



# INTERVENTO DI RIPRISTINO E MIGLIORAMENTO STRUTTURALE DEL CAMPANILE DI CIVIDALE MANTOVANO

# INQUADRAMENTO TERRITORIALE



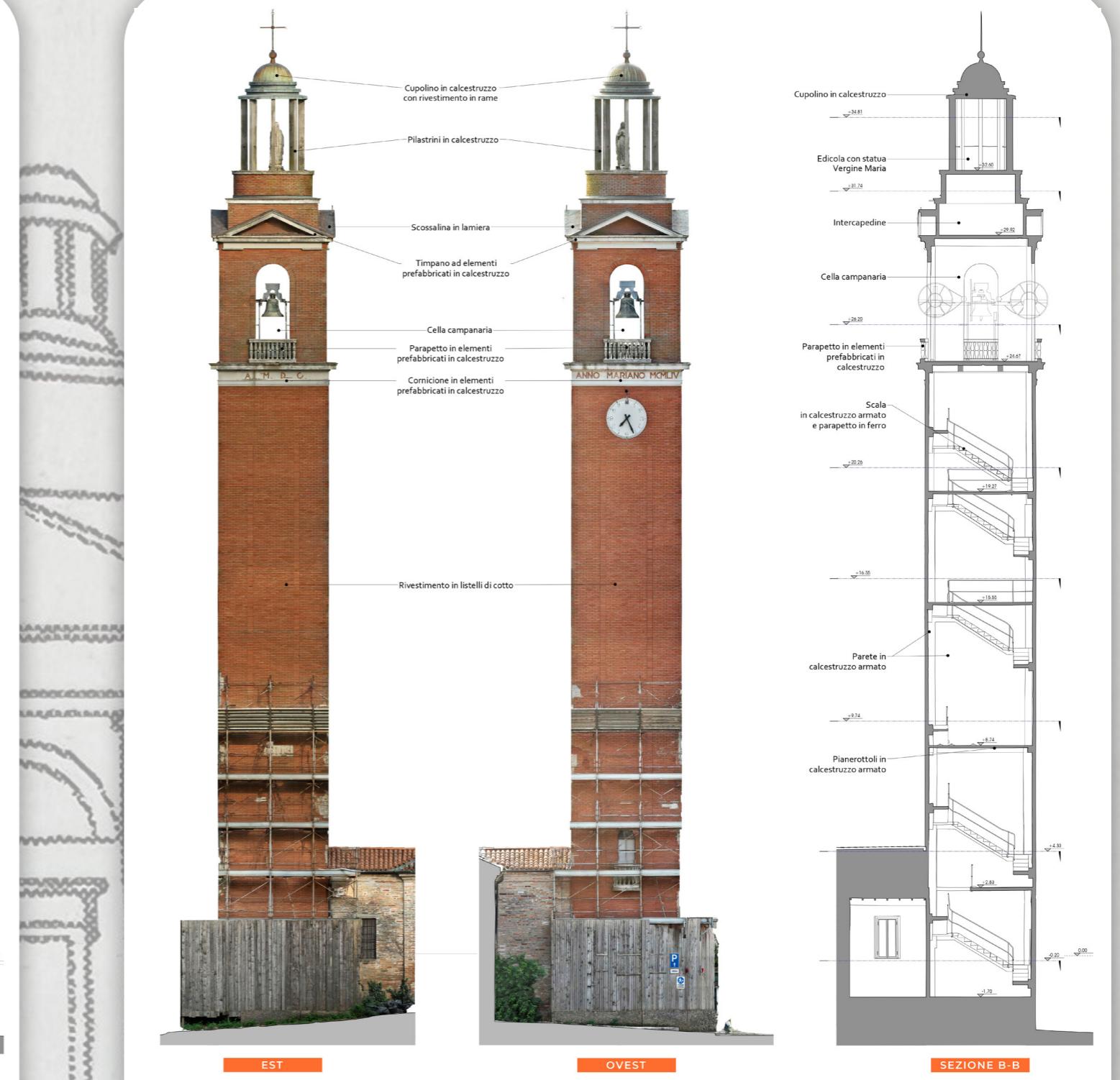
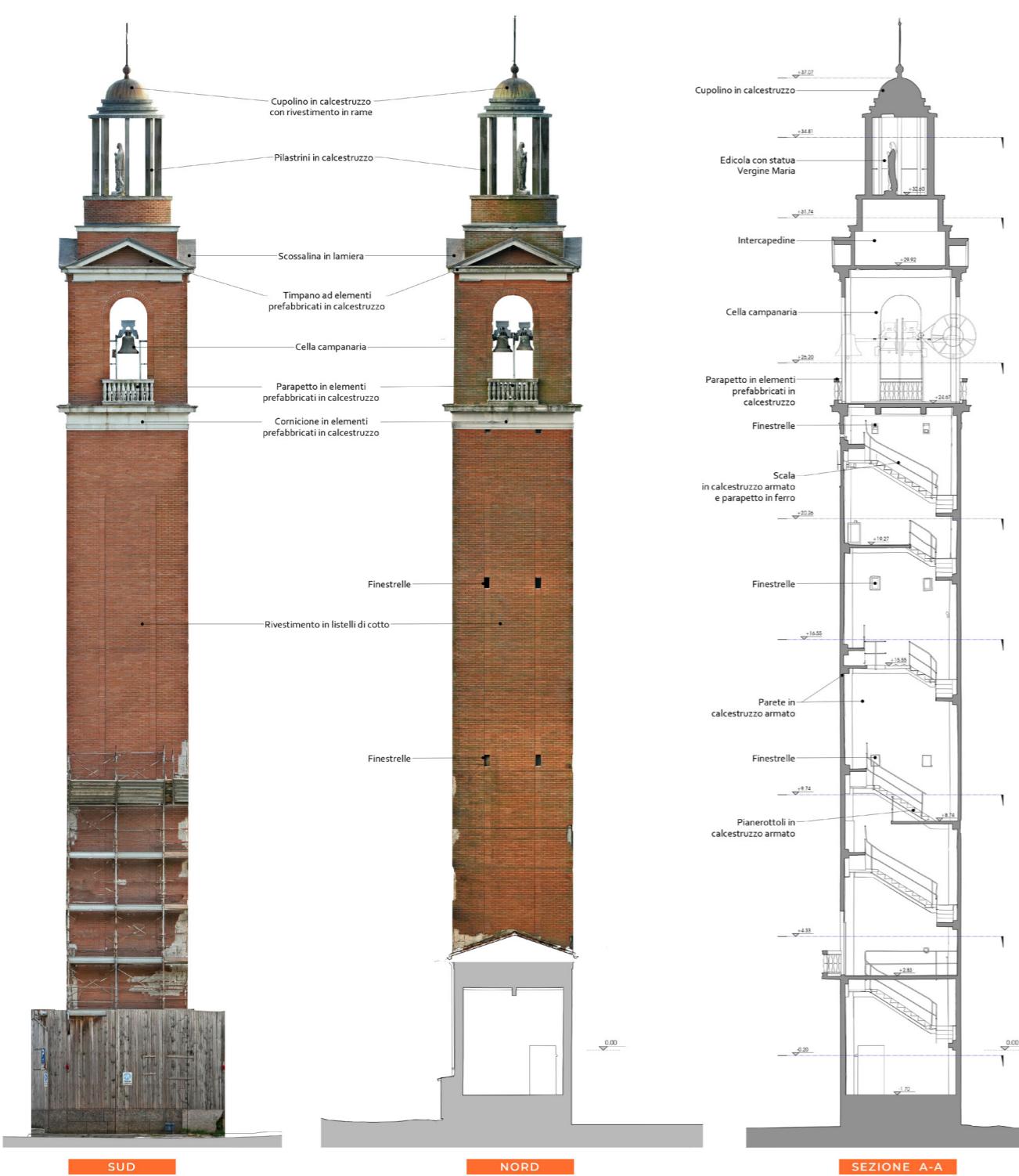
# INQUADRAMENTO STORICO



Montellaro tubolare per la  
Trivulzio sulla Mura torre.  
- 1965 -



# RILIEVO GEOMETRICO



# RILIEVO DEL DEGRADO



## ANALISI DEL DEGRADO

Il campanile di Cividale Mantovano è stato realizzato nell'anno 1953 con struttura in cemento armato e successivamente, negli anni sessanta, rivestito esternamente con listelli in cotto.

