

**SITEBSi srl**

# Rassegna del bitume

**RIVISTA DEL SITEB-ASSOCIAZIONE ITALIANA BITUME ASFALTO STRADE**

ESTRATTO DAL N° **03/86**

## **La manutenzione delle strutture bituminose idrauliche**

*Daniele Cazzuffi*  
*Centro Ricerca Idraulica e Strutturale ENEL*

*Giuseppe Sarti*  
*Impresa G. Sarti e C. S.p.A.*

# La manutenzione delle strutture bituminose idrauliche

Daniele Cazzuffi \*  
Giuseppe Sarti \*\*

## 1. PREMESSA

Manutenere un'opera idraulica bituminosa, nata per impermeabilizzare o proteggere una struttura sottostante, significa mantenere integra l'impermeabilità o mantenere intatta la protezione.

Certamente non è possibile realizzare delle opere esterne ma è sicuramente possibile - adottando tutti gli accorgimenti del caso - aumentarne la durata nel tempo: è indubbio infatti che la buona conservazione di un'opera, qualunque essa sia, è anche conseguenza della sua accurata esecuzione e della sua corretta progettazione.

Nella parte iniziale della relazione si passano in rassegna le varie strutture bituminose e le loro possibili combinazioni, generalmente presenti nelle opere idrauliche.

Si vanno quindi ad esaminare le anomalie che si possono verificare nelle singole strutture bituminose e le cause *che le* determinano.

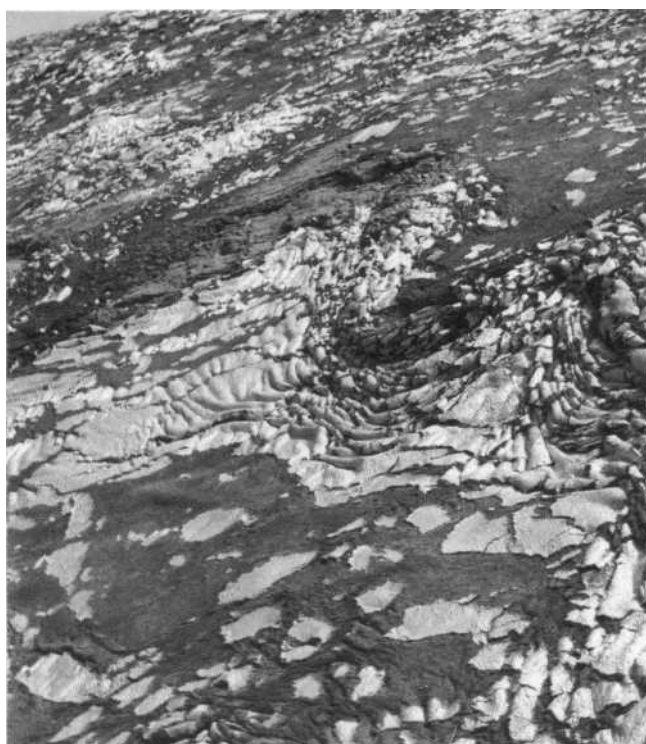
Nella parte finale della relazione si presentano in dettaglio i principali interventi manutentori, tipici dei vari prodotti bituminosi.

## 2. ANALISI DEI TIPI DI PRODOTTI BITUMINOSI IMPIEGATI IN OPERE IDRAULICHE

I più importanti prodotti bituminosi impiegati in opere idrauliche sono i conglomerati bituminosi (aperti e chiusi), i mastici bituminosi, gli asfalti colati, le emulsioni e le vernici bituminose, le sabbie bitumate e le membrane bituminose.

Per ognuno di questi prodotti si passano brevemente in rassegna le caratteristiche ed i campi di impiego. Per una più completa analisi si rimanda al classico testo del Van Asbeck (1964) e alla recente pubblicazione del Technical Advisory Committee on Waterdefences del RIJSKWATERSTAAT (1985).

Anche a livello nazionale il tema dell'impiego dei prodotti bituminosi nel settore delle opere idrauliche è stato particolarmente seguito, come testimoniano tra l'altro le pubblicazioni di Bertacchi e Puccio (1977), Ghirardini et al (1978) e Castagnetta (1983).



\* Centro Ricerca Idraulica e Strutturale ENEL

\*\* Impresa G. Sarti e C. S.p.A.

