



COMUNE DI PRATO
SERVIZIO LAVORI PUBBLICI, GRANDI OPERE, ENERGIA E PROTEZIONE CIVILE
U.O. RECUPERO DEL PATRIMONIO STORICO

Restauro del Bastione delle Forche



PROGETTO ESECUTIVO

COMMITENZA: Comune di Prato

ASSESSORE AI LAVORI PUBBLICI: Roberto CAVERNI
SERVIZIO LAVORI PUBBLICI, GRANDI OPERE, ENERGIA E PROTEZIONE CIVILE - Dirigente del servizio: Ing. Lorenzo FRASCONI
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Arch. Francesco PROCOPIO

PROGETTO: Raggruppamento Temporaneo di Professionisti:

CAPOGRUPPO

SPIRA
ENGINEERING



SPIRA S.r.l.

Servizi Progettazione Integrata per il Restauro Architettonico

Direttore Tecnico (Art.254 DPR 207/10) :

Ing. Massimo MARRANI - Ordine Ingegneri di Firenze n.1594

www.studiospira.it

PROGETTISTA E COORDINATORE DELLA PROGETTAZIONE

E DIREZIONE DEI LAVORI:

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Prof. Arch. Giuseppe CRUCIANI FABOZZI

Ing. Massimo MARRANI

MANDANTI:

PROGETTISTA E D.O. OPERE STRUTTURALI E DI CONSOLIDAMENTO:

Prof. Ing. Andrea VIGNOLI - Studio Tecnico Associato di Ingegneria

di Prof. Ing. Andrea VIGNOLI e Ing. Claudio CONSORTI

Arch. Alessandro PAGLIAI

Arch. Stefano BALDI

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE:

AFFINAMENTO DEL RILIEVO, GRAFICA ED EDITING:

COLLABORATORI:

Arch. Sara MARRANI, Ing. Silvio SPADI, B. Arch. Christopher EVANS,

P.I. Alessio ALESSI, Dott. Agr. Marco CEI, Arch. Luca UGOLINI,

Ing. Annalisa Cinelli, Ing. Riccardo Regoli

PROGETTO STRUTTURE

Relazione specialistica delle strutture

PST-REL

Questo progetto è stato realizzato da Spira srl nel rispetto delle regole stabilite dal proprio sistema di gestione qualità conforme ai requisiti ISO 9001/2008 valutato da BUREAU VERITAS Certification e coperto da certificato n°167233

DATA: Settembre 2012

Rev.:

Gli interventi strutturali previsti sul Bastione delle Forche sono i seguenti:

- realizzazione di una nuova scala di accesso al Bastione in prossimità della scala esistente;
- realizzazione del parapetto lungo il perimetro esterno del Bastione;
- realizzazione di una gabbionata di contenimento del terreno, in sostituzione del muro parzialmente crollato, sul lato ovest del Bastione;
- realizzazione di un palo per l'illuminazione;
- messa in sicurezza della parete del primo edificio che si affaccia sul percorso pedonale interno del Bastione, durante le fasi di demolizione delle parti pericolanti dello stesso;
- sostituzione di murature lesionate e ricostituzione di brecce nelle zone lesionate di ogni prospetto, consolidamento delle strutture murarie lungo i prospetti sud ed est del Bastione, rifacimento e ricostruzione del paramento murario nello spigolo del prospetto est in cui si è verificato il distacco del paramento.

Preventivamente alla valutazione degli interventi di consolidamento strutturale delle murature sono state eseguite delle indagini consistenti nell'estrazione di carote e in scavi per la verifica dello stato di conservazione del paramento murario della parte sommitale. Sulla parete del prospetto est sono stati eseguiti dei carotaggi sia sulla muratura con paramento esterno in mattoni sia su quella con paramento esterno in pietrame. A seguito di tali carotaggi la muratura alla base è risultata di buona fattura e consistenza, mentre la muratura superiore in pietrame è risultata di scadenti caratteristiche meccaniche e caratterizzata da una pressoché totale assenza di malta. Per la valutazione della parte terminale della muratura è stato eseguito un saggio mediante uno scavo a sezione obbligata fino alla profondità di 3,30 m dal piano di calpestio del terrapieno del Bastione, fino a ritrovare il cambiamento di sezione. Sono stati quindi effettuati dei rilievi diretti.

