

COMUNE DI MONTICHIARI

PROVINCIA DI BRESCIA

LAVORI DI RISANAMENTO DELLE MURA DEL CASTELLO BONORIS
Lato ovest della cinta muraria

PROPOSTE D'INTERVENTO RELATIVAMENTE ALLA
SEZIONE 23-23
ANALISI INDICATIVA DEI COSTI

Nell'ambito dell' "Affidamento incarico dei servizi professionali relativi alla "Progettazione definitiva, esecutiva, direzione lavori, contabilità, coordinamento per la sicurezza in fase di progettazione e di esecuzione, c.r.e. per la realizzazione dei lavori di risanamento delle mura del castello Bonoris".
CIG: ZB9170CD1E".

Gussago, febbraio 2016

Alla luce di quanto emerso nell'incontro del 09.02.2016 presso la sede della Soprintendenza a Brescia, il presente documento illustra in modo sintetico la proposta tecnica di intervento per il risanamento delle mura del Castello Bonoris relativamente alla sezione più gravosa (la numero 23) al fine di ottenerne approvazione.

1. PREMESSE

L'intervento di consolidamento proposto prevede la messa in opera di elementi discreti, "chiodi", il cui funzionamento è assimilabile alla tecnica del "soil nailing" adoperata per stabilizzare scarpate e versanti di varia inclinazione (anche verticali), naturali o modificati dall'uomo, in assenza o presenza di opere di sostegno esistenti. La tecnica di soil nailing o "chiodatura" consiste nell'installare, generalmente per perforazione, delle barre di acciaio (chiodi) che interagiscono con un ampio volume di terreno circostante, grazie all'iniezione di una boiaccia di cemento, migliorandone la resistenza a rottura. Le forze instabilizzanti che gravano sul pendio o sul manufatto da consolidare vengono in questo modo prese in carico dagli elementi di rinforzo il cui funzionamento (a trazione) è per certi versi assimilabile a quello dei tiranti di ancoraggio.

Come concordato, è stata esaminata la sezione n. 23 di cui alla Tav. 2 del Rilievo del Muro Ovest, documento a cura dell'ing. Gianpietro Bocchi, luglio 2015. La sezione n. 23, prossima al tratto di muro crollato nel 2002, è stata scelta su suggerimento del funzionario della Soprintendenza arch. Colletta ed è ubicata all'interno della proprietà Bertanza. In questa sezione il muro del castello ha un'altezza complessiva di 8,16 m e di 7,10 m al netto del parapetto. Le indagini precedentemente svolte per la caratterizzazione del paramento murario, indicano spessori dello stesso variabili da 0,5 a 1,0 m (il parapetto ha uno spessore di circa 0,3 m), non si hanno informazioni riguardo alla presenza e dimensioni di elementi di fondazione al piede del muro. Il muro, la cui storia e caratteristiche strutturali sono state ricostruite in modo accurato dai professionisti precedentemente incaricati dall'Amministrazione Comunale, risulta assai eterogeneo, costituito da ciottoli, blocchi in pietra e mattoni, legati con malta; sono presenti numerosi fori di drenaggio, ma allo stato attuale la maggior parte di essi risulta intasata e non

funzionante.

2. INQUADRAMENTO GEOTECNICO, SINTESI

A monte del muro sono state eseguite alcune prove e indagini che hanno consentito di definire le proprietà fisico-meccaniche del terreno retrostante al paramento. In particolare per la sezione n. 23, si è fatto riferimento alle prove penetrometriche P1 e P2, alle risultanze della trincea esplorativa T1 e ai risultati delle prove di laboratorio condotte sul campione di terreno prelevato sul fondo della suddetta trincea (informazioni reperibili nella relazione a firma del dott. Geol. Mario Pesce, gennaio 2003). Le indagini hanno indicato la presenza di terreni di riporto presenti dal piano di calpestio a monte del muro fino a circa 1,2 m di profondità. Successivamente sono presenti terreni limoso sabbiosi e argillosi mediamente consistenti, e poi terreni ghiaiosi di buone proprietà meccaniche.

