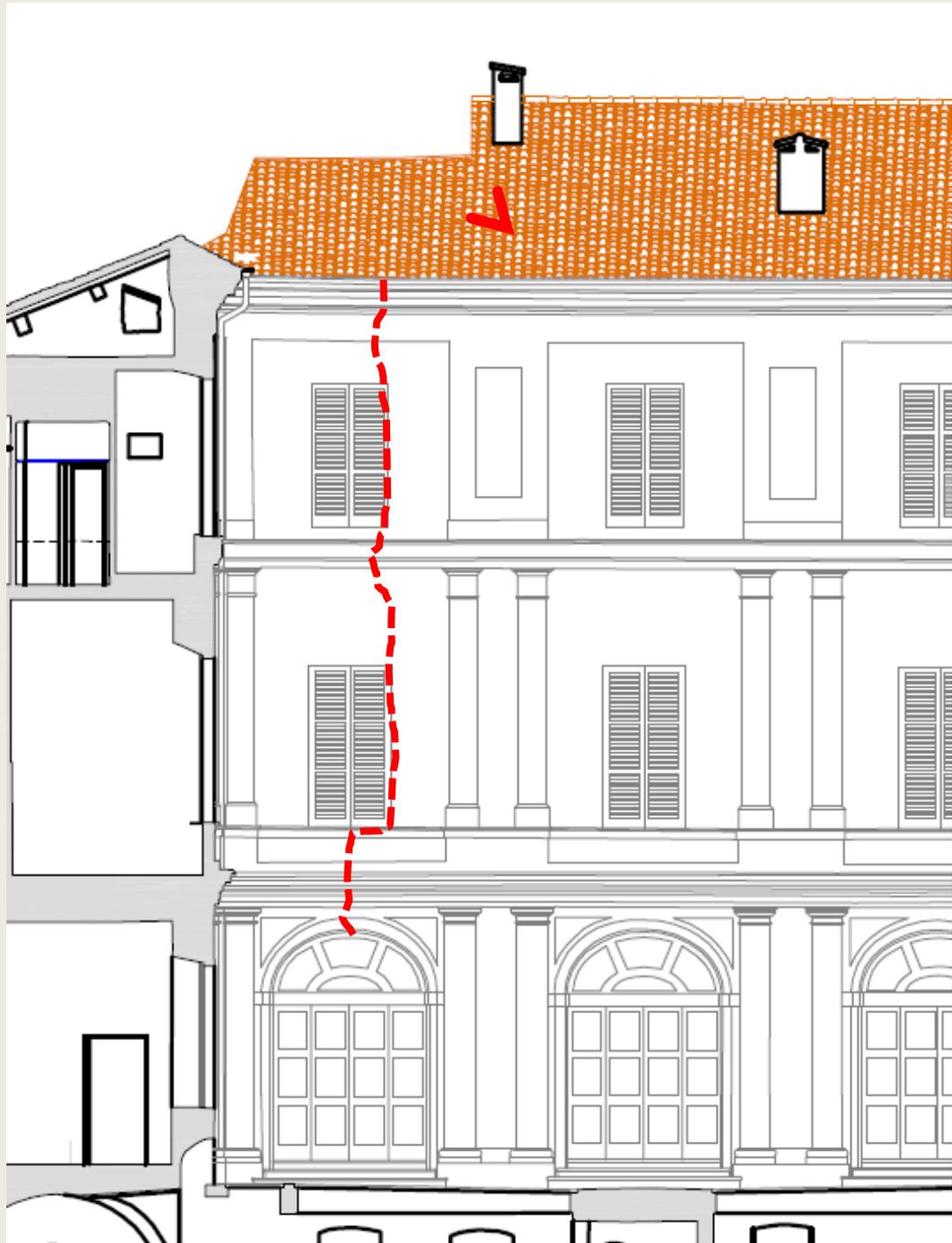
- Danni lievi e quadro fessurativo imputabile a situazioni pregresse
- Mancanza di dati di monitoraggio strutturale del fabbricato
- Mancanza di rilievo geometrico affidabile
- Individuazione di alcune criticità strutturali da verificare.



