

Restauro e consolidamento statico della torre di Noale (Ve)



Patrizia Valle

Studio Valle Architettura e Urbanistica Venezia. San Polo 1738, 30125 Venezia

Ricerche finalizzate al restauro - Miglioramento sismico - Rinforzo di murature e strutture lignee - Utilizzo di materiali compatibili – Riconoscibilità degli interventi

ABSTRACT

Il sistema fortificato di Noale, del 1200, era costituito dalla Rocca, dal Castello e strutture difensive. Lo stato di conservazione della Torre dell'orologio e della porta ha richiesto urgenti interventi di restauro e consolidamento statico, finalizzati al riuso e valorizzazione del monumento, nel rispetto del suo valore di bene culturale. Una prima fase di conoscenza e di analisi ha permesso di definire il progetto di restauro. Rispetto al comportamento strutturale dell'opera è stato condotto uno studio con livello di valutazione LV2 mediante analisi cinematica lineare. Il restauro, finalizzato al recupero delle strutture lignee esistenti, ha richiesto anche interventi sulle murature eseguiti tramite il ripristino superficiale con il riempimento delle fughe tra mattone e mattone, con sostituzione e allettamento dei laterizi e applicazione di protezione finale. I materiali utilizzati nel restauro sono simili a quelli originali, con cui venne costruita la fortificazione. Sono state innestate delle coppie di tiranti in acciaio inossidabile e un sistema di cerchiaggio in acciaio corten a livello del tetto, e consolidata una profonda lesione mediante connettori realizzati con tessuto unidirezionale in fibra d'acciaio al carbonio. Oltre a questi interventi strutturali sono state eseguite opere di manutenzione degli ingranaggi degli orologi e delle campane.

1 LA STORIA

Il sistema fortificato di Noale risalente al 1200, descritto da Marin Sanudo nel Cinquecento, è stato oggetto di interessanti ricerche storiche in questi ultimi anni, da cui possiamo ricavare le informazioni necessarie per il progetto di restauro. Il suo sistema fortificato era costituito dal Castello, dalla Rocca (AA.VV. 1998, Valle 2009) e da una sequenza di strutture difensive. Il Castello è connotato tutt'oggi dalle due porte situate lungo l'asse Camposampiero–Mestre, sormontate da torri. La tipologia ad "isola" nota per lo sfruttamento e irreggimentazione dell'acqua del Marzenego è unica nel suo genere. Si possono individuare le "cerche" che circondavano dall'esterno la fortificazione. Il castello di forma quadrangolare non risulta essere

stato mai completamente costruito e forse non doveva mai essere stato circondato da mura, probabilmente perché il sistema difensivo che univa assieme rocca e castello era quello dell'acqua e dei terrapieni (con sovrapposte palizzate in legno).

Il Palazzon era la struttura più antica, fortezza (Rocca), circondata da alte mura e torri e dal fossato, dove scorreva il Marzenego. Oltre al fiume a nord era localizzato il castello, che ospitava strutture edilizie militari e civili, attorno ad una piana centrale, dove si trovava la chiesa, all'esterno erano gli spalti. Si vede come gli argini perimetrassero le fosse paludose intorno al castello ed il fiume Marzenego circondasse a sua volta gli argini e girando poi ad est verso il

mulino, intersecasse la strada comunale e quindi venisse a formare un gorgo, meglio descritto nel disegno del perito Cuman nel 1692. Due grandi porte munite di torri, delle campane e dell'orologio, erano state costruite lungo la strada per Mestre – Camposampiero. (Pigozzo 2006)

Dopo il 1763 inizia il progressivo decadimento della Rocca, residenza dei Tempesta e poi Palazzo Pretorio, delle torri e delle porte cittadine. Destino comune a diverse fortificazioni venete che vengono a perdere nel tempo il loro ruolo difensivo. La torre trevigiana o dell'orologio ha una pianta quadrata di circa 5 metri di lato. I solai lignei sono sei e sono collegati da ripide scale anch'esse in legno: costituiva l'ingresso principale alla città.



