

# Rehabilitation of appurtenant works of hydropower plants

## Interventi di riabilitazione di opere accessorie degli impianti idroelettrici

F. Zinetti

*ENEL- Supporto Tecnico Civile, Milan, Italy*

**ABSTRACT:** The ITCOLD Working Group "Hydraulic works associated with dams" has analysed the state on the safety of hydraulic structures on the following aspects: Control activities; Deterioration Scenarios; Types of deterioration of the works; Maintenance and rehabilitation interventions. The memory focuses on the aspects related to the control activities from the point of view both of their purpose and operation. Subsequently, the typical problems of this type of works and the main rehabilitation methods usually adopted are presented with particular attention to the causes that determine their degradation (problems of foundation, environmental causes and structural deficiencies). / Il Gruppo di Lavoro ITCOLD "Opere idrauliche associate alle dighe" ha analizzato i problemi di sicurezza delle opere idrauliche considerando i seguenti aspetti: attività di controllo; scenari e tipologie di deterioramento delle opere; manutenzione e interventi di ripristino. La memoria si concentra sugli aspetti relativi alle attività di controllo evidenziando le modalità operative e gli obiettivi; inoltre analizza i problemi tipici di queste opere e illustra i principali metodi di riabilitazione con particolare riguardo alle cause che ne determinano il degrado (problemi di fondazione, cause ambientali e carenze strutturali).

**KEYWORDS:** hydraulic works, dams, canals, tunnels, penstocks, outlets / opera idrauliche, dighe, canali, gallerie, condotte forzate, opera di scarico

### 1 INTRODUZIONE

La memoria, sintesi del bollettino redatto da un Gruppo di Lavoro ITCOLD (Zinetti et Al., 2012), descrive lo stato dell'arte relativamente alla sicurezza delle opere idrauliche analizzandone gli aspetti relativi a:

- attività di controllo;
- scenari di deterioramento;
- tipologie di degrado delle opere;
- interventi di manutenzione e riabilitazione.

Viene proposta una sintetica rassegna delle opere che costituiscono un impianto di derivazione idrica qualunque ne sia la finalità: irrigua, potabile, idroelettrica o industriale. Nel seguito le opere saranno trattate con riferimento alla loro funzione e saranno pertanto divise nelle seguenti categorie:

- opere di presa;
- opere di derivazione e scarico (canali, gallerie, ponti canali);
- elementi di disconnessione (pozzi piezometrici, vasche di carico);
- condotte forzate.

### 2 LE PRINCIPALI OPERE IDRAULICHE

#### 2.1 Opere di presa

Le opere di presa a fiume si suddividono in opere che realizzano un invaso ovvero opere che consentono la derivazione delle acque senza invaso. Le prime sono costituite da veri e propri sbarramenti, dighe e traverse, delle diverse tipologie; nella presente memoria ci si riferirà solo a quelli che non sono già oggetto di normative specifiche nazionali (grandi dighe) o regionali (invasi di solito maggiori di 2000-5000 m<sup>3</sup>). Fra le seconde si considerano le prese subalvee, o a trappola, costituite da manufatti trasversali all'alveo attraversati superiormente dalla corrente idrica che quindi precipita all'interno del manufatto in una camera di presa e le soglie fisse che consentono di indirizzare la corrente idrica verso un imbocco di presa laterale.

#### 2.2 Opere di derivazione e scarico

Si dividono in diverse grandi famiglie:

### *Derivazioni a pelo libero*

Nelle derivazioni a pelo libero l'adduzione dell'acqua dall'opera di presa al luogo di utilizzazione avviene tramite canali all'aperto od in galleria.

Per i canali all'aperto la sezione tipica è quella trapezoidale con fondo piano e pareti inclinate in quanto favorisce sia la stabilità delle sponde della sezione che il suo rendimento idraulico; l'inclinazione delle sponde è anche legata ai materiali utilizzati e alle modalità costruttive adottate per la realizzazione del canale stesso. Si possono trovare anche sezioni poligonali, circolari, paraboliche, triangolari, rettangolari e policentriche.

Le sponde devono risultare auto-stabili e il rivestimento non ha funzione statica ma solo una funzione di regolarizzazione ed anti erosione delle sponde, di miglioramento della scabrezza idraulica nonché, spesso, di tenuta idraulica.

Sistemi di drenaggio sono necessari quando il canale è scavato in terreni scarsamente permeabili; in tali condizioni, le perdite d'acqua dal rivestimento, non assorbite dal terreno, si risolvono in spinte in caso di vuotamento rapido del canale. Al fine di contribuire all'abbattimento degli effetti negativi che possono essere causati dalla falda freatica a canale svuotato, vengono a volte posizionate delle valvole di non ritorno a *clapet*, sul fondo e ai piedi delle sponde. Esse sono talora munite di chiusure di sicurezza collegate ad aste di manovra. Queste valvole, quando il canale è pieno, a causa della pressione esercitata dall'acqua, rimangono chiuse. Quando il canale è vuoto, in presenza di acqua esterna con battente più alto del fondo del canale, esse si aprono e permettono all'acqua di entrare nel canale, evitando l'insorgere di pressioni dall'esterno.

