

# La galleria di derivazione dell'impianto idroelettrico Coscile 2° salto, in Calabria

C. TEDESCHI \*

**SOMMARIO:** Si ritiene di un certo interesse illustrare brevemente le caratteristiche costruttive della galleria di derivazione forzata, con rivestimento in calcestruzzo non armato, dell'Impianto Idroelettrico Coscile 2° Salto, in esercizio da circa 15 anni, in relazione alle particolari modalità adottate per assicurarne la stabilità e l'impermeabilità.

Detto impianto venne realizzato in Calabria, dall'allora esistente Società Generale Pugliese di Eletticità, nel periodo 1956-1958 in prossimità di Castrovillari (CS).

Si forniscono alcuni particolari costruttivi del parziale manto impermeabile in gunita retinata realizzato e si illustrano i risultati dell'esercizio finora effettuato.

## 1. Impianti idroelettrici sul fiume Coscile. Cenni descrittivi.

Il fiume Coscile è un affluente di sinistra del Crati nel quale si immette poco a monte del suo sbocco nel mare Jonio, nella zona in cui sorgeva l'antica Sibari.

Il tratto di asta fluviale compreso fra le località Ponte Umberto e Ponte di Celemarro, poste rispettivamente subito a monte ed immediatamente a valle della città di Castrovillari (CS), avente lunghezza 10 km circa, dislivello complessivo 300 m circa e bacino imbrifero sotteso totale 168 km<sup>2</sup>, è stato utilizzato nel periodo 1946-1958, dall'allora esistente Società Generale Pugliese di Eletticità, con due impianti idroelettrici in serie, di cui il primo con derivazione a pelo libero ed il secondo con derivazione forzata (fig. 1) [TEDESCHI, 1969 a].

L'impianto idroelettrico 1° Salto, costruito negli anni 1946-1949, si sviluppa in riva destra del fiume ed è, come già detto, ad acqua fluente: la relativa galleria di derivazione e quella della derivazione sussidiaria dal torrente Garga, lunghe complessivamente 9,2 km, sono state realizzate con una sezione particolarmente studiata in relazione alle caratteristiche geotecniche dei terreni che attraversano, costituiti prevalentemente da scisti cristallini sericitici e cloritici e da scisti argillosi.

Nella relativa centrale sono installati due gruppi ad asse orizzontale, da 5.7 MW ciascuno, co-

stituiti da una turbina Francis e dal corrispondente alternatore.

L'impianto idroelettrico 2° Salto, costruito nel periodo 1956-1958, si sviluppa anch'esso in riva destra del fiume con derivazione forzata, di lunghezza 2.5 km, munita in testa, in corrispondenza delle opere di sbarramento e presa di un bacino di compenso, a fiume, di volume utile 72.000 m<sup>3</sup>.

Nella centrale è alloggiato un unico gruppo, analogo ai precedenti, da 3.5 MW.

Premessi questi cenni sommari sull'ubicazione e sulle caratteristiche principali degli impianti idroelettrici sopra citati, si illustrano di seguito quelle geologiche e geotecniche dei terreni inte-

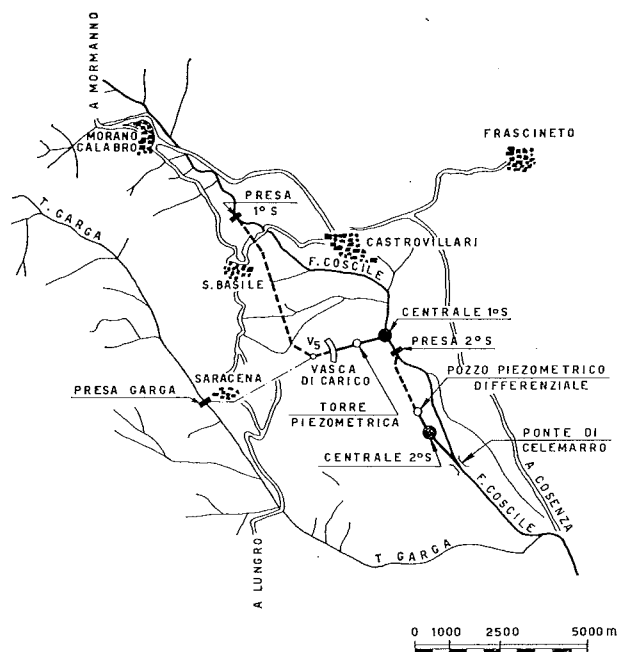


Fig. 1. a) - Impianti idroelettrici sul fiume Coscile.  
Corografia.

\* Dr. Ing. Cesare TEDESCHI - Vice Direttore-Capo S.O.I.C. ENEL - Compartimento di Napoli.