## 2.1. Conglomerati bituminosi chiusi

Sono costituiti da una miscela di pietrisco, sabbia e filler, i cui vuoti sono pressoché completamente riempiti da bitume: il volume dei vuoti residui intergranulari può variare dal 2% al 4% ed il contenuto di bitume è in genere compreso tra il 6 e l'8%.

Un conveniente studio della miscela permette a questi prodotti di avere valori del coefficiente di permeabilità inferiori a  $1 \times 10^{-7}$  cm/sec, pur mantenendo valori di stabilità Marshall elevati.

Queste caratteristiche consentono ai conglomerati bituminosi chiusi di realizzare l'elemento di tenuta nei rivestimenti di dighe, di bacini e di canali.

## 2.2. Conglomerati bituminosi aperti

Sono anch'essi costituiti da una miscela di pietrisco, sabbia e filler, legata da bitume; la quantità dei vuoti residui della miscela compattata è sempre superiore al 6% e varia a seconda del tipo di impiego.

Gli impieghi più frequenti dei conglomerati bituminosi aperti sono nei rivestimenti di dighe, bacini e canali, non più come strutture di tenuta, ma come elementi di:

- drenaggio (associati all'elemento di tenuta sovrastante, in conglomerato bituminoso chiuso);
- protezione (esterni, dunque esposti all'azione dell'acqua e degli agenti atmosferici);
- collegamento (inseriti in opportuni «pacchetti»).

Per i conglomerati bituminosi aperti impiegati come elementi di drenaggio, il contenuto di bitume varia in genere tra il 4 e il 5% ed il coefficiente di permeabilità è superiore a  $1 \times 10^{-2}$  cm/sec.

## 2.3. Mastici bituminosi

I mastici bituminosi sono prodotti costituiti da una miscela di sabbia, filler e bitume, tale che il volume occupato dal bitume caricato con il filler risulta sempre leggermente superiore al volume dei vuoti intergranulari della sabbia. Il risultato è una miscela densa, colabile, che non necessita compattazione.

I mastici bituminosi sono impiegati nel campo dei lavori idraulici come leganti di elementi sciolti, soprattutto in opere di difesa spondale e costiera.

Vengono colati a 160°C-180°C con speciali attrezzature; si consolidano per semplice raffreddamento ed hanno il vantaggio di poter essere messi in opera anche sott'acqua, in questo caso, però, a temperature inferiori a 120-130°C.

## 2.4. Prodotti bituminosi spruzzati o spalmati

Si tratta di materiali impiegati come sigillo e/o protezione superficiale di conglomerati bituminosi. Possono essere suddivisi in:

- *miscele bituminose* caricate con sabbia e filler, colabili a caldo (in genere dette «asfalti colati»);
- *miscele di emulsioni bituminose* stabilizzate con aggiunta di cemento, messe in opera a freddo, mediante l'uso di spatole o spazzoloni, oppure applicate a spruzzo;
- vernici *bituminose* contenenti polveri di alluminio, aventi soprattutto la funzione di protezione contro l'invecchiamento fotochimico e/o di riduzione della temperatura superficiale dovuta all'irraggiamento.

## 2.5. Sabbie bitumate

Si tratta di composti di sabbia monogranulare e bitume messi in opera a caldo. La funzione del bitume (presente in misura del 3-5%) è quella di conferire una certa coesione ai vari granelli di sabbia.

Nelle opere idrauliche le strutture realizzate in sabbia bitumata, data la loro buona capacità di resistenza all'azione erosiva dell'acqua, sono essenzialmente utilizzate per la costruzione di:

- rilevati in acqua;
- sbarramenti provvisori per ripresa di rotte;
- difese spondali, se messe in opera in spessori rilevanti a contatto con il corpo arginale.

## 2.6. Membrane bituminose

Si tratta di membrane impermeabili prefabbricate o realizzate in opera, composte da una armatura (generalmente in fibre sintetiche) e da una miscela di bitume, filler e vari additivi.

Sono generalmente impiegate per l'impermeabilizzazione di canali o anche come elemento di tenuta in vasche di raccolta di fanchi industriali.

