

REMTECH Esonda 16 Settembre 2026

*"La manutenzione delle infrastrutture idroelettriche:
esperienze e nuove frontiere tecnologiche"*

*METODI DI CONTROLLO NON
DISTRUTTIVO SULLE PARATOIE DELLE
DIGHE*

Ing. Michele Hirschler

Libero professionista

ASSESSMENT PARATOIE – STANDARD di CONTROLLO



Buongiorno a tutti,

utilizzando la definizione della *Circolare n. 1/2022 della Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche*, una paratoia è il

“dispositivo di regolazione e chiusura dell’organo di scarico che assolve alla funzione di regolare la portata grazie alla presenza di un insieme di parti e componenti, di cui almeno uno mobile, azionato da un sistema diverso dalla forza umana diretta, collegati fra loro solidalmente per un’applicazione ben determinata”.

Questa breve nota intende fornire alcune indicazioni sulle procedure di controllo che è opportuno seguire per valutare:

- il degrado di una paratoia,
- la sua sicurezza,
- l’opportunità, o meno, di intervenire con le idonee attività di ripristino

e riguarda le verifiche su strutture esistenti tenendo conto che se un impianto arriva alla situazione di essere “revampizzato”, significa che negli anni precedenti ha funzionato.

Trattandosi di dighe, deve essere fatta una distinzione fra

«PARATOIE DI SUPERFICIE» e «PARATOIE DI FONDO»

che, nel secondo caso, impone anche lo studio di «come arrivarci»!

In questa breve nota, viene anche illustrata la procedura seguita in fase di progettazione per gli interventi di

MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLE PARATOIE DELLO SCARICO DI SUPERFICIE

di una “**grande diga**”

Lo scopo dei controlli è quello di ottenere le informazioni sullo stato di degrado delle strutture per consentire la definizione qualitativa e quantitativa degli interventi (eventualmente) necessari per il ripristino strutturale e funzionale della macchina di cui la paratoia è un componente. Per poter effettuare una valutazione preliminare è opportuno analizzare i seguenti fattori:

- anno di fabbricazione;
- anno ultima apertura completa /significativa;
- anomalie di funzionamento conosciute;
- criticità conosciute sulle opere civili;
- tipologia degli elementi strutturali principali e di tenuta;
- tipologia e condizione degli azionamenti (contrappesi, funi, catene, oleodinamico, ecc.);
- stato della paratoia da controlli precedenti;
- ultimo intervento di ripristino trattamenti superficiali.

Parlando di dighe, in Italia ci si riferisce a realizzazioni non recenti le cui caratteristiche non sempre sono raccolte in documenti che riportano in modo “rintracciabile” tutte le caratteristiche originali; inoltre, si deve tenere conto che tutta la «**eventualmente esistente**» **manualistica** è stata redatta in periodi successivi.

Per questo motivo, per la valutazione del degrado, è necessario “entrare” nel criterio di progettazione e realizzazione dei manufatti, tenendo anche conto delle tecnologie disponibili all’epoca della realizzazione, interpretando le criticità di installazione originali e, comunque, classificando le non conformità / anomalie in:

- A. Secondaria:** intesa come una situazione di degrado naturale e prevista o prevedibile, come, ad esempio, il normale degrado dei trattamenti superficiali,
- B. Importante:** intesa come una situazione di degrado non prevista o non prevedibile, come indicato negli esempi riportati più avanti,
- C. Critica:** intesa come una situazione instabile che richiede la programmazione di provvedimenti straordinari, come indicato negli esempi riportati più avanti.

Vengono qui di seguito valutate brevemente le più comuni “**anomalie**” di tipo **B e C** relativamente a:

- ✓ **trattamenti superficiali,**
- ✓ **strutture e collegamenti strutturali (saldature, chiodature, bullonature),**
- ✓ **azionamenti meccanici,**
- ✓ **funi, catene, noci,**
- ✓ **opere civili.**

I trattamenti superficiali sono definiti con riferimento alle [UNI EN ISO 12944-3:2018](#) “Pitture e vernici Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 3: Considerazioni sulla progettazione”; per le attività di applicazione, controllo e manutenzione, si applicano le prescrizioni delle norme correlate UNI EN ISO 12944.

In particolare, la norma [UNI EN ISO 12944-5](#) disciplina i sistemi di verniciatura per la protezione dalla corrosione delle strutture in acciaio. In tale ambito, la gestione della manutenzione viene spesso definita in base al grado di arrugginimento raggiunto.

Il degrado dei trattamenti superficiali è inevitabile ma deve essere tenuto sotto controllo; sarà eseguito un controllo generale identificando le aree con caratteristiche omogenee con riferimento alla [European scale of degree of rusting](#) ed assegnando ad ogni area, a seconda del periodo dell'ultimo intervento di manutenzione straordinaria, la classificazione del degrado di:

A. Secondario:

- entro cinque anni: corrispondente a Re1
- entro dieci anni: corrispondente a Re3

B. Importante:

- corrispondente a Re4

C. Critico:

- corrispondente a Re5 ÷ Re8

E' comunque opportuno attivare un intervento di manutenzione straordinaria quando viene raggiunto il grado di arrugginimento RE 3 che corrisponde alla situazione in cui il sistema protettivo ha iniziato a non essere più efficace.

TRATTAMENTI SUPERFICIALI

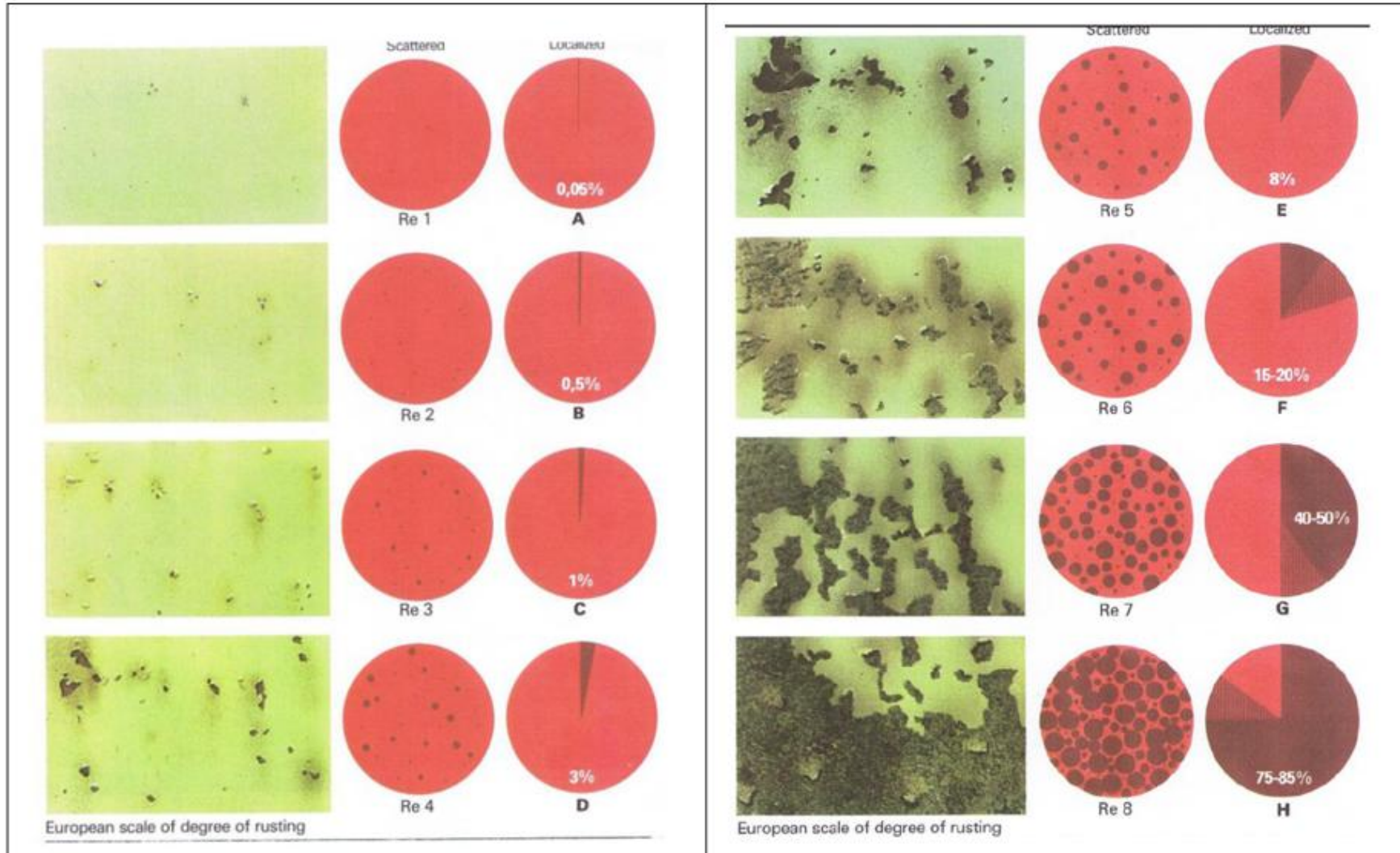


Figura1
estratto da
EUROPEAN
SCALE OF
DEGREE OF
RUSTING

Lo spessore minimo dei componenti strutturali fissi e mobili delle paratoie è definito dalla norma **DIN 19704 Hydraulic steel structures**; lo spessore viene maggiorato in presenza di fenomeni di abrasione.

In sede di progettazione, in funzione della durata tecnica di progetto, viene comunque aggiunto un incremento di spessore per sopperire agli effetti di corrosione che, in assenza di protezione superficiale, sono mediamente valutabili in 0,03 mm/anno per le superfici bagnate in acqua dolce.

Con riferimento al trattamento superficiale di progetto, alla sua durata tecnica e agli interventi di ripristino prescritti, l'incremento di spessore viene calcolato per il periodo in cui il degrado presumibile, con riferimento alla **European scale of degree of rusting**, è equivalente al grado RE3 che, come detto in precedenza, corrisponde alla situazione in cui il sistema protettivo ha iniziato a non essere più efficace.