Figura 1. Foto aerea

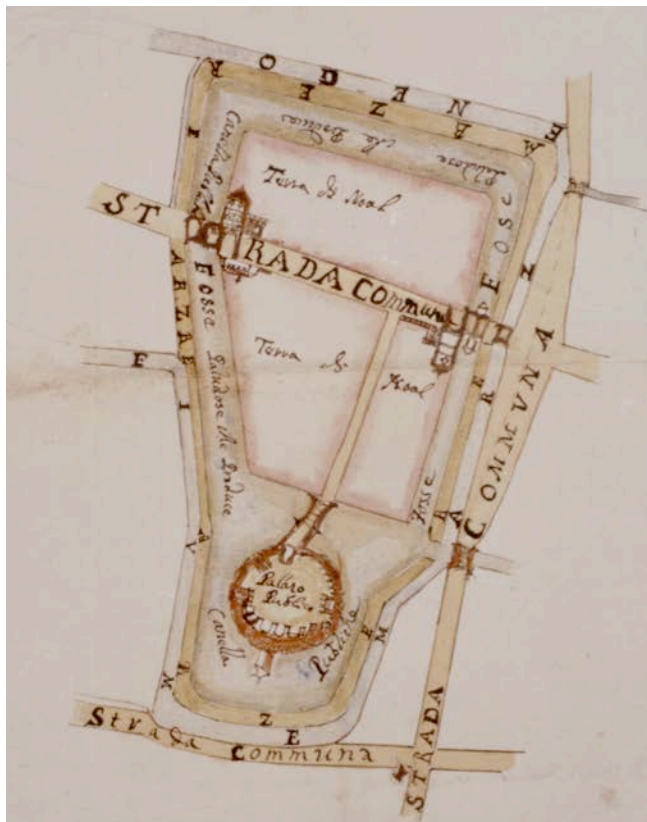


Figura 2. Mappa del centro storico di Noale di Giovanni Bolpin, 8 agosto 1721 (Archivio di Stato – Venezia)

Nella cella campanaria vi sono due campane, in particolare una è la più antica di Noale, fusa nel 1563 per ordine del podestà Santo Contarini. Era originariamente posta nel torrione della Rocca, venne spostata nella Torre dell'orologio nel 1755 a causa dello stato di rovina in cui ormai si trovava la Rocca dei Tempesta; la campana, poi detta della scuola porta scolpito il leone di San Marco e lo stemma con le iniziali S.C. La seconda campana risale al dominio veneto detta "realtina" fu voluta da Negri nel 1723, a sostituzione di una precedente danneggiata (Dal Maistro 1994).

La Torre, detta originariamente "torre Grande" o anche "delle Ore", alta 32,45 metri, porta inciso su un merlo l'anno 1836, di ricostruzione degli archi ogivali della cella campanaria e delle merlature ghibelline, era precedentemente ricoperta da un tetto in coppi e aveva merlature guelfe. La torre in parte crollata nel 1261 per un uragano, venne ricostruita e nel 1367 fu di nuovo distrutta da un terremoto. Nel piano sottostante trovano alloggio i meccanismi dell'orologio; l'orologio antico, modificato nel 1560 fu rifatto nel 1962. Diverse manomissioni hanno interessato questa parte del sistema fortificato di Noale, che comunque mantiene intatto il suo valore monumentale e di simbolo per la città.

2 IL PROGETTO DI RESTAURO

Lo stato di conservazione del complesso della torre dell'orologio e della porta della città murata, richiedeva urgenti interventi di restauro conservativo e consolidamento statico e un progetto di riuso funzionale del monumento, nel rispetto del suo valore di bene culturale oggetto di tutela (Valle 2011).

Sono stati eseguiti lavori urgenti di rifacimento delle coperture, pulizia, sostituzione e modifica delle grondaie e dei pluviali; in particolare l'infiltrazione delle acque piovane avevano gravemente danneggiato le strutture lignee delle coperture e dei solai, nonostante un restauro eseguito nel 1995. Era inoltre necessario migliorare l'accessibilità ai vari livelli della torre e al tetto con scale e passerelle, per consentire le manutenzioni delle coperture e della porta cittadina e una valorizzazione degli spazi con l'utilizzo del piano terra e del primo livello della torre e della casetta cinquecentesca e la fruizione del locale dell'orologio dove sono conservati gli antichi meccanismi. Devono inoltre essere sostituiti i solai e gli infissi e predisposto un impianto di allontanamento piccioni.

