

Settembre 2002

9

QUARRY and CONSTRUCTION

«il frantoio» cave e costruzioni movimento terra strade cantieri prefabbricati

- una cava di calcare nel cuore della Garfagnana
- operazione «lago effimero»
- treni in sotterraneo: esperienze e prospettive
- il museo minerario di Perticara
- Arcichiaro: la diga sul torrente Quirino
- il mestiere di fochino
- risanamento dei viadotti sull'autostrada del Brennero



edizioni **PEI** parma
in caso di mancata consegna,
inviare a UFFICIO BOLOGNA CMP
per la restituzione al mittente che
si impegna a pagare la dovuta tassa

Nel cuore dell'Appennino molisano è entrata in funzione l'opera di sbarramento del torrente Quirino, affluente di destra del Biferno, in località ponte di Arcichiaro del Comune di Guardiaregia, Campobasso. La diga, realizzata per conto dell'Erim anche grazie al cofinanziamento CEE, con una capacità di 11 milioni di mc ed un "salto" di circa 60 m, rappresenta una riserva d'acqua di notevole importanza per l'assetto idrico del Molise

In Molise, nel cuore del massiccio del Matese, in agro di Guardiaregia provincia di Campobasso, è stata realizzata la Diga di Arcichiaro sul Torrente Quirino. L'opera si inserisce nel programma di impiego delle risorse idriche sviluppato dall'E.R.I.M. (Ente Risorse Idriche Molise) legate all'uso degli affluenti del Biferno.

L'opera è posizionata in uno splendido scenario ambientale fatto di imponenti massicci calcarei, magnifiche forre create dallo scorrimento delle acque, nobili boschi di alto fusto, interessanti fenomeni carsici, risultando nelle adiacenze dell'oasi wwf di Guardiaregia.

La Diga risulta collocata a monte dell'abitato di Guardiaregia, intercettando gli affluenti del Biferno in sponda destra ad una quota di circa 900 m s.l.m.. Al di sopra di tale quota non vi sono consistenti insediamenti umani, talchè l'acqua risulta priva di ogni forma di inquinamento in quanto il bacino idrografico di raccolta si estende a quote superiori ed interessa massicci calcarei di notevole portata.

La quota di sbarramento determina svariate possibilità di utilizzo delle acque accumulate.

Il consistente salto geodetico di circa 450 metri intercorrente con la piana Bojano, situata a valle, suggerirebbe l'installazione di una centrale idroelettrica di potenza pari a 4,5 MWatt che produrrebbe circa 6 GWatt/ora, a valle della quale l'acqua potrebbe essere utilizzata per soddisfare le esigenze idriche dei paesi limitrofi e dell'adiacente polo industriale di Campochiaro, realtà emergente nell'assetto produttivo del Molise.

UNA IMPORTANTE RISERVA IDRICA PER IL MOLISE

LA DIGA DI ARCICHIARO

DOTT.ING. GENNARO FISCINA - ASTALDI SPA
DOTT.ING. DIEGO FISCINA - LIBERO PROFESSIONISTA

La meno elevata quota geodetica del capoluogo molisano rispetto allo sbarramento, distante circa 30 km, suggerirebbe di istradare la risorsa idrica a costi contenuti in quanto non occorrerebbero certamente stazioni di sollevamento, nè complesse opere di trasporto e potabilizzazione della risorsa.

E' allo stadio finale la ricerca per la più opportuna utilizzazione di una risorsa così strategica per lo sviluppo dell'intera area e l'E.R.I.M. a brevissimo termine darà corso ai lavori per la realizzazione delle infrastrutture necessarie all'utilizzo.

L'opera di completamento della Diga di Arcichiaro è stata cofinanziata dalla Comunità Europea attraverso i programmi di sviluppo operativo. Tale cofinanziamento, rientrando nel quadriennio 1997-2001 al fine di poter essere acceso ha previsto come termine di ultimazione delle opere appaltate nel Luglio del 1998, l'anno 2001, comprendendo in questo

termine non solo la mera esecuzione delle opere, ma anche tutte quelle operazioni legate ai collaudi e ai controlli delle stesse.

L'importo a base d'asta era fissato in 66,182 miliardi di lire.

Nel Settembre del 1998 l'E.R.I.M. ha affidato all'A.T.I. Astaldi S.p.a.-Italstrade S.p.A. l'esecuzione delle opere di completamento della Diga di Arcichiaro fissando come termine di ultimazione dei lavori 30 mesi solari.

Organizzazione del cantiere

La costruzione di un'opera così complessa in tempi così ristretti ha richiesto una notevole organizzazione di cantiere, in quanto le attività legate al percorso critico risultavano numerose e durature, nonchè particolarmente complesse.

Il programma operativo, che doveva fare i conti anche con l'altitudine e la mete-

reologia che impediva l'esecuzione di particolari opere nei periodi freddi e di pioggia, è stato costretto a subire notevoli revisioni critiche al fine di tarare la complessa macchina esecutiva.

La notevole influenza che la meteorologia a quote così elevate poteva avere sull'effetto dello sviluppo delle lavorazioni, ha determinato scelte strategiche sofferte dal punto di vista imprenditoriale, ma necessarie. La contrazione della produzione nei periodi invernali, doveva bilanciare con il recupero nei periodi climaticamente favorevoli; pertanto al fine di contenere i costi dovuti ad un eccessivo immobilizzo di attrezzature e personale si è tenuto conto nella programmazione operativa di evitare un sottoutilizzo delle risorse nei periodi invernali ed un sovrautilizzo nei periodi estivi. Un accurato e costante studio delle previsioni meteorologiche a breve e medio termine, legato ad una programmazione operativa multiopzioni nel bre-



ve e medio periodo permetteva di avere la necessaria flessibilità produttiva ed operativa. La continua ricerca di possibilità operative alternative, di ottimizzazione dei processi produttivi, di rapidità esecutive, di prevenire possibili frenate, di prevedere in anticipo possibili problemi per elaborare le soluzioni più appropriate, di ridurre i tempi di reazione, si rendevano non auspicabili, ma necessari per un corretto processo di sviluppo.

Tali aspetti hanno gravato non poco sulla struttura operativa e gestionale richiedendo una programmazione spinta ed un continuo controllo del processo produttivo, dando nel tempo però sicure soddisfazioni sui risultati raggiunti. La particolare posizione del cantiere ha richiesto un complesso studio logistico che ha portato come risultato quello di rendere quanto più possibile indipendente le attività di cantiere dal contesto ambientale. Per questo sono stati installati tutti gli impianti necessari al processo produttivo: un impianto di betonaggio con capacità produttive di circa 300 mc/giorno, un impianto di produzione dei bitumi con capacità di 800ton/giorno, due impianti di frantumazione fissi degli inerti con capacità complessive di circa 70 mc/ora ed un impianto di frantumazione mobile con capacità di 700 mc/giorno.

Il ricorso all'esterno doveva interessare solo l'approvvigionamento delle materie prime necessarie alle lavorazioni, quali ad esempio il cemento, il bitume, il gasolio, certamente immagazzinabili in modo da tenere sempre in scorta una autonomia di almeno tre giorni di materia prima utilizzabile sulle lavorazioni in condizione di massima produzione. Tale "modus operandi" si è rivelato appropriato in quanto ha messo al riparo i processi produttivi da tutte le influenze esterne.

Tale complessa organizzazione necessaria per controllare e rendere efficiente il processo produttivo e ridurre al minimo le interferenze esterne, che risulta-



vano meno controllabili e gestibili, ha fatto sì che si potesse ultimare l'opera nei tempi e nei modi previsti dal progetto esecutivo; di conseguenza, pur con gli imprevisti che sempre accadono durante la costruzione di opere così complesse e particolari, i tempi sono stati scanditi con il rigore che la ristrettezza temporale contrattuale richiedeva.



Geologia e scelte progettuali

Il serbatoio ricadendo quasi totalmente in terreni impermeabili (marne e detriti di falda), è delimitato a nord da un elevato fronte calcareo entro il quale il torrente Quirino ha inciso una profonda forra; se il calcare avesse fornito garanzia di tenuta la scelta tecnicamente più valida sarebbe stata quella di una diga ad arco da realizzare all'interno della forra viste le ottime caratteristiche meccaniche della roccia. Presentandosi, però, la formazione fortemente fratturata, la scelta progettuale è ricaduta su una diga in pietrame a gravità con manto di tenuta impermeabile. Lo sbarramento ha quindi una forma arcuata verso monte in modo che la spinta dell'acqua generi tensioni di compressione piuttosto che di taglio al contatto tra le pareti e le sponde.

Il rapporto tra lunghezza della diga e l'altezza della diga è piuttosto basso e ciò fa ritenere che si verifichi l'effetto zoccolo. Questo effetto, abbinato alla geometria ad imbuto dell'imbocco ed alla tortuosità della forra, fa sì che il rilevato si comporti come un vero e proprio tappo, incastrato nella gola.

La fondazione della diga è su calcari organogeni del cretaceo di altissime qualità geomeccaniche talchè la fon-



dazione può considerarsi praticamente rigida. Sono presenti alcune faglie di particolare importanza dal punto di vista geologico.

Trovandosi in zona sismica di I^a categoria il coronamento potrebbe subire molti più danni in caso di scossa tellurica rispetto alla fondazione della diga e poiché secondo gli studi del giapponese M. Masumura le accelerazioni sismiche sulla cresta della diga risultano di 2 o 3 volte quelle al piede, al fine di uniformare le sezioni resistenti, le pendenze del corpo diga diminuiscono al procedere dalla fondazione verso il coronamento.

Lo schema generale dell'impianto è così costituito:

- Bacino idrografico di alimentazione, esteso kmq 21,75 interessante il bacino del Torrente Quirino dalle origini fino al Ponte di Arcichiaro sulla SS. N. 158 Guardiaregia-S. Gregorio Matese, circa 5 km a monte di Guardiaregia.
- Diga di sbarramento in rockfill con paramento bituminoso a monte, situata sul corso del Quirino poco a monte del ponte di Arcichiaro e con coronamento a quota 859,30.
- Versante destro della diga, costituito dal placcaggio dello specchio di faglia in rockfill con paramento bituminoso.
- Versante sinistro della diga, costituito

dal placcaggio in rockfill del massiccio calcareo adiacente la diga e la forra del Quirino con paramento bituminoso.

- Serbatoio di accumulo dei deflussi della capacità utile di 11,1 milioni di metri cubi, impermeabilizzato con apposite opere in prossimità dell'opera di sbarramento.
- Scarico di superficie costituito da uno sfioratore laterale in destra, con soglia a metri 852 s.l.m. e successivo canale di

scarico a cielo aperto.

