

Il monitoraggio strumentale integrato del Sito Unesco di Modena (2003-2025) e il Comitato Alta Sorveglianza

Francesca Piccinini

Museo Civico di Modena

Coordinatrice del Sito Unesco di Modena dal 2005 al 2025

2003 - Primo sistema di monitoraggio del duomo e della Torre Ghirlandina

Progetto: Studio Dazzi, Reggio Emilia

Realizzazione: Agisco srl, Milano

Supervisione: Soprintendenza per i Beni Architettonici e il Paesaggio dell'Emilia

Finanziamento: Fondazione Cassa di risparmio di Modena

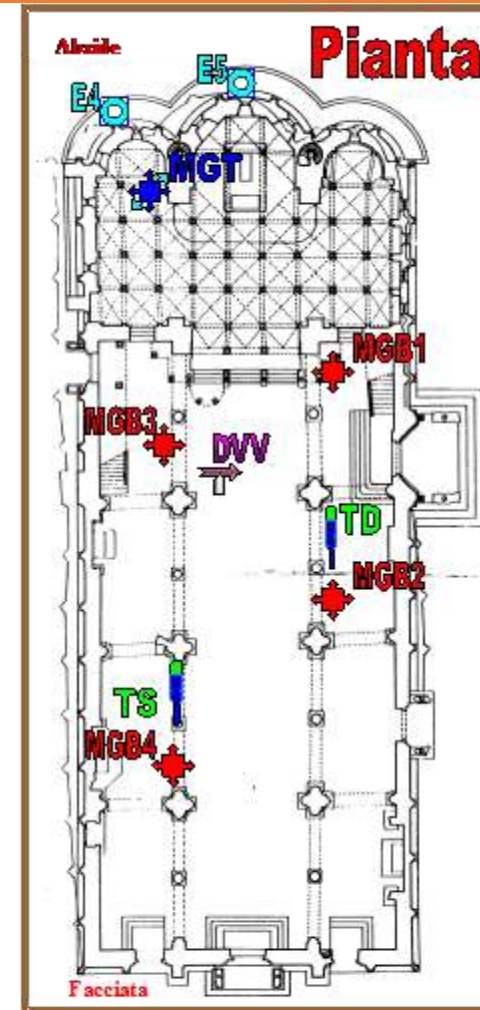
il patrocinio del Comune di Modena e la collaborazione dell'Arcidiocesi di Modena e Nonantola

A partire da quella data il sistema rileva i movimenti e le variazioni che si registrano nella struttura dei due monumenti riconosciuti dall'Unesco, la Cattedrale e la torre Ghirlandina, i movimenti e le variazioni che si verificano nelle strutture di entrambi, interessate da fenomeni di cedimento differenziale, dovuti alle caratteristiche del terreno e alla loro interconnessione.



Sistema automatico di controllo del Duomo di Modena e della Torre della Ghirlandina

STRUMENTI INSTALLATI NEL DUOMO DI MODENA



Legenda:



Misuratore di giunti biassiale



Misuratore di giunti triassiale



Estensimetro a base lunga



Goniometro

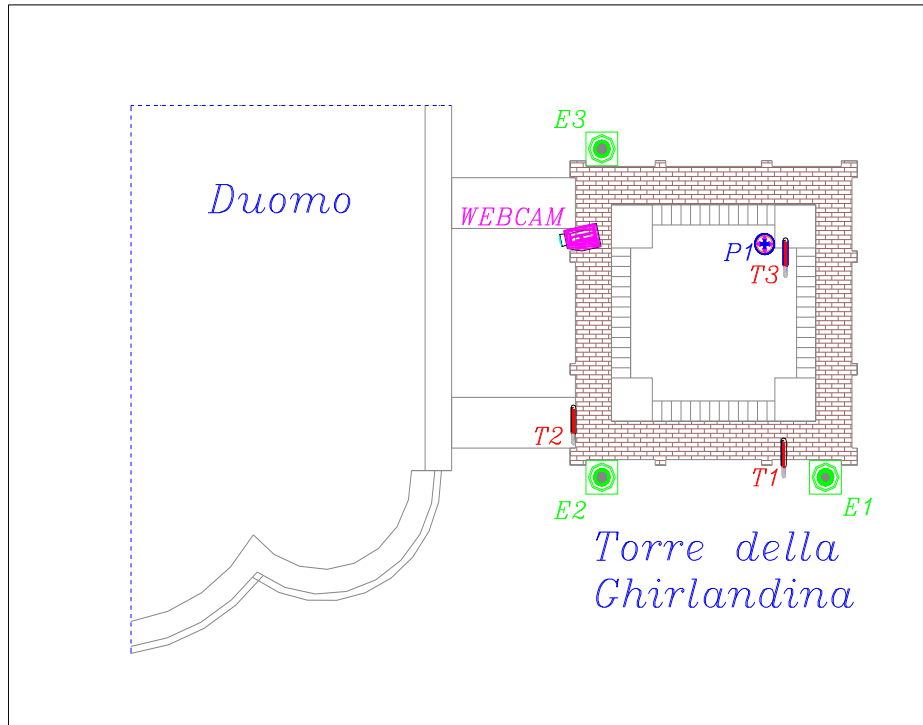


Sensore di temperatura

STRUMENTI INSTALLATI NELLA GHIRLANDINA

UBICAZIONE DELLA STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO NELLA TORRE DELLA GHIRLANDINA

Pianta




Legenda

 Estensimetro a base lunga

 Pendolo diritto

 WEBCAM

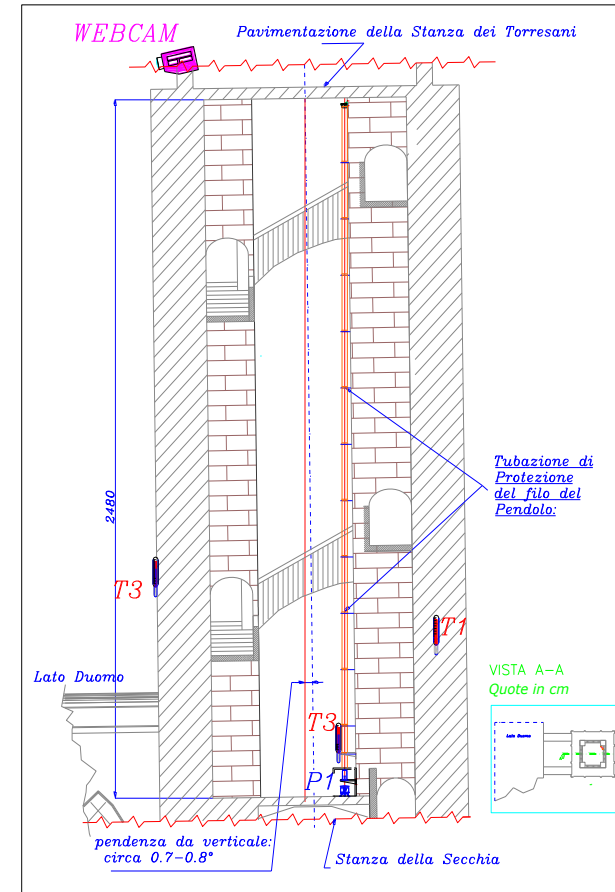
 Sensore di temperatura:

