

**Dott.Ing.Graziano FALAPPA**

Via Roma, n° 73 - 60035 JESI (AN)

**Dott.Ing. Mauro OLIVIERI**

**Dott.Ing. Sonia BOZZA**

Acque Bresciane S.r.l.

Via XXV Aprile, n° 18 – 25038 ROVATO (BS)

## **VERIFICA DELLO STATO DI CONSERVAZIONE**

### **DELLE CONDOTTE SUBLACUALI TOSCOLANO MADERNO – TORRI DEL BENACO**

#### **DOPO GLI INTERVENTI DI RIPARAZIONE IN ALTO FONDALE (3° ANNO – MARZO 2023)**

#### **1. PREMESSA**

La presente Relazione fa seguito all'emissione di precedenti documenti in cui sono state di volta in volta trattate le varie attività eseguite dal Gestore Acque Bresciane sul collettore sub lacuale Toscolano Maderno – Torri del Benaco sul Lago di Garda, finalizzate a verificare periodicamente lo stato di conservazione delle condotte e i conseguenti interventi di riparazione eseguiti in alto fondale onde poter garantire il mantenimento in sicurezza dell'esercizio del collettore stesso.

In particolare, si fa riferimento a:

- Verifica dello stato di conservazione delle condotte sub lacuali Toscolano Maderno – Torri del Benaco redatta in data 14/01/2020 dall'Ing. Graziano Falappa congiuntamente all'Ing. Mauro Olivieri in qualità di Direttore Tecnico di Acque Bresciane, trasmessa all'Ufficio d'Ambito con Prot. 2394 del 15.01.2020;
- Verifica dello stato di conservazione delle condotte sub lacuali Toscolano Maderno – Torri del Benaco redatta in data 20/03/2020 dall'Ing. Graziano Falappa congiuntamente alla Prof.ssa Roberta Pedrazzani in qualità di Direttore del Laboratorio Analisi Industriali e Ambientali – Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale dell'Università degli Studi di Brescia, trasmessa all'Ufficio d'Ambito con Prot. 21676 del 31.03.2020;
- Verifica dello stato di conservazione delle condotte sub lacuali Toscolano Maderno – Torri del Benaco redatta in data 14/06/2021 dall'Ing. Graziano Falappa congiuntamente all'Ing. Mauro Olivieri in qualità di Direttore Tecnico di Acque Bresciane, trasmessa all'Ufficio d'Ambito con Prot. 52844 del 16/06/2021;
- Verifica dello stato di conservazione delle condotte sub lacuali Toscolano Maderno – Torri del Benaco redatta in data 30/06/2022 dall'Ing. Graziano Falappa relativa ai servizi di rilievo ed ispezione (4° anno), trasmessa all'Ufficio d'Ambito con Prot. 63529 del 18/07/2022.

Nel seguito vengono illustrati gli esiti dei nuovi interventi di riparazione (3° anno – marzo 2023) eseguiti in alto fondale sulle condotte sub lacuali.

L'ultimo capitolo della relazione riporta la previsione di pianificazione di interventi a breve e medio termine da parte di Acque Bresciane.

## **2. IL COLLETTORE FOGNARIO**

Il collettore in questione convoglia in pressione i reflui fognari ancora da trattare da Toscolano Maderno sulla sponda bresciana sino a Torri del Benaco sulla sponda veronese, in prossimità di Punta San Vigilio, attraversando completamente l'alto lago di Garda.

Una volta raggiunta la sponda veronese, i reflui fognari vengono convogliati in altrettanti collettori sublacuali in cui vengono fatte confluire anche le acque reflue raccolte via via lungo l'intera sponda veronese del lago sino a raggiungere il depuratore di Peschiera del Garda.

Il collettore è stato realizzato tra anni 1984 e 1985 dal Raggruppamento d'Imprese Cimi-Montubi (capogruppo) e Geomar ed è costituito da 2 condotte sublacuali parallele in acciaio aventi un diametro di DN 400mm dello spessore di 13,5mm che si estendono per una lunghezza di circa 7,396 km secondo un tracciato di posa che raggiunge la profondità massima di -247m.

## **3. ATTIVITA' PRECEDENTI SVOLTE SUL COLLETTORE**

Trattandosi di un collettore fognario che ha pressoché raggiunto il periodo finale della propria vita tecnica sulla base delle più accreditate norme di settore vigenti all'epoca della progettazione, in aggiunta alle normali attività di conduzione e manutenzione programmate e al fine di prevenire eventuali rotture delle condotte sublacuali, ovvero di minimizzare i rischi di rottura, con l'obiettivo di mantenere in esercizio e in sicurezza il collettore più a lungo possibile, il Gestore Acque Bresciane ha svolto tutta una serie di attività straordinarie che nel seguito vengono sintetizzate.

- 1) Nell'aprile 2013 è stata eseguita una video ispezione esterna dell'intero collettore, da parte della Ditta Video Production di Maderno, da cui non sono emerse anomalie degne di essere attenzionate.
- 2) Nel maggio 2016 sono state eseguite delle verifiche spessimetriche delle condotte subacquee in prossimità dei due approdi, estese sino alle profondità di -18m (Toscolano Maderno) e di -38m (Torri del Benaco), da parte della Ditta Ecologia Soluzione Ambientale di Reggio Emilia mediante l'intervento del Raggruppamento Subacquei ed Incursori "Teseo Tesei" di Ancona. Dalle verifiche effettuate sono emersi spessori d'acciaio residui delle condotte sostanzialmente conformi a quelli nominali.
- 3) A partire dal mese di novembre 2016 l'Ing. Falappa ha proceduto ad una catalogazione di tutti i dati tecnici esistenti agli atti del Gestore Acque Bresciane relativi alle condotte sublacuali oltre alla raccolta delle caratteristiche del tracciato e profilo "As-built" del collettore tratto dalla contabilità finale dei lavori. Nel contempo, sulla base dei dati rilevati, sono state eseguite sempre dall'Ing. Falappa specifiche analisi delle sollecitazioni (*Stress analysis*) agenti sulle condotte posate sul fondo del lago in base alle più accreditate norme internazionali DnV'81 "Rules for Submarine Pipeline Systems". Ciò ha consentito di individuare a livello numerico i tratti di collettore a maggiore criticità e pertanto da attenzionare con particolare cura sia a livello ispettivo sia di rilievi.
- 4) Nel maggio 2017 sono state eseguite ulteriori verifiche spessimetriche delle condotte subacquee in prossimità dell'approdo di Toscolano Maderno, da parte della Ditta Carmar Sub di Ancona.