- Scarico di fondo con presa a torrino situato in destra con soglia a quota 814 m s.l.m. e galleria di scarico che ha inizio dal torrino dello scarico di fondo
- Presa del serbatoio costituita da una tubazione in pressione che si innesta a monte delle paratoie e sbocca a valle per il rilascio in alveo di una portata ridotta, ai fini igienici. Nel tratto intermedio una diramazione della suddetta tubazione attraverso organi di controllo e misura consentirà di derivare le acque per gli usi.
- Briglie sul torrente Quirino con canale di adduzione necessario all'incanalamento delle acque ed alla dissipazione dell'energia cinetica delle acque del torrente.
- Canale San Giorgio per l'incanalamento e la dissipazione dell'energia delle acque derivanti dal torrente omonimo.
- Strada di accesso all'impianto diramatesi dalla strada statale SS158, circa 600 metri a valle del Ponte di Arcichiaro.
- Strada sul coronamento che si svolge lungo lo sfioratore, il coronamento della diga e il versante sinistro.
- Casa di guardia ubicata in apposito piazzale e in posizione dominante, adiacente alla strada statale ss158 situata a circa 250 metri dal ponte di Arcichiaro.
- Strada circumlacuale di circa 4 km.



Il corpo diga

Come già detto lo sbarramento a gravità è in Rockfill ed ha dimensioni mediamente di 200 metri di larghezza alla base, 500 metri lunghezza, 60 metri di altezza.

Le pendenze del paramento descrescono all'aumentare della quota.

Per la costruzione della diga è stato necessario coltivare una cava, la "Defenza", situata nelle immediate vicinanze dello sbarramento, il cui calcare è risultato di eccellenti qualità meccaniche.

La diga è zonata rispetto alla granulometria dei materiali che la costituiscono e la zonizzazione ha interessato il solo piano trasversale della diga.

Al di sotto della superficie del manto impermeabile troviamo uno strato di spessore costante costituente l'appoggio della impermeabilizzazione denomi-

nato sottomanto dello spessore medio di 1 metro; procedendo abbiamo due strati ritardanti, lo strato A e lo strato B, di spessore costante mediamente di 1,5 metri cadauno, che hanno la funzione di ritardare l'efflusso dell'acqua nel caso in cui si abbia una lacerazione del manto e diminuire il trasporto solido. A seguire troviamo il corpo diga vero e proprio costituito da rockfill, strato C, ed infine altri due strati a granulometria crescente di scogliera denominati strato D e E.

Le caratteristiche granulometriche degli strati costituenti il corpo diga possono essere riassunte nella tabella 1.

I materiali delle diverse zone dopo la posa in opera ed opportunamente compattati presentano le caratteristiche granulometriche sopra indicate ed un peso di volume non inferiore a 1,9 t/mc per le zone A,B,C, sottomanto, e non inferiore a 1,7 t/mc per le zone D e E.

Poiché il materiale della cava poteva presentarsi a strati, con differenti caratteristiche si sono dovuti adottare sistemi di coltivazione adeguati e una miscelazione spinta sia in cava che all'atto della

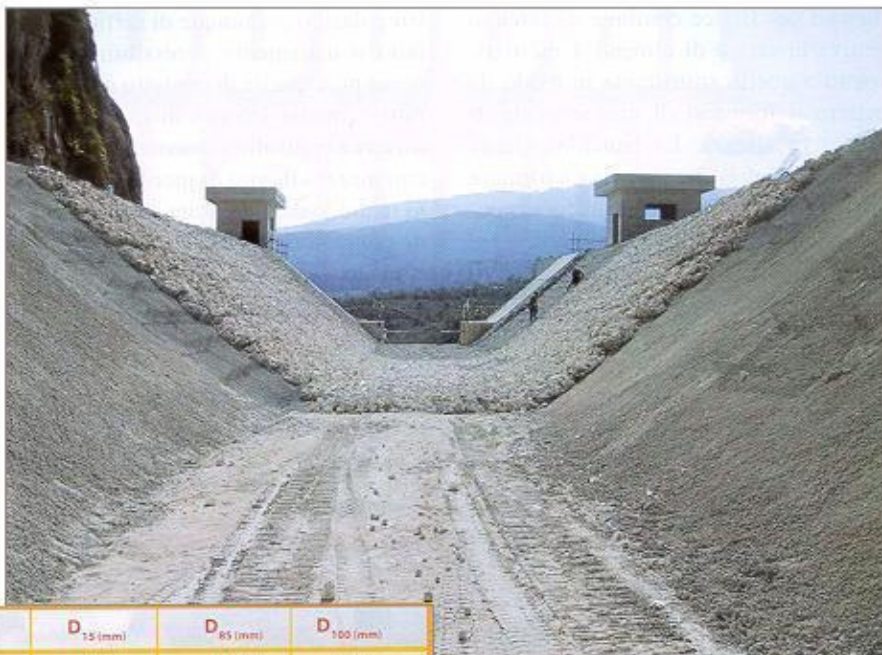


Tabella 1

Descrizione	D ₅ (mm)	D ₁₅ (mm)	D ₈₅ (mm)	D ₁₀₀ (mm)
Sottomanto	>0,074	2-4	50-70	100
A	> 0,074	0,08+1,2	2,0+5,0	4,0+10
B	> 0,074	0,6+1,2	10+30	20+70
C	> 0,074	6+20	150+320	300+400
D	> 30	100+200	400+600	600
E	> 100		600	>1200

posa in opera al fine di garantire la granulometria richiesta e l'omogeneità del rilevato.

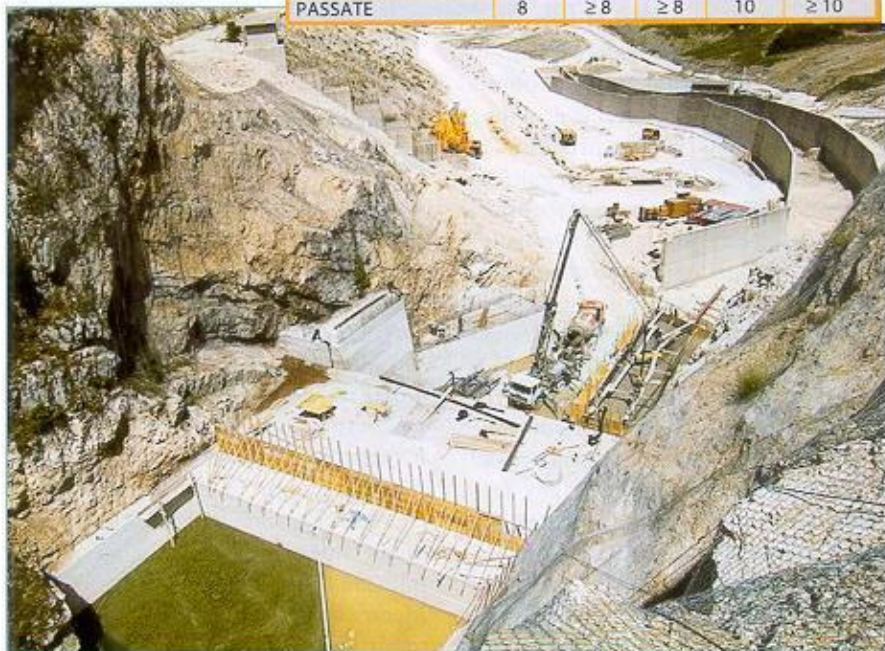
Gli spessori degli strati e la tipologia di compat-

tazione è stata desunta da prove sperimentali al vero al fine di determinare la ottimizzazione dei risultati descritti in tabella 2.

Le superfici di posa dovevano risultare piane ed orizzontali, e non erano ammessi sfalsamenti di più di tre strati tra zone contigue. I singoli strati venivano

Tabella 2

MATERIALI	A	B	C	D	E
SPESORE MIN (cm)	40	40	80	120	≥ 120
PASSATE	8	≥ 8	≥ 8	10	≥ 10



formati per strisce continue e ciascuno veniva arretrato di almeno 4 metri rispetto a quello sottostante in modo da evitare il formarsi di una scarpata di eccessiva altezza. La banchina (larga almeno 4 metri) che si veniva a formare era poi colmata dallo strato ancora superiore. La costipazione del materiale veniva compiuta strato per strato, con rulli vibranti di opportuno peso e potenza in modo tale da garantire i parametri di progetto. La compattazione delle zone A,B è stata realizzata per strati di spessore massimo 40 cm, mentre per la zona C di 80 cm.

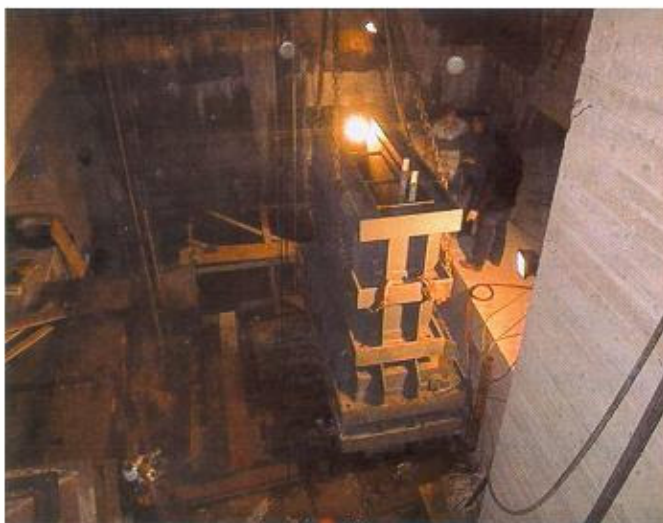
Ad evitare che, in seguito alla compattazione, si potesse verificare una chiusura completa dello strato, prima della posa in opera dello strato successivo la superficie di posa veniva smossa da erpici al fine di creare l'opportuno grado di ingranamento.

Particolare attenzione è stata posta alla costruzione del sottomanto, sia per ciò che concerne la definizione della curva granulometrica sia per le modalità di compattazione; infatti tale strato, destinato a ricevere i carichi dell'impermeabilizzazione e successivamente dell'acqua, e più in particolare delle macchine operatrici in fase di costruzione, doveva presentare grado di compattazione elevato, non inferiore a quello degli altri strati, al fine di evitare la formazione di infossamenti delle macchine operatrici. Pertanto a seguito di evidenze sperimentali più accurate è stata ottimizzata non solo la curva granulometrica di progetto in modo tale da presentare un grado di chiusura dopo compattazione più elevato, ma si sono dovuti sperimentare ed applicare metodi di compattazione ortogonali alla superficie del paramento, attraverso l'adozione di sistemi di rullatura vibrante a tiro dal basso verso l'alto del coronamento. Tale metodologia ha assicurato uno spedito e sicuro procedere delle lavorazioni di impermeabilizzazione.

