

# Interventi di manutenzione di gallerie idrauliche di impianti idroelettrici. Controlli, indagini e tipologie di intervento

A. Balossi Restelli, E. Rovetto, P. Caffaro

*Studio Ingegneria Balossi Restelli e Associati, Milano, Italia*

A. Pettinaroli

*Studio Ing. Andrea Pettinaroli srl, Milano, Italia*

M. Scienza

*Alperia Energy srl, Bolzano, Italia*

**SOMMARIO:** La manutenzione delle gallerie di derivazione è un aspetto sempre più impegnativo nella gestione degli impianti idroelettrici a causa della vetustà degli stessi. Ispezioni periodiche consentono di verificare lo stato di conservazione dell'opera e definire gli interventi di manutenzione più idonei. Le indagini geognostiche permettono di evidenziare le zone di rilascio, i vuoti e la presenza di acqua a tergo del rivestimento, fattori che risultano essere la causa del degrado del rivestimento. Il periodo assai limitato concesso per l'esecuzione degli interventi, le ridotte dimensioni delle sezioni ed i pochi accessi, esigono una programmazione mirata degli interventi, per i quali vengono definite delle priorità e delle tipologie realizzative standardizzate. Gli interventi di ripristino più comunemente realizzati sono iniezioni di contatto, iniezioni o chiodature metalliche nel terreno o nella roccia, rifacimento parziale o completo di platee interessate da fenomeni erosivi, talvolta eseguiti previa posa in opera di rinforzi provvisori. Vengono illustrate alcune esperienze relative alle gallerie degli impianti di Ponte Gardena e Glorenza (provincia di Bolzano).

## 1 GENERALITÀ

Gli impianti idroelettrici di produzione dell'energia sono caratterizzati nella maggior parte dei casi dalla presenza di una o più gallerie di derivazione che convogliano l'acqua, proveniente da un corso d'acqua o da un bacino d'accumulo, alla condotta forzata: le gallerie possono essere pertanto a pelo libero o in pressione. Opere di questo genere devono essere soggette a controlli periodici atti a verificare le condizioni di sicurezza e funzionalità, che possono ridursi o venire meno a causa di motivi vari: usura, azioni idrauliche legate all'esercizio, azioni idrogeologiche ed evoluzione dello stato deformativo dell'ammasso in cui esse si trovano, improvvisi stati limite. In molti casi, inoltre, questi impianti risalgono alla prima metà del secolo scorso.

Le attività di manutenzione, quando attuate in modo sistematico, richiedono approfondimenti di diversi aspetti quali:

- la caratterizzazione geomeccanica e geotecnica dell'ammasso tramite rilievi, indagini e monitoraggi;
- la ricostruzione delle problematiche affrontate in fase di scavo, sia esaminando, se disponibile, la documentazione storica, sia osservando le caratteristiche della galleria (tipo di sezione, materiali di rivestimento, presenza di drenaggi), sia le condizioni del rivestimento stesso;
- la valutazione delle condizioni degli accessi alle gallerie;

- il controllo continuativo nel tempo dell'evoluzione delle condizioni del rivestimento e anche dei ripristini eseguiti precedentemente, tramite osservazioni visive e strumentali.

La documentazione così prodotta permette al gestore di verificare nel corso del tempo lo stato di consistenza e di sicurezza dell'opera e di programmare interventi di manutenzione ottimizzando, tramite una progettazione specifica, i tempi ed i costi dei lavori in funzione delle esigenze dell'esercizio dell'impianto.

Di seguito viene illustrata l'esperienza ventennale sviluppata su impianti presenti nell'arco alpino italiano che ha portato alla definizione di una metodologia di lavoro che ha permesso ai gestori di intervenire in modo mirato e programmato sugli impianti stessi, garantendo un elevato livello di efficienza.

## 2 ISPEZIONE E PROGRAMMAZIONE INTERVENTI

Un primo passo fondamentale è delineare l'inquadramento geologico-geotecnico dell'ammasso in cui è stata scavata la galleria, ricostruito sulla base di uno studio geologico dedicato ed approfondito, in genere già disponibile, talvolta successivo all'epoca della costruzione, che permetta anche di tracciare il profilo lungo l'asse dell'opera, evidenziandone la copertura, la presenza di faglie, l'interferenza con

eventuali valli ed incisioni superficiali (Fig. 1). Sul profilo vengono inoltre riportate le informazioni ricavate in fase di scavo, quali le venute d'acqua e gli stillicidi, le zone di fratturazione della roccia o di presenza di materiale sciolto, zone in cui si è ricorso a marciavanti o chiodature. Questi dati vengono poi integrati con le informazioni riportate nei vari Rapporti di Ispezione redatti nel corso degli anni attraverso i quali è possibile individuare sia le problematiche avvenute nel corso della vita dell'Impianto che le soluzioni di salvaguardia adottate (ricostruzione del rivestimento, iniezioni di riempimento e/o di contatto, chiodature), che spesso non sono documentate altrimenti in modo puntuale.

