

# Calcestruzzo fibrorinforzato e additivato con fumi di silice per l'arco rovescio della galleria di derivazione della centrale idroelettrica Enel di Cardano (Bolzano)

E. Allievi – S. Tavano

## Introduzione

La centrale idroelettrica di Cardano situata a nord di Bolzano è alimentata da una galleria a pelo libero della lunghezza di 14.843 m. La galleria ha forma policentrica con un diametro di 6,20 m. ed una portata di 90 mc/s. Nel corso dei decenni si è avuto un forte degrado, specialmente nell'arco rovescio, che ha richiesto alcuni interventi di manutenzione. L'ENEL, per necessità di assicurare la perfetta efficienza ed esercire in modo ottimale l'impianto, ha programmato un intervento di manutenzione straordinaria avente come obiettivo il rifacimento dell'arco rovescio. Nella figura n. 1 si può osservare il profilo teorico della pavimentazione prima del fenomeno di erosione, dopo l'erosione e quello della platea nuova prevista dal progetto di risanamento.

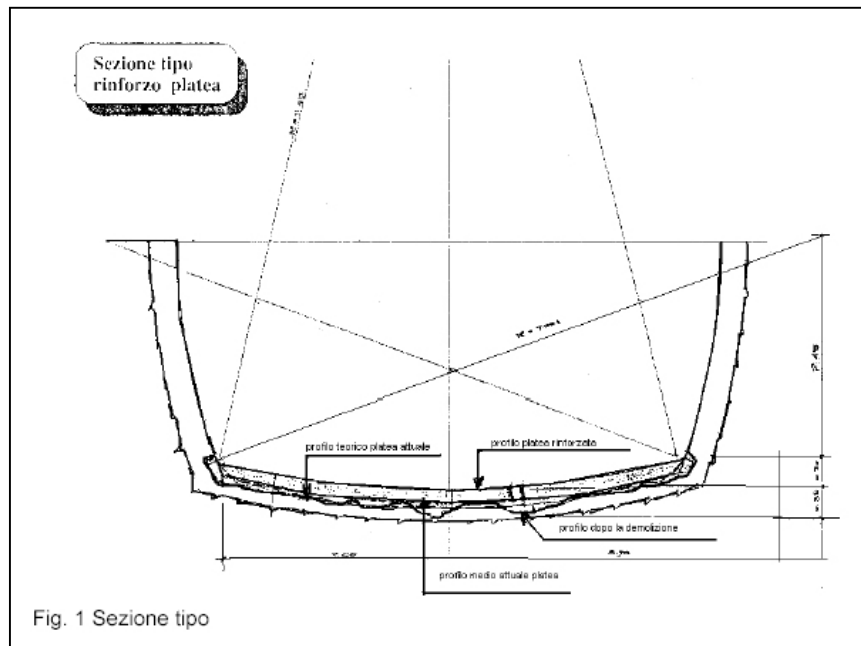


Fig. 1 Sezione tipo rinforzo platea

## Modalità di intervento e materiali impiegati

Dopo aver fresato per uno spessore di 8 cm la platea, è stato eseguito un getto di calcestruzzo avente spessore di 20 cm, assicurando la ripresa di getto con l'impiego di un aggrappante. Trattandosi di un calcestruzzo che doveva essere poco permeabile all'acqua e resistente a particolari sollecitazioni sia di natura chimica (solfati) che di natura fisica (erosione), l'ENEL a mezzo dei proprio centro di ricerche idrauliche e strutturali (Enel/Cris) esegui uno studio per la determinazione della composizione del calcestruzzo che rispondesse senz'altro a questi requisiti. A questo scopo furono esaminati e successivamente scelti i seguenti materiali:

a) *Cementi*

Per quanto riguarda il legante fu consigliato senz'altro l'uso di un cemento pozzolanico in quanto notoriamente più resistente alla penetrazione degli ioni solfato. Inoltre fu raccomandata la classe 42,5 in relazione alle resistenze del calcestruzzo relativamente elevate richieste dal capitolato.

*b) Fumi di silice*

Per ulteriormente migliorare la resistenza chimica del calcestruzzo ed inoltre produrre un calcestruzzo a permeabilità molto bassa si pensò, rifacendosi ad esperienze precedenti molto positive (1), di additivare il calcestruzzo con fumo di silice. Il fumo di silice o silice attiva colloidale ottenuta durante un processo metallurgico per la produzione di silicio o ferro silicio. La finezza di questo materiale estremamente elevata (0,1 - 0,2 Micron) consente di ottenere calcestruzzi molto compatti (effetto Filler). Inoltre, trattandosi di silice amorfa, essa presenta una attività pozzolanica estremamente elevata che la rende molto efficace negli impasti cementizi confezionati con cementi Portland ma anche con cementi pozzolanici specialmente se, di classe 42,5 come nel caso in questione. Questa azione consente di aumentare ulteriormente la resistenza meccanica ma soprattutto la resistenza chimica dei calcestruzzi particolarmente utile in presenza di agenti aggressivi (2).