Le parti del manufatto poggianti o attestate contro superfici laterali rigide o

irregolari, o comunque di difficile contatto o malamente accessibili ai rulli, come pure quelle di contatto con manufatti e quelle intorno ai dispositivi di misura e controllo sono state compattate con mezzi vibranti di piccole dimensioni in modo da assicurare lo stesso grado di compattazione delle altre zone del rilevato.

All'interno del rilevato sono stati posti in opera tutte quelle strumentazioni,



quali deformometri, inclinometri, assentiometri, celle di pressione, etc. necessari a controllare lo stato del rilevato sia in fase di costruzione che in fase di esercizio.

Il versante sinistro ed il versante destro

A causa dell'elevato grado di fratturazione dei versanti sinistro e destro della diga è stata necessaria l'impermeabilizzazione di entrambi. Al fine di avere lo stesso grado di sicurezza del corpo diga la scelta progettuale ha privilegiato la costruzione di due rilevati delle stesse caratteristiche del corpo diga ed impermeabilizzati con la stessa tecnologia. Tale placcaggio ha determinato un necessario avanzamento del corpo della diga al fine di creare una linea di uniformità sia costruttiva che geometrica.

Mentre il versante sinistro non ha destato particolari problemi dal punto di vista

esecutivo, così non è stato per il versante destro.

Il versante destro è costituito da uno specchio di faglia della altezza di circa 25 metri e lunghezza di circa 200 metri, praticamente verticale. Sulla sommità di questo è posizionato lo sfioratore.

Al fine di evitare un rilassamento dello specchio di faglia che poteva portare allo sfaldamento del ciglio su cui doveva essere posizionato lo sfioratore è stato

necessario consolidare tale specchio di faglia prima della posa del rilevato. Il meccanismo di rottura associabile al progressivo rilassamento del massiccio (stato limite di degrado) è quello suggerito da Hoek e Bray nel caso di scarpate in roccia che non contengono piani di discontinuità persistenti alla scala della scarpata stessa. In questi casi la superficie di rottura, laddove venisse a formarsi, tende a seguire discontinuità minori passando, a luoghi, attraverso la roccia intatta con un andamento piano ed una inclinazione, rispetto all'oriz-

zontale pari a $\phi_p = 0.5 * (\theta + \phi)$ dove θ è l'inclinazione della parete e ϕ l'angolo di attrito.

Pertanto dapprima si è provveduto a costruire un rilevato provvisorio avente la duplice funzione di applicare una pressione allo specchio di faglia e rallentare il fenomeno di decompressione e fratturazione della roccia e di consentire il consolidamento dello stesso. Dalle analisi geostrukturali è stata determinata la tipologia dell'intervento di consolidamento. Al fine di non sollecitare oltre modo la roccia la scelta è ricaduta su ancoraggi di tipo passivo a quinconce 2x2 mt, perforazione $\phi=45-56$ mm, con barre di acciaio Feb44k del diametro di 24mm per una lunghezza di 12 metri, filettate alle estremità per consentire la posa di una piastra di contrasto bullonata. Per distribuire gli sforzi di trazione che si potevano generare e per evitare distacchi durante la fase di costruzione la superficie è stata rivestita da uno strato di spritz-beton fibrorinforzato dello

spessore minimo di cm 10. Inoltre, per preservare dalla fatturazione e successivo sfaldamento la zona del ciglio su cui è stato posizionato lo sfioratore è stata realizzata una trave di cemento armato avente dimensione hxlpx pari a 3x85x2 (mt) su cui sono stati applicati n. 5 tiranti da 75 tonnellate e lunghezza 35 metri, di cui uno strumentato con cella di pressione.

La lavorazione posta sul percorso critico, in quanto solo la sua ultimazione consentiva la costruzione del rilevato definitivo, ha richiesto un notevole coordinamento tra le varie fasi di lavoro ed i soggetti operanti che possono così essere sintetizzate:

- a) Perforazione $\varnothing=45-56$ mm con macchina operatrice completamente automatica avente capacità di circa 400 metri di perforazione al giorno.
- b) Posa in opera della barra in acciaio ed iniezione della stessa e successiva posa in opera della piastra bullonata 200x200x10 mm.
- c) Posa in opera dello spritz-beton fibrorinforzato $sp=10$ cm.
- d) Demolizione dello strato di rilevato provvisorio per consentire la reiterazione del ciclo di lavorazione.

L'intero ciclo di lavorazione ha comportato circa 20.000 metri lineari di perforazione, la costruzione e successiva demolizione di 95.000 metri cubi di rilevato provvisorio, ed è stata conclusa in circa 3 mesi di lavorazioni intense.

Regimentazione delle acque sotterranee

Il corpo diga, così come il versante sinistro e versante destro risultano zonati rispetto al convogliamento delle acque che potrebbero scorrere sul piano di fondazione dei rilevati. Tali tubazioni del diametro di 400 mm convogliano le acque all'interno di un cunicolo di ispezione che corre al di sotto dei rilevati i cui accessi sono posti uno sul coronamento del versante sinistro e l'altro sul piazzale dello scarico di superficie che divide il corpo diga dal versante destro.



Nel cunicolo di ispezione di dimensioni 1,5 mt di larghezza per 3 mt di altezza, con sviluppo di circa 600 mt confluiscono le tubazioni sopracitate. Le tubazioni convogliano le acque all'interno di apposite camere nelle quali sono state costruite delle vasche di raccolta nelle quali sono stati installati degli stramazzi triangolari in acciaio inox, in modo tale da controllare la portata trasportata. Tutte le acque di scorrimento vengono convogliate poi in una vasca nella quale sono innestati due tubazioni del diametro di 600 mm che attraversando tutto il corpo diga sul piano della fondazione, trasportano le acque a valle sul vecchio letto del torrente.



Strumentazione di controllo

L'opera è dotata di un sistema di strumentazione di controllo centralizzato e computerizzato situato nella casa di guardia, i cui risultati vengono gestiti da un software che in funzione delle richieste, elabora e restituisce i dati sotto forma tabellare o grafica. La temporizzazione delle misure dei vari strumenti può essere impostata tramite software. Ogni gruppo di strumenti viene convo-

gliato in una centralina di misura dotata di una batteria tampone che permette l'acquisizione delle informazioni anche nel caso in cui non vi sia temporaneamente alimentazione elettrica.

Il quadro della strumentazione può essere così sintetizzato:

- Misuratori di livello per taglioncino in numero di 83 posizionati al di sotto dell'impermeabilizzazione in adiacenza al taglioncino di fine impermeabilizzazione, aventi la funzione di controllare il moto di filtrazione che si viene a generare al di sotto del taglione dovuto alla differenza di pressione che si instaura a cavallo del taglioncino tra zona impermeabilizzata e la zona non imper-

meabilizzata.

- Accelerografi di picco per la determinazione delle accelerazioni sismiche.
- Clinometri per cunicolo destinati alla misurazione di eventuali rotazioni del cunicolo di ispezione.
- Clinometri per il manto impermeabile destinati alla misura della inclinazione del manto.
- Stazione meteorologica dotata di pluviometro, anemometro, termoisgrometro, barometro, nevometro, evaporimetro.
- Assesimetri per i rilevati.
- Misuratori di livello del serbatoio.
- Misuratori di portata.
- Termometri per la misura della temperatura dell'acqua nelle varie parti del serbatoio.
- Misuratori di apertura delle paratoie.
- Misura delle portate in alveo.
- Piastrini e basi per collimazioni topografiche.
- Estensimetri a barre.
- Deformometri manuali.
- Estensimetri manuali ed automatici.
- Celle di carico per tiranti.

Caratteristiche tecniche

Il manto di tenuta del bacino della Diga di Arcichiaro è distinto in tre differenti tipologie denominate Manto tipo Sand-Wich, Manto tipo Semi Sand-wich, Manto tipo semplice.

Tali tipologie sono state individuate al fine di settorializzare in funzione del coefficiente di sicurezza alla tenuta le diverse parti dell'opera.

Le varie tipologie di manto variano in funzione del numero di strati mentre le caratteristiche degli strati costituenti i pacchetti sono le stesse.

Di seguito viene riportata la tabella 3 nella quale sono indicati la tipologia e

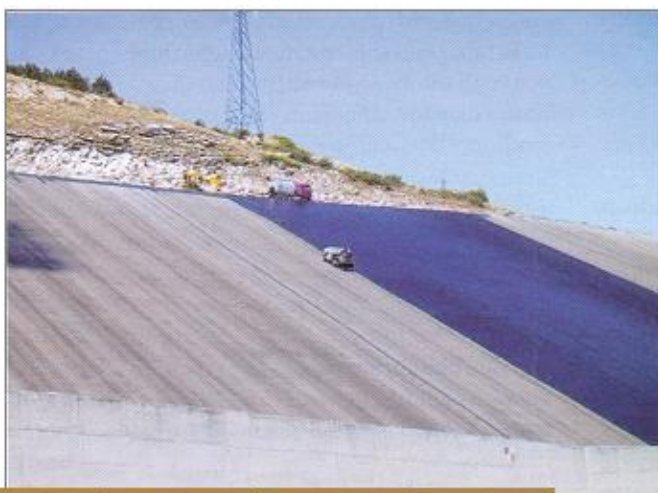


Tabella 3

	Binder	1° Strato di tenuta	Strato Drenante	2° Strato di Tenuta	Spessore totale
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
Sand-Wich	8	5	8	10	31
Semi Sand-Wich	8	0	8	10	26
Semplice	8	0	0	10	18

Impermeabilizzazione della diga

La impermeabilizzazione della diga è realizzata attraverso la posa di un manto in conglomerato bituminoso posto in opera con macchine operatrici speciali capaci di effettuare la posa del conglomerato in pendenza sul paramento della diga.

Al fine di poter assicurare la qualità del prodotto la Astaldi S.p.A. ha stretto un accordo commerciale con la Walo Bertschinger AG, società Svizzera leader nel settore delle impermeabilizzazioni dei bacini, con esperienza decennale nel settore.

gli spessori degli strati costituenti i manti.

Le caratteristiche generali e le proprietà richieste al manto bituminoso sono state le seguenti:

- il contenuto di vuoti dello strato di tenuta superiore non deve superare il 3% in volume.
- Il coefficiente di permeabilità dello strato di tenuta superiore non deve eccedere il valore $k=10^{-10}$ m/s.
- La struttura del manto deve essere in grado di assecondare ogni eventuale assestamento del rilevato diga senza che si verifichino fessurazioni e/o danneggiamenti.

menti.