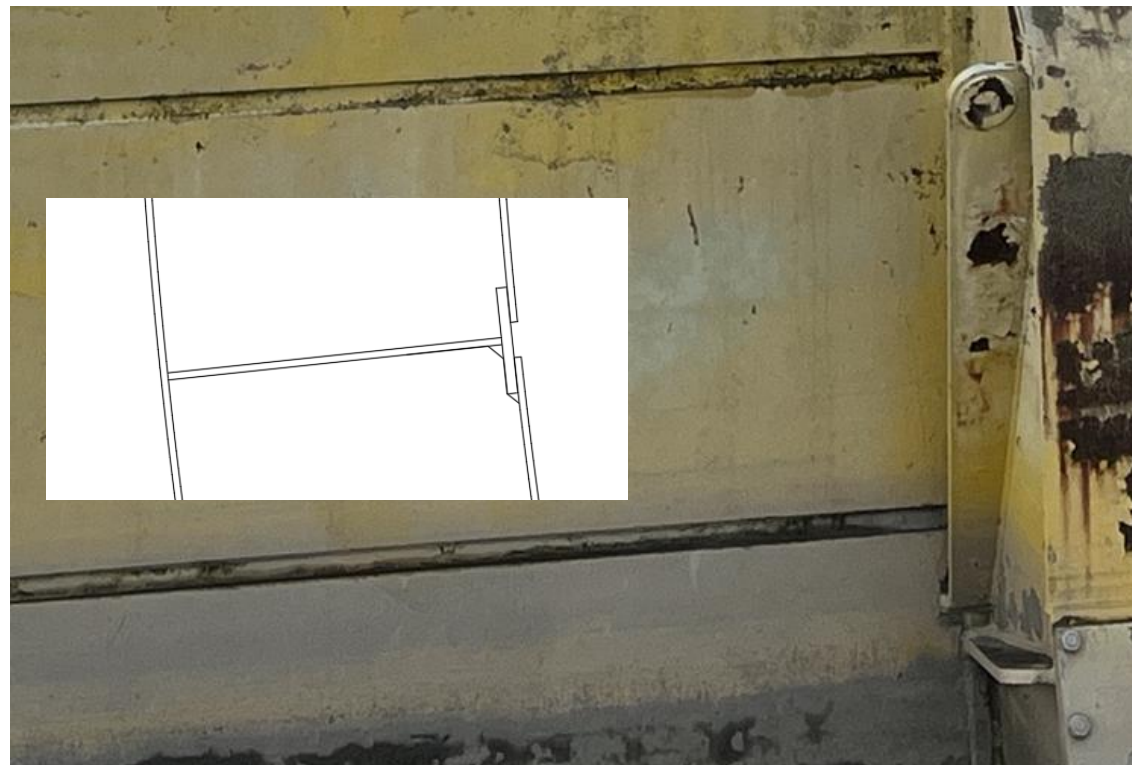
Si riportano qui di seguito alcuni esempi di degrado strutturale di **LIVELLO B** (importante) e **LIVELLO C** (critico), generalmente conseguenza del degrado dei trattamenti superficiali, ricavati da documentazioni fotografiche di archivio:



Figura 2 struttura di valle paratoia a settore: livello B

Le foto si riferiscono al mantello di valle di una paratoia a settore a struttura chiusa. Le immagini indicano un degrado generale della protezione superficiale «**APPARENTEMENTE**» **corrispondente al livello Re2 - Re3**; analizzando in dettaglio la composizione della struttura che prevede una saldatura di collegamento del mantello di valle con la piattabanda della trave orizzontale, si nota un degrado di livello **Re6-Re7** che, oltre ad ulteriori verifiche, suggerisce la programmazione del rifacimento della protezione superficiale.

Figura 3 struttura di valle paratoia a settore particolare di figura 2: livello B



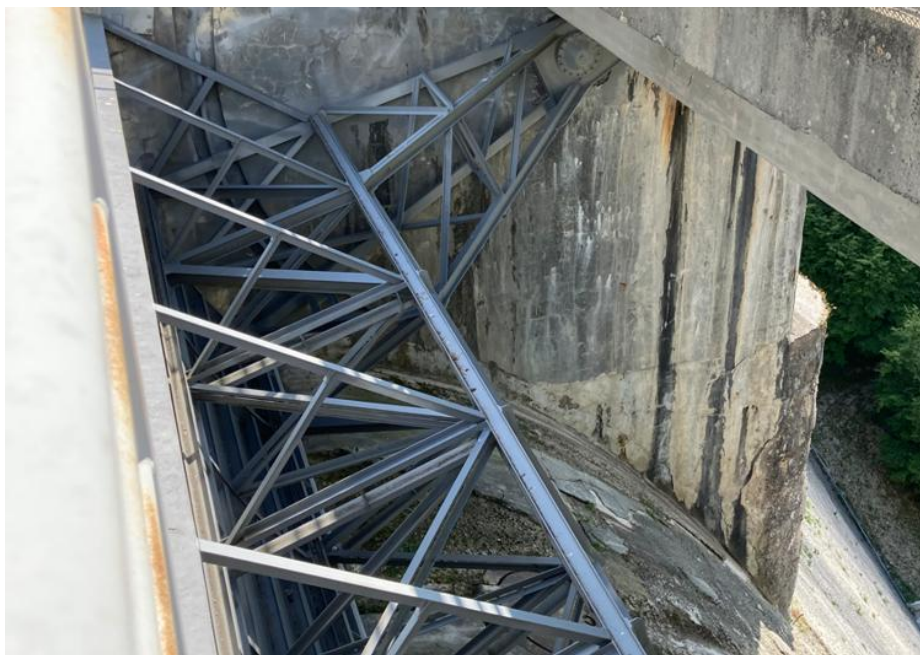


Figura 5 paratoia a settore con struttura a traliccio e giunti saldati: livello B

Le foto si riferiscono ad una paratoia a settore con struttura a traliccio con giunti saldati; il dettaglio evidenzia un grado di arrugginimento concentrato **Re4** che richiede comunque un intervento almeno locale di ripristino della protezione superficiale e di miglioramento della funzionalità dei drenaggi.

Figura 6 paratoia a settore con struttura a traliccio e giunti saldati (dettaglio): livello B

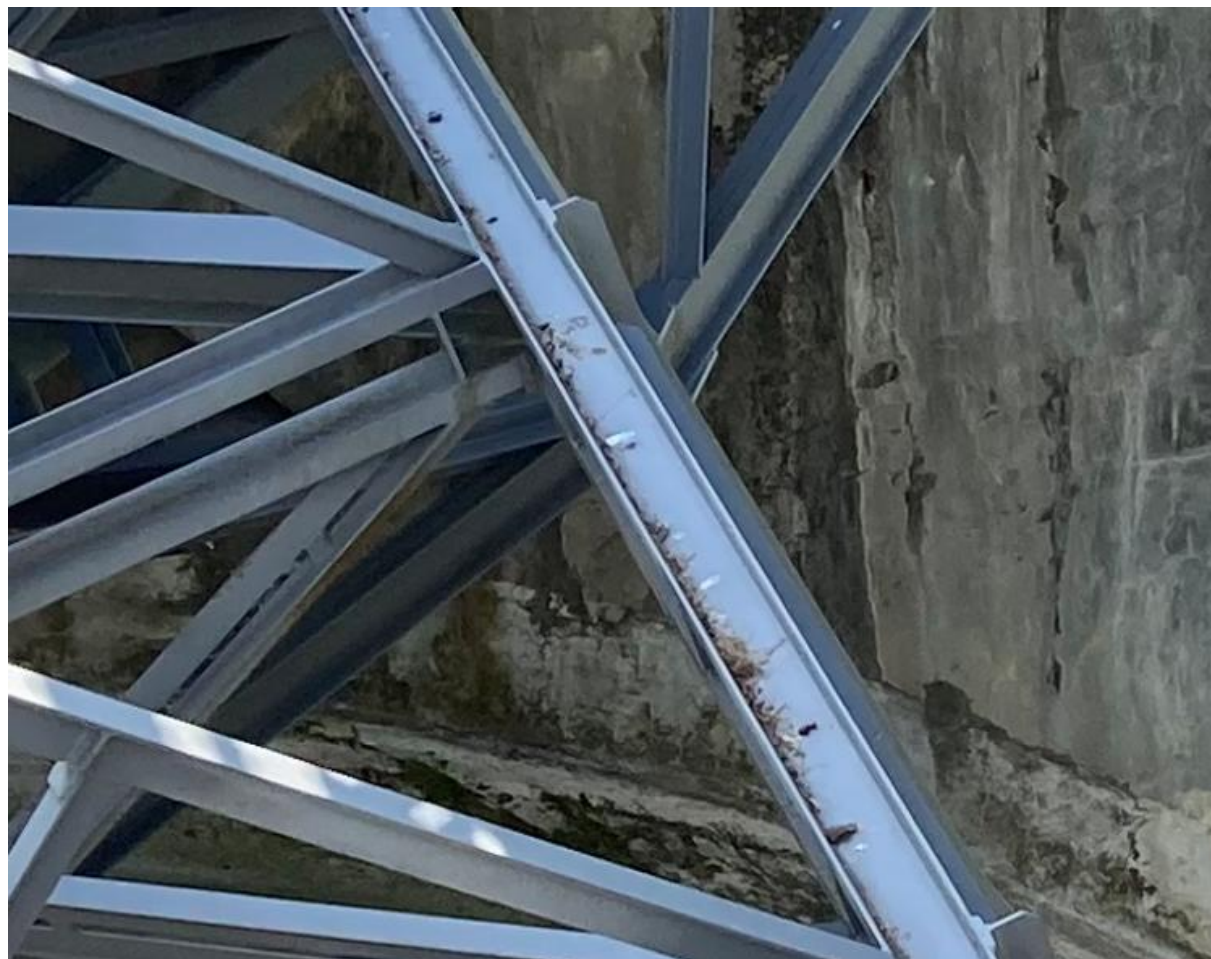




Figura 7 paratoia a settore con struttura a cassone chiuso: livello B

Le foto si riferiscono ad una paratoia a settore con struttura a cassone con giunti saldati; le superfici sono invase da muschio e altri infestanti che impediscono il necessario controllo. In alcuni punti si rileva un grado di arrugginimento Re3 senza poter escludere altri ammaloramenti; è quindi importante ripulire tutta la struttura.

