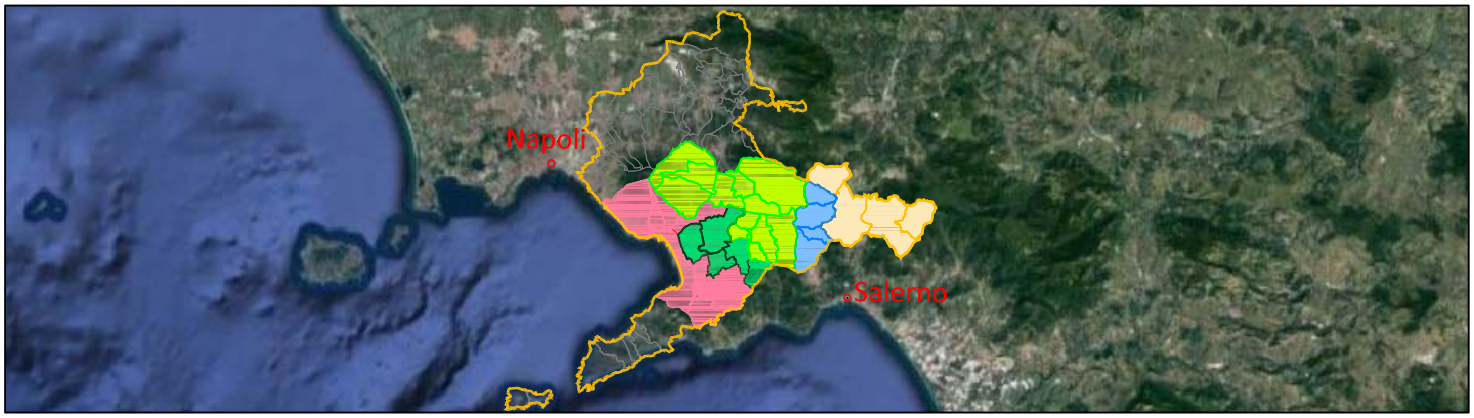
Protocollo d'intesa del 05 Agosto 2020
Regione Campania - Ente idrico campano - Gori Spa
Completamento degli interventi fognario-depurativo del bacino idrografico del fiume Sarno ricadenti nell'Ambito Distrettuale Sarnese Vesuviano di cui alla L.R. n. 15/2015



Impianto di depurazione di Foce Sarno

Comprensorio depurativo Foce Sarno
Progetto di adeguamento - "2° Lotto"

UNITA' INVESTMENT, PROGRAM & SERVICES

INT 7324

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA

Elaborato:

ETD.008

Scala:

Titolo:

RELAZIONE SULLE STRUTTURE LOTTI I E II

REV.1

Rev	Motivo della revisione	Data	Redatto	Verificato	Approvato
0	Emissione per approvazione	Febbraio 2023			
1	Aggiornamento Interventi Strutt.	Aprile 2023			

Esecuzione delle Opere	Prestazioni Specialistiche	Il Progettista	Il R.U.P.
	Consulenze	ing. Paolo Viparelli PAOLO VIPARELLI 11.05.2023 17:05:51 GMT+01:00 Gruppo di progettazione Strutturista: ing. Giuseppe Sacco	ing. Francesco Ascione ASCIONE FRANCESCO 2023.05.12 15:07:02 Responsabile del Procedimento CN=ASCIONE FRANCESCO C=IT 2.5.4.4=ASCIONE 2.5.4.42=FRANCESCO RSA/2048 bits

Il presente progetto è protetto a termini di legge.

INDICE

1. PREMESSA 1
1.1. Descrizione generale dei manufatti 1
1.1.1. Vasca di ossidazione 1
1.1.2. Vasche di sedimentazione e disinfezione 3
2. LE CRITICITA' DELLE STRUTTURE 3
2.1. Esiti dell'attività peritale 4
2.2. Indicazioni preliminari sugli interventi 9
2.2.1. Considerazioni sulle indicazioni della perizia 10
3. PROPOSTE PRELIMINARI DI INTERVENTO 12
3.1. Demolizione e ricostruzione delle pareti 12
3.2. Contrafforti 15
3.3. Chiusura e sigillatura fessure 17
3.4. Rinforzi strutturali 17
3.5. Interventi di finitura 19
4. MONITORAGGIO DELLE STRUTTURE 20
5. CALCOLO SOMMARIO DELLA SPESA 24
6. CONCLUSIONI 26

1. PREMESSA

La presente relazione illustra le valutazioni di carattere preliminare, inserite in un contesto di studio di fattibilità tecnico-economica, degli interventi di consolidamento e ricostruzione che interessano le vasche del trattamento biologico, della sedimentazione finale e della disinfezione del depuratore di Foce Sarno.

L'impianto della relazione è basato sulle risultanze della CONSULENZA SCIENTIFICA PER UNO STUDIO PRELIMINARE AVENTE AD OGGETTO L'INFLUENZA DEL DEGRADO DEI MATERIALI E DELLE STRUTTURE IN C.A. SULLE CONDIZIONI DI SICUREZZA DEGLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE E FORMULAZIONE DI PROPOSTE DI MATERIALI E TECNICHE INNOVATIVE PER L'ADEGUAMENTO STRUTTURALE" affidata da GORI ai ch.mi professori Luciano Feo, Ordinario di Scienza delle Costruzioni presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Salerno e Prof. Gianvittorio Rizzano, Ordinario di Tecnica delle Costruzioni presso il medesimo Dipartimento.

In particolare, la consulenza ha sviluppato le seguenti attività:

- analisi della documentazione a disposizione relativa al caso studio in oggetto;
- analisi ed interpretazione dei quadri fessurativi presenti sulle strutture ispezionabili;
- analisi dei risultati del programma di indagini, saggi e prove eseguite per la valutazione delle proprietà meccaniche dei materiali e del loro degrado.

La documentazione progettuale presa in analisi in quella sede è stata fornita direttamente GORI ed è riferita al Progetto Esecutivo del Lotto I (Progetto di Adeguamento Funzionale dell'Impianto di Depurazione di Foce Sarno al D.L.gs.152/99 e s.m.i.) e, per il Lotto II, alla pratica di deposito al Genio Civile del 28/02/2012 - Vasca di sedimentazione (Pratica n. 530/12).

Inoltre, GORI ha incaricato il Laboratorio Modelli del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Salerno (DICIV) per effettuare il rilievo del quadro fessurativo delle strutture in esame ed il Laboratorio Prove Materiali e Strutture dello stesso dipartimento per l'esecuzione delle indagini, dei saggi e delle prove sui materiali.

1.1. Descrizione generale dei manufatti

L'impianto di depurazione di "Foce Sarno" è sito nel Comune di Castellammare di Stabia (NA), nei pressi della foce del fiume Sarno (Figura 34). L'impianto è stato realizzato nel periodo di tempo compreso tra il 2007 e il 2011 in due lotti separati, nel seguito denominati, rispettivamente, Lotto I e Lotto II.

1.1.1. Vasca di ossidazione

La vasca adibita al trattamento secondario di ossidazione "*presenta una forma di parallelepipedo con pianta rettangolare avente dimensioni pari a circa 171 m x 60 m ed altezza di circa 11 m (Figura 2). Essa è suddivisa in quattro ulteriori vasche (o linee) indipendenti dal punto di vista funzionale, denominate, rispettivamente, con le sigle L10, L20, L30 e L40.*

Dal punto di vista strutturale, la vasca di ossidazione può essere idealmente suddivisa in due distinte zone: una prima zona, priva di setti trasversali, caratterizzata da una lunghezza di circa 88m (Zona) ed una seconda zona, di lunghezza pari a circa 80m, caratterizzata, invece, dalla

presenza di setti interni trasversali (Zona2). In elevazione, la struttura portante della vasca di ossidazione è costituita da pareti longitudinali (sia esterne, sia interne) e pareti trasversali esterne (di testata), realizzate in conglomerato cementizio armato (c.c.a.). Tutte le suddette pareti hanno spessore costante a tratti con valori compresi di 40cm e 80cm.

La copertura della vasca è realizzata mediante un impalcato di spessore complessivo pari a 48cm, costituito da elementi prefabbricati tipo "Spiroll" (h=40cm) con getto di completamento in c.a. (h=8cm).

La fondazione della vasca è di tipo misto (diretto/indiretto). Essa è costituita da una platea in c.c.a., di spessore variabile da 60cm a 70cm, e pali di fondazione in c.c.a., di diametro pari a 600mm e lunghezza pari a 5 m, posti ad un interasse costante .pari a 2,3 m in corrispondenza delle pareti verticali longitudinali".