Dalle verifiche effettuate sono emersi ancora una volta spessori d'acciaio residui delle condotte sostanzialmente conformi a quelli nominali.

Nel corso delle attività, coordinate dall'Ing. Falappa, sono state effettuate anche delle riprese video-fotografiche da cui, inaspettatamente, è emersa la presenza sulle superfici esterne delle condotte

di numerose formazioni conglomerate, inglobate all'interno di più estese zone di *macrofouling* e vegetazione acquatica.

Sono pertanto seguiti tutta una serie di specifici accertamenti di approfondimento e indagini subacquee da parte dei sommozzatori che hanno evidenziato -per la prima volta- la presenza di un fenomeno di biocorrosione delle tubazioni in acciaio dovuto a *pitting* e vaiolatura (sino alle profondità di -40m) sia in prossimità dell'approdo di Toscolano Maderno e sia in prossimità dell'approdo di Torri del Benaco, ancorché in quest'ultimo in misura nettamente inferiore.

Contestualmente sono stati anche raccolti da parte dei sommozzatori campioni di concrezioni prelevati sui due versanti. Essi sono stati sottoposti ad analisi per l'identificazione del fenomeno presso il Laboratorio di Analisi Industriali e Ambientali del Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale dell'Università degli Studi di Brescia (a cura della Dott. ssa R. Pedrazzani) e il Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente dell'Università degli Studi di Pavia (a cura del Prof. M. Setti).

- 5) Nel giugno 2017 sono stati eseguiti una prima serie di interventi di riparazione localizzati sulle condotte sub lacuali in basso fondale (sino alle profondità di -40m) ottenuti mediante l'installazione subacquea di speciali giunti di clampaggio esterni delle condotte.

I lavori sono stati eseguiti da parte della Ditta Carmar Sub, sotto la direzione dell'Ing. Falappa.

- 6) Nel giugno 2017 sono state quindi eseguite da parte della Ditta Carmar Sub delle ispezioni visive delle condotte estese sino alla profondità di -120m, sia lungo la scarpata di Toscolano Maderno che di Torri del Benaco, tramite veicolo filoguidato ROV (*Remote Operated Vehicle*).

Lungo la scarpata di Toscolano Maderno sono stati individuati circa n. 20 punti critici con presenza di concrezioni significative con ragionevoli punti di vaiolatura, tendenti progressivamente a diminuire sino a scomparire all'aumentare della profondità.

L'estensione complessiva dei due tratti di collettore investigati con presenza di concrezioni è risultata essere pari a circa 548m.

- 7) Nel giugno 2017 è stata redatta dall'Ing. Falappa una analisi di rischio finalizzata all'accertamento dello stato di conservazione delle condotte sublacuali con cui è stato determinato il livello di rischio e la conseguente probabilità di accadimento di ogni possibile causa iniziatrice.

Quest'ultima definita come quell'evento che potrebbe minacciare l'integrità delle condotte subacquee e portare al rilascio del prodotto trasportato.

La relativa matrice di rischio (probabilità di accadimento / conseguenze) con cui viene stabilito se un determinato rischio è da ritenersi accettabile o inaccettabile è stata definita secondo le più accreditate norme e procedure internazionali (DnV-RP-F116, "*Integrity management of submarine pipeline systems*").

Dall'analisi eseguita è scaturito che solo il rischio di biocorrosione esterna delle condotte risulta essere molto alto e quindi inaccettabile con la diretta conseguenza di dover eseguire misure mitigative atte a evitare possibili fuoriuscite del fluido trasportato.

In definitiva secondo le norme e le procedure internazionali è risultato che il Gestore dovrà attuare tutte le azioni e le misure mitigative per mantenere o ridurre il rischio ad un livello accettabile solo limitatamente al fenomeno della biocorrosione esterna.

- 8) Nel luglio 2017 è stato redatto dall'Ing. Falappa uno specifico Piano di Manutenzione, Ispezione e Intervento che fornisce al Gestore sia i minimi requisiti per l'ispezione e la manutenzione periodica capace di prevenire o ridurre eventuali danni e sia lo strumento per selezionare le procedure e i mezzi da usare in un eventuale intervento di riparazione di emergenza delle condotte stesse (*E.P.R.S.- Emergency Procedure Repair System*).

- 9) Nel settembre 2017, sulla base degli accertamenti tecnici eseguiti sino a -120m di profondità, è stato redatto dall'Ing. Falappa il 1° progetto esecutivo degli interventi di riparazione in alto fondale localizzati sulle condotte sub lacuali prevedente anche i servizi di ispezioni periodiche. L'intervento è scaturito dai risultati degli accertamenti tecnici eseguiti nel giugno 2017 sino a -120m di profondità.

Successivamente i lavori sono stati affidati all'Impresa Drafinsub di Genova.

- 10) Nel dicembre 2018, sempre mediante veicolo filoguidato ROV, sono state eseguite da parte della Drafinsub, sotto la direzione dell'Ing. Falappa, nuove ed ulteriori ispezioni e rilievi subacquei che hanno interessato l'intera lunghezza del collettore fognario e che hanno messo in luce in maniera inaspettata la presenza di un numero di formazioni conglomerate molto superiore rispetto a quelle precedentemente rilevate appena 18 mesi prima e, soprattutto, non solo distribuite su entrambi i versanti di Toscolano Maderno e di Torri del Benaco, ma estese anche a profondità ben maggiori, comprese tra circa -120m sino a circa -186m, andando così ad interessare dei tratti di collettore molto più estesi rispetto a quello iniziale preventivato.