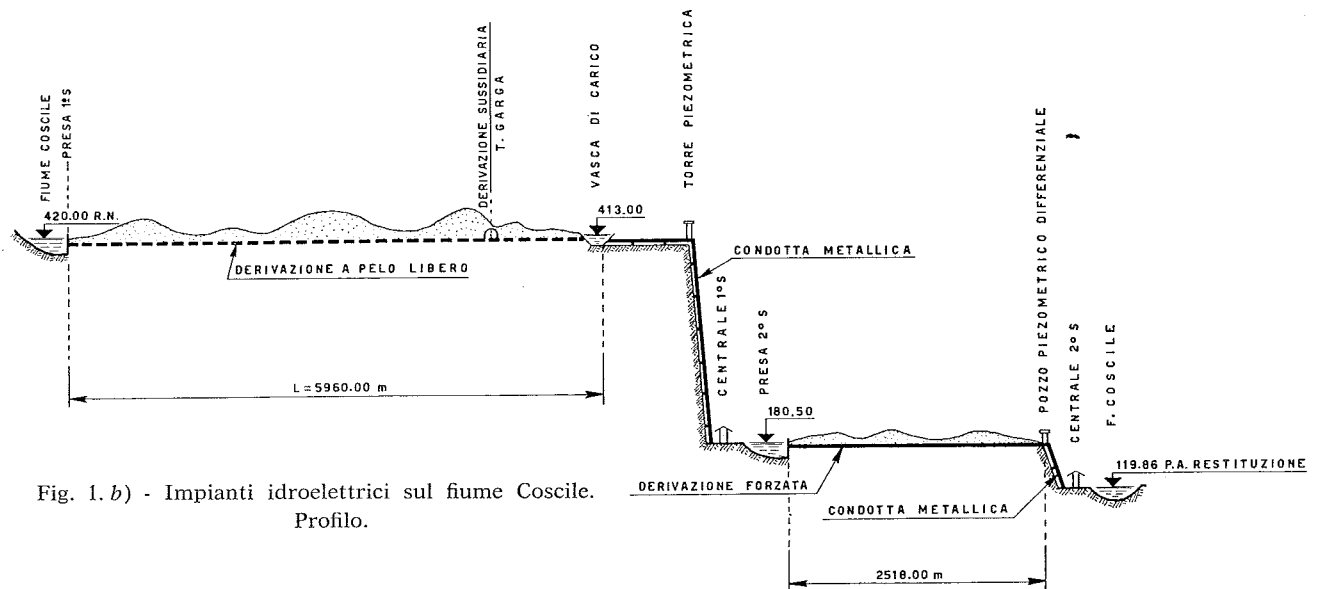


Fig. 1. b) - Impianti idroelettrici sul fiume Coscile. Profilo.

ressati dalla galleria di derivazione forzata dell'Impianto Coscile 2° Salto e le relative modalità esecutive di essa.

## 2. Caratteristiche dei terreni interessati dalla galleria di derivazione forzata dell'impianto 2° Salto e scelta del suo tracciato.

Fin dall'epoca della costruzione dell'impianto Coscile 1° Salto venne effettuato, nella zona in cui sembrava possibile realizzare una finestra intermedia per il futuro impianto 2° Salto, un sondaggio esplorativo, riportato in fig. 2, i cui risultati consigliarono di esaminare accuratamente il panorama complessivo per la definizione del tracciato della galleria di derivazione forzata.

Detti risultati misero in guardia contro eventuali estese discontinuità nell'apparente uniformità della valle.

Già durante la costruzione della centrale dell'impianto 1° Salto si era osservato che il costone con pendenza dell'ordine del 100%, cui detta opera doveva essere addossata, è formato da arenaria tenera, debolmente cementata, atta a costituire senza difficoltà anche una parete verticale, come chiaramente visibile lungo buona parte del tratto di alveo del fiume interessato dalla derivazione dell'impianto 2° Salto.

Infatti lungo i ripidi fianchi della valle del fiume e sulle sponde dei valloni profondamente incisi che sboccano in essa, in questa zona, affiorano dappertutto alternanze della sopra citata arenaria tenera, a grana varia, facenti passaggio talora ad argille sabbiose, e di conglomerati più o meno cementati, costituenti banchi pefitici con ciottoli arrotondati, che hanno dimensioni mas-

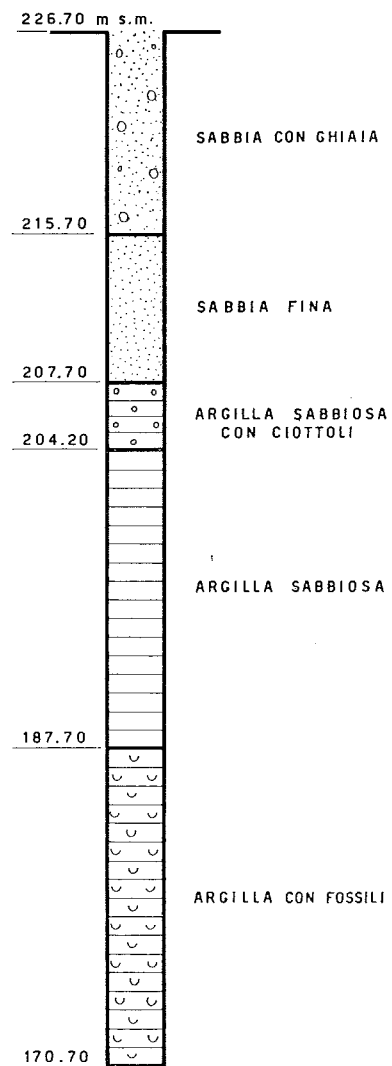


Fig. 2. - Impianto idroelettrico Coscile 2° S. - Sondaggio esplorativo, a rotazione, eseguito nel 1950 - Stratigrafia. (Per l'ubicazione planimetrica riferimento fig. 3).

sime di pochi centimetri, e strati psammitici anche di grande potenza, tanto che l'andamento della stratificazione non è più agevolmente ricostruibile.

Sia gli strati conglomeratici che quelli sabbiosi mostrano chiaramente che la formazione neogene è stata interessata da notevoli dislocazioni, che hanno spezzato gli strati rigettandoli ed inclinandoli, con inclinazione massima dell'ordine di 30°. La formazione non appare in alcun punto piegata.

Gli strati psefitici sono in generale intensamente cementati ed assumono pertanto un notevole grado di consistenza.