• La superficie del manto deve presentarsi priva di fessurazioni.

• Il manto non deve essere soggetto ad alterazioni e/o danneggiamenti per temperature inferiori a 0 °C e per cicli di gelo e disgelo.

• Il manto deve risultare stabile sulle scarpate del paramento di monte della diga nelle condizioni più gravose prevedibili, di temperatura e di oscillazione dei livelli di invaso.

• I componenti bituminosi devono essere resistenti agli agenti atmosferici, alle condizioni di irraggiamento ed agli intervalli di temperatura prevedibili nei luoghi.

• Il manto deve essere resistente alle azioni meccaniche derivanti dal moto ondoso.

Tutte le prescrizioni di capitolato sono state tenute in considerazione per l'elaborazione del mix design dei vari strati costituenti il manto, sviluppato dall'Ing. Sanchez del laboratorio della Walo di Zurigo (CH). In funzione della granulometria e della qualità degli inerti prodotti in cantiere sono state elaborate le curve granulometriche dei vari strati di conglomerato su cui sono state fatte tutte le prove richieste dal

Capitolato Speciale di Appalto e dalle norme DIN di riferimento. Per la strato di tenuta inferiore e superiore si è dovuto ricorrere, per assicurare le prestazioni richieste, al reperimento dalla vicina città di Benevento di sabbia di fiume. Sulle prove e sui risultati dei test di laboratorio sono state studiate le miscele capaci di soddisfare le prestazioni richieste. In cantiere, sull'impianto installato appositamente per la costruzione del manto impermeabile sono state fatte le prove dal vero al fine poi di tarare il mix design sulla reali possibilità di produzione dell'impianto.

Pertanto le curve granulometriche delle miscele e le relative caratteristiche si possono riassumere nella tabella 4.

Tali miscele potevano oscillare all'interno dei fusi definiti dalle Norme DIN in base alla granulometria ed ai valori

dati in precedenza per ciascuna miscela (tabella 5).

Inoltre sono stati definiti due fusi di riferimento uno per i valori singoli e l'altro per i valori medi entro i quali dovevano essere comprese le curve delle risultanze.

I materiali impiegati per il confezionamento degli impasti bituminosi sono stati i seguenti:

- Aggregati grossi e fini
- Filler
- Bitume
- Additivo.

a) Aggregati

Gli aggregati, costituiti da pietrischetti e graniglie di frantumazione, sabbia di fiume e/o di frantoio si presentano con superfici a spigoli vivi e forma poliedrica.



Tabella 4

	Strato di Base	Strato di tenuta inferiore	Strato Drenante	Strato di tenuta Drenante
Setacci (mm)	% passante	% passante	% passante	% passante
0,09	6,5	10	5,5	12
0,25	9,0	15	7,5	16
0,71	14,0	26	11	27
2,0	22,5	41	17	40
5,0	39,0	66	29	59
8,0	50,0	85	36	68
11,2	64,5	98	43	77
16,0	85,5	100	74	91
22,4	98,0	100	98	99
31,5	100	100	100	100

Tabella 5

		Strato di Base	Strato di tenuta inferiore	Strato Drenante	Strato di tenuta superiore
La percentuale di bitume solubile	%	3,75	5,70	2,80	5,90
La densità apparente del Marshall	gr/cmc	2,260	2,401	2,125	2,422
La densità reale della miscela	gr/cmc	2,545	2,475	2,591	2,455
La percentuale dei vuoti	%	11,2 %	3,0 %	18 %	1,4 %
La stabilità Marshall	KN	> 4,8	> 8	> 5,0	> 7
Lo scorrimento Marshall	Mm	< 5,0	< 5,5	< 5,0	< 7,5

Tali materiali dovevano essere ben puliti ed esenti da argilla, limo od altre sostanze estranee.

Il contenuto degli elementi di forma piatta e/o allungata (BS-812: Flakiness index, elongation index), inferiore al 20%. Gli aggregati venivano selezionati, ben lavati e stoccati in frazioni distinte.

b) Filler

Il filler è costituito da particelle finissime di polvere calcarea da frantoio perfettamente asciutto e senza granuli. Alla pro-

va ASTM D546 il filler ha presentato le seguenti caratteristiche granulometriche:

Setaccio	Perc. di Passante in peso secco
N. 80	100 %
N. 200	> 80 %

Più del 50% del passante al setaccio N. 200, risulta passante al medesimo setaccio, ma a secco.

c) Bitume

A seguito delle prove sulle varie classi di bitume presenti in commercio, la classe che ha dato i migliori risultati, dopo le prove preliminari, è risultata essere quella indicata come "Bitume 60/70".

Nella tabella 6 si riportano le caratteristiche e le norme di riferi-

Tabella 6

Descrizione e proprietà	Classe di bitume	Standards		
		60/70	ASTM	DIN
Peso specifico a 25°C (g/cm³)	1.01-1.06	D70	52004	
Punto di rammollimento R&B (°C)	48-56	E28	52011	3235
Penetrazione at 25°C (1/10 mm)	60-70	D5	52010	3235
Duttilità at 25°C (cm)	>100	D113	52013	
Solubilità in CS2 (%)	>99	D4		
Punto di Lampeggiamento Cleveland in vaso aperto (°C)	>250	D92		
<i>Dopo riscaldamento</i>				
Perdita di Peso (%)	<0.2	D6	52016	
Riduzione della penetrazione (%)	<35	D5		

mento relative alla classe di bitume scelta. Nel corso delle prove preliminari si sono verificate, altresì, le proprietà di adesione tra bitume e inerte calcareo. Nel solo caso della tenuta superiore, per dare maggiore sicurezza alla struttura, è stato utilizzato un opportuno additivo "anti-stripping" tipo Addibit L-100 nelle percentuali dello 0,2% in peso sul quantitativo di bitume. Le massime tolleranze ammesse nel confezionamento degli impasti di ciascuno degli strati del manto bituminoso, rispetto alla composizione delle miscele di progetto, definite a seguito degli studi preliminari e delle prove in situ, sono state le seguenti:

MATERIALE	TOLLERANZA (in Peso)
Aggregati grossi (> 2 mm)	±5.0%
Aggregati fini (2 mm-0.075 mm)	±3.0%
Filler	±1.0%
Bitume	±0.2%

Modalità di posa in opera

Trattandosi della fase più delicata dell'intero ciclo di lavorazione in quanto il manto bituminoso deve assicurare la tenuta del serbatoio, l'organizzazione del lavoro ed i controlli sia in fase di preparazione che di esecuzione hanno seguito regole rigidissime. E' alquanto ovvio evidenziare che in questo caso non si doveva assicurare la prestazione richiesta sulla media del prodotto realizzato, ma si doveva assicurare in ogni caso una prestazione minima su ogni componente del prodotto realizzato, pena il fallimento dell'intero processo produttivo. Tale condizione ci ha portato ad affidare il controllo e la gestione dell'intero processo produttivo ad un tecnico specialista. Tale figura professionale si è resa necessaria in quanto le la-

vorazioni inerenti la posa del manto impermeabile si presentavano talmente complesse e critiche che richiedevano un impegno talmente oneroso che le capacità tecniche di cantiere, impegnate comunque a seguire le altre lavorazioni contemporaneamente, non potevano certamente assicurare il livello di controllo richiesto. Pertanto l'intero processo produttivo doveva essere monitorato sia in relazione alla qualità del prodotto posto in opera che ai costi che ne scaturivano. L'ottimo, seppur oneroso, accordo commerciale con la Società Walo (CH), il costo del bitume pressoché raddoppiato, a causa dell'oscillazione del greggio rispetto alle ipotesi in fase di gara, il numero personale impegnato nelle lavorazioni, richiedeva, al fine di rendere economicamente conveniente il processo produttivo dettagliare al massimo le fasi e l'organizzazione del lavoro, cercando di prevedere in anticipo le even-

tuali inefficienze e problematiche che potevano ingenerarsi. Questo esercizio dapprima molto gravoso, ha permesso di valutare con opportuna ponderazione le possibili soluzioni ai vari problemi che potevano presentarsi ed ha reso sicuro e spedito l'intero ciclo produttivo. La complessa sequenza delle lavorazioni ha richiesto l'installazione in cantiere di un impianto di confezionamento dei conglomerati bituminosi capace di assicurare la qualità e le produzioni richieste. La scelta è ricaduta su di un impianto a ciclo discontinuo capace di produrre circa 800 ton/giorno di conglomerato bituminoso. La presenza di un impianto in cantiere ha permesso la taratura ottimale dello stesso in quanto l'intero ciclo produttivo è stato dedicato al solo confezionamento delle miscele necessarie alla costruzione del manto bituminoso. L'impianto in cantiere, inoltre, ha permesso di rispettare le prescrizioni di

capitolato relative alla temperatura di posa in opera del conglomerato, in quanto la ridotta distanza dal punto di produzione a quello di utilizzazione non ne permetteva l'abbassamento. Ciò ha consentito una maggiore flessibilità nel cambiamento delle miscele da produrre, una riduzione notevolissima dello sfrido in quanto si poteva richiedere la produzione dell'esatto quantitativo occorrente, una notevole immediatezza di risposta nei casi in cui si doveva aumentare o diminuire la produzione per qualsivoglia ragione. I parametri da tenere sotto controllo nell'impianto hanno riguardato tra l'altro la temperatura del bitume che non doveva superare i 200°C, la temperatura degli aggregati che non doveva superare i 230°C, il tempo e l'uniformità di mescolamento, la temperatura dell'impasto bituminoso che all'uscita dell'implan-



to fosse compresa tra i 160 e 180°C a seconda del materiale prodotto.

La posa del manto impermeabile è avvenuta secondo le seguenti fasi:

- Preparazione del piano di posa mediante spruzzatura di una mano di ancoraggio di emulsione bituminosa cationica al 55% nella quantità di 3.0 kg/mq;
- Stesa e rullatura dello strato di base, dei successivi strati di tenuta inferiore, drenante, di tenuta superiore;
- Applicazione dello strato di sigillo superficiale.
- Lavori di finitura.

Per eseguire le lavorazioni in pendenza sono state utilizzate apparecchiature speciali appositamente finalizzate. Infatti le elevate pendenze del paramento non consentono la stesa alle normali macchine in commercio. In sintesi, le attrezzature utilizzate possono dividersi in due grandi sottogruppi: principali e ausiliarie, meglio indicate nella tabella seguente.