### *Derivazioni in pressione*

La maggior parte delle opere di derivazione dalle dighe di ritenuta è costituita da gallerie in pressione. Questo per consentire, a differenza di quelle a pelo libero, di sfruttare anche il salto ottenuto con l'opera di sbarramento.

La sezione più comunemente usata, per questo tipo di galleria, è la sezione circolare che meglio si presta a sopportare le azioni della pressione idrica interna durante l'esercizio ed esterna, idrica e di spinta del terreno, durante la costruzione e durante i vuotamenti.

Il rivestimento è generalmente necessario, ma può eventualmente essere omesso in presenza di roccia sana, resistente ed impermeabile e per carichi idraulici minori di 15-20 m. Il tipo e lo spessore di rivestimento vengono stabiliti in relazione alla pressione dell'acqua, alla natura della roccia e alla necessità di difenderla dall'azione dell'acqua.

Per gallerie in rocce permeabili e non molto resistenti è necessario un adeguato spessore di calcestruzzo, eventualmente protetto con intonaco a mano o in gunite. Se ci sono pressioni molto elevate si può

ricorrere a rivestimenti in calcestruzzo armato o pre-compresso, commisurati alla massima pressione interna. A costruzione ultimata, si eseguono iniezioni a tergo del calcestruzzo di rivestimento per assicurarne l'impermeabilità e l'aderenza alla roccia e iniezioni di risanamento e di impermeabilizzazione della roccia stessa. I tipi di rivestimenti più diffusi sono:

- rivestimento in calcestruzzo o calcestruzzo armato gettato in opera;
- rivestimento in elementi prefabbricati in calcestruzzo armato e getto di bloccaggio contro roccia;
- rivestimento metallico bloccato esternamente con calcestruzzo pompato.

### *Opere d'arte*

Sono utilizzate per gli attraversamenti di corsi d'acqua o di valli o di infrastrutture stradali, ferroviarie o per controllare il livello dell'acqua all'interno dei canali.

*Ponti canale*: queste opere consistono in un canale di calcestruzzo armato, generalmente di sezione rettangolare, superiormente aperta o chiusa, poggiato su di una struttura ad arco o su pile, in quest'ultimo caso il canale stesso assume la funzione di trave. Il canale è diviso in tronchi da giunti, sia per evitare le fessurazioni del calcestruzzo da cause termiche o da ritiro, sia in relazione alla tipologia strutturale adottata (per esempio a travi appoggiate).

*Ponti tubo*: sono costituiti da una tubazione in calcestruzzo armato o calcestruzzo armato pre-compresso o in acciaio sostenuta da un ponte, generalmente ad arco, in calcestruzzo armato o, più raramente, in acciaio. Come i ponti canale anche i ponti tubo sono normalmente dotati di giunti di dilatazione per assorbire le deformazioni dovute sia alla loro esposizione esterna che alla presenza o meno di acqua all'interno, la cui temperatura può essere molto diversa da quella ambiente.



Figure 1. Example of pipe-bridge / Esempio di ponte-tubo.

*Sfioratori, sifoni autolivellanti, paratoie a ventola su canali e gallerie a pelo libero*: per le derivazioni a pelo libero grande importanza hanno alcuni organi di regolazione che consentono di controllare la quota del pelo dell'acqua all'interno del canale per evitare tracimazioni e sovraccarichi.

I sifoni autolivellanti, utilizzati molto in passato per la capacità di smaltire, con piccole variazioni di livello all'imbocco, grandi portate in tempi rapidi, sono attualmente in disuso quasi ovunque per la difficoltà di controllarne il comportamento in conseguenza della rapidità d'innescò e delle elevate variazioni di portata scaricata.

Gli sfioratori a soglia fissa e le paratoie a ventola autolivellanti sono normalmente inseriti lungo il tracciato della derivazione in corrispondenza di rii o torrenti e sulla vasca di carico della centrale con lo scopo di limitare l'innalzamento incontrollato causato da rapide variazioni di portata o improvvise parziali ostruzioni del canale causato da alberi abbattuti, materiali franati all'interno del canale.

### 2.3 Elementi di disconnessione

Nel punto di raccordo tra la derivazione principale e la condotta forzata viene inserito un elemento di disconnessione a superficie libera, che ha dimensioni diverse a seconda che il tratto di monte sia a pelo libero o in pressione. Nel primo caso esso prende il nome o di "bacino di accumulazione" o di "vasca di carico"; a seconda che debba consentire di derivare dalla condotta forzata una portata maggiore rispetto alla derivazione a pelo libero oppure debba regolare unicamente i transitori idraulici. Nel secondo caso l'elemento a superficie libera si chiama vasca di oscillazione o pozzo piezometrico.

#### *Bacini di accumulazione e vasche di carico*

Possono essere realizzati in galleria o all'aperto. Le dimensioni sono legate anche al numero ed alle dimensioni delle Condotte Forzate. Ogni bacino è dotato di organi di scarico; di fondo (per svuotare la vasca) e di superficie (per permettere di scaricare l'intera portata derivata in caso di blocco delle macchine). Le portate provenienti dallo sfioro sono convogliate a valle attraverso condotti di scarico (condotte, canali) oppure direttamente in valli secondarie prossime al bacino.