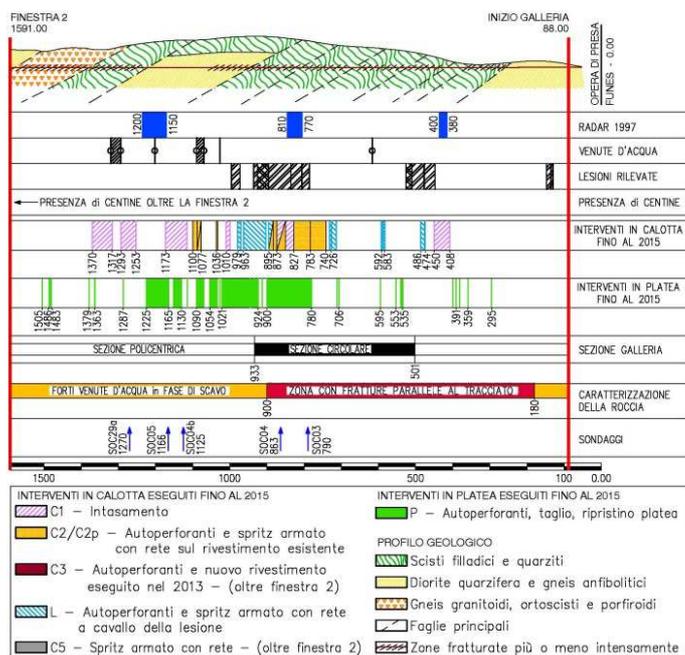


Figura 1 – Profilo longitudinale di un tratto della galleria di derivazione dell'Impianto di Ponte Gardena

Queste informazioni sono poi utilizzate come supporto di base per l'ispezione periodica in galleria (Zinetti et al. 2012). L'ispezione, che richiede l'interruzione dell'esercizio e lo svuotamento dell'impianto, viene programmata dal gestore e raramente dura oltre una giornata o poco più. Normalmente si tratta di un'accurata ricognizione visiva che permette di valutare lo stato di consistenza del rivestimento verificando l'evoluzione di fenomeni e dissesti già riscontrati in precedenza e riportati sul rapporto di ispezione, effettuando, dove possibile, misure sulla strumentazione di monitoraggio già installata (misure di convergenza, fessurimetri e spie lungo lesioni esistenti, estensimetri multibase, martinetti piatti), verificando il comportamento delle eventuali sistemazioni precedentemente eseguite e specialmente registrando l'insorgere di nuovi fenomeni. L'ispezione viene eseguita procedendo con l'ausilio di rotelle metriche che permettono di individuare con buona precisione le progressive a cui si trovano i punti notevoli, aiutandosi anche con targhe

(in genere ettometriche) e punti caratteristici di posizione nota (vecchie finestre d'accesso ormai chiuse, cambi di sezione, altre targhe, chiodi o centinature pregresse facilmente riconoscibili, ecc.) e documentando il tutto con fotografie ed annotazioni. Questi accorgimenti, che in fase di ispezione tendono ad essere sottovalutati, si rivelano poi importantissimi nella fase di progettazione e quantificazione degli interventi e di organizzazione del cantiere, non essendo normalmente più possibile compiere ulteriori visite di controllo.

In taluni casi, dove vi era una certa carenza di informazioni di base, si è preferito programmare un apposito fermo impianto di alcuni giorni per permettere di eseguire una serie di indagini più approfondite, quali carotaggi in calotta ed in platea, prove con martinetti piatti per la misura dello stato tensionale del rivestimento in alcune sezioni critiche, rilievo topografico di sezioni deformate, indagini georadar costituite in genere da strisciate longitudinali lungo l'asse di calotta e le sue reni completate con sezioni trasversali, i cui dati vengono poi correlati con le stratigrafie dei sondaggi e il profilo longitudinale della galleria. Le valutazioni in merito alle infiltrazioni d'acqua forniscono, durante l'ispezione, informazioni spesso solo indicative, in quanto le portate possono risentire di fenomeni variabili quali ad esempio le condizioni idrogeologiche stagionali, oppure, nel caso di gallerie in pressione, di rientri d'acqua transitori successivi allo svuotamento del cavo; ovvero del livello di invaso di bacini di raccolta posti nelle immediate vicinanze; in presenza di venute in pressione può essere allora utile installare in via speditiva manometri che diano una indicazione della pressione idraulica agente sul cavo svuotato. Durante la visita ispettiva è importante procedere con una prima classificazione delle criticità incontrate, assegnando la priorità di urgenza dell'intervento in tempo reale avendo ancora "fresche" le impressioni date dall'osservazione diretta.

La fase ispettiva si conclude con l'elaborazione dei dati raccolti in situ incrociati con le informazioni già disponibili e con i risultati delle nuove indagini e misurazioni.

### 3 PROGETTO DEGLI INTERVENTI

Il progetto degli interventi può risultare piuttosto complesso, specialmente nel caso in cui la galleria, in passato, abbia subito poche sistemazioni. Infatti si tratta non solo di definire i lavori necessari per sistemare le tratte ammalorate lungo il tracciato individuate a seguito delle ispezioni, ma anche di verificare e, talvolta, realizzare opere che permettano l'accesso sicuro di persone e mezzi alle zone di intervento. Inoltre, ed in funzione di quanto sopra ricordato, è necessario, già in fase di progettazione, pianificare la dislocazione e la sequenza temporale

degli interventi, cercando di uniformare le lavorazioni principali così da ottimizzare i lavori nel rispetto delle tempistiche disponibili. Queste ultime, dettate dal gestore, sono strettamente legate al periodo di svuotamento dell'impianto, che può durare da poche settimane (in genere almeno 3) fino a qualche mese (indicativamente non superiore a 3-4 mesi), solitamente nel periodo invernale e primaverile, ritenuto il meno fruttifero per la produzione di energia per questo tipo di impianti nelle zone alpine. Il fermo impianto è comunque molto limitato.

### *3.1 Tipologie di dissesti e interventi più comuni*

Gli interventi in galleria sono in generale riconducibili ad ammaloramenti di tipo abbastanza standard che descriviamo rapidamente di seguito, e poi dettagliatamente nei capitoli successivi con riferimento ad alcuni casi reali.