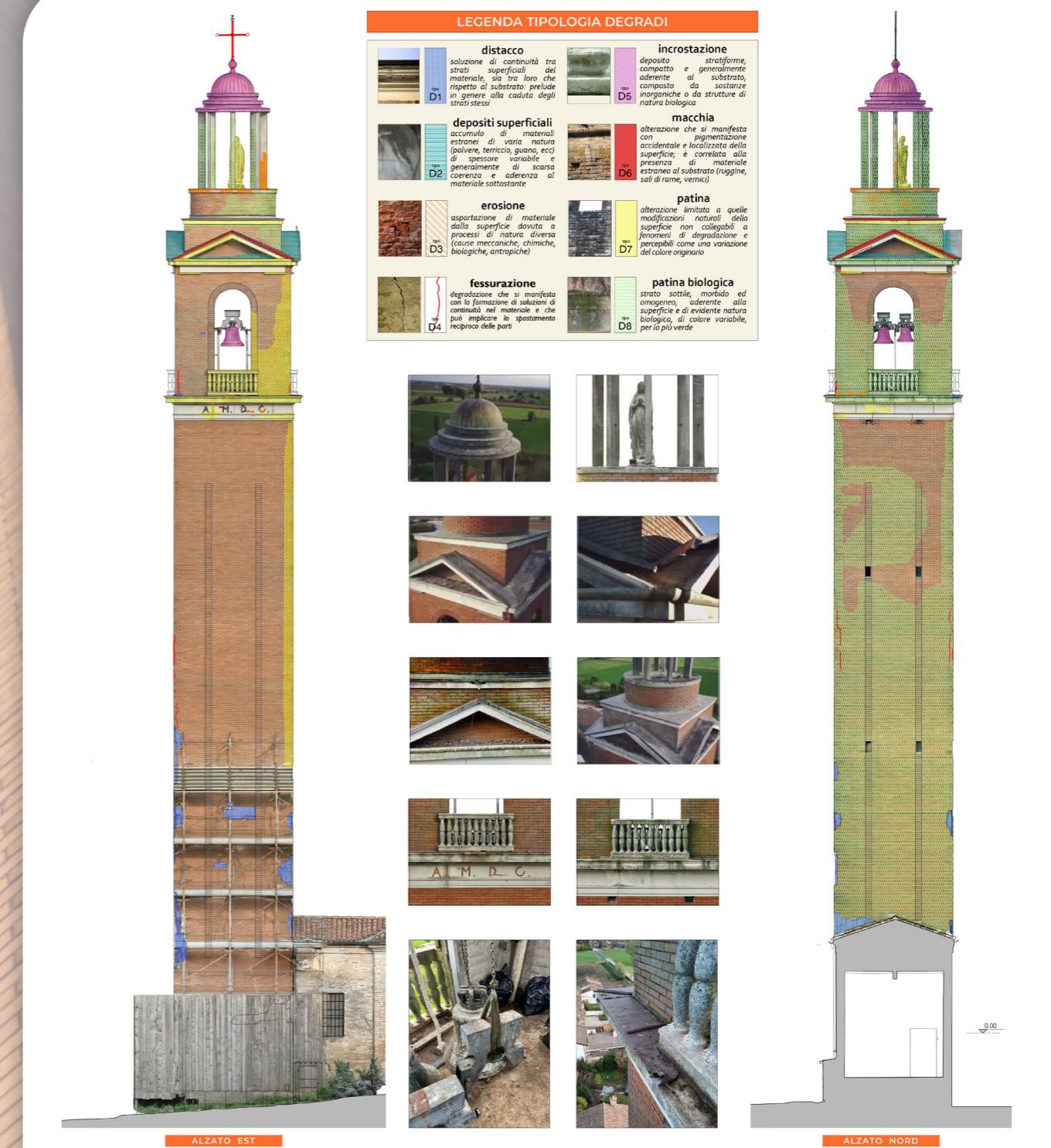
A seguito del degrado generalizzato del campanile sono state attuate le attività propedeutiche alla progettazione dell'intervento di recupero e miglioramento strutturale. In particolare sono stati effettuati il rilievo materico e morfologico e la analisi del degrado.

La fase del rilievo metrico-dimensionale ha un alto valore documentario e critico perché offre una conoscenza qualitativa e quantitativa di manufatti architettonici, urbani, archeologici e geologici. Per garantire una completa e scientifica rappresentazione dei siti o dei manufatti si utilizzano tecniche di rilevamento e strumentazioni innovative, che seguono cioè le evoluzioni della tecnica e della restituzione grafica e che permettono, inoltre, di disporre di dati bidimensionali e tridimensionali. Questi ultimi costituiscono la base per successive elaborazioni virtuali di tipo ricostruttivo ed interattivo che supportano, dunque, la conoscenza, la valorizzazione e fruizione del bene culturale. Tali elaborazioni costituiscono, di fatto, una parte del nuovo senso dell'opera perché l'arricchiscono di possibilità esplorative ed investigative sia a priori (per i tecnici e gli specialisti coinvolti), sia a posteriori (per i fruitori).

Il rilievo effettuato con laserscanner 3D è stato uno strumento essenziale per la raccolta di tutte le informazioni utili. Esso è stato eseguito con la metodologia del laser scanner 3D, che ha permesso di restituire graficamente gran parte della superficie muraria attraverso le cosiddette "nuvole di punti": ciascun punto rappresenta una posizione nello spazio, data dalle coordinate cartesiane calcolate rispetto al punto d'origine equivalente alla posizione dello strumento di rilevazione.

Le scansioni sono state effettuate da diversi punti sia a terra che in quota, al fine di garantire la totale copertura e ottenere un rilievo geometrico perfetto, il quale ha permesso inoltre d'individuare le varie fasi costruttive oltre alle patologie di degrado, anch'esse alla base dei corretti interventi di recupero e restauro. L'analisi del degrado ha evidenziato le seguenti patologie:

- Azione chimica:** disaggregazione dei leganti chimici inorganici delle malte di allettamento.
- Colonizzazione biologica:** presenza riscontrabile macroscopicamente di micro e macro organismi. Si manifesta prevalentemente come muschio.
- Patina biologica:** strato sottile ed omogeneo, aderente alla superficie e di evidente natura biologica, di colore per lo più grigio chiaro e grigio scuro. Sono presenti prevalentemente licheni.
- Fessurazioni e degradazioni:** si manifestano con la formazione di soluzioni di continuità nel paramento murario di rivestimento.
- Depositi di guano:** la facile accessibilità della parte superiore del campanile ha provocato consistenti depositi sull'ultimo soffio di guano, elemento fortemente corrosivo.
- Distacco del rivestimento in cotto:** il rivestimento in listelli di cotto a doppia scanalatura interna presenta numerose lacune, dovute ad infiltrazioni d'acqua e a modifiche tensionali dei materiali e alla perdita di coesione della malta.
- Erosione del calcestruzzo:** fenomeni di degrado ed erosione del calcestruzzo con affioramento e corrosione delle armature metalliche e conseguente espulsione del copriferro.



## ANALISI DEL DEGRADO

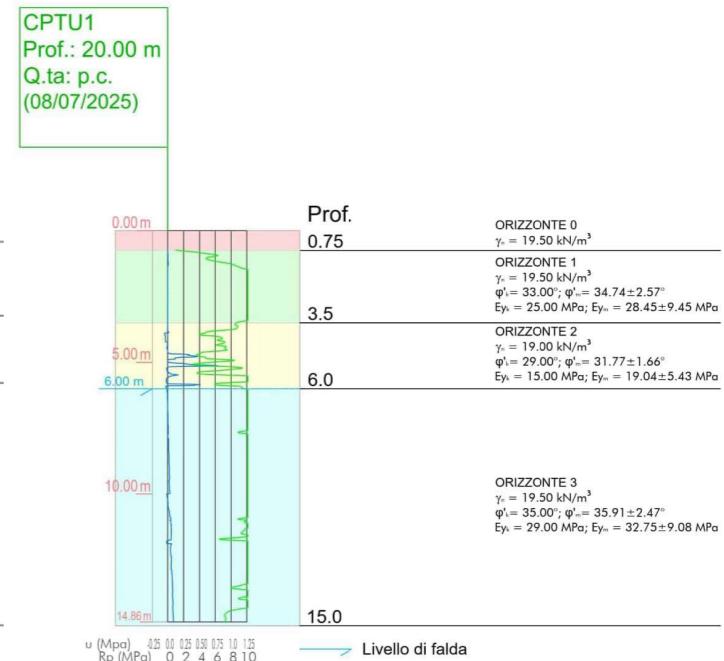
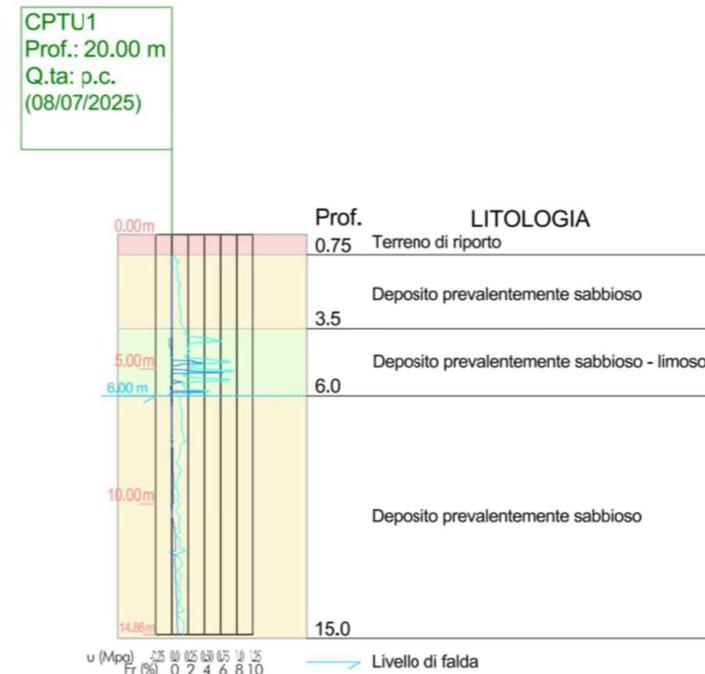
Il campanile di Cividale Mantovano è stato realizzato nell'anno 1953 con struttura in cemento armato e successivamente, negli anni sessanta, rivestito esternamente con listelli in cotto.