#### *Pozzi piezometrici*

Il pozzo piezometrico è realizzato con la duplice funzione di ridurre le sovrappressioni in galleria durante i transitori idraulici e garantire una massa d'acqua in testa alla condotta forzata per evitare situazioni episodiche di funzionamento che possano favorire il trascinarsi d'aria.

Hanno configurazioni varie ma tutte sostanzialmente sono riconducibili al seguente schema: una canna verticale cilindrica collegata superiormente ad una vasca d'espansione ed inferiormente ad una o più camere di alimentazione.

Come per le gallerie in pressione, la sezione più comunemente usata è la sezione circolare che meglio si presta a sopportare le azioni della pressione interna durante l'esercizio ed esterna sia durante la costruzione, sia durante i vuotamenti.

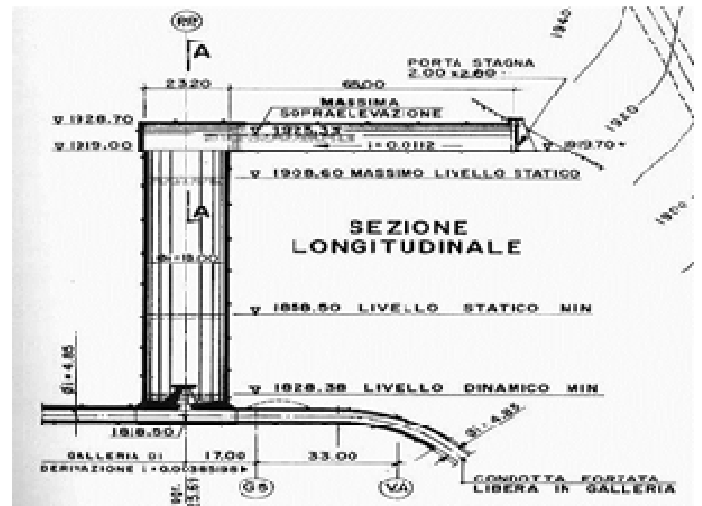


Figure 2. Surge shaft scheme / Schema di pozzo piezometrico.

### 2.4 Condotte forzate

Per condotta forzata si intende il complesso delle tubazioni di collegamento tra la vasca di carico o il pozzo piezometrico dell'impianto e il macchinario idraulico. Tali tubazioni costituiscono l'adduzione secondaria fra l'ultimo elemento a pelo libero dell'impianto (organo di disconnessione) e l'utilizzazione (ad es. le turbine idrauliche). Sono tubazioni in pressione, di sezione circolare. Il loro diametro è commisurato alla portata, in modo che la velocità dell'acqua abbia un valore generalmente compreso tra 4÷6 m/s. Le condotte possono essere posate "all'aperto" o "in sotterraneo".



Figure 3. Example of Penstocks / Esempio di condotte forzate.

Dal punto di vista dei materiali impiegati, le condotte forzate si distinguono in:

*Condotte forzate in calcestruzzo armato:* normalmente utilizzate per piccoli diametri e bassi salti poiché l'armatura va dimensionata per limitare l'apertura delle fessure.

*Condotte prefabbricate in calcestruzzo armato precompresso:* sono costituite da tubi in calcestruzzo armato centrifugato o vibrato entro casseri con un armatura di precompressione costituita da fili o funi d'acciaio ad alta resistenza disposte ad eliche sem-

plici od incrociate oppure a formare anelli singoli. Nelle condotte soggette ad alte pressioni, tra il tubo in c.a. e l'armatura di precompressione può venir interposta una camicia d'acciaio per la tenuta idraulica. L'armatura di precompressione è protetta da un rivestimento cementizio di malta, gunito o calcestruzzo. Le connessioni tra tubo e tubo sono fatte tramite manicotti in c.a. gettato in opera entro cassero, con giunti a bicchiere o con collegamento di testa mediante la saldatura di un anello in acciaio all'esterno dei lembi dei tubi muniti di profilo metallico.

*Condotte in fibrocemento:* sono costruite a partire da un impasto di conglomerato cementizio e fibre; in passato si usavano fibre di amianto, realizzate mediante un processo di centrifugazione. Sono usate per pressioni di esercizio basse, di norma inferiori a 2÷3 atm. Il loro punto debole è il colpo d'ariete; devono perciò essere ben studiate le possibili manovre da effettuare per evitare rotture soprattutto in corrispondenza dei giunti.

*Condotte in ghisa:* Sono normalmente preferite le tubazioni di ghisa duttile (o sferoidale) piuttosto che quelle di ghisa grigia più fragile. Queste condotte trovano scarso impiego negli impianti idroelettrici, perché il tipo di materiale è poco adatto, per la scarsa resistenza e fragilità, a sopportare pressioni forti e rapidamente variabili come quelle che si manifestano nei colpi di ariete.

*Condotte in acciaio:* Possono essere di vario tipo a seconda del diametro e della pressione.

