
COMMITTENTE

CITTA' DI
VENEZIA



CITTA' DI VENEZIA
DIREZIONE LAVORI PUBBLICI

IL RESP. DEL PROCEDIMENTO
Arch. Alberto Chinellato

PROGETTISTA



DUEBARRADUE

— STUDI ASSOCIATI DI PROGETTAZIONE —

Sede legale - Marcon (VE) via delle industrie 2|2
Sede operativa VENEZIA: via delle industrie 9 c/o VEGA, Venezia (VE)
Sede operativa PADOVA: via Vittorio Emanuele II 2/a, Conselve (PD)
T.0415101422 e-mail info@duebarradue.com P.I. 03831070275

COPYRIGHT STUDIO DUEBARRADUE. Tutti i diritti sono riservati a norma di legge.

ARCHITETTO EDOARDO GAMBA
ARCHITETTO DAVIDE PESAVENTO
INGEGNERE FILIPPO VOLTAN

PROGETTO

PROGETTO ESECUTIVO

RIPRISTINO STRUTTURALE DEL PONTE LONGO
A MURANO (C.I.14626).

TITOLO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA GENERALE DELLE STRUTTURE

TAVOLA N.

S.E.01.R.RGS

Scala: -
Data: 03/2022
Disegnato da: F.B.
Plottato in data: -
Commessa n. 1311/ 2022
Nome File:S.E.01.R.RGS.pdf

REVISIONI

REV.	DATA	OGGETTO
00	03/2023	PRIMA EMISSIONE
-	-- / ----	-----
-	-- / ----	-----

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE	3
2.1	RESTAURO STRUTTURE ESISTENTI.....	4
2.2	INSTALLAZIONE NUOVE TRAVI PRINCIPALI.....	5
2.3	CONSOLIDAMENTO OPERE DI FONDAZIONE.....	6
3	CRITERI DI PROGETTAZIONE	7
3.1	VITA NOMINALE, CLASSE D'USO DELLA STRUTTURA E PERIODO DI RIFERIMENTO.....	8
3.1.1	Vita nominale	8
3.1.2	Classe d'uso della struttura.....	9
3.1.3	Periodo di riferimento.....	9
3.2	CLASSE DI ESECUZIONE.....	10
3.3	PRESTAZIONI DI PROGETTO E PROCEDURE DI QUALITÀ.....	10
4	QUALITÀ, DURABILITÀ, MANUTENIBILITÀ E FACILITÀ DI GESTIONE DELLE STRUTTURE	11
4.1	MIGLIORAMENTO DELLA QUALITÀ E DELLA DURABILITÀ	11
4.2	MANUTENIBILITÀ DELLE OPERE STRUTTURALI.....	13

La presente relazione tecnico illustrativa descrive le opere strutturali necessarie per il ripristino strutturale del ponte Longo di Murano.

La relazione fornisce inoltre la descrizione dei materiali strutturali dal punto di vista qualitativo, della durabilità e dalla manutenibilità.



Figura 1: Immagine da google earth ® vista prospettica

I principali interventi di restauro e ripristino strutturale del ponte si possono suddividere nelle seguenti tre macro aree di intervento:

- *Restauro strutture esistenti di acciaio del ponte.*
- *Consolidamento delle strutture di acciaio del ponte mediante inserimento di nuovi profili portanti ad arco.*
- *Consolidamento delle opere di fondazione.*

Nei prossimi paragrafi saranno brevemente illustrate le fasi lavorative e le metodologie di restauro e consolidamento che si prevede di impiegare.

Le macro lavorazioni sopra individuate potranno essere messe in atto dopo l'esecuzione di un by-pass per gli impianti in modo da non generare disservizi prolungati e la predisposizioni di pontili e di un ponte di barche per mantenere attivo l'attraversamento pedonale.