A seguito del degrado generalizzato del campanile sono state attuate le attività propedeutiche alla progettazione dell'intervento di recupero e miglioramento strutturale. In particolare sono stati effettuati il rilievo materico e morfologico e le analisi del degrado.

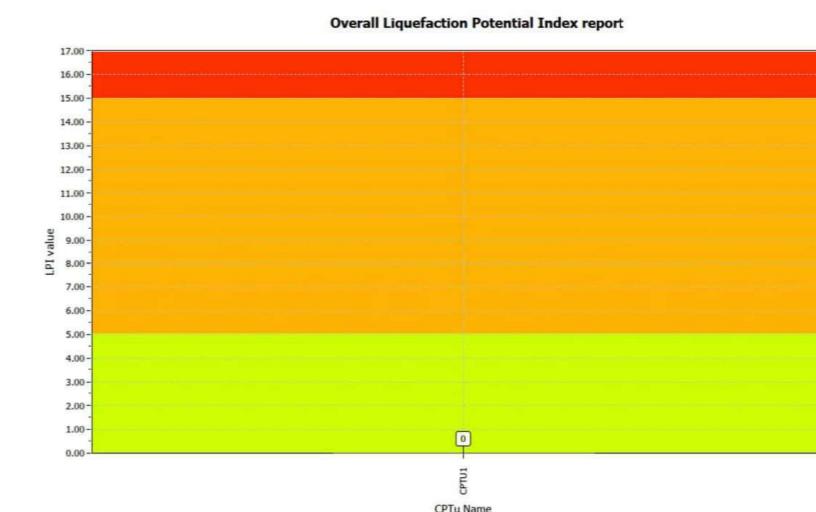
La fase del rilievo metrico-dimensionale ha un alto valore documentario e critico perché offre una conoscenza qualitativa e quantitativa di manufatti architettonici, urbani, archeologici e geologici. Per garantire una completa e scientifica rappresentazione dei siti o dei manufatti si utilizzano tecniche di rilevamento e strumentazioni innovative, che seguono cioè le evoluzioni della tecnica e della restituzione grafica e che permettono, inoltre, di disporre di dati bidimensionali e tridimensionali. Questi ultimi costituiscono la base per successive elaborazioni virtuali di tipo ricostruttivo ed interattivo che supportano, dunque, la conoscenza, la valorizzazione e fruizione del bene culturale. Tali elaborazioni costituiscono, di fatto, una parte del nuovo senso dell'opera perché l'arricchiscono di possibilità esplorative ed investigative sia a priori (per i tecnici e gli specialisti coinvolti), sia a posteriori (per i fruitori).

Il rilievo effettuato con laserscanner 3D è stato uno strumento essenziale per la raccolta di tutte le informazioni utili. Esso è stato eseguito con la metodologia del laser scanner 3D, che ha permesso di restituire graficamente gran parte della superficie muraria attraverso le cosiddette "nuvole di punti": ciascun punto rappresenta una posizione nello spazio, data dalle coordinate cartesiane calcolate rispetto al punto d'origine equivalente alla posizione dello strumento di rilevazione.

# INDAGINI GEOLOGICHE, GEOTECNICHE E SISMICHE



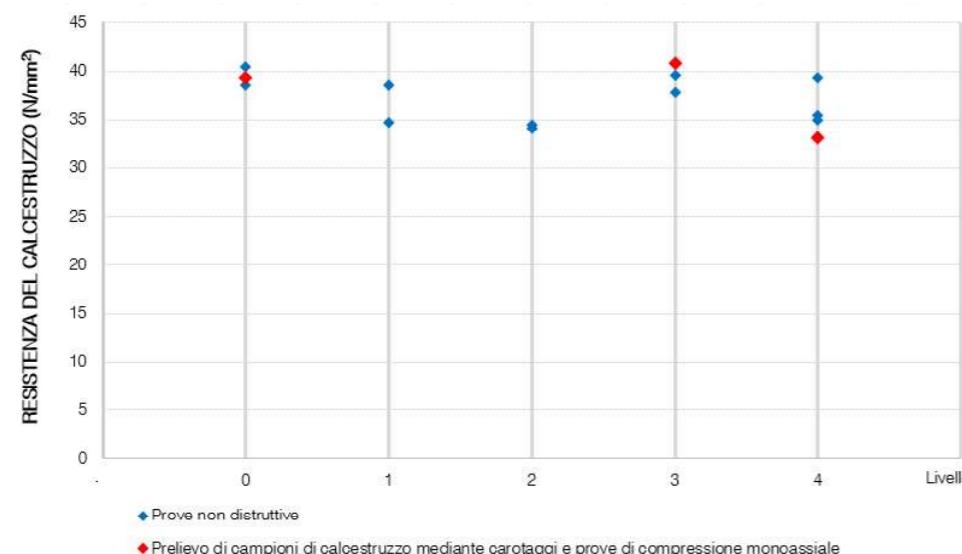
	S <sub>s</sub>	C <sub>c</sub>	S <sub>t</sub>	A <sub>max</sub> (m/s <sup>2</sup> )	Beta	K <sub>h</sub>	K <sub>v</sub>
<b>SLO</b>	1.500	1.740	1.000	0.481	0.200	0.010	0.005
<b>SLD</b>	1.500	1.660	1.000	0.569	0.200	0.012	0.006
<b>SLV</b>	1.500	1.520	1.000	1.111	0.200	0.023	0.011
<b>SLC</b>	1.500	1.510	1.000	1.379	0.200	0.028	0.014



# INDAGINI DIAGNOSTICHE - CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI

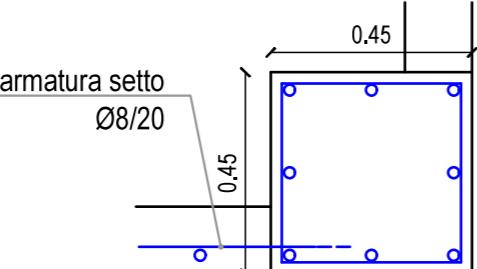


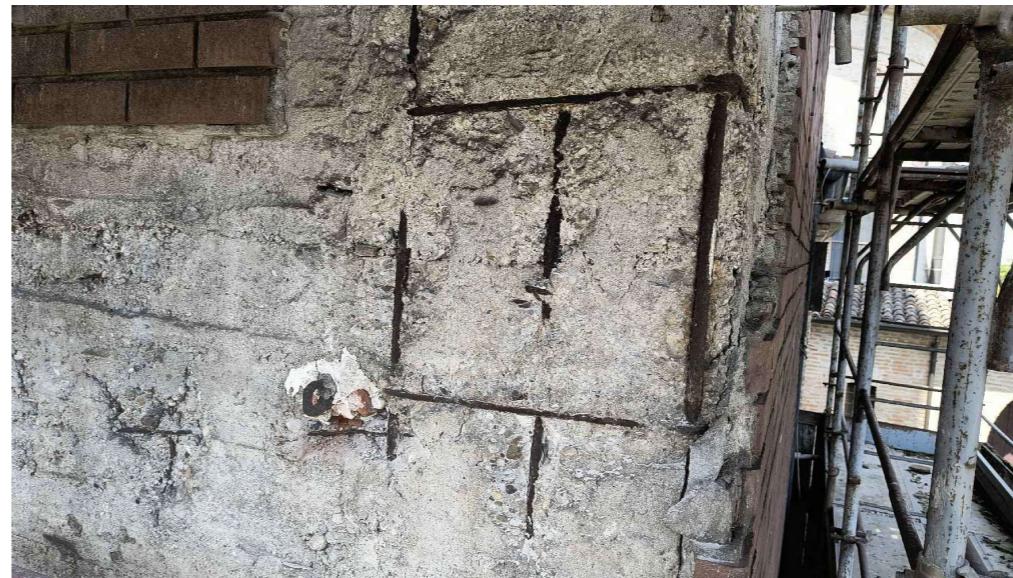
Sigla provino	Elem.	Liv.	Tipo	Massa lin. [g/m]	Diam. equip. [mm]	Sez. effettiva [mm²]	Allungamento a rottura [%]	Carico unitario fy-f 0.2 [N/mm²]	Carico unitario ft [N/mm²]	Rapporto ft/fy
PF1	SET	0	liscia	1148.4	8.03	50.6	27.80	356.7	473.6	1.33

