

# **Realizzazione di tiranti all'interno del pozzo di manovra del Serbatoio di Vernago**

**Baldovin E.**

Geotecna Progetti s.r.l. – Milano

**Maestri M.**

A.E. S.p.A. – Bolzano

**Martini G.**

Geotecna Progetti s.r.l. – Milano

## SOMMARIO

A seguito dei primi invasi dopo il sovrizzo negli anni '60 della Diga di Vernago in Val Senales, le coperture detritico-glaciali del versante meridionale del serbatoio sono state interessate da fenomeni deformativi che hanno provocato una lesione del pozzo di manovra, al contatto roccia- materiali sciolti di copertura. Ciò ha reso necessario negli anni '80 un rinforzo della struttura, realizzato con un'incamiciatura interna in calcestruzzo armato e l'applicazione di tiranti suborizzontali, subverticali e verticali. Poiché le deformazioni proseguivano, dopo approfonditi studi ed indagini, a partire dal 2000 sono stati progettati e realizzati ulteriori e più radicali interventi di stabilizzazione, comprendenti il prolungamento delle tratte di imbocco delle gallerie di scarico e derivazione e la formazione di una mantellata di ricalzo al piede del versante. Il pozzo è stato altresì blindato nella parte inferiore. Essendosi nel frattempo manifestato un progressivo detensionamento dei tiranti esistenti per problemi di corrosione, nel 2008 e 2009 si è quindi proceduto al parziale reintegro degli stessi. La memoria, inquadrato il contesto geologico, stratigrafico e geotecnico del versante, descrive sinteticamente gli interventi eseguiti e fornisce indicazioni sulle modalità e le attrezzature con cui si è proceduto al ripristino dei tiranti in un ambiente chiuso e profondo di dimensioni estremamente ridotte. Segue un breve commento sulle prime misure dopo i lavori.

Parole chiave: deformazione, lesione, mantellata, pozzo di manovra, tirante

## 1 GENERALITA'

Il Serbatoio di Vernago (Figura 1), realizzato negli anni '50 e '60 nell'Alta Val Senales (Bolzano) dall'Azienda Energetica di Bolzano S.p.A. mediante una diga in materiali sciolti a nucleo, è un invaso stagionale ad uso idroelettrico.

Lo sbarramento è stato costruito in due fasi e presenta un'altezza di 65 m, con capacità di 41.700.000 m<sup>3</sup> e massimo invaso a quota 1692.0 m s.m.

Gli scarichi e la derivazione sono concentrati nella sponda meridionale e sono realizzati in galleria.

Comprendono lo scarico di fondo, lo scarico di alleggerimento, dal quale si stacca la derivazione e lo scarico di superficie a calice.

La regolazione è effettuata mediante un sistema di paratoie accessibili collocato alla base di un pozzo di manovra, ubicato sul versante meridionale circa 250 m a monte della diga.

Il fondo della struttura è radicato in roccia, ma la canna si sviluppa in materiali sciolti per un'altezza di oltre 30 m, fino a quota coronamento.

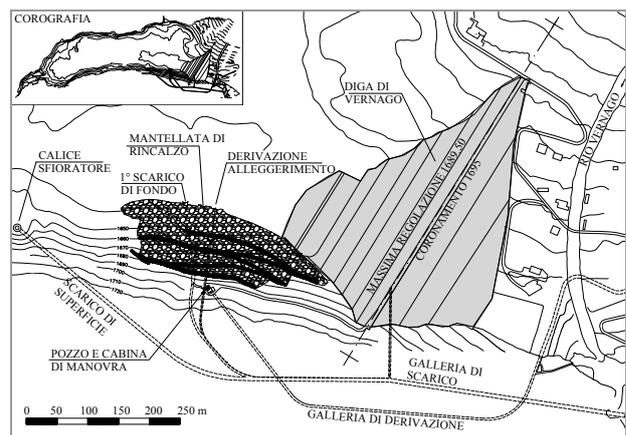


Figura 1 – Serbatoio di Vernago

La struttura del pozzo è in calcestruzzo massiccio, solo parzialmente armato e contiene, sviluppati su tutta l'altezza, il vano paratoie ed il vano griglie ed ha, come corpo adiacente, una gabbia scale.

Il progredire di alcune lesioni all'interno della canna paratoie del pozzo di manovra determinò, all'inizio degli anni '80, la necessità di un intervento articolato di rinforzo strutturale e di tirantatura (Figura 2).