## 1. Lesioni nella facciata del cortile



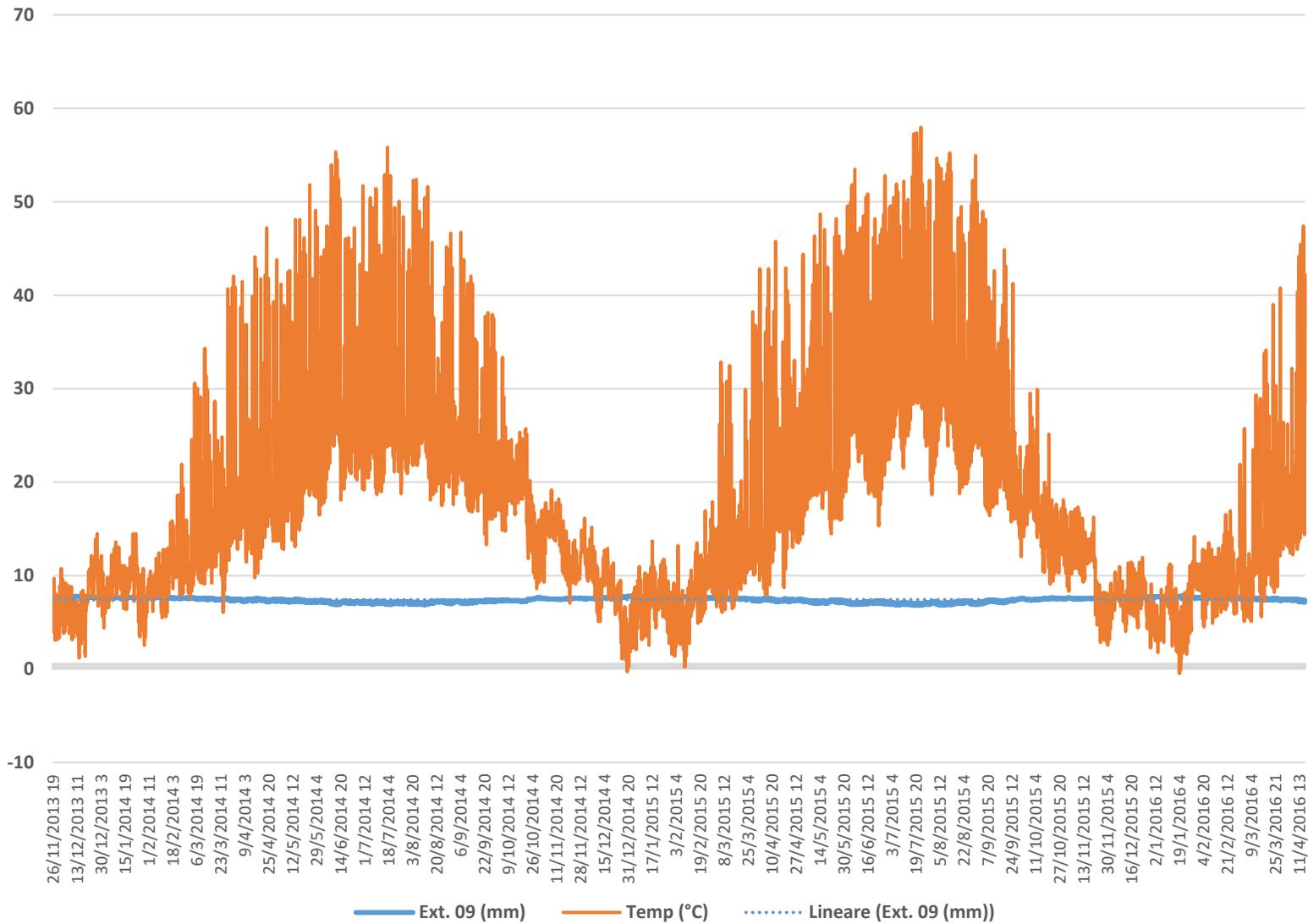




# Palazzo Vescovile Fessurimetro A

Osservazioni in mm e temperatura in °C

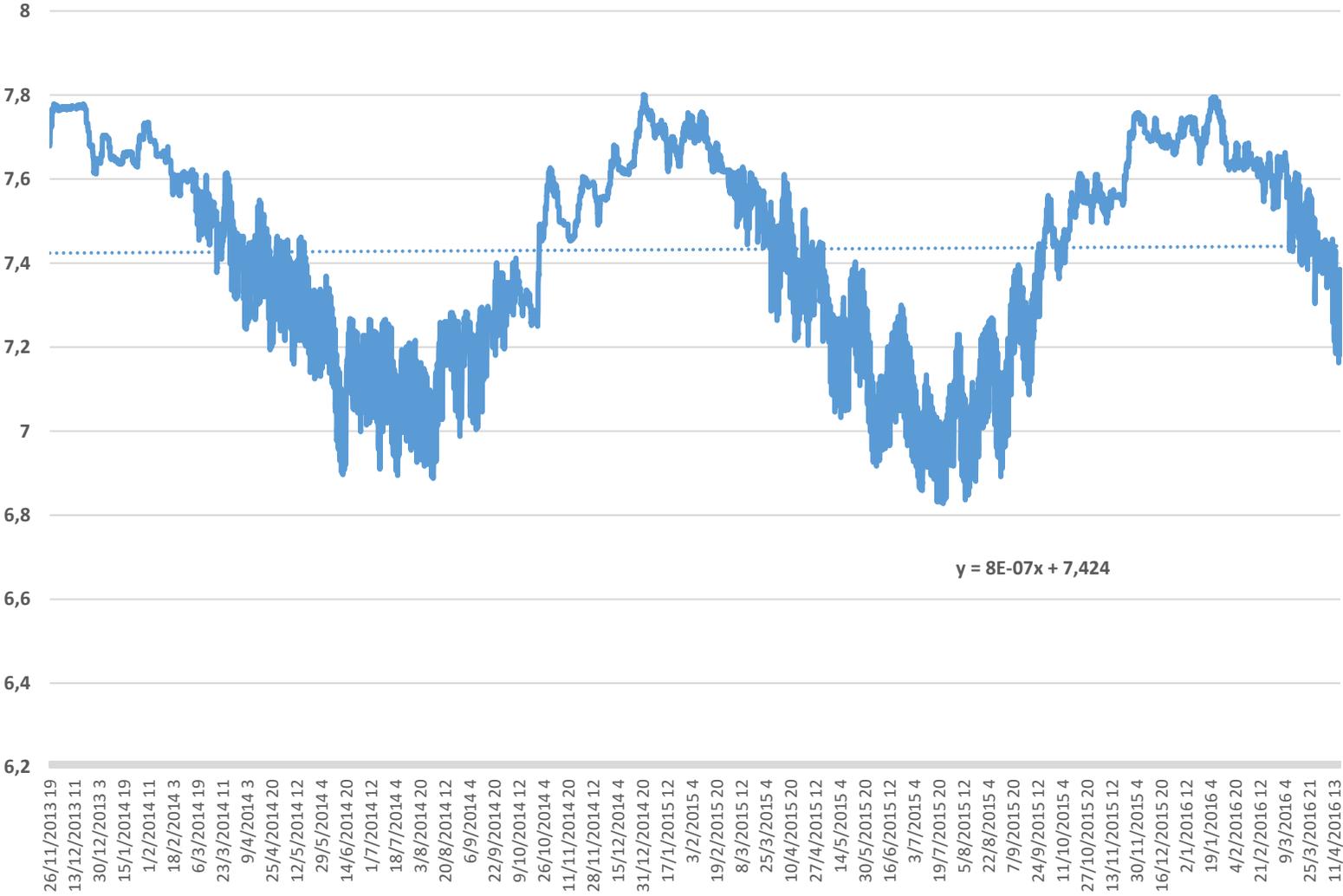
T (°C)\_Ext (mm)