L'intervento tende a mantenere il profilo del monumento, rispettandone le caratteristiche fisiche e d'immagine, attraverso un accurato processo di revisione delle malte, di pulitura, di ricucitura e protezione. (Petranzan 2005) L'intervento sulle murature, viene eseguito tramite il ripristino superficiale con il riempimento delle fughe tra mattone e mattone, lì dove necessario, con sostituzione e allettamento dei laterizi, con applicazione di protezione finale idrorepellente e consolidante. I materiali utilizzati nel restauro sono simili a quelli originali, con cui è stata costruita la fortificazione, per quanto riguarda la calce, gli inerti e i laterizi. Abbiamo potuto verificare anche in altri interventi di restauro (recupero del sistema fortificato di Cittadella, Rocca dei Tempesta) che è inutile aumentare la resistenza meccanica delle malte di allettamento in presenza di mattoni storici (CNR e Università di Venezia 1979, Valle 1997).

3 LA CONOSCENZA

Nel corso dei lavori la diagnosi sulle patologie del sistema murario e delle strutture lignee ha individuato una situazione di grave degrado non previsto, dovuta a diversi fattori di imbibizione, tra cui risultava prevalente l'effetto delle acque meteoriche e il deposito di sostanze organiche, con il conseguente degrado degli arcarecci e della capriata della cella campanaria. Sono stati individuati fenomeni macroscopici di deterioramento biologico provocato dal guano dei colombi sul tetto, oltre agli arbusti muffe e licheni, che hanno coperto le superfici murarie a nord, i merli e le coperture. Sono stati riscontrati gravi fenomeni di disgregazione e di decoesione dei giunti di malta, con aumento dell'infiltrazione dell'acqua piovana e il deterioramento progressivo dei mattoni. Inoltre si è potuto osservare, una volta montato il ponteggio, come un ripristino delle fughe con malta cementizia sulle pareti interne della porta, eseguito in epoca abbastanza recente, abbia aggravato ancor di più il degrado delle murature. Infatti, come è noto la malta cementizia aggrava lo stato del monumento, aumentando l'umidità e creando un maggiore degrado del mattone storico.

Per il degrado dei laterizi le origini del deterioramento della materia dipendono da anomalie conosciute già nell'antichità: il grado di cottura, la lavorazione e il tipo d'argilla utilizzata e da fattori prettamente contemporanei, fisici, chimici, biologici e microbiologici. Abbiamo potuto determinare le cause del degrado partendo dalla composizione, temperatura di cottura, epoca

e resistenza dei laterizi, dosaggio dei sali solubili presenti, pH e presenza di agenti infestanti.

Le analisi condotte (R&C Lab 2012) hanno individuato 3 tipi prevalenti di mattone: rosso aranciato friabile, rosso aranciato scuro tenace, rosso scuro a struttura omogenea, ottenuto dalla cottura di un'argilla addizionata con uno scheletro sgrassante (sabbia silicatica per l'80% e carbonatica per il 20%) scarsamente selezionata a granulometria prevalente siltoso grossolano (63-31 μ m); il rapporto in pasta tra scheletro e legante varia da 1/2 a circa 1/1.

In particolare in alcuni campioni è stata evidenziata anche la presenza di gesso derivante da solfatazione di probabile carbonato di calcio presente nell'impasto, fase riconosciuta come Calcite solo in un campione. Il grado di cottura individuato si aggira sui 900° C e non inferiore ai 650°C.

Lo studio petrografico ha individuato la presenza di due tipi di pietra utilizzata nella costruzione dei merli ghibellini, commercialmente denominate "pietra di Vicenza", nella parte sommitale della torre, e "pietra d'Istria", sulla porta; spiegabile con la sopraelevazione settecentesca della cella campanaria. Le cause del degrado delle malte sono attribuibili alla loro composizione, a processi chimici e fisici e all'inquinamento.