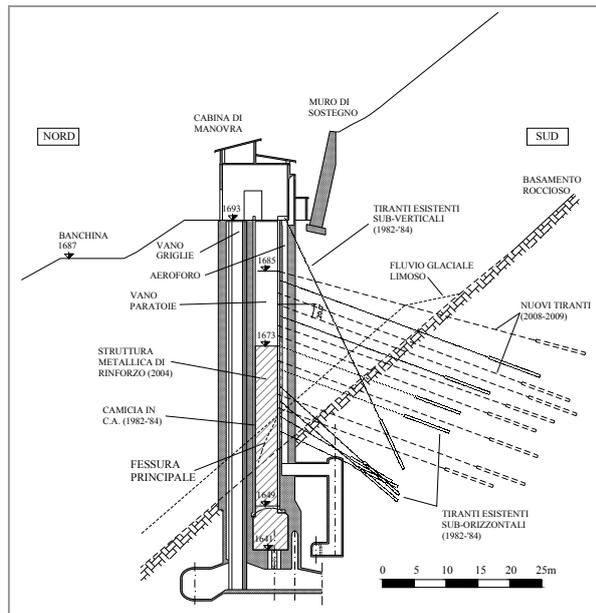


Figura 2 – Sezione verticale del pozzo di manovra

Dopo una prima fase durante la quale il comportamento fu relativamente soddisfacente, il prosieguo dei fenomeni deformativi richiese l'applicazione di un maggior contrasto all'azione spingente della coltre fluvio-glaciale superficiale, che tendeva a sollecitare in misura eccessiva il pozzo. Tale necessità è apparsa urgente a seguito dei risultati di un controllo a campione del Marzo 1998, che ha evidenziato un diffuso detensionamento dei tiranti suborizzontali.

Su iniziativa del Concessionario A.E. S.p.A. di Bolzano sono state eseguite approfondite indagini geognostiche e geotecniche, interpretazioni dei dati di monitoraggio, modellazioni numeriche e studi, volti all'inquadramento del problema ed alla individuazione degli interventi migliorativi da mettere in opera.

Effettuato nel 2000 un collaudo generale dei tiranti con ritesatura, vennero altresì definite le linee prioritarie di intervento idonee ad aumentare i margini di sicurezza della zona di imbocco degli scarichi e del versante, senza penalizzare eccessivamente la produzione idroelettrica dell'impianto. Lo stesso Concessionario ha poi eseguito negli anni successivi importanti lavori di sistemazione consistenti nel prolungamento delle gallerie di presa e scarico, nel ricalzo della sponda su uno sviluppo di circa 250 m, nel rinforzo della parte inferiore del pozzo con un rivestimento metallico ed infine nel reintegro di parte dei tiranti suborizzontali. Il presente contributo affronta in particolare quest'ultimo aspetto, descrivendo le modalità e le attrezzature innovative con cui si è proceduto nel 2008-'09 alla realizzazione di dispositivi completamente protetti in un ambiente chiuso e profondo, di dimensioni estremamente ridotte.

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO DELLA SPONDA

La ricostruzione stratigrafica e le caratteristiche geotecniche dei terreni di sponda sono illustrate nella sezione riportata in Figura 3, localizzata in vicinanza al pozzo di manovra e sviluppata, in senso trasversale al versante, tra la quota 1830 m s.m. ed il fondo lago.

Essa è il risultato di tutte le indagini esperite, che hanno portato a distinguere quattro unità principali, di cui tre appartenenti al "quaternario" di copertura ed una al bed-rock di base.

Procedendo dalla superficie verso l'interno del versante sono state riconosciute le unità principali descritte nel seguito.

