

COMUNE DI NAPOLI

Servizio
Valorizzazione della
Città Storica

RUP: Arch. Claudia Melella

DIRIGENTE: Arch. Fabio Vittoria

**Progetto Esecutivo di messa in sicurezza e di
Restauro delle Facciate della Galleria della
Vittoria fronte occidentale - fronte orientale e
adiacente muro di sostegno di via Cesario Console**

PROGETTAZIONE

STUDIO BATTISTA ASSOCIATI - (Capogruppo)-Arch. Giancarlo Battista
Prof. Ing. Mario Rosario Migliore
Dott. Geol. Fabio De Vincentiis
R.O.M.A. Consorzio
Arch. Angelo Piccolo

Contatti: STUDIO BATTISTA ASSOCIATI - 0810681441 - studiobattistaas@tiscali.it

Codice
Elaborato
ESE_SP_07

Titolo
RELAZIONE STRUTTURALE

Scala
-
Data
15 | 05 | 2019

1	Progetto degli interventi di natura strutturale e costruttiva.....	2
1.1	Descrizione dell'intervento.....	2
1.2	Criticità emerse nel corso dei sopralluoghi	2
1.3	Finalità e criteri del progetto costruttivo e strutturale.....	5
1.4	Descrizione degli interventi previsti nel progetto delle strutture.....	6
2	Caratteristiche dei materiali	8
2.1	Modellazioni dei materiali	8
2.2	Tessuti in trefoli di acciaio galvanizzato.....	8
2.3	Corde in fibre di acciaio.....	8
2.4	Malta bicomponente	9
3	Azioni sulle strutture.....	10
3.1	Classificazione delle azioni.....	10
3.2	Analisi dei carichi verticali	10
3.2.1	Peso proprio elementi costituenti la struttura	10
3.2.2	Carichi permanenti	10
4	Rinforzo degli architravi sul fronte di via arcoleo	11
4.1	Analisi dei carichi agenti	11
4.2	Sollecitazioni flettenti.....	11

1 PROGETTO DEGLI INTERVENTI DI NATURA STRUTTURALE E COSTRUTTIVA

1.1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La presente relazione fa parte integrante e sostanziale del progetto degli interventi di messa in sicurezza e Restauro delle Facciate della Galleria della Vittoria fronte occidentale - fronte orientale e adiacente muro di sostegno di via Cesario Console.

Il progetto prevede, infatti, il consolidamento degli architravi in cemento armato presenti sulla facciata monumentale prospettante la via Arcoleo.

Il fronte oggetto di restauro è caratterizzato dall'alternanza di conci in piperno e travertino, questi ultimi sagomati con una cornice superiore a toro. L'ornia è inquadrata lateralmente da un doppio ordine di paraste sempre a conci alternati di travertino liscio e piperno a punta di diamante e superiormente da una trabeazione che sostiene una balaustra dell'ordine superiore. L'ornato architettonico del livello superiore è costituito da un'edera centrale completamente rivestita in travertino con volta a lacunari e due nicchie laterali architravate, rivestite internamente a intonaco liscio.



Foto 1 – Il fronte sul lato di via Arcoleo

1.2 CRITICITÀ EMERSE NEL CORSO DEI SOPRALLUOGHI

A causa della forte presenza di umidità da igroscopia e da infiltrazione, e dell'insufficiente copriferro, le strutture in calcestruzzo armato presenti (piattabande delle nicchie laterali del prospetto) risultano in cattivo stato di conservazione, che si manifesta con l'espulsione dei copriferri, l'ossidazione dei ferri di armatura, la disgregazione del calcestruzzo nella parte inferiore della piattabanda.



Foto 3 – Piattabanda a sinistra del fronte: fenomeni di espulsione del copriferro e di ossidazione delle armature metalliche



Foto 2 - Piattabanda a destra del fronte: fenomeni di espulsione del copriferro e di ossidazione delle armature

Il progressivo invecchiamento delle strutture in calcestruzzo armato rappresenta, negli ultimi anni, un fenomeno di particolare interesse, soprattutto se si considera che fino all'introduzione delle NTC 2008 tale tipologia di strutture è stata realizzata senza particolari accorgimenti per garantirne la durata. Le risultanze dei rilievi e della documentazione fotografica evidenziano che le strutture in c.a. delle piattabande del fronte su via Arcoleo si presentano fortemente degradate ed ammalorate con le armature strutturali soggette a un avanzato fenomeno corrosivo con la inevitabile riduzione dell'area resistente e perdita di aderenza strutturale tra acciaio e calcestruzzo (cfr. Foto 1, Foto 3 e Foto 2). Come noto, il degrado del cemento armato può progredire fino ad arrivare a provocare una situazione di pericolo per la stabilità della struttura, innanzitutto per effetto della corrosione delle armature. Questa a sua volta è soprattutto conseguenza dell'insufficiente protezione che ha il calcestruzzo (e che a sua volta offre alle armature) nei confronti degli agenti responsabili dei diversi fenomeni di degrado (infiltrazioni, umidità, carbonatazione, ecc.).