Attrezzature principali

- argano principale per finitrice
- carro di carico
- finitrice per pendenze con unità di costipamento
- 2 argani per rulli
- 3 rulli vibranti
- finitrice speciale per mastice

Attrezzature ausiliarie

- riscaldatori (infrarossi o elettrici)
- martelli vibranti
- piastre vibranti
- forno mobile per mastice

Il conglomerato bituminoso viene scaricato dal camion direttamente nella tramoggia di carico comandata dall'argano principale. La tramoggia scarica, attraverso un movimento rotatorio, il materiale nel carrello di carico il quale una volta riempitosi, correndo lungo il paramento, trasporta il conglomerato bituminoso alla finitrice.

Tutte le fasi di lavoro vengono gestite da consensi elettromeccanici, così come le velocità di rotazione degli argani e conseguentemente delle macchine in movimento, mentre l'operatore in cabina sull'argano principale, assistito da un com-



puter di bordo, sovrintende a tutte le operazioni.

La notevole complessità meccanico-elettronica della macchina ci ha tenuto sempre in costante tensione in quanto si potevano verificare delle anomalie durante il ciclo di funzionamento che impedivano la prosecuzione del lavoro. Al fine di rendere minime queste possibilità è stato necessario avere in cantiere un meccanico specialista pronto al primo intervento ed alla manutenzione ordinaria, mentre per i problemi più gravi era a disposizione in pronto intervento un tecnico specialista di stanza a Zurigo.

L'argano principale ha un peso complessivo di 75 tonnellate e rappresenta il vero cuore di tutto il processo produttivo. Esso è dotato di 4 cingoli indipendenti montati su pistoni che permettono il livellamento trasversale e longitudinale della macchina durante le lavorazioni. E' dotato di una cabina di comando, di due pedane a sollevamento idraulico su cui possono montare il carrello alimentatore e la finitrice stessa per effettuare la traslazione orizzontale dopo la stesa, di argano supplementare a cui è collegato un rullo vibrante del peso max di 4,5 ton necessario alla compattazione subito dopo la stesa del materiale e prima del raffreddamento dello stesso.

La posa del conglomerato bituminoso

avviene per strisce parallele, di larghezza massima pari a 5.00 mt, lungo la linea di massima pendenza dal basso verso l'alto. La finitrice appositamente modificata per le posa in pendenza viene tirata dall'argano principale con velocità differenti a seconda della tipologia del conglomerato bituminoso da stendere. L'alimentazione della stessa avviene attraverso un carrello alimentatore della capacità di 7 tonnellate che, correndo su ruote, viene guidato sulla stessa linea di massima pendenza da un argano in posizione coassiale con quello che tira la finitrice, ma disposto su piani orizzontali differenti, in modo che i cavi non interferiscano tra di loro. La finitrice può stendere il materiale in continuo, pertanto l'alimentazione deve essere capace di assicurare le quantità di conglomerato richiesto. La produzione realizzata si è attestata mediamente sulle 650ton/giorno, valore certamente considerevole e superiore del 30% rispetto a quanto ipotizzato nel programma lavori di previsione. Il costipamento del conglomerato bituminoso avviene in più fasi. Il primo e maggior costipamento si raggiunge grazie all'unità di costipamento speciale montata a tergo della finitrice; con essa si raggiunge circa il 95% del costipamento voluto, mentre il resto avviene attraverso uno o più set di

costipamento supplementari costituiti da un organo posizionato sul coronamento che guida un rullo vibrante di 3.5-4.5 tonnellate. In aree piccole o inaccessibili dove l'impiego della finitrice non era possibile, la posa e il costipamento sono stati effettuati manualmente.

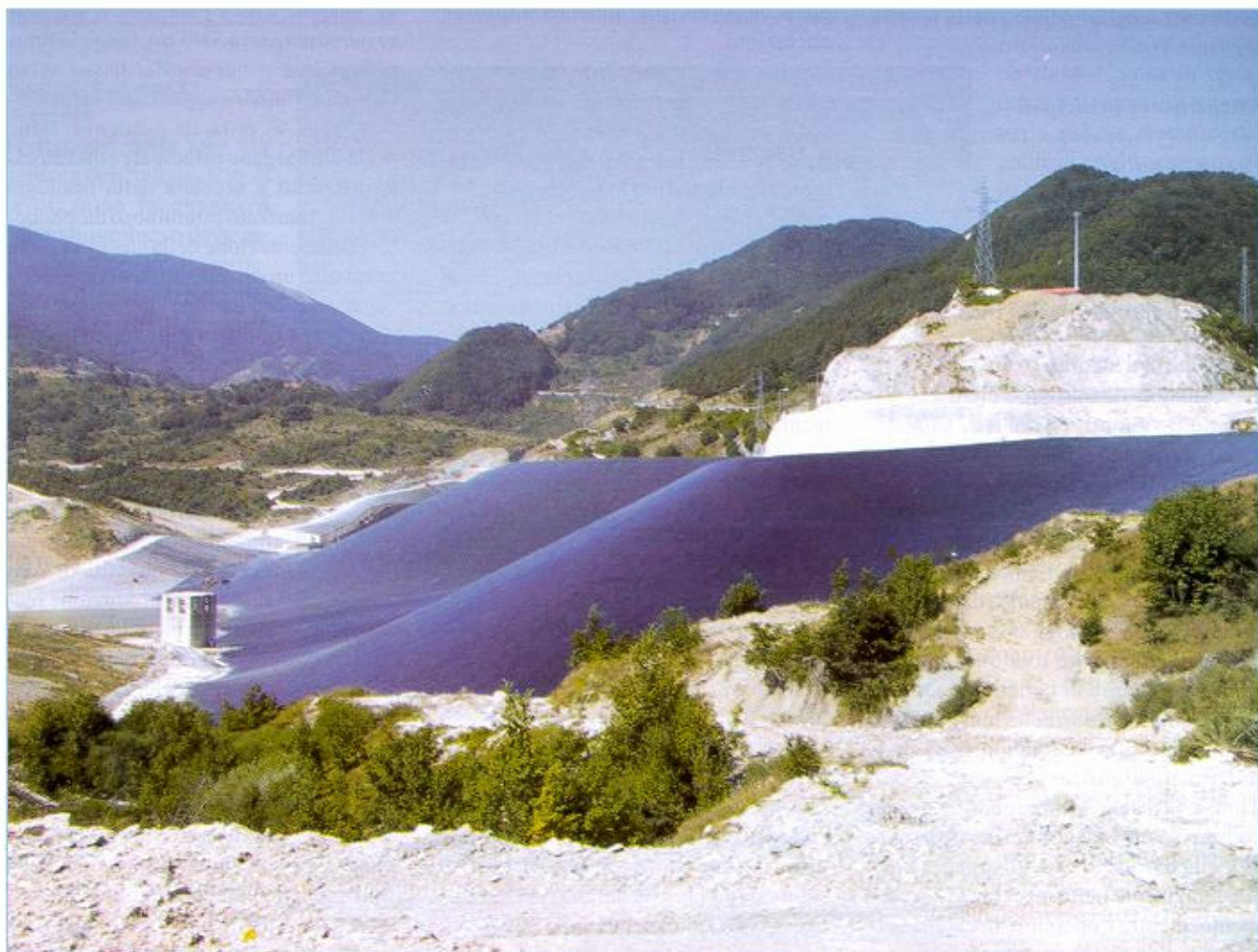
Particolare attenzione è stata posta al trattamento dei giunti che si sono determinati sugli strati di tenuta inferiore e superiore a seguito delle interruzioni della posa per fine giornata lavorativa. Tali giunti definiti di "giornata" sono stati trattati in maniera particolare. Infatti sulla superficie di contatto della ripresa è stato steso un velo di bitume liquido a temperatura di circa 160 °C al fine di aumentare l'aderenza e l'elasticità; a seguire è stato effettuato un processo di compattazione particolare. Attraverso l'utilizzo di piastre a raggi infra-

rossi la superficie a cavallo del giunto veniva riscaldata, portata a temperatura di lavoro, ed in seguito con speciali martelli compattatori, anch'essi riscaldati, veniva effettuata la compattazione. Per diminuire il numero dei giunti si è cercato di aumentare la produzione durante la stesa dei conglomerati di tenuta. Tale lavorazione piuttosto onerosa, dispendiosa e complessa è stata controllata alla tenuta attraverso prove "Vacuum" a vuoto, che creando il vuoto verificano la assoluta impermeabilità del manto.

La strato drenante, posto tra lo strato di tenuta inferiore e quello superiore, ha la funzione di drenare eventuali perdite che si possono generare dalla tenuta superiore. Esso risulta zonato in modo tale da consentire la rapida individuazione della zona da cui proviene l'eventuale

infiltrazione e permette di intervenire senza dover svuotare completamente il serbatoio. La zonizzazione è creata attraverso l'interposizione all'interno dello strato drenante di canalette formate da conglomerato bituminoso di tenuta che, impedendo all'acqua l'attraversamento, la convogliano ai punti di raccolta. Il recapito finale è posizionato all'interno del cunicolo di ispezione. Mentre la zonizzazione verticale risulta agevole nella realizzazione, quella orizzontale è alquanto complessa.

A seguito di un attento studio sulle fasi esecutive è stata sviluppata una metodologia di realizzazione che fosse al contempo sicura e poco onerosa. Infatti la canaletta orizzontale veniva formata a posteriori della stesa del drenante, che una volta steso con la finitrice, veniva asportato successivamente, an-



cora prima conglomerato bituminoso si fosse raffreddato e avrebbe fatto presa. Veniva, poi successivamente, inserito uno spessore di legno che aveva lo scopo di ricreare il piano di posa e quindi permettere la rullatura del conglomerato bituminoso drenante. E' la prima diga in cui la zonizzazione ha interessato settori sia orizzontali che verticali.

Sullo strato di tenuta superiore è stato steso per la protezione ai raggi ultravioletti uno speciale mastice bituminoso nelle quantità di circa 2 kg/mq. La miscela del mastice bituminoso nelle proporzioni del 75% in peso di filler e 25% in peso di bitume, è stata studiata per essere stabile sul paramento bituminoso in pendenza. Tale strato sottile di mastice a seguito dell'irraggiamento solare e del conseguente rammollimento della componente bituminosa, con il tempo, assume una conformazione a pelle di elefante. Il quantitativo totale di conglomerato bituminoso posto in opera ammonta a circa 90.000 tonnellate, per una superficie complessiva di circa 136.000 mq. La durata delle lavorazioni ha interessato i periodi estivi dell'anno 2000 e 2001 e più precisamente i periodi giugno-ottobre per l'anno 2000 e aprile-giugno dell'anno 2001. Il personale impegnato in tale lavorazione è stato all'incirca di 30 unità.