Dall'analisi sono emersi, complessivamente, oltre n. 150 punti con presenza di significative concrezioni disposte sulle superfici esterne di entrambe le condotte sub lacuali per una estensione di circa 1660 m. Nel corso delle attività subacquee sono stati prelevati campioni da sottoporre ad analisi, analogamente a quanto riportato al punto 4).

Durante i lavori di ispezione subacquea sono stati immersi provini in acciaio di diversa composizione, realizzati presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale dell'Università degli Studi di Brescia, al fine di studiarne la durabilità conseguente all'aggressione batterica.

- 11) Nei mesi di febbraio-marzo 2019 sono stati eseguiti da parte della Drafinsub, sotto la direzione dell'Ing. Falappa, gli interventi di riparazione veri e propri delle condotte in alto fondale che sono consistiti nella rimozione di tutte le bioconcrezioni, nella misura spessimetrica in corrispondenza di ogni cratere presente sull'acciaio, nell'applicazione sulle superfici metalliche nude di speciali resine epossipoliamminiche bicomponenti e nella installazione di speciali giunti a collare.

Complessivamente gli interventi di riparazione eseguiti sulle condotte sublacuali in alto fondale fra i -40 m e i -186 m di profondità hanno portato alle seguenti risultanze:

- n. 44 clampe installate, di cui n. 27 sul versante di Toscolano Maderno e n.17 sul versante di Torri del Benaco;
- n. 78 punti riparati mediante applicazione di resina epossidica subacquea, di cui n.52 sul versante di Toscolano Maderno e n. 26 sul versante di Torri del Benaco;
- totale dei punti riparati: n. 122;
- sui restanti punti sono state asportate solo le bioconcrezioni superficiali in quanto il sottostante rivestimento esterno delle condotte non è risultato ancora attaccato e tantomeno sono stati accertati fenomeni di "pitting" in atto sull'acciaio;
- nel corso delle attività subacquee sono stati prelevati campioni da sottoporre ad analisi, analogamente a quanto riportato al punto 4).

- 12) Nell'ambito del Piano di manutenzione, ispezione ed intervento e nell'ottica di mantenere in esercizio e in sicurezza le condotte sub lacuali costituenti il collettore fognario, nei mesi di febbraio-marzo 2020, e quindi a distanza di circa 1 anno dalle precedenti ispezioni ed interventi di riparazione eseguiti sul collettore (1° anno), sono state eseguite da parte della Drafinsub, sempre sotto la direzione dell'Ing. Falappa, nuove ed ulteriori ispezioni periodiche delle condotte (3° anno).

Le nuove ispezioni hanno interessato:

- a) il basso fondale (sino alla profondità massima di -40m) sia sul versante di Toscolano Maderno che di Torri del Benaco mediante sommozzatori che hanno effettuato tutta una serie di misure spessimetriche e monitorato la formazione di bioconcrezioni, aggregati e vaiolature su ognuna delle due condotte;
- b) l'alto fondale (oltre la profondità di -40m) per l'intera lunghezza del collettore, tramite video ispezioni eseguite mediante veicolo filoguidato ROV (*Remote Operated Vehicle*).

Dall'analisi dei risultati dei rilievi è emerso che su entrambe le condotte (sia Nord che Sud) in basso fondale, in corrispondenza di entrambi gli approdi, non sono state rilevate formazioni di bioconcrezioni e tantomeno vaiolature e/o alterazioni e degradi delle superfici delle condotte, inoltre sono stati misurati in media spessori d'acciaio superiori a quello nominale di 13,5 mm, comunque tutti ricompresi all'interno della tolleranza di produzione delle tubazioni.

Dall'analisi dei risultati delle ispezioni video effettuate su entrambe le condotte in alto fondale, è invece emerso quanto segue:

- i. il numero totale delle formazioni originatesi lungo le due condotte a distanza di appena un anno dal precedente rilievo ed aventi una certa significatività in termini di dimensioni areali è assai rilevante, pari a n. 248 unità, distribuite pressoché casualmente su entrambe le condotte;
  - ii. il maggior numero delle neoformazioni (n. 244 su un totale di n. 248) è concentrato lungo il versante di Toscolano Maderno. Solo n. 4 di esse sono state rilevate sul versante di Torri del Benaco;
  - iii. solo le prime due neoformazioni, poste lungo il versante di Toscolano Maderno, sono ubicate a profondità comprese tra circa -51,0m e -71,0m;
  - iv. ben n. 246 formazioni sono state invece rilevate nell'intervallo di profondità compreso tra -146,0m (circa) e -188,0m (circa), sia sul versante di Toscolano Maderno che su quello di Torri del Benaco;
  - v. il tratto di collettore in cui sono state rilevate formazioni sul versante di Toscolano Maderno ha una estensione di circa 2.795m (dal PK 0+327 al PK 3+122) ed è sensibilmente più lungo rispetto al tratto in cui erano state riscontrate 1 anno prima. In ogni caso tra le prime due formazioni e le successive vi è un tratto di circa 469,5m di lunghezza del tutto privo di esse;
  - vi. il tratto di collettore in cui sono state rilevate formazioni sul versante di Torri del Benaco ha una estensione di appena 51,5m (dal PK 6+894 al PK 6+945,5) ed è ricompreso all'interno del tratto in cui erano state riscontrate e rimosse le concrezioni 1 anno prima;
  - vii. la maggior parte delle formazioni (circa il 90%) sono concentrate in corrispondenza dei cordoni di saldatura dei giunti delle barre di tubo costituenti le condotte ed aventi una lunghezza di 12,0 m.
- 13) Nel maggio 2020, sulla base delle ispezioni periodiche eseguite sulle condotte (3° anno), è stato redatto dall'Ing. Falappa il 2° progetto esecutivo degli interventi di riparazione in alto fondale localizzati sulle condotte sub lacuali.