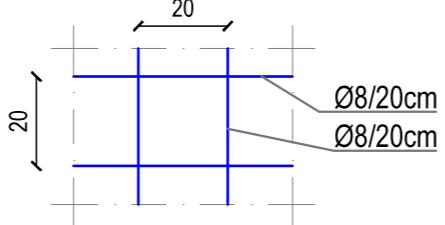


Prova n°	Elemento	Livello	Tipologia di elemento	Metodo di prova	Durezza Brinell HB	Resistenza a trazione a rottura N/mm²
PD1	SET	0	Barra armatura	UCI	152	510.7
PD2	PIL	0	Barra armatura	UCI	155	520.8
PD3	SET	2	Barra armatura	UCI	146	490.6
PD4	PIL	5	Carpenteria	Leeb	206	692.2
PD5	PIL	5	Carpenteria	Leeb	217	729.1
PD6	PIL	5	Carpenteria	Leeb	204	685.4
PD7	SET	0	Barra armatura	UCI	150	504.0

# INDAGINI DIAGNOSTICHE - SAGGI ESPLORATIVI

ID n°	tipologia	livello	
S1	PIL	P0	
 <p>armatura setto Ø8/20</p> <p>Af long = 8Ø16 lisci st = Ø8/30 lisci</p> <p>Copriferri cf = 0.2cm cfp = 1.0cm rivestimento = 5.0cm</p>			



ID n°	tipologia	livello	
S2	SET	P0	
 <p>20</p> <p>Ø8/20cm</p> <p>Ø8/20cm</p> <p>Copriferri cf0 = 0.2cm cfV = 1.0cm rivestimento: 5.0cm spessore muro = 15cm</p>			