## 3. GENERALITA' SULLE CAUSE DEI DANNI E SULLE POSSIBILI PREVENZIONI

I fenomeni di degrado che più frequentemente si riscontrano in strutture bituminose utilizzate in opere idrauliche sono in generale riconducibili a:

- fessurazioni;
- *rigonfiamenti o distacchi tra strati*, dovuti ad infiltrazioni di acqua, per effetto di sottopressioni idrauliche o di vapore d'acqua;
- *scorrimenti della miscela bituminosa*, quando applicata su piani inclinati, in corrispondenza delle massime temperature di esercizio;
- *spogliazione del legante bituminoso dagli inerti* e conseguente disgregazione superficiale della struttura bituminosa;
- *infragilimento superficiale della struttura bituminosa*, a seguito dell'invecchiamento del legante.

Questa rapida rassegna di deterioramenti riscontrati nelle strutture bituminose impiegate in opere idrauliche evidenzia come quasi sempre i fenomeni di degrado siano attribuibili a tre principali cause, che si influenzano reciprocamente:

- *agenti esterni* (passati in rassegna in seguito) connessi sia a fattori ambientali, sia a particolari condizioni di esercizio;
- *errata progettazione* della singola struttura bituminosa o addirittura dell'intero rivestimento dell'opera idraulica;
- *posa in opera non idonea*, dovuta all'inadeguatezza dei mezzi e delle tecnologie utilizzati o alle condizioni applicative.

I principali agenti *esterni* che possono danneggiare le strutture bituminose impiegate in opere idrauliche sono essenzialmente di natura meccanica e idraulica e inoltre dovuti a fattori di invecchiamento naturale (agenti atmosferici e biologici). Si tratta in particolare di:

- *cedimenti del piano di posa*, soprattutto se differenziati e di entità tale da superare la deformabilità della struttura bituminosa stessa;

- azioni sismiche;
- azioni *meccaniche*, dovute ad atti vandalici o ad eventi accidentali come cadute di ancore o collisione di natanti;
- *sottopressioni idrauliche*, quando il livello d'acqua nel corpo del rilevato è più alto di quello interno (situazione tipica nel caso di svuotamento improvviso di canali e/o di cattivo funzionamento delle strutture di drenaggio inserite nel rivestimento dell'opera idraulica);
- *correnti d'acqua e trasporto solido*, con azione abrasiva sul rivestimento, soprattutto nella parte sommersa;
- moto ondoso, sia naturale, nel caso di rivestimenti di opere a mare, sia artificiale provocato da natanti, nel caso di rivestimenti di strutture connesse alla navigazione (anche le onde più basse, ma a notevole frequenza, possono provocare danni, poiché tendono a generare un fenomeno di fatica nella struttura bituminosa);
- *agenti atmosferici* (raggi solari, gelo, vento, pioggia);
- *agenti biologici* (crescita di vegetazione, attacchi di microrganismi) che possono pregiudicare l'impermeabil-

tà del manto o diminuire le proprietà meccaniche delle strutture bituminose colpite.

La manutenzione delle strutture bituminose che presentano uno o più *dei* fenomeni di degrado prima elencati può essere efficace solo se, attraverso le necessarie indagini, si riesce a risalire alle reali cause del deterioramento.

Poiché gli interventi di ripristino sono in genere onerosi è ovviamente preferibile cercare di prevenire i danni, piuttosto che correre successivamente ai ripari.

Una corretta progettazione ed un'accurata posa in opera costituiscono le prime effettive azioni di prevenzione.

Per quanto riguarda la fase di esercizio, onde evitare frequenti interventi manutentori, è consigliabile attenersi ad una serie di precauzioni, fra le quali si possono segnalare le seguenti:

- ricognizioni sistematiche delle strutture bituminose (sia sopra, sia sotto il livello dell'acqua);
- rimozione della vegetazione cresciuta in eccesso sul rivestimento;
- rimozione di corpi contundenti galleggianti;
- provvedimenti atti a limitare nella zona interessata dall'opera le sollecitazioni non strettamente inerenti all'esercizio dell'opera stessa (traffico di mezzi, attività ricreative, atti vandalici, ec. ).

#### 4. INTERVENTI MANUTENTORI

In questo capitolo si passano in rassegna i fenomeni di degrado caratteristici dei vari tipi di prodotti bituminosi impiegati in opere idrauliche e, per ognuno di questi, si forniscono alcuni elementi utili per gli specifici interventi manutentori.