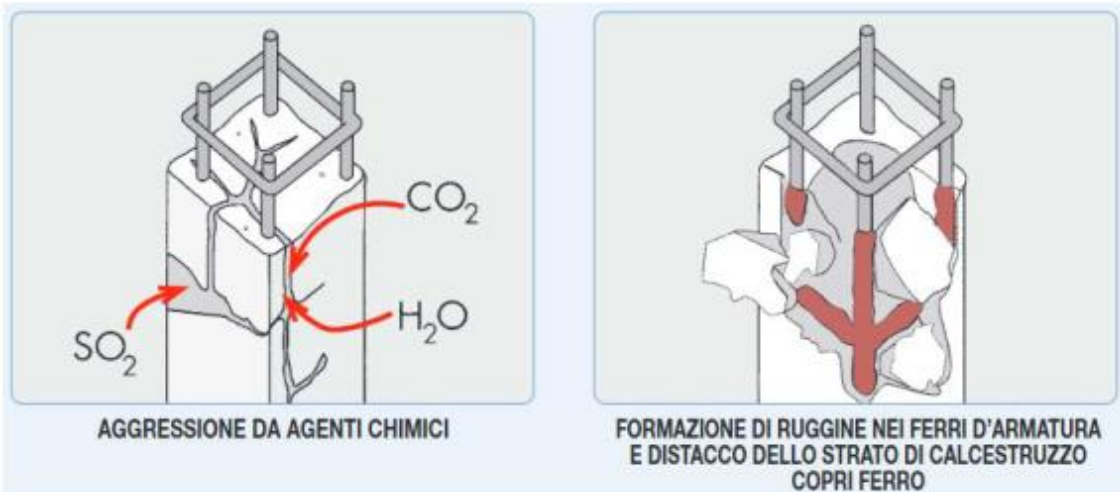
E' stata riscontrata una forte riduzione della sezione trasversale delle armature dei pilastri e delle pareti del serbatoio per effetto dello *spalling* (a causa degli inevitabili fenomeni di degrado) e dell'armatura longitudinale e trasversale (con la sezione dei tondini notevolmente ridotta a causa della corrosione), determina una sezione resistente degli elementi strutturali sottodimensionata che individua un coefficiente di sicurezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, previste dalla Norma, più basso di quello richiesto; il decadimento il collasso per compressione pura o per pressoflessione e, quindi, con rotture istantanee di tipo fragile (difatti le tensioni che prima erano a carico delle armature longitudinali vengono immediatamente trasmesse sul nucleo residuo di calcestruzzo).

La corrosione è strettamente legata anche al processo di **carbonatazione** del calcestruzzo, il cui meccanismo consiste nella presenza di infiltrazioni di acido carbonico all'interno della struttura. Il processo chimico richiede la compresenza di due agenti: acqua (H_2O) e anidride carbonica (CO_2). I due agenti formano acido carbonico (H_2CO_3). Tale acido, infiltrandosi all'interno del calcestruzzo in cui è presente la calce idrata ($Ca(OH)_2$), forma un nuovo composto, il carbonato di calcio ($CaCO_3$). La formazione del carbonato di calcio altera il pH del calcestruzzo (passa da 12 a 9), virando verso gli ambienti acidi. In tali nuove condizioni di pH, le barre di armatura perdono il loro stato di protezione alcalina e si ossidano. E' chiaro che l'attacco dell'acido carbonico avviene solo se sono presenti due agenti contemporaneamente: acqua H_2O e anidride carbonica CO_2 , e che occorre la presenza di una via che consenta al composto H_2CO_3 di penetrare all'interno della struttura, cioè

occorre che il calcestruzzo abbia elevata porosità. L'acciaio, infatti, quando è protetto dal calcestruzzo, risulta praticamente immune da fenomeni di corrosione: questo perché le armature sono protette dall'ambiente alcalino prodotto dall'idratazione del cemento. In questo ambiente l'acciaio si trova in condizioni di passività, cioè in una condizione caratterizzata da una velocità di corrosione praticamente nulla (inferiore a 0,01 cm/anno). Queste condizioni permangono fin quando nel calcestruzzo in contatto con la superficie del ferro, l'alcalinità rimane elevata ($\text{pH} > 11,5$), ed in esso ioni cloruro risultano assenti o presenti in concentrazioni molto modeste. I ferri d'armatura potranno perciò corrodersi:

- per diminuzione del pH provocato dall'azione dell'anidride carbonica (CO_2). La carbonatazione abbassa il pH a valori inferiori a 9, tali da non assicurare più la passività.
- per una eccessiva concentrazione di cloruri nel calcestruzzo, o penetrati dall'esterno (ad esempio in ambiente marino quale quello in oggetto).
- per esposizione diretta dell'armatura all'ambiente esterno per la presenza di difetti macroscopici (ad esempio fessurazioni nel copriferro, lacune, alta permeabilità del cls per sua scadente confezione).

Quando si verificano una o più di queste condizioni, i ferri possono corrodersi con velocità più o meno elevata in dipendenza delle condizioni ambientali (condizioni di asciutto o bagnato, umidità relativa, afflusso d'ossigeno ecc.).



L'ossidazione avviene con aumento di volume, creando così delle coazioni che tendono ad espellere il copriferro, a creare delle lesioni diffuse sulla parte corticale e rendendo sempre più facile la penetrazione dell'acido carbonico.

Poiché l'azione espansiva dei prodotti della corrosione può provocare il distacco del copriferro, spesso la espansione diretta costituisce l'ultimo stadio del processo di corrosione delle armature, comunque esso sia iniziato.

Nel caso in esame si possono quindi fare delle conclusioni di carattere generale: difatti il degrado si manifesta sui pilastri e sulle pareti del serbatoio (compresenza di CO_2 e H_2O) esposte agli agenti atmosferici.

L'aumento di umidità o lo stato di bagnato ed il loro persistere, non pericoloso per strutture con armature in uno stato di passività (e quindi con c.l.s. di qualità), ha prodotto, in questo caso un notevole aumento della velocità di corrosione con le conseguenze di cui si è preso atto.

I fenomeni descritti sono di tipo degenerativo e le conseguenze dei fenomeni corrosivi non riguardano solo gli aspetti funzionali o lo stato esteriore delle opere interessate dal processo, ma anche gli aspetti strutturali e di sicurezza.

In definitiva il degrado sopra descritto della struttura della torre è ascrivibile a diversi fattori:

- la **assenza di un adeguato copriferro** previsto in fase di progetto e realizzazione dell'opera o la presenza di errori nella realizzazione dell'opera (disposizione errata dei ferri troppo vicino

ai bordi dell'elemento strutturale). Per le strutture in cemento armato la durabilità, strettamente legata all'esposizione ambientale della struttura, è funzione della capacità del calcestruzzo di proteggere le armature metalliche dai processi di corrosione provocati dall'attacco degli agenti aggressivi presenti nell'aria, nell'acqua e nei terreni. Come già evidenziato gli aspetti relativi alla durabilità del calcestruzzo e le prescrizioni circa gli spessori minimi di copriferro in funzione dell'esposizione dell'elemento strutturale sono aspetti introdotti solo nelle *Norme tecniche per le costruzioni del 2008*. Nella normativa dell'epoca non si faceva riferimento a spessori minimi di copriferro.

- La **mancaanza di manutenzione ordinaria e straordinaria** nel corso degli anni che accentua e accelera la gravità del fenomeno (che è di tipo degenerativo).
- La vetustà dei materiali a cui è in parte legato il fenomeno della carbonatazione del calcestruzzo

1.3 FINALITÀ E CRITERI DEL PROGETTO COSTRUTTIVO E STRUTTURALE

Le facciate della Galleria della Vittoria sono sottoposte a regime vincolistico secondo le disposizioni di tutela ai sensi del D. Lgs. n. 42/2004.

La materia normativa è regolata dal DPR 6 Giugno 2001 n.380 *"Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia"* e, in particolare, dalla PARTE SECONDA: *Normativa Tecnica per l'edilizia*. L'articolo 52 definisce il tipo di strutture e il rinvio alle rispettive norme tecniche. Il Capo IV – Sezione prima del citato DPR riguarda le *"Norme per le Costruzioni in zone sismiche"*. L'art. 83 disciplina le opere e la zonizzazione sismica rinviando alle normative statali e regionali esistenti e a criteri di carattere generale che, in ogni caso, devono uniformare le normative.

Il progetto strutturale è uniformato alle finalità ed ai criteri propri degli interventi sugli edifici esistenti e alle NORME TECNICHE SULLE COSTRUZIONI del 17.01.2018 (NTC 18) e alla Circolare del 21/01/2019 n° n°7/ C.S.L.L.PP. – *"Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018"*.