*c) Additivo superfluidificante*

La necessità di confezionare calcestruzzi poco permeabili e quindi a basso rapporto acqua/cemento impose l'uso di un superfluidificante. Questo additivo, a base di naftalen solfonato, ha un'azione fortemente disperdente che lo rende particolarmente idoneo qualora negli impasti ci siano particelle molto fini che tendono alla agglomerazione. Nel caso in questione esisteva la precisa necessità di disperdere le particelle di fumo di Silice. Il dosaggio consigliato per questo prodotto è compreso tra 0,5 e 2,5% sul peso del cemento.

*d) Aggregati*

Furono scelti aggregati del luogo mettendo a punto le relative curve granulometriche, tanto per il diametro massimo di 15 mm che per quello di 25 mm.

*e) Fibre metalliche*

Per aumentare la resistenza all'erosione ed all'urto si è utilizzato un calcestruzzo fibrorinforzato con fibre d'acciaio e superficie vibrata previo spolvero di cemento e quarzo. Nelle prove preliminari furono determinati i parametri più idonei per le fibre arrivando poi alla conclusione di utilizzare la fibra ZC 50/50 di lunghezza 50 mm, diametro 0,50 mm, rapporto L/D = 100 e con un numero di fibre/Kg. pari a 11.700. Tale scelta fu dettata tra l'altro dalla considerazione che questo tipo di fibra è in grado di ben distribuirsi nel conglomerato grazie anche al brevetto della placchetta solubile nell'acqua d'impasto.

## **Mix design**

La scelta finale del mix design cadde sulla miscela costituita da un calcestruzzo con diametro massimo dell'aggregato di 15 mm che realizza una maggiore omogeneità della matrice e consente di ottenere un ulteriore aumento della resistenza all'usura.



Figura 2 - Stato della galleria all'inizio dei lavori.

Figura 2 - Stato della galleria all'inizio dei lavori.

La composizione del calcestruzzo utilizzata sul cantiere è stata la seguente:

Cemento pozzolanico 42,5	400 kg/m <sup>3</sup>
Sabbia 0 - 3 mm	845 kg/m <sup>3</sup>
Ghiaia 4 - 8 mm	254 kg/m <sup>3</sup>
Ghiaia 8 - 15 mm	591 kg/m <sup>3</sup>
Acqua	180 lt/m <sup>3</sup>
Additivo Superfluidificante	9 lt/m <sup>3</sup>
Fumi di silice	40 kg/m <sup>3</sup>
Fibre metalliche ZC 50/50	50 kg/m <sup>3</sup>
-----	
2369 kg/m <sup>3</sup>	

Consistenza misurata con il cono di Abrams: 10-18 cm.

### **Esecuzione dei lavori**

A seguito della predetta ricerca si passò alla programmazione dei lavori, che iniziarono nel dicembre 1989 e terminarono nel mese di marzo del 1990., in questo periodo furono messi in opera circa 13.000 m<sup>3</sup> di calcestruzzo su 19.500 metri di galleria. La stesura fu effettuata mediante la staggiatura manuale utilizzando calcestruzzo con consistenza plastico-fluida. La resistenza caratteristica del calcestruzzo a 28 giorni di 50 Mpa con una resistenza media di 58 Mpa. - Sui campioni prelevati nell'ultima fase di getto, prove di erosione eseguite. secondo un metodo messo a punto dal Corpo degli Ingegneri degli Stati Uniti d'Arnerica, hanno dato risultati particolarmente soddisfacenti e conformi ai valori, ottenuti in precedenti prove relative a malte fibrorinforzate impiegate per lo stesso tipo di applicazione (3). I risultati si sono collocati al termine della prova su una profondità di erosione media di 1,05 mm. Tutto il lavoro comportò l'utilizzo tra l'altro, di:

- 650 tonnellate di fibre metalliche 50/50.
- 520 tonnellate di Fumo di silice.
- 117.000 litri di additivo superfluidificante.

Gli autori del presente articolo ringraziano l'ENEL DPT/SOIC di Venezia che ha progettato e diretto i lavori; il Cris di Milano ed il 1° GIR di Bolzano, nonché l'impresa Cosiac S.p.A. di Palermo esecutrice dei lavori.

## **Bibliografia**

- (1) Holland, T.C. Krysa A., Luther, M.D., Liu, T.C.: «Use of Silica Fume, Concrete to Repair Abrasion-Erosion Damage in the Kinzúa Dam Stilling Basin», 2nd International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Madrid, Aprile 1986, ACI Publication SP91 V.2, pp. 841-863.,
- (2) Berra, M., Tavano, S.: «Proprietà di miscele cementizie contenenti fumo di silice condensato (Condensed Silica Fume)», Convegno AITEC: Il cemento e il calcestruzzo negli anni '80, Parma, Ottobre 1985.
- (3) Berra, M., Ferrara, G., Tavano, S.: «Uso di fumi di silice nel ripristino dei danni da erosione in una galleria di derivazione in calcestruzzo», Convegno AITEC: la durabilità delle opere in calcestruzzo, Padova, 8-9 Ottobre 1987.