Le platee sono soggette a erosioni, in genere dovute al trasporto solido, che interessano tratte anche molto lunghe (svariate centinaia di metri); il fenomeno tende poi ad auto-alimentarsi nel tempo a causa del trascinarsi verso valle delle parti che via via si distaccano. In corrispondenza di sezioni circolari, l'ammaloramento può essere originato dalle condizioni di spinta dell'ammasso (tipicamente, ma non solo, in gallerie a pelo libero) che originano lesioni lungo la zona di arco rovescio a cui si somma l'effetto erosivo. In senso trasversale l'estensione del dissesto può essere ridotta o estendersi fino ad un arco di apertura anche superiore a  $100^\circ$ , venendo così a costituire un ostacolo al transito dei mezzi lungo la galleria durante le manutenzioni. Esse richiedono interventi di demolizione e rifacimento parziale o totale della sezione di rivestimento.

Calotta e piedritti possono essere soggetti a lesioni o sistemi di lesioni originate dalle spinte dell'ammasso o a lenti movimenti di versante, ed il cui andamento può essere longitudinale o trasversale (anulare o a "becco di flauto"); con diversa ampiezza di apertura, talvolta con lembi non planari o addirittura sormontati. Sono inoltre frequenti i distacchi superficiali in corrispondenza di riprese di getto. Questi dissesti possono richiedere chiodature, demolizioni parziali o per conci, spritz beton, iniezioni di consolidamento o di contatto, trattamenti localizzati di lesioni (Balossi Restelli, 1986). Frequenti sono anche i distacchi superficiali, di intonaco, di copriferro o di lastre prefabbricate di rivestimento, che richiedono interventi di ripristino con prodotti spruzzati, talvolta previa posa di armatura.

Sempre in calotta, in presenza di umidità e/o venute d'acqua diffuse che interessano tratte di estensione anche di svariate decine di metri, vengono eseguite iniezioni di imbottimento a tergo del rivestimento. Venute più concentrate vengono invece regimate con dreni, se necessario dotati di valvole di ritorno a clapet.

### *3.2 Accessi*

Le possibilità di accesso alla galleria possono essere le più varie, sia per ubicazione che per dimensioni. Non sempre l'accesso dei mezzi è possibile dall'imbocco della galleria o in corrispondenza della sua fine (dove spesso si trova una camera di carico). Ove possibile, se non già eliminate, vengono utilizzate alcune finestre intermedie realizzate durante la costruzione della galleria, e poi mantenute attive allargando, se necessario, i cunicoli di accesso dal versante per permettere il transito dei mezzi e l'introduzione dei materiali; all'imbocco di questi piccoli tunnel (possono avere lunghezza anche di qualche centinaio di metri) vengono allestiti i cantieri esterni o le zone di deposito. In qualche caso può essere conveniente attrezzare queste aree con gru tipo blondin per il trasporto di materiali. Poiché talvolta l'ubicazione degli accessi non è ben distribuita lungo il tracciato dell'opera, può accadere che vi siano zone dove il grado di ammaloramento risulti decisamente elevato in quanto in passato esse sono state trascurate, anche per il fatto di essere difficilmente raggiungibili.

### *3.3 Fasi esecutive e organizzazione della logistica dei cantieri*

L'ispezione preliminare e la fase di studio iniziale permettono dunque di individuare tratte in cui è maggiore o massima l'urgenza di intervento (priorità principale), altre in cui l'urgenza è meno impellente (priorità secondaria), ed infine una serie, in genere abbastanza ampia, di zone in cui l'intervento può essere differito ancora di qualche tempo, ma da mantenere comunque sotto osservazione nel corso di successive ispezioni. Vengono così progettati gli interventi, definendo per quanto possibile delle sezioni tipo standard, in genere differenziate tra platea, calotta e piedritti, drenaggio acque, che possono poi essere adeguate o ottimizzate nelle specifiche tratte di applicazione; in caso di situazioni singolari vengono studiati invece interventi ad hoc. Al termine di questa fase di progetto tecnico, si procede da un lato alla quantificazione delle lavorazioni e quindi dei costi medi di ciascuna sezione tipo per metro di galleria, e dall'altro alla determinazione delle tratte di applicazione di ciascuna sezione. In questo modo si arriva ad una prima stima dell'importo dei lavori, suddivisa in funzione delle priorità.

Nel contempo il progetto deve tenere in considerazione le altre condizioni, che potremo definire "al contorno", quali i tempi a disposizione per lavorare in galleria, la posizione delle zone di intervento rispetto agli accessi, il tipo di attività e di macchinari necessari per l'esecuzione del lavoro. Si tratta di un lavoro di ottimizzazione, talvolta iterativo, che richiede affinamenti ed adeguamenti, pur mantenendo in primo piano l'obiettivo di ripristinare la sicurezza.

za e l'efficienza delle gallerie nelle zone individuate come le più critiche.

Al termine di questa fase, in cui il Progettista e il Gestore dell'opera si confrontano frequentemente, coinvolgendo anche il Coordinatore della Sicurezza, si giunge alla stesura del progetto degli interventi, comprensivo anche dello studio della logistica del cantiere e di un cronoprogramma dei lavori rappresentato mediante un diagramma di Gantt, che evidenzia come si possa sviluppare nel tempo lo svolgimento delle varie attività senza che si creino interferenze tali da pregiudicare il completamento dei lavori.

In generale il progetto finale comprende gli interventi di priorità più elevata; tuttavia l'organizzazione del cantiere, impostata per questo scopo, può far sì che risulti conveniente sfruttare il fermo impianto eseguendo anche altri lavori di priorità inferiore, compatibilmente con le risorse economiche e il tempo a disposizione.