Figura 1. Inquadramento del Lotto I, (evidenziato in rosso) e del Lotto II, oggetto della consulenza (evidenziato in giallo). Immagini cartografiche 2021 (Google Maps).

1.1.2. Vasche di sedimentazione e disinfezione

La vasca di sedimentazione in esame (Lotto II) presenta una forma di parallelepipedo con pianta rettangolare avente dimensioni pari a circa 80 m × 64 m. Essa si compone di tre linee scoperte, di dimensioni pari a circa 25 m×48 m, che risultano separate tra loro da setti longitudinali (pareti interne) in cemento armato ordinario, aventi altezza compresa fra i 7 m e i 10 m e sezione retta variabile tra i 30 cm e i 100 cm. La fondazione è di tipo diretto e risulta costituita da una platea in c.c.a. di spessore costante pari a 80 cm.

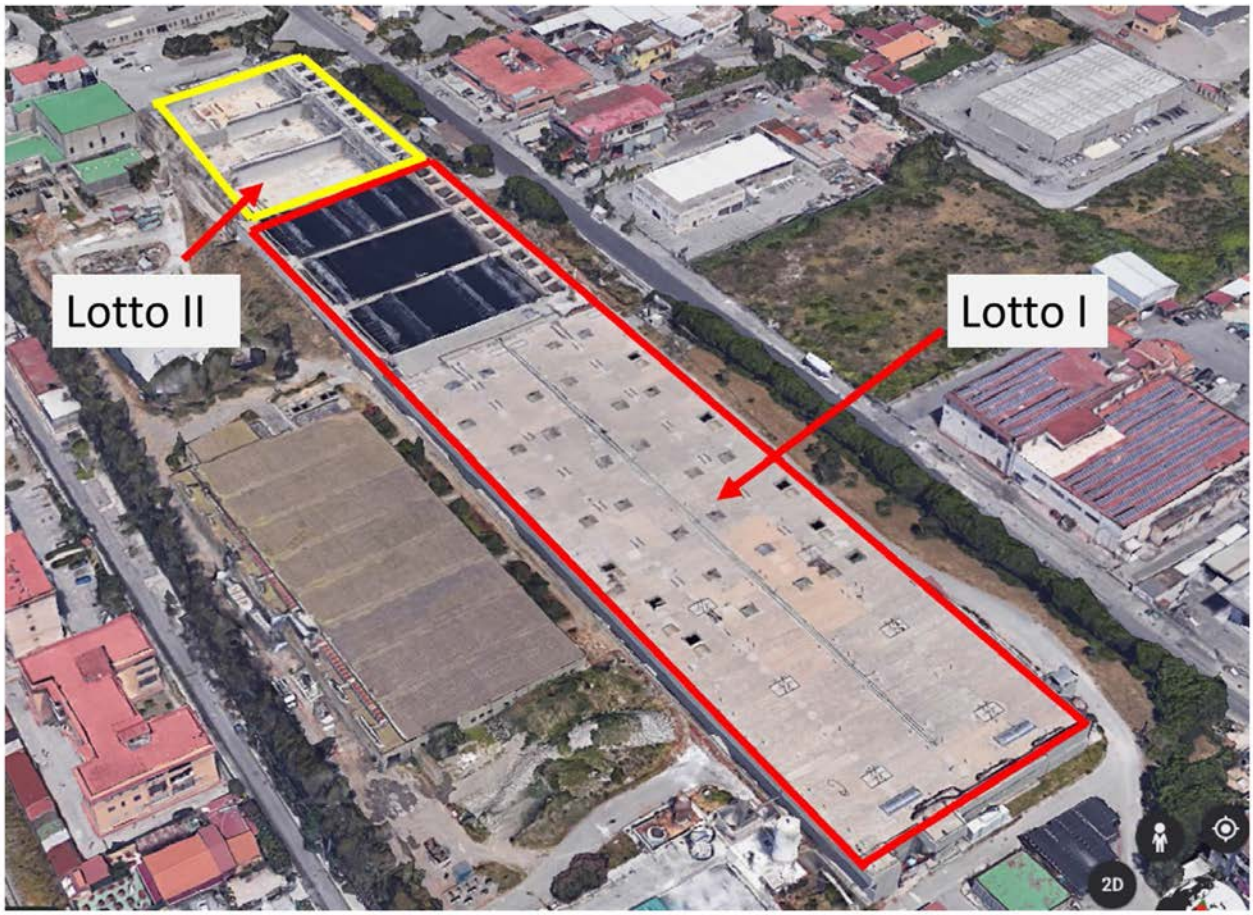


Figura 2. Inquadramento Lotto I (riquadrato in rosso) e Lotto II (riquadrato in giallo). Immagine 3D (Google Earth).

2. LE CRITICITA' DELLE STRUTTURE

Le vasche di sedimentazione e di disinfezione (Lotto II) sono state interessate, di recente, da importanti fenomeni di fessurazione e dal crollo di una significativa porzione della parete perimetrale (lato disinfezione).

Un importante quadro fessurativo è visibile anche per le vasche di ossidazione del Lotto I.

2.1. Esiti dell'attività peritale

Facendo seguito a quanto esposto nelle due relazioni peritali, prodotte nell'ambito della consulenza innanzi richiamata ed in particolare allo "studio preliminare sull'influenza del degrado dei materiali e delle strutture in c.a. sulle condizioni di sicurezza degli impianti di depurazione e formulazione di proposte di materiali e tecniche innovative per l'adeguamento strutturale", nei paragrafi che seguono sono illustrati, in via preliminare, gli interventi proposti dagli scriventi allo scopo di contrastare le situazioni deficitarie esposte nella consulenza.

Come anticipato in premessa, le strutture oggetto degli interventi sono suddivisibili in due lotti:

- Il lotto n°1, funzionalmente adibito ai trattamenti di ossidazione;
- Il lotto n°2, funzionalmente adibito ai trattamenti di sedimentazione e disinfezione.

Per il **Lotto I,** i periti hanno accertato la presenza di lesioni più o meno diffuse su alcune pareti delle vasche, addebitandone la causa verosimilmente a maggiori sollecitazioni conseguenti: al complesso della geometria strutturale, ai carichi idrostatici agenti ed alla conduzione discontinua delle vasche; lesioni che eccedono il massimo regolamentare previsto in condizione limite di esercizio (S.L.E.) da normativa tecnica vigente (N.T.C. 2018).

Si riporta qui di seguito il grafico del complesso delle lesioni tratto dalla relazione peritale in prima fase.