Tubi Mannesmann senza saldatura: sono costruiti a caldo, per trafilatura in laminatoi speciali. Il loro diametro massimo è limitato da ragioni tecnologiche: normalmente vengono commercializzati con un diametro nominale fino a 600 mm.

Tubazioni saldate: vengono ricavate da elementi in lamiera di acciaio curvati alla calandra e saldati tra loro, sia longitudinalmente che trasversalmente.

Tubi di acciaio saldato a sviluppo elicoidale: sono ottenute da grosse bobine di lamiera in acciaio, sboinate in apposite macchine e saldate lungo i bordi.

Tubazioni chiodate: sono ottenute da elementi in lamiera di acciaio curvati alla calandra e chiodati tra loro, sia longitudinalmente che trasversalmente.

Tubi blindati: sono costituiti da un comune tubo saldato opportunamente rinforzato con cerchiature esterne applicate a caldo in modo da comprimere il tubo stesso.

*Tubazioni di polietilene ad alta densità (PEAD):* le condotte realizzate con tubazioni in polietilene ad alta densità (PEAD, peso specifico compreso tra 0,945 e 0,965 kg/dm<sup>3</sup>) sono recentemente state utilizzate per realizzare condotte forzate per impianti idroelettrici di piccola taglia (mini idro), mentre il loro utilizzo per la realizzazione di condotte di derivazione per acquedotto o per usi irrigui è piuttosto diffuso già da parecchi anni in particolare per le condotte di piccolo diametro. Le condotte in PEAD

sono adatte al trasporto d'acqua con temperature inferiori ai 40°C.

*Condotte in vetroresina:* le condotte in vetroresina sono costituite da un materiale composito, formato da fibre di vetro impregnate con resina termoisolante. Tali condotte offrono una eccellente resistenza alla corrosione e all'attacco dei prodotti chimici ed eccellenti caratteristiche idrauliche grazie alla bassissima scabrezza interna. Le condotte sono generalmente dotate di organi di chiusura (paratoie piane o valvole), uno alla partenza, immediatamente a valle della vasca di carico o pozzo piezometrico, e l'altro alla fine, immediatamente prima delle macchine idrauliche. I tipi di valvola maggiormente utilizzati sono:

*Valvole a farfalla:* costituite da una lente circolare che ruota attorno ad un perno girevole ad asse perpendicolare a quello della tubazione in cui la valvola è inserita.

*Valvole rotative:* costituite da un corpo sferico nell'interno del quale si muove un otturatore rotante, che ha la stessa sezione trasversale della condotta.

*Valvole a fuso:* l'organo otturatore di questo tipo di valvola ha la forma di un fuso che viene spostato in direzione assiale per le manovre di chiusura o apertura.



Figure 4. Example of butterfly valve / Esempio di valvola a farfalla.

I dispositivi di sicurezza, inseriti per proteggere le condotte contro irregolarità o accidentalità di funzionamento, sono essenzialmente di due tipi:

- dispositivo di chiusura automatica per eccesso di velocità, comprendente un rilevatore di velocità in condotta che può essere sia di tipo idraulico/meccanico (palmola) che magnetico/induttivo o ad ultrasuoni;
- valvola di rientro dell'aria, che impedisce che la tubazione venga sollecitata da elevate depressioni interne per le quali non è dimensionata, che potrebbero provocare fenomeni di instabilità.

Le condotte vengono posate su appoggi isolati (pilastrini o selle di appoggio) aventi tra loro una distanza pari alla lunghezza delle virole che compongono la condotta, generalmente 6 metri, di modo che ciascun elemento abbia il suo appoggio nella parte

centrale. Il sistema più semplice è quello a sella, in cui la superficie di appoggio è costituita da lamiera curvata abbracciante un angolo di 120°. Per ridurre gli attriti spesso si utilizzano appoggi concentrati, a piedini, che scorrono su piastre ancorate ai sottostanti pilastri di calcestruzzo. In ogni vertice, per contrastare le spinte su gomito, le condotte vengono ancorate a blocchi di calcestruzzo a gravità. Il collegamento può essere semi annegato con fascioni o annegato secondo che il blocco abbraccia la condotta solo nella parte inferiore, oppure completamente. I giunti di dilatazione, generalmente a cannocchiale con guarnizione di tenuta, sono posti subito a valle dei blocchi di ancoraggio, di modo che ogni tronco di condotta è fissato all'estremo inferiore ed è libero di dilatarsi all'estremità superiore. Lungo il loro sviluppo, le condotte aventi diametro interno superiore a 1000 mm sono generalmente corredate di passi d'uomo, posizionati lateralmente ad interassi di circa 100 m e, comunque, almeno un passo d'uomo per livelletta, in prossimità del punto più elevato.

### 3 ATTIVITA' DI CONTROLLO

Le attività di manutenzione sulle opere civili-idrauliche d'impianto sono conseguenti alla esecuzione periodica dei controlli e al relativo esito. In relazione ai risultati dei controlli, le attività di manutenzione vengono attivate a seconda dell'importanza e dell'urgenza.