### Quaternario

*unità 1)* Detrito di falda corticale aerato: è costituito, per uno spessore di 5÷7 metri, da depositi prevalentemente grossolani, soprattutto ghiaie, sabbie, ciottoli e blocchi spigolosi con matrice fine da scarsa ad assente, aventi velocità sismiche  $V_p \sim 450$  m/s. Per la resistenza al taglio sono stati assunti i parametri  $c'=0$  kPa e  $\phi'=41^\circ$ ;

*unità 2)* Detrito di falda eterogeneo: è formato da depositi in prevalenza ghiaioso-sabbiosi con ciottoli in matrice fine da scarsa a localmente abbondante, relativamente più addensati rispetto ai precedenti ( $V_p = 1270 \div 1300$  m/s), in cui si rinvencono livelli o lenti, di spessore metrico, di sedimenti fini limosi e limoso-sabbiosi. Lo spessore dell'unità si aggira sui 15÷20 m circa. Per la resistenza al taglio sono stati considerati  $c'=0$  kPa e  $\phi'=38^\circ$ ;

*unità 3)* Complesso fluvio-glaciale e glaciale: comprende depositi di ghiaie limose, limi ghiaiosi, limi sabbiosi e, localmente, ghiaie ben cementate, caratterizzati, in genere, da elevata consistenza ( $V_p = 1600 \div 1700$  m/s). Si tratta di depositi misti fortemente eterogenei, sia in senso verticale che orizzontale, che contengono sempre una abbondante frazione fine. Per la resistenza al taglio sono stati assunti i parametri  $c'=0$  kPa e  $\phi'=35^\circ$ .

La permeabilità della coltre "quaternaria", che risente fortemente della spiccata eterogeneità granulometrica dei depositi, è stata schematizzata come decrescente dalla "unità 1" alla "unità 3".

### Substrato metamorfico di base

*unità 4)* Costituisce il bed-rock in cui è modellata tutta la sponda destra del bacino di Vernago ed è rappresentato da metamorfiti riconducibili principalmente a micascisti gneissici e gneiss micascistosi con granati e quarzo, in cui si riconosce una fitta scistosità orientata secondo una direzione media circa parallela all'asse vallivo (E-O). Il substrato roccioso presenta, in particolare nella zona circostante il pozzo di manovra, una corteccia superficiale più alterata e fratturata, dello spessore di circa 10÷20 m ( $V_p \sim 2500 \div 2600$  m/s), a cui segue, verso il basso, la formazione rocciosa inalterata caratterizzata da velocità sismiche superiori. Si tratta, nel complesso, di una roccia di elevata resistenza e tenacità a livello di matrice, ma con caratteristiche geomeccaniche fortemente influenzate, alla scala dell'ammasso, dalla presenza di discontinuità dovute

alla scistosità, molto pervasiva e continua, ed a varie famiglie di giunti e faglie più o meno sviluppate.

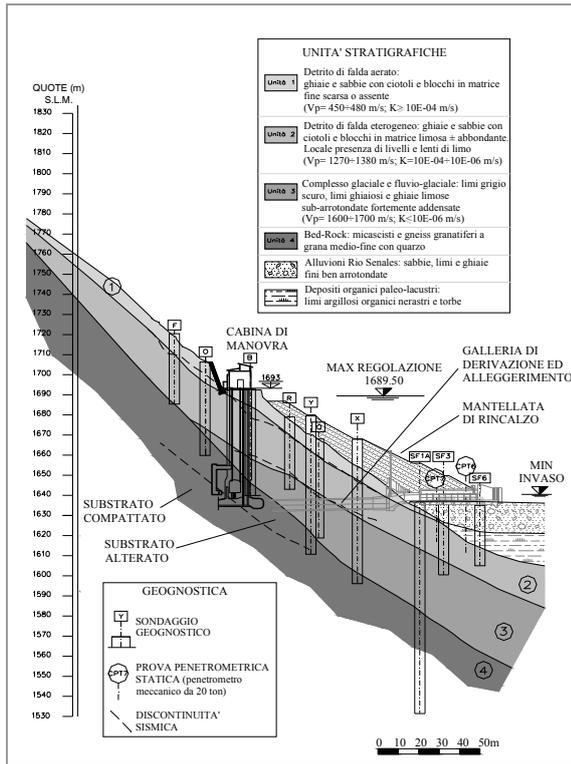


Figura 3 - Sezione geotecnica in corrispondenza del pozzo di manovra

### 3 RINFORZO STRUTTURALE DEL POZZO DI MANOVRA

Nel periodo 1983-'84 venne progettato ed eseguito un rinforzo strutturale del vano paratoie, comprendente il risarcimento della lesione principale al contatto materiali sciolti-roccia, tra le quote 1655 e 1661 m s.m., la realizzazione a tutt'altezza di una camicia interna in calcestruzzo armato spessa 35 cm, la posa di 8 tiranti verticali di serraggio interni alla camicia nonché, a contrasto della spinta del versante, di 7 tiranti sub-verticali con testate in sommità e di 56 tiranti sub-orizzontali con testate distribuite lungo la canna del vano stesso (Figura 2, 4, 7).