T1= lato SUD-EST

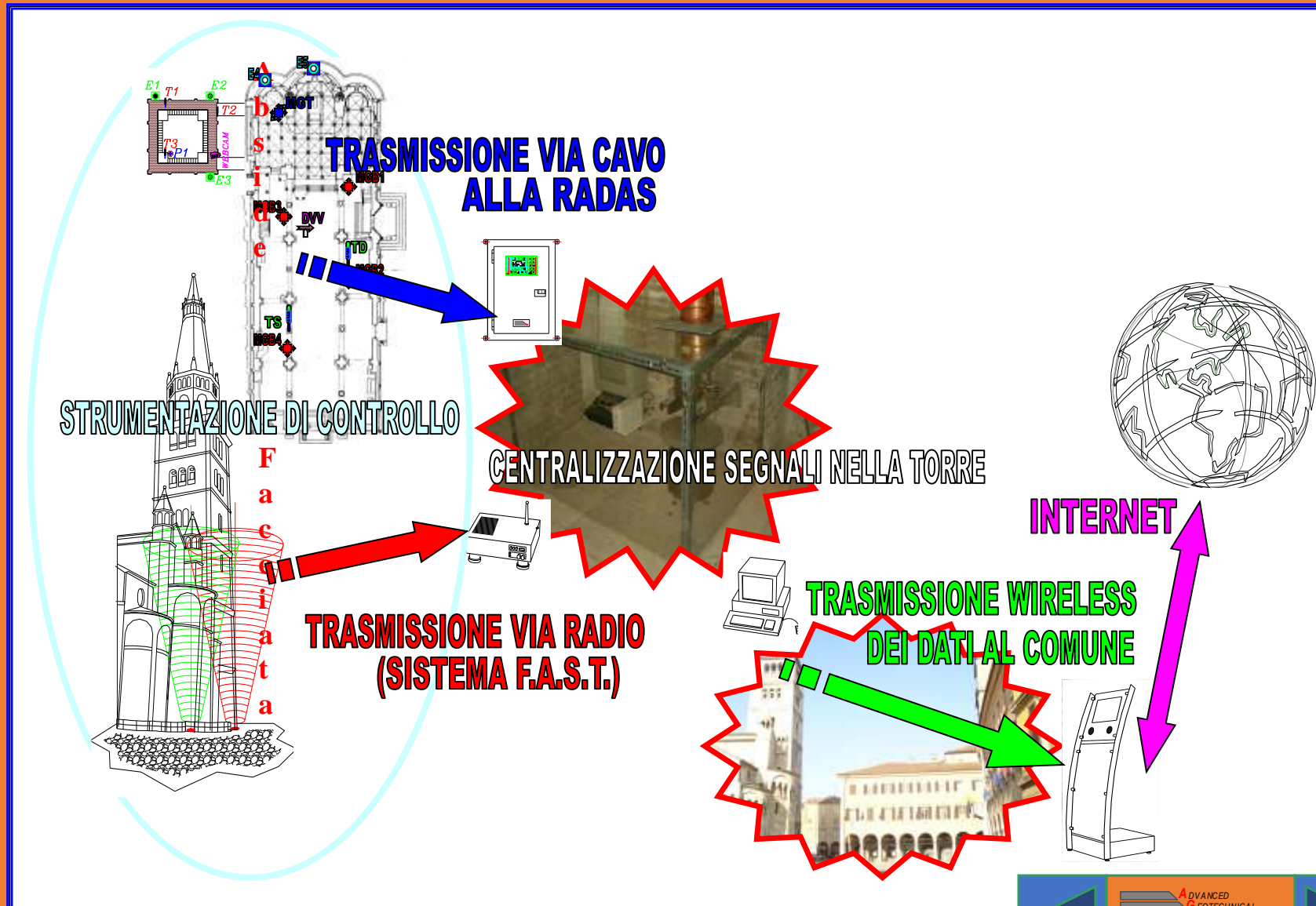
T2= lato SUD-OVEST

T3= Interno Torre

Alzato



ARCHITETTURA del SISTEMA AUTOMATICO DI CONTROLLO:



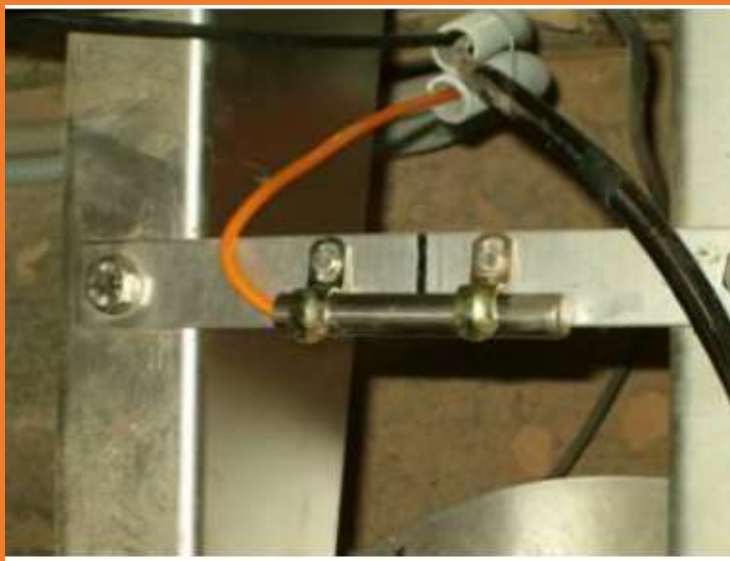


MISURATORI DI GIUNTI (cattedrale e torre)

Rilevazione continua dell'evoluzione dell'apertura di giunti o fessure: se biassiali misurano i movimenti su un piano, se triassiali misurano gli spostamenti ortogonali ad un piano

ESTENSIMETRI

Misurazione assoluta dei cedimenti delle fondazioni dei due monumenti la misura contemporanea di più punti consente di verificare l'esistenza di cedimenti differenziali e di quantificare le corrispondenti rotazioni dei due edifici



TERMOMETRI (cattedrale e torre)

Sonde di temperatura misurano le variazioni termiche cui sono soggette le strutture monitorate al fine di correlare l'andamento termico della struttura con le altre misure acquisite per valutare l'incidenza di tale fattore sulle modifiche strutturali.