Figura 8 paratoia a settore con struttura a cassone chiuso: livello B





Figura 10 degrado strutturale di livello C

La foto si riferisce ad un particolare di una paratoia (a settore) con struttura a giunti saldati; il dettaglio evidenzia un grado di arrugginimento concentrato in corrispondenza delle saldature. In casi analoghi è necessario un intervento di ripristino della protezione superficiale almeno locale estendendo comunque il controllo a tutta la struttura.



**Figura 11 mantello di monte
paratoia a settore con
struttura chiodata: livello C**



Figura 12 mantello di monte paratoia a settore con struttura chiodata: livello C

Risulta evidente l'assenza di protezione superficiale e uno stato corrosivo con importanti vaiolature che riguardano anche il giunto chiodato. Il gruppo di foto evidenzia anche l'importanza del livello di approfondimento necessario per una analisi completa.

Figura 13 mantello di monte paratoia a settore: particolare chiodatura : livello C

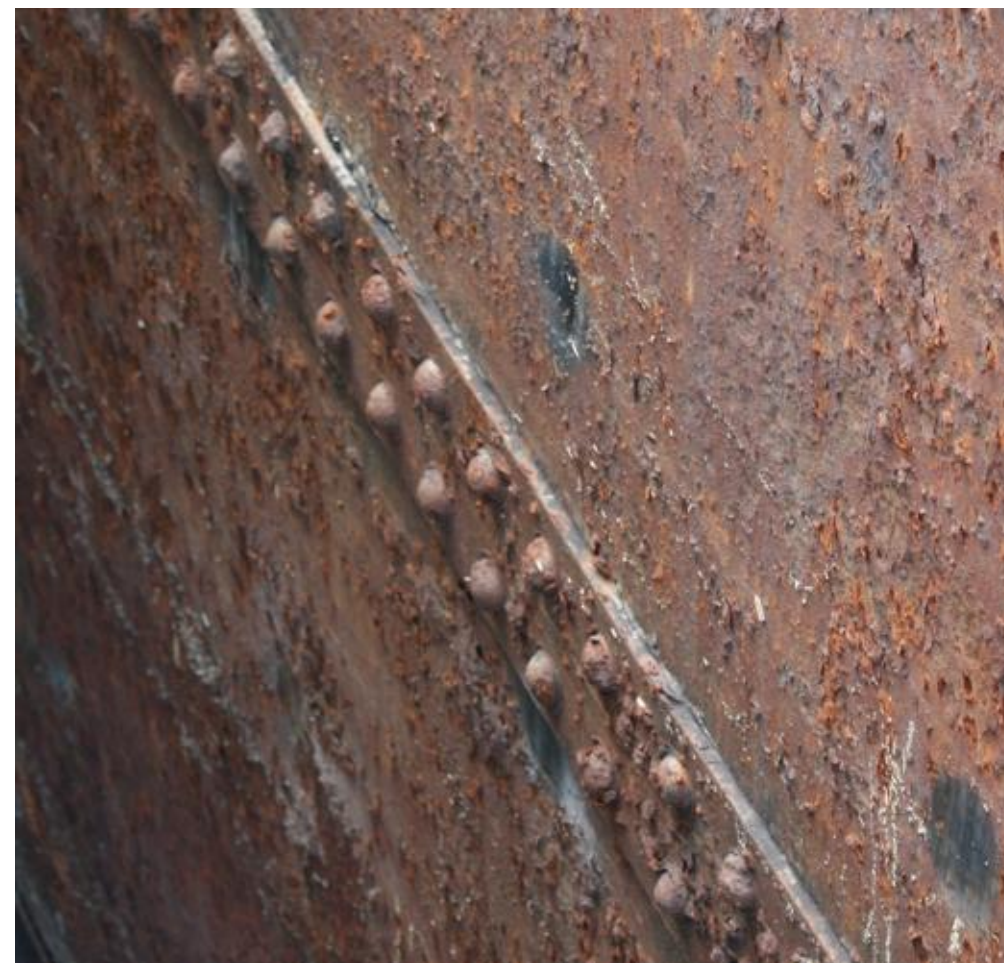




Figura 14 a struttura inferiore vista da valle mantello di paratoia a settore: livello C

Le foto si riferiscono al pannello strutturale della soglia di una paratoia a settore con struttura saldata. Risulta evidente l'assenza di manutenzione che ha provocato un rapido degrado della protezione superficiale ed il conseguente, irreversibile, degrado strutturale.

Figura 14 b struttura inferiore vista da valle mantello di paratoia a settore – particolare bulloneria fissaggio tenuta: livello C





Figura 15 paratoia a settore con struttura a traliccio: livello C

LA STRUTTURA, A TRALICCIO CON GIUNTI CHIODATI, È STATA REALIZZATA NEGLI ANNI '30 E SOSTITUITA DI RECENTE: DA NOTARE CHE, NONOSTANTE «L'ETÀ», LA NC PRINCIPALE NON È IL DEGRADO MA LA TRACIMAZIONE



Figura 16 vano contrappeso paratoia automatica a settore con galleggianti: livello C

La foto raffigura il pozzetto di ispezione del contrappeso di una paratoia a settore (automatica a galleggiante). L'infiltrazione di acqua piovana ha influito negativamente sulla struttura interna provocandone l'evidente degrado.

COLLEGAMENTI STRUTTURALI (SALDATURE, CHIODATURE, BULLONATURE)



Figura 17 esempio di saldatura a tratti con difetto di incollatura/incisione: NC di livello C (sia per quanto riguarda la realizzazione che il conseguente degrado) documentazione fotografica del 2011

Figura 18 lo stesso particolare fotografato nel 2023



Le foto raffigurano (a distanza di 12 anni) la saldatura di un irrigidimento verticale realizzata a tratti e con evidente difetto di incollatura e incisione originali; la situazione 2011 indica anche un inizio di arrugginimento dovuto alla NC del trattamento superficiale.

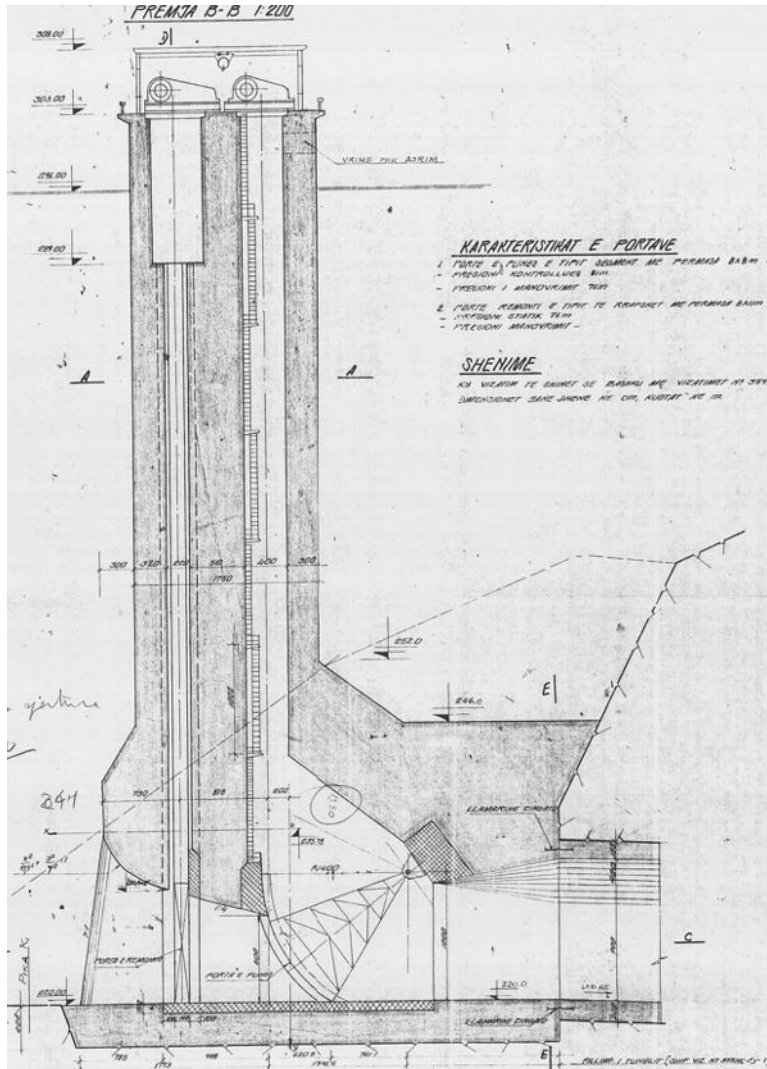
COLLEGAMENTI STRUTTURALI (SALDATURE, CHIODATURE, BULLONATURE)



Le immagini riguardano lo stesso gruppo di paratoie realizzate negli anni '30 e raffigurano:

- la chiodatura originale, in alcune parti ancora efficiente
- tentativo di riparazione dei giunti chiodati mediante utilizzo di bullonature
- tentativo di riparazione con saldature
- degrado strutturale generale

AZIONAMENTI MECCANICI (FUNI, CATENE, NOCI)

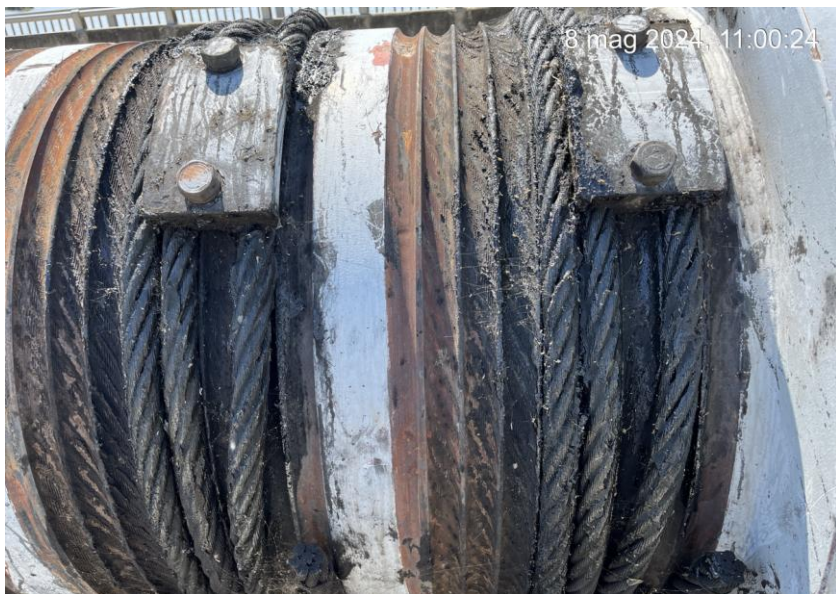


Si tratta di uno scarico di fondo con gli organi di intercettazione a sezione rettangolare costituiti da una paratoia a settore con un pancone di guardia a monte; la larghezza dello scarico è di circa 8 m e l'altezza è di circa 8 / 11 m il carico idrostatico è di circa 76 m e il sistema di sollevamento è a funi che, per il pancone in posizione di chiusura, sono immerse