Giunti del manto bituminoso

Il manto bituminoso si attesta, sul fondo della diga, contro un taglioncino di fine impermeabilizzazione. Tale taglione, il cui percorso plano-altimetrico è stato dettato dall'esigenza prescritta progettualmente di avere uno spessore di marni impermeabili pari ad almeno 15 metri, ha la funzione di aumentare il percorso di filtrazione che si viene a determinare per effetto della differenza di pressione che si instaura tra il bacino

impermeabilizzato e la zona al di sotto della impermeabilizzazione. Tale taglione è costituito da un fusto che aderisce



intimamente nella marna viva e che si approfondisce per almeno 3,5 mt al di sotto del piano campagna determinato a seguito degli scavi di fondazione, e da una testa sulla quale viene attestato il manto bituminoso. Il collegamento strutturale tra i due elementi avviene attraverso le armature, mentre la tenuta idraulica, sia tra testa e fusto che tra conci, è assicurata da waterstop in neoprene della ampiezza di cm 30. La scelta di utilizzare waterstop in neoprene è stata dettata e dalla elasticità del materiale, necessaria in strutture che possono subire deformazioni su grande scala, e soprattutto dalla resistenza alla temperatura elevata dovendo per continuità collegarsi al manto bituminoso. In corrispondenza della testa del taglione di fine impermeabilizzazione, così come in tutti i punti di discontinuità del manto bituminoso, ovvero nei punti in cui il manto è interrotto per la presenza dei Canali sul Torrente Quirino e sul Torrente San Giorgio, e sul cordolo di coronamento, è stato realizzato un giunto capace di assecondare senza fessurazioni le deformazioni che si possono instaurare tra strutture rigide e deformabili.

La tecnologia con cui sono stati realizzati le varie tipologie di giunto risulta particolarmente complessa in quanto

questi rappresentano il punto più delicato dell'intero sistema di tenuta. Essa si realizza attraverso un ispessimento del

manto di tenuta che crea un cuneo capace di assecondare maggiormente le deformazioni. Il contatto tra struttura in calcestruzzo e manto impermeabile è realizzato attraverso una superficie a 45° opportunamente trattata con l'irruvidimento e con primer bituminoso che ha lo scopo di aumentare l'attrito tra i materiali, incrementare la superficie di contatto e consentire una migliore compattazione del conglomerato bituminoso. La compattazione a ridosso del giunto, date le dimensioni, è stata eseguita

a mano per strati di piccolo spessore con attrezzature di costipamento portatili. Per assorbire le tensioni di trazione che si possono ingenerare è stata inserita una geogriglia bitumata in poliestere biarmata 20 x 20 mm nella zona di raccordo.

Il giunto si completa attraverso la posa in opera di un particolare dispositivo realizzato in lamiera di rame dello spessore di $s=0,2$ mm, la cui geometria a cuneo permette di assorbire deformazioni senza l'ingenerarsi di pericolose fessurazioni. Tale struttura viene posizionata e impermeabilizzata attraverso mastice bituminoso colato a caldo e viene contrastata superiormente dalla posa, con resina epossidica, di un blocchetto di calcestruzzo prefabbricato. Il contatto tra blocchetto e manto impermeabile viene realizzato tramite la posa in opera di un giunto rettangolare di mastice bituminoso avente dimensione di 10x15 cm.

Particolare cura è stata posta allo studio del mastice bituminoso. Dovendo assicurare differenti prestazioni a seconda dell'utilizzo sono state sviluppate diverse miscele. Il mastice bituminoso risulta costituito da una miscela di bitume e filler le cui proporzioni variano a seconda delle esigenze. Per le zone dei

giunti che possono con il tempo andare in trazione, vedi ad esempio quelle del coronamento, è stato utilizzato del bitume modificato con polimeri, appositamente prodotto, capace di assicurare deformazioni elevate. Miscele più morbide, ovvero con minor quantità di filler sono state utilizzate nelle zone aventi poca pendenza, miscele più dure, ovvero con maggior quantità di filler, sono state utilizzate nelle zone a maggior pendenza, questo al fine di evitare il rifluimento del mastice verso valle. Il mastice è stato prodotto in cantiere con apposite attrezzature capaci di mescolare il bitume ed il filler e portarlo alla temperatura di lavoro che risulta fissata in circa 180°C. La elevata temperatura di lavoro, unita alla consistenza fluida del mastice ha fatto porre particolare attenzione sui problemi legati alla sicurezza durante l'utilizzo. Infatti visivamente non si riesce a percepire la elevatissima temperatura della miscela, pertanto questo spinge gli operatori ad una confidenza durante l'utilizzo, trascurando il pericolo legato a possibili contatti con la pelle umana.

Il contatto infatti genera immediatamente delle bruciature profonde che unita alla elevata aderenza del mastice permette solo un intervento di contenimento della scottatura ma non riesce certamente ad impedirla. Pertanto gli operatori erano obbligati ad indossare, pur con l'elevata temperatura atmosferica, indumenti coprenti tutte le superfici del corpo ed occhiali protettivi.

Struttura del manto

- Diga e versante DX - Struttura tipo Sandwich.
- Versante SX - Struttura tipo Semi-Sandwich.
- Piede Diga - Struttura tipo Semplice.

I dettagli delle strutture corrispondenti alle sopraelencate tipologie del manto sono di seguito descritti.

I - Manto tipo Sandwich (Diga e Versante DX)

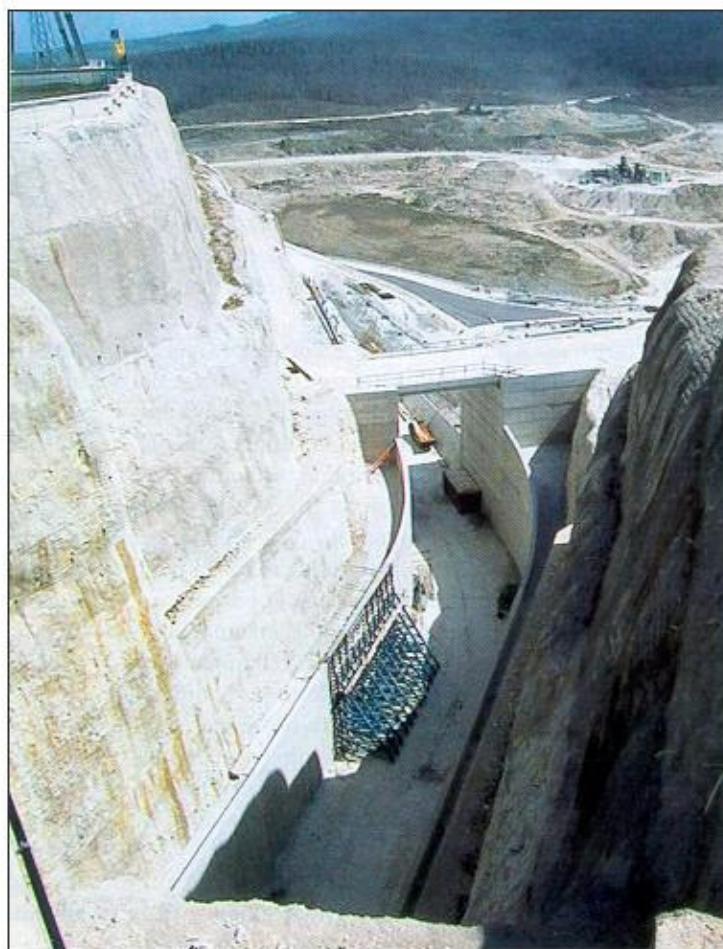
Descrizione	Q.tà per unità di superficie (kg/m ²)	Spessore Minimo (cm)
Emulsione bituminosa di ancoraggio	3,0	-
Strato di base e di livellamento	185	8
1° strato di tenuta (inferiore)	120	5
Strato drenante di controllo perdite	175	8
2° strato di tenuta (superiore)	245	10
Sigillo superficiale	2	0,2

II - Manto tipo Semi-Sandwich (Versante SX)

Descrizione	Q.tà per unità di superficie (kg/m ²)	Spessore Minimo (cm)
Emulsione bituminosa di ancoraggio	3,0	-
Strato di base e di livellamento	185	8
Strato drenante di controllo perdite	175	8
Strato di tenuta	245	10
Sigillo superficiale	2	0,2

III - Manto tipo Semplice (Piede Diga)

Descrizione	Q.tà per unità di superficie (kg/m ²)	Spessore Minimo (cm)
Emulsione bituminosa di ancoraggio	3,0	-
Strato di base e di livellamento	185	8
Strato di tenuta	245	10
Sigillo superficiale	2	0,2



Canale di scarico di superficie

Lo scarico di superficie inizia con uno sfioratore a soglia libera rettilinea a quota di 852 m s.l.m., della lunghezza complessiva di 85 mt posto sul versante destro al di sopra dello specchio di faglia. Lo sfioratore, avente profilo Creager, lascia sfiorare le acque all'interno di un vascone di raccolta dal quale parte il canale vero e proprio. Dopo un tratto di transizione ed una curva che raccorda la vasca con il canale, realizzato in trincea, inizia il canale vero e proprio. E' un profondo canale scavato interamente nel massiccio calcareo. In fondo al canale è posizionato un dissipatore a getto avente profilo a lemniscata, con il labbro a quota 832.33 m s.l.m. ed una

pendenza di 45° per avere una migliore dissipazione in aria dell'energia di getto.

Il canale di collegamento ha una sezione rettangolare, una larghezza di 10 mt al piede con il fondo variabile da quota 842 a quota 835,33 in prossimità del labbro terminale del dissipatore dove la larghezza attraverso una transizione si porta a 14 mt. Lo scavo è stato eseguito con la tecnica dello sparo controllato e con il monitoraggio sismico delle volate, per controllare e documentare che le sollecitazioni indotte sull'adiacente Ponte di Arcichiaro ad arco ed il nuovo ponte metallico costruito sul canale per dare continuità alla circolazione stradale, non superino valori tali da creare danni alle strutture esistenti.

Dopo ogni fase di scavo ai fini di assicurare la stabilità delle pareti rocciose, aventi pendenza di H:L pari 10:1, sono stati eseguiti i rilievi geostrukturali al fine di proporzionare gli interventi di consolidamento attivo realizzati attraverso il posizionamento di barre in acciaio dywidag, di rete elettrosaldata e di uno strato di spritz beton dello spessore di cm 10 aventi la funzione di evitare il rilassamento della parete rocciosa e di ripartire le eventuali tensioni generatesi.

Generalmente è stato assicurato un consolidamento diffuso con l'interposizione di barre dywit, a quinconce 2x2 mt, del diametro $\phi=25$ mm, della lunghezza compresa tra 3 e 6 mt dotate di un espansore a fondo foro e di una piastra 20x20x1 cm e un dado a boccaforno per consentire la messa in trazione della barra. Nei punti in cui la qualità della roccia non assicurava le prestazioni richieste sono state inserite delle travi in acciaio di ripartizione fissate alla roccia attraverso dei bulloni dywit.