Successivamente i lavori sono stati affidati all'Impresa Drafinsub di Genova.

14) Nei mesi di marzo-aprile 2021 sono stati eseguiti da parte della Drafinsub, sotto la direzione dell'Ing. Falappa, gli interventi di riparazione veri e propri delle condotte in alto fondale che sono consistiti, ancora una volta, nella rimozione di tutte le bioconcrezioni, nella misura spessimetrica in corrispondenza di ogni cratere presente sull'acciaio, nell'applicazione sulle superfici metalliche nude di speciali resine epossipoliamiche bicomponenti e nella installazione di speciali giunti a collare.

Complessivamente gli interventi di riparazione eseguiti sulle condotte sublacuali in alto fondale fra i -51,0m e i -186,0m di profondità sono stati n. 251 come nel seguito dettagliati:

- n. 16 clampe installate, tutte sul versante di Toscolano Maderno;
- n. 75 punti riparati mediante applicazione di resina epossidica subacquea, tutte sul versante di Toscolano Maderno;
- totale dei punti riparati: n. 91;
- sui restanti punti sono state asportate solo le bioconcrezioni superficiali in quanto il sottostante rivestimento esterno delle condotte non è risultato ancora attaccato e tantomeno sono stati accertati fenomeni di "pitting" in atto sull'acciaio;
- nel corso delle attività subacquee sono stati prelevati campioni da sottoporre ad analisi, analogamente a quanto riportato al punto 4).

Da quanto sopra, ne deriva che il numero di concrezioni rimosse pari a 251 unità è restato sostanzialmente identico a quelle previste in progetto pari a 248 unità (rilevate dopo un anno dal precedente intervento) e con ciò dimostrando che in questo lasso di tempo il numero di formazioni è restato invariato.

15) Nell'ambito del Piano di manutenzione, ispezione ed intervento e nell'ottica di mantenere in esercizio e in sicurezza le condotte sub lacuali costituenti il collettore fognario, nei mesi di aprile-maggio 2022, e quindi a distanza di circa 1 anno dal precedente intervento di riparazione eseguiti sul collettore (2° anno), sono state eseguite da parte della Drafinsub, sempre sotto la direzione dell'Ing. Falappa, nuove ed ulteriori ispezioni periodiche delle condotte (4° anno).

#### **4. INTERVENTI DI RIPARAZIONE IN ALTO FONDALE (3° ANNO – Febbraio-Marzo 2023)**

##### **4.1 Il Progetto di riparazione delle condotte**

Preso atto degli esiti delle nuove ispezioni (4° anno), al fine di poter mantenere in esercizio e in sicurezza le condotte sub lacuali sino alla loro fine vita, nel settembre 2022 è stato redatto dall'Ing. Falappa il 3° progetto esecutivo degli interventi di riparazione in alto fondale (3° anno).

Nel progetto, analogamente ai precedenti interventi, è stata necessariamente prevista la mobilitazione di un adeguato spread operativo in termini di mezzi navali, attrezzature e sommozzatori in saturazione iperbarica operanti in accordo alle vigenti norme di sicurezza e tutela della salute nelle attività subacquee (UNI 11366).

Considerata l'entità e la distribuzione delle neoformazioni, la loro estensione lungo il collettore oltre alle profondità di intervento, sono stati previsti n. 14 diversi punti di posizionamento del pontone appoggio lungo il tracciato.

E' stato previsto che in corrispondenza di ogni punto di posizionamento il pontone fosse debitamente ancorato al fine di consentire le operazioni sul fondo del lago in totale sicurezza da parte dei sommozzatori iperbarici.

In funzione delle caratteristiche dei verricelli e delle lunghezze dei cavi di ormeggio che sono strettamente correlati alle profondità, è stato previsto che per ogni punto di posizionamento il pontone si potesse spostare e trascinarsi con manovre di tonneggio sulle proprie ancore sino a coprire un tratto di collettore avente una lunghezza massima di circa 256 m.

Tenuto conto altresì che i sommozzatori iperbarici hanno un raggio di azione ammissibile in base alla lunghezza degli ombelicali di circa 25 m rispetto alla posizione della campana iperbarica, ne deriva che per ogni punto di posizionamento dovevano essere effettuati con manovre di tonneggio n. 5 spostamenti intermedi al fine di coprire l'intera lunghezza massima di 256 m.

All'interno di ognuno dei tratti afferenti ai singoli punti di posizionamento è stato quindi definito il numero degli interventi di rimozione delle neoformazioni, esattamente come risultante dai rilievi ispettivi, sino a coprire il totale di 156 unità.

Il ripristino del rivestimento anticorrosivo esterno mediante resine epossipoliamiche è stato stimato orientativamente nella misura del 50% rispetto agli interventi di rimozione delle formazioni.

Dopo la totale rimozione delle formazioni, è stato previsto che ogni qual volta venisse accertata una lesione del rivestimento esterno in resina epossidica e la presenza di sottostanti vaiolature o pitting sull'acciaio, i sommozzatori dovranno precedere sempre alla misurazione dello spessore meccanico resistente residuo dell'acciaio.

Qualora lo spessore meccanico resistente residuo dell'acciaio risultasse inferiore al 50% di quello nominale è stato previsto di procedere sia al ripristino del rivestimento anticorrosivo che all'installazione di speciali clampe esterne sulle condotte che, orientativamente, sono state stimate nella misura di circa il 10% rispetto agli interventi di rimozione delle formazioni.

Nella tabella che segue vengono sintetizzati gli interventi inseriti e previsti dal progetto esecutivo di settembre 2022.