Tale cementazione, che manca invece nei sedimenti psammitici, i quali presentano soltanto la debole coesione derivante dal loro scarso contenuto argilloso, è molto probabilmente causata dalla circolazione di acque assai ricche in bicarbonato di calcio: la cementazione suddetta ha interessato in prevalenza gli strati a grana più grossa e quindi maggiormente permeabili.

L'esistenza della predetta circolazione idrica è dimostrata dai depositi di travertini recenti, costituenti placche superficiali, anche di spessore superiore ai 10 m, chiaramente individuabili sia nella zona della centrale dell'impianto 1° Salto sia in quella del pozzo piezometrico dell'impianto 2° Salto.

In relazione a tutto quanto precede, direttamente osservato in sito, venne elaborato il tracciato plani-altimetrico della galleria di derivazione forzata, riportato in fig. 3, che tiene anche conto delle indicazioni fornite dal sondaggio preliminare di fig. 2.

Per assicurarsi che tutto il predetto tracciato ricadesse in effetti completamente nei sopra specificati sedimenti clastici del neogene, le cui caratteristiche geotecniche erano da ritenersi piut-

tosto favorevoli, come riscontrato nella costruzione dell'impianto 1° Salto, venne deciso di realizzare lungo il tracciato prescelto, un po' meno parietale di quanto inizialmente ipotizzato, quattro sondaggi a rotazione, di profondità variabile da 50 m circa a oltre 100 m, onde esplorare per un certo numero di metri il terreno a quote inferiori a quelle previste per il fondo galleria e verificare che essa galleria non incontrasse, per tratti più o meno lunghi, formazioni di scisti argillosi o filladici completamente sepolte dai sedimenti più recenti ed eventualmente in parte ricoperte da frane e smottamenti di carattere superficiale.

Questo sospetto era stato generato dal fatto che in una zona depressa, alcune centinaia di metri a valle del vallone in cui era stato effettuato nel 1950 il sondaggio preliminare riportato in fig. 2, il terreno agrario si presentava cosparso di ciottoli di varie dimensioni, fra cui qualche grosso frammento di anfibolite, quasi tutti ricchi di venule quarzose come capita, di solito, in prossimità degli affioramenti degli scisti.

I sondaggi predetti, la cui ubicazione è indicata nella fig. 3, vennero eseguiti, con sonda a rotazione, nel periodo giugno-agosto 1955 e le relative stratigrafie sono riportate nella fig. 4, in cui sono specificati per ognuno di essi diametri di perforazione, lunghezza dei tratti rivestiti, percentuali di campionamento e per quelli n. 1 e n. 2 anche le velocità di avanzamento, che costituiscono un indice di confronto di rapida determinazione, grossolanamente indicativo.

Dalle predette stratigrafie si poté dedurre che, salvo eventuali discontinuità locali, la galleria di derivazione si sarebbe dovuta svolgere nei conglomerati di caratteristiche geotecniche alquanto favorevoli, come già detto.

Infatti la successiva esecuzione dell'opera confermò l'esattezza delle previsioni su quasi tutta la lunghezza del suo percorso, essendosi riscontrate soltanto modeste discontinuità nella massa conglomeratica, costituite prevalentemente da formazioni di sabbia con limo.

Di queste formazioni una sola, ubicata alla progr. 500 circa, poco a valle dell'unica finestra di attacco in discenderia (fig. 5), presentò particolare importanza perché attraverso un fornello creatosi in essa si riversò una sacca d'acqua, del volume di qualche migliaio di metri cubi, provocando l'allagamento completo del tronco di galleria già scavato.

Si ritiene infine di un certo interesse riportare nella fig. 6 le caratteristiche fisiche, determinate presso il laboratorio del Centro Geotecnico della

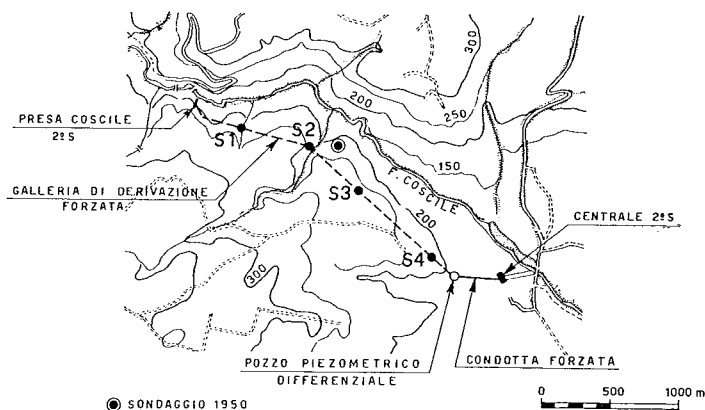


Fig. 3. - Impianto idroelettrico Coscile 2° S. - Planimetria con ubicazione sondaggi esplorativi 1950 e 1955.