PENDOLO (torre)

Basato sul principio del filo a piombo, controlla la stabilità di un edificio. Ha un ancoraggio superiore al piano dei Torresani, da un filo a piombo dotato di telecoordinometro che permette di effettuare la misurazione automatica della posizione e da un ancoraggio inferiore collocato alla base del "pozzo" della torre.

Misura le variazioni di inclinazione della torre sia periodiche che permanenti, con una sensibilità al centesimo di millimetro



2007 – 2013

Grazie al progetto *Attuazione e verifiche del Piano di gestione 2008/2009* (finanziamento Legge 77/2006, e.f. 2007) sono stati realizzati:

- 1) **Indagine diagnostica delle murature e dei matronei del Duomo**, grazie a convenzione di ricerca tra Basilica Metropolitana e DICAM Università di Bologna, con indagini non invasive basate su tecnologie ultrasuoni e georadar
- 2) **Monitoraggio dei movimenti verticali e dei collegamenti altimetrici Duomo – Torre**, grazie a convenzione di ricerca stipulata con DIMEC (ora DIEF) Università di Modena e Reggio Emilia finalizzato a controllare e monitorare le deformazioni strutturali e i movimenti verticali passati e presenti, con recupero dei dati storici e valutazione dei cedimenti differenziali registrati e della tendenza a ruotare in direzione nord-est della torre
- 3) **Aggiornamento e implementazione dell'originario sistema di monitoraggio strumentale Duomo- Torre** da parte della ditta Agisco, con fornitura e posa in opera di due misuratori di giunti biassiali, di due pendoli biassiali e di un'unità aggiuntiva di acquisizione dei dati, di estensimetri e di piezometri esterni



2007-2013

Monitoraggio dei movimenti verticali e dei collegamenti altimetrici Duomo-Torre.

A sinistra

Esecuzione della livellazione geometrica di elevata precisione all'interno del Duomo (strumento Leica DNA03 con stadia Invar).

A destra

Esecuzione del rilievo tridimensionale del Duomo di Modena mediante laser scanner (modello Leica ScanStation 2).



2010

Lavori di installazione di nuovi strumenti all'esterno della Ghirlandina a cura della ditta Agisco



DEFORMOMETRI

misurano lo spostamento relativo tra due punti fissi consentendo di quantificare la deformazione media in base ad una misura prestabilita

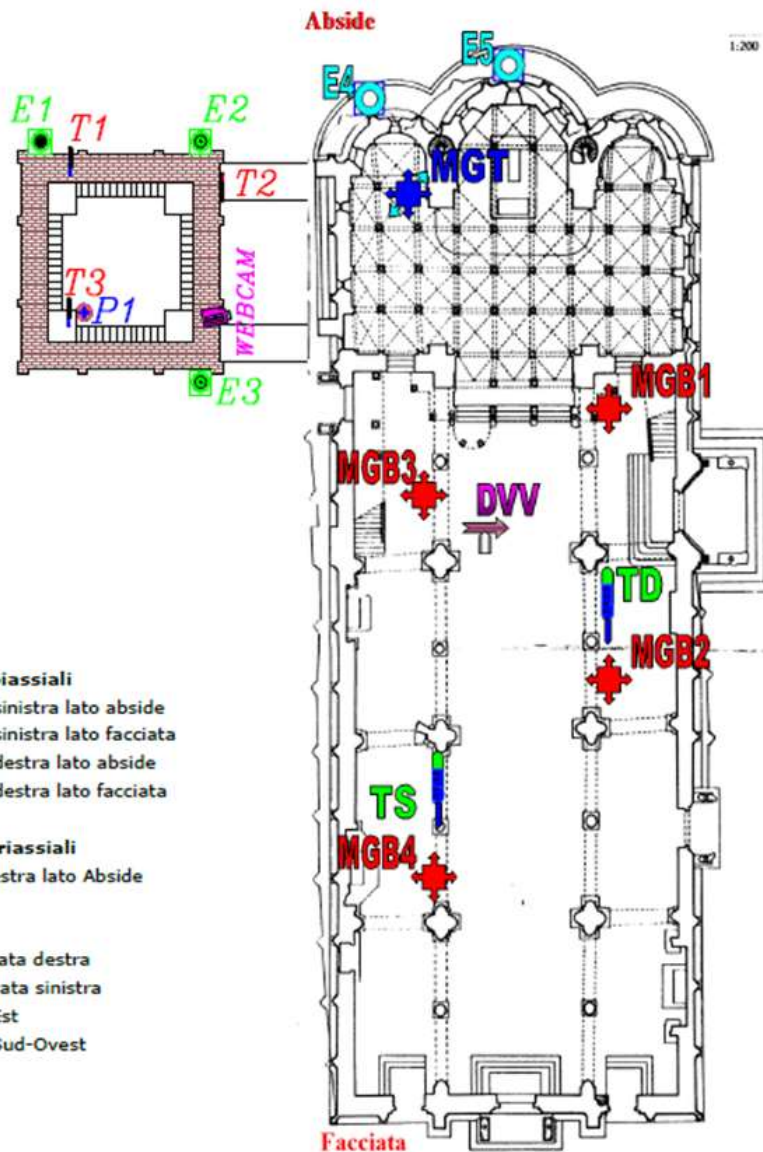


PIEZOMETRI

misurano il livello della falda sotterranea e le sue variazioni

UBICAZIONE DEI SENSORI DI RILEVAMENTO

2003



LEGENDA

Estensimetri

- E1 Torre lato Sud
- E2 Torre lato Sud
- E3 Torre lato Nord
- E4 Duomo Abside
- E5 Duomo Abside