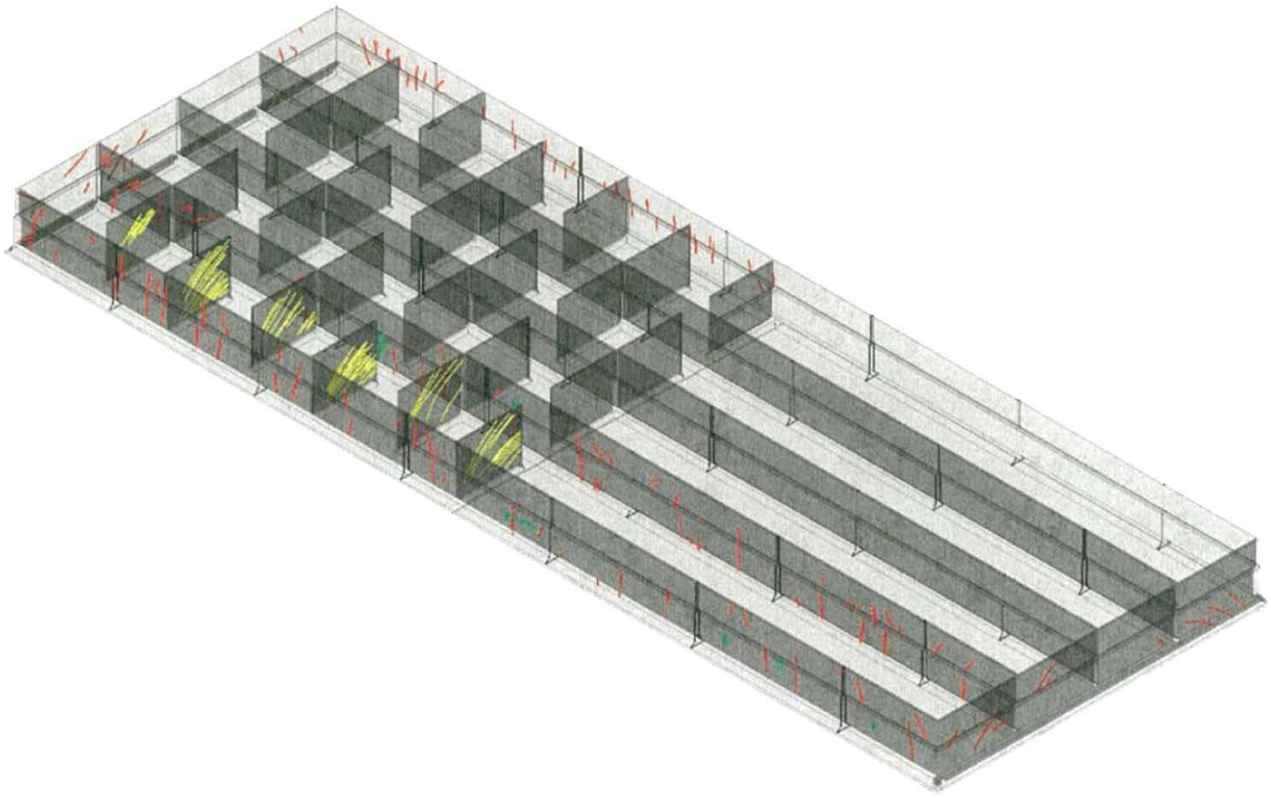


Figura 3. Posizione ed andamento lesioni riscontrate per il lotto I (fonte: "Relazione peritale prima fase")

Per il **Lotto II**, i periti hanno accertato criticità più marcate quali: crollo di una parete esterna delle vasche, deficit di sezione e/o armature in alcune pareti localizzate per lo più nelle vasche di disinfezione, lesioni diffuse sulle pareti esterne e trasversali interne, addebitandone la causa verosimilmente a difetti di progettazione e/o esecuzione dei manufatti.

Si riportano di seguito i grafici del complesso delle lesioni tratto dalla relazione peritale in seconda fase.

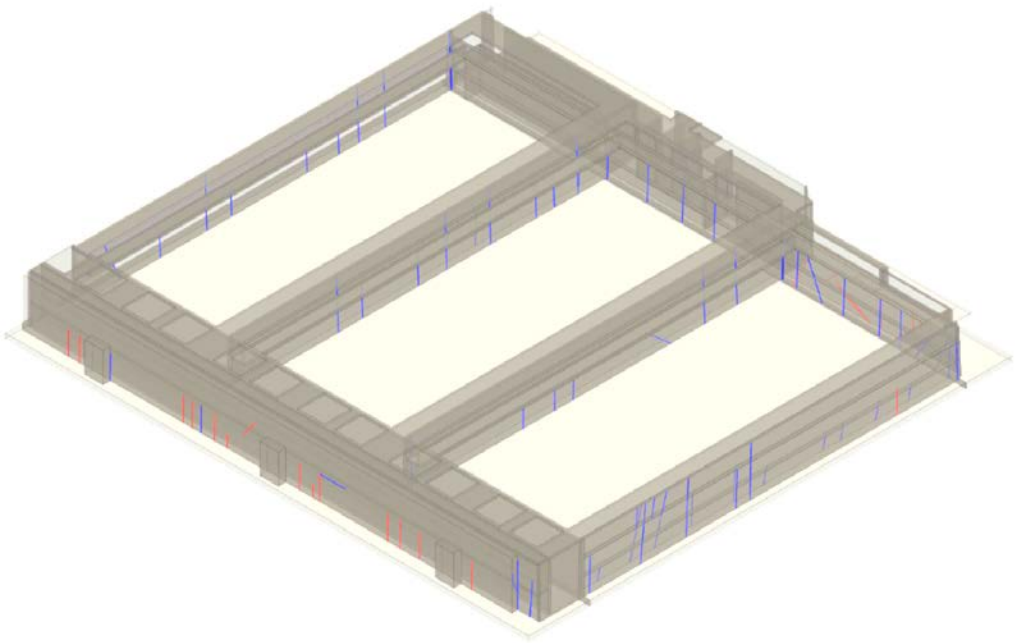


Figura 4. Posizione ed andamento lesioni riscontrate Lotto II - lato flocculazione
(fonte: "Relazione peritale seconda fase")

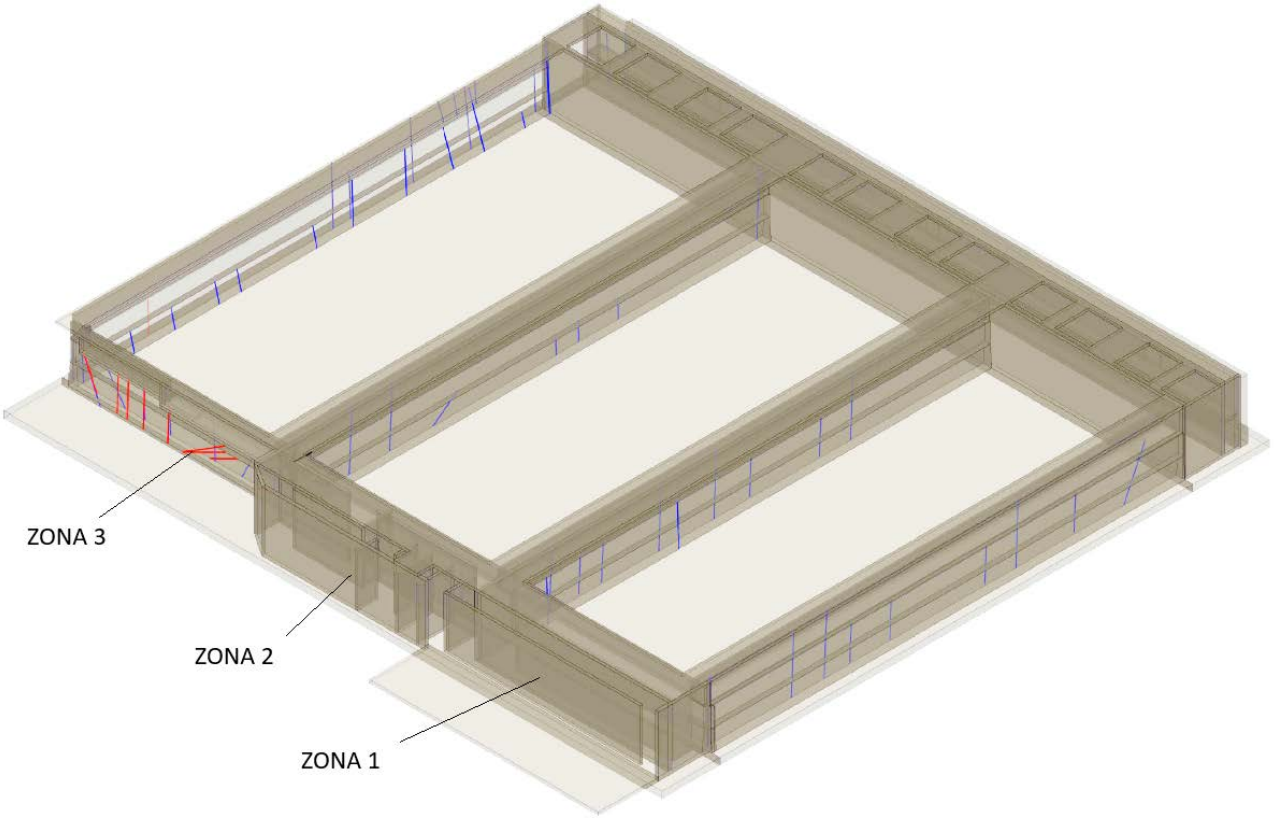


Figura 5. **Posizione ed andamento lesioni riscontrate Lotto II - lato disinfezione** ***(fonte: "Relazione peritale seconda fase")***