Per la redazione del progetto esecutivo sono state effettuate le indagini geologiche per la valutazione delle caratteristiche del terreno del terrapieno ai sensi della Normativa vigente (D.M. 14/01/2008 - *"Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"*). In particolare sono stati prelevati dei campioni del terreno ed è stata effettuata una prova penetrometrica standard. Da tali indagini risulta che il terrapieno del Bastione è costituito da tre strati: un primo strato di spessore di circa 6,80 m costituito da terreno di riporto, un secondo strato di circa 1,20 m costituito da terreno naturale limo-sabbioso, ed un terzo strato costituito da ghiaie.

Si analizzano di seguito i singoli interventi nel dettaglio:

SCALA DI ACCESSO

La nuova scala di accesso al Bastione permette l'accesso in quota dal livello del percorso pedonale esistente. Il primo tratto della scala si sviluppa esternamente alle mura del Bastione ed è disposta ortogonalmente alle mura; la quota di partenza è quella dell'attuale percorso pedonale e la quota di arrivo è al livello dell'attuale accesso. La struttura è realizzata in c.a. mediante pareti portanti la soletta ed i gradini. La larghezza della rampa è di 2.35 m. Il secondo tratto della scala si sviluppa internamente lungo la parete del Bastione che si affaccia sul percorso pedonale ed è posizionata in maniera ortogonale rispetto a quella attualmente presente; è composta da due rampe e da un pianerottolo intermedio. La struttura è realizzata mediante tre gradoni in cemento armato in modo tale da minimizzare lo scavo di sbancamento; a contenimento del terreno del terrapieno sono realizzati dei muri in cemento armato con sezione trasversale ad L. Le pareti hanno spessore 30 cm ed altezza variabile, i gradoni di fondazione, di altezza variabile, costituiscono la struttura portante della scala. La larghezza della rampa è di 1.60 m. Per il dimensionamento della scala sono state applicate le azioni definite dalla Normativa vigente (D.M. 14/01/2008 - "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni") per la categoria di opera in oggetto.

Si prevede l'allargamento dell'apertura dell'attuale accesso alla scala mediante la realizzazione di tre cerchiature in acciaio Cor-Ten, nello spessore della parete del Bastione, con profilati del tipo HEB160. Ogni cerchiatura è costituita da un profilato in acciaio sagomato ad arco che segue l'andamento della muratura esistente e da due montanti verticali saldati alla piastra di base collegata alla muratura sottostante mediante perforazioni armate. Le tre cerchiature sono fra loro collegate attraverso dei profilati in acciaio tipo UPN120, uniti ai profili ortogonali mediante unioni bullonate.

I materiali utilizzati sono calcestruzzo C 28/35 e acciaio B450C per le opere in cemento armato. L'acciaio Cor-Ten è del tipo S355W.

PARAPETTO

Lungo il perimetro esterno del Bastione è prevista la realizzazione di un parapetto in acciaio Cor-Ten, costituito da montanti strutturali posti ad interasse di 1,50 m, di altezza rispetto al finto di 1,05 m, e con sezione trasversale variabile dalla sommità alla base; tra questi montanti è disposto il corrimano, un elemento inferiore a chiusura ed ulteriori montanti verticali.

Al fine di soddisfare la verifica alle azioni orizzontali previste dalla Normativa vigente (D.M. 14/01/2008 - "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"), la struttura di fondazione è

costituita da un cordolo in cemento armato di sezione trasversale 50×70 cm e da travi ortogonali di dimensioni 50×20 cm pose ad interrasse pari a 1,50 m che costituiscono l'appoggio dei montanti del parapetto.

I materiali utilizzati sono calcestruzzo C 25/30 e acciaio B450C per le opere in cemento armato.

GABBIONATA

A causa del parziale crollo del muro interno sul lato Ovest, per garantire la stabilità del terrapieno è necessaria la realizzazione di una gabbionata metallica di contenimento del terreno. L'opera di sostegno è costituita da due tratti: il primo in corrispondenza della massima altezza di terreno da contenere (circa 4,50 m) ed il secondo in corrispondenza della parte del muro che si sviluppa verso l'esterno, in cui è presente il gradone della parete esterna del Bastione, e quindi di altezza inferiore rispetto al primo tratto.