#### 4 IL CANTIERE

L'esperienza in questo tipo di lavori suggerisce di richiedere in fase di offerta alle Imprese di proporre una organizzazione logistica del cantiere ed un cronoprogramma operativo, dimostrando di avere compreso e ben inquadrato ogni singola lavorazione, le criticità da risolvere e le condizioni al contorno sopra definite.

Scelta l'Impresa esecutrice, e non appena l'impianto è reso accessibile, viene eseguito un sopralluogo di dettaglio alla presenza anche del Progettista e del Gestore. Nel corso di esso vengono segnate in galleria le tratte di intervento previste in progetto, alle quali è possibile apportare modifiche in funzione di eventuali variazioni dello stato di consistenza della galleria stessa avvenute nel frattempo e che richiedano una revisione delle priorità, nonché variazioni minori legate all'ottimizzazione finale del cantiere concordabile con l'Impresa. Questa possibilità di inserire variazioni può in alcuni casi essere prevista già dal progetto, ad esempio quando si renda necessario far eseguire, nei primi giorni di apertura del cantiere, indagini preliminari necessarie per ottimizzare gli interventi.

Anche nel corso dei lavori possono essere apportate ottimizzazioni e variazioni dettate dall'osservazione più dettagliata della galleria e da misure ed accertamenti che il Progettista ed i tecnici del Gestore ritengono utili.

Al termine del cantiere, infine, si procede con una accurata ispezione a cui segue la redazione di un Rapporto di Ispezione aggiornato che sarà la base per il successivo controllo dell'opera.

Di seguito vengono illustrate alcune fasi peculiari dei progetti e lavori eseguiti in passato, secondo i principi qui sopra descritti (Scienza, 2016).

#### 5 INTERVENTI IN UNA GALLERIA DI DERIVAZIONE IN PRESSIONE

La galleria di derivazione in pressione dell'impianto idroelettrico di Glorenza è alimentata dal lago di Resia, originato dalla diga di San Valentino. L'impianto risale alla fine degli anni 30. La galleria, di lunghezza 13 km circa, ha sezione circolare di diametro medio 3,30 m ed è in calcestruzzo armato. Il carico idraulico massimo, a valle, è di circa 17,5 m. Nel 2010 poco a valle della diga è stata realizzata una galleria di by-pass che si immette nella galleria di derivazione circa 700 m a valle dell'opera di presa (situata nell'invaso e non utilizzabile come accesso); inoltre nel 2012 una nuova apertura è stata ricavata a progressiva 1800 m, sfruttando la mancanza di copertura in prossimità di un tratto di ponte-canale che attraversa l'Adige nell'abitato di San Valentino. Grazie a questi nuovi accessi è stato possibile realizzare le due campagne di interventi procedendo con la sistemazione di alcune tratte particolarmente ammalorate, fino ad allora difficilmente raggiungibili.

##### 5.1 Risanamento della platea

Il tratto di galleria a monte del nuovo accesso corre praticamente al di sotto della sponda occidentale del bacino di San Valentino; la platea era in condizioni molto ammalorate a causa di fenomeni erosivi e della scarsa consistenza del calcestruzzo (probabilmente confezionato utilizzando anche materiale di risulta degli scavi al tempo della realizzazione dell'opera) come appurato attraverso prove su campioni carotati dal rivestimento. L'invaso alimentava importanti rientri d'acqua attraverso le lesioni presenti principalmente in platea e solo sporadicamente in calotta e piedritti.

Gli interventi realizzati hanno permesso di risanare, in due fasi successive, circa 450 m di platea procedendo secondo due differenti tipi di intervento.

Il primo, più radicale, ha comportato la demolizione completa del settore di platea del rivestimento, previa la posa di barre autoperforanti, cementate nella roccia, poste alla base dei piedritti e collegate tra loro in testa mediante travi metalliche di ripartizione provvisoria; in questo modo è stato garantito il contrasto alle azioni agenti sul rivestimento in mancanza della chiusura della sezione circolare in platea (Balossi Restelli et al. 1986).

Le venute d'acqua sono state regimate realizzando ogni 40 m pozzetti di raccolta e pompaggio. Successivamente, procedendo per conci di 10 m di lunghezza, il rivestimento è stato tagliato con disco diamantato appena sotto al sistema di contrasto, la parte rimanente di platea è stata demolita e successivamente ricostituita annegando nel getto archi di centine circolari sormontate da una rete di armatura. Al di sotto delle centine è stato posato un tubo drenante avvolto in una calza di geotessile, che recapita

ai pozzetti intermedi l'acqua che, raccolta da qui, viene poi reimpressa in galleria tramite piastre dotate di valvole a clapet; questo sistema di drenaggio ha permesso di regimare le venute lungo la tratta in lavorazione e nel lungo periodo di abbattere il carico idraulico sul rivestimento (Fig. 2).

Il secondo tipo di intervento, utilizzato nelle tratte dove l'erosione era superficiale, ha comportato, dopo la posa dei contrasti provvisori e la realizzazione dei tagli col disco diamantato, la demolizione di 8-9 centimetri di calcestruzzo fino a scoprire i vecchi ferri d'armatura, la posa di una nuova rete elettrosaldata (Fig. 3) e di connettori in acciaio inghisati nello spessore sottostante del rivestimento esistente, ed infine il getto di betoncino premiscelato, additivato in modo da garantire una presa accelerata, verificata mediante prove preliminari di laboratorio.

## 5.2 Iniezioni nelle alluvioni

La galleria corre in destra orografica per 1 km a valle della diga di S. Valentino all'interno della formazione dei micascisti filladici, scavalca le sorgenti dell'Adige mediante un ponte canale, si immerge nelle alluvioni di fondo valle sottopassando il centro abitato con copertura via via crescente fino a inserirsi, in sinistra orografica, nella formazione rocciosa degli gneiss occhiadini.