Misuratori di giunti biassiali

- MGB1 Duomo navata sinistra lato abside
- MGB2 Duomo navata sinistra lato facciata
- MGB3 Duomo navata destra lato abside
- MGB4 Duomo navata destra lato facciata

Misuratori di giunti triassiali

- MGT Duomo navata destra lato Abside

Termometri

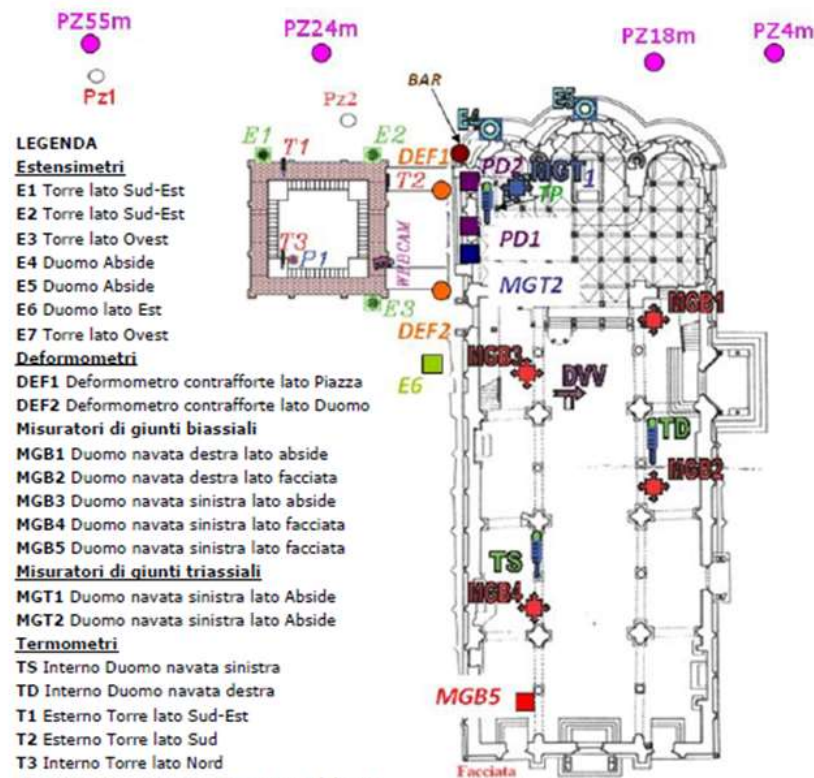
- TS Interno Duomo navata destra
- TD Interno Duomo navata sinistra
- T1 Esterno Torre lato Est
- T2 Esterno Torre lato Sud-Ovest
- T3 Interno Torre

P1 Pendolo

DVV Gonioanemometro posto sul tetto del Duomo

2011

2. La strumentazione installata



LEGENDA

Estensimetri

- E1 Torre lato Sud-Est
- E2 Torre lato Sud-Est
- E3 Torre lato Ovest
- E4 Duomo Abside
- E5 Duomo Abside
- E6 Duomo lato Est
- E7 Torre lato Ovest

Deformometri

- DEF1 Deformometro contrafforte lato Piazza
- DEF2 Deformometro contrafforte lato Duomo

Misuratori di giunti biassiali

- MGB1 Duomo navata destra lato abside
- MGB2 Duomo navata destra lato facciata
- MGB3 Duomo navata sinistra lato abside
- MGB4 Duomo navata sinistra lato facciata
- MGB5 Duomo navata sinistra lato facciata

Misuratori di giunti triassiali

- MGT1 Duomo navata sinistra lato Abside
- MGT2 Duomo navata sinistra lato Abside

Termometri

- TS Interno Duomo navata sinistra
- TD Interno Duomo navata destra

T1 Esterno Torre lato Sud-Est

T2 Esterno Torre lato Sud

T3 Interno Torre lato Nord

TP Interno Duomo navata sinistra pendolo PD1

Pendoli

P1 Pendolo

PD1 Pendolo navata sinistra - lato sinistro organo

PD2 Pendolo navata sinistra - lato destro organo

Piezometri

PZ1 Piezometro Torre lato Nord

PZ2 Piezometro Torre lato Sud-Est

PZ4m Piezometro Duomo lato Abside (a.k.a. PZ1B per lo Studio Silvestri)

PZ18m Piezometro Duomo lato Abside (a.k.a. PZ2B per lo Studio Silvestri)

PZ24m Piezometro Torre lato Est (a.k.a. PZ3B per lo Studio Silvestri)

PZ55m Piezometro Torre lato Est (a.k.a. PZ4B per lo Studio Silvestri)

Altra strumentazione

DVV Gonioanemometro posto sul tetto del Duomo BAR Barometro

SISMA MAGGIO 2012

L'UNESCO ha inviato una **missione tecnica urgente tra il 7 e l'8 giugno 2012** per valutare i danni ai siti del Patrimonio Mondiale.

Il relativo rapporto è stato discusso e presentato

durante la 36ª sessione del Comitato del Patrimonio Mondiale, tenutasi a San Pietroburgo proprio tra la fine di giugno e l'inizio di luglio 2012.

Dettagli della Missione e del Report

Obiettivo: Valutare lo stato dei siti UNESCO danneggiati, analizzare i rischi residui legati alla sequenza sismica e raccogliere informazioni sulle strategie di messa in sicurezza adottate dalle autorità italiane.

- Esperti coinvolti: La delegazione era composta da Giovanni Boccardi (World Heritage Centre), dal Professor Daniele Pini (Università di Ferrara) e dal Professor Claudio Margottini (ISPRA).
- Siti visitati: Modena: Cattedrale, Torre Civica (Ghirlandina) e Piazza Grande; Ferrara. Città del Rinascimento e il suo Delta del Po; Mantova e Sabbioneta.

Principali Risultanze del Report

Il documento evidenziava una situazione critica ma gestita con prontezza:

- **Danni ai monumenti:** Sono stati rilevati distacchi di intonaci, fessurazioni (spesso riaperture di lesioni storiche precedenti) e rischi per elementi architettonici sommitali come torrette e tegole.
- **Misure d'emergenza:** Il report lodava lo sforzo delle autorità locali e nazionali (Protezione Civile e MiBAC) nel monitorare costantemente le strutture e nel procedere a interventi di consolidamento provvisorio per evitare ulteriori crolli.
- **Raccomandazioni:** l'UNESCO suggeriva un approccio integrato tra sicurezza strutturale e conservazione storica, evitando ricostruzioni che potessero alterare il valore universale dei siti.