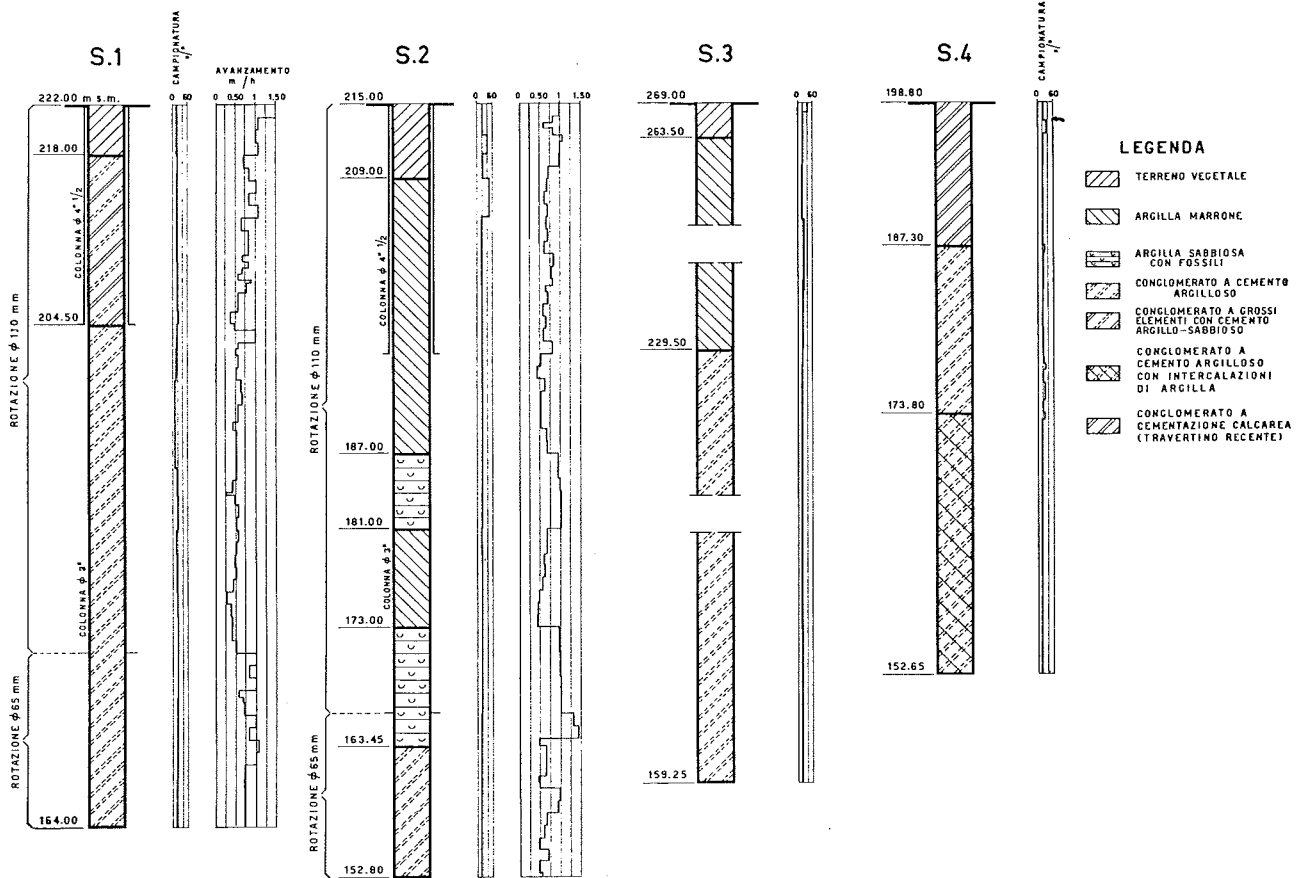


Fig. 4. - Galleria di derivazione forzata - Sondaggi esplorativi, a rotazione, eseguiti nel 1955. Stratigrafie con indicazione delle percentuali di campionamento e delle velocità d'avanzamento della sonda in m/h.

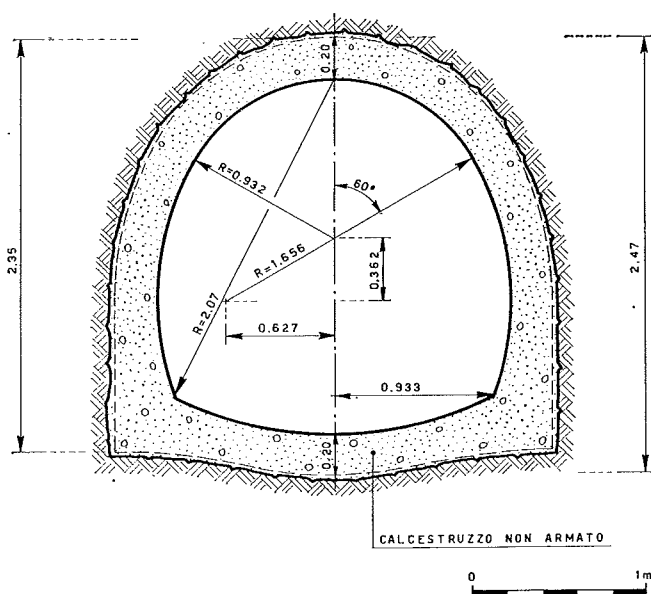


Fig. 5. - Finestra d'attacco in discenderia - Sezione tipo.

Fondazione Politecnica del Mezzogiorno d'Italia, di un campione prelevato in una lente di materiale sabbioso incontrata, durante lo scavo della galleria, circa 450 m a monte del pozzo piezometrico

ed inclusa fra le latitanti formazioni conglomeratiche.

Dette caratteristiche mostrano chiaramente che si tratta di una « sabbia fina con limo » di scarsa plasticità e con caratteristiche di rigonfiamento da ritenere molto ridotte.

### 3. Caratteristiche costruttive della galleria di derivazione forzata.

In relazione alle previsioni iniziali, confermate come sopra detto dall'esecuzione degli scavi, sulla natura e consistenza della formazione che la galleria avrebbe dovuto attraversare venne stabilito di realizzare il rivestimento, a sezione circolare di diametro interno finito 2,30 m, unico per tutta la sua lunghezza, in calcestruzzo di cemento normale, dosato a 3 q/m<sup>3</sup>, non armato, vibrato nell'interno della massa.