In corrispondenza di un'area appena a valle del ponte canale era stata riscontrata presenza di acqua in superficie. Nel corso dell'ispezione del 2010, nel tratto di galleria sottostante sono stati individuate tre tratte aventi lesioni, e in un paio di casi anche piccoli buchi, riempiti con stecchetti e foglie (contenute nel flusso derivato dal bacino), segno tipico di rifluimento dell'acqua in pressione verso l'esterno.

In una prima campagna di interventi le lesioni e i buchi sono stati ripuliti e sigillati ed alla ripresa dell'esercizio non sono più state notate circolazioni d'acqua fino in superficie.

Allo scopo di consolidare il terreno ormai dilavato attorno alla galleria, nel corso della successiva campagna di lavori del 2012, lungo le tre tratte sono state eseguite iniezioni per permeazione di miscela cementizia a volume controllato, attraverso raggere di tubi valvolati (Fig. 4).

La sonda perforatrice e la centrale mobile di iniezione hanno potuto raggiungere facilmente i siti di intervento passando dal nuovo accesso realizzato in corrispondenza della spalla destra del ponte canale.

In fase di iniezione la zona più vicina all'area interessata dalle risalite d'acqua ha richiesto l'esecuzione di tre passate di miscela cementizia fine per raggiungere una buona reazione del terreno in termini di pressione (almeno 10 bar), con un assorbimento medio attorno al 25% del volume teorico di terreno trattato. Ciò ha confermato a posteriori l'importante grado di dilavamento che si era venuto creare attorno al cavo.

Nelle altre due tratte il risultato è stato ottenuto con quantitativi attorno al 20% iniettati in due passate.



Figura 2 – Intervento di rifacimento di un tratto di platea in sezione circolare



Figura 3 – Le fasi dell'intervento di ripristino di un tratto di platea in sezione circolare



Figura 4 – Le perforazioni per la posa dei tubi valvolati

### 5.3 Trattamento di lesioni nel rivestimento

La tratta di galleria appena a monte della finestra 5, l'unica da sempre percorribile, circa un chilometro a monte della condotta forzata, presentava per circa 350 metri una serie di lesioni longitudinali ed anulari, con venute d'acqua importanti, riscontrabili anche al termine della campagna del 2010.

L'inquadrimento geomorfologico ha evidenziato in superficie la presenza di una incisione del versante in corrispondenza di micascisti fratturati, zona soggetta a spinte e con circolazione d'acqua.

In progetto sono state previste due diverse sezioni tipo: una costituita da raggere di chiodature, realizzate mediante barre autoperforanti iniettate con miscela cementizia, da applicare nelle zone in cui le lesioni erano più diffuse, ovvero a coppie a cavallo di lesioni anulari; un'altra in cui le barre vengono disposte a cavallo di una lesione corrente longitudinale, con interasse regolare tra le perforazioni. In entrambi i casi le lesioni sono state risarcite previa scarifica e preparazione dei lembi, posa di una rete di fibra di carbonio ed infine trattamento di sigillatura con una malta cementizia tixotropica.

Gli interventi sono poi stati eseguiti adeguando la posizione dei chiodi all'andamento delle lesioni. In alcuni casi sono state messe in opera centine provvisionali di salvaguardia durante la posa degli autoperforanti (Fig. 5).

Le venute d'acqua più concentrate sono state regimate mediante la posa di valvole a clapet.

Le venute più diffuse, in alcuni casi, sono drasticamente diminuite già a seguito dell'esecuzione delle iniezioni di ancoraggio delle barre autoperforanti per cui non sono state adottate ulteriori misure (Fig. 6).

### 5.4 Iniezioni di contatto a tergo del rivestimento

In una tratta piuttosto estesa interessata da umidità diffusa, ma con condizioni comunque discrete del rivestimento, si è invece proceduto con l'esecuzione di iniezioni di imbottimento con miscela cementizia attraverso fori posti lungo le reni di calotta e fori di sfiato eseguiti in chiave (Fig. 7).

## 6 INTERVENTI IN UNA GALLERIA DI DERIVAZIONE A PELO LIBERO

La galleria di derivazione a pelo libero dell'impianto di Ponte Gardena è alimentata dall'Isarco ed ha lunghezza di 7,5 km circa. Il rivestimento, avente 35 cm di spessore medio, è prevalentemente in calcestruzzo non armato, con svariati tratti aventi calotta e piedritti in muratura di mattoni; inoltre sono presenti zone, anche di lunga estensione, sistemate nel corso del tempo con vari altri materiali quali blocchi di porfido, mattoni, calcestruzzo armato gettato e spruzzato, talvolta rinforzati con centine, archi di



Figura 5 – Una tratta di rivestimento lesionato ed interessato da abbondanti venute d'acqua, prima delle iniezioni degli autoperforanti. Centine di rinforzo provvisionali

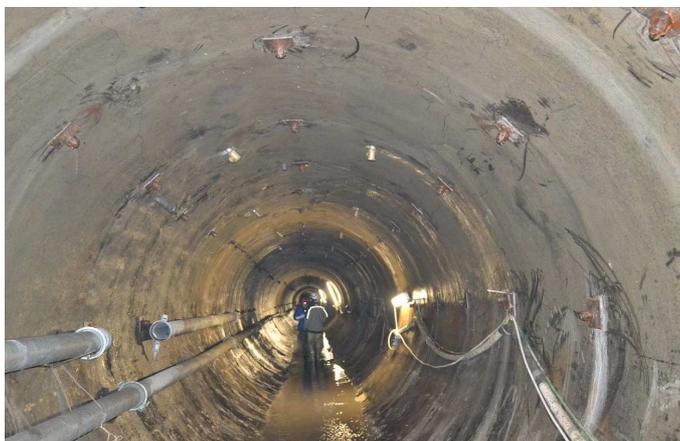


Figura 6 – La stessa tratta dopo le iniezioni degli autoperforanti, la posa delle valvole a clapet e la rimozione delle centine provvisionali