Nella parte finale della gabbionata, in corrispondenza della zona in cui il muro di contenimento esistente presenta un aumento di sezione trasversale, è realizzata una gabbionata di rivestimento della stessa altezza di quella adiacente, ma con larghezza tale da creare continuità tra il muro esistente e la gabbionata di nuova realizzazione.

Per il dimensionamento della gabbionata sono state effettuate le indagini geologiche ai sensi della Normativa vigente (D.M. 14/01/2008 - "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"). La gabbionate sono formate elementi di lato 2×1 m ed altezza 0.50 - 1 m. Tali gabbioni sono riempiti con pietrame non gelivo, non friabile, non dilavabile e di buona durezza, con peso specifico non inferiore a 2500 kg/m³.

PALO PER L'ILLUMINAZIONE

Sul terrapieno in prossimità della nuova scala, è prevista l'installazione di un palo per l'illuminazione con tre fari in sommità, in acciaio, di altezza di 5.65 m dal piano finito, con sezione trasversale tubolare variabile dalla base alla sommità.

La struttura di fondazione, per resistere alle azioni definite dalla Normativa vigente (D.M. 14/01/2008 - "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" e CNR-DT 207/2008 "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni") è costituita da un plinto in cemento armato di forma parallelepipedica di base quadrata di lato 0.95 m ed altezza

di 1.00 m. I materiali utilizzati sono calcestruzzo C 25/30 e acciaio B450C per le opere in cemento armato.

MESSA IN SICUREZZA DEL PRIMO EDIFICIO

Il primo edificio esistente sul Bastione presenta un parziale crollo della copertura, con conseguenti dissesti delle pareti est e sud ed instabilità nei confronti delle azioni orizzontali della parete ovest. Per la messa in sicurezza della pista ciclabile e del terrapieno si rendono necessarie le demolizioni delle pareti est e sud e la realizzazione di opere provvisorie sulla parete ovest. Tali strutture consistono in tre travi in acciaio incassate nei muri ortogonali, disposte una alla base della parete, una in sommità ed una posta al livello del solaio di calpestio ad una distanza di circa 3,00 m dalla parete stessa e collegata alla trave superiore mediante un tubolare inclinato; la trave superiore è collegata con la parete ovest mediante perforazioni armate e piastre di contrasto. Tale struttura in acciaio impedisce il ribaltamento della parete ovest verso l'interno. Per impedire il ribaltamento verso l'esterno è previsto un consolidamento con betoncino armato del solo lato interno della facciata; l'armatura del betoncino è saldata ai profili in acciaio superiore ed inferiore disposti lungo la parete.

Per facilitare la messa in opera dell'elemento tubolare inclinato, il profilato è diviso in due parti collegate mediante uno spezzone di tubolare di diametro maggiore, saldato ai due tratti lungo la circonferenza e con bottoni di saldatura. Il profilato inclinato è collegato alle travi orizzontali attraverso perni, realizzati mediante due piastre collegate con un bullone. In questo modo possono essere facilmente recuperate le imprecisioni derivanti dalla posa in opera delle travi.

I profilati metallici sono in acciaio zincato S275JR. Il betoncino armato verrà eseguito con rete elettrosaldata in acciaio B450C.

CONSOLIDAMENTO DELLE MURATURE:

Le mura del Bastione sono costituite da murature con paramento costituito in vario modo e da muratura interna in pietrame tondeggiate e pilloli di fiume.

Nella parte bassa il paramento è realizzato in mattoni pieni che risultano in buono stato di conservazione pur avendo in alcuni casi delle mancanze e la necessità di alcune sostituzioni. A tergo del paramento in mattoni vi è un paramento in pietrame squadrato dal quale inizia il sacco; il paramento in pietrame fa da supporto a quello in mattoni. Dalla parte lato terra il

paramento è invece costituito da pietrame misto. La malta risulta essere di adeguata resistenza.

Dalla quota -3.30 m dal calpestio del Bastione fino in sommità la muratura si rastrema e la muratura perde il rivestimento in mattoni risultando a doppio paramento in pietrame misto. Lo stato di conservazione del paramento esterno in pietrame risulta essere molto scadente con giunti di malta deteriorati ed in alcuni casi assenti. In tale porzione di muratura anche il paramento interno risulta essere in precario stato di conservazione.