#### 3.1 Periodo 2000-2006

Nel 2000, in occasione delle operazioni di collaudo e ritesatura dei tiranti esistenti, si decise di monitorarne 7 mediante l'installazione di celle di carico per la registrazione in continuo della tensione: di queste C7, C1, C2, C3, C4 erano disposte su una sezione verticale lungo lo spigolo fra i lati disaeratore-monte, A1 sul lato disaeratore ed E2 sul lato monte (Figure 4, 7).

A partire dal 2001, inoltre, si manifestò, sugli stessi tiranti, un processo progressivo di detensionamento, con graduale rottura di numerosi trefoli. Nel Giugno 2005 venne eseguita una nuova campagna di indagini su 4 tiranti, di cui 3 monitorati (C1, C2, E2) ed uno no (B2).

Essa confermò la perdita di tensione/rottura dei trefoli subito dietro le piastre d'ancoraggio a causa della corrosione, ma anche la sostanziale tenuta dei bulbi di fondazione. Si intervenne quindi iniettando una sostanza anticorrosiva nel tratto iniziale dei tiranti esistenti.

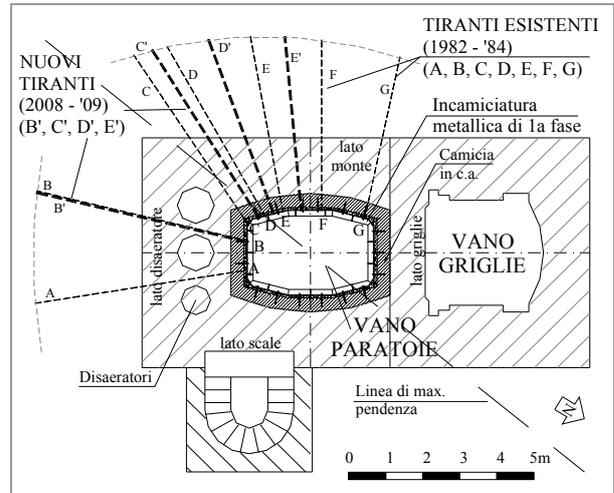


Figura 4 - Sezione orizzontale del pozzo di manovra

A circa 6 anni dall'installazione delle celle di carico, al leggero incremento del tiro in alcuni tiranti, dovuto agli spostamenti orizzontali intercorsi, si accompagnava una perdita di tensione (Figura 5) pari, complessivamente, a circa il 25%, imputabile alla rottura trefoli.

Tale fenomeno tendeva a modificare in maniera significativa lo stato tensionale della fascia orizzontale del pozzo di manovra lesionata che era stata riequilibrata con gli interventi di rinforzo del 1983-'84. Inoltre esso riduceva alle quote superiori l'effetto stabilizzante della mantellata completata nell'estate 2003.

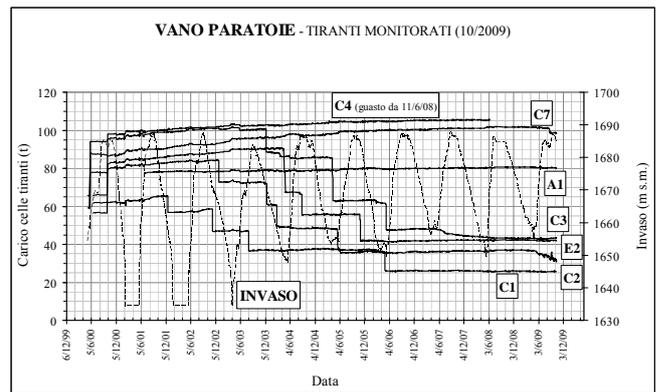


Figura 5 - Evoluzione del tiro nelle celle monitorate

#### 3.2 Previsioni per il medio termine

I dati forniti dal sistema di monitoraggio per i tiranti, in esercizio da più di 20 anni, resero urgente nel 2006 una previsione del comportamento degli stessi nel medio termine. Tale aspetto venne affrontato elaborando i dati

registrati dalle celle di carico dei 7 tiranti, assunti come rappresentativi dei 56 tiranti del vano paratoie, ed estrapolando delle curve di tendenza. La Figura 6 illustra le ipotesi esaminate, fornendo altresì indicazioni sugli effettivi sviluppi successivi, caratterizzati da una discreta tenuta dei tiranti esistenti.