Su detto rivestimento, da eseguire preferibilmente con getto continuo, di spessore variabile in relazione alle esigenze statiche dei singoli tronchi, era prevista l'applicazione di un manto generale impermeabile in gunite, di spessore reso

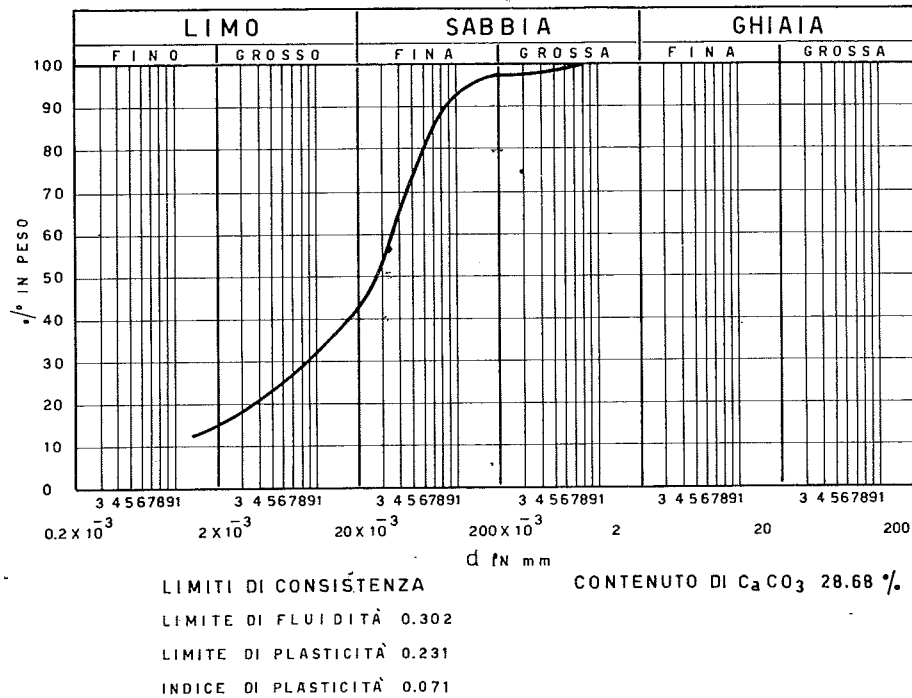


Fig. 6. - Galleria di derivazione forzata - Campione di «sabbia fina con limo» prelevato a progr. 2037 durante lo scavo. Curva granulometrica e caratteristiche fisiche.

3 cm, armato con rete elettrosaldata, a maglia quadra di lato 50 mm, in filo d'acciaio di diametro 2,5 mm e la realizzazione di una armatura resistente in tondo d'acciaio per cemento armato ad alto limite elastico ed aderenza migliorata, di adatto diametro nelle zone ove strettamente necessario (fig. 7).

Tenuto conto del modesto carico idrostatico agente sul manufatto, variabile da 1,2 a 3,4 Kg/

cm<sup>2</sup>, si decise di determinare sperimentalmente, con le modalità di seguito illustrate, la possibilità di ridurre al minimo compatibile con la sicurezza dell'opera il manto suddetto.

Si stabilì quindi di sottoporre il rivestimento in calcestruzzo cementizio non armato al pieno carico idrostatico subito dopo l'ultimazione delle iniezioni d'intasamento contro roccia, eseguite a bassa pressione, con miscela acqua-cemento a rapporto variabile secondo le varie esigenze locali.

In dipendenza dei risultati forniti da questo collaudo generale si doveva successivamente procedere alla costruzione del manto di gunite sopra specificato, per assicurare la stabilità e la impermeabilità del manufatto, nei soli tratti ove necessario, previo sarcitura delle lesioni prodottesi ed attestanti, con l'avvenuta reale aderenza del rivestimento in calcestruzzo alla formazione rocciosa circostante, l'eliminazione di ulteriori notevoli cedimenti permanenti.

Questo procedimento venne ritenuto ammissibile anche in relazione alle soddisfacenti caratteristiche geotecniche delle rocce attraversate.

In conseguenza si decise di:

- a) eseguire le iniezioni d'intasamento fra rivestimento e roccia circostante, con miscela acqua-cemento, avente rapporto variabile e mediamente prossimo a 1,5, in generale con aggiunta di bentonite in ragione del 2-4% del peso di ce-

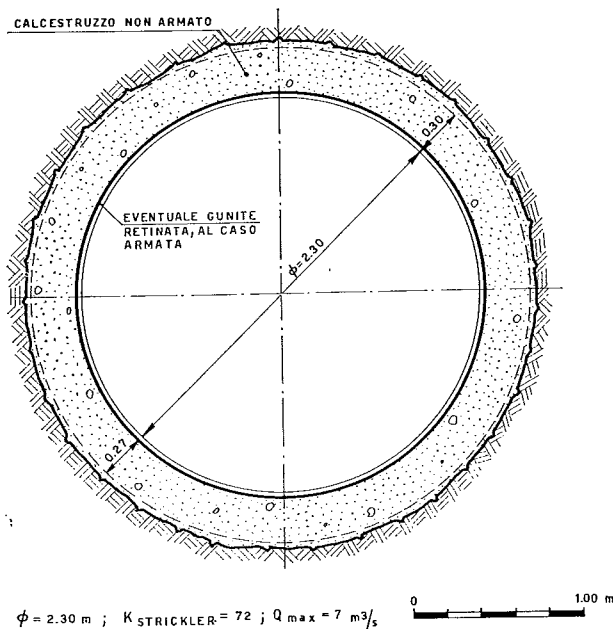


Fig. 7. - Galleria di derivazione forzata - Sezione tipo.

mento, da iniettare a bassa pressione, non superiore cioè a 5 kg/cm<sup>2</sup>.