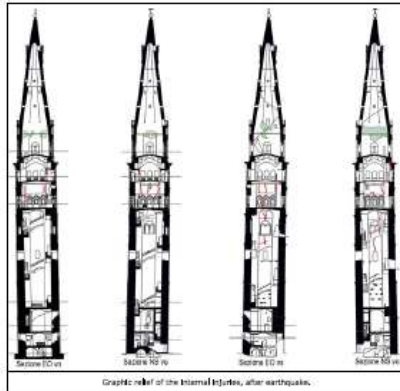


Comune di Modena

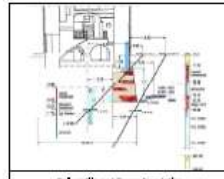
Effects of the Earthquake on the **GHIRLANDINA TOWER**



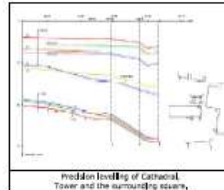
Structural improvement measures, carried out with the restoration.



Graphic model of the internal injuries, after earthquake.

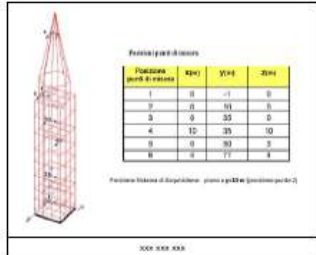


Soil profile and Tower foundation.

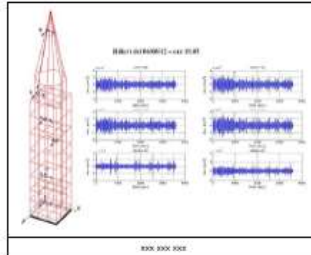


Median leveling of Cathedral Tower and the surrounding square.

An example of injuries on a sculpture.



XXX XXX XXX

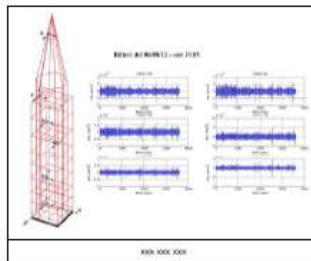


XXX XXX XXX

Caratteristiche Tecniche Capirella

Descrizione	Quantità	Valore
Superficie coperta	10	10000 m ²
Volume coperto	10	10000 m ³
Superficie scoperta	10	10000 m ²
Volume scoperto	10	10000 m ³
Superficie totale	10	10000 m ²
Volume totale	10	10000 m ³
Superficie media	10	10000 m ²
Volume medio	10	10000 m ³
Superficie per mq	10	10000 m ²
Volume per mq	10	10000 m ³
Superficie per m ³	10	10000 m ²
Volume per m ³	10	10000 m ³

XXX XXX XXX

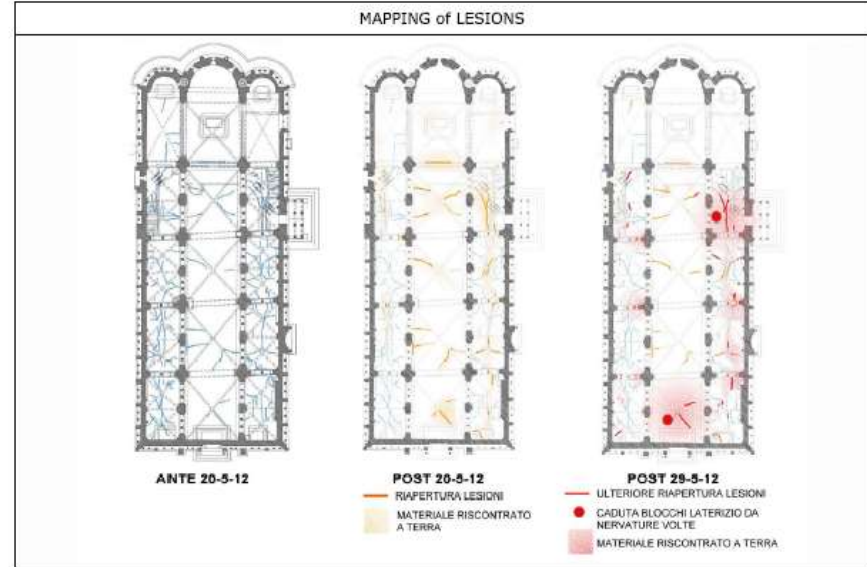


XXX XXX XXX



CAPITULUM METROPOLITANUM MUTINENSE

Effects of the Earthquake on the **CATHEDRAL**



After the earthquake of May 20, 2012



Interventions after the earthquake of May 26, 2012



After the earthquake of May 29, 2012 before Interventions



After the earthquake of May 29, 2012



Interventions after the earthquake of May 29, 2012



After the earthquake of May 29, 2012 after Interventions

In seguito al sisma del 2012 gli organi di gestione del Sito – Comitato di Pilotaggio e Comitato Tecnico , rilevati puntualmente i danni, si sono impegnati a intervenire nel recependo le indicazioni fornite dal report della missione Unesco

2013-2018

Grazie al progetto ***Programma di interventi per il monitoraggio statico e dinamico del complesso Duomo – Torre e la protezione antisismica*** (finanziamento Legge 77/2006, e.f. 2013) sono stati realizzati:

1) Il nuovo **Monitoraggio dinamico del Duomo e della Torre Ghirlandina** ad opera del **Politecnico di Torino e dell'Università di Nagoya City University (Giappone)** grazie ad un accordo con la Basilica Metropolitana

- Il sistema di monitoraggio dinamico sulla Torre Ghirlandina è stato installato nel mese di luglio del 2012 e consiste nella misura delle accelerazioni in 6 punti con 12 accelerometri e 4 termocoppie per la misura della temperatura

- Il sistema di monitoraggio dinamico sul Duomo è stato installato nel mese di giugno del 2015 e consiste nella misura delle accelerazioni in 12 punti con 16 accelerometri e 4 termocoppie per la misura della temperatura

2) **Analisi dei danni indotti da antichi eventi sismici** sul Sito Unesco di Modena ad opera del **Dipartimento di Scienze chimiche e geologiche dell'Università di Modena**, grazie ad un accordo con la Basilica Metropolitana