Trattandosi di patrimonio tutelato si fa riferimento alla *Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 9 febbraio 2011 "Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008."* (pubblicata nella G.U. n. 47 del 26/02/2011 - suppl. ord. n. 54).

Per quanto attiene agli interventi sui beni tutelati, l'articolo 29 del *Codice dei beni culturali e del paesaggio, Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42*, al comma 4 precisa che, per i beni immobili situati nelle zone dichiarate soggette a rischio sismico in base alla normativa vigente, il restauro comprende **l'intervento di riparazione**.

In conformità al paragrafo 8.4.1. del D.M. 17/01/2018, gli interventi proposti riguardano, infatti, **riparazioni o interventi locali** che interessano elementi isolati, e che comunque comportano un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

Tali interventi riguardano singole parti e/o elementi della struttura e interessano porzioni limitate della costruzione. Il progetto e la valutazione della sicurezza sono riferiti alle sole parti e/o elementi interessati e documentano che, rispetto alla configurazione attuale, non sono prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi comportano un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

In definitiva, in aggiunta e a integrazione dei riferimenti già indicati, il progetto strutturale si richiama al quadro normativo di seguito consegnato.

- D.P.R. n.380/2001 – Testo Unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia

- D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018, pubblicato su S.O. n.8 alla G.U. 20 febbraio 2018, n.42 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni
- Circolare del 21/01/2019 n° n°7/ C.S.L.L.PP. – “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2019”, pubblicato su S.O. nella G.U. 11 febbraio 2019, n.35
- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 9 febbraio 2011 “Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.” (pubblicata nella G.U. n. 47 del 26/02/2011 - suppl. ord. n. 54;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineare alle nuove “Norme tecniche per le costruzioni”, che recepiscono integralmente il documento approvato dal Consiglio superiore dei lavori pubblici nell’Assemblea Generale del 23 luglio 2010, prot.n. 92, contenente l’allineamento della Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e riduzione de rischio sismico del patrimonio culturale del 12 ottobre 2007 (GU n. 24 del 29 gennaio 2008- Suppl. Ordinario n. 25) alle nuove Norme tecniche per le costruzioni 2008.
- Linee Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica (FRCM) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti del consiglio superiore dei Lavori Pubblici – Servizio Tecnico Centrale (dicembre 2018).

Gli interventi del progetto strutturale e in particolare le specifiche tecniche sono il risultato di un’elaborazione applicativa della **Carta Italiana del Restauro**, per gli aspetti più direttamente connessi alla sicurezza, anche alle **Linee Guida** già richiamate.

In linea generale, il progetto delle strutture, in armonia con Linee Guida ministeriali, vuole coniugare le parole chiave: **sicurezza** con quelle della **conservazione** per garantire le **funzioni** d’uso cui l’insigne monumento è destinato.

1.4 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI NEL PROGETTO DELLE STRUTTURE

Il progetto strutturale è finalizzato al risanamento e consolidamento delle strutture e in particolare prevede **interventi volti alla riparazione degli architravi in cemento armato** delle nicchie sulla facciata monumentale sulla via Arcoleo tramite placcaggio intradossale con tessuti in fibra di acciaio galvanizzato.

L’intervento consiste nelle seguenti fasi lavorative:

1. **Preparazione dei supporti.** I supporti dovranno essere preparati e bonificati a regola d'arte, comunque seguendo le indicazioni e prescrizioni della D.L. In caso di supporti non degradati procedere mediante scarifica meccanica al semplice irruvidimento della superficie garantendo asperità di almeno 0,5 mm e, mediante aria compressa, alla pulizia e rimozione di polveri e olii che possano compromettere l'adesione del sistema. In caso di supporto evidentemente degradato, non planare o danneggiato da eventi gravosi si procederà come di seguito descritto:
 - a. eventuale rimozione in profondità del calcestruzzo ammalorato mediante scarifica meccanica o idrodemolizione, avendo cura di irruvidire il substrato con asperità di almeno 5 mm;
 - b. eventuale rimozione di ruggine dai ferri d'armatura, che dovranno essere puliti mediante spazzolatura (manuale o meccanica) o sabbiatura;
 - c. eventuale ricostruzione monolitica o rasatura della sezione mediante la malta tixotropica bicomponente.