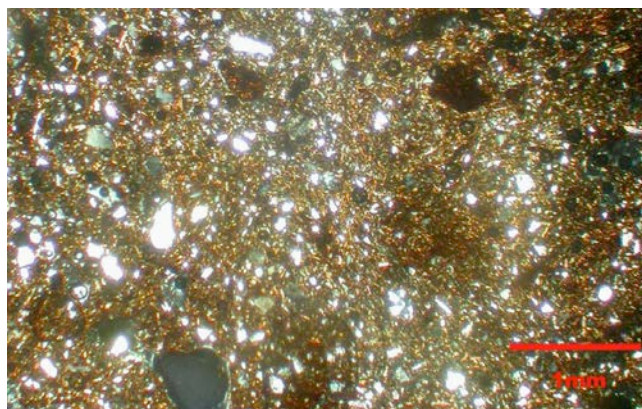


Figura 3. Campione di laterizio rosso aranciato friabile. Sezione sottile

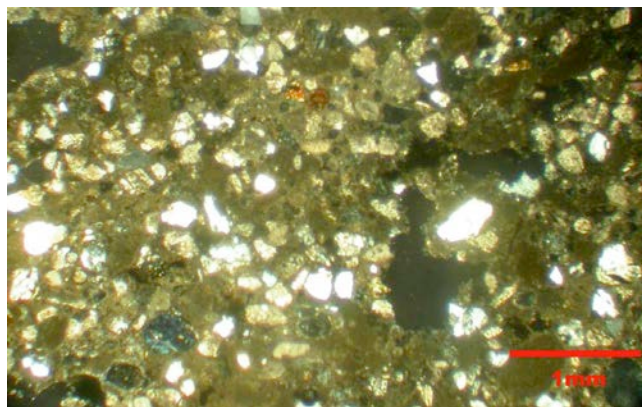


Figura 4. Malta d'allettamento colore nocciola chiaro. Sezione sottile

Attraverso le analisi abbiamo potuto individuare le proporzioni tra legante e inerte e il tipo di calce e aggregati presenti nei campioni di malta prelevati, diversi anche per gli aspetti cromatici e di resistenza. La malta prevalentemente di colore nocciola ha un rapporto 1/1, tra legante e inerte, ed è costituita da calce aerea, alcune malte di peggior qualità presentano calcinaroli.

In particolare tutte le sabbie utilizzate presentano una composizione mineralogico-petrografica confrontabile con i sedimenti fluviali del Bacchiglione; sabbie che avevamo individuato essere state utilizzate in una parte della torre Ovest della Rocca dei Tempesta, mentre la torre sud e il Mastio l'aggregato delle malte è costituito da sabbia del Brenta. Questa diversa provenienza sta a confermare differenti fasi di costruzione del sistema fortificato.

I mattoni nuovi utilizzati per gli interventi di consolidamento e di risarcitura, sono distinguibili, ma si accostano per dimensione e effetto cromatico ai laterizi originali e hanno coefficienti di resistenza e di assorbimento affini agli elementi esistenti.

4 CONSOLIDAMENTO

Rispetto al comportamento sismico, oltre agli interventi proposti in fase progettuale, sono state eseguite ulteriori verifiche preventive, a causa dei recenti eventi sismici verificatisi nel 2012, localizzati nella pianura padana emiliana (Valle 2012).

Inoltre, si è deciso di raggiungere un optimum della struttura consolidata, visto l'importanza del monumento, con un aumento della vita nominale dell'opera in riferimento all'azione sismica.

In particolare su un paramento murario perimetrale tra quota 6,0 m e quota 9,0 m era presente una lesione, che si prevedeva di consolidare con processo di legatura mediante connettori realizzati con tessuto unidirezionale in fibra d'acciaio al carbonio, la cui finalità è stata quella di ricucire i paramenti murari lesionati della torre e della porta.

Sono state eseguite le connessioni/ancoraggi strutturali mediante la posa in opera di barra unidirezionale Steel Connector 10 di diametro 10 mm, costituita da n.42 trefoli da n.5 fili cadauno, in acciaio al carbonio alcali resistente, avente le seguenti caratteristiche: area resistente per unità di larghezza 4300 mm²/m, carico massimo per unità di larghezza 8969,8 kN/m, resistenza meccanica a trazione 2086 Mpa (Caramel 2012).