2.1 RESTAURO STRUTTURE ESISTENTI

Lo stato di avanzato degrado per ossidazione delle quattro arcate principali esistenti, unitamente alla presenza di strati sovrapposti di vernice, richiede un intervento di sabbiatura del tipo SA3, a basse emissioni di polveri, che consentirà di asportare sia gli strati di vernice sovrapposti nel tempo, sia le parti di materia in fase di esfoliazione e/o di distacco.

La sabbiatura degli elementi principali esistenti avverrà in seguito alla rimozione della sovrastruttura metallica a supporto dei gradini e della pavimentazione lignea. Successivamente alla sabbiatura saranno eseguite delle misurazioni spessimetriche per verificare lo spessore residuo di tutti gli elementi.

Qualora lo spessore residuo dell'anima e dei profili ad L fosse inferiore a 9 mm, corrispondente ad una perdita del 25% dello spessore originale, si dovrà procedere mediante la rimozione e la successiva saldatura di nuovi elementi che dovranno ripristinare le sezioni originali delle 4 travi metalliche. Anche per le due travi centrali esistenti è previsto il recupero dei profili di rinforzo ad L collocati nella parte superiore del profilo composto esistente. Infatti, contrariamente a quanto previsto nel progetto definitivo, la verifica di tali elementi risulta soddisfatta solo recuperando anche tali profili che consentono di contrastare le deformazioni laterali delle travi principali stesse.

Le lavorazioni di ripristino delle porzioni di trave, fortemente ossidate e prive ormai di capacità portante, viene eseguita mediante una prima fase di taglio delle porzioni dei profilati in acciaio mediante torcia al plasma seguita dalla successiva fornitura e saldatura in opera di laminati e profilati in acciaio necessari per il ripristino delle sezioni originali delle travi esistenti.

Il ripristino dei profili è prevalentemente concentrato nella porzione sommitale dell'anima e dei rinforzi ad L delle quattro travi in corrispondenza delle saldature con le strutture di supporto dei gradini. Gli ulteriori punti che presentano maggiori criticità sono i punti di collegamento degli irrigidimenti trasversali a croce e dell'attacco dei controventi a croce all'intradosso delle travi del ponte.

Il ripristino può essere di tipo esteso per fasce di diversa lunghezza o anche puntuale. Le porzioni maggiormente degradate sono le anime ed i profili ad L nella parte superiore e i punti di contatto con le strutture di irrigidimento trasversale e con i controventi di piano presenti sotto il ponte.

Anche molti chiodi e bulloni esistenti versano in uno stato di ossidazione estremamente pronunciato e necessitano della sostituzione. È stato pensato di sostituire i chiodi ribattuti a caldo, con bottoni di saldatura in rilievo di più semplice realizzazione.

Il ciclo degli interventi di consolidamento delle travi metalliche esistenti si completa con l'intervento di metallizzazione in sito e la successiva verniciatura in tre mani.

La lavorazione fondamentale è la metallizzazione con una lega in zinco alluminio in percentuale 85% di zinco e 15% di alluminio per uno spessore di 120 micron.

La finitura superficiale consiste in un trattamento di verniciatura eseguito sull'acciaio già metallizzato e realizzato secondo le seguenti tre fasi in opera:

- *applicazione di un primer epossidico sigillante per uno spessore di 40 micron;*

- *applicazione di uno strato intermedio epossipoliamidico per uno spessore di 150 micron;*
- *applicazione mano a finire poliuretanica per uno spessore di 60 micron.*

Complessivamente tutti i trattamenti di metallizzazione e verniciatura dovranno garantire il raggiungimento di uno spessore di 370 micron.

Prima di procedere con l'intervento di verniciatura è necessario eseguire anche un intervento localizzato di sigillatura nei punti di contatto tra i profili ad L e l'anima delle travi. In tali punti, infatti, dove i profili non vengono rimossi, la sabbiatura non viene eseguita pertanto il processo di ossidazione viene bloccato mediante la sigillatura di questi punti.