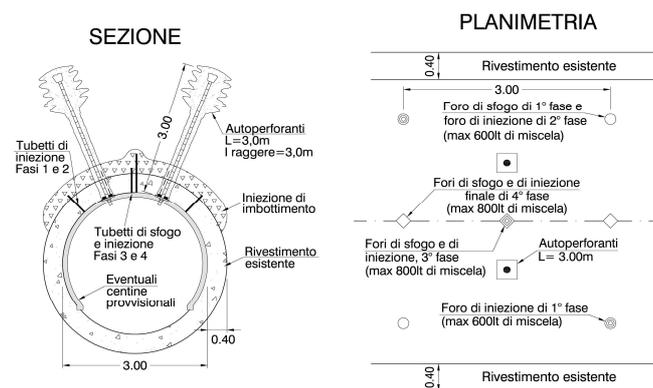


Figura 7 – Schema delle iniezioni di imbottimento

centine, blindature metalliche.

Il diametro interno della galleria è di circa 6 metri.

L'opera è facilmente accessibile anche da mezzi di grosse dimensioni dall'imbocco presso l'opera di presa, e da mezzi più piccoli dalla Finestra 4, in posizione intermedia. Altri due accessi meno agevoli si trovano in corrispondenza della camera di carico

all'estremità di valle e nel primo tratto di galleria, con discreta comodità di accantieramento all'esterno. La sezione è policentrica nelle zone di roccia più consistente, leggermente prevalente come estensione complessiva, e circolare nei lunghi tratti in cui essa incontra gli scisti filladici, come evidenziato dagli studi geologici di dettaglio (Fig. 1). In particolare il tratto centrale del tracciato è interessato dalla faglia della linea di Funes, dove si trovano condizioni di roccia spingente. La circolazione d'acqua, legata anche alle condizioni geologiche, in diversi tratti è rilevante.

Queste condizioni, associate ad un certo decadimento delle caratteristiche del calcestruzzo originario (l'impianto risale agli anni '30) ed all'effetto erosivo dovuto al trasporto solido, anch'esso non trascurabile, hanno comportato e comportano la necessità di interventi di manutenzione piuttosto frequenti, che talvolta sono risultati piuttosto impegnativi.

Nel corso degli ultimi 10 anni sono state eseguite quattro diverse campagne di lavori che hanno permesso di migliorare decisamente le condizioni generali della galleria, curando in modo particolare la durabilità dell'opera. Di seguito vengono descritti alcuni tra gli interventi eseguiti più significativi.

### 6.1 Sistemazione delle platee

Lo stato di degrado del calcestruzzo della platea era piuttosto avanzato per vari tratti, aventi lunghezza anche di alcune centinaia di metri.

Lo schema di base applicato è quello mostrato in figura 8: demolizione, totale (Fig. 8a) o parziale (Fig. 8b), della platea ammalorata per tratte di alcuni metri, in funzione del tipo di sezione e delle condizioni generali del rivestimento, e ricostituzione della platea mediante getto di calcestruzzo, opportunamente rinforzato. Prima di procedere con la demolizione, lungo le tratte a sezione circolare, sono stati messi in opera tiranti, collegati tra loro in testa da travi metalliche di ripartizione, in modo da incassare le spinte laterali contrastate normalmente dall'arco rovescio, sia pure indebolito dallo stato di degrado. Nelle condizioni più critiche i tiranti sono stati eseguiti anche nel caso di sezione policentrica; inoltre piedritti e calotta sono stati anch'essi rinforzati come descritto al capitolo 6.2.

Le fasi di scavo per conchi e di trasporto del materiale di risulta verso l'esterno necessitavano di tempi piuttosto lunghi, tali da richiedere di limitare tutte le altre lavorazioni al minimo indispensabile, appunto per garantire le condizioni di sicurezza durante i lavori per le platee. Nelle prime due campagne di interventi eseguite nel 2006 e nel 2008 sono state sistemate quasi tutte le tratte di platea situate tra l'imbocco di monte e la finestra 4 intermedia a progr. 3827, compresa gran parte della zona interessata dalla linea di Funes.

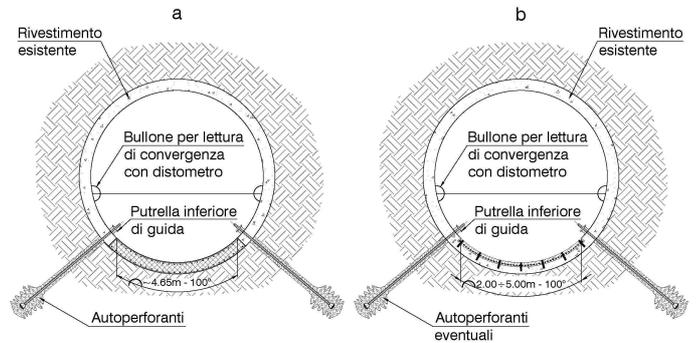


Figura 8 – Intervento standard in platea. a) demolizione totale e b) demolizione parziale

La posizione relativamente comoda rispetto agli accessi carrabili ha reso le tempistiche di tali interventi compatibili con i programmi generali delle campagne in corso.