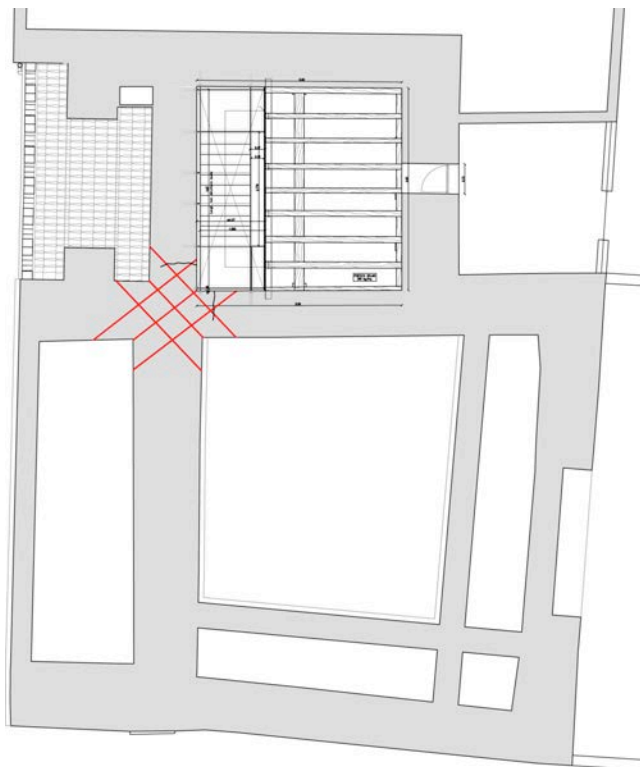


Figura 5. Pianta quota +6.00m. Posizione connettori di ancoraggio.



Figura 6. Legatura connettori di ancoraggio: iniezione.



Figura 7. Legatura connettori di ancoraggio: sfiocatura connettori.

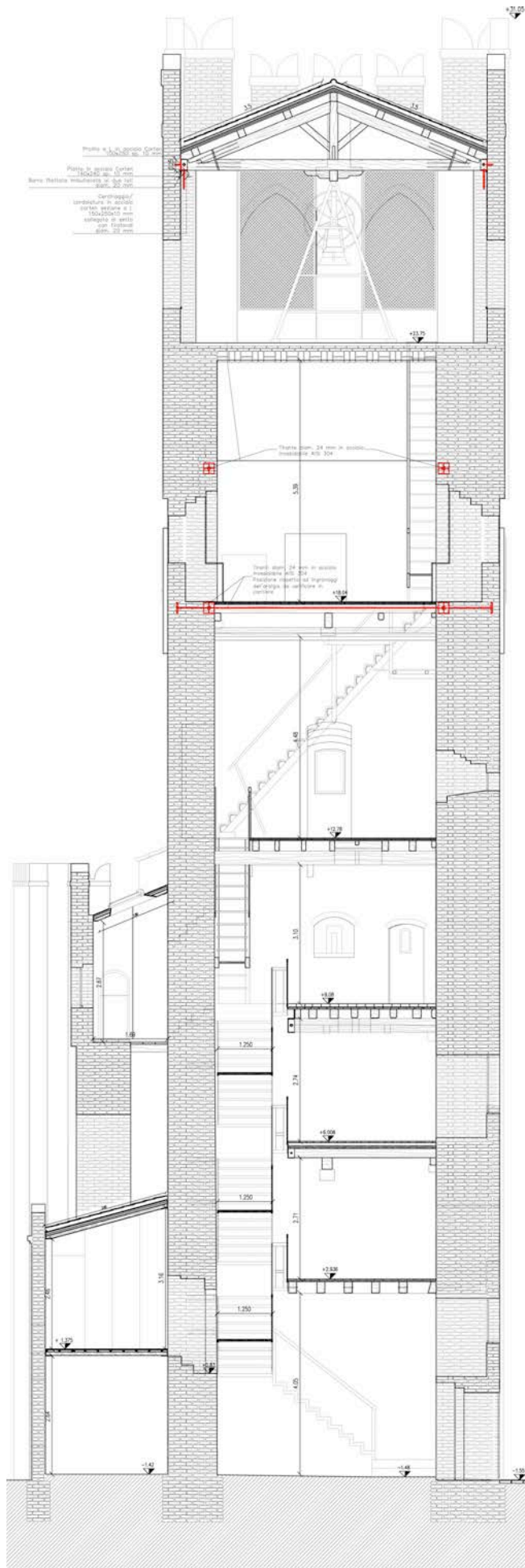


Figura 8. Sezione Torre dell'Orologio

La barra è stata installata in apposito perforo in comunicazione con il soprastante elemento strutturale, previo eventuale trattamento di ripristino delle superfici ammalorate.