In sede di progetto esecutivo è stato deciso di procedere in modo analogo anche per i parapetti che saranno pertanto rinforzati e protetti con lavorazioni in opera. Tali elementi saranno preventivamente rinforzati mediante la saldatura di un montante in profilo tubolare 40 x 30 x 4 mm, saldato sia il montante esistente in tubo 30 x 30 sia al profilo ad L superiore della trave di bordo.

Dopo l'applicazione del rinforzo dei montanti dei parapetti verrà completata la sabbiatura e completato il ciclo di metallizzazione e verniciatura di tutte le specchiature dei parapetti esistenti comprese le colonnine ancorate alla pietra di Istria di coronamento delle gradinate e delle fondamenta in prossimità dell'imbocco del ponte.

Tale metodologia di lavorazione prevista per i parapetti che mantiene inalterato il ciclo di trattamento superficiale di protezione sia sulle travature principali sia sui parapetti permette di evitare la generazione di punti di discontinuità, che dovrebbero essere ripresi in opera successivamente, o di trattamenti differenziati tra i vari elementi esistenti che compongono il ponte.

2.2 INSTALLAZIONE NUOVE TRAVI PRINCIPALI

Il punto fondamentale del progetto prevede il recupero delle quattro travi metalliche esistenti e ciò è reso possibile solo mediante l'introduzione di tre nuove travi in profilo HEA 450 e HEB 450 in corrispondenza dell'appoggio sulle spalle del ponte.

Alle tre nuove travi verranno affidati quasi completamente i carichi permanenti e variabili del ponte, infatti, le strutture di sostegno dei gradini saranno vincolate alle tre nuove travi e alle due travi esistenti di bordo che tuttavia saranno assoggettate ad un'aliquota di carico decisamente inferiore rispetto allo stato di fatto.

Le tre nuove travi saranno anche irrigidite trasversalmente mediante l'introduzione di 8 profili HEA 320. Tali profili di irrigidimento trasversale saranno incastrati in corrispondenza delle nuove travi mentre saranno incernierati in corrispondenza delle travi esistenti e avranno anche per queste ultime una funzione di stabilizzazione laterale.

La giunzione tra i profili di irrigidimento trasversale e le due travi di bordo sarà composta da squadrette ad L saldate direttamente sul lato interno, non visibile, delle travi esistenti e collegate mediante bulloni ai profili HEA 320. Tutte le altre giunzioni di tali elementi di irrigidimento trasversale saranno invece di tipo bullonato sia in corrispondenza delle nuove travi sia in corrispondenza delle due travi esistenti interne in quanto non visibili dall'esterno.

All'intradosso delle tre nuove travi strutturali principali saranno e saldate o bullonate anche delle staffe a supporto delle tubazioni dei sottoservizi. Tali nuove staffe saranno realizzate in corrispondenza delle travi trasversali e saranno pertanto 8 per ciascuna trave.

In particolare si prevede la realizzazione di due staffe formate da tubolari 60x120x8 mm saldati all'ala inferiore delle travi HEA 450 e collegate mediante due montanti in profilo doppio L 60x120x8 ad un profilo inferiore tipo UPN 120. Su tale ultimo profilo saranno e installate delle selle di appoggio in neoprene per le tubazioni e le tubazioni stesse, tali ultime lavorazioni saranno a carico degli enti gestori dei sottoservizi.

Un caso particolare è dato dalle staffe e per la tubazione del gas, la società Italgas ha fornito dei dettagli costruttivi di una staffa composta da piatti incastrati, mediante bullonatura, all'ala inferiore delle travi HEA 450 e chiusa inferiormente mediante un rullo in nylon, il rullo ha la funzione di assorbire le eventuali deformazioni della tubazione del gas senza generare sovratensioni sulle strutture del ponte.