- d. Prima dell'applicazione del sistema di rinforzo, provvedere alla preparazione del supporto con asperità di almeno 0,5 mm e alla successiva pulizia.
2. **Rinforzo a flessione di piattabande in c.a.** mediante l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica (FGR) realizzato con tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad alta resistenza, formato da micro-trefoli di acciaio fissati su una microrete in fibra di vetro, del peso netto di fibra di circa 2000 g/m² – caratteristiche tecniche certificate del nastro: resistenza a trazione valore caratteristico > 2580 N/mm²; modulo elastico > 200 GPa; deformazione ultima a rottura > 1,29%; area resistente per unità di lunghezza = 266mm²/m; spessore equivalente del nastro = 0,266 mm, impregnato con matrice inorganica (FRG) costituita da malta cementizia bicomponente fibrorinforzata ad elevata duttilità per la riparazione e protezione del calcestruzzo conforme ai requisiti della EN 1504-3 classe R2 e della EN 1504-2 principi MC e IR, senza necessità di impiego di primer di aggrappo, caratteristiche tecniche certificate: Resistenza a compressione (MPa): >28; Resistenza a flessione (MPa): >10; modulo elastico a compressione > 2500 MPa (EN ISO 178). L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:
 - e. applicazione con spatola metallica piana o a spruzzo, di un primo strato uniforme di ca. 5-6 mm di malta cementizia bicomponente fibrorinforzata;
 - f. con malta ancora fresca, procedere alla posa del tessuto in fibra di acciaio galvanizzato avendo cura di garantire una completa impregnazione del tessuto ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;
 - g. esecuzione del secondo strato di matrice, fino a completa copertura del tessuto di rinforzo, spessore complessivo del rinforzo 5 – 6 mm;
1. Ancoraggio delle estremità del tessuto in fibra d'acciaio tramite arrotolamento del tessuto e inghisaggio delle code all'interno dei fori precedentemente realizzati con adesivo minerale epossidico. L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:
 - h. Realizzazione dei fori di diametro di 20mm e profondità 30cm e pulizia con getto di aria compressa;
 - i. Preparazione del tessuto/corda in acciaio galvanizzato ad alta resistenza;
 - j. Applicazione di primer all'interno dei fori;
 - k. Iniezione di malta epossidica bicomponente mediante l'ausilio di una cartuccia vuota da silicone con apposita pistola d'estrusione;
 - l. inserire la corda in acciaio galvanizzato preventivamente preparata, lentamente e con precisione, in modo da favorire la fuoriuscita del prodotto in eccesso. Eliminazione di tale materiale con una spatola metallica.

Allo scopo di limitare il ringrosso della sezione su di cui andrà applicata la corda e di aumentarne l'adesione, la restante parte dei "fiocchi" (non inserita nei fori), deve essere disposta a ventaglio, al di sopra della struttura da collegare, utilizzando resina epossidica bicomponente.

2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

2.1 MODELLAZIONI DEI MATERIALI

Le caratteristiche dei materiali utilizzati sono le seguenti (salvo ove diversamente specificato negli elaborati grafici)

2.2 TESSUTI IN TREFOLI DI ACCIAIO GALVANIZZATO

Tessuto unidirezionale in fibre di acciaio galvanizzato ad alta resistenza per il rinforzo strutturale.

Rinforzo a flessione di piattabande in c.a. mediante l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica (FGR) realizzato con tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad alta resistenza, formato da micro-trefoli di acciaio fissati su una microrete in fibra di vetro, del peso netto di fibra di circa 2000 g/m² – caratteristiche tecniche certificate del nastro: resistenza a trazione valore caratteristico > 2580 N/mm²; modulo elastico > 200 GPa; deformazione ultima a rottura > 1.29%; area resistente per unità di lunghezza = 266mm²/m; spessore equivalente del nastro = 0,266 mm,

DATI IDENTIFICATIVI DEL PRODOTTO	
Tipo di fibra:	fibre in acciaio galvanizzato
Aspetto:	tessuto unidirezionale
Massa volumica (kg/m ³):	7.850
Grammatura (solo fibre metalliche) (g/m ²):	2000
N° fili per unità di larghezza (n°/m):	444
Area resistente per unità di larghezza (mm ² /m):	266
Spessore equivalente di tessuto secco (mm):	0,266
Resistenza meccanica a trazione (N/mm ²):	> 2.580
Resistenza a trazione per unità di larghezza (KN/cm):	6,88
Modulo elastico a trazione (N/mm ²):	200.000
Carico massimo per unità di larghezza (KN/m):	> 688
Allungamento a rottura (%):	> 1,29

2.3 CORDE IN FIBRE DI ACCIAIO

Per effettuare le connessioni strutturali verrà utilizzata una corda costituita da fibre unidirezionali in acciaio galvanizzato ad elevata resistenza avente le seguenti caratteristiche:

DATI IDENTIFICATIVI DEL PRODOTTO	
Tipo di fibra:	acciaio galvanizzato
Aspetto:	“corda” costituita da fibre tenute insieme da una garza protettiva
Densità lineare (g/m ²):	7,85
Resistenza meccanica a trazione (N/mm ²):	> 2.400
Modulo elastico (N/mm ²):	> 200.000
Allungamento a rottura (%):	> 1,6
Sezione resistente del connettore (mm ²):	19,415

2.4 MALTA BICOMPONENTE

Il tessuto in fibre di acciaio sarà impregnato con matrice inorganica (FRG) costituita da malta cementizia bicomponente fibrorinforzata ad elevata duttilità per la riparazione e protezione del calcestruzzo conforme ai requisiti della EN 1504-3 classe R2 e della EN 1504-2 principi MC e IR, senza necessità di impiego di primer di aggrappo, caratteristiche tecniche certificate:

Caratteristica prestazionale	Metodo di prova	Requisiti in accordo alla EN 1504-2 rivestimento (C) (principi MC e IR)	Requisiti in accordo alla EN 1504-3 per malte di classe R2	Prestazione prodotto
Resistenza a compressione (MPa):	EN 12190	non richiesto	≥ 15 (dopo 28 gg)	> 5 (dopo 1 gg) > 18 (dopo 7 gg) > 28 (dopo 28 gg)
Resistenza a flessione (MPa):	EN 196/1	non richiesto	non richiesto	> 3,0 (dopo 1 gg) > 6,0 (dopo 7 gg) > 10,0 (dopo 28 gg)
Modulo elastico a compressione (GPa):	EN 13412	non richiesto	non richiesto	11 (dopo 28 gg)
Adesione su calcestruzzo (supporto di tipo MC 0,40) secondo EN 1766 (MPa):	EN 1542	Per sistemi rigidi senza traffico: ≥ 1,0 con traffico ≥ 2,0	≥ 0,8 (dopo 28 gg)	≥ 2 (dopo 28 gg)
Adesione al supporto in muratura (Planitop HDM con Mapegrid G220) (MPa):	–	non richiesto	non richiesto	> 2 (dopo 28 gg)
Compatibilità termica misurata come adesione secondo EN 1542 (MPa): – cicli di gelo-disgelo con sali disgelanti: – cicli temporaleschi: – cicli termici a secco:	EN 13687/1 EN 13687/2 EN 13687/3	Per sistemi rigidi senza traffico: ≥ 1,0 con traffico: ≥ 2,0	≥ 0,8 (dopo 50 cicli) ≥ 0,8 (dopo 30 cicli) ≥ 0,8 (dopo 30 cicli)	≥ 2 ≥ 2 ≥ 2
Assorbimento capillare (kg/m ² ·h ^{0,5}):	EN 13057	non richiesto	≤ 0,5	0,3
Impermeabilità espressa come coefficiente di permeabilità all'acqua libera (kg/m ² ·h ^{0,5}):	EN 1062/3	W < 0,1	non richiesto	W < 0,05 - Classe III (bassa permeabilità) secondo EN 1062-1
Permeabilità al vapore acqueo – spessore d'aria equivalente S _D (m):	EN ISO 7783/1	Classe I S _D < 5 m Classe II 5 m ≤ S _D ≤ 50 m Classe III S _D > 50 m	non richiesto	S _D < 1 Classe I (permeabile al vapore acqueo)
Resistenza alla carbonatazione accelerata:	EN 13295	non richiesto	non richiesto	Profondità di carbonatazione ≤ del calcestruzzo di riferimento (tipo MC 0,45 rapporto a/c = 0,45) secondo UNI 1766
Reazione al fuoco:	Euroclasse	Classe dichiarata dal produttore		E

3 AZIONI SULLE STRUTTURE

3.1 CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI

Le azioni vengono classificate in:

- *permanenti* (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:
 - peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente;
 - forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G1);
 - peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2);
 - spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;
 - pretensione e precompressione (P);
 - ritiro e viscosità;
 - spostamenti differenziali;
- *variabili* (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
 - di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
 - di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;

3.2 ANALISI DEI CARICHI VERTICALI

3.2.1 Peso proprio elementi costituenti la struttura

Per la determinazione dei pesi propri strutturali dei più comuni materiali possono essere assunti i valori dei pesi dell'unità di volume riportati nel prospetto che segue:

Calcestruzzo strutturale	2500 daN/m ³
--------------------------	-------------------------

I valori dei pesi propri degli elementi strutturali (travi, pilastri, pareti, ecc.) sono consegnati in automatico dal programma di calcolo.