Tale situazione stratigrafica ricorre, pur con una certa locale variabilità, lungo buona parte dello sviluppo del muro che è stato oggetto di indagini. Per la completa caratterizzazione dei terreni che interagiscono con l'opera da consolidare è stato richiesto all'Amministrazione Comunale di eseguire una campagna di indagini integrative.

3. ANALISI PRELIMINARE OPERE CONSOLIDAMENTO

L'analisi delle opere necessarie per il consolidamento del muro è stata condotta in via preliminare con riferimento alla circolare n. 7 del 2003 della Federal Highway Administration (FHWA, U.S.A.), documento tecnico che fornisce utili indicazioni per la progettazione di interventi di chiodatura (o "soil nailing") del terreno.

Il pre-dimensionamento dell'intervento può essere condotto, adottando alcune ipotesi semplificative, tramite l'impiego alcuni abachi che forniscono, in funzione delle geometria del problema e delle caratteristiche del terreno sostenuto, la lunghezza minima delle barre (chiodi) e il valore massimo della forza di trazione cui tali barre sono assoggettate, per garantire un assegnato coefficiente di sicurezza.

Principali ipotesi di calcolo:

- Altezza del muro $H = 7,1$ m, inclinazione del paramento compresa tra 0° e 10° rispetto alla verticale;
- disposizione delle barre a quinconce con interasse verticale S_v e orizzontale S_h pari a 1,5-1,6 m;
- inclinazione delle barre/chiodi pari a 15° rispetto all'orizzontale;
- lunghezza delle barre/chiodi uniforme su tutta l'altezza del paramento;
- caratteristiche meccaniche del terreno a monte del muro: terreno omogeneo, peso di volume 19-20 kN/m^3 ; angolo di resistenza al taglio 30° - 31° , coesione $c' = 5$ -10 kPa, resistenza allo sfilamento delle barre 50-100 kPa;
- chiodi: barre autoperforanti in acciaio con punta a perdere, diametro esterno barra 32 mm (carico a snervamento pari a 250 kN), perforazione non inferiore a 60 mm, cementazione con iniezione di boiacca di cemento.

Lunghezza barre.

Sulla base delle ipotesi precedentemente illustrate, gli abachi forniti dalla circolare della FHWA indicano che il rapporto L/H (lunghezza delle barre/altezza del fronte) deve essere non inferiore a 1,2, pertanto la lunghezza della barre da installare deve essere non inferiore a 8,5 m. In via cautelativa, si propone pertanto di adottare barre di lunghezza utile non inferiore a 10,0 m per i tre livelli di barre più prossimi al piano di calpestio a monte del muro, e di lunghezza utile non inferiore a 7,0-8,0 m per i due livelli successivi (più prossimi al piede del muro); per lunghezza utile si intende la lunghezza della barra al netto della perforazione necessaria per attraversare il paramento murario.

Si allega elaborato grafico (Tav.1532PR01R00-S23) relativo alla Sezione n. 23 nel quale sono state inserite le barre per il consolidamento del muro.

Sollecitazione delle barre, verifica a punzonamento: piastre di ancoraggio.

Ancora sulla base delle ipotesi precedentemente illustrate, gli abachi forniti dalla circolare

della FHWA indicano un valore massimo della forza di trazione agente sulle barre pari 40-50 kN. In corrispondenza della piastra di ancoraggio posta sul paramento murario per diffondere il carico della barra/chiodo si stima un carico massimo pari a circa 45,0 kN (4,5 t). Tali valori risultano ampiamente inferiori al carico di snervamento delle barre prescelte.

Ipotizzando di adoperare una piastra di ancoraggio/ripartizione di forma circolare (o di forma analoga, ad essa riconducibile) di diametro pari a 0,30-0,35 m, la tensione tangenziale generata dal tiro della barra lungo una ipotetica superficie di punzonamento attraverso lo spessore del muro (assunto cautelativamente pari a 0,5 m), risulta inferiore a $1,0 \text{ kg/cm}^2$, pertanto compatibile con la sicurezza della muratura in esame rispetto a meccanismi di rottura locale per punzonamento per effetto del tiro delle barre.