##### 4.1. Conglomerati bituminosi chiusi

Come si è detto, costituiscono l'elemento di tenuta in un pacchetto, più o meno complesso, d'impermeabilizzazione in bacini, dighe e canali.

Sono posti in opera, mediante compattazione, in due strati sovrapposti di 4 o più cm. di spessore ciascuno, oppure in un unico strato, di circa 6-7 cm. Per l'impermeabilizzazione di grandi bacini di accumulo, la tendenza attuale è quella di prevedere un solo strato di conglomerato bituminoso chiuso (Marzocchi et al., 1985), mentre sino a

qualche tempo fa si preferiva la stesa di un doppio strato (Moro-Puccio, 1975).

I fenomeni di degrado più comuni sono:

- a) fessurazioni;
- b) danni alla *superficie*;
- c) distacchi o rigonfiamenti.
  - a) Le fessurazioni rappresentano il danno più frequente riscontrabile nei conglomerati bituminosi chiusi. In genere sono provocate da:
    - eccessivi cedimenti del piano di posa;
    - scorrimenti per gravità dello strato, quando è posato su paramento inclinato, e raggiunge temperature che ne compromettono la stabilità;
    - dilatazioni termiche;
    - azioni sismiche;
    - cause accidentali o atti vandalici.

Gli interventi manutentori dipendono ovviamente dal tipo e dall'entità delle fessurazioni stesse.

Per fessurazioni di piccola entità distribuite in zone abbastanza estese, gli interventi di manutenzione consistono in una saturazione delle fessure mediante prodotti bituminosi spruzzati o spalmati su tutta la superficie interessata, previa un'accurata pulizia della stessa. Questo tipo di intervento ha lo scopo di «rinvigorire» il manto, arricchendo il suo contenuto di bitume «fresco».

Per fessurazioni di maggiore entità concentrate in zone più definite della struttura in conglomerato bituminoso chiuso, l'intervento manutentorio più abituale consiste nella pulizia della fessura, con eventuale apertura e regolarizzazione della stessa, e nel riempimento del vano così creato con idoneo mastice bituminoso, previa apprettatura con «primer» bituminoso ed eventuale rinvenimento a caldo della fascia circostante. Questo tipo di intervento non è comunque adatto nel caso che le fessure tendano ulteriormente a dilatarsi: per le lesioni provocate da regolari movimenti di apertura e chiusura è opportuno realizzare un vero e proprio giunto, mentre per le fessurazioni tendenti ad aumentare a causa di cedimenti continuativi del piano di posa bisogna ricorrere ad altri sistemi di tenuta, come ad esempio l'impiego di membrane bituminose armate (Cancelli et al., 1985), in grado di assorbire sforzi di trazione anche notevoli.

Per fessurazioni di grossa entità diffuse in zone abbastanza estese del manto, conviene utilizzare il manto degradato stesso come piano di posa di un nuovo strato impermeabile oppure, quando il fenomeno riguarda zone circoscritte, si può ricorrere all'asportazione delle parti più deteriorate e alla successiva stesa di un nuovo strato.

b) I danni *alla superficie* sono provocati da:

- agenti atmosferici (soprattutto raggi solari e gelo, ma anche vento e pioggia) per le parti fuori acqua;
- correnti e trasporto solido, per le parti sommerse.

In genere questo tipo di degrado non causa effetti traumatici in tempi brevi, ma conduce pur sempre ad un fenomeno di invecchiamento naturale, che può essere accelerato nel caso di errata progettazione della miscela o di non idonea posa in opera.

Questi danni si manifestano con una spogliazione del legante bituminoso dagli inerti, che possono venire asportati da una minima azione meccanica: il manto tende quindi ad irrigidirsi e successivamente a disgregarsi.

Un conveniente impiego di strati di sigillo costituisce pertanto un'ottima forma di prevenzione nei confronti dei

fenomeni di invecchiamento superficiale del conglomerato bituminoso chiuso.

Gli interventi di manutenzione per questi tipi di danni si caratterizzano a seconda del grado di deterioramento che la struttura presenta al momento dell'intervento stesso.

L'intervento più modesto può essere un arricchimento superficiale mediante spruzzatura di bitume. In questo caso però, se la superficie sottostante è fortemente compromessa, potrebbe avvenire che la pellicola superficiale di bitume puro si stacchi dal resto dello spessore del manto, insieme ai primi granelli del manto stesso.