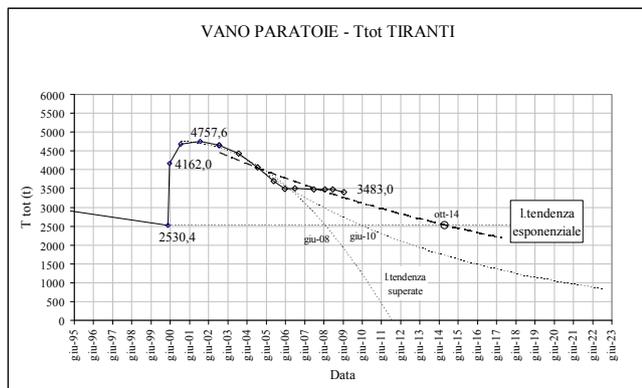


Figura 6 –Previsioni dell’evoluzione dell’azione totale nei tiranti

#### 4 INTERVENTI DI REINTEGRO DEI TIRANTI DEL POZZO

Il graduale progressivo detensionamento dei tiranti d’ancoraggio e gli scenari evolutivi ipotizzabili hanno determinato nel 2007 la decisione del Concessionario di procedere ad un parziale reintegro del dispositivo.

##### 4.1 Criteri di dimensionamento

Il principio base seguito per definire il numero dei nuovi tiranti è stato quello di ripristinare sul medio periodo il sistema di forze agente, a seguito degli interventi di rinforzo degli anni '80, sulle sezioni orizzontali del pozzo più sollecitate.

L’azione dei nuovi tiranti è stata quindi determinata in modo che la risultante delle forze residue, stimate, nei 56 tiranti esistenti e di quella complessiva del nuovo sistema non si differenziasse dalla risultante applicata al pozzo nel 1983-'84. In tal modo, mantenendo per i nuovi tiranti la stessa classe di tiro di quelli esistenti, si è fissato in 33 il loro numero. La posizione lungo la canna paratoie è stata necessariamente messa a punto considerando vari fattori, quali: la collocazione delle zone maggiormente detensionate, sia lungo l’altezza del vano che in senso planimetrico, gli spazi predisposti nell’incamiciatura metallica realizzata nel 2005 e la presenza dei tubi disaeratori. I nuovi tiranti sono stati disposti in piani verticali, orientati all’incirca nella direzione di massima pendenza del versante, al fine di contrastarne con maggior efficacia le spinte (Figura 4), curandone in particolare modo la giacitura spaziale in modo da non danneggiare gli elementi esistenti.

L’ubicazione delle piastre di ancoraggio dei tiranti esistenti e di quelli nuovi, sia monitorati che non, è illustrata nella Figura 7