Il progetto esecutivo dell'intervento di consolidamento sarà esteso a tutte le sezioni del muro ovest del castello ritenute significative e sarà completato con più accurate verifiche degli elementi installati, della muratura nonché verifiche di stabilità globale del sistema muro-terreno.

Infine, nell'ambito del progetto di consolidamento si predisporranno idonei interventi per il drenaggio delle acque eventualmente accumulabili a monte del muro e un idoneo sistema di monitoraggio dell'opera.

4. STIMA DEI COSTI D'INTERVENTO

COMPUTO METRICO PRELIMINARE

SEZIONI 1,2,3,4

Per le sezioni tipo 1, 2, 3 e 4, che corrispondono ad una estensione longitudinale del muro di circa 26,00 ml, si stima la necessità di 20,00 m di barre d'ancoraggio per metro lineare di sezione, da cui:

$$26,00 \text{ ml} \times 20 \text{ m di barre/m} = 520,00 \text{ m}$$

PROGENIA STUDIO ASSOCIATO

Ing. Alberto Bonfadelli – Ing. Milena Dallera

25064 Gussago (Bs) – Via Sale 125/e – Tel.030 2521554 – Fax.030 2776275 – P.Iva 03310940170 - mal: info@studioprogenia.it

SEZIONI 5,6,7,8,9,10,11,12,13

Per le sezioni dalla 5 alla 13, che corrispondono ad una estensione longitudinale del muro di circa 83,50 ml, si stima la necessità di 18,00 m di barre d'ancoraggio per metro lineare di sezione, da cui:

$$83,50 \text{ ml} \times 18 \text{ m di barre/m} = 1.494,00 \text{ m}$$

SEZIONI 14,15,16,17

Per le sezioni tipo 14,15,16 e 17, che corrispondono ad una estensione longitudinale del muro di circa 38,00 ml, si stima la necessità di 18,00 m di barre d'ancoraggio per metro lineare di sezione, da cui:

$$38,00 \text{ ml} \times 18 \text{ m di barre/m} = 684,00 \text{ m}$$

SEZIONI 18,19,20,21

Per le sezioni tipo 18,19,20 e 21, che corrispondono ad una estensione longitudinale del muro di circa 32,00 ml, si stima la necessità di 24,00 m di barre d'ancoraggio per metro lineare di sezione, da cui:

$$32,00 \text{ ml} \times 24 \text{ m di barre/m} = 768,00 \text{ m}$$

(NB: non si sono considerati 10 m circa di muro già ricostruito)

SEZIONI 22,23,24,25,26,27

Per le sezioni dalla 22 alla 27, che corrispondono ad una estensione longitudinale del muro di circa 20,00 ml, si stima la necessità di 30,00 m di barre d'ancoraggio per metro lineare di sezione, da cui:

$$20,00 \text{ ml} \times 30 \text{ m di barre/m} = 600,00 \text{ m}$$

Riassumendo:

SEZIONE	ESTENSIONE [m]	STIMA NUMERO PIASTRE	STIMA LUNGHEZZA ANCORAGGI [m]
1-2-3-4	26,00	52	520,00
5-6-7-8-9-10-11-12-13	83,50	168	1.494,00
14-15-16-17	38,00	76	684,00
18-19-20-21	32,00	78	768,00
22-23-24-25-26-27	20,00	72	600,00
TOTALE	199,50	446	4066,00

Si ricava dunque:

1.	Impianto e spianto cantiere	8.000,00 €
2.	Ancoraggi 4.066 m x 70,00 €/m	284.620,00 €
3.	Piastre n. 446 x 30 €/cad	13.380,00 €
4.	Prove di trazione, collaudi	5.000,00 €
5.	Ponteggio su 50% muro	20.000,00 €
6.	<u>Sistema di monitoraggio</u>	10.000,00 €
	TOTALE	341.000,00 €

I tecnici

Ing. Milena Dallera

Ing. Alberto Bonfadelli

PROGENIA STUDIO ASSOCIATO

Ing. Alberto Bonfadelli – Ing. Milena Dallera

25064 Gussago (Bs) – Via Sale 125/e – Tel.030 2521554 – Fax.030 2776275 – P.Iva 03310940170 - mal: info@studioprogenia.it