All'epoca della verifica la NC era di livello C, anche perché le verifiche periodiche non erano possibili e l'ultima manovra, parziale, era stata eseguita 16 anni prima

AZIONAMENTI MECCANICI (FUNI, CATENE, NOCI)



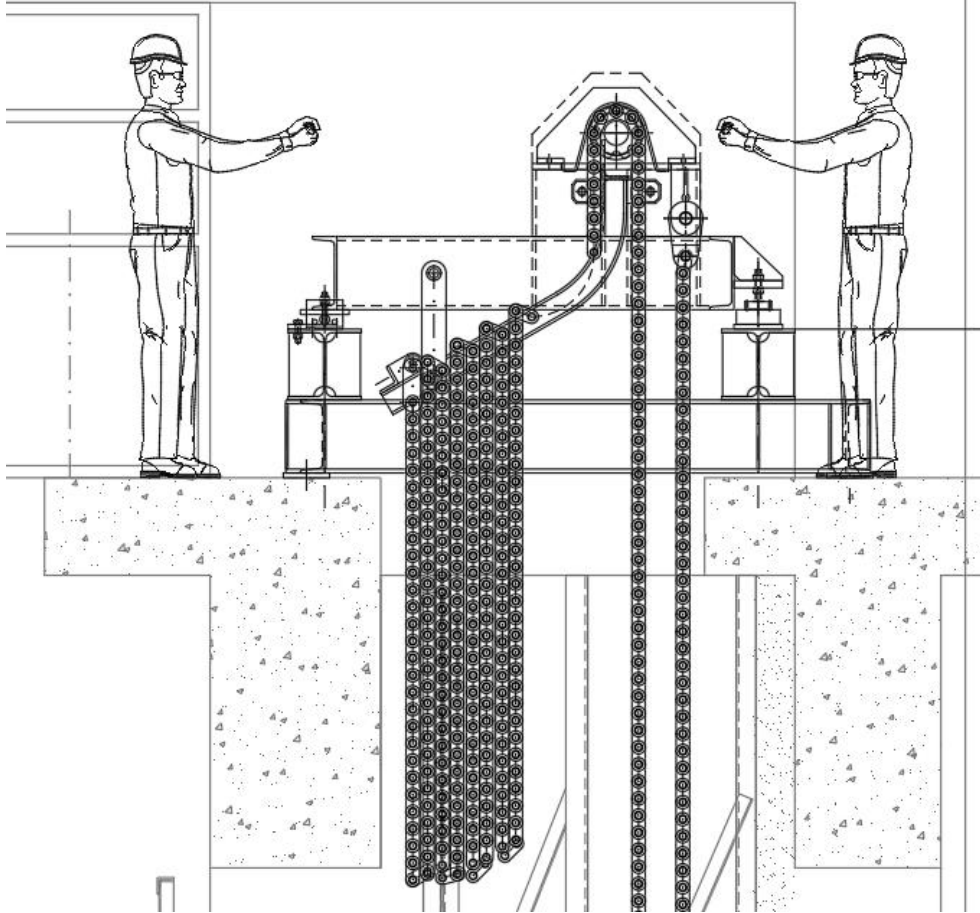
tamburo avvolgimento di un organo di sollevamento di paratoia a settore con funi immerse: livello B (le indispensabili verifiche periodiche non sono però possibili)



Come prescritto nella [*CIRCOLARE n. 1/2022 – Procedure tecnico amministrative sui dispositivi di regolazione e chiusura degli organi di scarico di dighe e traverse*](#), ogni paratoia è una macchina che deve essere certificata CE e, come tale, soggetta agli obblighi di controllo.

Senza soffermarsi sulle tipologie di degrado che possono rendere una fune “non sicura” e da sostituire, ma comunque da controllare periodicamente, è opportuno evidenziare che una applicazione come quella indicata non è idonea neppure per consentire il rispetto della succitata circolare in quanto “difficilmente” controllabile.

AZIONAMENTI MECCANICI (FUNI, CATENE, NOCI)

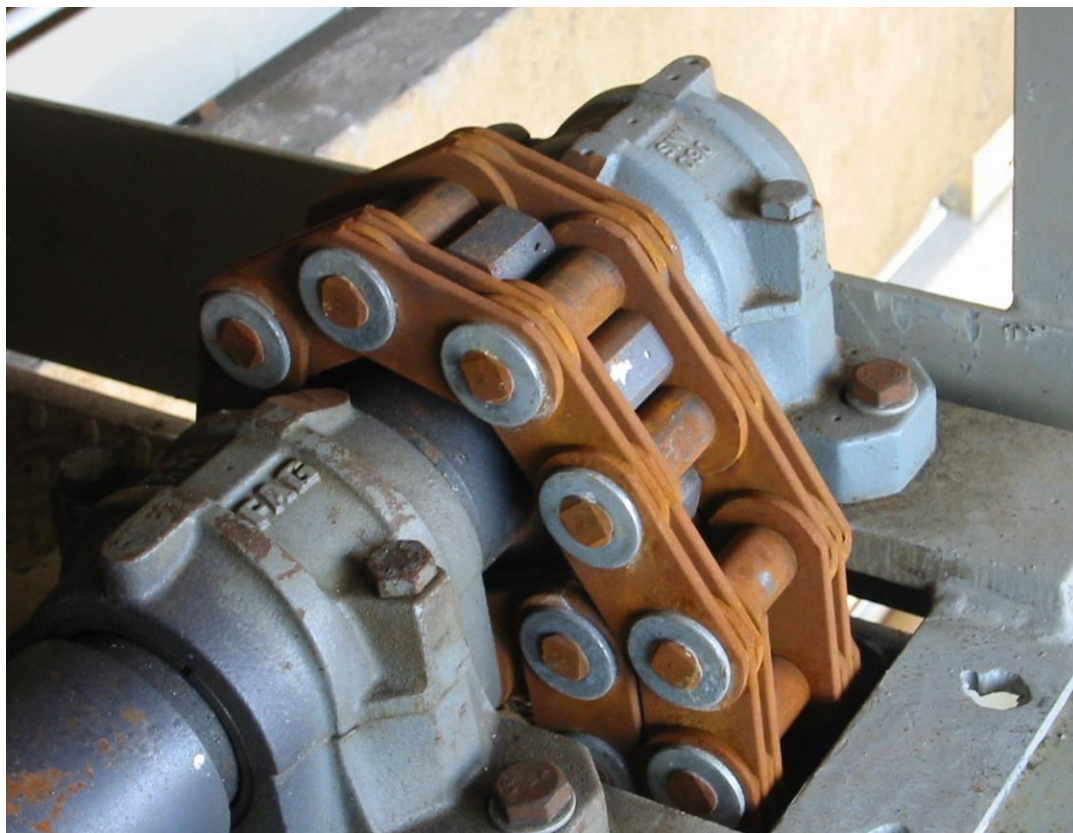


Le catene utilizzate (generalmente secondo DIN 8150) devono la loro funzionalità e stabilità al loro peso proprio e, comunque, alla loro idoneità di ingranarsi con le noci di azionamento e di “adagiarsi” sui gruppi di accatastamento, “guidate” dalla “paletta” di disimpegno dalle noci e appoggiate sugli accatastatori tramite gli idonei perni, grazie ad una idonea pulizia e lubrificazione.



A lato il disegno di progetto e il gruppo installato

AZIONAMENTI MECCANICI (FUNI, CATENE, NOCI)



è evidente la parte di catena non in tensione che non si disimpegna dalla dentatura della noce di sollevamento

Esempio di GRAVE NC – LIVELLO C



vista sul lato dove avrebbe dovuto essere installato l'accatastatore con la paletta di disimpegno



degrado copriferro di contrappeso in cls di paratoia a settore: livello C

scarico di superficie di una grande diga: gargame di soglia e laterale di paratoia piana su ruote (livello C)





Oltre all'appoggio in legno, che deve essere sostituito, si nota una serie di fessurazioni che devono essere eliminate.

degrado appoggi contrappesi e strutture di interfaccia con opere civili: livello B

Ricordando che il tema di oggi riguarda i

METODI DI CONTROLLO NON DISTRUTTIVO SULLE PARATOIE DELLE DIGHE

e, in particolare, di

«PARATOIE DI SUPERFICIE» & «PARATOIE DI FONDO»