Pos. N.	P.K.	LUNG. TRATTO (m)	PROF. MIN (m)	PROF. MAX (m)	ESCURS. PROF (m)	RIMOZIONE FORMAZIONI N.	RIPRISTINO RIVESTIM. N.	INSTALL. CLAMPE N.
1	3+248	256,00	-186,80	-220,00	33,20	6,0	3,0	1,0
2	2+992	256,00	-173,80	-186,80	13,00	2,0	1,0	-
3	6+868	256,00	-136,70	-205,70	69,00	9,0	4,0	1,0
4	2+736	256,00	-169,00	-173,80	4,80	7,0	3,0	1,0
5	2+480	256,00	-169,00	-172,20	3,20	13,0	6,0	1,0
6	2+224	256,00	-172,20	-175,60	3,40	10,0	5,0	1,0
7	1+968	256,00	-175,60	-187,60	12,00	12,0	6,0	1,0
8	1+712	256,00	-181,80	-187,60	5,80	18,0	9,0	2,0
9	1+456	256,00	-163,10	-181,80	18,70	23,0	11,0	2,0

Pos. N.	P.K.	LUNG. TRATTO (m)	PROF. MIN (m)	PROF. MAX (m)	ESCURS. PROF (m)	RIMOZIONE FORMAZIONI N.	RIPRISTINO RIVESTIM. N.	INSTALL. CLAMPE N.
10	1+200	256,00	-156,50	-163,10	6,60	10,0	5,0	1,0
11	0+944	256,00	-146,10	-156,50	10,40	3,0	2,0	-
12	0+688	256,00	-128,20	-146,10	17,90	13,0	6,0	1,0
13	0+432	256,00	-41,40	-128,20	86,80	15,0	7,0	2,0
14	7+124	256,00	-36,2	-136,70	100,50	15,0	7,0	1,0
<b>INTERVENTI TOTALI PREVISTI:</b>						<b>156,0</b>	<b>75,0</b>	<b>15,0</b>

#### 4.2 L'intervento di riparazione delle condotte

I lavori di intervento sono stati affidati, ai sensi e per gli effetti dell'art. 125, c. 1, lett. f) del Codice dei Contratti Pubblici (D. Lgs n. 50/2016 e s.m.i.) e della volontà di avvalersi della facoltà di rinnovo dei lavori analoghi prevista negli atti di gara, all'Impresa Drafinsub di Genova che ha eseguito tutte le riparazioni delle condotte nei mesi di febbraio e marzo 2023 sotto la Direzione dei lavori dell'Ing. Falappa.

Gli interventi di riparazione che sono stati eseguiti hanno richiesto l'impiego di tecnici e sommozzatori iperbarici altamente specialistici che si sono calati sul fondo del lago di Garda sino alla massima profondità di -220,0m, superiore di oltre 30,0 m rispetto alle precedenti profondità raggiunte nel 2019 e 2021 nella stessa area di intervento, che pertanto costituisce il nuovo record mondiale in un bacino "chiuso", ossia non direttamente raggiungibile da mezzi marini.

##### a) Descrizione dell'equipaggiamento utilizzato

Per questo lavoro v'è stata la necessità di realizzare e allestire direttamente sul lago di Garda uno specifico pontone modulare appoggio di tutte le attrezzature iperbariche necessarie, che è stato preventivamente omologato ed autorizzato dal Ri.N.A.

La prima fase di lavoro di lavoro è pertanto consistita nella mobilitazione di una serie di cassoni galleggianti da assemblare tra loro sino a formare un pontone ed ha visto l'impiego di:

- n. 1 gru idraulica con 250 ton di portata e 60 metri di braccio;
- n. 32 bilici che hanno trasportato un totale di 350 tonnellate di attrezzature;
- n. 1 pontone modulare che assemblato ha portato ad una configurazione di 20x24 m di ponte disponibile, depth 1,50 m, draft 1,20 m;
- n. 12 tecnici specializzati nel montaggio delle nostre attrezzature fra cui carpentieri e saldatori, elettricisti e meccanici.

Nel progetto sono stati eseguiti tutti i calcoli di stabilità del pontone secondo le più severe condizioni di carico. I risultati ottenuti soddisfano completamente l'altezza metacentrica minima in accordo ai regolamenti Ri.N.A. per la classificazione delle navi (Ri.N.A.: *Rules for Classification of Naval Ships – Part b – Hull and Stability*).

La robustezza longitudinale del pontone (*Deck Strength*) è stata calcolata per verificare l'adeguatezza del ponte del pontone galleggiante durante tutte le fasi operative previste per assicurare il rispetto dei regolamenti Ri.N.A. relativamente agli equipaggiamenti posizionati a bordo.

Tutte le analisi sono state sviluppate utilizzando specifici software di ingegneria navale (*Maxsurf Hydromax Advanced*).

L'equipaggiamento di alto fondale che è stato installato a bordo del pontone era costituito da una serie di moduli containerizzati che include i seguenti componenti principali:

- Campana d'immersione da 2/3 operatori
- A-Frame per la messa a lago e recupero campana
- Container verricelli che include:
  - Verricelli principale campana (doppio motore, doppio sistema di frenaggio, man-riding con carico ammissibile di 8 tons);
  - Verricelli guida-cavi utilizzabile come sistema primario di emergenza per il sollevamento campana;
  - Verricelli di emergenza secondario;
  - 4 motori idraulici integrati in centralina
- Container da 20" contenente la camera di decompressione *Transfer Under Pressure* equipaggiata con i servizi sanitari e la *Entry Lock* equipaggiata con il sistema di condizionamento e un *medical lock* (passa oggetti)
- Container da 20" contenente la camera di decompression Main Lock equipaggiata con 4 letti e *material lock*
- Camera di emergenza *Hyperbaric Rescue Chamber* (HRC)
- Sistema di lancio dell'HRC dedicato
- Container 20" contenente la cabina di controllo Diving e saturazione
- Container 20" (flat rack) contenente il sistema di *Fire Fighting*
- Container 20" contenente il sistema di riscaldamento acqua ai divers e integrata officina
- Container 8" contenente un sistema di condizionamento ambientale dell'impianto.