Al fine di organizzare l'attività di controllo sono definiti specifici Piani nei quali sono indicati i controlli da eseguire su ciascuna componente di cui l'impianto è costituito, raggruppati secondo tipologia; sono anche indicate le modalità (con/senza indisponibilità d'impianto), la frequenza e l'esecutore.

Il Piano dei Controlli è un documento dinamico: i controlli e le frequenze possono essere modificati nel tempo, sia permanentemente in relazione all'esito degli stessi o all'insorgenza di nuove necessità, sia occasionalmente a seguito di eventi eccezionali, quali ad esempio sismi/piene significativi: questi ultimi eventi possono comportare l'effettuazione di una serie, o più serie, straordinaria/e di controlli.

Dal punto di vista della loro finalità, i controlli si suddividono nelle seguenti fondamentali famiglie:

- controlli di sicurezza, finalizzati alla verifica degli elementi che garantiscono le condizioni di sicurezza verso terzi;
- controlli dello stato (controlli tecnici), finalizzati alla verifica dello stato di conservazione dell'opera, al fine di assicurare la continuità dell'esercizio dell'impianto. Operativamente tali controlli si distinguono in:
  - controlli ordinari (sistematici): consistono in ispezioni a vista delle opere finalizzate alla verifica del loro stato di conservazione e di regolarità di esercizio, eseguiti a frequenza prefissata;

- controlli tecnici specialistici e/o strumentali, finalizzati a specifiche verifiche ed accertamenti, sulla base di necessità evidenziate dai controlli ordinari che ovviamente possono riguardare sia aspetti di funzionalità, sia di sicurezza. Essi comportano in genere indisponibilità della funzione primaria, competenze tecniche specialistiche, ed hanno in genere periodicità lunghe;
- controlli non sistematici (a chiamata, sotto condizione, all'avviamento, ecc).

### 4 PROBLEMI TIPICI E RIABILITAZIONI

Si possono individuare tre categorie a cui far risalire i problemi che vengono abitualmente riscontrati per queste tipologie di opere.

#### 4.1 Problemi associati alle fondazioni

I movimenti gravitativi di terreni a lenta evoluzione (tipicamente fino a qualche cm/anno) possono determinare, nei tratti ove più alti sono i gradienti di velocità, lesioni nelle opere idrauliche, di norma troppo rigide per assorbire le deformazioni indotte. Le perdite idriche attraverso le lesioni possono poi contribuire ad aggravare i movimenti.

Tipicamente i tratti di opere più esposti sono quelli che attraversano le superfici di distacco dei movimenti. Se i movimenti del terreno assumono velocità maggiori si può arrivare alla rottura del tratto di opera idraulica interessata; in questo caso la portata rilasciata dall'opera può essere rilevante, fino a tutta quella derivata, e favorire l'accelerazione del collasso in corso.

In assenza di movimenti gravitativi si possono verificare locali danneggiamenti o dissesti delle opere a causa del dilavamento di rocce solubili, tipicamente gessi, o l'erosione di terreni di imposta da parte di acque che circolano in fondazione. In questi casi viene a mancare progressivamente un'area di appoggio dell'opera che, quando supera la capacità di trasferire i carichi alle zone adiacenti subisce assestamenti e lesioni. La fuoriuscita di perdite da tali danneggiamenti di norma peggiora la situazione accelerandone l'evoluzione. In taluni casi è possibile il collasso del tratto di opera idraulica.

Un ulteriore problema può derivare da spinte dei terreni circostanti l'opera idraulica superiori alla capacità resistente delle strutture, con conseguenti deformazioni delle sezioni originarie.

Per quanto riguarda le opere in terra (canali e vasche) il degrado dei rivestimenti impermeabili e dei relativi giunti di tenuta, causato da invecchiamento dei materiali, può provocare aumenti incontrollati delle filtrazioni attraverso i rilevati con conseguente riduzione del grado di sicurezza delle opere, manifestazione di cedimenti e deformazioni fino alla rovina di tratti del rilevato.

## 4.2 Problemi provocati dall'ambiente

I cicli di gelo e disgelo possono produrre deterioramento progressivo in presenza di murature porose. Le opere più esposte sono quelle che si sviluppano all'esterno a quote elevate e le parti più vulnerabili sono quelle interessate dalle variazioni di livello giornaliere e da umidità affiorante. Il degrado si verifica normalmente con gradualità interessando modesti spessori di muratura e senza conseguenze immediate per la stabilità. Anche le variazioni stagionali di temperatura, determinando un'alternanza di sforzi di trazione e compressione possono provocare locali fessurazioni in dipendenza delle caratteristiche meccaniche locali della muratura. Tali fessurazioni, pur non determinando un pericolo statico, costituiscono vie di più facile penetrazione di acqua che può favorire altri processi di degrado. Le murature poi possono subire degrado per effetto di acque chimicamente aggressive e l'attacco è facilitato dalla elevata permeabilità delle murature stesse. L'attacco determina il dilavamento del legante con la conseguenza di perdita di resistenza della muratura; più esposte risultano le murature a base di calce idraulica o cemento portland. Le acque aggressive possono essere acque pure in alta montagna, con basso contenuto di sali e presenza di anidride carbonica, acque contenenti solfati, ed acque di scarico di processi industriali. Le opere murarie a contatto con l'acqua in movimento sono anche soggette ad erosione a causa del trasporto solido in sospensione (limo e sabbia) e di quello di fondo (sabbia e ghiaia). Caratteristiche di limitata resistenza all'abrasione delle murature nonché l'aggressione delle stesse da parte di altri agenti (gelo-disgelo, azione chimica...) normalmente ne facilitano il degrado.