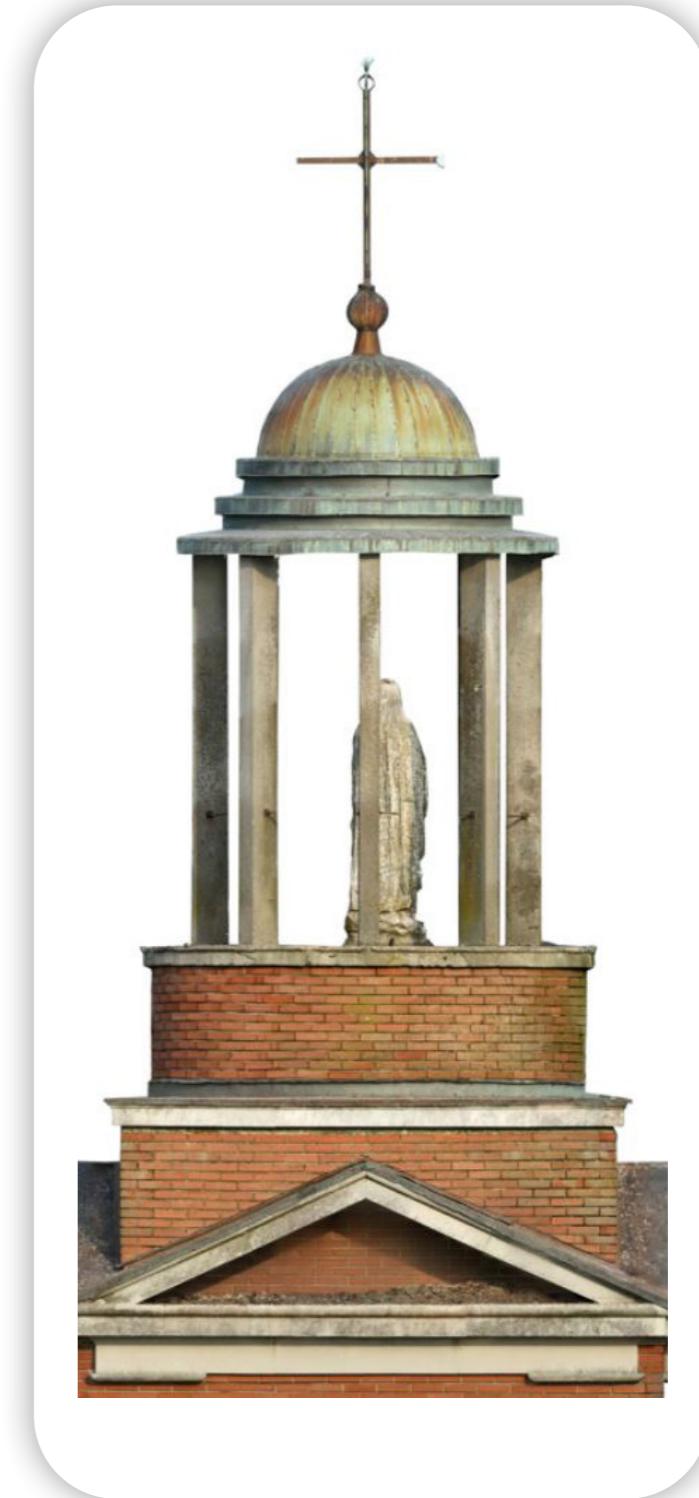
1953-1954  
PROGETTO ORIGINALE



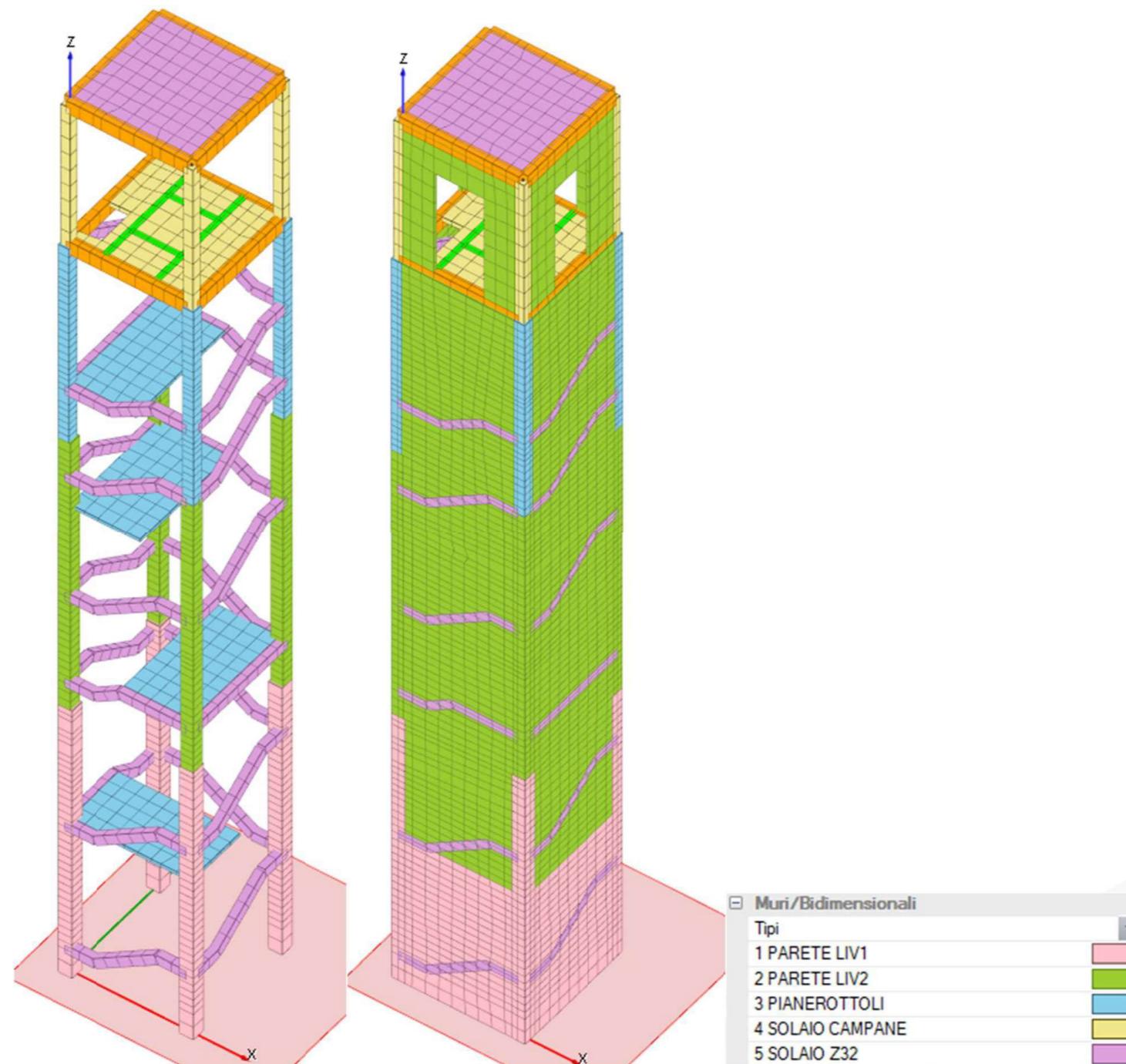
1965  
RIVESTIMENTO RDB



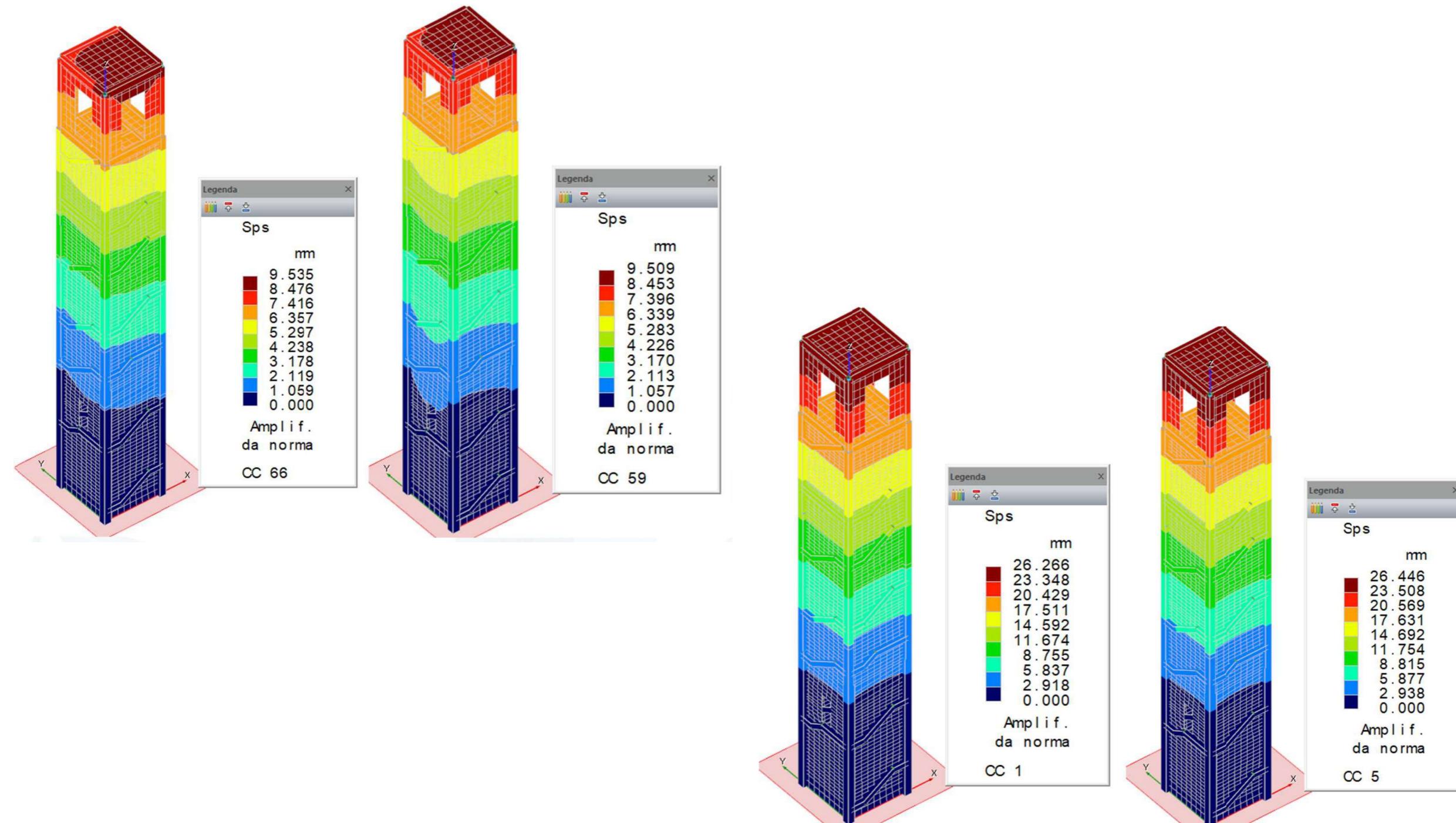
1977  
RINFORZO PILASTRINI



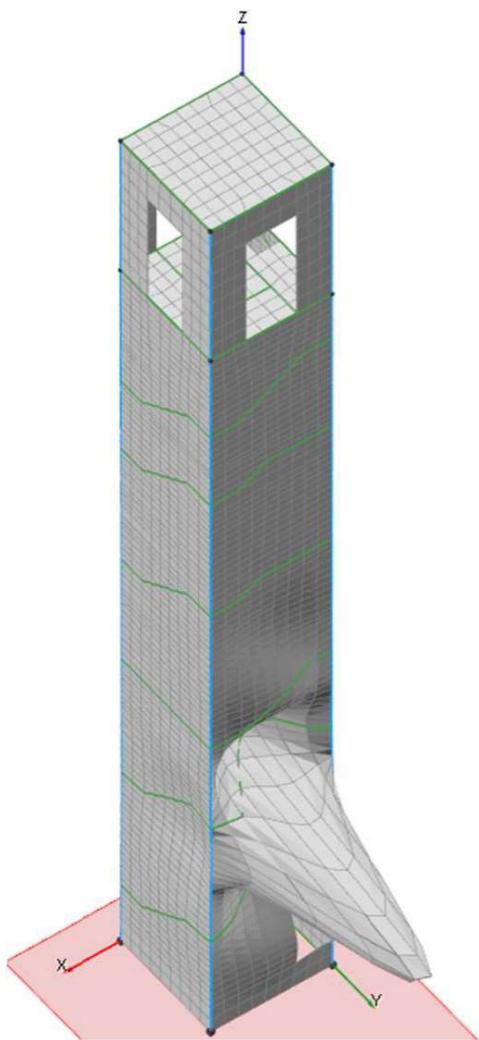
## MODELLO DI CALCOLO - DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI



## MODELLO DI CALCOLO - DEFORMAZIONI

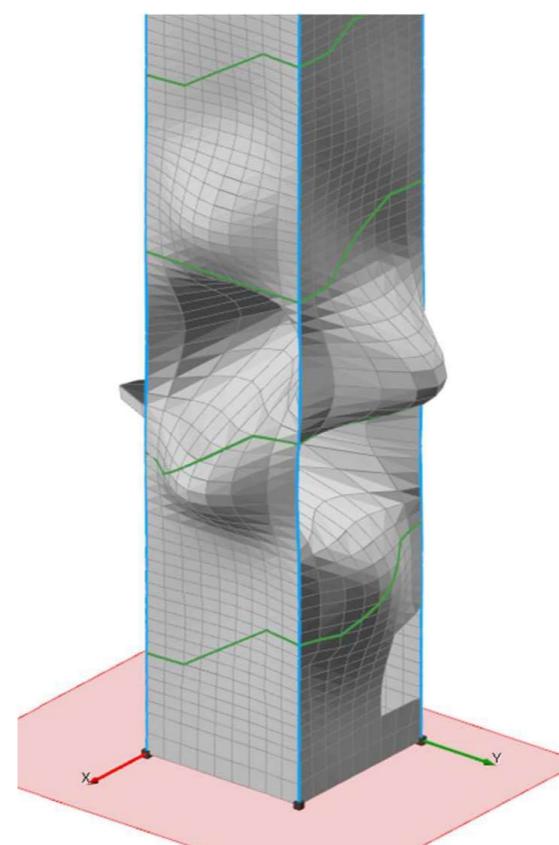


## MODELLO DI CALCOLO - INSTABILITA' DELLE PARETI



	Risultato	Molt.
1	Forma n. 1	58.48023
2	Forma n. 2	63.66613
3	Forma n. 3	72.12086