L'impianto è stato montato a bordo seguendo un layout per immersione fuori bordo.

Il secondo livello dell'impianto montato a bordo del pontone è stato dedicato in particolare alla control room che è il cuore dell'impianto; dalla cabina vengono gestite, grazie al Life Support Supervisor e al Diving Supervisor, tutte le operazioni svolte dall'impianto.

L'impianto ha ottenuto le seguenti conformità:

- Ri.N.A. Rules for the Classification of Underwater Units
- IMCA D024
- ASME Safety Standards for Pressure Vessel for Human Occupancy -1-2007
- IMO Res. A.692 (17) Guidelines and Specifications for Hyperbaric Evacuation Systems.
- IMO Res A.831(19) Code of Safety for Diving System
- ASME: Boiler and Pressure Vessel Code 2007, Part VIII Division 1
- UNI 11366: Sicurezza e tutela della salute nelle attività subacquee ed iperbariche professionali al servizio dell'industria (in vigore da Giugno 2010).
- E' stato previsto un idoneo sistema di evacuazione in emergenza dei sommozzatori in saturazione.

Infatti, durante le attività in saturazione nel caso in cui si dovesse fronteggiare una incontrollabile situazione di emergenza, i sommozzatori in saturazione dovranno essere evacuati dal pontone.

Per questo l'uso di una Hyperbaric Rescue Chamber permette una sicura evacuazione dei sommozzatori, particolarmente in caso di:

- incendio non controllabile a bordo
- pontone in affondamento.

L'HRC è stata quindi connessa al sistema per offrire la possibilità di effettuare un'evacuazione iperbarica nel caso di inaspettata e incontrollabile emergenza. Questa può ospitare 4/6 sommozzatori. In caso di evacuazione iperbarica, l'HRC, una volta "ammarata", può essere rimorchiata fino alla riva dove è stato previsto un Hyperbaric Reception Spread pronto a riceverla per controllare la decompressione di emergenza dei sommozzatori. Una volta che l'HRC con i sommozzatori evacuati al suo interno, ha raggiunto la località assegnata, per mezzo di una gru è sollevata fuori dall'acqua e posizionata in un'area dedicata, dove l'LSP viene connesso e vengono controllati e mantenuti nei range i parametri vitali.

#### b) Descrizione degli interventi

Le principali attrezzature mobilitate per gli interventi di riparazione sono state:

- Motobarca di appoggio alle operazioni subacquee;
- Rimorchiatore di appoggio al pontone modulare;
- Pontone modulare con larghezza 20 m e lunghezza 24m come sopra descritto;
- Impianto iperbarico di saturazione come sopra descritto idoneo per operazioni fino a 200m di profondità;
- gruette di sollevamento attrezzature;
- ROV di assistenza al sommozzatore;
- n. 3 generatori (2 x 550 KVA e 1 x 150 KVA);
- n. 1 camera iperbarica di emergenza;
- n. 4 verricelli di tonnage per il posizionamento del pontone.

Una volta ultimata la pressurizzazione delle prime due squadre di sommozzatori (ognuna costituita da 2 unità e quindi per un totale di n. 4 sommozzatori) all'interno dell'impianto di alto fondale e l'ormeggio del pontone modulare nella prima posizione di lavoro, i primi due sommozzatori sono passati dalla camera iperbarica alla campana che è stata calata a fondo lago.

In linea del tutto generale gli interventi di riparazione sono consistiti nella rimozione delle bioconcrezioni disposte sulla superficie esterna delle condotte sub lacuali mediante l'uso di spazzole, raschietti e mole ad azionamento idraulico o manuale, nella pulitura al vivo di tutte le superfici da residui fangosi, nella misura spessimetrica non solo in corrispondenza dei crateri presenti sull'acciaio ma anche lungo l'intera circonferenza delle condotte, nella spalmatura sulle superfici metalliche nude di speciali resine epossipoliamiche bicomponenti al fine di sigillare le cavità e i possibili punti di perdita e riprendere così la continuità del preesistente rivestimento esterno anticorrosivo delle condotte e nell'eventuale successiva installazione di speciali giunti a collare (clampe) in corrispondenza dei punti di vaiolatura più critici.

Il primo sommozzatore di ogni squadra ha operato singolarmente al fondo mediamente per circa 4 ore con il secondo sommozzatore in stand-by all'interno della campana pronto ad intervenire in caso di emergenza, dopo di che si è invertita la posizione e il secondo sommozzatore ha operato per ulteriori 4 ore.

Considerando i tempi di ammaino e sollevamento della campana iperbarica ogni squadra ha operato per un tempo complessivo di circa 9 ore al termine del quale si è alternata con la seconda squadra, ripetendo identiche tutte le operazioni.

Le risultanze dei lavori eseguiti sono sintetizzate nella tabella che segue:

POS. N.	P.K.	LUNG. TRATTO (m)	PROF. MIN (m)	PROF. MAX (m)	ESCURS. PROF (m)	RIMOZIONE FORMAZIONI N.	RIPRISTINO RIVESTIM. N.	INSTALL. CLAMPE N.
1	3+248	256,00	-186,80	-220,00	33,20	6,0	---	---
2	2+992	256,00	-173,80	-186,80	13,00	3,0	1,0	1,0
3	6+868	256,00	-136,70	-205,70	69,00	8,0	2,0	---
4	2+736	256,00	-169,00	-173,80	4,80	11,0	8,0	1,0
5	2+480	256,00	-169,00	-172,20	3,20	22,0	10,0	1,0
6	2+224	256,00	-172,20	-175,60	3,40	24,0	2,0	1,0
7	1+968	256,00	-175,60	-187,60	12,00	16,0	3,0	1,0
8	1+712	256,00	-181,80	-187,60	5,80	24,0	4,0	---
9	1+456	256,00	-163,10	-181,80	18,70	34,0	16,0	1,0
10	1+200	256,00	-156,50	-163,10	6,60	22,0	7,0	1,0
11	0+944	256,00	-146,10	-156,50	10,40	6,0	4,0	1,0
12	0+688	256,00	-128,20	-146,10	17,90	12,0	3,0	1,0
13	0+432	256,00	-41,40	-128,20	86,80	20,0	8,0	1,0
14	7+124	256,00	-36,2	-136,70	100,50	11,0	4,0	1,0
<b>INTERVENTI TOTALI ESEGUITI:</b>						<b>219,0</b>	<b>72,0</b>	<b>11,0</b>

Da quanto sopra, ne deriva un numero di concrezioni rimosse pari a 219 unità, e quindi con un incremento di 63 unità rispetto a quelle rilevate appena un anno prima.