## 4.3 Carenze progettuali e costruttive

Occorre innanzi tutto rilevare che i problemi classificati nei punti precedenti possono corrispondere anche ad una sottovalutazione ed una inadeguatezza del progetto e delle modalità realizzative. A tali inadeguatezze possono aggiungersi particolari problemi rappresentati da effetti espansivi causate dalla reazione tra gli alcali del cemento e gli aggregati che provocano lesioni e degrado superficiale del calcestruzzo.

## 4.4 Problematiche e rimedi tipici sulle opere

Il collasso del terreno su cui insiste l'opera idraulica dovuto a frana, cedimenti, dilavamento, ecc., può determinarne le conseguenze più gravi con la distruzione totale o parziale; è possibile che il danno provochi rilascio incontrollato di acqua con possibili effetti negativi anche nei riguardi dell'ambiente circostante. In tali casi occorre provvedere alla ricostruzione totale dell'opera, previo consolidamento dei terreni ovvero spostamento dell'opera al di fuori

dall'area dei terreni instabili. Senza raggiungere il collasso si possono verificare deformazioni e lesioni per effetto di azioni dei terreni di entità superiore a quelle prese in considerazione nel dimensionamento dell'opera. Deformazioni e lesioni possono determinare limitazioni alla portata derivabile e perdite concentrate o diffuse, che interessando i terreni di fondazione possono anche contribuire all'accelerazione della velocità di evoluzione dei fenomeni. In questi casi si può intervenire con opere di consolidamento e/o drenaggio sui terreni ed interventi di rinforzo strutturale e risanamento sulle opere. Il rinforzo può essere conseguito con interventi continui, tipicamente in gunite, *spritz beton* o calcestruzzo ed interventi discontinui con travi, puntoni, centine, ecc., che possono essere in calcestruzzo gettato o proiettato oppure in profilati metallici. Gli interventi di risanamento hanno lo scopo di ripristinare la consistenza e la tenuta idraulica delle opere e possono essere di tipo continuo con interventi di sostituzione del degradato con materiali dello stesso tipo (cementizi, metallici, ecc.) ovvero di tipologia diversa (lamiere o guaine di tenuta) ovvero di tipo discontinuo ed in tal caso sono mirati al ripristino della tenuta idraulica in corrispondenza di punti specifici, tipicamente lesioni, che oggi viene di norma conseguita mediante applicazione di prodotti elastici prefabbricati od applicati in opera che fanno ponte sulle discontinuità e sono schiacciati dalla pressione dell'acqua contro le discontinuità da risanare. Nei casi più complessi non è escluso che convenga procedere alla ricostruzione totale del tratto di opera; in questi casi è conveniente fornire alla nuova opera una maggiore flessibilità, realizzandola in elementi autoportanti collegati da giunti a tenuta idraulica capaci di assorbire piccoli movimenti differenziali. Il degrado delle opere dovuto alle azioni dell'ambiente interessa inizialmente le parti corticali, tipicamente gli intonaci, e se lasciato agire senza porre in atto interventi di risanamento il degrado può intaccare anche gli spessori strutturali. E' quindi importante intervenire con tempestività sostituendo le parti ammalorate e ripristinando l'efficienza iniziale dell'opera. Per queste tipologie di interventi il mercato offre molti prodotti di qualità capaci di garantire adeguata resistenza, impermeabilità ed aggrappo alle opere esistenti. Il dilavamento dovuto alle acque aggressive determina un progressivo decadimento delle caratteristiche meccaniche e di impermeabilità delle murature e può essere efficacemente solo rallentato mediante interventi mirati a proteggere le opere con una adeguata impermeabilizzazione. Qualora si fosse raggiunto un degrado delle murature eccessivo la soluzione più semplice è spesso quella di demolire e ricostruire quanto deteriorato; infatti interventi di consolidamento o rinforzo strutturale non sempre garantiscono adeguata efficacia ed inoltre la loro realizzazione presuppone una conoscenza di dettaglio, non sempre possibile, delle situazioni locali di degrado e dei risultati pun-

tuali degli interventi di risanamento. Prendendo in considerazione le singole componenti d'impianto si segnalano nel seguito le problematiche più ricorrenti che è possibile riscontare su opere idrauliche al servizio di impianti idroelettrici in esercizio e fornire qualche cenno riguardo le principali metodologie risolutive.