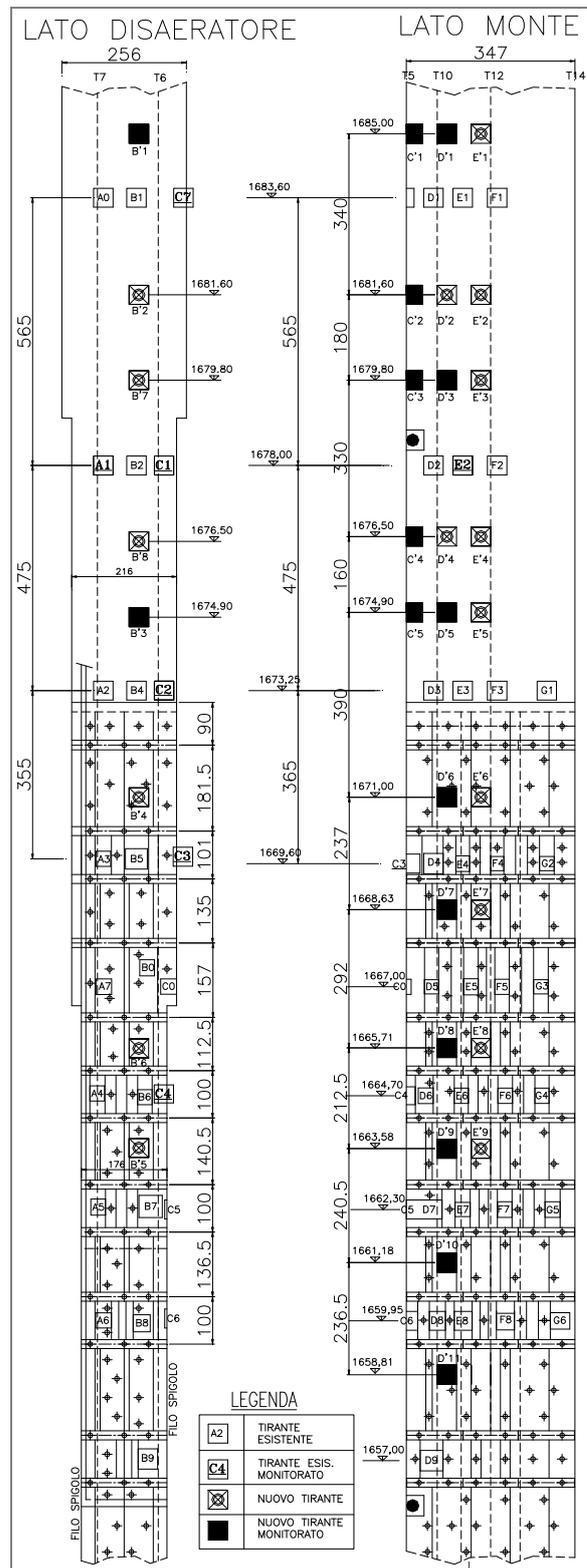


Figura 7 – Posizione teste tiranti all’interno del vano paratoie

##### 4.2 Caratteristiche nuovi tiranti

Gli aspetti progettuali, di collaudo e di controllo dei nuovi tiranti sono stati sviluppati con riferimento alle Raccomandazioni AICAP 1993 e, per la sola fase di riqualificazione di alcuni di essi, anche alla UNI EN 1537.

In relazione alle condizioni di utilizzo in ambiente umido ed alle problematiche di corrosione riscontrate, seppur a lungo termine, nei dispositivi esistenti, per i nuovi tiranti permanenti è stata adottata la tipologia a 7 trefoli standard in acciaio armonico da 0.6", parzialmente presollecitati e ritensionabili, viplati ed ingrassati nel tratto libero e scoperti lungo la fondazione.

Essi sono forniti di tubo valvolato coassiale per le iniezioni radiali, di tubo di raccordo, anello dielettrico e cappuccio di protezione in materiale plastico, entrambi in testata. Tali accorgimenti sono finalizzati ad evitare che si ripropongano problemi di corrosione all'attacco. Il carico ultimo  $N_p$  e di snervamento all'1%  $N_s$  sono, rispettivamente,  $N_p=1820$  kN e  $N_s=1610$  kN.

La guaina esterna, che isola totalmente l'insieme dei trefoli, è dotata all'interno di tampone per la realizzazione del bulbo di fondazione.

Le iniezioni vengono eseguite con l'ausilio di un tubo coassiale, in prima fase a refluentamento e, a maturazione avvenuta, in modo selettivo mediante un doppio pistoncino, con possibilità di ripetizione.

I tiranti sono inclinati verso il basso mediamente di 20° sull'orizzontale ed hanno una lunghezza che varia dai 25 m ai 50 m circa. I bulbi di fondazione sono stati spinti in roccia profonda, oltre quelli esistenti.

La lunghezza di ancoraggio di 9.3 m è stata determinata a partire dal valore della tensione tangenziale ultima bulbo-roccia  $\tau_{fu}$ , assunto sulla base del comportamento storico dei bulbi esistenti e comprovato dai risultati delle prove preliminari. I diametri minimi di perforazione necessari risultano 168 e 145 mm, rispettivamente nei tratti rivestiti in detrito ed in quelli in roccia.

Data l'assoluta importanza che il sistema d'ancoraggio riveste per il pozzo si è stabilito di monitorare 16 dei 33 tiranti (Figura 7) con cella di carico (capacità fino a 1500 kN) con sistema acquisizione dati in automatico.

#### 4.3 Programma dei lavori

Il programma dei lavori, comprendente l'esecuzione e le prove sia per i tiranti preliminari, realizzati all'esterno del pozzo, sia per i tiranti all'interno del pozzo, è stato studiato in modo da eliminare, o ridurre al minimo, ogni interferenza con la normale gestione dell'impianto. Allo scopo l'intervento è stato suddiviso in due fasi. La prima, nel periodo marzo-giugno 2008, prevedeva la posa di 18 tiranti e la seconda, tra aprile e giugno 2009, degli altri 15.