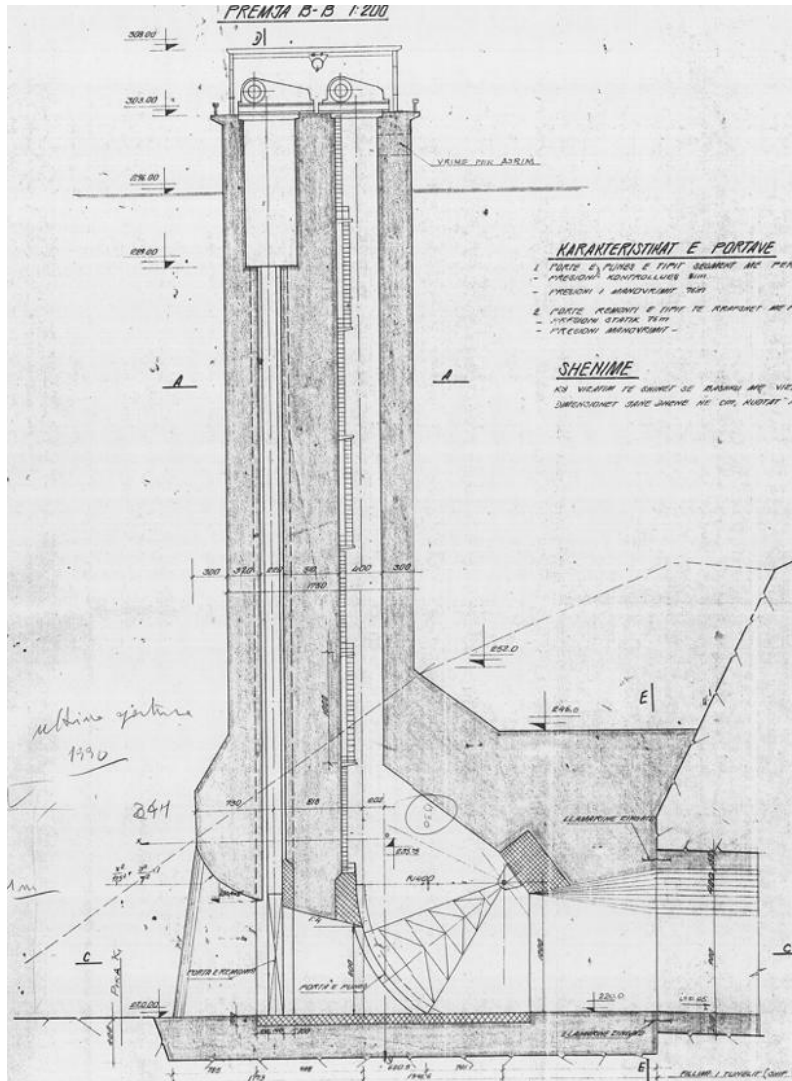
è importante sottolineare che, soprattutto nel caso di organi di fondo, è fondamentale lo studio di «come arrivarci» per controllare e, ovviamente, anche per intervenire.

Con la premessa che il controllo degli scarichi di fondo e, più in generale, delle opere sommerse non può essere affidato a una sola tecnologia, con lo scopo di costruire progressivamente un quadro conoscitivo dell'opera nel suo complesso, ogni fase di verifica dovrà essere progettata per poter concentrare l'ispezione sugli elementi di maggior interesse. Vengono illustrati qui di seguito alcuni interventi abbastanza significativi.

ISPEZIONE SUBACQUEA

RIPRESA SUBACQUEA

L'ispezione è stata eseguita 20 anni fa con lo scopo di verificare lo stato delle strutture immerse a oltre 70 m di profondità; con la tecnologia disponibile è stato eseguito un filmato che, grazie alla discreta visibilità, ha consentito di raggiungere l'obiettivo della ispezione consistente nella valutazione del degrado delle opere civili.

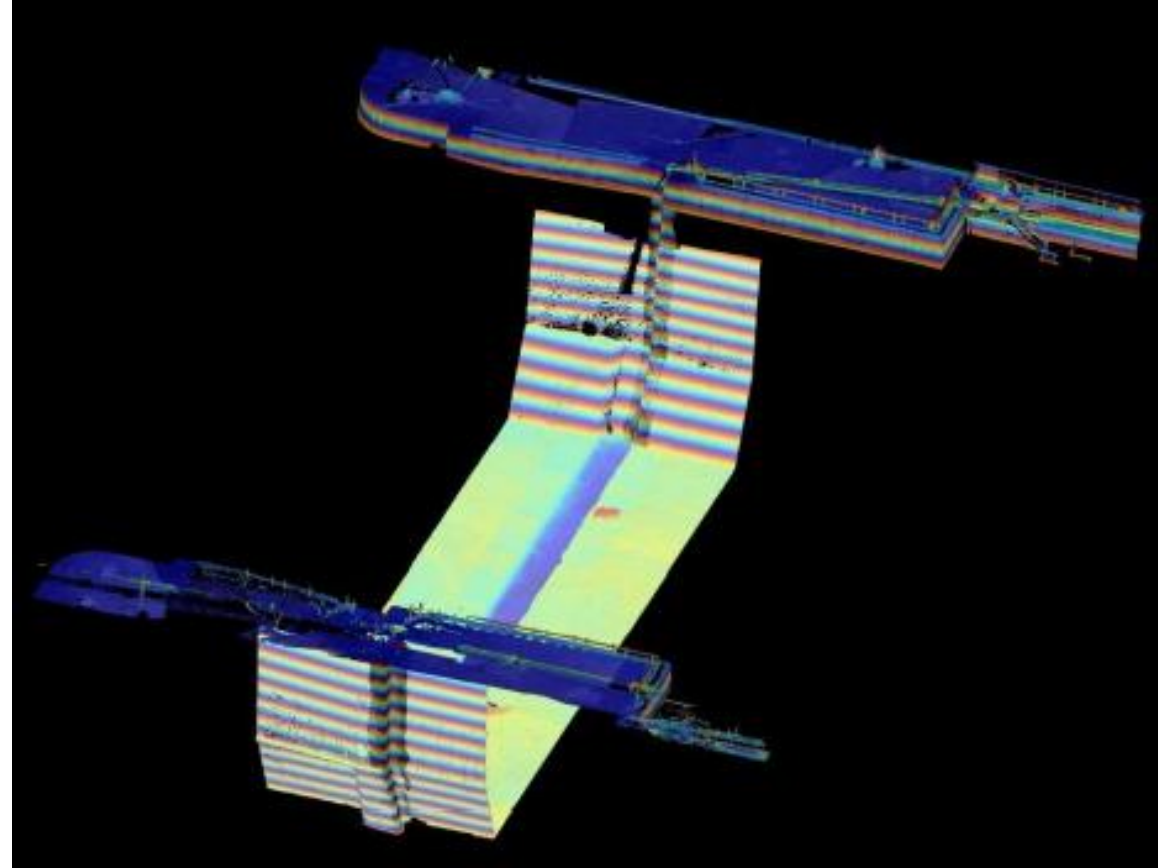


FOTOGRAMMETRIA SUBACQUEA – ROV - BLUEVIEW 2D/3D



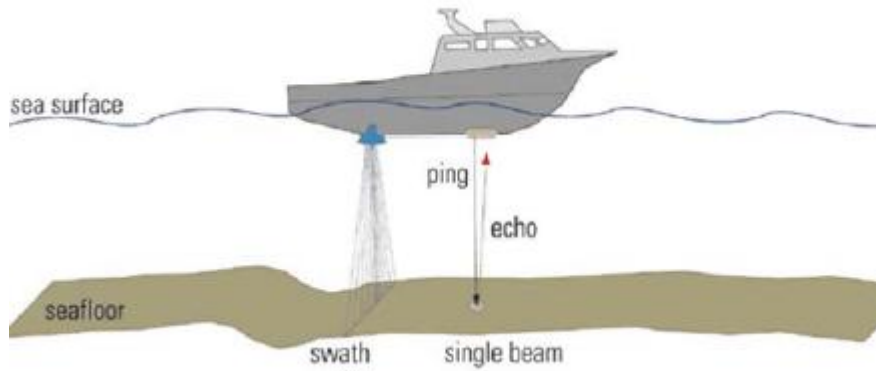
L'ispezione si è sviluppata iniziando con la mappatura e procedendo poi con la verifica diretta.

Questo rilievo è interessante anche se non riguarda una diga. È stato fatto su un fondale marino di circa 15 m in condizioni di buona visibilità; è stato realizzato con l'acquisizione di sequenze di immagini ad alta risoluzione, riprese da differenti angolazioni e con un'adeguata sovrapposizione.



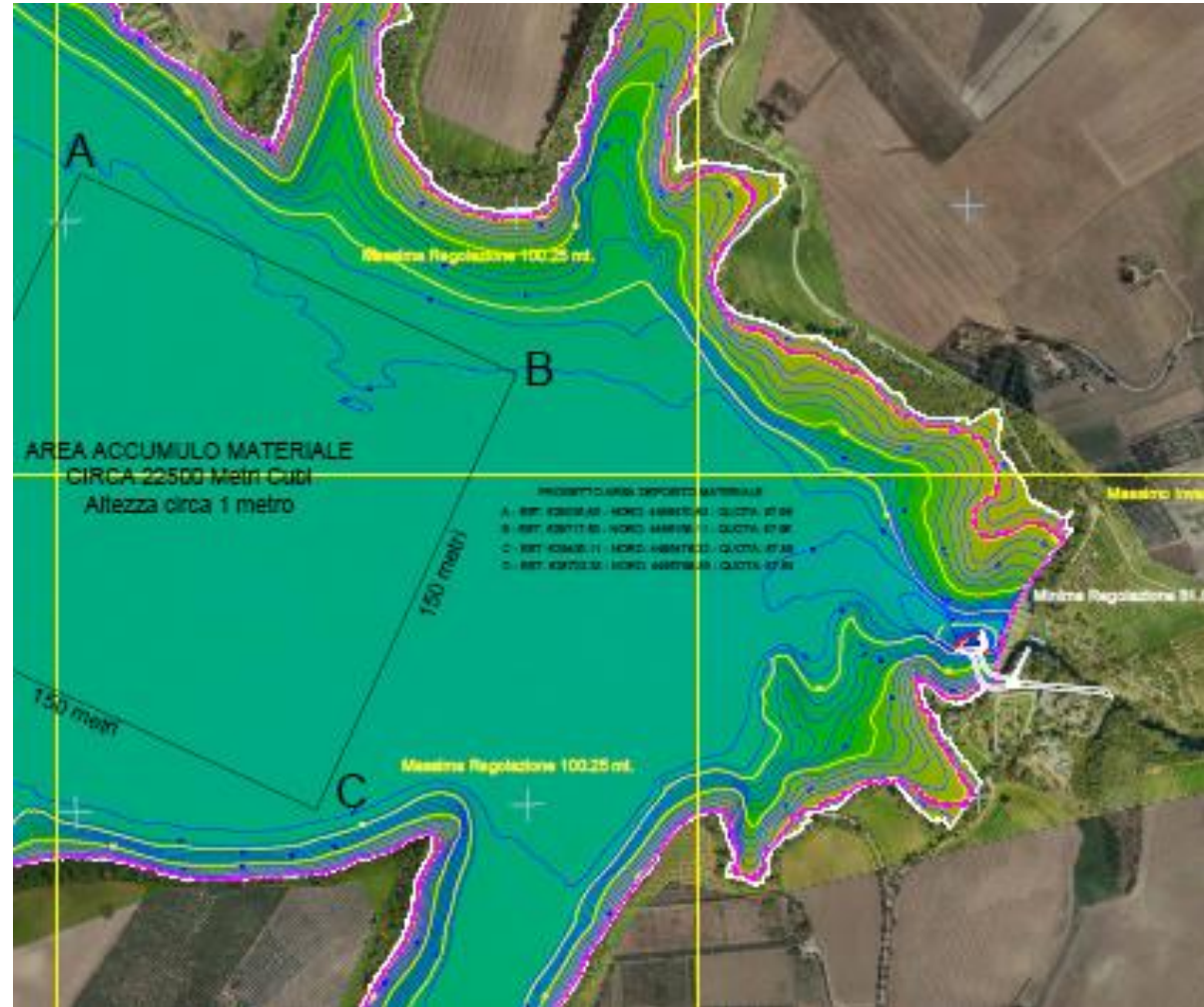
Con questa tecnologia e in condizioni favorevoli, con acqua sufficientemente limpida, corretta illuminazione, acquisizione controllata e un sistema opportunamente calibrato e scalato, si può raggiungere accuratezze dell'ordine del millimetro sulle misure dimensionali.