### Palazzo Vescovile Fessurimetro A

Osservazioni in mm

Ext (mm)



Ext. 09 (mm)      Lineare (Ext. 09 (mm))

Periodo osservazioni

26/11/2013 – 15/04/2016 - 1 osservazione ogni ora

Numero osservazioni

20900

Variazioni di temperatura

Minimo -0,3°C

Massimo +57,9°C

Valori di deformazione

Minimo Ext 6,828mm

Massimo Ext 7,801mm

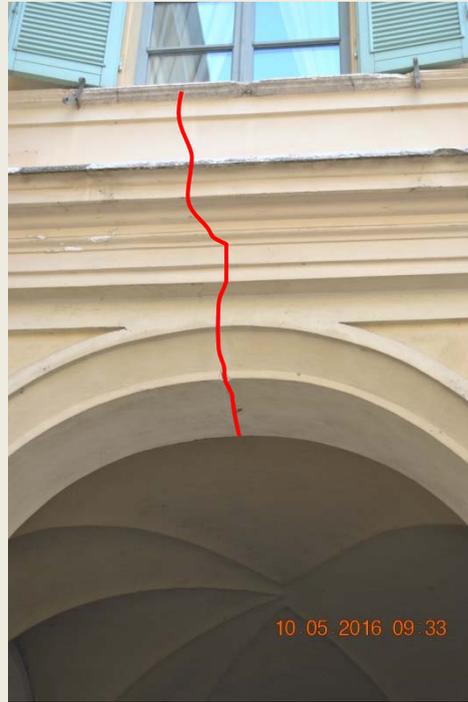
Le variazioni stagionali influiscono in modo coordinato sull'andamento della fessura che presenta variazioni sinusoidali tipiche con valori oscillanti pari a +/- 0,49mm e con valore assoluto pari a 0,973mm nel corso di due anni.

Linea di tendenza

Interpolazione lineare dei punti

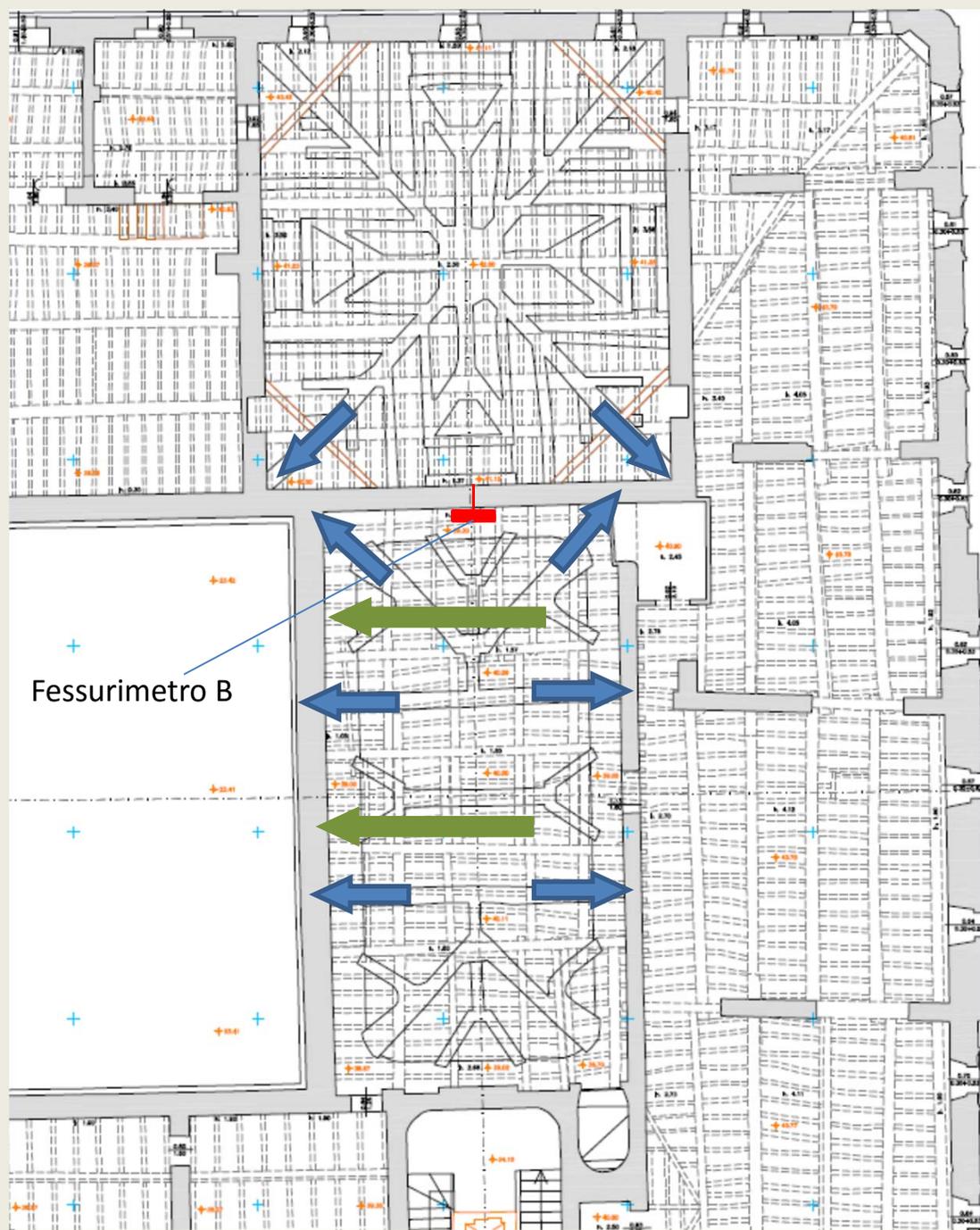
Equazione  $y = 8 \text{ E-}07x + 7,4994$