In entrambi i casi le staffe sono apribili dal basso e garantiscono pertanto interventi di manutenzione sulle tubazioni dei sottoservizi dal basso senza rimozione della pavimentazione del ponte come accadeva in precedenza.

Anche per tutte le strutture metalliche nuove sono previsti interventi di protezione mediante metallizzazione e verniciatura, tali trattamenti saranno da eseguire in stabilimento.

Nel dettaglio l'intervento prevede inizialmente la sabbiatura di pulizia del metallo, la successiva metallizzazione con una lega in zinco alluminio per uno spessore di 120 micron (sempre lega Zn/AL 85/15) seguita dal ciclo di verniciatura sull'acciaio già metallizzato realizzata con le seguenti tre mani: applicazione di un primer epossidico sigillante per uno spessore di 40 micron, l'applicazione di uno strato intermedio epossipoliamidico per uno spessore di 150 micron e l'applicazione mano a finire poliuretanica per uno spessore di 60 micron. Complessivamente tutti i trattamenti di metallizzazione e verniciatura dovranno garantire il raggiungimento di uno spessore di 370 micron.

La posa in opera delle nuove travi metalliche prevede il preventivo ancoraggio dei sei monconi in corrispondenza degli appoggi sulle spalle e la successiva installazione dei tre conci di trave, preassemblati sul pontone, per ciascuna delle nuove arcate. I giunti sono tutti di tipo bullonato con flange di testa che consentono di ridurre il numero di bulloni da porre in opera e quindi di facilitare le operazioni di montaggio.

Tutte le fasi del montaggio delle nuove travi avverranno con impiego di gru installata su pontone di servizio motorizzato.

2.3 CONSOLIDAMENTO OPERE DI FONDAZIONE

Le indagini condotte sulle fondazioni hanno permesso di determinare con buona precisione solo la forma geometrica del plinto mentre non è stato possibile determinare con precisione né il numero né la maglia, né la tipologia dei pali di fondazione, per questi elementi è stato possibile determinare solo la quota di imposta a -11 m rispetto al piano delle Fondamenta.

In merito alla profondità dei pali, nel progetto esecutivo, si è fatto riferimento prevalentemente alla ricerca storica che, come riportato nella relazione generale, ha messo in evidenza dei dati differenti

rispetto alle indagini in sito. La scelta è legata solo ad un aspetto cautelativo nei confronti della sicurezza in quanto i pali desunti dalla ricerca storica hanno una capacità portante complessiva inferiore ai pali ipotizzati con i dati desunti dalle indagini di Geocontrolli.

Durante i lavori dovranno essere eseguite delle ulteriori indagini di tipo ecometrico per determinare la maglia e la lunghezza dei pali, tali indagini saranno svolte una volta rimosse le opere di finitura e gli impianti eventualmente presenti sopra i plinti per limitare le interferenze. Tale approfondimento delle indagini sarà necessario per confermare o modificare i dati di progetto e nel caso adattare i nuovi pali di fondazione ai dati più esaustivi raccolti in corso d'opera.

Sulla scorta dei dati disponibili e in funzione dei notevoli carichi verticali e taglianti agenti sui pali dovuti a tutte le azioni statiche, dinamiche e alle variazioni termiche agenti sulle strutture del ponte è stato scelto di integrare i pali di fondazione esistenti con nuovi micropali spinti fino a una profondità di 18 m al di sotto del plinto in numero di 14 per ciascun plinto di fondazione ai quali affidare la quasi totalità delle sollecitazioni determinate secondo le normative attualmente vigenti.

I micropali dovranno avere un diametro reso di 24 cm e saranno armati con un tubolare metallico di diametro 152,4 mm e spessore 10 mm in acciaio S 355.

La realizzazione dei micropali di fondazione sarà preceduta dalla accurata rimozione della pavimentazione dei gradini e dallo scavo fino alla sommità del plinto esistente.

Dopo la realizzazione dei micropali saranno eseguite delle demolizioni per l'abbassamento dei sottoservizi che saranno, come detto precedentemente, appesi alle tre nuove travi metalliche.