Il perforo viene realizzato di opportuno diametro in funzione della barra e del tipo di materiale componente l'elemento da rinforzare e successivamente viene eseguita un'adeguata pulitura del perforo mediante aria compressa e bagnatura con acqua e alcool.

La disposizione dei perfori è stata eseguita a quinconce, interasse c.a. 25 cm e lunghezza variabile.

La lavorazione comprende poi la posa di TD13 STEEL CONNECTOR 10 all'interno del perforo, e la successiva iniezione di speciale miscela inorganica a basso contenuto di sali idrosolubili esclusivamente a base di calce idraulica naturale B FLUID-X/A conforme alla UNI EN 459-1, resistente ai solfati, adatta al consolidamento di murature in pietra o mattone pieno mediante iniezione di miscela inorganica BFLUID-X/B, caratterizzato da elevata fluidità e stabilità, ottenuto dalla cottura a basse temperature di calcari argillosi (marna naturale), avente come principale costituente mineralogico il silicato bi-calcico β , che reagendo con l'acqua di impasto sviluppa composti idrati stabili in grado di conferire alla malta caratteristiche meccaniche ed elasticità tali da garantirne la durabilità nel tempo.

Grazie alla particolare natura mineralogica, il prodotto non è reattivo in presenza di solfati; è privo di alluminato e silicato tricalcico, densità apparente (UNI EN 459-2) ca $1,2 \text{ kg/dm}^3$, fluidità (ASTM C-939 con 34% acqua impasto) 23'' (t=0); 26'' (t=60'), acqua di impasto (in relazione alla fluidità richiesta) 280 - 340 g/Kg, resistenza a compressione $3,5 \text{ N/mm}^2$ (7g) - 9 N/mm^2 (28g), resistenza a flessione 2 N/mm^2 (7g) - 3 N/mm^2 (28g), modulo elastico secante (D.M. 31/08/72, UNI 6556) ca. 9000 N/mm^2 , tempo di presa (UNI EN 459-2) > 120', resa (miscela da iniettare ottenibile per Kg polvere) ca. 0,65 l/Kg, essudazione (UNI 8998) assente, stabilità (UNI EN 459-2) < 1 mm, finezza (passante 0,09 mm) < 1 %, CaO libero (UNI EN 459-2) 4 - 5 %, pH > 10,5, per l'installazione della parte rigida della barra.

Questa miscela permette di riprodurre dal punto di vista fisico, chimico e mineralogico le caratteristiche delle malte di allettamento originarie a base di leganti ottenuti dalla cottura a bassa temperature di calcari argillosi (marna naturale) (Binda 1993).

Il fissaggio ad entrambi i lati della muratura è stato eseguito con malta pronta strutturale

reoplastica antiritiro di calce idraulica naturale NHL 5 BFLUID-X/A ed inerti selezionati ad alte prestazioni meccaniche tipo TD13SRG caratterizzata da granulometria compresa tra 0 e 2 mm, peso specifico di $1800 \div 1900 \text{ Kg/m}^3$, classe CS IV di resistenza a compressione (classificazione secondo UNI EN 998-1) o classe M15 (classificazione secondo UNI EN 998-2) a seconda del tipo di impiego, resistenza meccanica a compressione a fine maturazione maggiore di 16 N/mm^2 , modulo elastico di circa 16000 N/mm^2 , resistenza alla diffusione del vapore (m) pari a 15, adesione al laterizio per trazione diretta maggiore di $0,5 \text{ N/mm}^2$, adesione al laterizio per taglio maggiore di $0,7 \text{ N/mm}^2$, resistenza allo sfilamento di barre d'acciaio filettate maggiore di 3 N/mm^2 , pH > 10.5 e classe A1 di reazione al fuoco.

Questa tipologia di intervento viene impiegata in particolare come una barra armata iniettata.

Il vantaggio più importante del suo impiego è la canula per le iniezioni che è posta al suo interno. Questa durante l'iniezione può essere ritirata gradualmente dall'interno del perforo e evitare vuoti d'aria all'interno.