Per la messa a punto del programma sono state considerate le curve più significative delle variazioni dei livelli dell'invaso degli anni precedenti.

Si è così individuata una sequenza di posa in opera che permettesse di realizzare "all'asciutto" i bulbi di fondazione e di scongiurare, con un buon margine di sicurezza, entrate d'acqua nei fori durante i lavori, garantendo, in tal modo, qualità e sicurezza.

#### 4.4 Modalità esecutive

Le operazioni di reintegro sono iniziate alla fine del 2007 con l'esecuzione delle prove su due tiranti

preliminari realizzati dal piazzale della cabina di manovra: la prima per verificare la tensione tangenziale limite convenzionale  $\tau_{fu}$  di aderenza bulbo-roccia e controllare la lunghezza della fondazione, la seconda per osservare, sulle 24 ore, il comportamento dell'ancoraggio alla forza  $N_Q$  corrispondente alla tensione ammissibile nei trefoli ( $N_Q=983$  kN, forza teorica di utilizzazione) e, successivamente, fino al tiro di  $0.9N_s=1449$  kN.

I risultati di entrambe le prove sono stati soddisfacenti.

Per le lavorazioni all'interno del pozzo, le cui dimensioni nette sono comprese tra 3.6x2.6m nella sezione in sommità e 3.6x1.9m circa nella sezione di fondo, l'Impresa si è avvalsa di una originale piattaforma mobile a due livelli, appositamente realizzata, sollevata con l'ausilio del carroponte di servizio e fissata, di volta in volta, alla quota stabilita (Figura 8).

Il diametro e la lunghezza delle perforazioni, unitamente alla ristrettezza dell'ambiente chiuso in cui operare ad elevate profondità, hanno comportato la costruzione di un'attrezzatura particolare da parte di una Ditta altamente specializzata nel settore.



Figura 8 – Unità piattaforma-perforatrice

La macchina perforatrice è principalmente costituita da un mast da 2 m con avanzamento massimo di 50 cm, con testa rotante capace di produrre un momento torcente massimo di 720 daNm, posizionata al piano dell'operatore e motore elettrico da 55 kW collocato al livello sottostante. La Figura 9 mostra la perforatrice operativa nella parte alta del pozzo.

La movimentazione dei tiranti è avvenuta tenendo sospesi per l'estremità i trefoli e calandoli dall'alto fino al punto dove venivano introdotti nei fori d'alloggiamento.

Le iniezioni, eseguite all'interno del tubo coassiale valvolato, sono state effettuate inizialmente a refluentamento e, a maturazione avvenuta, in modo selettivo, valvola per valvola, con doppio pistoncino, con possibilità di ripetizione finale, ove necessario.

Tutti i tiranti sono stati collaudati con un carico di  $1.2N_Q$  e lasciati in opera con un tiro iniziale di 750 kN, pari a circa il 40% del carico ultimo  $N_p$ .

Su alcuni tiranti, che non avevano superato le verifiche di accettazione in fase di collaudo (una ricerca di archivio,

ancorché difficoltosa, degli equivalenti dati relativi ai tiranti esistenti aveva evidenziato l'esistenza di un'analogia problematica) sono stati eseguiti ulteriori cicli di carico-scarico secondo una procedura di riqualificazione, definita in fase di progetto a partire dai suggerimenti dati dalla UNI EN 1537.



Figura 9 – Perforatrice all'opera all'interno del pozzo

La condizione di buona ripetibilità del comportamento tiro-allungamento, richiesta dalla procedura di riqualificazione, è risultata sempre soddisfatta.

Al termine delle operazioni, nel Giugno 2009, i nuovi tiranti erano quindi tutti positivamente collaudati ed il tiro totale applicato al pozzo, pari alla somma delle forze residua e nuova, risultava essere di 5780 t, pari a circa il 20% in più del tiro massimo applicato al pozzo nel 1983-'84 (4760 t).

Per facilitare la movimentazione del cestello all'interno del vano paratoie le operazioni di tesatura di ciascun tirante sono state effettuate con 7 martinetti comandati da una centralina. In tale modo è stato possibile operare con fruste più corte e quindi meno invasive dello spazio disponibile.