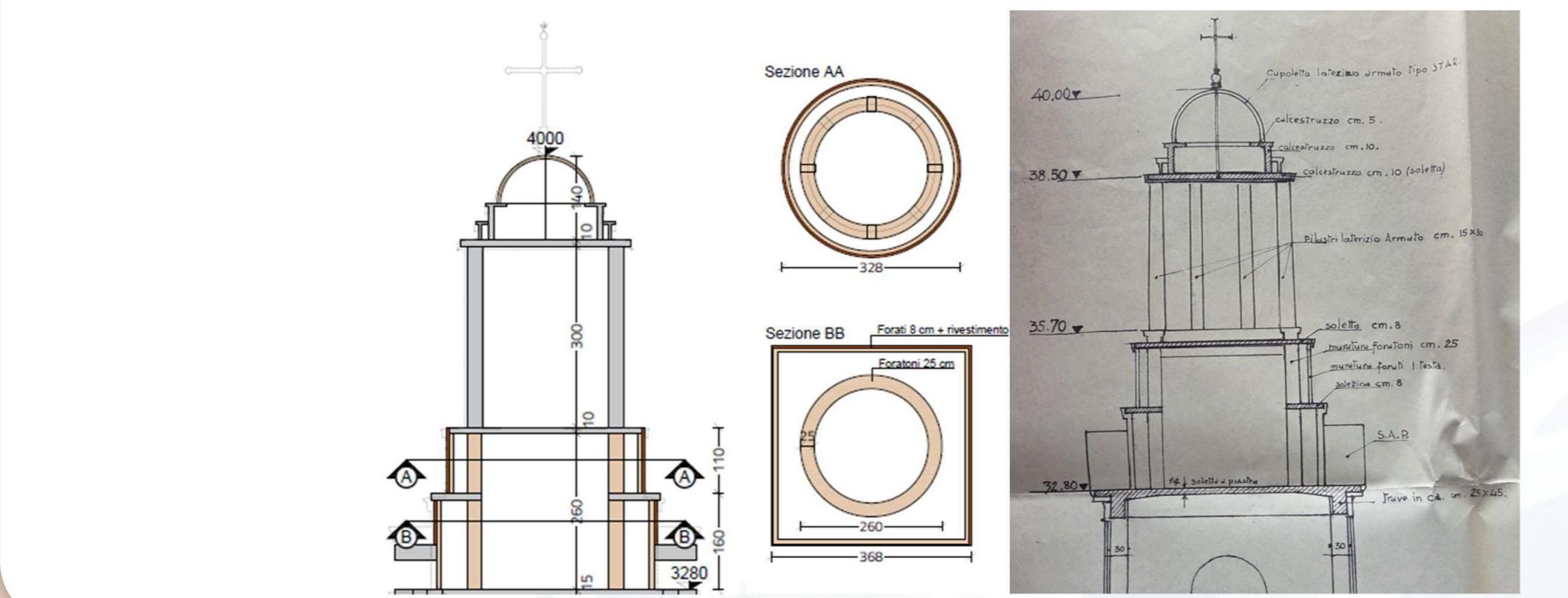
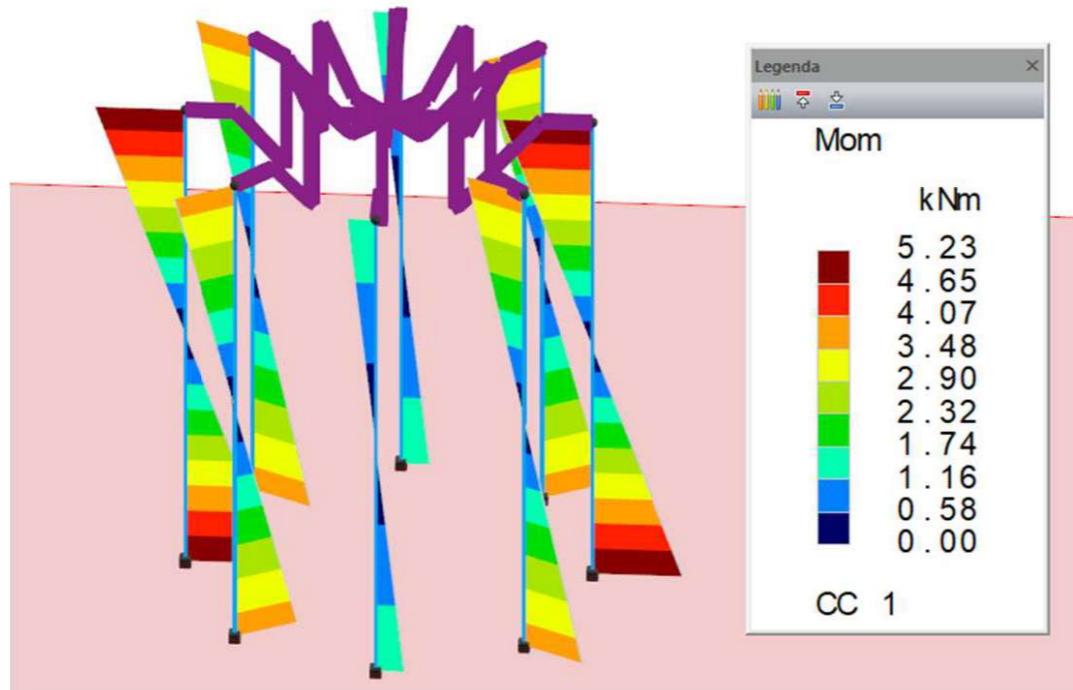
Analisi di buckling per CC 60 SLU



	Risultato	Molt.
1	Forma n. 1	66.25642
2	Forma n. 2	67.40333
3	Forma n. 3	72.10253

Analisi di buckling per CC 63 SLU

## MODELLO DI CALCOLO - ELEMENTI STRUTTURALI SECONDARI



## INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITÀ

L'analisi del degrado ha evidenziato le seguenti patologie:

- **patina biologica, colonizzazione biologica e depositi di guano;**
- **fessurazione e distacco del rivestimento in listelli di cotto a doppia scanalatura dovuta ad infiltrazioni d'acqua, a modifiche tensionali dei materiali e alla perdita di coesione della malta;**
- **fenomeni di degrado ed erosione del calcestruzzo con affioramento e corrosione delle armature metalliche e conseguente espulsione del copriferro;**
- **compromissione delle lattonerie con infiltrazioni d'acqua.**

L'esito delle verifiche nelle combinazioni statiche ha individuato le seguenti criticità:

- **il solaio a quota 32,8 mt non è conforme ai livelli di sicurezza delle norme vigenti; la presenza di murature sovrastanti "in falso" comporta eccessive deformazioni che inducono sollecitazioni sui materiali incompatibili con la resistenza degli stessi;**
- **per le sollecitazioni dovute al vento, sono stati individuati problemi di instabilità locale delle pareti in calcestruzzo (spessore 10 cm) al secondo livello del campanile, ovvero tra il primo e il secondo solaio.**

In condizioni sismiche, l'indice di vulnerabilità, cioè il rapporto tra la massima azione sismica sopportabile dalla struttura e l'azione sismica di progetto prevista per le strutture di nuova costruzione, risulta pari al **45%**.

A tutto ciò si sommano numerose incertezze sull'effettiva costruzione delle zone attualmente non accessibili; in particolare:

- **i pilastri che sorreggono la cupoletta dell'edicola sono "potenzialmente" adeguati ma occorrono dei presidi per assicurare i vicoli alle estremità. Risulta necessario prevedere anche un presidio di contenimento della statua;**
- **Il muro portante all'interno del corpo di collegamento dell'ultimo solaio e l'edicola è adeguatamente dimensionato ma è necessario, nelle fasi successive, verificare l'efficacia degli innesti nelle solette di estremità.**

Infine, le ulteriori criticità riscontrate sono riconducibili a:

- **l'oscillazione delle campane, in relazione ai vincoli orizzontali attualmente riscontrati, induce delle sollecitazioni sulle pareti della cella campanaria che sarebbe opportuno riportare in modo diretto sui pilastri;**
- **il collegamento strutturale tra la sagrestia e la torre campanaria, vista l'evidente differenza di rigidezze può indurre fenomeni di martellamento tra i due edifici in caso di sisma.**

## VALUTAZIONE DEGLI INTERVENTI

A seguito dei risultati ottenuti e dell'osservazione dello stato di conservazione dell'edificio si è valutato quanto segue:

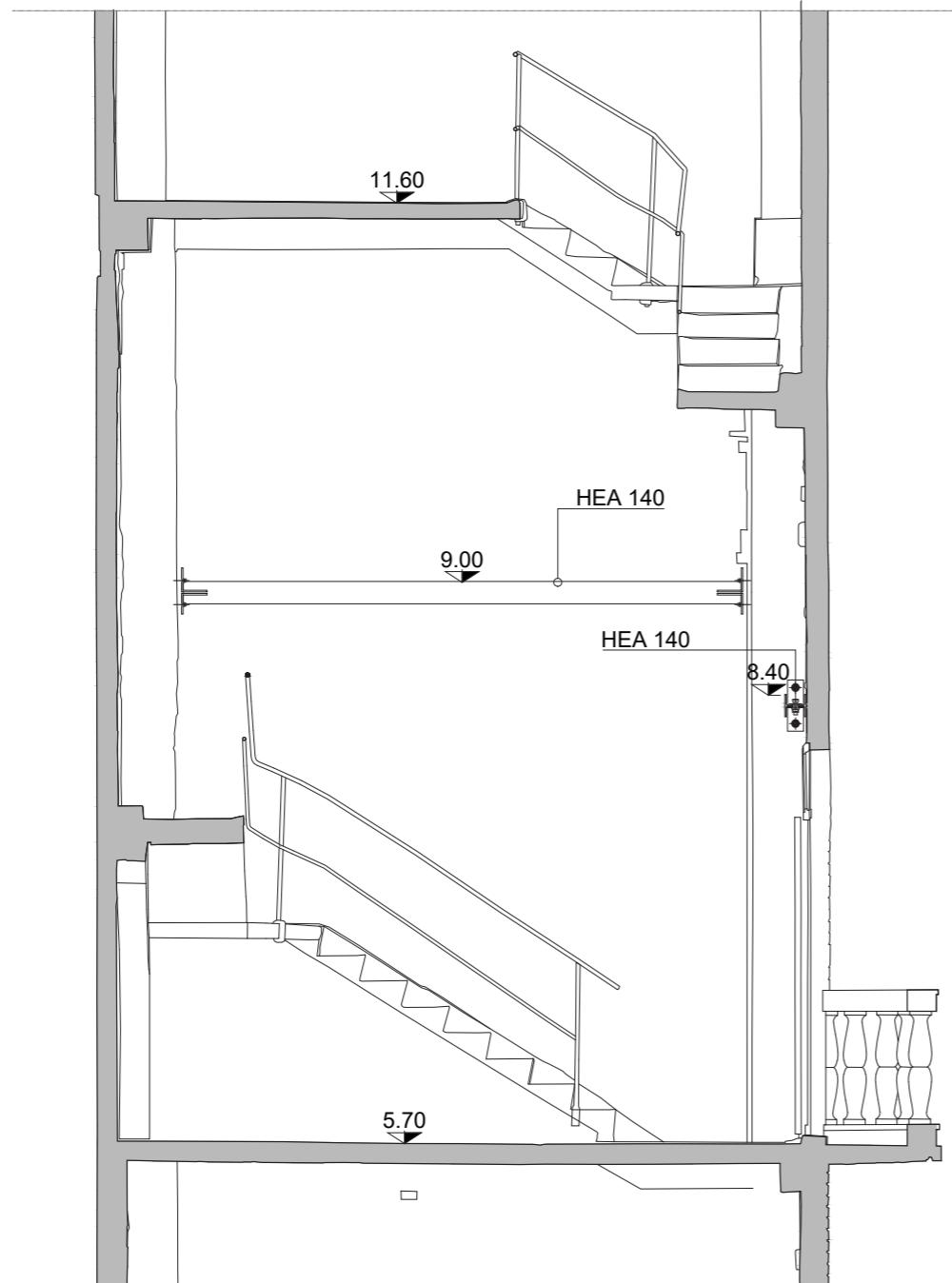
- **dal punto di vista sismico, nonostante gli eventi trascorsi durante la vita dell'opera (oltre 70 anni) non abbiano causato al momento alcun danno rilevante, la struttura presenta certamente delle carenze rispetto ai requisiti normativi, e, ai fini di un intervento di miglioramento o adeguamento, necessiterebbe di un rinforzo globale particolarmente oneroso sia dal punto di vista tecnico che economico;**
- **riveste carattere di maggiore urgenza provvedere all'eliminazione delle criticità locali che compromettono soprattutto la sicurezza in condizioni statiche, unite a un ripristino e risanamento delle aree soggette a degrado.**

Pertanto, si indicano i seguenti interventi:

- **messaggio in sicurezza dei pilastri dell'edicola mediante l'inserimento di profili in carpenteria metallica ancorati agli elementi strutturali di base e di sommità;**
- **risanamento dei materiali strutturali e ripristino del rivestimento. Vista la condizione di ammaloramento dell'attuale rivestimento è necessaria la sua sostituzione. L'attuale soluzione ha dimostrato una scarsa durabilità e ha favorito il degrado dei materiali sottostanti. Si propone dunque di ripristinare il rivestimento con una nuova finitura che risulti più durevole e maggiormente protettiva delle sottostrutture. Contestualmente si interverrebbe sul calcestruzzo mediante rimozione delle zone degradate, applicazione di prodotti che interrompano il processo di corrosione delle armature e ricostruzione delle geometrie originali;**
- **realizzazione di un rinforzo con profili metallici internamente alle pareti, alla quota di mezzeria del secondo livello, per eliminare i problemi di snellezza delle stesse adeguando la struttura alle sollecitazioni indotte dal vento;**
- **rinforzo del solaio sopra la cella campanaria mediante l'inserimento di profili metallici;**
- **distacco della cella campanaria dalle pareti in calcestruzzo e inserimento di profili metallici per il trasferimento delle azioni direttamente ai pilastri d'angolo;**
- **interventi di risanamento della struttura interna in calcestruzzo con le medesime tecnologie impiegate per lo strato esterno;**
- **adeguamento dei parapetti delle scale e dei pianerottoli per garantire le operazioni di accesso e manutenzione in sicurezza;**
- **revisione degli impianti (illuminazione, orologio, campane, etc).**