Sarebbe quindi più opportuno, in presenza di manti molto danneggiati e resi porosi, intervenire con una prima mano di bitume flussato con funzione di «primer» e quindi con una mano di sigillo che può essere o bitume puro o meglio uno strato di mastice di sigillo (a caldo o a freddo).

Un intervento più radicale e certamente risolutivo, in casi del genere, è declassare la struttura inizialmente impermeabile a strato di sottofondo più o meno poroso e poi costruire un nuovo strato impermeabile.

c) I *distacchi o rigonfiamenti* sono fenomeni di degrado tipici di strutture in conglomerato bituminoso chiuso, stese in doppio strato.

Le cause di questo tipo di danni sono imputabili ad accumuli di acqua tra gli strati, dovuti a difetti di tenuta del manto e/o ad infiltrazioni in corrispondenza ai punti di raccordo del manto con altre strutture.

Tali accumuli tendono a causare il distacco dello strato superiore e a formare rigonfiamenti a forma di bolle, per effetto delle sottopressioni.

Anche in questo caso, gli interventi di manutenzione si effettuano asportando le zone di manto interessate e procedendo quindi alla loro ricostruzione.

#### 4.2. Conglomerati bituminosi aperti

Possono costituire l'elemento di drenaggio o di collegamento all'interno di pacchetti multistrato per l'impermeabilizzazione di bacini, dighe o canali oppure la struttura esterna di protezione contro l'erosione nel caso di rilevati per opere idrauliche.

Data la natura discontinua di questi conglomerati, la loro manutenzione non pone problemi di rilievo quando essi figurano in un pacchetto multistrato come elemento drenante o di collegamento.

Nei casi in cui essi sono invece utilizzati come strutture protettive, possono presentare una serie di danneggiamenti quali:

- a) fessurazioni;
- b) danni alla superficie.

Entrambi i tipi di deterioramento dipendono dalle cause già individuate per il conglomerato bituminoso chiuso. Gli effetti sono comunque meno rilevanti, viste anche le diverse funzioni svolte dal rivestimento aperto: infatti, se contenuti entro certi limiti, fessurazioni e danni alla superficie tolgono poca efficienza alla struttura di protezione.

L'intervento di ripristino risulta indispensabile solo quando le fessurazioni sono di entità tale da mettere in luce alcune zone del rilevato sottostante, con rischio di innescare un processo di erosione irreversibile. In tal caso si deve procedere ad una immediata ricostruzione della parte di opera danneggiata.

#### 4.3. Mastici bituminosi

I mastici bituminosi sono generalmente utilizzati a contatto con strutture lapidee, sia di grosse dimensioni, per la costruzione di difese a mare o protezioni di sponde fluviali, sia di piccola pezzatura, generalmente contenute in gabbie o reti metalliche, per la realizzazione del rivestimento di sponde di canali (Sarti, 1974 e Agostini et al., 1985) o del parametro a monte di dighe (Puccio, 1978).

In queste opere i mastici bituminosi possono rappresentare un semplice materiale legante degli elementi lapidei o, se impiegati in quantità considerevoli, possono svolgere assieme agli elementi stessi anche una funzione di tenuta.

Gli inconvenienti che possono causare danni sono:

- a) instabilità *delle miscele bituminose colate su strutture di difesa* inclinate, per effetto di elevate temperature ambientali o di non corretta composizione delle miscele stesse;
- b) *rottura della malta bituminosa*, per effetto di eccessive deformazioni, dovute a erosioni o cedimenti dei piani di posa, o scollamento *del materiale lapideo dall'involuppo del mastice*, per effetto di azioni meccaniche (in particolare modo a causa dei moti ondosi).

a) Per ciò che riguarda i difetti di instabilità su piani inclinati, gli interventi di manutenzione acquistano importanza soprattutto nei casi in cui i mastici bituminosi sono impiegati in strutture di tenuta. Il fenomeno di scorrimento superficiale può interessare per trascinarsi anche strati profondi e quindi può compromettere la tenuta stessa.

In questi casi l'intervento più usuale consiste nell'asportazione a caldo, per quanto è possibile, dello strato superficiale e nel ripristino dello stesso, cercando di migliorare le caratteristiche di stabilità nella composizione del mastice bituminoso.