#### *Opere di presa*

Usualmente le opere di presa sono costituite da manufatti in calcestruzzo (armato o meno) abbastanza massici e che non presentano particolari problemi strutturali. Normalmente si possono manifestare fenomeni di distacco, o comunque di danneggiamento dell'ancoraggio, dei blocchetti di pietra con cui a volte sono rivestite soprattutto le parti soggette al transito di portate in corrente veloce. Altro fenomeno tipico può essere costituito dal formarsi di fessure o lesioni, dovute di solito a movimenti di assestamento destinati ad esaurirsi nel tempo e non tali da causare pregiudizio alla stabilità delle opere. Le modalità tipiche di risoluzione delle problematiche sopra evidenziate consistono, per quanto riguarda i dissesti dei rivestimenti in pietra, nel ripristino e miglioramento delle condizioni di ancoraggio (ad esempio mediante l'utilizzo di idonee cuciture con barre metalliche), mentre per fessure e lesioni si può ricorrere a risarciture con malte cementizie, nel caso di assenza di movimenti relativi, o con sigillanti a basso modulo elastico (quali ad esempio quelli poliuretanic) in caso di presenza di movimenti relativi.

#### *Canali all'aperto*

Le problematiche tipiche, escludendo in questa sede deficienze di tipo strutturale e/o geotecnico che vanno trattate di volta in volta in funzione del caso specifico, sono correlate a fenomeni di erosione dei rivestimenti (a causa del trasporto solido della corrente liquida) ed a perdite di tenuta idraulica dei giunti. I principali metodi risolutivi consistono, per le pareti, nell'asportazione delle parti ammalorate e nel relativo ripristino, al crescere degli spessori interessati, con malta cementizia semplice, malta cementizia armata con rete elettrosaldata, betoncino o calcestruzzo armato ovvero con malte e calcestruzzi speciali antierosione. Per i giunti, invece, può essere sufficiente sostituire il materiale sigillante (magari con altri di tipo più idoneo, tenendo anche debito conto dei progressi tecnologici nel frattempo intervenuti), oppure (nei casi più gravosi) ricorrere anche alla ricostruzione delle travi coprigiunto, ove esistenti, e/o dei dispositivi di *waterstop*. Si segnala infine la possibilità, laddove non vi sono problemi erosivi dovuti all'abrasione, di procedere all'applicazione di rivestimenti in materiale plastico a scopo soprattutto di miglioramento della tenuta idraulica dei manufatti.

#### *Gallerie*

Le problematiche tipiche, escludendo anche in questo caso quelle legate a deficienze di tipo strutturale,

sono sempre legate a fenomeni di erosione dei rivestimenti, aggravati tuttavia dal fatto che spesso nelle gallerie costruite nella prima parte del secolo scorso si trovano piedritti realizzati con un calcestruzzo molto povero di cemento ed utilizzando, come inerte, lo smarino proveniente dalle operazioni di scavo. Il tutto è poi ricoperto, lato acqua, con un intonaco cementizio. Di conseguenza, non di rado in questi manufatti l'erosione superficiale comporta, una volta asportato detto strato protettivo, il crollo di intere porzioni di piedritto. I principali metodi risolutivi consistono, come per i canali all'aperto, nell'asportazione delle parti ammalorate e nel relativo ripristino, al crescere degli spessori interessati, con malta cementizia semplice, malta cementizia armata con rete elettrosaldata, betoncino o calcestruzzo armato. Più raramente che per i canali si applicano, laddove non vi sono problemi erosivi dovuti all'abrasione, rivestimenti in materiale plastico a scopo soprattutto di miglioramento della tenuta idraulica. Un altro tipico problema delle gallerie è quello delle venute d'acqua provenienti dall'ammasso roccioso circostante, che possono essere convenientemente raccolte mediante tubi dotati di valvole unidirezionali, o dispositivi similari, grazie ai quali è possibile convogliarle all'interno del condotto eliminando nel contempo la formazione di sovrappressioni potenzialmente dannose per i rivestimenti, ove presenti. Da ultimo, si desidera segnalare la possibilità, nelle calotte in roccia nuda, di fenomeni di distacco di blocchi di roccia che è bene prevenire con operazioni di disaggancio opportunamente mirate.

#### *Opere d'arte*

Le opere d'arte situate lungo il percorso di canali all'aperto e gallerie sono costituite prevalentemente da ponti canale e ponti tubo (ed in qualche caso anche opere di sostegno dei terreni). Le relative strutture possono essere realizzate in cemento armato (eventualmente precompresso) o in acciaio. Sempre escludendo deficienze di tipo strutturale, le problematiche tipiche che si riscontrano, per i manufatti in cemento armato, sono essenzialmente quelle di cui si è già trattato ai punti precedenti (erosione di rivestimenti, formazione di fessure, perdite di tenuta dei giunti). Per quelli in metallo, invece, sono preponderanti gli aspetti legati a fenomeni corrosivi, trattandosi nella maggior parte dei casi di realizzazioni in acciaio al carbonio non zincato a caldo. Nei casi più lievi il ripristino consiste di solito nel rifacimento del trattamento di protezione superficiale mediante idoneo ciclo di verniciatura. Nei casi più gravi, che possono anche comportare pregiudizio alle condizioni di sicurezza delle strutture, si deve ricorrere a ricostruzioni degli spessori o interventi equivalenti (ad esempio mediante saldature di idonei rinforzi, quali piatti, profili o lamiere) fino ad arrivare anche a sostituzioni delle parti danneggiate.