Rimanevano ancora circa 1,5 km di platee da sistemare, di cui più di 1300 m a valle della finestra, (almeno a 900 m di distanza da essa) con un grado di erosione che raramente intaccava l'intero spessore dell'arco rovescio. Dopo aver preso in considerazione diverse soluzioni mirate al contenimento delle tempistiche esecutive, si è optato per l'utilizzo della tecnica dell'idro-demolizione selettiva, mediante getti d'acqua ad alta pressione (circa 120 MPa) da più ugelli allineati lungo un bilanciante basculante, protetti e opportunamente direzionati (Fig. 9) in modo da asportare uno spessore di platea predefinito, in media di 15 cm. Questa tecnologia comporta tempistiche di demolizione ben inferiori rispetto alle tecniche tradizionali con martello demolitore; rispetto a queste, inoltre, il materiale di risulta ha pezzatura decisamente più fine e viene smaltito in modo più rapido.

Questa tecnologia, già sperimentata con risultati più che soddisfacenti su scala ridotta dal Gestore, è stata adottata in modo sistematico nel corso dei lavori del 2013.

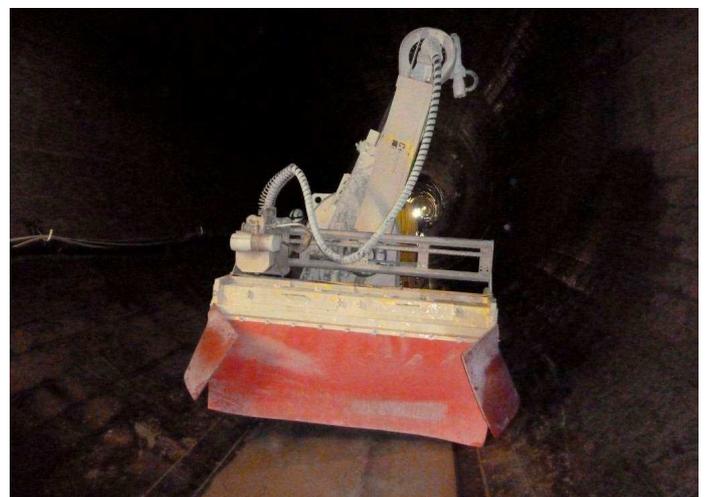


Figura 9 – Attrezzatura per l'idrodemolizione delle platee

La maggior parte delle zone di intervento a valle della finestra presentavano una erosione concentrata in un settore di larghezza compresa tra 1,50 e 3,00 metri (lungo tratte omogenee), a cui l'ampiezza dell'idrodemolizione veniva facilmente adattata.

A monte della finestra la stessa tecnica è stata utilizzata per settori completi di arco rovescio (circa 5 m di estensione), anche laddove la demolizione doveva avvenire tra archi di vecchie centine metalliche messe in opera alcuni decenni prima, come contrasto del rivestimento nella zona assai tormentata in corrispondenza della faglia di Funes.

In questa tratta l'effetto dell'erosione si era via via incrementato nel tempo, come osservato nel corso delle varie ispezioni periodiche, a causa dell'insorgere di un regime di moto turbolento tra gli archi di centine.

Il getto delle platee è stato sempre curato in modo molto attento. Il fuso granulometrico del calcestruzzo, con inerti di pezzatura medio-fine, veniva preliminarmente messo a punto in modo da garantire una buona resistenza iniziale (superiore a 30 MPa dopo 3 giorni) così da permettere il transito di mezzi dopo qualche decina di ore dal getto. Il collegamento tra il nuovo getto e il vecchio è stato incrementato mediante la posa di pioli metallici di connessione inghiassati nel supporto esistente sano. Il rinforzo del calcestruzzo è stato realizzato sia mediante rete elettrosaldata, sia con fibre sintetiche, osservando finora, anche con queste ultime, buoni risultati.

### 6.2 Consolidamento di calotta e piedritti mediante chiodature

Come già accennato in precedenza, le tratte di galleria lesionate in modo diffuso sono state sistemate consolidando dapprima l'ammasso roccioso attorno a calotta e piedritti mediante raggere di barre auto-perforanti, iniettate con miscela cementizia; nei casi più delicati questa operazione è avvenuta previa la posa in opera di controcentine metalliche di rinforzo, con rete elettrosaldata interposta tra di esse, così da garantire la stabilità del rivestimento durante le perforazioni e le iniezioni, e la sicurezza degli operatori.

In corso d'opera la disposizione delle barre è stata di volta in volta adeguata all'andamento delle lesioni e all'estensione degli ammaloramenti lungo lo sviluppo trasversale delle sezioni. In figura 10 sono mostrate la sezione standard, che interessa completamente calotta e piedritti, figura 10 a) ed una sezione cosiddetta "zoppa", figura 10 b).

Successivamente i lembi delle lesioni più aperte sono stati ripuliti, e dopo la posa della rete elettrosaldata fissata alle teste delle barre, è stato eseguito il ricoprimento con spritz beton, in 1 o 2 passate, a seconda delle condizioni del rivestimento, completato da una lisciatura superficiale per ridurre la scabrezza dello stesso.