Le sezioni d'iniezione vennero predisposte con interasse 2,00 m circa, ciascuna con 4 fori, alternativamente ubicati sugli assi verticale ed orizzontale della sezione e su quelli a 45° rispetto ad essi;

b) sottoporre, dopo congruo periodo di tempo, non inferiore ad 1 mese dall'ultimazione delle iniezioni suddette, l'opera al pieno carico idrostatico, per un tempo sufficientemente lungo e comunque maggiore di 7 giorni, controllando l'andamento delle perdite a carico costante ed a carico variabile, come di seguito precisato;

c) applicare il manto impermeabile in gunite retinata nelle sole zone ove si fossero prodotte lesioni, anche di tipo capillare, aggiungendo le sopra menzionate armature metalliche resistenti nei soli tratti ove strettamente necessario.

Questo programma venne regolarmente eseguito: le iniezioni suddette vennero effettuate nel periodo gennaio-agosto 1957, con un assorbimento medio di cemento pari a circa 8 q/m.

Successivamente venne realizzata, a condotta forzata metallica completamente montata, la messa in carico dell'intera derivazione chiusa a valle con la valvola assiale di macchina ed intercettabile a monte mediante le due paratoie piane a strisciamento installate all'opera di presa: di entrambi i dispositivi di chiusura era stata tempestivamente ed accuratamente controllata la perfetta tenuta.

La misura delle perdite, denotanti senz'altro la presenza di lesioni nel rivestimento, veniva effettuata mediante la lettura, per quanto possibile contemporanea, delle variazioni di livello all'opera di presa, a valle delle sopra citate paratoie, ed al pozzo piezometrico differenziale a mezzo sia di adatto dispositivo a galleggiante sia

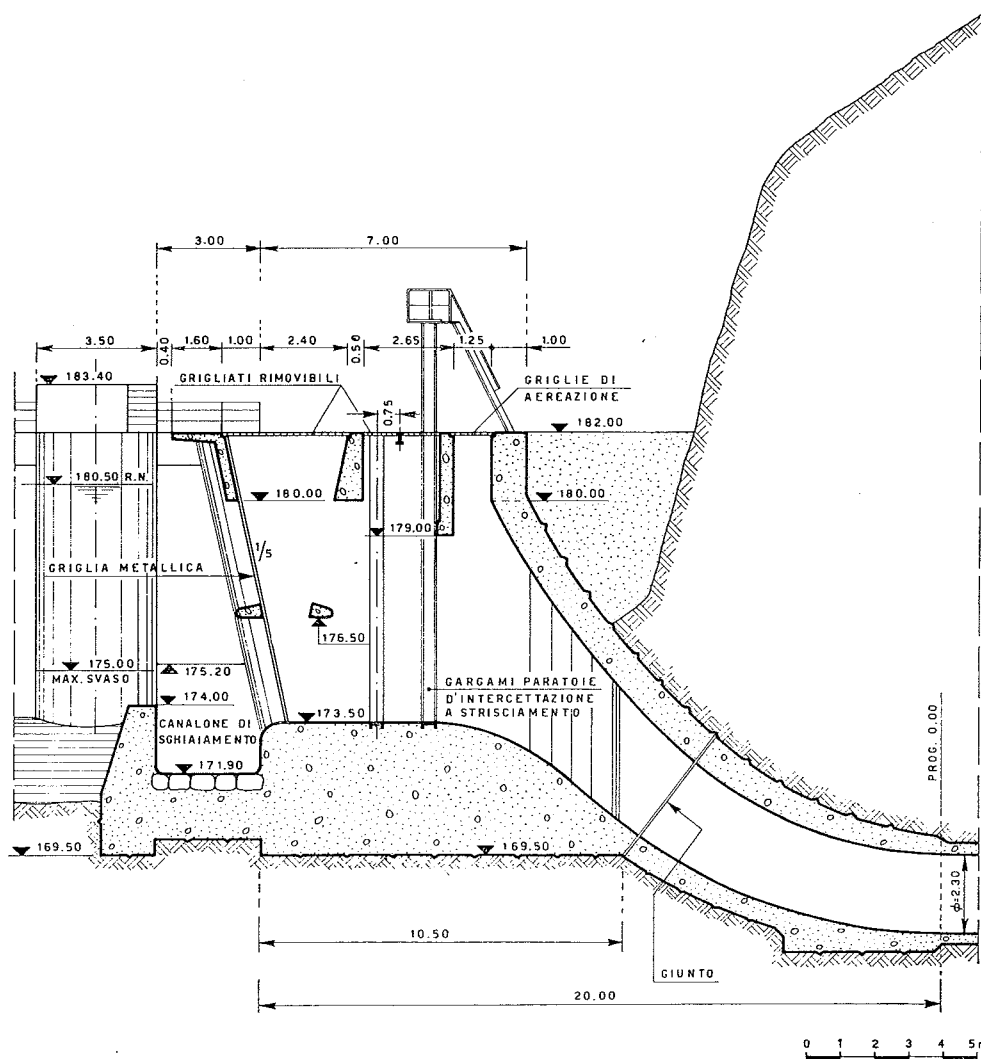


Fig. 8 a) - Opera di presa e pozzo piezometrico differenziale.  
Opera di presa - Sezione verticale.