La deformazione dopo il periodo di osservazione è pari a 0,017mm





Fessurimetro B



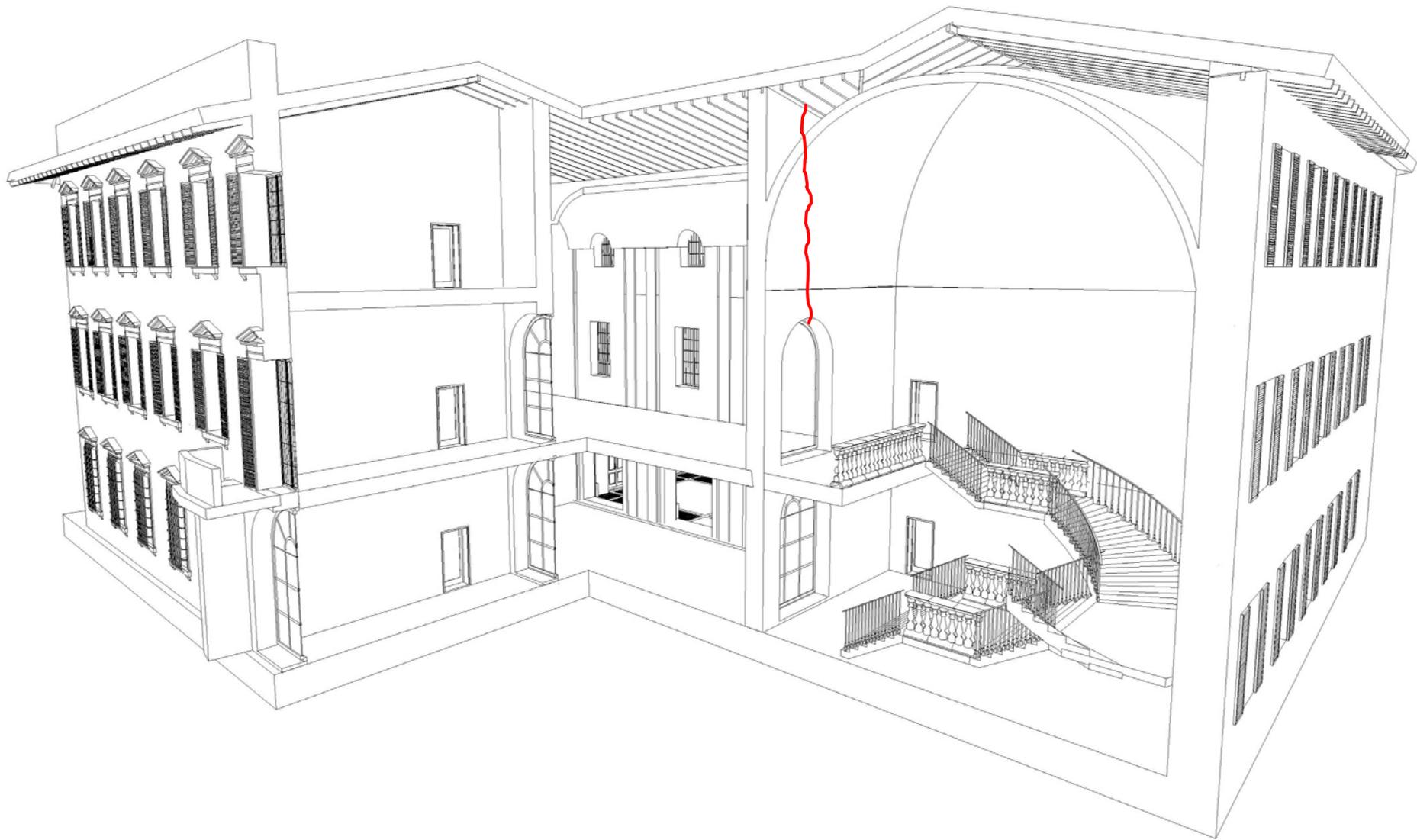
Fessurimetro B

Criticità:

Muri di altezza oltre i 13m – spessore 65  
non sono presenti incatenamenti orizzontali.

Volte in mattoni in foglio con nervature – senza  
catene orizzontali.

Tetto sopra salone ad una falda con possibile  
effetto spingente.