In casi di degradi di minor importanza, è possibile limitarsi ad una semplice applicazione di vernici bituminose all'alluminio o di altri prodotti specifici, al fine di ridurre il riscaldamento superficiale.

- b) Nei casi *di rottura della malta bituminosa o scollamento del materiale lapideo*, talvolta si verificano fenomeni di autocicatrizzazione nel tempo grazie alla elevata percentuale di legante bituminoso contenuta nella malta stessa: qualora fossero invece necessarie opere di manutenzione, è sufficiente intervenire saturando le discontinuità createsi con colate di mastice bituminoso, previa adeguata pulizia delle zone interessate dai danni.

#### 4.4. Prodotti bituminosi spruzzati o spalmati

Vengono utilizzati in piccoli spessori sopra altre strutture con funzioni di protezione o finitura (sigillo): i più comuni sono le miscele bituminose stese a caldo e le emulsioni bituminose applicate a freddo.

Le emulsioni bituminose non sono in genere soggette a danni particolari in quanto presentano una buona stabilità su piano inclinato alle alte temperature ed un soddisfacente comportamento alle basse temperature. Peraltro possono essere interessate da fenomeni di invecchiamento o di abrasione, che portano a ridurre la loro efficienza nel tempo.

La manutenzione di queste strutture consiste nell'intervenire con una ulteriore mano nelle zone dove il trattamen-

to originario è stato eroso, dilavato o applicato in quantità insufficiente.

Oltre ai fenomeni di degrado per invecchiamento analoghi a quelli descritti per le emulsioni, le miscele bituminose stese a caldo presentano una maggior sensibilità alla temperatura, che porta a:

- instabilità su piani inclinati;
- tendenza alla formazione di reticoli di lesioni superficiali «a pelle di cocodrillo» nelle zone di maggior spessore.

Quando lo strato di sigillo realizzato con miscele bituminose stese a caldo è completamente deteriorato l'intervento di ripristino consiste in un'ulteriore applicazione di materiale di sigillo.

#### 4.5. Sabbie bitumate

Vengono principalmente impiegate con la funzione di rilevati in acqua.

Le sabbie bitumate sono poste in opera sott'acqua a mezzo di escavatori o pale ed in seguito opportunamente sagomate.

In presenza d'acqua il comportamento meccanico dei rilevati realizzati in sabbia bitumata è sostanzialmente analogo a quello di rilevati arginali realizzati in terreno coesivo: i rilevati in sabbia bitumata resistono infatti all'azione erosiva sino a velocità della corrente d'acqua pari a circa 3 m/s.

Come qualsiasi rilevato in terra, anche quelli in sabbia bitumata possono essere soggetti a smottamenti e/o erosioni. Gli interventi di manutenzione relativi a tali danni possono quindi ricondursi a risagomatura delle scarpate e/o a integrazione del materiale asportato.



#### 4.6. Membrane bituminose

Costituiscono l'elemento di impermeabilizzazione di canali e bacini o l'elemento di tenuta in corrispondenza dei punti di raccordo tra strutture diverse del paramento a monte di dighe.

I fenomeni di degrado che si possono presentare nelle membrane, qualora non vengano protette, sono:

a) danni *superficiali*, dovuti agli agenti atmosferici o biologici, con conseguente irrigidimento e infragilimento del materiale e formazione di microfessurazioni, che, col tempo, portano ad un certo grado di porosità, tale da pregiudicare l'impermeabilità del rivestimento;

b) *distacchi e rigonfiamenti* delle membrane dal proprio sottofondo di posa, causati da infiltrazioni e sottopressioni di acqua o vapore. In tali condizioni si giunge ad un rapido deterioramento della membrana bituminosa con la conseguente perdita di impermeabilità.