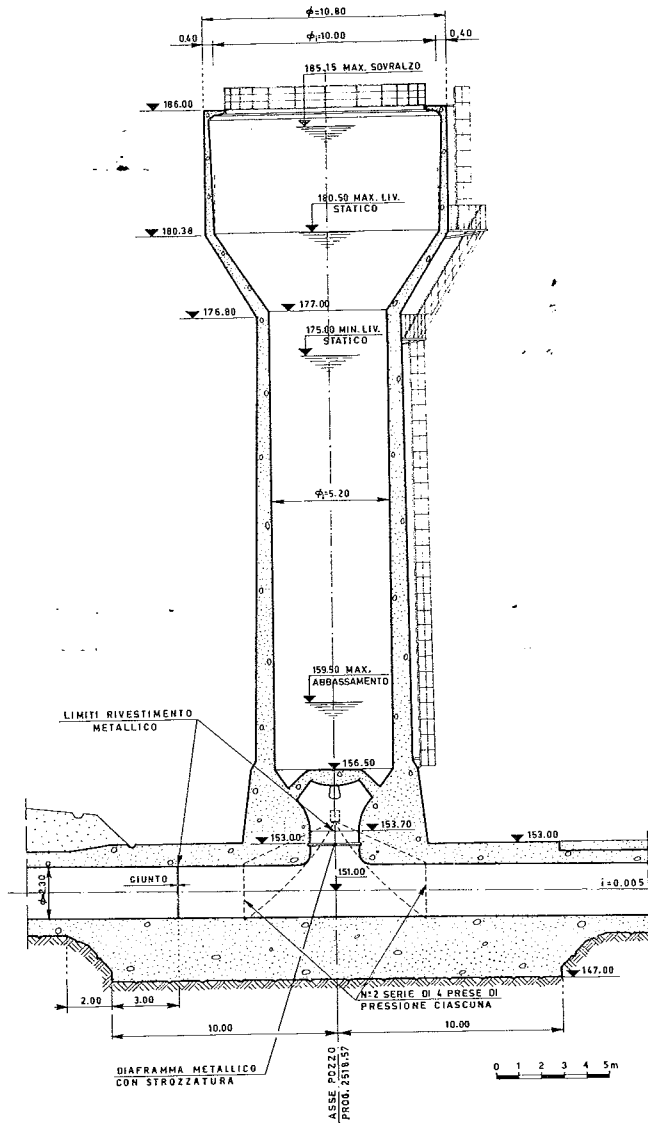


Fig. 8 b) - Opera di presa e pozzo piezometrico differenziale. Pozzo piezometrico differenziale - Sezione verticale.

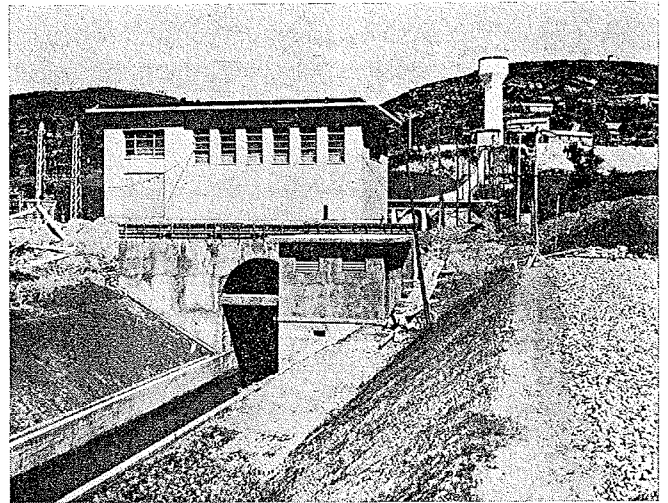


Fig. 8 c) - Opera di presa e pozzo piezometrico differenziale. Pozzo piezometrico differenziale e condotta forzata metallica - Vista (in primo piano l'edificio della centrale).

con manometri di grande precisione, opportunamente installati (fig. 8).

Come di norma in questo tipo di operazioni si procedette alla determinazione, prima a livelli gradualmente crescenti con portate d'immissione agevolmente valutabili e regolabili e successivamente a derivazione totalmente riempita e luci di presa intercettate, delle perdite, dovute alla formazione delle lesioni, fino a raggiungere o un livello costante o il completo vuotamento della galleria di derivazione forzata.

Con questo procedimento è possibile localizzare con sufficiente precisione le zone in cui le perdite sono più notevoli.

Le accurate tempestive ispezioni effettuate dopo il completamento di alcune di queste prove

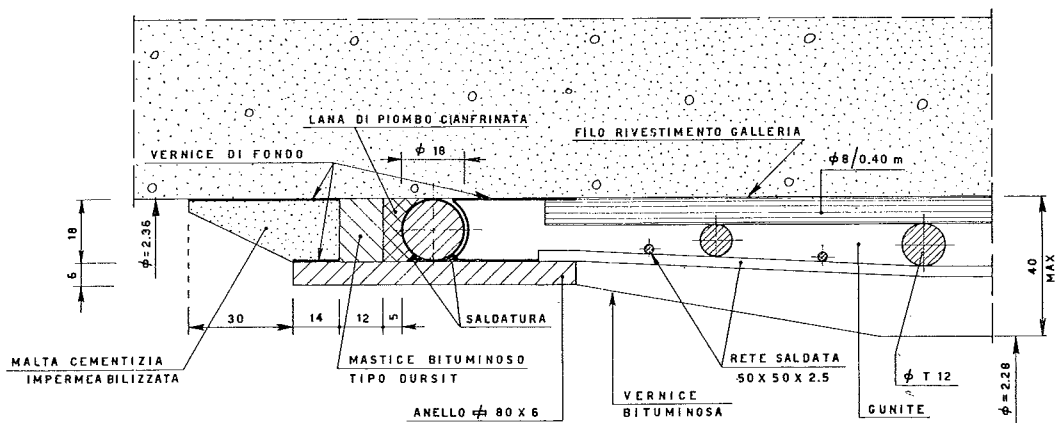


Fig. 9. - Manto impermeabile in gunite retinata realizzato nel 1958 nei tratti, del tronco fra le progressive 1420 e 2400, dissestatisi durante le prove al carico idrostatico. Dispositivo di tenuta di estremità dei singoli tratti. L'elemento metallico terminale viene costruito in due pezzi, riuniti in opera con saldatura elettrica, a deformazione totale, completata. (L'armatura resistente indicata è stata impiegata nel solo 30 % della lunghezza totale dei tratti suddetti, interessando quindi circa 230 m di galleria).