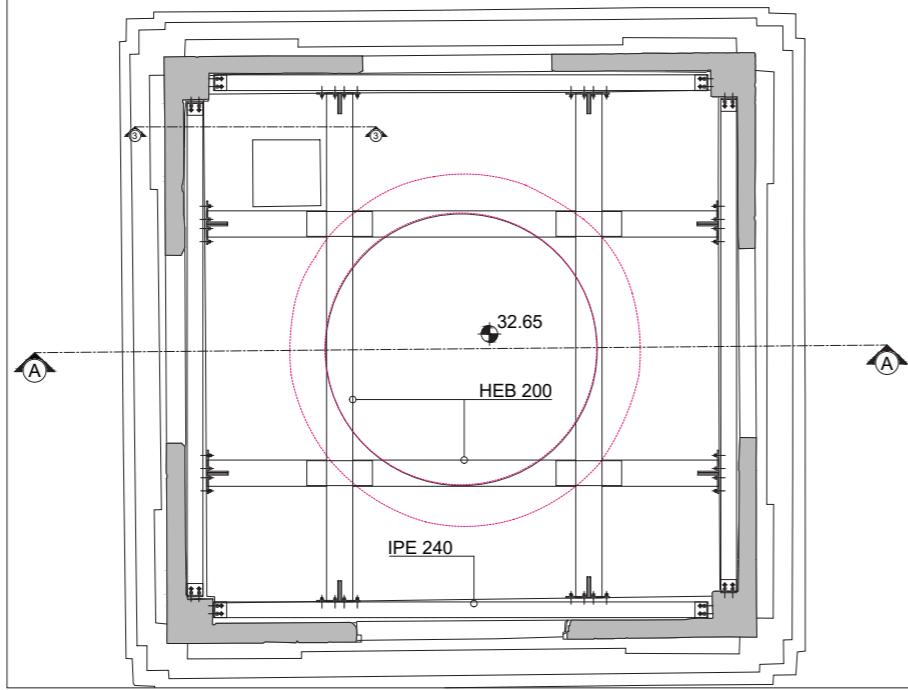
## SCHEMI D'INTERVENTO

REALIZZAZIONE DI UN RINFORZO CON PROFILI METALLICI INTERNAMENTE ALLE PARETI  
ALLA QUOTA DI MEZZERIA DEL SECONDO LIVELLO

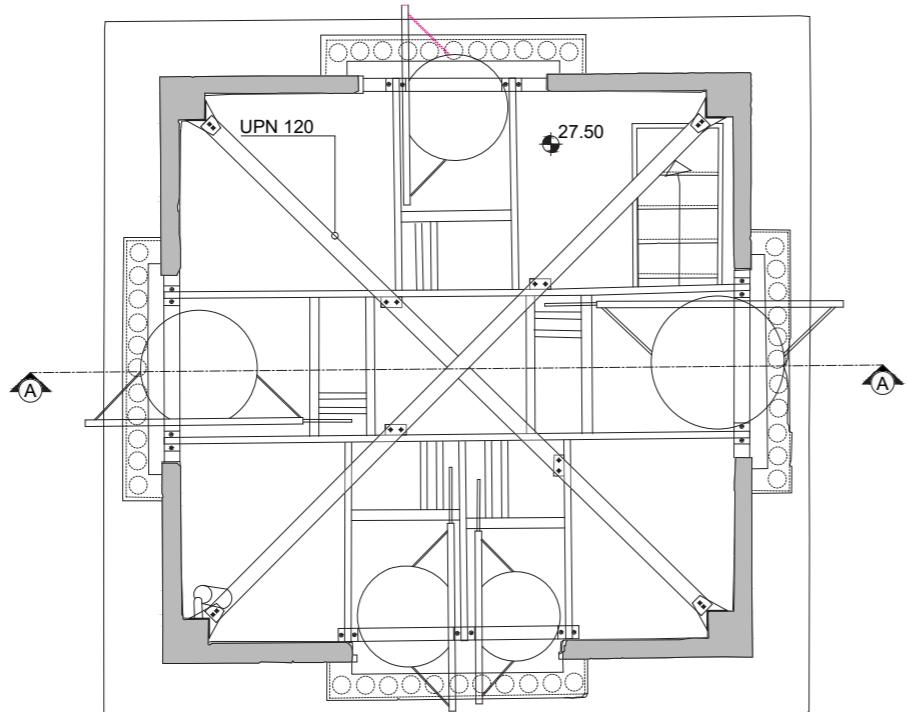


## SCHEMI D'INTERVENTO

SEZ 1-1 - LIVELLO 6

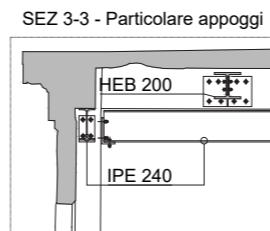


SEZ 2-2 - LIVELLO 6

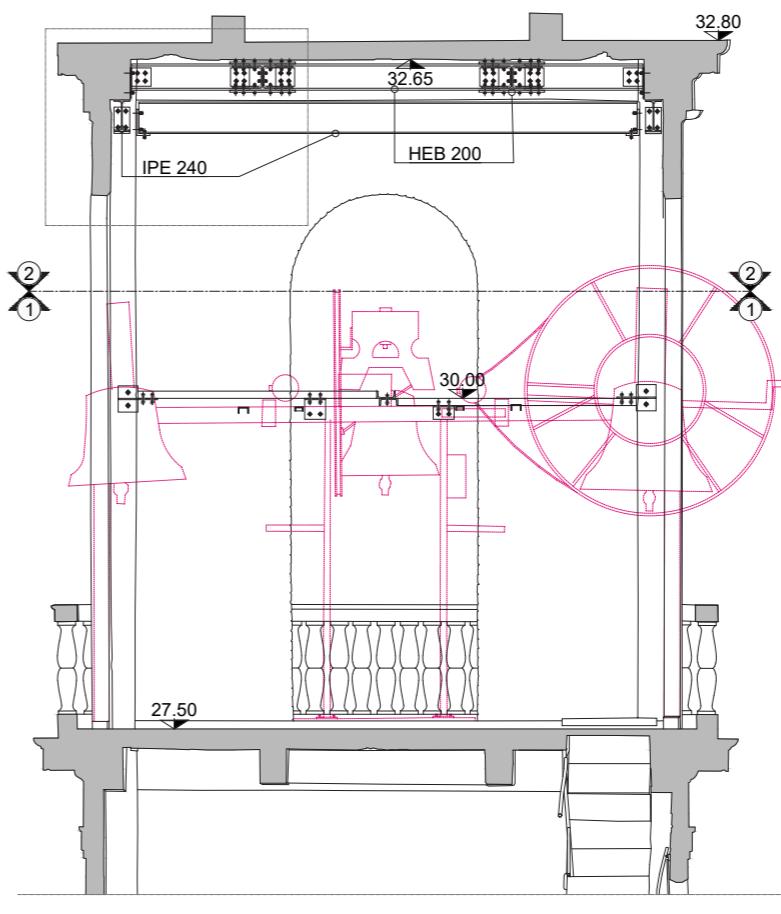


RINFORZO DEL SOLAIO SOPRA LA CELLA CAMPANARIA

DISTACCO DELLA CELLA CAMPANARIA DALLE PARETI  
IN CALCESTRUZZO

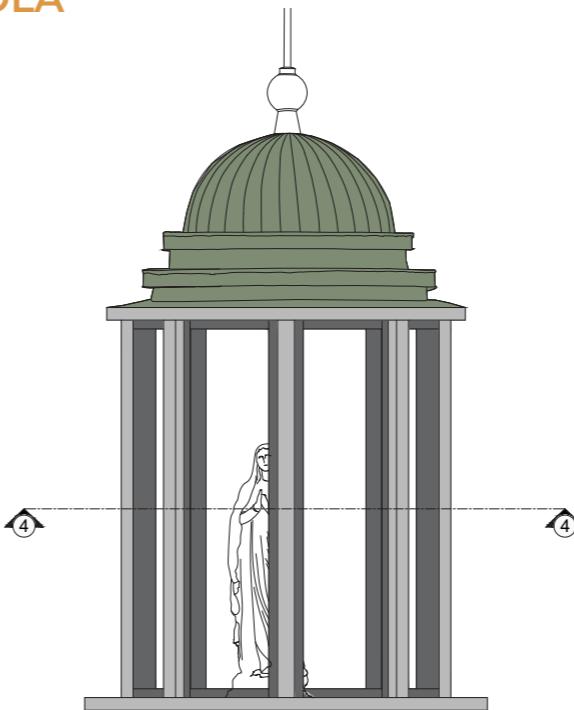
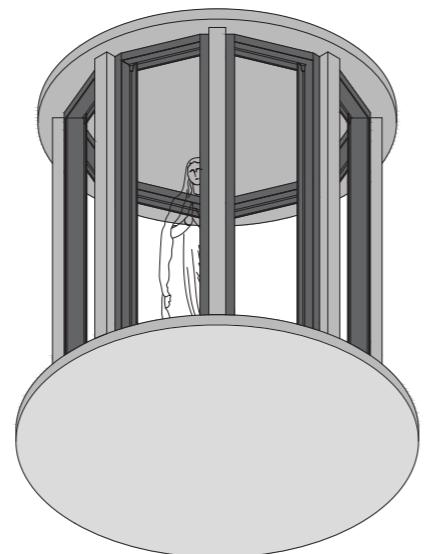


SEZ A-A - LIVELLO 6

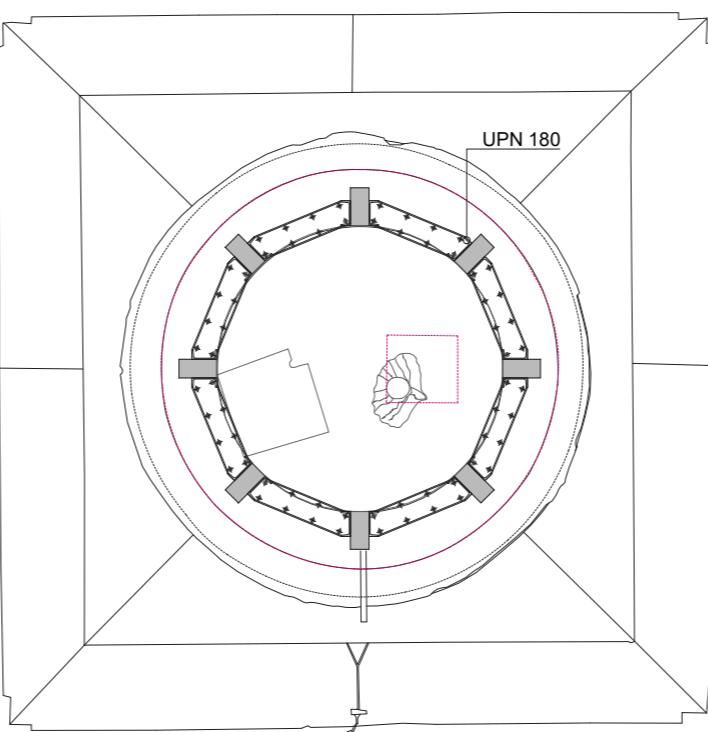


# SCHEMI D'INTERVENTO

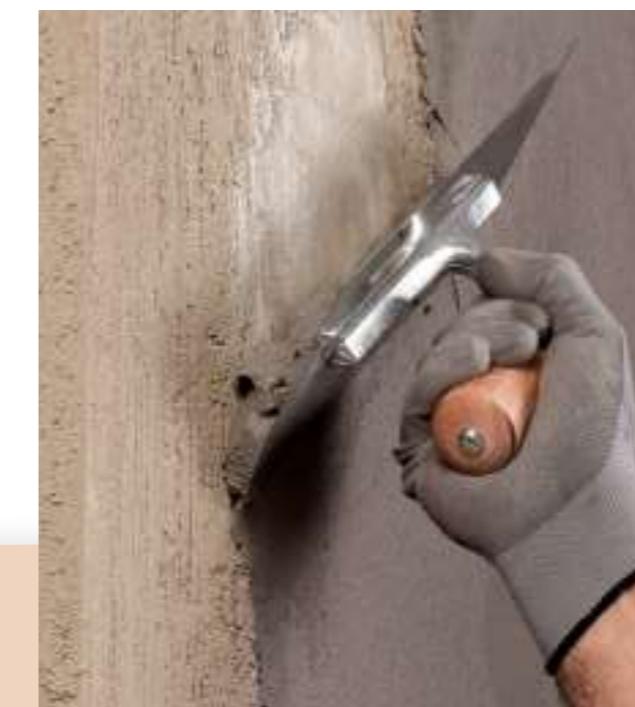
## MESSA IN SICUREZZA DEI PILASTRINI DELL'EDICOLA



SEZ 4-4 - EDICOLA



## RIPRISTINO DEI MATERIALI E FINITURA ESTERNA



## FASI D'INTERVENTO

- A. Messa in sicurezza dell'edicola
- B. Rimozione del rivestimento in listelli di cotto, risanamento dei materiali strutturali (calcestruzzo armato) e ripristino del rivestimento di finitura
- C. rinforzo delle pareti alla quota di mezzeria del secondo livello, rinforzo del solaio sopra la cella campanaria con adeguamento strutturale di quest'ultima e interventi di risanamento dei materiali strutturali (calcestruzzo armato) interni
- D. adeguamento dei parapetti delle scale e dei pianerottoli e revisione degli impianti (illuminazione, orologio, campane, etc).

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