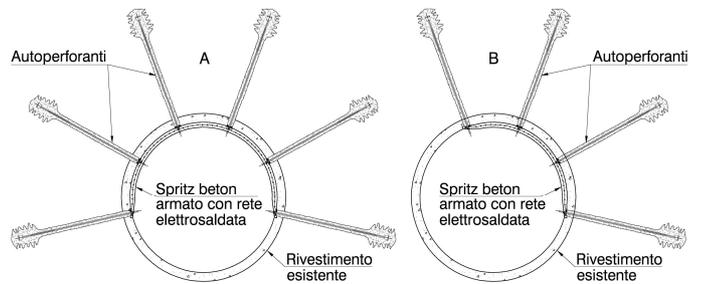


Figura 10 – a) La sezione standard che interessa completamente calotta e piedritti – b) Una sezione modificata

### 6.3 Iniezioni di consolidamento dell'ammasso roccioso e di contatto

Gli interventi descritti nel paragrafo precedente sono stati seguiti in alcuni casi da trattamenti di iniezione. In corrispondenza della zona di faglia a metà della galleria, sono state realizzate raggere di iniezione di consolidamento con una miscela ternaria (rapporto C/A=0,6÷0,9) mediante tubi valvolati in pvc, con un sacco otturatore posto in corrispondenza del rivestimento. I quantitativi effettivamente iniettati (in media 1100 lt per metro di galleria), hanno messo in evidenza la diversa consistenza della zona alterata lungo i 50 metri di intervento, con assorbimenti più marcati in un paio di tratte di una decina di metri ciascuna.

In corrispondenza di zone caratterizzate da lesioni e deformazioni a causa delle spinte litostatiche, ed anche da venute d'acqua significative, osservate nel corso delle varie ispezioni e campagne di lavori, il trattamento con barre auto-perforanti e spritz beton è stato seguito da iniezioni di contatto attraverso fori passanti il rivestimento, secondo sequenze alternate per evitare ulteriori sovrappressioni durante l'iniezione stessa. Questi trattamenti, andando a riempire i vuoti centimetrici a tergo del rivestimento, migliorano il contatto tra quest'ultimo e la roccia circostante, con l'effetto di riequilibrare le spinte agenti sul paramento, e riducono decisamente la possibilità di circolazione di acqua attorno alla galleria, riducendo l'azione di dilavamento del calcestruzzo. Nei casi in cui i vuoti sono risultati di dimensione decimetrica (a seguito dell'esecuzione di appositi fori di ispezione speditivi), l'iniezione è stata preceduta da un getto di riempimento con betoncino alleggerito, secondo fasi esecutive predefinite sempre allo scopo di evitare sovrappressioni sul rivestimento a causa dello stato fluido della boiaccia.

## 7 CONCLUSIONI

La manutenzione di strutture come le gallerie di derivazione di impianti idroelettrici richiede regolari ispezioni e ripetuti interventi. Una adeguata conoscenza delle condizioni geologico-geotecniche al contorno, la raccolta e la correlazione dei dati rica-

vati dalle ispezioni, dalle indagini integrative di dettaglio e dalle esperienze delle campagne di lavori precedenti, consente di pianificare ed attuare, con tempi e costi controllati, sia gli interventi di ripristino della galleria sia alcuni interventi straordinari quali ad esempio la manutenzione o il miglioramento degli accessi esistenti o la formazione di nuovi in posizione strategica, che nel medio e lungo periodo possono agevolare una continua riqualificazione dell'opera.

## BIBLIOGRAFIA

- Balossi Restelli, A. 1986. Interventi speciali atti a garantire la stabilità del cavo in condizioni difficili. *Primo ciclo di conferenze di meccanica e ingegneria delle rocce MIR*. Torino. Memoria n.5
- Balossi Restelli A., Barla G., Jarre P. 1986. Miglioramento delle condizioni di servizio e di sicurezza di una galleria ferroviaria con rivestimento in muratura. *Atti del Congresso Internazionale su Grandi Opere Sotterranee*. Firenze. Vol.1, pp.39-48
- Scienza M. 2016. Esperienze in merito a risanamenti di gallerie di derivazione. *Atti del convegno "Ispezione e manutenzione di impianti idroelettrici – Gallerie di derivazione*. Bolzano
- Zinetti F. Chemello P., Boccellino C., Brizzo N., Donnarumma D., Spogli G., De Dona A. 2012. Opere idrauliche associate alle dighe. *Pubblicazione ITCOLD*

## ABSTRACT

### MAINTENANCE OF HYDRAULIC TUNNELS OF HYDROPOWER PLANTS. INSPECTIONS OF TUNNEL'S CONDITION, INVESTIGATIONS AND MAIN REMEDIAL WORKS.

The maintenance of the hydraulic tunnels has become an increasingly challenging aspect in the management of power plants due to their extended period in service, which in Italy is about 60 years on average.

The inspections, periodically planned by the owners, allow to check the condition rating of the tunnels and to define the most appropriate strengthening improvements to repair the lining defects observed during the inspections. Destructive testing (boreholes) or non-destructive (GPR) can be used to investigate the state of decay of the structural elements, as well as the presence of voids or water behind the lining: conditions that very frequently cause cracks, leakage, scaling or spalling.

The very short scheduled period for the execution of remedial works requires a preliminary selection of standardized techniques and the priority classification of the intervention. The planning of the maintenance works has also to take into account the small section of many of the tunnel, as well the difficult

conditions of its entries, often narrow and hardly accessible.

The most common remedial repairs for the arch zone are: - cement grouting in void spaces behind the lining thus resulting a homogeneous redistribution of stresses and reduction of water inflows; - permeation grouting and bar anchors for consolidation and watertightness of soil and rock surrounding the tunnel; - hollow bar anchors for the stabilization of longitudinal or transverse cracks of the lining.

Inverted arches are frequently affected by erosion, sometimes very extended in length, requiring partial or full reconstruction.

In correspondence of the most critical findings, the work must be performed after the installation of provisional ribs, under carefully monitored conditions (convergence).

After each inspection and rehabilitation work, tunnels documents are updated with full particulars.

The case histories of Glorenza and Ponte Gardena power plant are discussed.