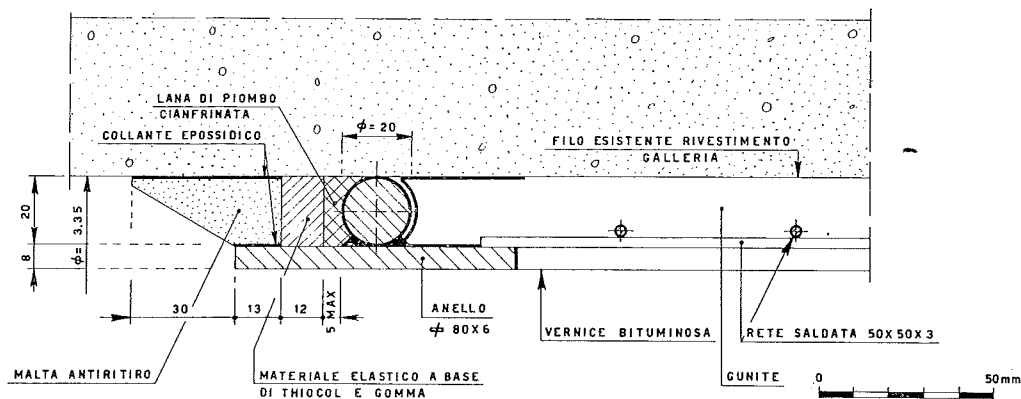


Fig. 10. - Manti impermeabili in gunite retinata realizzati nel 1970-71 in gallerie di derivazione forzata di altri impianti idroelettrici. Dispositivo di tenuta di estremità dei singoli tratti. L'elemento metallico terminale viene costruito in due pezzi, riuniti in opera con saldatura elettrica, a deformazione totale completata.

dettero la possibilità di accertare la presenza di numerose lesioni, anche sensibilmente macroscopiche, sufficientemente diffuse soltanto in alcuni tratti del tronco di galleria compreso fra le progressive 1420 e 2400 circa.

Pertanto il manto, delle caratteristiche sopra precisate, venne eseguito solo nei tratti di questo tronco ove necessario, dopo la sarcitura delle lesioni con idonei materiali e la successiva sovrapposizione, a caldo, di coprigiunti in Dursitect (iuta bitumata) da 4 mm. La lunghezza complessiva dei tratti in cui vennero aggiunte le armature resistenti predette risultò pari a circa il 30% di quella totale dissestata e dell'ordine di 230 m.

Si ritiene di un certo interesse riportare nella fig. 9 il dispositivo di tenuta realizzato in ciascuna estremità di ogni tratto di manto in gunite, realizzato nel tronco suddetto.

Dopo un sufficiente periodo di stagionatura della gunite vennero ripetute le prove di tenuta, con le stesse modalità sopra menzionate con risultati pienamente soddisfacenti.

#### The diversion tunnel of Coscile 2 power plant.

The main characteristics of the diversion tunnel of «Coscile 2» power plant (figs. 1 and 2) are shortly reported.

The plant is located in Calabria, near the town of Castrovillari. The tunnel, with a circular cross section of 2,3 m diameter, is 2,5 km long and is bored through a conglomerates formation including sand pockets.

Due to the favourable soil conditions and to the small water load ( $1,2 \div 2,5$  kg/cm<sup>2</sup>) unreinforced concrete lining was adopted (fig. 7). In the zones where lining fissures could occur, due to local soil weakness, an inner layer of reinforced gunite was added to the lining.

#### 4. Conclusioni.

Completate le prove suddette l'impianto idroelettrico entrò in servizio nei primi mesi del 1958.

Le strutture sopra illustrate, dimostrando la validità del sistema costruttivo adottato sopra brevemente descritto, hanno avuto finora, nell'insieme e in dettaglio, un comportamento ampiamente soddisfacente sia nei riguardi della stabilità sia di quelli dell'impermeabilità, particolarmente per quanto afferente il dispositivo di tenuta d'estremità di fig. 9, utilizzato anche di recente in altri casi analoghi con le naturali variazioni dovute alla disponibilità di più moderni materiali (fig. 10), meglio rispondenti allo scopo.

#### BIBLIOGRAFIA

- TEDESCHI C. (1969 a) - *Dieci anni di esercizio di due particolari installazioni in impianti idroelettrici in Calabria* - L'Energia Elettrica, vol. XLVI, n. 10.  
 TEDESCHI C. (1969 b) - *Un tipo di galleria per terreni spingenti* - Rivista Italiana di Geotecnica, n. 4.

#### S U M M A R Y

In order to restrict the application of reinforced gunite to the zones where it is actually needed, the following procedure was followed. After constructing the lining and grouting cement and bentonite behind it, the tunnel was filled in segments and hydraulically tested to the maximum water load. The tests revealed that fissures occurred only between sections 1420 and 2400; this zone was treated with gunite and reinforcement was added over only 30% of its length.

Details of the end joints between reinforced gunite layer and plane concrete lining are given; they performed satisfactorily in this and other cases over 15 years of operation.