### *Opere di scarico ed elementi di disconnessione*

Le opere di scarico sono costituite da sfioratori a soglia fissa, sifoni autolivellatori e scarichi intercettati da paratoie. Gli elementi di disconnessione che più frequentemente si ritrovano su impianti idroelettrici sono invece le vasche di carico e i pozzi piezometrici. Di norma questi manufatti sono realizzati in calcestruzzo (armato o meno) e per essi vale quanto detto per le opere d'arte.

### *Condotte forzate*

Le condotte possono essere installate all'aperto o interrate. In entrambi i casi, quelle in acciaio richiedono accorgimenti protettivi delle superfici esterne (tipicamente mediante verniciatura nel primo caso o protezione bituminosa nel secondo) ed a volte anche di quelle interne, soprattutto se l'acqua è particolarmente aggressiva chimicamente.

Le rispettive problematiche tipiche, sempre escludendo deficienze di tipo più propriamente strutturale, riguardano gli aspetti di seguito elencati:

- per le condotte in cemento armato, formazione di fessure (con conseguenti perdite d'acqua) a causa di carenze quantitative d'armatura per la limitazione delle relative aperture e perdite dai giunti;
- per le condotte in cemento armato precompresso, fenomeni di corrosione dei fili o trefoli di precompressione, a causa di insufficiente copriferro o del venir meno dello stesso nel tempo, e perdite dai giunti;
- per le condotte in fibrocemento. Il processo di degrado è riconducibile agli stessi meccanismi chimici, fisici e/o meccanici responsabili del degrado delle strutture in conglomerato cementizio. Tali tubi sono inoltre soggetti a rotture di tipo fragile dovuti ad urti o a sovrappressioni non controllate. Un ulteriore inconveniente è determinato dalla perdita attraverso i giunti;
- per le condotte in ghisa, rotture improvvise e senza preavviso per via dell'intrinseca fragilità del materiale, soprattutto in quelle di costruzione più remota, e perdite dai giunti (a bicchiere o flangiati) di collegamento dei vari tronchetti;
- per le condotte in acciaio, riduzione degli spessori dovuti a fenomeni di corrosione, rotture per difetti delle saldature o più in generale delle giunzioni (siano esse chiodate, nelle tubazioni più vecchie, o bullonate) e perdite dai giunti;
- per le condotte in fibra di vetro e per quelle in materiale plastico, rotture delle giunzioni saldate, soprattutto nei gomiti, a causa di difetti esecutivi delle giunzioni. Gli interventi indirizzati alla risoluzione dei problemi vanno studiati di volta in volta. In questa sede si desidera evidenziare, per le condotte in acciaio, il ricorso in alcuni casi all'incamiciatura (mediante tubazione coassiale opportunamente saldata su quella preesistente) di tronchi di condotta che si presentino danneggiate. Questa tipologia d'intervento rappresenta una metodologia di riparazione recente (di incrinature,

crepe, vaiolature, ecc.) che permette di operare su condotte ove non è possibile un intervento dall'esterno o è complicato o eccessivamente costoso prevedere la sostituzione del tratto.

Per quanto riguarda le selle d'appoggio ed i blocchi di ancoraggio le problematiche tipiche ed i relativi rimedi, sono quelle delle opere murarie in genere. Cedimenti delle strutture d'appoggio e di ancoraggio possono inoltre provocare distorsioni del tracciato e movimento dei giunti, sia in apertura che in chiusura.

## 5 CONCLUSIONI

The infrastructures of any hydroelectric plant are a very structured and complex system with an important impact on the area in which they are located. The so-called ancillary work referred to in this paper are elements of the system whose efficiency is crucial to guarantee the functionality and ensure the safety of the systems. Their control and maintenance are thus essential aspects for the continued operation of plants that, in a mature technology countries such as Italy, are intended to remain in operation even beyond the limit foreseen in the design phase.

Le infrastrutture che compongono un impianto idroelettrico costituiscono un insieme molto articolato e complesso con un impatto importante sul territorio in cui sono inserite. Le cosiddette opere accessorie oggetto del presente articolo sono elementi del sistema la cui efficienza è fondamentale per assicurare la funzionalità degli impianti e garantirne la sicurezza. Il loro controllo e manutenzione sono quindi aspetti essenziali per il mantenimento in esercizio di impianti che, in paesi a tecnologia matura come l'Italia, sono destinati a rimanere in esercizio anche oltre limite previsto in fase di progetto.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i membri del Gruppo di Lavoro Giancarlo Faneli (Consulente), Nicola Brizzo (IREN), Diego Donnarumma (EDIPOWER), Giuliano Spogli (E.ON.), Antonio De Donati (A2A), Paolo Chemello (ENEL), Catello Boccellino (ENEL). Si ringraziano inoltre Guido Mazzà e Antonella Frigerio per il supporto fornito per la stesura dell'articolo.

## REFERENCES

Zinetti, F. 2012. Opere idrauliche associate alle dighe. *Bollettino ITCOLD – Comitato Italiano Grandi delle Dighe*.