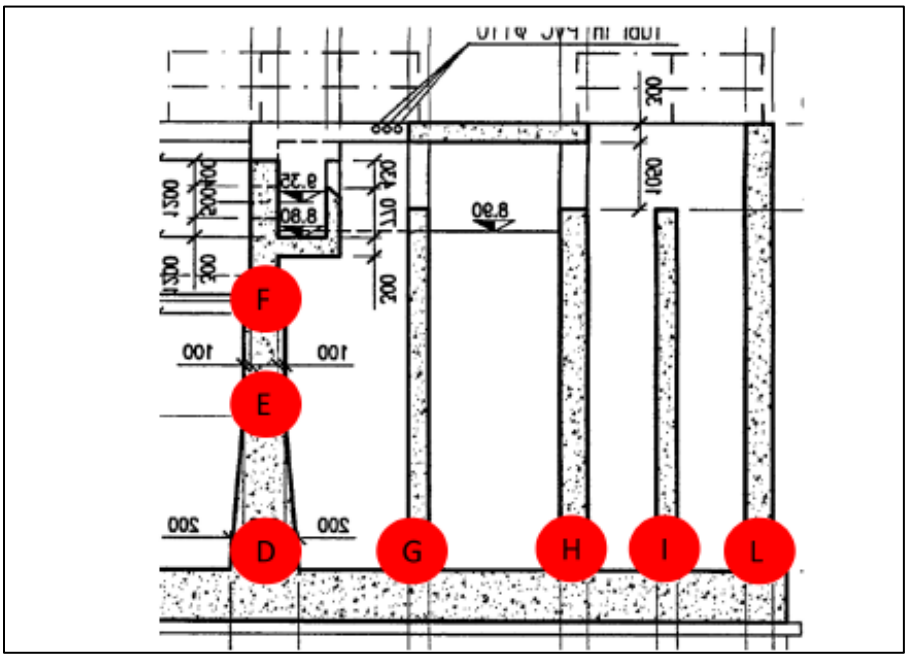


Figura 6. Sezioni indagate nella relazione peritale zona 1 disinfezione (sezioni H e L fortemente deficitarie da verifiche agli SLU)



Figura 7. Crollo della parete esterna della zona 1 delle vasche di disinfezione (*fonte: "Relazione peritale seconda fase"*)

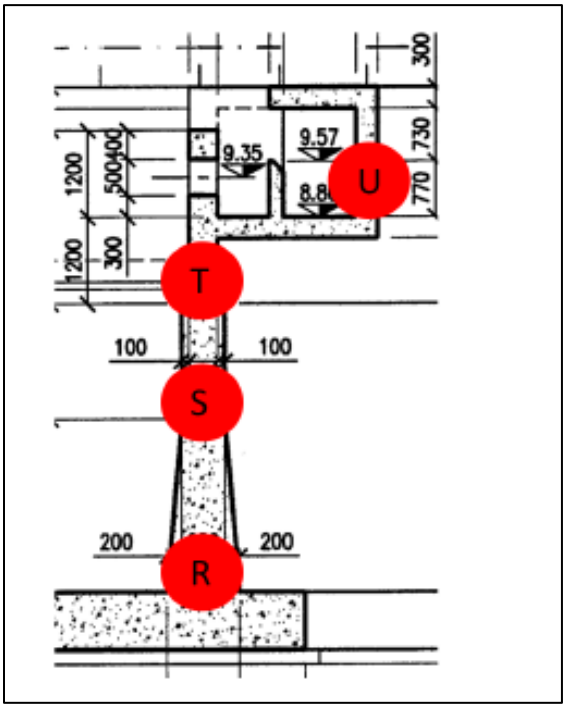


Figura 8. Sezioni indagate nella relazione peritale zona 3 disinfezione (sezione S deficitaria agli SLU)

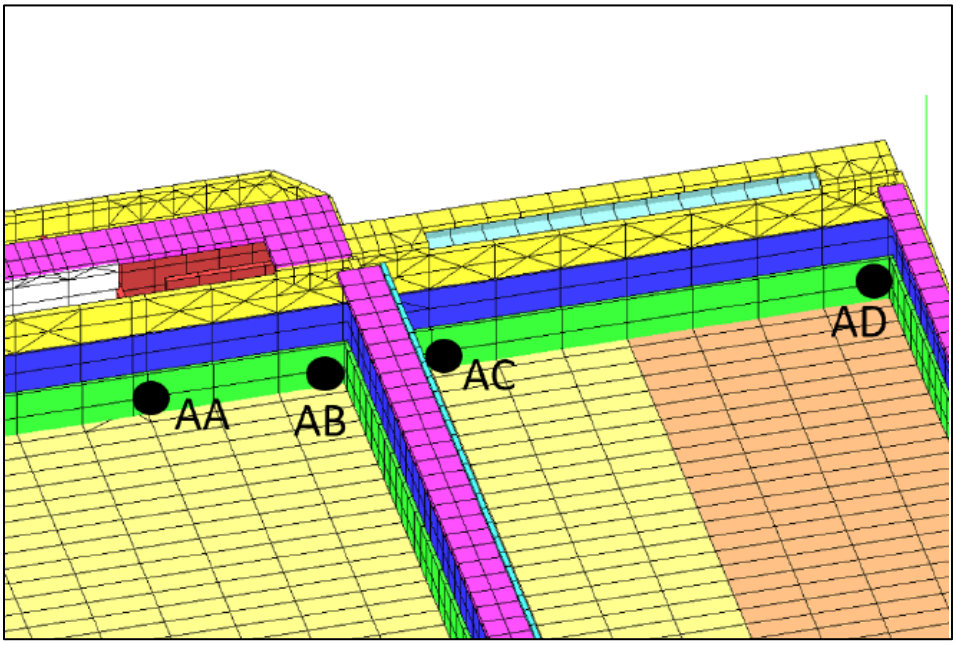


Figura 9. Sezioni indagate con il modello agli elementi finiti nella relazione peritale (AB e AC deficitarie agli SLU)

Riguardo alle cause che hanno determinato la formazione delle fessurazioni sulle pareti di entrambi i lotti, addebitate dai periti prettamente alle sezioni resistenti in c.a. incompatibili con i limiti di apertura delle fessure di Legge, è opportuno in questa sede preliminare evidenziare la necessità di approfondire la problematica dell'eventuale sviluppo di sottopressioni variabili con la quota di falda.

La necessità di questo approfondimento, da sviluppare in sede di progettazione definitiva, discende:

- dallo sviluppo (prettamente verticale) delle lesioni,
- dalla loro diffusione,
- dalla discontinuità delle pressioni sulle fondazioni dovuta al fatto che, con alternanza dettata dalle esigenze gestionali, le vasche vengono svuotate o riempite, generando una variazione della distribuzione dei carichi;
- dalla presenza di giunti verticali sulle pareti determinanti discontinuità del complesso strutturale (mancherebbe la rigidità del complesso data dal funzionamento scatolare),
- dalla vicinanza del sito di costruzione al mare;
- dalla vicinanza della falda al piano campagna.

tutte condizioni che potrebbero generare, in alcune situazioni, un insufficiente contrasto alla spinta per effetto delle variazioni di comportamento del terreno al di sotto della fondazione.

Chi scrive ritiene che un congruo approfondimento, accompagnato anche da un monitoraggio del comportamento dei suoli in funzione della quota di falda, da eseguirsi in un congruo lasso di tempo, possa scongiurare eventuali effetti negativi sulla sicurezza delle strutture dati da lesioni che possano manifestarsi anche dopo il completamento degli interventi di ripristino.

In particolare, in questo caso, andranno sviluppate una serie di simulazione sul comportamento complessivo delle strutture, non già con riferimento al concetto di vasca piena / vasca vuota, inteso singolarmente, ma di *n* combinazioni di *x* vasche vuote e *y* vasche piene o parzialmente piene.

Se dovesse esser riscontrata una effettiva variabilità stagionale o periodica della curva delle sottopressioni (ed ammesso che essa sia omogenea nello spazio, se non nel tempo), si dovrà verificare che effetto ciò abbia sulla fondazione e come ciò si trasmetta poi alle strutture in elevazione.

Di sicuro, per le ragioni sopra esposte, le condizioni di carico sulle strutture sono in questo caso variabili, a seconda che le vasche si presentino piene o vuote.

La curva dei carichi è variabile, per cui possono presentarsi una serie di combinazioni di pieno/vuoto, che andranno tutte simulate nello studio qui caldeggiato.

2.2. Indicazioni preliminari sugli interventi

Le perizie sviluppate dall'Università di Salerno si concludono con alcune indicazioni preliminari inerenti gli interventi da prevedere, che, come si vedrà, sono state a pieno raccolte dagli scriventi, con alcune cautelative aggiunte.

Dalla relazione peritale estrapoliamo le conclusioni:

Per le vasche dell'impianto di sedimentazione occorre prevedere interventi con le seguenti finalità:

a) *Rifacimento parete lato Ovest che divide la vasca di disinfezione dall'esterno (adiacente alla Vasca 1) con una sezione adeguata alle sollecitazioni riportate in Fig. 6.19d;*

b) *Rinforzo di tutte le sezioni che non rispettano le verifiche di resistenza mediante sistemi di rinforzo innovativi;*

c) *Adeguamento della resistenza nei confronti della fessurazione o impermeabilizzazione delle vasche.*

Una possibile soluzione per il rinforzo degli elementi in condizioni critiche è rappresentata dall'impiego di sistemi di rinforzo in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, tipo GeoSteel G3300, applicati con matrice minerale, tipo GeoLite Gel. Tale tipo di intervento potrebbe essere messo in opera con tessuti verticali e orizzontali, eventualmente applicati a fasce, ancorati nelle zone terminali mediante sfiocchi o dispositivi meccanici.