Per migliorare gli interventi di futura manutenzione degli impianti, saranno predisposte delle camicie in PVC all'interno del plinto che permetteranno lo sfilamento dei tubi dei sottoservizi senza nuove demolizioni dei plinti.

Dopo la posa delle camicie per i sottoservizi saranno eseguiti i getti di completamento del plinto che inglobano i nuovi micropali e irrigidiranno la parte posteriore del plinto. La connessione tra il plinto esistente e le nuove porzioni di getto sarà formata da barre di armatura inghisate con resina epossidica.

3 CRITERI DI PROGETTAZIONE

La verifica di tutti gli elementi strutturali che compongono il ponte Longo di Murano è condotta secondo i fondamenti della scienza e della tecnica delle costruzioni nel pieno rispetto delle normative vigenti. In particolare il Metodo Semi-Probabilistico agli Stati Limite, con riferimento al D.M. 17.01.2018, sarà criterio di verifica di sicurezza strutturale. I criteri del metodo semiprobabilistico agli stati limite sono basati sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza.

Saranno condotte verifiche di tipo statico agli stati limite ultimi SLU e agli stati limite di esercizio SLE e verifiche di tipo sismico agli stati limite di salvaguardia della vita SLV, agli stati limite di danno SLD e agli stati limite di operatività SLO.

Nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. Per la sicurezza strutturale, la resistenza dei materiali e le azioni sono rappresentate dai valori caratteristici, R_{ki} e F_{kj} definiti, rispettivamente, come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza. In genere, i frattili sono assunti pari al 5%. Per le grandezze con piccoli coefficienti di variazione, ovvero

per grandezze che non riguardino univocamente resistenze o azioni, si possono considerare frattili al 50% (valori mediani).

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il “metodo dei coefficienti parziali” di sicurezza espresso dalla equazione formale: $R_d \geq E_d$ dove:

- R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;
- E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto $F_{dj} = F_{kj} \cdot \gamma_{Fj}$ delle azioni o direttamente $E_{dj} = E_{kj} \gamma_{Ej}$.

I coefficienti parziali di sicurezza, γ_{mi} e γ_{Fj} , associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio si esprime controllando gli aspetti di funzionalità e stato tensionale.

Ai fini delle verifiche sismiche si considerano tutte strutture in classe di duttilità bassa CDB.

L'analisi sismica è condotta mediante analisi lineare dinamica come previsto dal capitolo 7 del DM 17.01.2018. Tale metodo prevede la determinazione dei modi di vibrare della costruzione (analisi modale) e degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascun modo di vibrare. Gli effetti singoli vengono poi combinati utilizzando la combinazione quadratica completa.

Le verifiche agli stati limite di danno in questo caso sono costituite anch'esse da verifiche di resistenza ma sono meno significative di quelle condotte per gli SLV ed SLU in quanto devono essere condotte con coefficienti di sicurezza unitari per i materiali e quindi considerando dei limiti di resistenza molto alti a fronte di sollecitazioni paragonabili a quelle determinate agli stati limite di salvaguardia della vita.

Il DM 17.01.18 fornisce per tutti i siti e per ogni probabilità di superamento del periodo di riferimento, a cui corrisponde ciascuno degli stati limite, i valori di a_g (accelerazione orizzontale massima del sito), F_o (fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e di T_c^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale).

3.1 VITA NOMINALE, CLASSE D'USO DELLA STRUTTURA E PERIODO DI RIFERIMENTO

3.1.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata nella Tab. 2.4.I delle Norme Tecniche per le Costruzioni e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

La costruzione oggetto delle presenti verifiche rientra nel tipo 2:

A tali costruzioni corrisponde una vita nominale $v_N \geq 50$ anni. Tale rappresenta la durata da considerare in sede progettuale con riferimento alla durabilità delle costruzioni, nel dimensionare le strutture ed i particolari costruttivi, nella scelta dei materiali per garantire il mantenimento della resistenza e della funzionalità.