In alcuni punti della parte a facciavista in pietrame sono presenti apparati radicali di notevole estensione che hanno scompaginato la muratura con evidenti spancamenti verso l'esterno. Tale fenomeno è presente nella parete sud anche per porzione della muratura realizzata con il paramento esterno in mattoni.

Per la valutazione degli interventi di consolidamento strutturale della muratura del Bastione, sono stati eseguiti una serie di indagini con l'estrazione di carote e con scavi per la verifica dello stato di conservazione del paramento murario della parte sommitale. In particolare i carotaggi sono stati eseguiti sia sulla muratura con paramento esterno in mattoni che quella con paramento esterno in pietrame nella parete est, parallela al corso del Fiume Bisenzio. L'ubicazione dei carotaggi è riportata nella figura seguente.



Il carotaggio effettuato sulla porzione bassa della muratura è stato spinto fino ad una profondità di circa 2.50 m. Si riporta una immagine della carota estratta. Si noti che il parziale disgregamento della carota è dovuto all'azione meccanica esercitata per l'estrazione del materiale e non al cattivo stato di aggregazione della muratura, che risulta quindi di buona fattura e consistenza.



Posizione carota alla base della muratura



Stratigrafia della carota estratta alla base della muratura

Il carotaggio eseguito in posizione superiore sulla muratura con paramento esterno in pietrame, spinto ad una profondità di circa 2.20 m, ha mostrato una muratura di pietrame di scadenti caratteristiche meccaniche e caratterizzata da una pressochè totale assenza di malta. Non è stato possibile infatti estrarre una carota intera per assenza del legante; il materiale estratto è quindi costituito da pietrame sciolto come si può evincere dalla fotografia sotto riportata.



Posizione carota in sommità alla muratura



Materiale estratto dal carotaggio

Visto lo stato di consistenza riscontrato sulla parte terminale della muratura, si è deciso un approfondimento dell'indagine per verificare lo stato di consistenza del paramento interno. Pertanto è stato eseguito un saggio mediante uno scavo a sezione obbligata con escavatore spinto fino alla profondità di -3.30 m dal piano di calpestio del Bastione e quindi fino a ritrovare il cambiamento di sezione. Nelle fotografie sottostanti sono riportate alcune fasi del saggio.



Particolare dello scavo

La valutazione dello stato di consistenza delle murature del Bastione è stato poi completato con una serie di rilievi diretti.

Alla luce delle indagini e dei rilievi eseguiti, si ritiene che la porzione di muratura inferiore con paramento in mattoni facciavista non necessiti di interventi strutturali volti al consolidamento della compagine muraria, ad eccezione di un intervento sul prospetto sud volto a ripristinare la muratura che è stata scalzata dalle radici delle piante.

Pertanto gli interventi strutturali sulle murature sono concentrati sulla parte superiore con paramento in pietrame. Per quelle porzioni che presentano danni estesi provocati dalle radici che ne impediscono il consolidamento, si prevede la sostituzione di porzioni di muratura con il rimpiego, ove possibile, del materiale smontato. Per le altre parti in cui la muratura si presenta con lacune o lesioni si prevede il consolidamento con la tecnica del cuci-scuci. La lavorazione è eseguita in modo da minimizzare le parti da demolire, operando ove possibile con la tecnica del cuci - scuci.

Vista l'assenza del legante nella parte superiore del Bastione, si sono previste iniezioni di malta di calce aerea al fine di riempire i vuoti tra gli elementi lapidei, preceduta dalla ristilatura e sigillatura dei giunti su entrambe le facce del paramento murario.

Si utilizza una malta per stuccatura tipo Sika R-I-Z, del tipo ad alta traspirabilità. La malta è conforme ai requisiti richiesti alle malte tipo R come da normativa UNI EN 998-1.

Per le iniezioni si utilizza una malta a base di calce idraulica naturale tipo Sika Consolidante, a base di calce idraulica naturale NHL 3.5 secondo EN 459-1, esente da cemento.



Particolare del cambio di sezione della muratura; si noti in fondo scavo la muratura scoperta