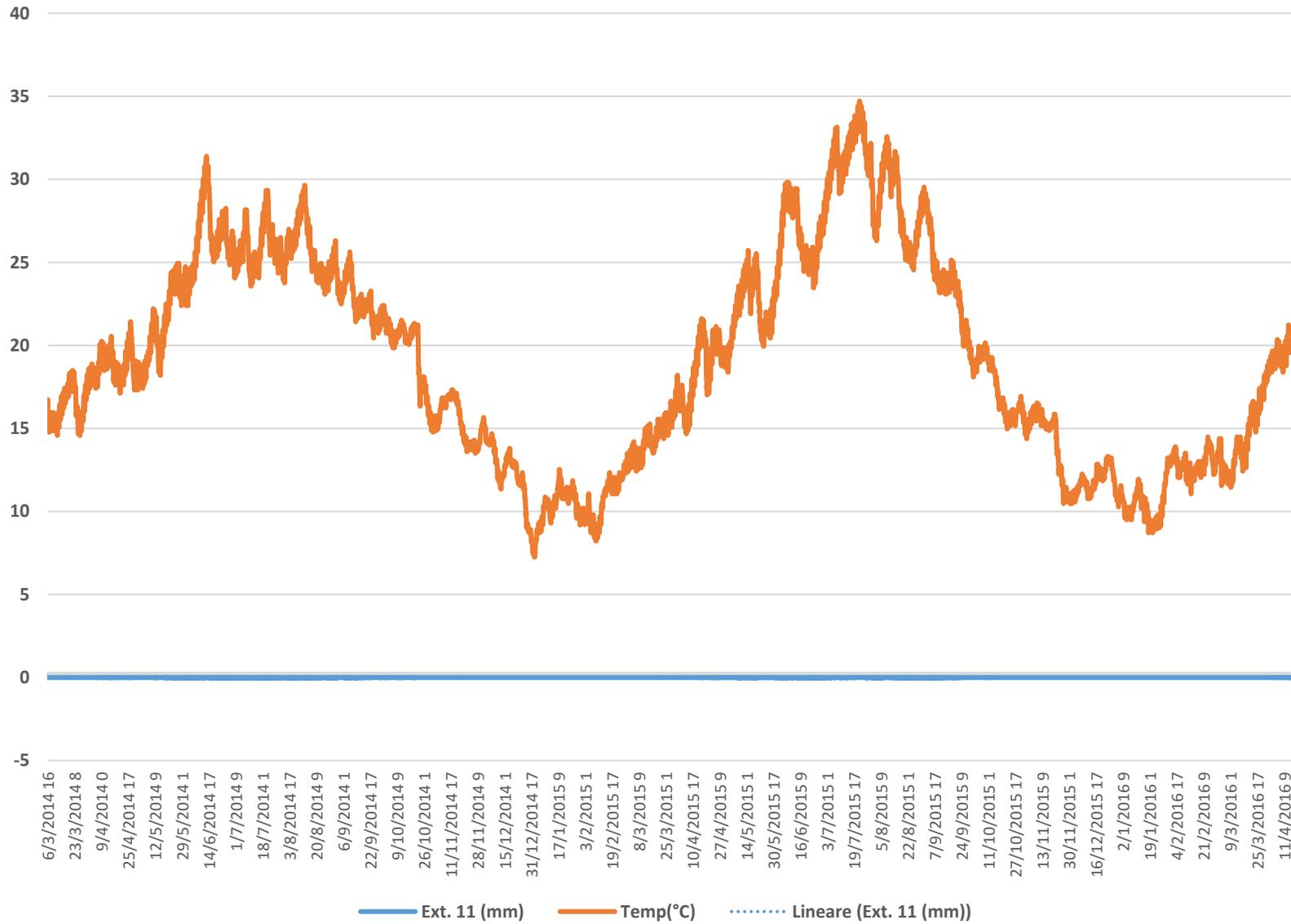
Criticità:

Struttura di copertura con possibili effetti spingenti

Volta in muratura senza incatenamenti – possibili effetti spingenti

# Palazzo Vescovile Fessurimetro B

## Osservazioni in mm e temperatura in °C



Periodo osservazioni

06/03/2014 – 04/12/2015 - 1 osservazione ogni ora

Numero osservazioni

15314

Variazioni di temperatura

Minimo +7,2°C

Massimo +34,7°C

Valori di deformazione

Minimo Ext 0,000mm

Massimo Ext 0,000mm

Linea di tendenza

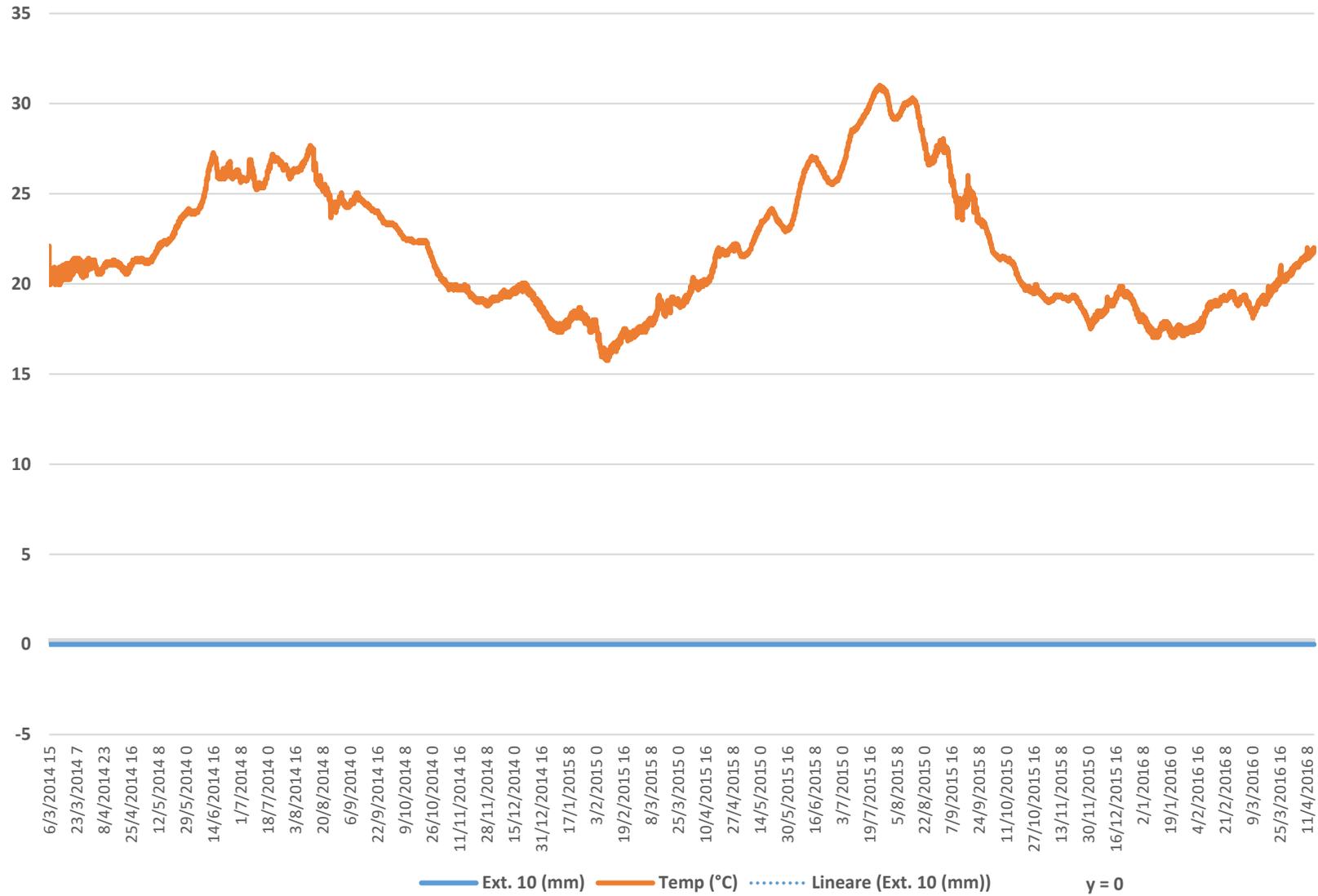
Interpolazione lineare dei punti

Equazione  $y = 2 \text{ E-}08x + 0,0002$

La deformazione dopo il periodo di osservazione è pari a 0,00037mm

# Palazzo Vescovile Fessurimetro C

## Osservazioni in mm e temperatura in °C



Periodo osservazioni

06/03/2014 – 04/12/2015 - 1 osservazione ogni ora

Numero osservazioni

15314

Variazioni di temperatura

Minimo +15,7°C

Massimo +30,9°C

Valori di deformazione

Minimo Ext 0,000mm

Massimo Ext 0,000mm

Nessuna variazione di rilievo

Per problematiche tecniche non si è stati in grado di rilevare i valori di deformazione di ordine inferiore al 1/10 di mm.

## Conclusioni

- Per tutte le tre posizioni monitorate le deformazioni risultano non significative le lesioni possono essere considerate stabili.
- Non sussiste l'urgenza di intervenire
- Le criticità che hanno determinato la genesi del quadro fessurativo potranno essere indagate in modo approfondito e si potrà organizzare un programma di interventi di consolidamento e miglioramento sismico secondo opportune tempistiche.

CONVEGNO SULLE METODOLOGIE INNOVATIVE PER LA  
CONSERVAZIONE PROGRAMMATA. Metodi e strumenti per la  
conservazione del patrimonio culturale