Per quanto riguarda, infine, la fessurazione e la tenuta idraulica, può essere conveniente prevedere una impermeabilizzazione complessiva delle vasche di sedimentazione, intervenendo con una delle due seguenti modalità:

- *Trattamento con impermeabilizzante bicomponente a base di resine epossidiche del tipo Sikalastic®-8440, Mapei Purtop 1000, "NORPHEN VASCHE" della "Nord resine" o simili;*
- *Impiego di manto impermeabile omogeneo, a base di polivinilcloruro (PVC-P), del tipo "Sikaplan® WP 6110-20H", Mapei Mapeplan WT o simili.*

2.2.1. Considerazioni sulle indicazioni della perizia

In effetti, come sarà chiaro nel seguito, per il rinforzo delle sezioni deficitarie, chi scrive ha optato per materiali di comprovata efficacia, piuttosto che per sistemi di rinforzo innovativi, prediligendo dunque tessuti unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, della tipologia proposta da Kerakoll o similari.

Si tratta di materiali che rientrano nel novero delle opzioni previste dalla consulenza dell'Università di Salerno, che, appunto, fa esplicito riferimento al GeoSteel G3300 della Kerakoll.

Rispetto ad altri materiali innovativi (ad esempio basati sull'impiego di fibre di carbonio) si ritiene più cautelativo optare per materiali già conosciuti ed impiegati anche nello specifico settore, ricordando infatti che l'ambiente in cui tali rinforzi si troveranno ad agire è un ambiente aggressivo, nel quale sono presenti reflui con un elevato tenore di solidi e con pH variabili che spesso rientrano nell'ambito corrosivo.

Se è vero che sarà posto in opera un trattamento impermeabilizzante, è anche vero che, nel lungo periodo, l'efficacia di tale impermeabilizzazione andrà fisiologicamente diminuendo. Non potendosi obbligare il gestore al ripristino sistematico dell'impermeabilizzazione (ed ai conseguenti costi) la scelta di materiali che hanno una comprovata resistenza alla corrosione (fibre in acciaio galvanizzato) pare ulteriormente cautelativa per garantire la durabilità degli interventi proposti.

Un altro tema rilevante riguarda la necessità di demolizione di alcune porzioni delle strutture in esame.

La consulenza universitaria, pur non entrando esplicitamente nel merito, sembra concludere che non vi sia necessità di demolire altre pareti, se non quella interessata dal crollo, che va evidentemente ricostruita.

Tuttavia, un ragionamento specifico deve esser fatto con riferimento alla sezione H di figura 39. A tal proposito, nel commentare le verifiche di sicurezza eseguite, i periti precisano:

Le verifiche di resistenza delle strutture in elevazione della vasca di sedimentazione sono risultate soddisfatte nella misura del 88%. Le criticità rilevate (nella misura del 12%) sono limitate alle pareti trasversali in corrispondenza della zona disinfezione, ed in particolare:

- *Sezione H (spessore 40cm), in corrispondenza della base di una delle pareti interne alla zona disinfezione (adiacente alla Vasca 1), con un valore del coefficiente di sicurezza pari a 0.5;*
- *Sezione L (spessore 40cm), in corrispondenza della sezione di base della parete che divide la vasca di disinfezione dall'esterno (adiacente alla Vasca 1). Il valore del coefficiente di sicurezza fornito dalle verifiche in questa sezione è risultato pari a 0.23. Si fa notare che la Sezione L appartiene alla parete crollata dell'impianto di sedimentazione Lotto II;*

Orbene, è opinione degli scriventi che un recupero di sicurezza per la verifica a presso-flessione che porti il coefficiente di sicurezza da 0,5 a 1 sia molto difficile da ottenere con la sola applicazione di materiali di rinforzo, che peraltro non garantiscono simili prestazioni.

Pertanto, anche per la sezione H (e dunque per tutta l'estensione della corrispondente parete della vasca di disinfezione) risulta opportuno, ad opinione id scrive, prevedere la demolizione e ricostruzione, adottando una sezione che garantisca una maggiore resistenza.

3. PROPOSTE PRELIMINARI DI INTERVENTO

Gli interventi proposti, da eseguirsi sulle strutture danneggiate, sono pensati in relazione:

- alle valutazioni dei periti ed alle loro proposte per il ripristino delle strutture danneggiate;
- alle difficoltà oggettive dovute allo stato dei luoghi;
- alla necessità del gestore degli impianti di garantirne la continuità del funzionamento;
- alla convenienza economica della esecuzione.

Gli interventi di messa in sicurezza e ripristino della funzionalità strutturale delle vasche si articola fondamentalmente in quattro modalità esecutive:

- demolizione e ricostruzione delle pareti affette da carenze marcate strutturali, con particolare riferimento alle sezioni H e L delle pareti in zona 1 (Fig. 39);
- realizzazione di contrafforti di sostegno alle spinte sulle pareti esterne con sezioni deficitarie (soluzione opzionale che potrà comunque essere valutata in sede di progettazione definitiva);
- chiusura e sigillatura delle fessure mediante resina epossidica fluida da applicare per iniezione e/o colatura;
- ripristino funzionalità pareti con fessurazioni che eccedono i limiti di Legge, o che abbiano capacità resistente di poco al disotto del limite di Legge, mediante rinforzo strutturale ottenuto con l'ausilio di tessuti in acciaio galvanizzato in matrice di malta ad uso strutturale o con un adeguamento del deficit di armatura mediante inghisaggio delle barre aggiuntive nel cls esistente (es. sezione S in fig. 41).
- Impermeabilizzazione dell'intera superfice interna delle vasche, onde conferire tenuta idraulica e protezione superficiale dal refluo, con caratteristiche aggressive, cui esse sono destinate.

Si descrivono di seguito i singoli interventi elencati in precedenza.

3.1. Demolizione e ricostruzione delle pareti

La demolizione e ricostruzione delle pareti rappresenterebbe una scelta di intervento, validamente alternativa ai placcaggi con reti in materiale ad alta resistenza, per sezioni di parete fortemente deficitarie in termini di resistenza (dove il deficit è legato sia al dimensionamento delle armature che alla sezione di cls.).

Si deve infatti osservare che:

- per le pareti caratterizzate da un deficit così elevato (**coefficiente di sicurezza ≤ 0,5**), il placcaggio potrebbe non essere sufficiente a recuperare una sicurezza accettabile;
- se si riuscisse comunque a raggiungere un livello di sicurezza accettabile con i placcaggi, i costi relativi all'intervento risulterebbero con ogni probabilità di gran lunga superiori a quelli derivanti da un approccio più "tradizionale";
- i materiali tecnologicamente innovativi, quali quelli generalmente citati in perizia, non hanno una storia "consolidata" in relazione alle condizioni ambientali nelle quali devono operare nel tempo, contrariamente al c.a., tanto è vero che gli stessi periti indicano poi reti in acciaio galvanizzato come soluzioni ipotetica da adoperare per i rinforzi.

- i placcaggi sono interventi che richiedono una lavorazione certosina con manodopera altamente specializzata, con il rischio di necessitare tempi di realizzazione assai elevati, in contrasto con l'evidente esigenza, anche ambientale, di rimettere in esercizio la sezione d'impianto nel più breve tempo possibile.

Nella soluzione proposta dagli scriventi, l'intervento di che trattasi avverrà mediante demolizione fino alla messa a nudo dell'armatura di ripresa esistente; successivamente saranno aggiunte nuove armature rinvenenti da una progettazione strutturale e da inghisare nel cls. esistente a mezzo di resine epossidiche in perforo.

Per la ricostruzione delle pareti (con dimensioni ed armature rinvenenti da una progettazione strutturale) saranno adottati calcestruzzi di classe di esposizione ambientale specifica (UNI 11104, UNI EN 206-1), quali:

- C28/35 XA1, adatto ad ambienti chimicamente debolmente aggressivi (es. contenitori per acque reflue)
- C32/40 XD2, adatto ad ambienti che prevedono calcestruzzo completamente immerso in acque contenenti cloruri, qualora siano utilizzati nei processi di depurazione.