E' stato eseguito il ripristino del rivestimento esterno su n. 72 punti, sostanzialmente identico a quello stimato a livello progettuale in n. 75 unità solo in base alle dimensioni areali risultanti dall'ispezione visiva effettuata con ROV.

Infine, sono state installate complessivamente n. 11 clampe meccaniche, in numero leggermente inferiore rispetto ai 15 punti stimati a livello progettuale solo in base alle dimensioni areali risultanti dall'ispezione visiva effettuata con ROV.

## **5. RIEPILOGO DELLE ATTIVITA' SVOLTE**

A seguito di tutte le attività ingegneristiche, analisi, ispezioni e rilievi di dettaglio (2017, 2018, 2020 e 2022), oltre ai n. 3 interventi di riparazione (2019, 2021 e 2023) eseguiti sulle condotte sub lacuali costituenti il collettore in questione che va Toscolano Maderno a Torri del Benaco, si può riepilogare quanto segue:

- Le condotte nel loro complesso non rivelano riduzioni di spessore rispetto a quello nominale.
- A partire dal mese di maggio 2017 è stato evidenziato un crescente fenomeno di formazione di bioconcrezioni e aggregati sulla superficie delle condotte che ha generato eventi localizzati di deterioramento del rivestimento polimerico, corrosione con generazione di “*pitting*” e vaiolature sull’acciaio.
- A seguito degli interventi di riparazione che sono stati eseguiti e portati a termine con successo sia in basso che in alto fondale nel marzo 2019 (1° anno), tutti i punti precedentemente interessati da corrosioni localizzate sono stati riparati e quindi le buone condizioni strutturali e di tenuta delle condotte sono state ripristinate.
- Sulla base delle risultanze dei rilievi effettuati nel febbraio 2020 si è tuttavia riscontrato che la superficie delle condotte era stata sede di un’intensissima attività biologica che ha portato allo sviluppo di *micro* e *macrofouling*. L’aumento di quest’ultimo nelle acque del Benaco è confermato da studi di altri Enti di ricerca.
- A seguito degli ulteriori interventi di riparazione in alto fondale che sono stati eseguiti e portati a termine con successo nell’aprile 2021 (2° anno), ancora una volta tutti i punti interessati da nuove corrosioni localizzate sono stati riparati e quindi le buone condizioni strutturali e di tenuta delle condotte sono state ripristinate.
- Sulla base delle risultanze dei rilievi effettuati nell’aprile-maggio 2022 è tuttavia evidente che la superficie delle condotte è sede di un’intensissima attività biologica che porta allo sviluppo di *micro* e *macrofouling* (l’aumento di quest’ultimo nelle acque del Benaco è confermato da studi di altri enti di ricerca).
- A seguito degli ulteriori interventi di riparazione in alto fondale che sono stati eseguiti e portati a termine con successo nel marzo 2023 (3° anno), ancora una volta tutti i punti interessati dalle nuove corrosioni localizzate sono stati riparati e quindi le buone condizioni strutturali e di tenuta delle condotte sono state nuovamente ripristinate.
- L’insieme delle condizioni del sito (caratteristiche chimico-fisiche dell’acqua del lago e dei sedimenti e loro gradiente verticale e orizzontale, caratteristiche del materiale costituente le condotte - acciaio e rivestimento-, caratteristiche del liquame trasportato nelle tubazioni - composizione e temperatura) è favorevole alla proliferazione di organismi di diversa natura (*micro* e *macrofouling*), alcuni dei quali trovano nelle superfici esterne delle condotte in acciaio un ambiente idoneo alla crescita in ammassi macroscopici.
- Lo sviluppo di popolazioni di organismi può aver luogo anche in tempi molto ridotti, come dimostrato sia dalle campagne di rilevazione svolte negli anni 2018 e 2019, sia dal controllo effettuato nel febbraio-marzo 2020, possono subire anche rallentamenti eclatanti visto che nel periodo intercorso tra marzo 2020 e marzo 2021 il numero di formazioni si è mantenuto invariato, seguite da riprese significative degli accrescimenti così come dimostrato dalla campagna di rilievi svolta nell’anno 2022 rispetto all’intervento eseguito nel 2021 e dell’ultimo intervento eseguito del 2023 in cui è stato accertato un ulteriore forte incremento delle bioconcrezioni a distanza di meno di 1 anno dal precedente rilievo.
- Tra gli organismi che aderiscono alle superfici delle condotte e le colonizzano sono stati diffusamente rinvenuti batteri responsabili della formazione di concrezioni minerali e, ciò che è più rilevante, di vaiolature che possono, a lungo andare, portare alla perforazione del manufatto. La maggior parte dei microorganismi oggetto di studio è in grado di percorrere alternativamente vie metaboliche differenti, in funzione della disponibilità dei nutrienti e delle condizioni ambientali (es. il potenziale di ossidoriduzione). In questi agglomerati complessi i prodotti di reazione di un gruppo di microorganismi possono diventare i reagenti per ulteriori reazioni svolte da altri batteri.
- Per quanto attiene al *macrofouling*, particolarmente evidente a partire dal 2020, si segnala la presenza di poriferi e di molluschi bivalvi, spesso in associazione con le concrezioni neoformate.