**MONITORAGGIO MICROCLIMATICO E STRUTTURALE**

# MUSEO DIOCESANO F. GONZAGA SEMINARIO VESCOVILE

A CURA DI

**ING. GIOVANNI GUALERZI**



IDEA STUDIO ASSOCIATO



DIOCESI DI MANTOVA - UFFICIO BENI CULTURALI ECCLESIASTICI

## MUSEO DIOCESANO - INDIVIDUAZIONE DELL'EDIFICIO



## INDIVIDUAZIONE FOTOGRAFICA DEL QUADRO FESSURATIVO



Lesioni sulle strutture verticali



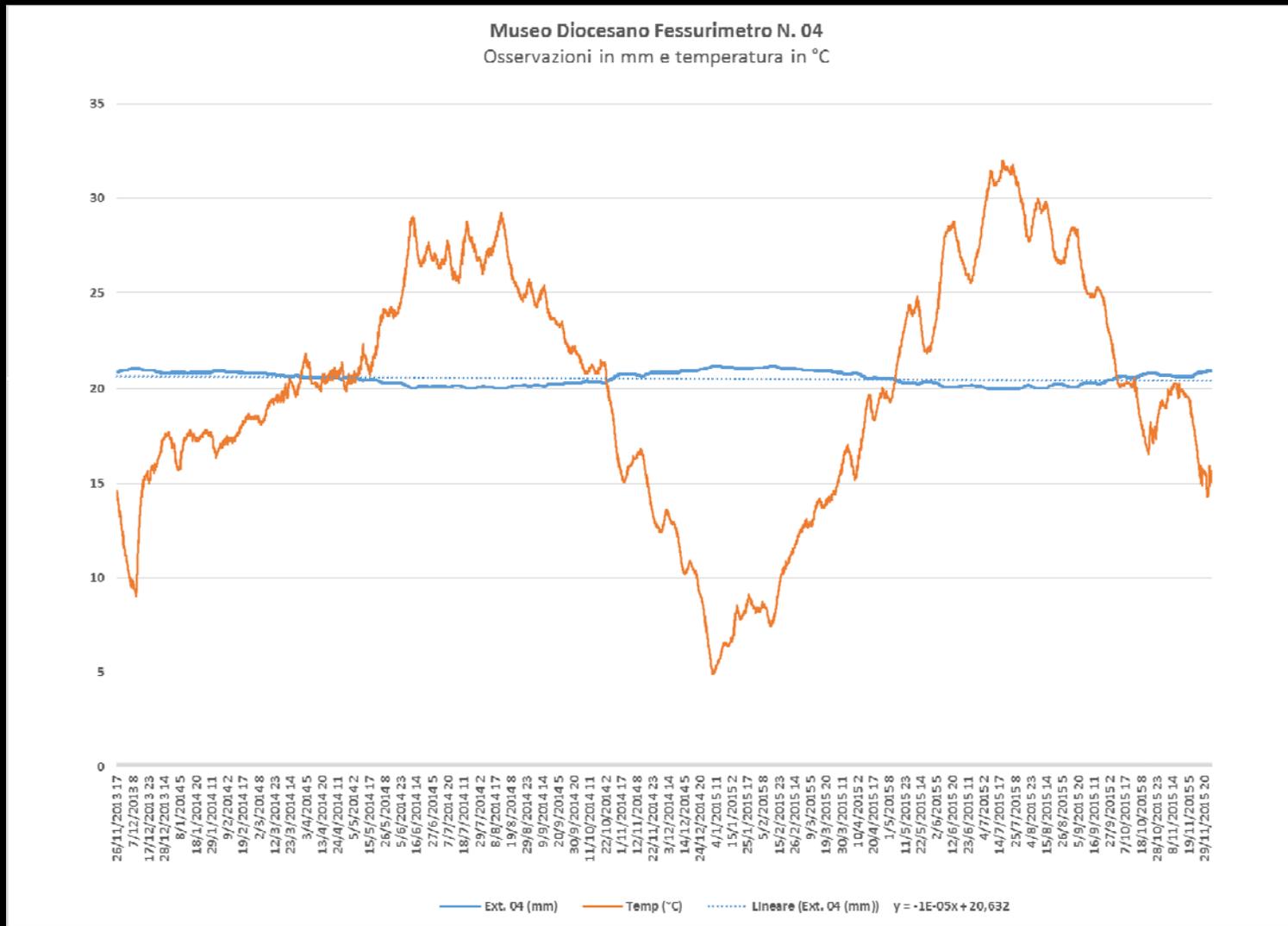
Lesioni nei solai



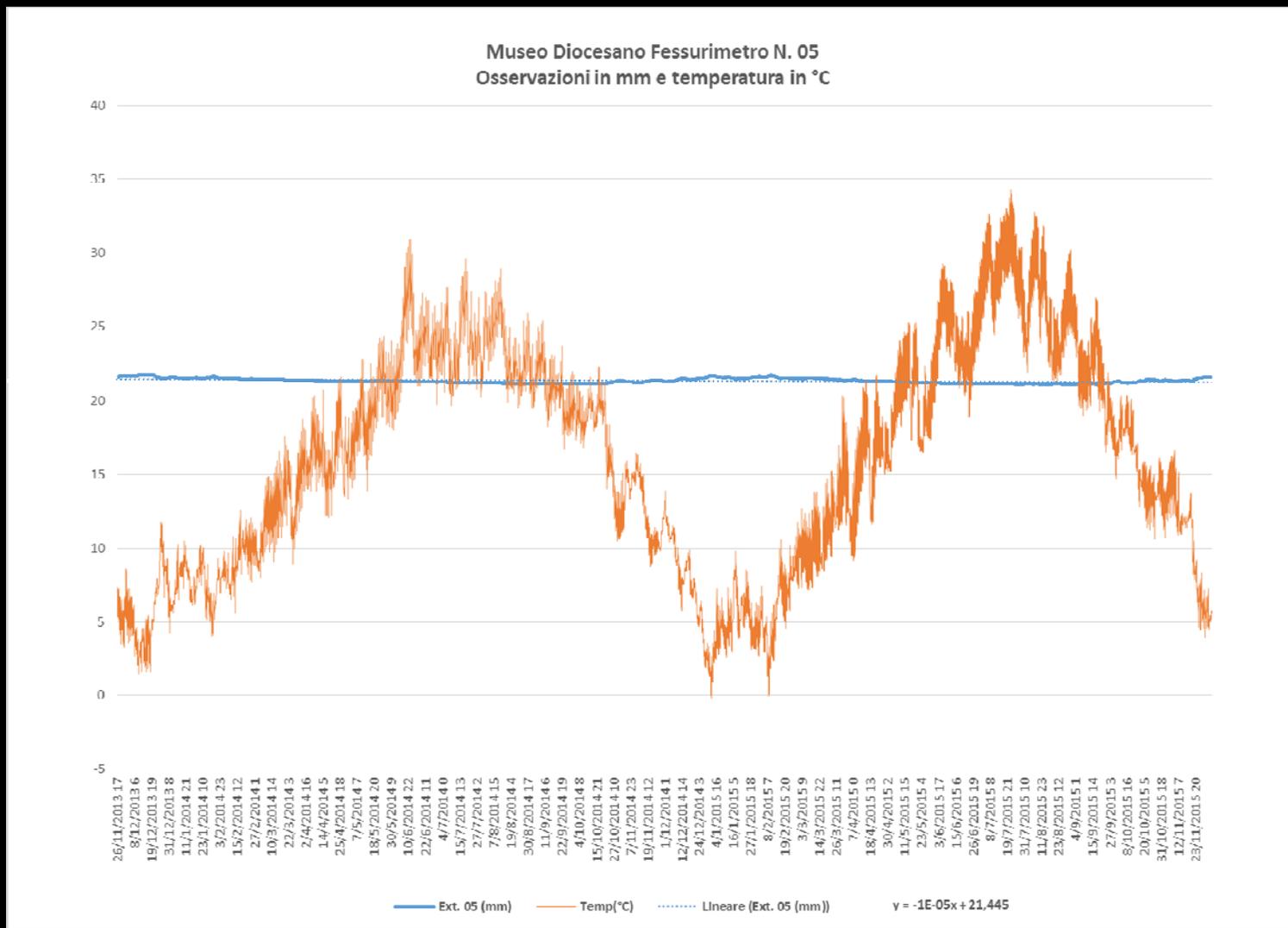
Lesioni nei solai