In merito all'intervento di consolidamento statico della Torre sono state innestate delle coppie di tiranti.

A quota 18,0 m circa (quota estradosso solaio) n° 2 + 2 (coppie di tiranti ortogonali tra loro) tiranti $\Phi 24$ in acciaio inossidabile AISI 304 (tensione di rottura a trazione pari a 4500 daN/cm^2) della lunghezza pari a circa 6,00 m l'uno.

A quota 21,0 m circa (quota sommità piedritto volta a botte) n° 2 tiranti $\Phi 24$ in acciaio inossidabile AISI 304 (tensione di rottura a trazione pari a 4500 daN/cm^2) della lunghezza pari a circa 6,00 m l'uno.

L'utilizzo di tessuto in acciaio STEEL 1800, arrotolato intorno alla catena, fissato adeguatamente, e successivamente iniettato con speciale miscela BFLUID X/B serve ad aumentare la resistenza meccanica della zona di contatto tra la catena e la muratura esistente.

Di fatto non è una calza tipo BOSSONG, ma è comunque un sistema efficace per contenere l'iniezione vicino al perforo in situazioni di muratura a sacco.

A quota 28,0 m circa (quota impalcato di copertura) n° 1 sistema di cerchiaggio/cordolatura in acciaio corten (tensione di rottura a trazione pari a 4650 daN/cm^2) a sezione ad L 150x250x10 mm, collegata al setto murario perimetrale (in corrispondenza dei piedritti) con tirafondi $\Phi 22$ mm passo 32 cm in acciaio inossidabile AISI 304 L = 40+5 cm.

In merito alle verifiche sui tiranti/cerchiaggio suddetti, e' stato condotto, in base ai dati a disposizione, uno studio con livello di valutazione LV2 mediante analisi cinematica lineare della porzione di Torre in questione (è stato simulata la fessurazione dei paramenti murari perimetrali della Torre all'interno del piano di sviluppo longitudinale della volta a botte) (Rosa 2012).

Il meccanismo cinematico preso in considerazione è stato, per le considerazioni espresse sopra, quello del ribaltamento.



Figura 9. Tiranti: utilizzo di tessuto in acciaio STEEL 1800, arrotolato intorno alla catena, fissato adeguatamente, e successivamente iniettato con speciale miscela BFLUID X/B.



Figura 10. Tiranti: fase di serraggio

5 IL RESTAURO DELLE STRUTTURE LIGNEE

Il restauro è stato realizzato tramite il consolidamento delle teste delle travi in legno e il monitoraggio e sostituzione delle travi e tavolato con verifica statica e aggiunta di strutture realizzate in profili di acciaio corten in grado di garantire il collegamento delle strutture lignee alla muratura. La pulitura criogenica è stata effettuata tramite una micro sabbatura ad



Figura 11. Capriata: degrado della struttura lignea.



Figura 12. Capriata: degrado della struttura lignea.



Figura 13. Capriata: ricostruzione della parte marcita.

iezione a bassa pressione di ghiaccio secco, ovvero di cilindretti di anidride carbonica allo stato solido di diametro massimo di 3mm.

Le protesi della capriata della cella campanaria sono state realizzate con betoncino sintetico.

La preparazione delle teste di travi da ricostruire è stata fatta mediante pulizia della parte degradata, eseguendo un taglio a ginocchio per rimuovere il materiale marcescente e l'esecuzione di quattro perforazioni ortogonali alla sezione della trave, per il fissaggio di barre Ø 12 lunghezza 100 cm in acciaio AISI304 con resina.

In fine è stata eseguita la cassatura delle sezioni da ricostruire con tavolette di legno di recupero.

Nel solaio a quota +9 m è stato eseguito il rinforzo statico mediante la tecnica legno-legno,

tramite il recupero delle travi esistenti e con il collegamento con spinotti a tavoloni per formare sezioni più rigide a T.

6 LE OPERE DI MANUTENZIONE

Oltre a questi interventi strutturali sono state eseguite opere di manutenzione degli ingranaggi degli orologi, in particolare si è resa necessaria la sostituzione del motore delle campane e un quadro elettrico aggiuntivo, con smontaggio delle lancette degli orologi.