3.2.2 Carichi permanenti

Sono da considerarsi carichi permanenti quelli non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione, come tamponature esterne, divisori interni, massetti, isolamenti, pavimenti e rivestimenti del piano di calpestio, intonaci, controsoffitti, impianti, ecc. Essi saranno valutati sulla base delle dimensioni effettive delle opere e dei pesi per unità di volume dei materiali costituenti.

Muratura di tufo	1600 daN/m ³
------------------	-------------------------

Rivestimento in travertino	2700 daN/m ³
----------------------------	-------------------------

4 RINFORZO DEGLI ARCHITRAVI SUL FRONTE DI VIA ARCOLEO

Di seguito si riporta il calcolo relativo al consolidamento degli architravi in cemento armato presenti sulla facciata monumentale prospettante la via Arcoleo.

Per la valutazione dei carichi che gravano sull'architrave, il problema presenta un certo grado di indeterminazione dipendente dalla non bene definibile linea di distacco della muratura conseguente al cedimento elastico dell'architrave: tale circostanza viene accentuata dalla presenza del rivestimento in marmo travertino che non permette la analisi dello stato di conservazione della muratura del fronte murario.

Si procede quindi al calcolo del rinforzo ipotizzando che la parte di muratura gravante sulla sottostante architrave sia compresa all'interno di un prisma triangolare.

La parte di muratura sovrastante la linea di distacco (qualora questo si verificasse realmente) si comporta come un arco che scarica la spinta direttamente sulle spalle. In pratica il problema viene semplificato assumendo come carico soltanto il peso della parte di muratura che è racchiusa in un triangolo equilatero al di sopra dell'architrave avente per lato la luce dell'architrave stesso. I carichi uniformemente distribuiti al di sopra del triangolo di carico dovuti ad eventuali solai sono trascurati mentre si considerano quelli interni al triangolo per la sola parte intercettata.

Nella predisposizione del modello si è tenuto conto dell'azione corrosiva dei ferri di armatura, che sono stati opportunamente ridotti: in particolare sono state ridotti i diametri delle armature degli architravi in zona tesa, che sono quelli che maggiormente hanno risentito dell'azione corrosiva e della espulsione dei copriferri. L'azione corrosiva è stata valutata diminuendo i diametri delle armature di tali elementi di circa il 25%; l'architrave è armata con 5 ϕ 16 in zona tesa che vengono ridotti a una sezione resistente corrispondente a quella di 5 ϕ 14.

4.1 ANALISI DEI CARICHI AGENTI

La base del prisma triangolare murario è data dalla luce teorica, ottenuta incrementando la luce del vano del 5%, pertanto:

$$L_t = 3,60 \times 1,05 = 3,78 \text{ m}$$

L'altezza del prisma di carico è l'altezza del triangolo equilatero che ha per base la lunghezza teorica L_t e vale:

$$H = L_t / 2 \operatorname{tg} 30^\circ = 3,78 / (2 \times 0,577) = 3,28 \text{ m}$$

Il peso della muratura di spessore $s=90\text{cm}$ è pari a

$$P_t = L_t \times H/2 \times s \times \gamma_t = 3,60 \times 3,28/2 \times 0,9 \times 1600 = 8502 \text{ daN}$$

$$\text{A metro lineare si avrà } P/L_t = 8502/3,60 = 2361 \text{ daN/m}$$

A questo va ad aggiungersi il peso del rivestimento in marmo (di spessore medio 5cm)

$$P_{riv} = L_t \times H/2 \times s \times \gamma_{riv} = 3,60 \times 3,28/2 \times 0,05 \times 2700 = 797 \text{ daN}$$

$$\text{A metro lineare si avrà } P/L_t = 797/3,60 = 221 \text{ daN/m}$$

Ipotizzando un'architrave in cemento armato di dimensioni trasversali 20x90cm si ha

$$P_p = b \times h \times \gamma_{ca} = 0,9 \times 0,20 \times 2500 = 450 \text{ daN/m}$$