Lo stesso progetto ha consentito di finanziare una nuova fase del

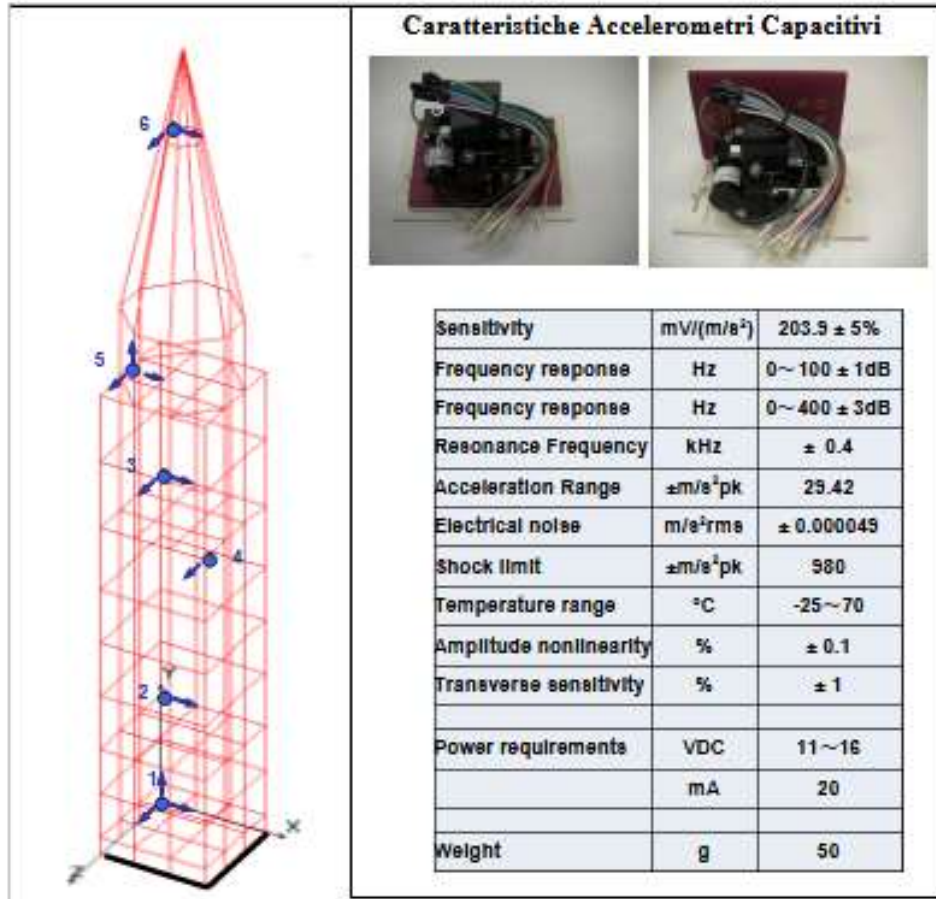
3) **Monitoraggio dei movimenti verticali e dei collegamenti altimetrici Duomo – Torre**, grazie a convenzione di ricerca stipulata con **DIEF (già DIMEC) Università di Modena**



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento
di Ingegneria Strutturale,
Edile e Geotecnica

POSIZIONAMENTO E CARATTERISTICHE DEGLI ACCELEROMETRI



2012

Grazie ad un accordo tra Comune di Modena (arch. Rossella Cadignani) , Dipartimento di Ingegneria Strutturale Edile e Geotecnica (DISEG) del Politecnico di Torino, (proff. Ingg. Donato Sabia e Renato Lancellotta) e Università di Nagoya City (prof. arch. Takayoshi Aoki) l'Università di Nagoya e il DISEG del Politecnico di Torino

nel luglio 2012

sono stati installati in Ghirlandina gli

ACCELEROMETRI

per il rilevamento della risposta della Torre in presenza di azioni ambientali e in particolare di azioni sismiche



**POLITECNICO
DI TORINO**
Dipartimento
di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica

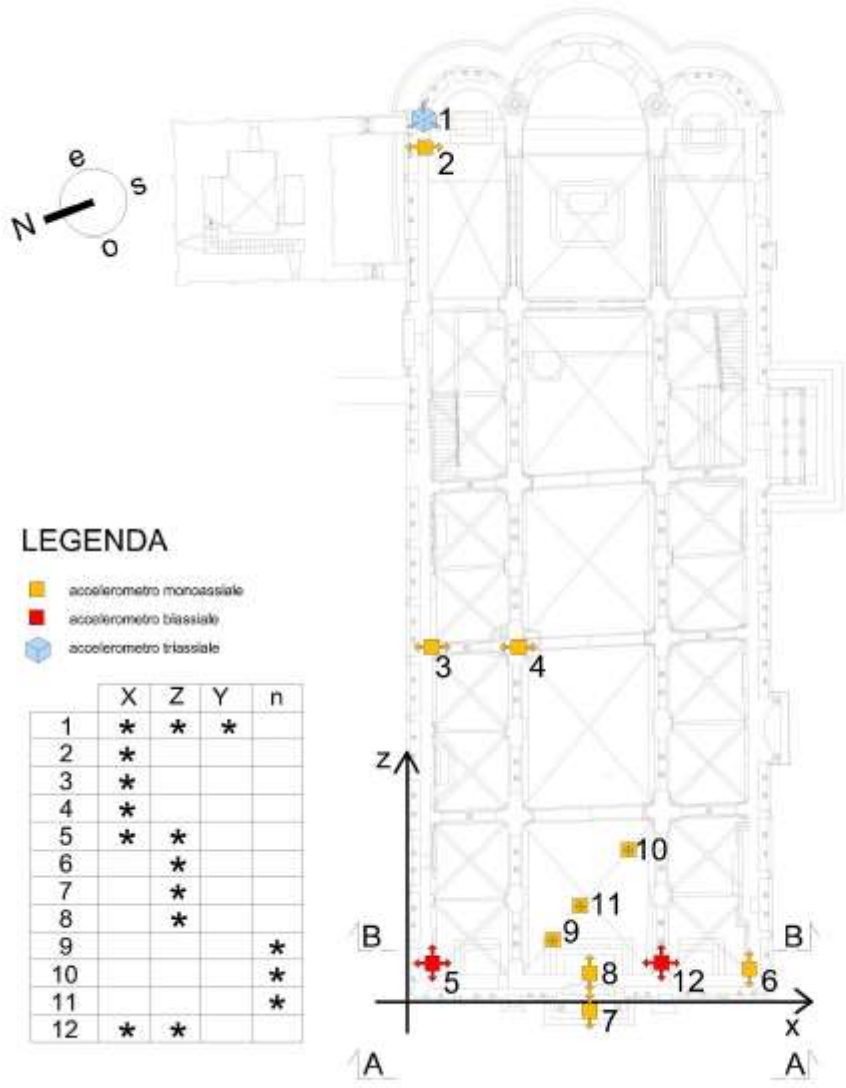
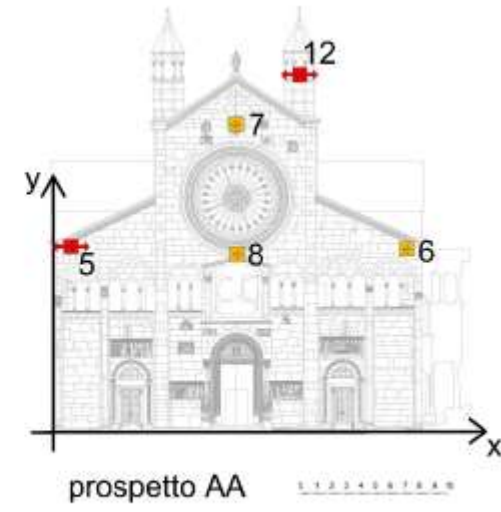
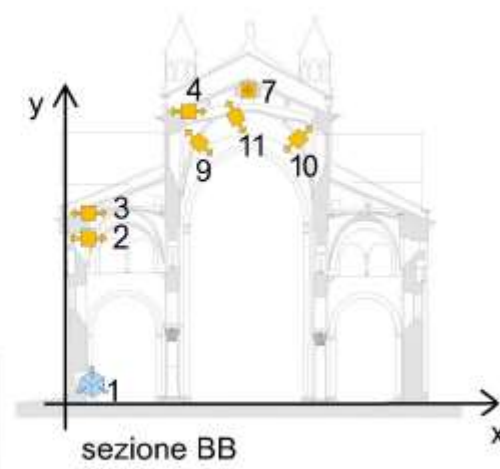