Prima dell'esecuzione del getto sulla base della fondazione verrà steso un primer specifico per facilitare l'adesione del nuovo cls. all'esistente.

Le armature, del tipo B450C verranno poste in opera con doppia maglia orizzontale e verticale ed unite tra loro con "legature".

Passi e diametri saranno ottenuti da una progettazione strutturale, tenendo conto anche delle azioni agenti nelle sezioni verticali delle pareti.

I copriferri saranno adeguati alla situazione ambientale in modo da scongiurare fenomeni di degrado chimico.

Al fine di garantire la tenuta in corrispondenza: delle riprese di getto, delle disconnessioni verticali ed eventuali attraversamenti impiantistici, verrà posto in opera un giunto "water stop" a cordolo bentonitico idroespansivo.

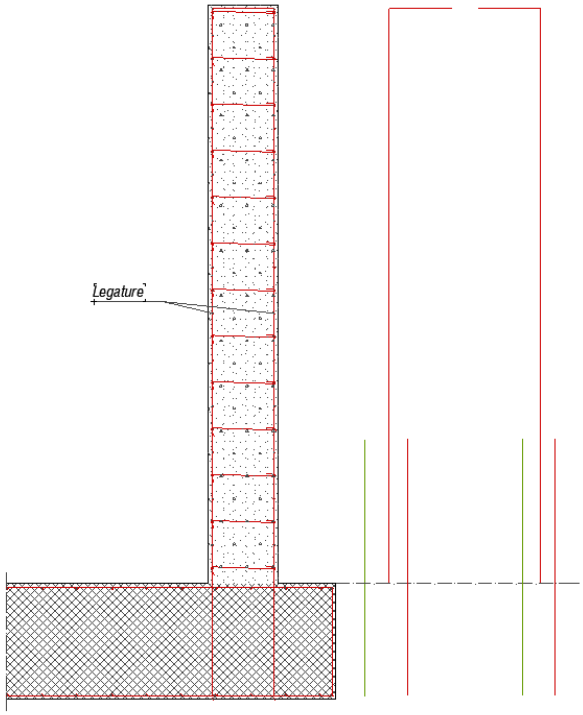


Figura 10. Schema ricostruzione parete con armature verticali, orizzontali e legature (in verde le armature esistenti)

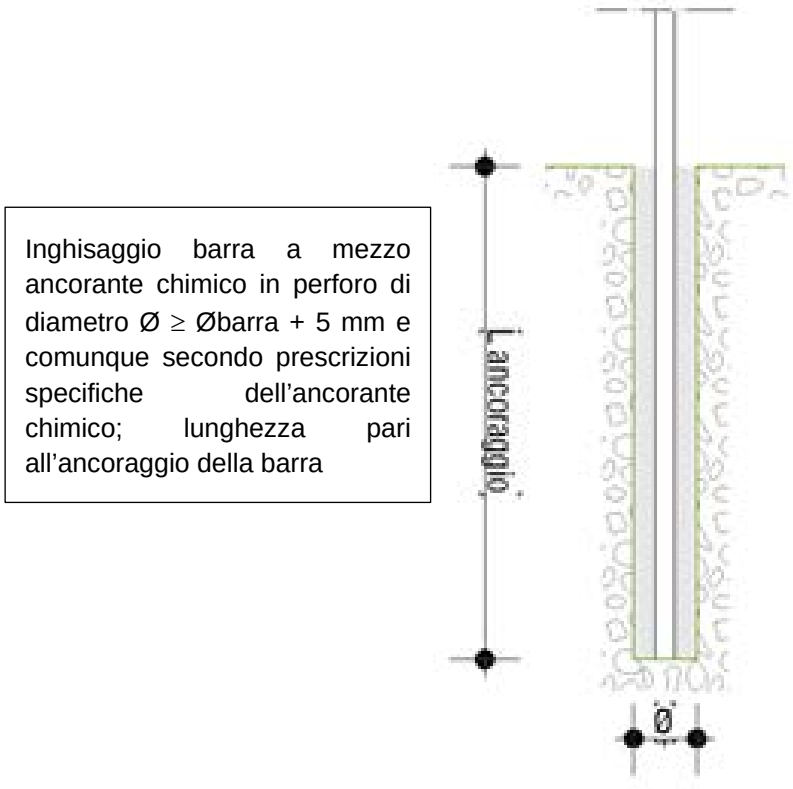


Figura 11. Schema inghisaggio nuove barre



Figura 12. Esempio di codolo water stop (fonte Mapei)

3.2. Contrafforti

Nella prima ipotesi di progetto, sulla base della quale sono state eseguite le valutazioni di carattere economico, non sono previsti contrafforti.

Il rifacimento delle pareti della vasca di disinfezione, interessate dai valori più alti di deficit alla verifica di presso-flessione, è infatti una soluzione che dovrebbe assicurare il buon esito della ricostruzione mirata delle strutture interessate dalle fessurazioni e dai crolli.

Tuttavia, in sede di progettazione definitiva, in base all'esito dei modelli di calcolo strutturale e delle simulazioni eseguite in varie condizioni di esercizio, e quindi con vari regimi di carico, si terrà in considerazione la possibilità di integrare la stabilità strutturale attraverso la realizzazione di "**contrafforti**".

La realizzazione dei contrafforti rappresenta infatti una soluzione alternativa qualora siano presenti difficoltà oggettive nella demolizione e ricostruzione delle pareti strutturalmente deficitarie, quali ad esempio l'impossibilità di interrompere il processo funzionale delle parti di impianto interessate.

Va infatti considerato che, in progettazione definitiva, dovrà essere sviluppata anche una **soluzione di cantierizzazione** che risulti quanto **meno invasiva** rispetto alla **normale conduzione del depuratore**, che rimarrà in esercizio

I contrafforti di sostegno potranno essere realizzati, in particolare, a ridosso delle pareti esterne (es. sezione "L" e "S" della vasca di disinfezione come da Fig. 35), e laddove sia difficile provvedere alla demolizione e ricostruzione (es. nelle vasche funzionanti).

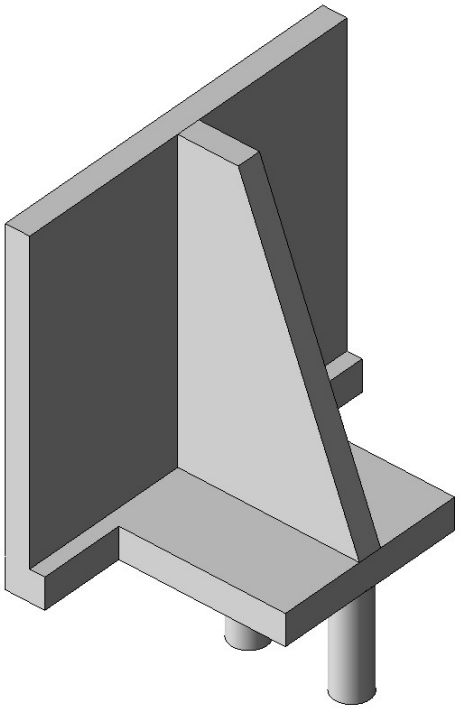


Figura 13. Esempio di contrafforte su parete esistente

Tali contrafforti saranno progettati e realizzati con struttura in c.a. di forma trapezoidale, connessa alle pareti esistenti mediante armature collaboranti da inghisarsi in esse con l'ausilio di resine epossidiche in perforo, in numero e posizione tale da ridurre convenientemente la superficie di parete libera interessata (quindi le sollecitazioni su di esse gravanti), avranno una fondazione solidamente connessa a quella delle vasche attraverso la stessa modalità usata per le pareti, così da garantire l'uniformità degli spostamenti dell'intero complesso.

Per l'esecuzione dei contrafforti saranno utilizzati calcestruzzi di classe di esposizione ambientale specifica (UNI 11104, UNI EN 206-1), quali:

- C32/40 XC4, adatto ad ambienti esterni dove il calcestruzzo sia esposto agli agenti atmosferici;
- C25/30 XC2, per le fondazioni non esposte agli ambienti atmosferici.

E' di tutta evidenza che, in questa sede di progettazione preliminare, non è possibile, senza sviluppare un modello complessivo delle strutture, definire il numero e l'estensione dei contrafforti, che dovrà peraltro anche tener in debito conto eventuali interferenze con la viabilità interna dell'impianto o con la presenza di altri edifici/apparecchiature.

Si tratta di considerazioni che dovranno essere compiutamente sviluppate in sede di progettazione definitiva.