MULTIBEAM ECHOSOUNDER (MBES)



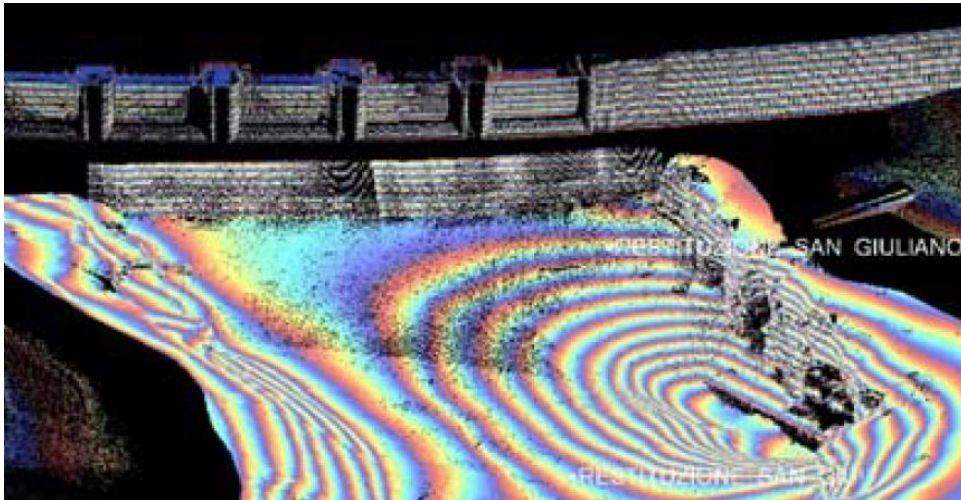
Il Multibeam consente di ricostruire l'area di interesse fornendo una fotografia tridimensionale del fondale; la strumentazione emette un ventaglio di fasci acustici e consente di acquisire in modo continuo un'elevata quantità di misure di profondità. Dall'elaborazione dei dati si ottiene una rappresentazione batimetrica ad alta risoluzione e un modello tridimensionale del fondale.

L'immagine a destra si riferisce all'indagine effettuata per individuare le zone dove depositare il materiale dragato dalle aree antistanti l'imbocco di uno scarico di fondo.



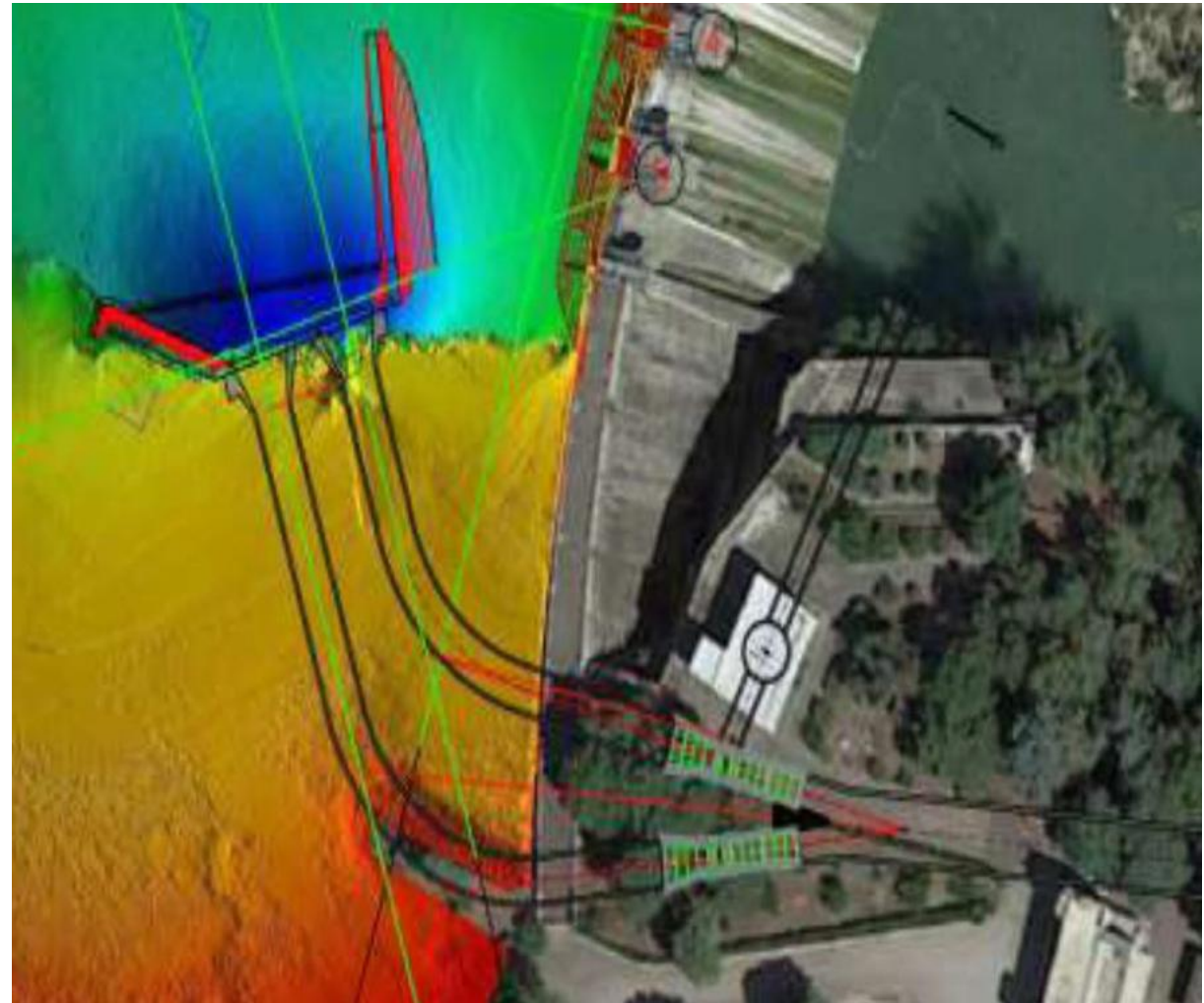
MULTIBEAM ECHOSOUNDER (MBES) + LASERSCANNER

Con riferimento ai caposaldi è stato possibile ottenere una fotografia tridimensionale delle zone di intervento



Le immagini si riferiscono alla ricostruzione delle aree di intervento per le attività di manutenzione straordinaria ad uno scarico di fondo.

Dopo il dragaggio, i rilievi saranno ripetuti e il nuovo scenario costituirà la zona di intervento per accedere in sicurezza agli organi di fondo.



MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLE PARATOIE DELLO SCARICO DI SUPERFICIE



CARATTERISTICHE PRINCIPALI SCARICHI DI SUPERFICIE

- mantello realizzato in lamiera irrigidita,
- bracci in struttura reticolare con contrappesi in cls,
- assi di rotazione fissi inseriti in cartucce inghisate nelle pareti laterali,
- luce netta **10.000 mm**
- altezza del mantello **6.000 mm**
- azionamento automatico a galleggiante,
- azionamento elettromeccanico con argano a catene ad anelli,
- tenuta di soglia realizzata con profilo a nota musicale in elastomero,
- tenute laterali realizzate con profilo a L in elastomero.





vista strutture ed azionamenti da valle

VALUTAZIONI

Le indagini non distruttive hanno riguardato:

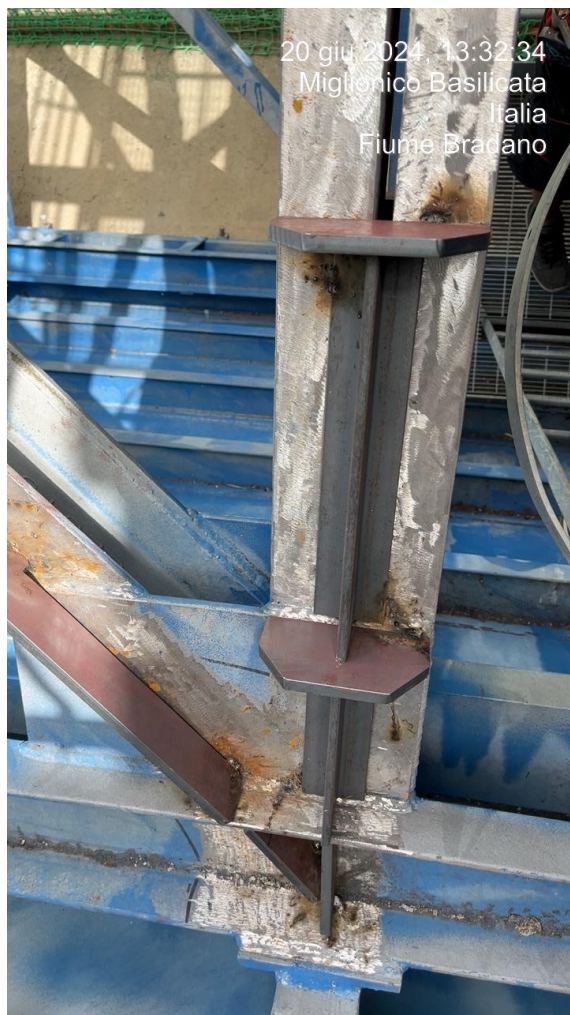
- il degrado della struttura delle paratoie,
- il sistema di tenuta costituito dagli elementi mobili e dalle controbattute fisse,
- i contrappesi,
- gli azionamenti, il sistema di controllo e la funzionalità.