Lì dove vi erano venute d'acqua si sono installate delle tubazioni drenanti.

Il rivestimento contro roccia del canale di scarico di superficie è stato realizzato a tutta altezza attraverso casseri

speciali capaci di sostenere la pressione del calcestruzzo fresco per altezze massime di 8 metri. I conci di dimensioni pari a circa 12 mt di lunghezza sono costituiti da una fondazione di spessore pari ad 1,5 mt e da due muri laterali di spessore variabile tra 1,7 e 2,2 mt con paramento pressoché verticale. Al fine di evitare le spinte idrostatiche sui muri e le sottopressioni in fondazione è stato realizzato un efficace sistema di drenaggio capace di raccogliere le eventuali



acque presenti e scaricarle all'interno del canale. Tale sistema di drenaggio è costituito da lamiere ondulate che corrono longitudinalmente sia in fondazione che in elevazione su diversi livelli e che vengono a intervalli regolari intercettate da tubazioni del diametro $\phi=50$ mm che portano le acque drenate verso l'esterno.

Particolare attenzione durante le fasi di getto è stata posta alla finitura delle superfici in calcestruzzo interessate dallo scorrimento delle acque al fine di non creare discontinuità consistenti che potrebbero influenzare il flusso della vena fluida, così come sono state particolarmente accurate la realizzazione delle superfici di transizione curve che collegano il vero e proprio canale con la vasca di raccolta ai piedi dello sfioratore. Sul canale di scarico di superficie sono stati realizzati due ponti uno in acciaio destinato al ripristino della viabilità ordinaria ed uno in c.a.p. destinato

all'accesso sulla strada di coronamento. In tale ultima zona e fino al tappo che chiude la vasca a tergo dello sfioratore il rivestimento della parete rocciosa è stato realizzato a tutta altezza anche per proteggere l'erosione della banchina e del ciglio superiore su cui è stata realizzata la strada di accesso alla diga.

Nel canale di scarico di superficie sono installate delle stadiie allineate secondo opportune direzioni attraverso la collimazione delle quali viene controllato lo

stato delle pareti rocciose al fine di valutare la stabilità nel tempo controllando lo stato di rilassamento e di de-tensionamento.

Il presidio sul torrente Quirino

Il presidio sul Torrente Quirino è un complesso di opere posto sul corso del torrente stesso sul versante sinistro della diga, avente la funzione di regimentare il flusso dell'acqua prima dell'immissione nel serbatoio di accumulo. Tale complesso,

partendo da monte verso valle, è costituito da una diga ad arco-gravità in cls, da una briglia in cls, da un canale di adduzione e da una diga a gravità in cls.

Tale complesso di opere si è reso necessario sia per regolare il regime torrentizio delle acque, al fine di evitare danni alla struttura di impermeabilizzazione, sia per impermeabilizzare l'area di confluenza che risulta formata da calcari del cretaccio.

Infatti in questa zona il corso naturale del torrente ha creato una forte incisione nei calcari determinando in circa 100 metri un salto di quota di quasi 35 metri, il che comporta una notevole accelerazione del flusso torrentizio.

La diga ad arco-gravità, posizionata a monte del sistema, risulta collocata in un punto in cui la forra si restringe considerevolmente. Tale diga di altezza pari a mt 8,00 risulta attraversata da n. 5 tubazioni in acciaio del diametro di 900 mm aventi la funzione di consentire il

passaggio dell'acqua nei periodi di magra. Tale opera ha la funzione di rallentare il flusso dell'acqua in regime torrentizio, creando a monte un innalzamento del pelo libero. Si viene a determinare così una vasca di dissipazione che ha la funzione di eliminare il trasporto solido di grosse dimensioni e ridurre il trasporto solido di piccole dimensioni.

A circa 30 metri, sempre sul corso del fiume è posizionata la briglia in calcestruzzo che ha la funzione di instradare l'acqua nel canale ed attraverso dei salti di dividere la vena fluida e rallentarne ulteriormente la velocità.



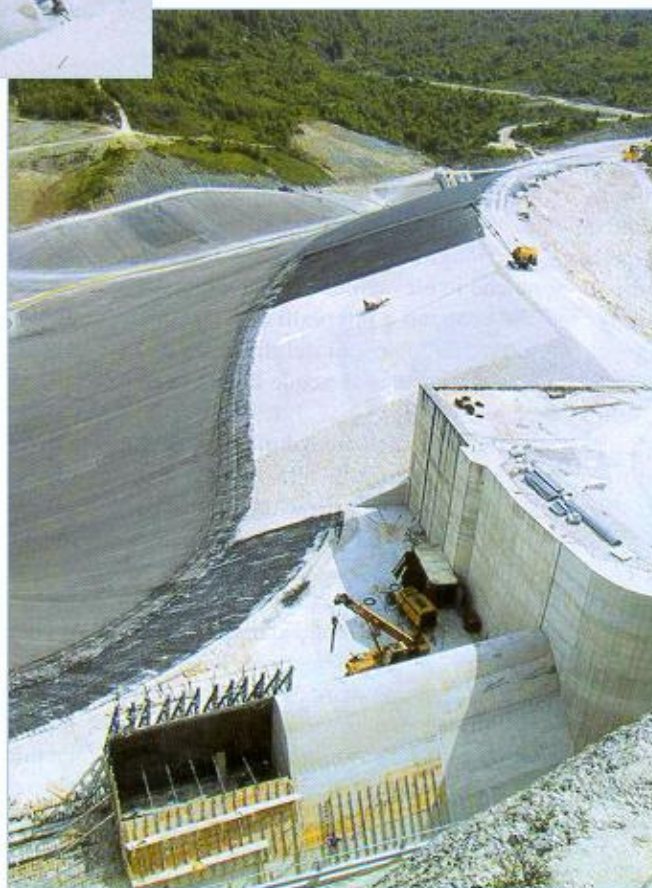
Il canale di adduzione è compreso tra la briglia a monte e la diga a gravità a valle. Tale canale di lunghezza complessiva di circa 140 metri, ha una quota di scorrimento molto al di sopra della quota di scorrimento naturale. Le pareti posteriori della diga a gravità innalzandosi per circa 30 metri al di sopra del fondo alveo, determinano un volume che riempito con circa 45.000 mc di materiale da rilevato porta in quota il canale assicurando pendenze modeste al flusso idrico. Il canale ha una sezione trapezoidale di base pari a 5 mt, pendenza delle sponde di H:L=1:1.2 ed altezza pari a 6 mt.. A fianco del canale sono previste due banchine di accesso per consentire l'ispezione. La struttura del canale è formata partendo dal basso verso l'alto da una

guaina bitumata biarmata dello spessore di 5 mm, una soletta di calcestruzzo di 5 cm a protezione della guaina, materassi tipo reno dello spessore di cm 25, mastice bituminoso a rifluimento per la protezione ed impermeabilizzazione dei materassi tipo reno.

Particolare attenzione è stata posta allo studio del mastice bituminoso in quanto doveva assicurare deformazioni elevate senza fessurazioni e rigidità tale da evitare il rifluimento verso valle del mastice posto sulle pareti del canale. La posa in opera del mastice sulle pareti del canale è stato molto complesso in quanto la fluidità del materiale alla temperatura di posa risentiva dell'effetto

di autolivellamento. Tale proprietà è stata contrastata attraverso la posa di spessori contenutissimi che ha determinato un allungamento della tempistica di esecuzione ma anche un sicuro risultato del prodotto.

L'opera centrale di tutto il sistema è la diga a gravità che si attesta sul



versante sinistro. Prima della costruzione dell'opera è stato necessario provvedere ad un consolidamento delle pareti rocciose insistenti sull'opera attraverso la posa in opera di reti di protezione e disgiungimento meccanico dei blocchi pericolanti.

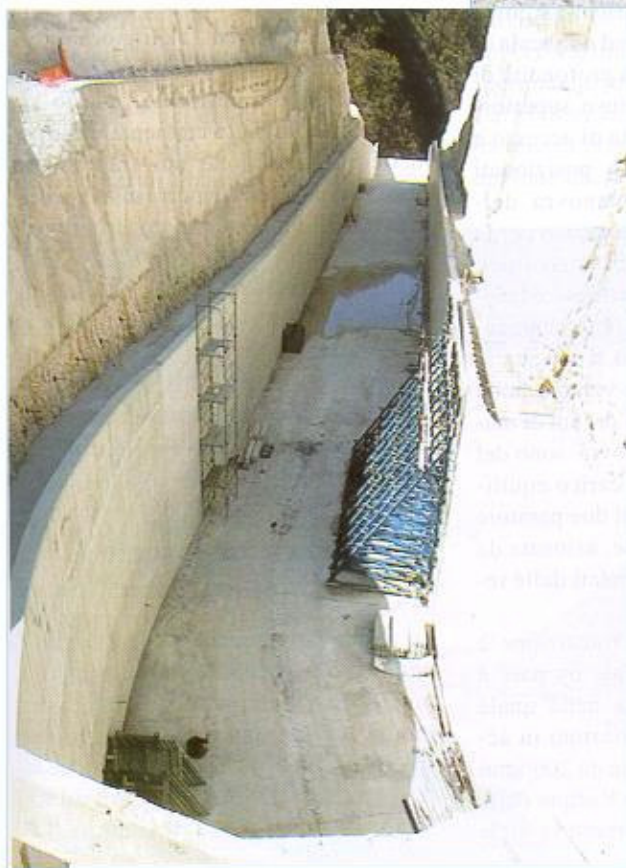
La difficoltà di esecuzione è stata determinata dal dover lavorare in alveo. Per mettersi al riparo dalle portate normali è stata costruita una doppia tubazione in acciaio della lunghezza di circa 100 mt, dello spessore di 9 mm e diametro 900 mm. Le tubazioni sono state intestate a monte in una diga di sbarramento provvisoria avente la funzione di raccogliere le acque ed incanalarle, mentre durante il percorso per non interferire considerevolmente con la costruzione delle opere le tubazioni sono state poggiate su castelletti di tubi innocenti.

Questa soluzione ovviamente non ci ha messo al riparo dalle portate eccezionali che si sono verificate durante la costruzione e che ha determinato numerosi allagamenti delle fondazioni con conseguente sospensione delle lavorazioni, e ritardi nel programma di avanzamento delle lavorazio-

ni. Tale aspetto ci obbligava a seguire le fasi di lavorazione in maniera dettagliata affinché nei periodi a rischio le lavorazioni e le attrezzature fossero disposte in modo tale che un evento eccezionale non determinasse danni consistenti.