Figura 1: Pianta, Prospetto e Sezione del Duomo con indicazione della posizione dei punti di monitoraggio

Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica
Politecnico di Torino - Corso Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino - Italia
tel. +39 011 090 4826 fax: +39 011 090 4899
dovato.stalia@polito.it www.dseg.polito.it www.polito.it

2015

Grazie ad un accordo tra Basilica Metropolitana, DISEG Torine Università di Nagoya è stata installata in Duomo una articolato sistema di

ACCELEROMETRI
Monoassiali
Biassiali
Triassiali

Provvisi di un
Adeguato sistema di
acquisizione dei dati

PIANO DI GESTIONE . AGGIORNAMENTO 2018 / 2020

Prevedeva tra i suoi obiettivi, nell'ambito **2. Ricerca e condivisione della conoscenza**

La creazione di un **Sistema di monitoraggio strumentale integrato**

Le differenti tipologie di monitoraggio sono state integrate in un sistema unitario che comprende:

- 1) monitoraggio statico (in essere dal 2003)
- 2) monitoraggio dei movimenti verticali e dei collegamenti altimetrici (avviato nel 2011)
- 3) monitoraggio dinamico (realizzato tra 2012 e 2015)

La creazione di un **Archivio informatizzato di lavoro**




OBIETTIVI

Perché un archivio informatizzato

LO SCOPO DELL'ARCHIVIO

Il Piano di Gestione 2018-2020 del Sito Patrimonio Mondiale di Modena prevede fra i suoi obiettivi la realizzazione di un archivio accessibile online, da cui siano **consultabili i materiali relativi alla tutela del Sito**.

Lo scopo del progetto è **raccogliere, organizzare e condividere** il patrimonio di dati prodotti da enti, studiosi e tecnici coinvolti nella gestione e nella manutenzione ordinaria e straordinaria del complesso monumentale.




DOCUMENTI

Quali documenti contiene

CONDIVISIONE DI ESPERIENZE E CONTENUTI

Nell'archivio si possono trovare documenti riferibili a ricerche scientifiche, relazioni tecniche, rilievi laser scanner, modelli 3D, planimetrie, sezioni, foto, report di monitoraggio strumentale.

Il materiale, collegato in gran parte ai **restauri che hanno interessato il Duomo e la Ghirlandina**, è stato raccolto e indicizzato, per permettere la consultazione in un'ottica di condivisione delle esperienze.



REGOLAMENTO

Chi può accedere

A CHI E' PERMESSO L'ACCESSO

Le informazioni sono accessibili non solo al **personale** che gestisce e cura il complesso Patrimonio Mondiale dell'Umanità, ma anche agli **studiosi** che ne fanno richiesta.

REGOLAMENTO

Questi possono consultare una serie di dati attraverso l'utilizzo di credenziali temporanee, nel rispetto del **Regolamento** per il loro utilizzo.



OBIETTIVI

DOCUMENTI

REGOLAMENTO

ACCESSO

... ALTRO

PIANO DI GESTIONE . AGGIORNAMENTO 2018 / 2020

Prevedeva inoltre, per lo stesso ambito 2. Ricerca e condivisione della conoscenza la creazione del **Comitato per l'alta sorveglianza scientifica del Sito**

Istituito formalmente nel 2018 ha l'obiettivo di garantire l'alta sorveglianza scientifica del complesso monumentale e riunisce gli esperti dei due distinti comitati scientifici che hanno orientato e guidato le scelte effettuate in occasione delle più recenti campagne di restauro del duomo (2006-2014) e della torre (2007-2011).

Ne fanno parte esperti provenienti da diverse università:

Università di Modena e Reggio Emilia (Dipartimento di Ingegneria e Dipartimento di Scienze chimiche e geologiche)

Università di Bologna (Dipartimento di Ingegneria civile, chimica ambientale e dei materiali)

Politecnico di Torino (Dipartimento di Ingegneria strutturale edile e geotecnica)

Rappresentanti e tecnici del Comune e del Capitolo Metropolitano.