# ESEMPIO DI VARIAZIONE STAGIONALE SIGNIFICATIVA



# ESEMPIO DI VARIAZIONE STAGIONALE MINIMA



# SEMINARIO VESCOVILE - INDIVIDUAZIONE DELL'EDIFICIO



Il Seminario vescovile di Mantova. Fot. A. Premi.



## INDIVIDUAZIONE FOTOGRAFICA DEL QUADRO FESSURATIVO



Lesione piano secondo  
Vista generale



Lesione piano secondo  
Vista ravvicinata



Lesione piano secondo  
Particolare



## INDIVIDUAZIONE FOTOGRAFICA DEL QUADRO FESSURATIVO



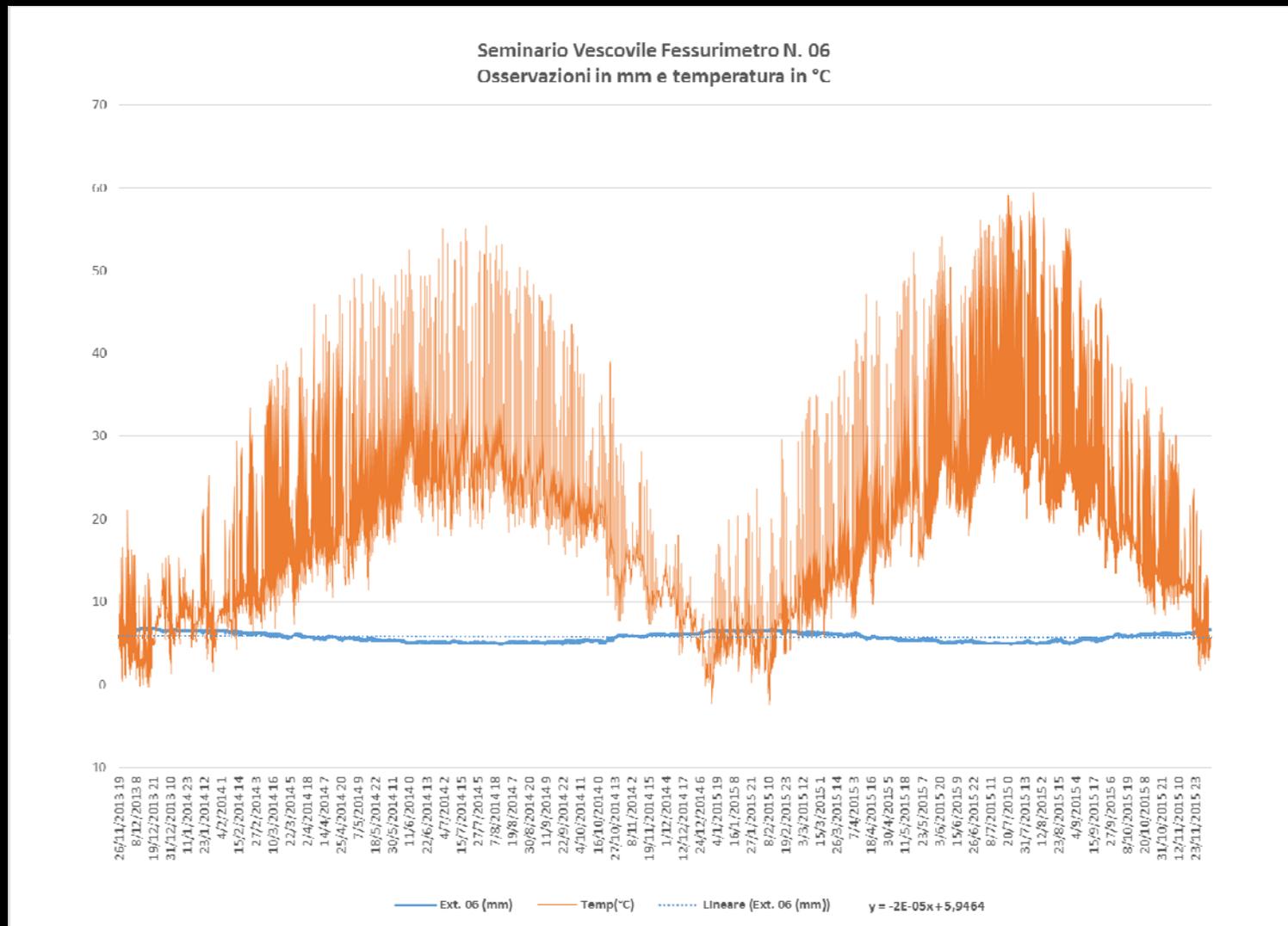
Lesione in facciata  
Piano secondo



Lesione in facciata  
Piano terzo



# ESEMPIO DI VARIAZIONE STAGIONALE SIGNIFICATIVA



# ESEMPIO DI VARIAZIONE STAGIONALE MINIMA