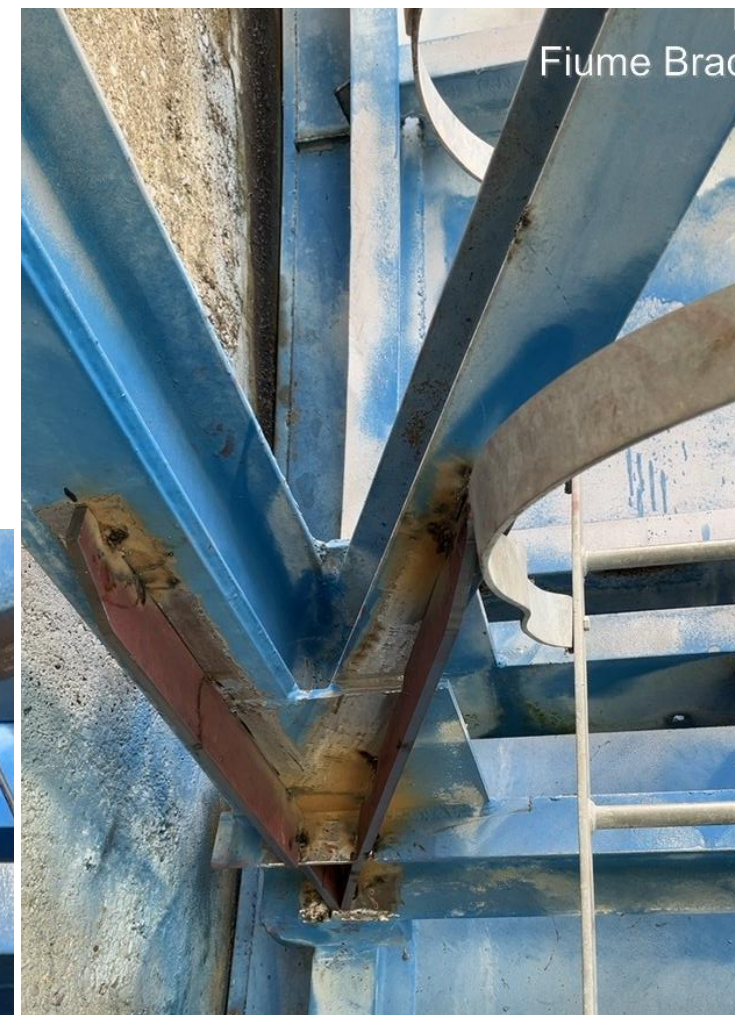
RIPRISTINO NODI STRUTTURALI

Si tratta dei nodi della struttura reticolare. La loro esposizione agli agenti atmosferici con paratoia in posizione di chiusura ha provocato un ristagno di acqua che, a sua volta, ha causato il degrado della protezione superficiale ed il conseguente degrado strutturale.

MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLE PARATOIE DELLO SCARICO DI SUPERFICIE



Trattandosi di paratoie a contrappeso si è dovuto intervenire senza modificare l'equilibrio statico delle strutture.
L'intervento è consistito nella costruzione di una struttura esterna al nodo che, durante il risanamento, ha garantito la stabilità generale.



MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLE PARATOIE DELLO SCARICO DI SUPERFICIE



Sulle strutture ammalorate sono state effettuate misure degli spessori residui del mantello con strumenti US; dove è stata rilevata una riduzione di spessore o una difettosità superficiale diffusa, si è provveduto alla sostituzione di ogni componente.

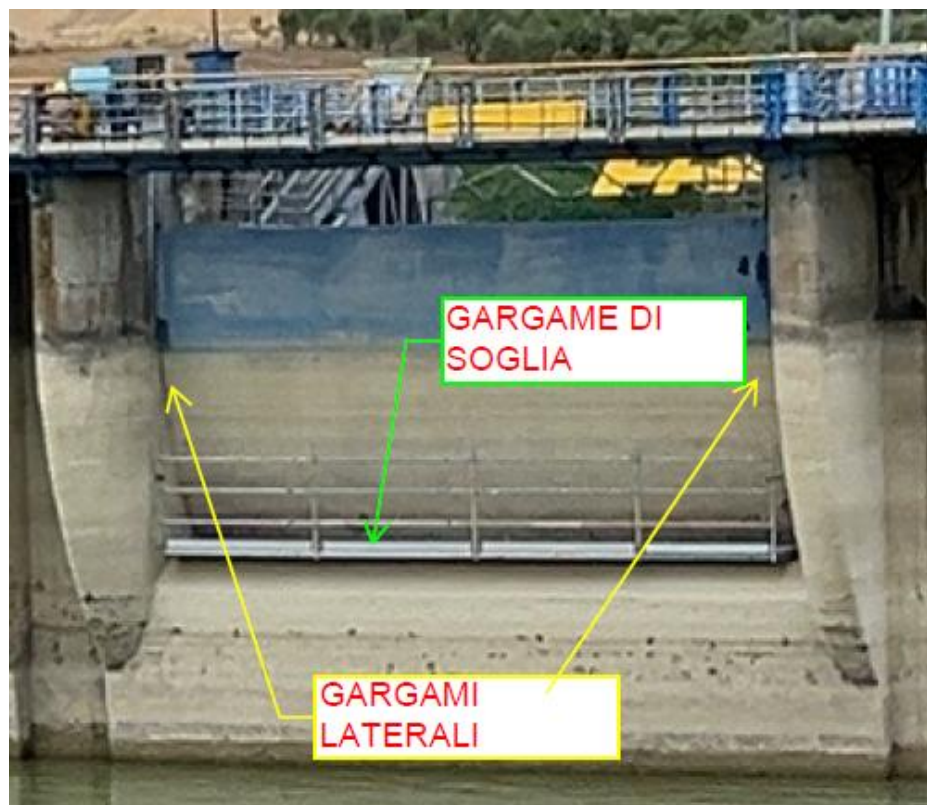
MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLE PARATOIE DELLO SCARICO DI SUPERFICIE



Di tutte le paratoie è stata sostituita la parte inferiore del mantello.

Per tutti gli interventi di ripristino strutturale la classe di esecuzione è stata la EXC4 secondo la norma EN 1090-2

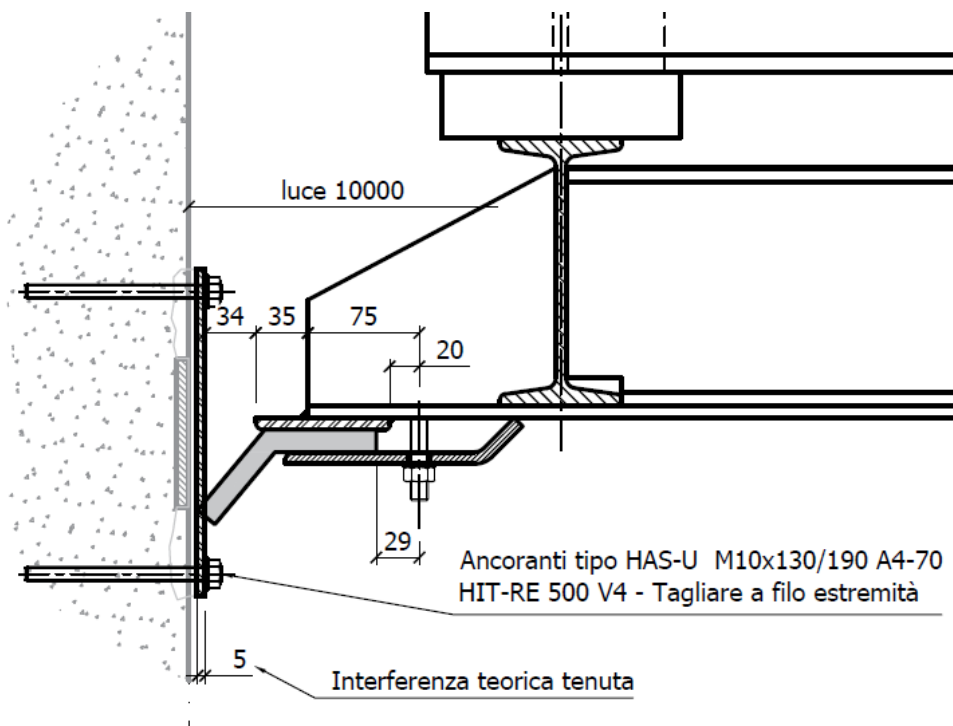
MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLE PARATOIE DELLO SCARICO DI SUPERFICIE



**SOSTITUZIONE TENUTE E
CONTROBATTUTE FISSE**

SOSTITUZIONE TENUTE E CONTROBATTUTE FISSE

Tenuto conto che le paratoie non erano geometricamente centrate nelle loro guide, le strutture sono state «rifilate» e sono stati ricostruiti i profili delle strutture laterali e di soglia.