Gli interventi manutentori possono essere di due tipi:

- localizzati, quando il difetto interessa solo alcuni punti singolari. In questo caso si deve procedere all'asportazione della porzione di membrana danneggiata ed alla sua sostituzione con membrana nuova, previa pulizia ed apprettatura con primer bituminoso del sottofondo. E' comunque opportuno cercare di rimuovere le cause che hanno prodotto tali cedimenti localizzati;
- generalizzati, quando i fattori di invecchiamento interessano tutta la superficie, pregiudicandone l'effettiva tenuta all'acqua. In questo caso è opportuno un rifacimento completo dell'impermeabilizzazione con una nuova membrana bituminosa. L'applicazione può essere effettuata direttamente sopra la vecchia membrana, se le sue caratteristiche di resistenza meccanica e di aderenza al sottofondo sono ancora sufficienti, oppure si deve ricorrere all'asportazione completa della vecchia membrana ed alla posa di una nuova. In entrambi i casi è sempre necessaria una operazione di pulizia e di trattamento del sottofondo con primer bituminoso.

## 5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le strutture bituminose impiegate in opere idrauliche richiedono in genere un numero di interventi manutentori limitato, sicuramente inferiore a quello richiesto dalle strutture bituminose utilizzate in opere stradali o aeroportuali.

Considerato comunque il ruolo di primaria importanza svolto ai fini sia della protezione, sia della tenuta, il costante controllo dei prodotti bituminosi assume un'importanza decisiva per la vita stessa dell'intera opera idraulica.

Conseguentemente appare determinante un'adeguata scelta ed una corretta esecuzione dell'intervento di ripristino a seguito del fenomeno di degrado, nel corso dell'esercizio dell'opera stessa.

Appare infine di estrema importanza segnalare come divenga sempre più frequente il ricorso all'impiego di prodotti bituminosi di vario tipo per il ripristino di rivestimenti di opere idrauliche, realizzati originariamente con materiali di natura non bituminosa: si rimanda, a titolo di esempio, alla pubblicazione sul ripristino della impermeabilizzazione di canali rivestiti in calcestruzzo (Cazzuffi et al., 1985).

## Bibliografia

- AGOSTINI, R. - CONTE, A. - MALAGUTI, G. - PAPETTI, A. (1985).  
Rivestimenti flessibili in materassi Reno e gabbioni nei canali e nei corsi d'acqua canalizzati. Officine Maccaferri, Bologna.
- BERTACCHI, P. - PUCCIO, M. (1977).  
Bituminous concrete facings for earth and rockfill dams. International Commission on Large Dams, Bulletin n. 32, Paris.
- CANCELLI, A. - CAZZUFFI, D. - DELLA LUNA, G. (1985)  
Aspetti idraulici e geotecnici incontrati nella costruzione di un tronco del canale navigabile Milano-Cremona-Po su terreno torboso. Idrotecnica n. 2.
- CASTAGNETTA, V. (1983).  
Recenti sviluppi dei materiali bituminosi normali e modificati nella impermeabilizzazione e protezione delle opere idrauliche. Atti del Convegno A.I.E., Strasburgo.
- CAZZUFFI, D. - CITRONI, V. - VENESIA, S. (1985).  
Il ripristino dell'impermeabilizzazione di canali rivestiti in calcestruzzo. Impermeabilizzare, n. 2, 17-21.
- GHIRARDINI, A. - CASTAGNETTA, V. - PUCCIO, M. (1978).  
Le strutture bituminose nelle opere idrauliche di ritenuta. Sottocomitato dei Materiali, Com. Naz. Italiano ICOLD, Quaderno n. 1, Milano.
- MARZOCCHI, L. - GARBIN, C. - MARIANI, M. - FANTOMA, D. - JAPPELLI, R. - MUSSO, A. - FEDERICO, F. (1985).  
The control of seepage through zoned embankments in the aseismic design of Anapo pumped-storage plant. Draft distributed to the participants at the study tour during XV ICOLD Congress, July.
- MORO, T. - PUCCIO, M. (1975).  
Il rivestimento bituminoso della vasca di accumulo di Sellero nell'impianto di S. Fiorano. L'Energia Elettrica, n. 12, 710-720.
- PUCCIO, M. (1978).  
I materassi bitumati come rivestimento protettivi-impermeabili di dighe in materiali sciolti. L'Energia Elettrica, n. 4.
- RIJKSWATERSTAAT Tech. Adv. Committee on Water defences (1985).  
The use of asphalt in hydraulic engineering. Rijkswaterstaat Communications, n. 37, The Hague.
- SARTI, G. (1974).  
I materassi bituminosi varati in profondità. Tip. Gallerani, Ferrara.
- VAN ASBECK, W.F. (1964).  
Bitumen in Hydraulic Engineering. Elsevier, Amsterdam.