3.3. Chiusura e sigillatura fessure

La chiusura e sigillatura delle fessure, necessarie al fine di ripristinare la tenuta del calcestruzzo, avverrà mediante l'utilizzo di resine epossidiche di consistenza molto fluida, da applicarsi per iniezione, o per colatura qualora la superficie da trattare sia pressoché orizzontale; in entrambi i casi le fessure andranno svasate per facilitare la penetrazione della resina.

Nel caso di esecuzione su superfici inclinate (es. pareti) verranno realizzati dei fori di iniezione e stuccata superficialmente la fessura con malta strutturale, così da contenere la colatura della resina ed al contempo proteggerla dagli agenti esterni.



Figura 14. Esempio procedura di iniezione (fonte Resimix)

In sede di stima preliminare, questa tipologia di interventi è stata prevista per il **10%** del complessivo sviluppo delle strutture in elevazione.

3.4. Rinforzi strutturali

Al fine di scongiurare il riformarsi o l'ampliarsi delle fessure esistenti sarà necessario provvedere ad un rinforzo locale delle sezioni in c.a. mediante l'uso si tessuti in fibra di acciaio galvanizzato, resi solidali alla superficie della struttura attraverso malte strutturali ad alta resistenza ed aventi la duplice funzione di aumentare la sezione resistente ed al contempo legare il tessuto in fibra di acciaio al cls originario. La quantità e la qualità dei tessuti sarà valutata in base a calcoli strutturali ed alla specifica situazione in sito.

L'applicazione potrà avvenire su una faccia o su entrambe le facce in base alla natura della fessurazione:

- in caso di fessure passanti e dovute ad azioni nel piano della parete su entrambe le facce;
- per fessure su una sola faccia, dovute ad azioni prettamente fuori piano, l'applicazione avverrà sulla faccia lesionata, tranne nel caso in cui debba realizzarsi un aumento della sezione resistente a compressione per la quale sarà applicata una malta di ripristino strutturale di spessore adeguato alle verifiche.

In alternativa al metodo sopra descritto potrà essere realizzato un incremento di armatura tradizionale, adeguatamente progettata secondo Legge.



Figura 15. Esempio di rinforzo con tessuti in fibra di acciaio ed applicazione di malta strutturale (*fonte Kerakoll*)

Tale intervento potrà essere realizzato attraverso:

- la decorticatura localizzata del cls, fino a raggiungere il copriferro necessario, per permettere l'alloggiamento delle nuove barre;
- la posa in opera delle barre aggiuntive;
- l'inghisaggio delle barre mediante l'applicazione di malte per ripristini strutturali, previa pulitura a fondo delle superfici di aggrappo, fino a ripristino delle superfici piane originarie del cls.

Anche in questo l'applicazione potrà avvenire su singola o doppia faccia in relazione al tipo di fessura e/o alla necessità di aumento della sezione resistente e comunque in base alle risultanze di una progettazione strutturale.

In sede di stima preliminare, questa tipologia di interventi è stata prevista per il **10%** del complessivo sviluppo delle strutture in elevazione.

E' di tutta evidenza che tutti gli interventi sopra descritti potranno essere modificabili in sede di progettazione definitiva/esecutiva qualora le reali condizioni in sito lo richiedano.

In questa sede si è ritenuto, anche e soprattutto sulla scorta delle relazioni e valutazioni proposte dai consulenti Universitari all'uopo incaricati da GORI, di eseguire delle stime preliminari finalizzate alla definizione del calcolo sommario della spesa e, conseguentemente, a definire un importo dei lavori a farsi ragionevolmente coerente con le esigenze e necessità emerse dagli studi eseguiti.

3.5. Interventi di finitura

A completamento degli interventi previsti, si è ritenuto di inserire, per un'estensione pari al 40% dello sviluppo delle pareti verticali dei manufatti, interventi di rasatura e tinteggiatura, a fini prevalentemente estetici.

Si è dunque previsto:

- Tinteggiatura con idropittura a base di resine silossaniche in dispersione acquosa a finitura opaca, per ripristino e manutenzione di superfici esterne cavillate, sistemi termoisolanti, pitture e rivestimenti murali in genere, ad elevata flessibilità, idrorepellenza e permeabilità al vapore, applicata a pennello a due mani su supporto preparato: bianca. Considerato da effettuare sul 40% della superficie totale delle pareti dell'intero monoblocco biologico.
- Rasatura di superfici in calcestruzzo e di parti ricostruite con malte speciali, effettuata con malta cementizia monocomponente a base di cementi speciali, inerti fini selezionati, resine sintetiche e microsilicati, applicata a spatola con rifinitura a frattazzo di spugna, dello spessore non inferiore a 3mm. Considerato da effettuare sul 40% della superficie totale delle pareti dell'intero monoblocco biologico.

4. MONITORAGGIO DELLE STRUTTURE

Considerati il quadro lesionativo rilevato, la funzione dei manufatti, le modalità di conduzione dell'impianto; prima e dopo l'esecuzione dei lavori di ripristino e consolidamento è opportuno prevedere una fase di monitoraggio, avente lo scopo di:

- valutare le possibili evoluzioni delle lesioni riscontrate;
- trovare eventuali concause oltre quelle ipotizzate nella relazione peritale;
- scongiurare eventi dannosi come quello occorso alla parete crollata;
- calibrare gli interventi di ripristino e consolidamento e controllarne la bontà dopo l'esecuzione.

Il monitoraggio potrà avvenire con le seguenti modalità complementari:

- Il controllo dei movimenti rigidi dell'insieme delle strutture;
- Il controllo dell'andamento delle lesioni riscontrate (fessurazioni/deformazioni);
- Il controllo dell'andamento delle variazioni del contenuto di liquame nelle vasche.

Le predette modalità concorreranno insieme alla mappatura temporale dei movimenti dell'intera struttura.

Il controllo dei movimenti rigidi delle strutture sarà eseguito periodicamente (con minima cadenza mensile), attraverso la misurazione delle posizioni di target fissati alle pareti, tramite un teodolite a stazione totale.



Figura 16. Esempio di teodolite a stazione totale



Figura 17. Esempio di target da fissare a parete con tasselli

I target saranno specificamente posizionati:

- in sommità ed alla base delle pareti, in corrispondenza degli incroci tra loro;
- in corrispondenza delle pareti giuntate, in sommità ed alla base di ogni parete;
- in sommità ed alla base pareti affette da lesioni, in corrispondenza della mezzeria della parete.

Per far sì che la lettura delle misurazioni sia confrontabile nel tempo saranno previsti due punti fissi al suolo, al fine di ottenere misure con il teodolite su un unico riferimento di base, da evidenziare in loco mediante picchetti o pilastrini con target ben fissati al suolo. In alternativa al monitoraggio con teodolite potrà essere utilizzata una stazione di misurazione GPS, con tolleranze di misura confrontabili quelle ottenute dal teodolite.



Figura 18. Esempio di ricevitore GPS per misurazioni

Il controllo dell'andamento delle lesioni potrà essere condotto in modo continuo o periodico utilizzando sistemi di telerilevamento con appositi trasduttori e centralina di acquisizione.

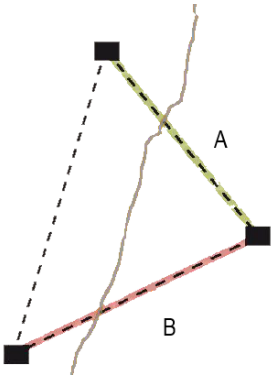


Figura 19. Esempio di estensimetro con misurazione continua

Nel caso di specie come trasduttori verranno utilizzati estensimetri da collocarsi sulle pareti lesionate "asciutte" ed a cavallo delle lesioni di maggior estensione. Essi saranno fissati con tasselli ad espansione e posizionati in coppia con allineamenti diversi, in tal modo sarà possibile ottenere misurazioni in due direzioni distinte per mappare gli spostamenti nel piano della parete.

Il controllo dell'andamento delle variazioni del contenuto dei liquami delle vasche si renderà necessario per verificare eventuali correlazioni tra gli spostamenti rigidi e le deformazioni nelle zone critiche e la conduzione dell'impianto.

Il monitoraggio potrà avvenire periodicamente nelle fasi di macro variazione dovute alle attività di svuotamento e/o riempimento delle vasche con semplice registrazione temporale dell'evento, o in maniera approfondita con telerilevamento attuato attraverso piezometri disposti nelle vasche interessate.



Schema posizionamento estensimetri A e B su una lesione



Esempio di piezometro elettrico

Per l'esecuzione di tale monitoraggio, *ante e post operam*, si è dunque considerato un congruo importo inserito nelle somme a disposizione dell'amministrazione del quadro economico di progetto.