3.1.2 Classe d'uso della struttura

La classe d'uso della struttura è fornita con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azione sismica.

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Le strutture in esame rientrano in classe d'uso III "Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso".

3.1.3 Periodo di riferimento

Il periodo di riferimento rappresenta il tempo in relazione al quale sono valutate le azioni sismiche e risulta dal prodotto della vita nominale per il coefficiente d'uso che per la classe d'uso III vale 1.5.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Nel caso in esame quindi il periodo di riferimento vale: $v_R = v_N C_U = 50 \cdot 1.5 = 75$ anni.

3.2 CLASSE DI ESECUZIONE

Secondo la norma UNI EN 1090-1:2011 la classe di esecuzione di una struttura in acciaio è determinata dall'affidabilità e dai rischi potenziali a cui tale struttura è soggetta. L'affidabilità è definita dal parametro CC (Classe di conseguenza) che tiene conto delle eventuali conseguenze dovute a un fallimento delle strutture, mentre i rischi potenziali sono definiti dai parametri SC (Categoria di servizio) e PC (Categoria di produzione), riguardanti le finalità e le caratteristiche progettuali degli elementi in acciaio impiegati.

Il ponte Longo di Murano ricade in classe di esecuzione EXC3 in quanto si considerano i seguenti parametri:

- **CC3**, classe di conseguenza **elevata** per perdita di vite umane o conseguenze molto gravi in termini economici, sociali o ambientali;
- **SC1**, strutture e componenti le cui connessioni sono progettate per l'azione sismica in regioni con bassa sismicità e classe di duttilità bassa in accordo alla EN 1998-1;
- **PC2** per componenti saldati realizzati da prodotti in acciaio di classe S355 o superiori.

Classi di importanza		CC1		CC2		CC3	
Categorie di servizio		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categorie di produzione	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 ^{a)}	EXC3 ^{a)}
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 ^{a)}	EXC4
a) EXC4 dovrebbe essere applicato a strutture speciali o strutture con conseguenze estreme di cedimento strutturale, come richiesto dalle disposizioni nazionali.							

3.3 PRESTAZIONI DI PROGETTO E PROCEDURE DI QUALITÀ

Le prestazioni della struttura e le condizioni per la sua sicurezza sono state individuate dal progettista in conformità a quanto richiesto dalla Committenza. A tal fine è stata posta attenzione al tipo di struttura, al suo uso e alle possibili conseguenze di azioni anche accidentali; particolare rilievo è stato dato alla sicurezza delle persone.

È stato definito l'insieme degli stati limite riscontrabili nella vita della struttura ed è stato accertato, in fase di dimensionamento, che essi non siano superati.

Altrettanta cura è stata posta per garantire la durabilità della struttura, con la consapevolezza che tutte le prestazioni attese potranno essere adeguatamente realizzate solo mediante opportune procedure da seguire non solo in fase di progettazione, ma anche di costruzione, manutenzione e gestione dell'opera. Per quanto riguarda la durabilità si sono presi tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture, in considerazione dell'ambiente in cui l'opera dovrà vivere e dei cicli di carico a cui sarà sottoposta.

La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono coerenti con tali obiettivi.

In fase di costruzione dovranno essere attuate idonee procedure di controllo sulla qualità, in particolare per quanto riguarda materiali, componenti, cicli di lavorazione e metodi costruttivi.

4 QUALITÀ, DURABILITÀ, MANUTENIBILITÀ E FACILITÀ DI GESTIONE DELLE STRUTTURE

Tutte le scelte progettuali sono state condotte nel rispetto di quanto richiesto dalla Committenza, in particolare sono state impiegate strutture di tipo tradizionale: micropali con armatura tubolare di acciaio, getti di completamento dei plinti, recupero delle strutture metalliche esistenti e introduzione di nuove travi metalliche, finiture in pietra esistenti e in legno, per i tavolati di pavimentazione si prevede l'impiego di essenze esotiche molto durevoli anche nelle condizioni ambientali del sito.