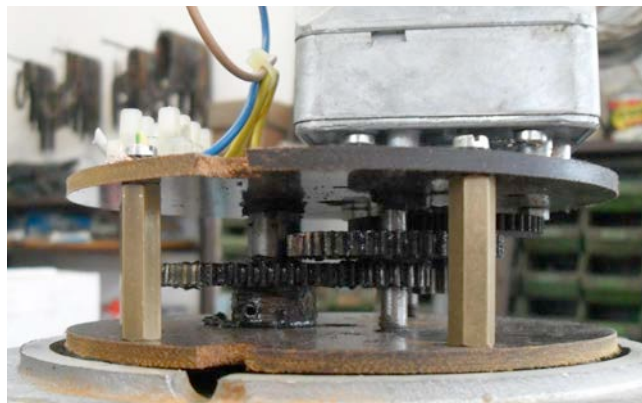


Figura 14. Campana: ricevitore meccanismi.



Figura 15. Orologi: lancette.

Durante lo smontaggio dei servomotori dalle staffe di sostegno per la modifica della posizione degli stessi, è stato riscontrato che le lancette non erano bilanciate creando problemi di mal funzionamento (indicazione dei minuti con errore +/- 5 min).

Questo ha prodotto una eccessiva usura nelle bronzine e organi di trascinalamento soprattutto negli ingranaggi del gruppo riduttore servomotore quadrante lato est con conseguente necessità di sostituzione.

Si è quindi provveduto con intervento urgente alla sistemazione delle lancette con bilanciatura delle stesse, sostituzione dei cannotti, sostituzione delle bussole di sostegno lancette delle ore, sostituzione delle bronzine di scorrimento,

sostituzione della bulloneria corrosa e ingrassaggio delle bronzine e delle aste di scorrimento.

Rimontato il tutto, sono state riposte in opera e messo in fase i quadranti. Inoltre è stato realizzato l'impianto di dissuasori anti-volatili e la verifica dell'impianto parafulmine, con la sostituzione dell'attrezzatura datata.

REFERENCES

- Caramel G. 2012. *Prove di laboratorio - trazione su campioni di acciaio - su speciali connettori di ancoraggio in trefoli di acciaio al carbonio*. Bolzano CNR e Università di Venezia (a cura di), 1979. *Il mattone di Venezia – Stato delle conoscenze tecnico scientifiche, atti del convegno presso Fondazione Cini, Venezia*
- AA.VV. 1998. *Noale dei Tempesta*.
- Binda L., 1993. *Strengthening of masonry by injection technique*. 6th North American Masonry Conf., Philadelphia, U.S.A.
- Dal Maestro G., 1994. *Noale tra storia e memoria*, Spinea, Multigraf.
- Petranzan, M. (a cura di), 2005. *Patrizia Valle. Limen: il segno del passaggio. Conservazione e valorizzazione del sistema fortificato a Cittadella in Anfione e Zeto, quaderni/restauro*, Il Poligrafo casa editrice.
- Pigozzo F. (a cura di), 2006. *Noale Città murata*, Cierre Grafica, Verona.
- R&C Lab, 2012. *Torre dell'orologio-Noale (Ve)- Indagini di laboratorio su 20 campioni di malte, intonaci a mattoni*, Altavilla Vicentina, Vicenza
- Rosa M., 2012. *Cinta muraria di Noale: interventi di consolidamento con miglioramento sismico Torre dell'Orologio. Relazioni I/II/III*. Braganze, Vicenza.
- Valle P., 1997. *Il restauro architettonico delle mura di Cittadella in Lacune in Architettura, in Atti Convegno di studi Bressanone* a cura di Biscontin G., Driussi G.
- Valle P. (a cura di), 2009. *Rocca dei Tempesta Progetto di Restauro-Cantiere Aperto*, Tipografia Bortolato Noale, Venezia.
- Valle P., 2011. *Restauro e consolidamento statico della Porta e della Torre dell'Orologio Primo lotto funzionale. Progetto definitivo–esecutivo. Relazione generale tecnica e specialistica*. Venezia.
- Valle P., 2012. *Restauro e consolidamento statico della Porta e della Torre dell'Orologio Primo lotto funzionale. Perizia suppletiva e di variante. Relazione*. Venezia