5. CALCOLO SOMMARIO DELLA SPESA

Di seguito viene riportata una stima, evidentemente preliminare e sommaria, degli importi necessari per l'esecuzione delle lavorazioni sin qui descritte

Consolidamento e Rinforzo Strutturale Monoblocco Biologico

Descrizione	U.M.	Q.tà	Importi	
			unitario	totale
Demolizione di struttura in calcestruzzo di qualsiasi forma o spessore, compreso l'avvicinamento al luogo di deposito provvisorio in attesa del trasporto allo scarico: armato, eseguita con l'ausilio di mezzi meccanici	mc	266,0	€ 94,78	€ 25.211,48
Ricostruzione in c.a. delle pareti demolite, sezioni "L" ed "H", spessore 100cm, H=7,0m, Ltot=95m, Inc. ferro arm. 100kg/mc	a corpo	1,0	€ 159.600,00	€ 159.600,00
Riparazione di fessure in strutture in c.a. con resina mediante iniezione di sistema epossidico bicomponente, iperfluido, a bassissima viscosità e conforme ai requisiti prestazionali richiesti dalla Norma EN1504-5-6; sigillatura superficiale delle fessure e posizionamento delle cannule da iniezione mediante adesivo minerale epossidico, in gel, esente da solventi, a bassissime emissioni di sostanze organiche volatili, Euroclasse di reazione al fuoco C-s2, d0 (EN13501-1); emissione di sostanze organichevolatili EC1; compresa la preparazione del substrato, l'installazione degli iniettori di plastica, la stuccatura preliminare della superficie della lesione mediante adesivo epossidico minerale e la sigillatura finale dei fori utilizzati mediante adesivo epossidico minerale, escluse: le prove di accettazione del materiale; le indagini pre- e post-intervento; tutti i sussidi necessari per l'esecuzione dei lavori Il prezzo è calcolato considerando un'ampiezza media entro 1,2 mm: (incidenza 4m/mq). Considerato da effettuare sul 10% della superficie totale delle pareti dell'intero monoblocco biologico.	mq	3037,2	€ 299,56	€ 909.823,63
Rinforzo strutturale di elementi in c.a. per confinamento pilastri, rinforzo nodi trave-pilastro, mediante l'utilizzo di sistema composito con tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, formato da micro-trefoli di acciaio, fissati su una microrete in fibra di vetro, resistenza a trazione > 3000 MPa; deformazione ultima a rottura > 1,50%; area effettiva di un trefolo 3 × 2 (5fili) = 0,538 mm2; con avvolgimento dei fili ad elevato angolo di torsione conforme alla norma ISO 17832/2009, comprese bagnatura a rifiuto del supporto, stesura dei due strati di adesivo minerale epossidico in gel conforme ai requisiti prestazionali richiesti dalla norma EN1504-4, senza primer di aggrappo; euroclasse di reazione al fuoco C-s2, d0 (EN13501-1), emissione di sostanze organiche volatili EC1, resistenza a trazione adesiva su calcestruzzo conte ssuti di rinforzo in fibra di acciaio galvanizzato in singolo e doppio strato > 4 MPa (EN24624) con interposto tessuto; esclusi eventuale trattamento di ripristino delle superfici degradate, ammalorate, decoese o non planari, l'eventuale bonifica delle zone degradate e ripristino del substrato, i dispositivi di ancoraggio mediante connettori o piastre metalliche, le prove di accettazione del materiale e le indagini pre e post-intervento: con tessuto, del peso netto di fibra di circa 3300g/m2; n. trefoli per cm = 7,09; spessore equivalente del nastro = 0,381mm: spessore totale2 ÷ 3mm. Considerato da effettuare sul 10% della superficie totale delle pareti dell'intero monoblocco biologico.	mq	3037,2	€ 282,71	€ 858.646,81

Fornitura in opera di trattamento impermeabile vasche in c.a. mediante malta cementizia monocomponente flessibile, fibrorinforzata (tipo Sikalastik 1K), per impermeabilizzazioni e protezione del calcestruzzo; sistema di verniciatura tipo Factory color neutra Kerakoll. Considerato da effettuare sul 40% della superficie totale delle pareti e platee dell'intero monoblocco biologico.	mq	48084,0	€ 63,51	€ 3.053.814,84
Tinteggiatura con idropittura a base di resine silossaniche in dispersione acquosa a finitura opaca, per ripristino e manutenzione di superfici esterne cavillate, sistemi termoisolanti, pitture e rivestimenti murali in genere, ad elevata flessibilità, idrorepellenza e permeabilità al vapore, applicata a pennello a due mani su supporto preparato: bianca. Considerato da effettuare sul 20% della superficie totale delle pareti dell'intero monoblocco biologico.	mq	12148,8	€ 18,93	€ 229.976,78
Rasatura di superfici in calcestruzzo e di parti ricostruite con malte speciali, effettuata con malta cementizia monocomponente a base di cementi speciali, inerti fini selezionati, resine sintetiche e microsilicati, applicata a spatola con rifinitura a frattazzo di spugna, dello spessore non inferiore a 3mm. Considerato da effettuare sul 20% della superficie totale delle pareti dell'intero monoblocco biologico.	mq	12148,8	€ 16,96	€ 206.043,65
Ponteggi per eseguire le lavorazioni previste sul monoblocco biologico: opere di consolidamento, rinforzo, rasatura e tinteggiatura.	a corpo	1,0	€ 525.000,00	€ 525.000,00
IMPORTO COMPLESSIVO			**€**	**5.968.117,20**

6. CONCLUSIONI

Le valutazioni eseguite dagli scriventi, nell'ambito di uno studio di fattibilità e, dunque, con la corrispondente approssimazione, sono in totale coerenza con le conclusioni del lavoro peritale sviluppato dall'Università degli Studi di Salerno, attraverso la Consulenza Scientifica dei chiar.mi Proff. Feo e Rizzano.

Per stabilire alcuni parametri necessari ad addivenire ad una, ancorché sommaria, stima economica sono state assunte alcune scelte di indirizzo.

La prima è rappresentata dall'aver ritenuto imprescindibile, ai fini del recupero di stabilità della struttura, la demolizione e ricostruzione delle sezioni deficitarie con coefficiente di sicurezza risultato $\leq 0{,}5$.

Di fatto, questa valutazione si allarga alla parete della zona disinfezione già crollata (sezione H), da demolire e ricostruire per la sua intera lunghezza e della parete immediatamente a tergo (sezione L).

La seconda "scelta" progettuale risiede nell'aver definito i materiali da utilizzare per il rinforzo delle strutture in elevazione, in particolare dove risulta basso il coefficiente di sicurezza della verifica a presso-flessione o dove è presente un significativo quadro fessurativo, Stimata in ca. il 10% della superficie totale delle strutture in elevazione la porzione interessata da dette criticità, il materiale scelto per quantificare economicamente gli interventi di rinforzo è rappresentato da un sistema composito con tessuto unidirezionale in fibra di **acciaio galvanizzato ad altissima resistenza**, formato da micro-trefoli di acciaio, fissati su una microrete in fibra di vetro, resistenza a trazione > 3.000 MPa; deformazione ultima a rottura > 1,50%; area effettiva di un trefolo 3 × 2 (5fili) = 0,538 mm^2, con avvolgimento dei fili ad elevato angolo di torsione conforme alla norma ISO 17832/2009, comprese bagnatura a rifiuto del supporto, stesura dei due strati di adesivo minerale epossidico in gel conforme ai requisiti prestazionali richiesti dalla norma EN1504-4, senza primer di aggrappo.

Si tratta di una delle opzioni suggerite dai Consulenti Universitari nelle conclusioni della relazione peritale.

Infine si è prevista l'esecuzione di interventi di impermeabilizzazione per tutta la superficie interna delle vasche, incluse le platee, e di interventi di rasatura e tinteggiatura all'occorrenza, per le porzioni a vista, stimati nell'ordine del 40% dell'intera superficie delle pareti esterne .

Non sono inclusi nella stima eventuali contrafforti, benché gli scriventi non escludano che, ad esito della modellazione e del calcolo strutturale che sarà eseguito nella fase di progettazione definitiva, questa soluzione tecnica non risulti opportuna o necessaria.

D'altra parte, è sempre in quella sede di progettazione definitiva che saranno definite le quantità non approssimative (sommarie, appunto), ma estimative dei vari interventi e lavorazioni necessari per il risanamento delle strutture.