- La ricerca delle cause che determinano il protrarsi di tali eventi è complessa e necessita di acquisire ulteriori dati, tramite l'esecuzione di nuove campagne di monitoraggio: appare tuttavia evidente che l'ecologia del lago sta mutando significativamente, come testimoniato, tra l'altro, dalla perturbazione della dinamica di popolazioni da parte di specifici fattori abiotici, dalle alterazioni del chimismo, dallo sviluppo di specie invasive (come peraltro rilevato a cura di gruppi di ricerca italiani e internazionali). In ragione di tali considerazioni, è in atto una campagna di monitoraggio tramite una sonda oceanografica che consente di monitorare la qualità dell'acqua nel transetto Toscolano Maderno-Torri del Benaco fino a una profondità di 200 metri.
- In parallelo allo studio delle condotte, sono sottoposti a prelievo ed esame periodico (ispezione visiva, prelievo delle concrezioni - e degli organismi adesi a essi, analisi microbiologiche, prove meccaniche) provini di tre diverse leghe di acciaio (ivi compreso il materiale costituente le condotte): fenomeni di corrosione e *pitting* stanno causando un progressivo deterioramento della superficie in tutte e tre le tipologie di acciaio.

## 6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

A seguito di tutto quanto sopra esposto, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Le bioconcrezioni stanno progressivamente colonizzando la condotta sia in termini di estensione areale che raggiungendo profondità sempre più elevate. Considerando il "lato" Toscolano Maderno si evidenzia che:

Anno	Estensione (m)	Profondità (m)
2018	1660	-190
2023	3180	-220

Il lato "Torri del Benaco", invece, evidenzia una estensione areale costante, circa 346 m, ma in un numero sempre crescente (28 in questo intervento).

- Alla luce delle risultanze di tutti i rilievi via via eseguiti, l'Analisi di Rischio eseguita secondo le più accreditate norme e procedure internazionali (DnV-RP-F116, "*Integrity management of submarine pipeline systems*") impone al Gestore l'attuazione di tutte le azioni e le misure mitigative necessarie per mantenere o ridurre il rischio dovuto al fenomeno della biocorrosione ad un livello accettabile tenuto conto che la "corrosione esterna" è classificata a rischio molto alto. Ne consegue che al fine di poter mantenere in esercizio e in sicurezza le condotte sub lacuali sino alla loro fine vita, è inevitabile da parte del Gestore continuare ad effettuare monitoraggi ed ispezioni periodiche in accordo con lo specifico Piano di manutenzione, ispezione e intervento già adottato così come successivamente descritto ed a raccogliere e catalogare tutti gli esiti dei rilievi in una banca dati.
- Alla luce del crescente fenomeno di proliferazione delle bioconcrezioni e corrosioni localizzate sulle condotte che è stato accertato, sarà predisposto nell'immediato futuro un aggiornamento dell'analisi di rischio con particolare riferimento a quella legata al fenomeno della biocorrosione. La relativa matrice di rischio (probabilità di accadimento / conseguenze) con cui verrà stabilito se un determinato rischio è da ritenersi accettabile o inaccettabile verrà definita secondo le più accreditate norme e procedure internazionali (DnV-RP-F116, "*Integrity management of submarine pipeline systems*").
- Anche nell'ipotesi di seguire scrupolosamente le più recenti normative internazionali di settore, tra cui la ISO/TS 12747 "*Pipeline transportation systems – Recommended practice for pipeline life extension*", che forniscono le guide metodologiche da applicare per valutare la fattibilità tecnica di prolungare la vita di servizio di condotte subacquee, **non si potrà comunque garantire il**

**mantenimento in esercizio del collettore in questione, in totale sicurezza oltre la durata originaria,** proprio in considerazione dell'intensità dei summenzionati fenomeni di *micro* e *macro fouling* e corrosioni localizzate.

- Tenuto conto che il collettore si sta comunque avvicinando progressivamente al termine della vita tecnica stimata in circa 40 anni (estendibile a 50 anni unicamente a determinate condizioni), coerentemente con il ruolo di programmazione dei Piani di manutenzione da parte del Gestore, diviene inevitabile la previsione di una dismissione delle condotte esistenti per l'approssimarsi di tale termine, anche per evitare di dover sopportare anno per anno oneri gestionali significativi per garantire la funzionalità nel tempo del sistema. **Allo stato di attuazione della soluzione progettuale prevista per il nuovo collettamento dell'alto lago sponda bresciana, si sottolinea che i tempi necessari per la realizzazione degli interventi in grado di consentire la dismissione delle condotte sono stimabili in almeno 8 anni,** alla luce dei ritardi nello svolgimento dell'iter progettuale ed autorizzativo.
- La dismissione del collettore esistente Toscolano Maderno-Torri del Benaco è ulteriormente giustificata dalla complessità e soprattutto dalla pericolosità per le maestranze per la cantierizzazione di interventi di manutenzione straordinaria in alto fondale. **Inoltre, le profondità di rinvenimento delle bioconcrezioni registrate in quest'ultima campagna, ovvero -220 m, sono allo stato della tecnologia oggi utilizzata in un bacino chiuso, il limite massimo a cui è operativamente possibile intervenire.** Infatti, i mezzi ed apparecchiature preposte ad operazioni in alto fondale vengono normalmente realizzati per interventi a mare, con dotazioni impiantistiche installate su natanti appositamente progettati e che evidentemente non possono essere trasportati ed utilizzati in un lago.
- Da ultimo, seppur per motivazioni di natura diversa rispetto allo stato di conservazione strutturale delle condotte sublacuali, l'esigenza di tempestiva dismissione del collettore, come ampiamente noto, è motivata anche dall'insufficienza idraulica, ovvero dall'impossibilità di collettamento, in tempo di pioggia, delle portate di reflui da depurare con conseguente attivazione degli sfioratori a lago anche con precipitazioni di modesta entità.

Jesi-Brescia, 12.05.2023

Dott. Ing. Graziano Falappa

Dott. Ing. Mauro Olivieri

Dott. Ing. Sonia Bozza