I provvedimenti che si intendono adottare al fine di migliorare la **qualità** e la **durabilità** del calcestruzzo consistono in:

- *accurato studio del mix design, del calcestruzzo gettato in opera;*
- *aumento del copri ferro minimo delle opere di fondazione e delle elevazioni interrate;*
- *contenimento del ritiro idraulico mediante additivi specifici;*

I provvedimenti che si intendono adottare al fine di migliorare la **qualità** e la **durabilità** dell'acciaio consistono in:

- *ricorso a trattamenti superficiali che prevedono la pulizia, la metallizzazione con lega di zinco e alluminio e la successiva verniciatura in tre mani.*
- *impiego di acciaio maggiormente resiliente, il grado di resilienza scelto è almeno J0 che permette di mantenere inalterate le proprietà meccaniche fino a 0° C mentre l'acciaio maggiormente diffuso ha un grado di resilienza JR che raggiunge la resilienza minima a 20° C.*

I provvedimenti che si intendono adottare al fine di migliorare la **qualità** e la **durabilità** del legno consistono in:

- *ricorso ad essenze esotiche, tipo Ipé o Azobé che garantiscono una durabilità in ambiente lagunare molto più elevata rispetto alle essenze tradizionali in quanto dotate di una densità elevatissima e quindi più difficilmente aggredibili.*

4.1 MIGLIORAMENTO DELLA QUALITÀ E DELLA DURABILITÀ

I fattori che, come accennato, influenzano la qualità e la durabilità delle strutture sono ben noti e di seguito si espone una breve descrizione di come ogni provvedimento che si intende adottare influenzi positivamente la buona riuscita delle opere strutturali.

Nello studio del **mix-design**, ossia della composizione del calcestruzzo, due aspetti fondamentali sono la scelta della **dimensione massima dell'inerte**, che deve essere adeguata sia al copri ferro che al quantitativo di armatura presente nel getto, e la **classe di consistenza**. Per i getti in opera si è scelto di impiegare una classe S5 che permette un'ottima auto compattazione del calcestruzzo in assenza di fenomeni di segregazione del getto. Un getto liscio e compatto in superficie limita i fenomeni di corrosione delle armature e aumenta di conseguenza la durabilità e la qualità delle strutture riducendo al contempo la necessità di interventi di manutenzione.

Durante la fase di indurimento iniziale si ha un aumento della temperatura del getto che causa una **dilatazione** del calcestruzzo con stati di trazione superficiali e di compressione nella zona interna. Nella successiva fase di raffreddamento del getto si ha un fenomeno di **contrazione** che genera tensioni di trazione nella parte del nucleo del getto e conseguente sviluppo di fessure interne per ritiro.

Il controllo di tali fenomeni si ottiene con le seguenti **prescrizioni per i getti**:

- *Additivo superfluidificante conforme ai prospetti 3.1 e 3.2 della norma UNI-EN 934-2.*
- *Additivo SRA (shrinkage reducing admixtures).*
- *Aggregati provvisti di marcatura CE conformi alle norme UNI-EN 12620 e 8520-2. In particolare: Assenza di minerali nocivi o potenzialmente reattivi agli alcali (UNI-EN 932-3 e UNI 8520/2) o in alternativa aggregati con espansioni su prismi di malta, valutate con la prova accelerata e/o con la prova a lungo termine in accordo alla metodologia prevista dalla UNI 8520-22, inferiori ai valori massimi riportati nel prospetto 6 della UNI 8520 parte 2.*
- *Aggregati a matrice calcarea.*
- *Diametro massimo dell'aggregato: 20 mm.*
- *Classe di consistenza al getto S5 o slump di riferimento 230 ± 30 mm*

Un ulteriore provvedimento è l'adozione di un **copri ferro più elevato** per le fondazioni e per le spalle, rispetto a quanto previsto dalla NTC 2018. Tale scelta è legata al fatto che, per le opere interrato, è più difficile il controllo e la posa in opera dei distanziatori in ogni punto ed inoltre risulta quasi impossibile il controllo e la manutenzione.