La struttura è costituita da un blocco di calcestruzzo che digrada verso l'alto, da altri tre macro conci che costituiscono la vasca di dissipazione ed il concio di raccordo con il canale Quirino in cls le cui pareti costituiscono l'appoggio all'impermeabilizzazione di tenuta.

Il blocco di calcestruzzo ha dimensioni di base 25x25 metri e digrada verso l'alto dal lato monte con gradoni della dimensione di mt 3x3. Il calcestruzzo utilizzato ammonta a circa 18.000 mc. La Diga è suddivisa in due conci al fine di aumentare le fasi di getto, e quindi ridurre il calore di idratazione, e quindi le fessurazioni, che si generano durante la presa del calcestruzzo. All'interno della diga è presente un cunicolo che attraverso due accessi posti sui due lati in sommità, permette l'ispezione della



fondazione e il controllo delle filtrazioni. Sul piano delle fondazioni sono state realizzate delle iniezioni di tenuta al fine di garantire il perfetto contatto tra i calcarì ed il getto massivo di calcestruzzo. L'opera è dotata di uno sfioro curvilineo che permette all'acqua di distaccarsi dalla parete verticale ed effettuare il salto per la dissipazione dell'energia.

La vasca di dissipazione ha il piano di fondazione coincidente con quello della diga in cls. La sua forma è funzione della geometria del luogo, pertanto risulta deviata rispetto al corso dell'acqua. La vasca di dissipazione è dotata di un rostro posto in posizione frontale attraverso il quale nei periodi di piena l'acqua è costretta ad effettuare il passaggio subendo un salto che determina una ulteriore perdita di energia. Tutte le pareti rocciose insistenti sulla diga a gravità sono state consolidate attraverso in intervento spinto fatto di rete parassi, bulloni attivi tipo dywit, e pannelli ad alta resistenza al fine di preservare le opere da eventuali rilassamenti e distacchi della roccia.



La cava Defenza

Per consentire la costruzione dell'opera è stata necessaria la coltivazione di una cava di calcare posta nelle immediate vicinanze dell'opera. La eccellente qualità del calcare ha permesso l'utilizzo del materiale sia per la costruzione del corpo diga che per la produzione degli inerti necessari per il confezionamento del calcestruzzo e del conglomerato bituminoso. La metodologia di coltivazione è stata studiata al fine di poter ottenere senza successive lavorazioni il materiale in curva granulometrica idonea per la posa sul rilevato diga. A seguito degli studi e delle volate sperimentali si è stabilito sia il passo di perforazione, una maglia di 2,4x2,4 mt. che il dosaggio di esplosivo a ml, nell'ordine di 0,33 kg a mc.

Di volta in volta, a seconda delle esigenze particolari che si venivano a determinare in cantiere, la volata veniva tarata al fine di restituire la tipologia di materiale di cui si aveva più bisogno.

La produzione giornaliera media si è attestata nell'ordine di 5000 mc di materiale calcareo prodotto, con un consumo di esplosivo di circa 15 qli/giorno.

La metodologia di coltivazione ha privilegiato l'approfondimento, questo sia per ridurre l'impatto ambientale che per mettere disposizione un straordinario serbatoio nel quale, riporre alla fine delle lavorazioni, l'enorme quantitativo di materiale proveniente dagli scavi di fondazione. Infatti dopo aver estratto circa 1 milione di metri cubi di calcare la dimensione della cava risulta particolarmente contenuta ed il suo ripristino già realizzato ha permesso di effettuare un intervento in linea con le esigenze ambientali dell'area.

La strada circumlacuale e opere complementari

La strada circumlacuale corre lungo il perimetro dell'invaso a circa 8 metri a monte. La strada permette l'accesso a tutto l'invaso nonché a tutti i terreni adiacenti l'invaso. Essa realizza due attraversamenti di notevole entità sul Rio Vivo e sul Torrente San Giorgio. Tali attraversamenti sono realizzati attraverso

Lo scarico di fondo e la presa

Le opere sono costituite da un torrino di imbocco a pianta quadrata delle dimensioni di 9,5x9,5 mt e con soglia a quota 814 che è suddivisa in 8 luci di 3 mt di base e 3,90 mt di altezza.

La quota 814 determina la quota dell'invaso morto che ha capacità di circa 3 milioni di mc.

Al torrino segue la galleria a sezione circolare del diametro di 4,8 mt, costituita da un primo tratto di galleria artificiale di circa 25 mt, da un tratto di circa 200 mt di galleria naturale nella quale l'acqua è in pressione, un tratto di circa 17 mt di galleria naturale nella quale sono posizionati gli organi di manovra e un ulteriore tratto di galleria a pelo libero che recapita le acque nella forra del Quirino, per un totale complessivo di circa 335 mt di galleria.

A monte ed a valle delle paratoie sono posizionate delle transizioni blindate che consentono di passare dalla sezione circolare alla sezione rettangolare, in corrispondenza delle paratoie aventi una sezione utile di 2,10 mt x 3,20 mt. La camera delle paratoie si trova a circa 226 mt dall'inizio della galleria a sezione circolare e a circa 196 mt dalla fine della galleria. In corrispondenza delle

paratoie è stato realizzato un pozzo di accesso che consente di accedere dal piazzale della casa di guardia alla camera delle valvole. Questo pozzo, nel quale è posizionato un montacarichi-ascensore della portata di 600 kg ed una scala di accesso metallica, ha una profondità di 86,15 mt. Il pozzo è chiuso superiormente da una camera detta di accesso e manovra, nella quale sono posizionate le apparecchiature di manovra dell'ascensore, un paranco elettrico per la movimentazione dei pezzi meccanici, tutte le apparecchiature elettriche ed oleodinamiche necessarie al funzionamento delle paratoie. Il pozzo si innesta al fondo sulla camera delle valvole nella quale sono posizionate gli organi di manovra. Tali organi di manovra sono del tipo a strisciamento ed a carico equilibrato. Infatti sono presenti due paratoie una a monte ed una a valle, azionate da pistoni oleodinamici comandati dalle relative centraline.

A cavallo della zona di transizione è posizionato il by-pass. Tale by pass è costituito da una galleria nella quale sono posizionate delle tubazioni in acciaio del diametro variabile da 2000mm a 1500mm che prendendo l'acqua dalla galleria in pressione la portano verso le tubazioni di presa.

so la posa di tubazioni armco di notevole dimensione accostate e sovrapposte al fine di consentire il deflusso delle acque. La lunghezza della strada è di circa 3,5 km e risulta quasi tutta a mezza costa. Essa è stata lasciata bianca per consentire una facile e spedita manutenzione essendo interessata da un notevole transito di mezzi agricoli.

Tra le opere complementari sono da annoverare i canali San Giorgio e Quirino. Tali canali hanno la funzione di convogliare le acque provenienti dai rispettivi torrenti e attraverso delle opportune vasche permettere lo sfioro dell'acqua sul manto bituminoso. Tali canali realizzati in calcestruzzo armato esplicano la loro funzione solo nella fase di riempimento dell'invaso, quando il livello delle acque di scorrimento risultano alla quota del manto bituminoso.

Il canale sul torrente San Giorgio ha una sezione rettangolare con dimensione di base pari a mt 6,00 ed altezza pari a 5 mt, il paio di scorrimento ha pendenza media del 2%. Il canale sul torrente Quirino invece ha una sezione rettangolare con dimensioni di base pari a mt. 6 e altezza delle sponde pari a 8 mt, tale canale taglia numerose curve di livello, pertanto per superare il dislivello senza inclinare troppo la linea di scorrimento sono stati realizzati dei salti e delle vasche



La Diga di Arcichiaro

- ▶ Ente Committente E.R.I.M. ENTE RISORSE IDRICHE MOLISE
- ▶ Direttore di Cantiere Dott. Ing. Gennaro Fiscina
- ▶ Responsabile della Produzione Geom. Francesco Casoni
- ▶ Capocantiere Geom. Maurizio Pisano
- ▶ Responsabile alla posa della impermeabilizzazione Dott. Ing. Diego Fiscina
- ▶ Progetto e Direz. Lavori Dott. Ing. Giorgio Pietrangeli / Dott. Ing. Antonio Brasca
- ▶ Ingegnere Capo Dott. Ing. Ezio Maria Trotta
- ▶ Responsabile del procedimento Geom. Francesco Gallo

aventi la funzione di dissipare l'energia e consentire, attraverso il rallentamento della vena fluida, il deposito del materiale solido trasportato.

Conclusioni

La costruzione di un'opera così complessa in tempi ridottissimi ed in condizioni ambientali particolari ha messo a dura prova l'organizzazione di cantiere che ha sviluppato nel corso delle lavorazioni una specializzazione elevata nel confrontarsi con problematiche piuttosto complesse quali quelle che interessano lavorazioni così specialistiche. Le sperimentazioni di idonee soluzioni nell'affrontare le problematiche quotidiane ha reso interessante e stimolante la conduzione dei lavori.

L'elevata autonomia del cantiere si è resa necessaria per poter rispettare i tempi contrattuali e dare l'opera compiuta. L'elevato grado di interrelazione tra le diverse parti dell'opera e tra le diverse tipologie di lavoro, quali movimenti terra, manti bituminosi, opere in calcestruzzo armato, apparecchiature elettriche, oleodinamiche ed elettroniche, ha richiesto competenze specifiche di notevole portata. Il compito proibitivo che ci si presentava alla consegna dei lavori ci ha spinto ad affrontare il tutto con notevole impegno e determinazione il che ha determinato una notevole soddisfazione nel completare un'opera così importante. Il nostro particolare ringraziamento va a tutti coloro che hanno preso parte al processo produttivo, alla Direzione Lavori "Studio Pietrangeli" che ci ha assistito durante tutte le fasi costruttive, all'Ente Committente E.R.I.M., all'ing. Capo, alla Commissione di Colludo che nei momenti di difficoltà hanno fatto sentire la loro autorevole presenza. ■

Collaboratori

MOVIMENTO TERRA
A.T.I. CO.GE. Srl
S.CO.GE. Srl
Edil.fuza Srl
Fusco Gennaro Srl

OPERE COMPLEMENTARI
A.T.I. CPS COSTRUZIONI Srl
Fusco Gennaro Srl

SONDAGGI E CONSOLIDAMENTI
GEOLAB

CONGLOMERATI BITUMINOSI
SIEFIC Spa

ATTREZZATURE E KNOW-HOW
IMPERMEABILIZZAZIONE
WALO Bertschinger AG

ORGANI DI TENUTA
F.lli BARUZZI

IMPIANTI ELETTRICI
FUR.SOL Srl

STRUMENTAZIONE DI CONTROLLO
PIZZI