Ha il compito di interpretare i dati forniti dai piani di manutenzione dei restauri e dal monitoraggio strumentale integrato dei monumenti, di definire gli studi e le ulteriori indagini da compiere, per poi eventualmente proporre e progettare nuovi interventi conservativi che ritiene necessari.

PIANO DI GESTIONE . AGGIORNAMENTO 2018 / 2020

Prevedeva tra i suoi obiettivi, **nell'ambito 3. Tutela e conservazione del patrimonio storico-artistico**

Interventi di riparazione e rafforzamento post-sisma 2012 del Duomo

- realizzati con fondi sisma regionali tra 2018 e 2019

Riqualificazione e rafforzamento antisismico della Torre Ghirlandina

- realizzato il nuovo impianto di illuminazione interna e gli infissi della Sala dei Torresani (risorse del Comune e fondi L 77/06)
- in sospenso l'intervento di consolidamento antisismico con fondi regionali progettato dal Comune di Modenain con la consulenza del Dipartimento di Ingegneria civile e dei materiali dell'Università di Bologna (Prof. Tomaso Trobetti e Prof. Angelo Di Tommaso)

I più recenti sviluppi del sistema di monitoraggio strumentale integrato

2018-2021

Interruzione del rilevamento dati curato fino ad allora da AGISCO a causa di problemi amministrativi legati al rinnovo dell'incarico da parte del Comune.

Ricevuto un nuovo incarico triennale la ditta tra 2021 e 2022 ha condotto interventi di ripristino della strumentazione e di aggiornamento della funzionalità del sistema con adozione di un nuovo sistema di trasmissione wireless, aggiornato nuovamente anche di recente.

2022-2024

Con il rinnovo contrattuale 2022-2024 ad Agisco è stata **avviata la gestione unitaria delle attività di monitoraggio**, dal 2023 registrate e archiviate contemporaneamente **sul server del Comune di Modena** e su quello della ditta incaricata, nelle sue tre componenti:

monitoraggio statico (fino ad allora gestito direttamente da Agisco)

monitoraggio dinamico (fino ad allora gestito dal Politecnico di Torino)

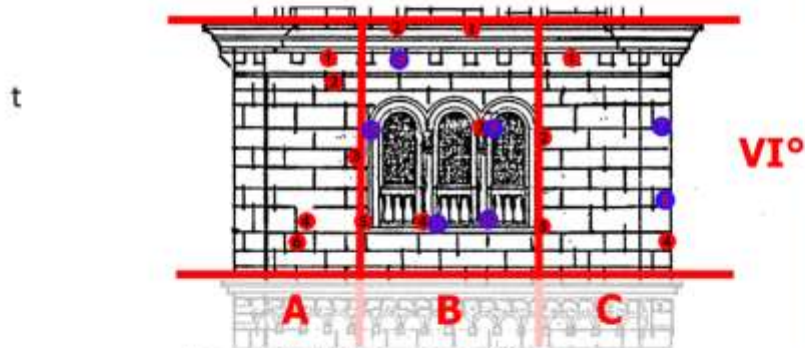
livellazione di precisione (fino ad allora affidata al DIEF dell'Università di Modena e Reggio Emilia)

Un cenno agli altri tipi di monitoraggio per concludere evidenziando la cura di cui il Sito è oggetto

2002 e 2006 Monitoraggio visivo con tecnica alpinistica del paramento lapideo della Ghirlandina

Monitoraggio materiale lapideo

Monitoraggio diretto eseguito con tecnica alpinistica, mappatura e rimozione dei frammenti pericolanti



Esempio: lato Nord – piano VI°

● Rilievo 2002

● Rilievo 2006



TORRE DELLA GHIRLANDINA

Modena

2010



Interventi sulle superfici
Programma di Manutenzione

INTRODUZIONE

2024

Nell'ambito del piano di monitoraggio programmato che interessa i rivestimenti e gli elementi architettonici della Torre della Ghirlandina, su incarico del Comune di Modena, in data 15 ottobre 2024 si è provveduto all'esecuzione di un'ulteriore fase di monitoraggio per verificare -a distanza di quasi sette anni dalla precedente valutazione- lo stato di conservazione degli elementi architettonici, dei protettivi applicati e l'eventuale evoluzione di processi di degrado.

Nella fattispecie, così come previsto dal piano di monitoraggio programmato, si è proceduto alla verifica dei seguenti aspetti fisico morfologici, funzionali alla valutazione della durabilità degli interventi di restauro effettuati:

- *funzionalità e compatibilità dei protettivi superficiali* applicati sui rivestimenti e balaustre esterne, mediante valutazioni sinergiche dell'aspetto cromatico, dell'assorbimento d'acqua a bassa pressione e dell'idrorepellenza;
- *valutazione complessiva dello stato conservativo superficiale* degli elementi lapidei mediante osservazioni dirette;
- *stato coesivo e della continuità materica degli elementi lapidei* di rivestimento e delle balaustre (cimase, balaustrini, elementi ornamentali sferici) mediante rilievi ultrasonici;
- *valutazione del contenuto igrometrico e dello stato conservativo superficiale degli intonaci* di rivestimento applicati nella cuspide.

Tutte le aree sottoposte a controllo sono indicate nella tabella sottostante, suddivise per localizzazione nella torre e tipologia di indagine condotta.

ELEMENTO	DETERMINAZIONE ANALITICA	Riferimento AREE
Balastra superiore	Colorimetria	C1, C2, C3
	Angolo di contatto	AC1, AC2
	Rilievo ultrasonico	elemento angolare
Balastra inferiore	Colorimetria	C4, C5, C6, C7, C8, C9
	Assorb. d'acqua a bassa pressione	P3, P4
	Angolo di contatto	AC3, AC4
	Rilievo ultrasonico	n° 6 balaustrini e n° 1 cimasa
Rivestimenti esterni alla cella campanaria	Colorimetria	C10
	Assorb. d'acqua a bassa pressione	P5
Rivestimenti prospetto est a quota calpestio	Colorimetria	C13
	Assorb. d'acqua a bassa pressione	P10
	Rilievo ultrasonico	concio in rosso di Verona e in trachite
Vano cuspide	Misure capacitive dell'umidità	UM1, UM2



Monitoraggio dei
recenti restauri
della torre

2010 e 2024

A cura di Arcadia
Ricerche srl

Con risorse
L.77/06 ,ef 2024,
In fase di avvio il
monitoraggio
congiunto dei
recenti restauri
sia della torre che
del Duomo