L'aumento del copri ferro comporta il miglioramento della protezione apportata alle barre di armatura aumentando di fatto il tempo di percorrenza degli agenti corrosivi, dalla superficie della struttura fino alle armature metalliche con conseguente aumento della vita utile delle strutture.

Infine si impiegheranno anche degli additivi atti a controllare il ritiro idraulico del calcestruzzo. Infatti, il riscaldamento per la reazione esotermica di idratazione del cemento e la riduzione del volume nel tempo per la migrazione dell'acqua di impasto non legata chimicamente al cemento, contribuisce alla formazione di fessurazioni per ritiro idraulico. Il **contenimento del calore di idratazione**, e quindi del ritiro idraulico, è ottenuto mantenendo un rapporto acqua cemento basso e scegliendo una matrice calcarea degli aggregati che consentono di uniformare il calore tra nucleo e superficie dei getti e di occupare il maggior volume possibile nella miscela, realizzando uno scheletro rigido in opposizione alla contrazione di volume.

Per le strutture in acciaio sono invece previsti dei trattamenti di validità comprovata quali la metallizzazione con lega di zinco e alluminio e la successiva verniciatura in tre mani.

In dettaglio il trattamento completo (sia in opera sia in stabilimento) prevede la sabbiatura, la metallizzazione con Lega zinco-alluminio e il ciclo di verniciatura in tre mani secondo le seguenti fasi applicative:

- *Esecuzione di sabbiatura delle travi in acciaio esistenti mediante trattamento al grado SA 3 secondo ISO 8501- 1.*
- *Esecuzione di metallizzazione con filo di zinco-alluminio 85 / 15% per uno spessore di 120 micron.*
- *Esecuzione di intervento di rifinitura tipo touch up in corrispondenza delle zone saldate tra i profili e delle zone di contatto tra L e anima delle travi esistenti. L'intervento ha lo scopo di sigillare le naturali fessure presenti nei punti di contatto dei profili al fine di bloccare il processo di corrosione.*
- *Trattamento di verniciatura su acciaio già metallizzato secondo le seguenti tre fasi:*
 - *applicazione di primer epossidico sealer, per uno spessore di 40 micron;*
 - *applicazione di strato intermedio epossipoliammidico spessore 150 micron;*
 - *applicazione di finitura poliuretanica spessore 60 micron;*

Per le tubazioni dei sottoservizi che attraversano le fondazioni sono stati previsti dei tubi camicia da inserire nel getto dei plinti che favoriranno la futura sostituzione delle tubazioni qualora ce ne fosse la necessità.

Per le tubazioni appese sotto il ponte sono previsti dei sistemi di ancoraggio bullonati smontabili dal basso senza necessità di rimuovere la pavimentazione o altri elementi strutturali del ponte.

4.2 MANUTENIBILITÀ DELLE OPERE STRUTTURALI

Gli aspetti presi in considerazione nel precedente paragrafo che aumentano la qualità dei getti e la durabilità delle opere in calcestruzzo e in acciaio contribuiscono di fatto anche alla riduzione delle manutenzioni sugli elementi stessi.

Per le strutture in acciaio, con particolare riguardo a quelle poste all'esterno, si dovranno prevedere dei controlli periodici per valutare lo stato delle superfici e l'eventuale formazione di corrosione.

Altri interventi di manutenzione ordinaria per le componenti in carpenteria metallica riguardano il controllo delle coppie di serraggio dei bulloni ed il controllo delle deformazioni delle travi in acciaio.