Dunque il carico totale gravante è pari a

$$Q = 1,3 \times (450 + 2361 + 221) = 3942 \text{ daN/m}$$

4.2 SOLLECITAZIONI FLETTENTI

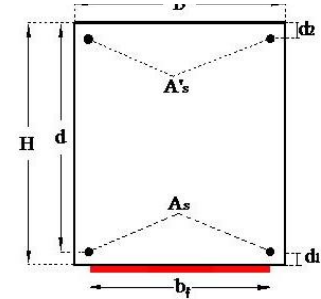
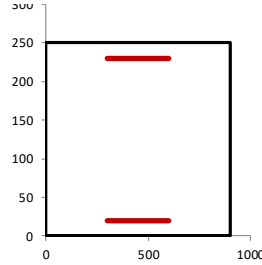
Il momento massimo nella prima fase è dato dal solo peso della muratura del prisma gravante sull'architrave:

$$M_{1,max} = q_1 \times L_t^2 / 8 = 1,3 \times (450 + 2361) \times 3,60^2 / 8 = 5920 \text{ daNm}$$

Il momento massimo nella prima fase è dato dal peso della muratura del prisma gravante sull'architrave e del rivestimento in marmo:

$$M_{2,max} = q_2 \times L_t^2 / 8 = (3942 \times 3.60^2) / 8 = 6386 \text{ daNm}$$

Dati di Input Sezione		
Altezza (H)	250	mm
Base (B)	900	mm
Area di acciaio in trazione A _s	885	mm ²
Area di acciaio in compressione A' _s	354	mm ²
Copriferro (d ₁ =d ₂)	20	mm
Altezza utile (d)	230	mm
Area di lamina A _f	159,6	mm ²



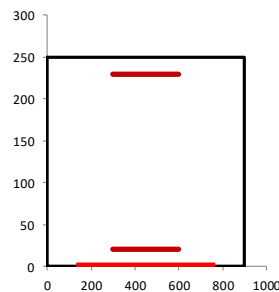
Materiali					
	Resistenze		Moduli elastici		
	Medie	Calcolo			
Calcestruzzo f _{cm} [MPa]	16	11,85	25331	f _{tk}	8,00 MPa
				f _{ctm}	1,20 MPa
Acciaio f _{ym} [MPa]	310	229,6	210000	ε _{sy}	0,00109
Fattore di confidenza FC	1,35				

Momento iniziale agente in sezione prima dell'applicazione delle fibre M ₀ [kNm]	59,2
---	------

Materiale	Tipo di fibra	Esposizione
MapeWrap 5 Fabric 2000	Acciaio	Esterna

CARATTERISTICHE FRP	
σ caratteristica di rottura	2580 MPa
ε caratteristica di rottura, ε _{rk}	0,013
Modulo elastico	200000 MPa
Spessore equivalente tessuto secco (t _f)	0,266 mm
Coefficiente di sicurezza per distacco FRP (γ _{f,d})	1,2
Coefficiente parziale del materiale (γ _f)	1,10
Fattore di conversione ambientale (η _a)	0,65
σ calcolo, f _{f,d}	1398 MPa

Larghezza rinforzo (b _f)	600 mm
N° strati rinforzo (n)	1
Coefficiente per condizione di carico (k _q)	Carico distribuito



k _b	1,00
k _G	0,037
b _f / b	0,67
f _{idd,2} Resist. di prog al distacco FRP (mod 2)	582 MPa
ε _{f,dd} Deformazione max di distacco FRP	0,00291
ε ₀ lembo teso CLS all'applicazione dell'FRP	0,00095
ε _{sy} - ε ₀	0,00015
Γ _{fd} Energia specifica di frattura	0,120 MPa
f _{bd} Resist. di prog. adesione FRP-CLS	0,96 MPa
l _{ed} Lunghezza ottimale di ancoraggio	200,0 mm
f _{dd} Resist. di prog. al distacco FRP (mod 1)	354 MPa
ε calcolo, ε _{fd}	0,00291

$$\varepsilon_{idd} = \frac{f_{idd,2}}{E_f} \geq \varepsilon_{sy} - \varepsilon_0, \quad (4.7)$$

$$\varepsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_a \cdot \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_f}, \varepsilon_{idd} \right\}$$

Output: calcolo dell'asse neutro a rottura e del momento ultimo (y_c, M_u)

E' una procedura iterativa in cui si ipotizza un valore per y_c e si verifica che corrisponda Nu=0 (rottura in flessione semplice)

y_c	regione	ψ	λ	σ'_s	σ_s	σ_f	Risolvi	eq. Traslazione	M_{Rd}
mm		ad.	ad.	MPa	MPa	MPa			kN m
33,16		1	0,80	0,416	37,11	229,63			582,19
Sezione non Rinforzata								ε_c	0,00078
y_c	σ'_s	σ_s	M_{Rd}					ε'_s	0,00041
mm	MPa	MPa	kN m					ε_s	0,00349
14,289	229,63	229,6	44,39					ε_{firo}	0,00291