Contemporaneamente sono state ricostruite le controbattute fisse sia laterali che di soglia



MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLE PARATOIE DELLO SCARICO DI SUPERFICIE



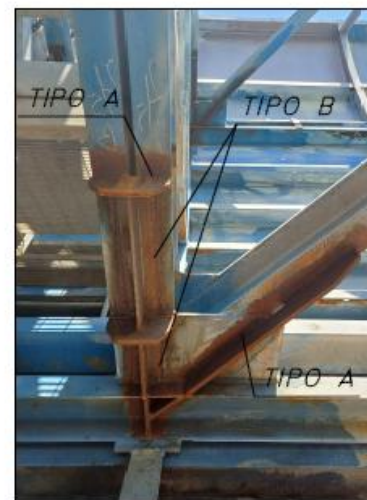
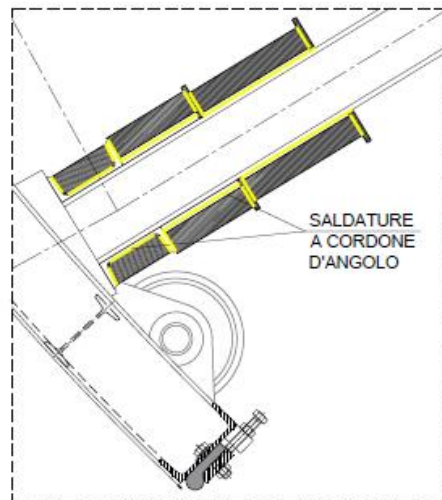
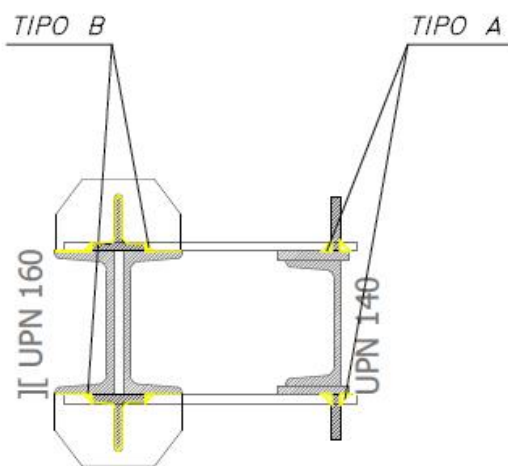
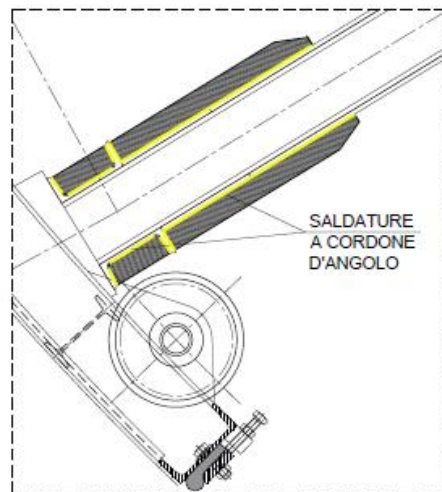
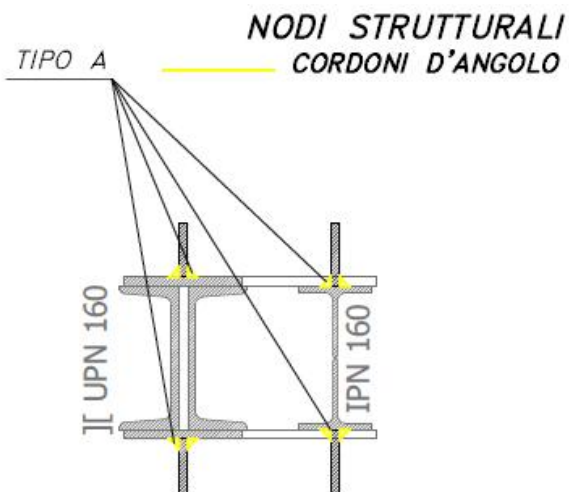
SOSTITUZIONE TENUTE E CONTROBATTUTE FISSE



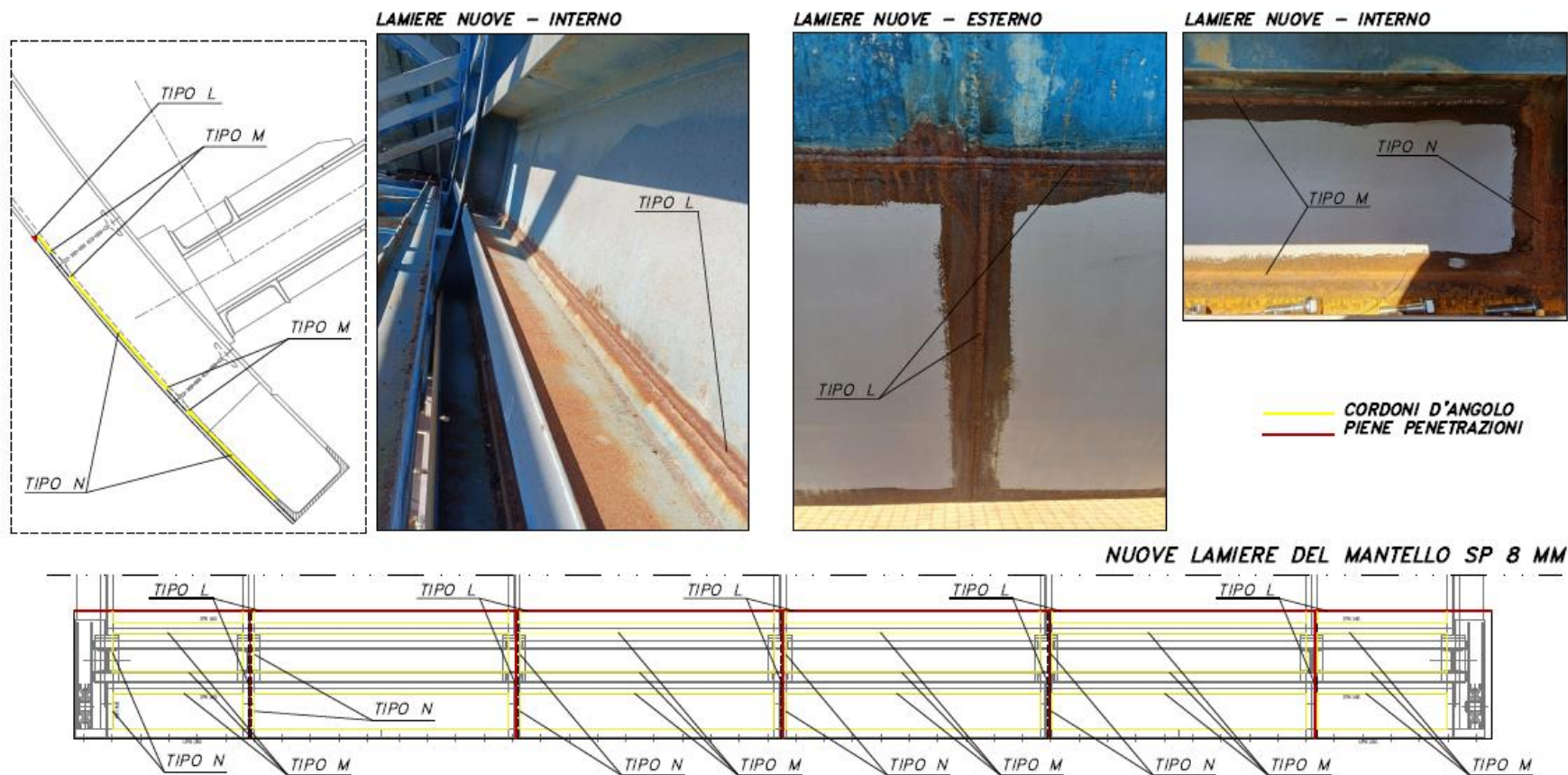
L'evento dell'aprile 2026 ha consentito di verificare la validità funzionale dell'intervento

CONTROLLI NON DISTRUTTIVI – MAPPATURA

CND nodi strutturali



CONTROLLI NON DISTRUTTIVI – MAPPATURA

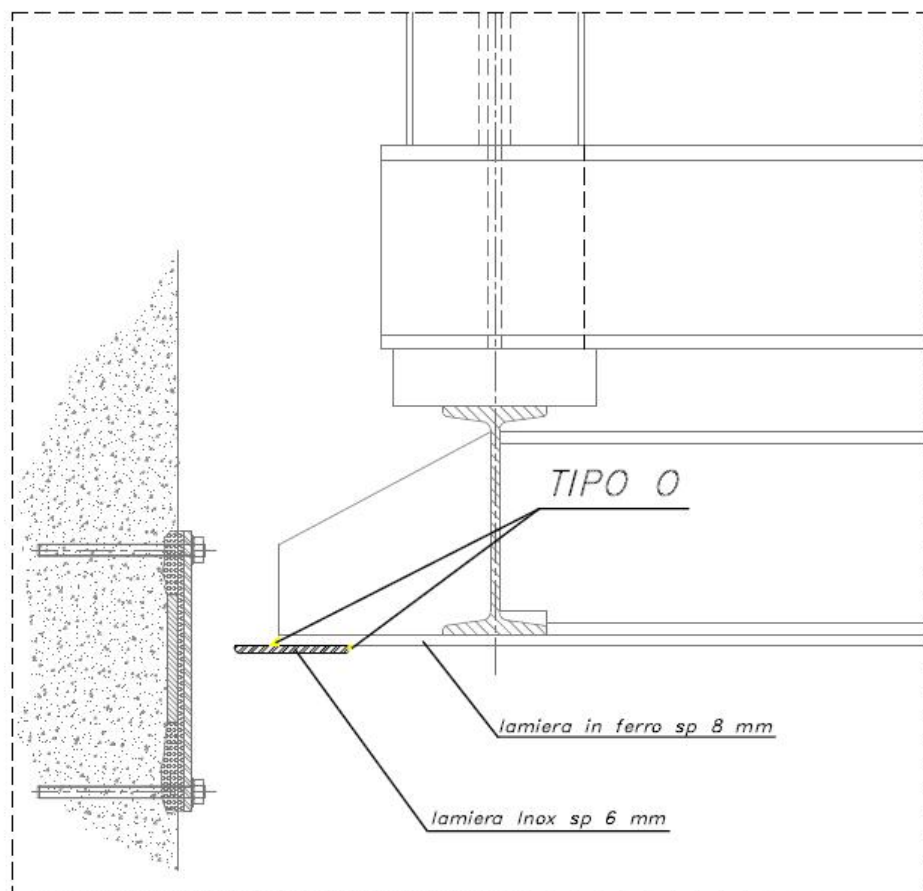


CND
rilamieratura
struttura
mantello

CONTROLLI NON DISTRUTTIVI – MAPPATURA

GARGAMI LATERALI

CORDONI D'ANGOLO



CND
sostituzione
strutture
sistemi di
tenuta