#### 4.5 Prove di linearità

Sui tiranti D'9, E'8 e D'7, appartenenti al gruppo che ha soddisfatto la procedura di riqualificazione mediante cicli di carico-scarico, vennero eseguite, tra la fine di Aprile e metà Maggio 2009, prove di linearità all'interno dei fori di perforazione.

Lo scopo era quello di misurare, con metodologie attendibili e sperimentate, la geometria degli assi dei tiranti per ricercare quale tipo di problematiche esecutive fosse stato eventualmente incontrato in fase di perforazione e tentare, successivamente, di stimare i possibili attriti dovuti a deviazioni angolari, puntuali e/o distribuite, dell'asse del tirante.

Le prove, denominate di *borehole deviation* (BDVS), sono state eseguite introducendo nel foro una strumentazione che, con l'ausilio di sensori inclinometrici e di un magnetometro, è in grado di misurare, ad intervalli di 1 m lungo l'asse della perforazione, le deviazioni

planimetriche ed altimetriche in gradi sessadecimali, che vengono poi registrate da una centralina.

I positivi risultati dell'indagine hanno dato un utile contributo alla comprensione del comportamento tiro-allungamento, registrato in fase di collaudo dei tiranti. In generale sono state rilevate deviazioni angolari complessive degli assi di perforazione, come somma dei valori assoluti, che hanno giustificato i calcoli, seppur di prima approssimazione, degli effetti degli attriti.

Nella Figura 10 si riporta, come esempio, il grafico dell'elaborazione dei dati BDVS dell'asse del tirante D'9.

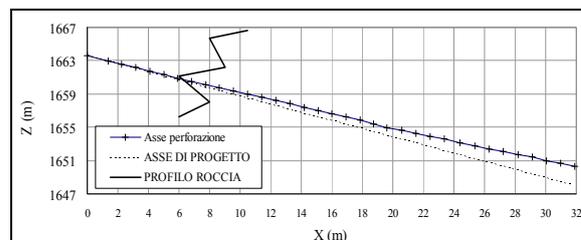


Figura 10 – BDVS – Confronto asse perforazione/teorico tirante, relativamente al tirante D'9

#### 4.6 Stima delle sollecitazioni sulla struttura

La Figura 11 mostra l'evoluzione, nel tempo, dei valori, stimati con un modello numerico, del momento flettente  $M$  nella sezione orizzontale del pozzo di massima sollecitazione, alla quota 1656 m s.m, dove in passato si sono manifestate le fessure principali nel vano paratoie.

Nel grafico sono riconoscibili i tratti relativi al periodo precedente l'installazione dei tiranti (1965-'83), a quello successivo alla loro posa (1983-'00), a quello dalla ritesatura del 2000 alle fasi di reintegro (2000-'08) ed all'ultimo, tratteggiato, fino al 2023, definito convenzionalmente di "medio termine".

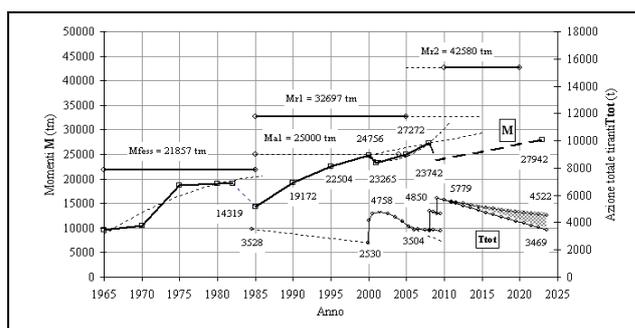


Figura 11 – Momenti  $M$  nella sezione di massima sollecitazione ed azione totale  $T_{tot}$  nei tiranti

Si è considerato che la tendenza incrementale del momento sollecitante diminuisca nel tempo assicurando comunque all'opera un coefficiente di sicurezza di 1.5 nei riguardi delle risorse ultime della sezione.

Nella figura è stato anche inserito l'andamento dell'azione totale del sistema di tiranti Ttot. Si notano, in particolare, dopo l'anno 2000, il tratto discendente rappresentativo della fase di detensionamento seguita alle operazioni di ritesatura, i due gradini relativi alle fasi di reintegro del 2008-'09 e la "forchetta" con la quale si è definita la regione all'interno della quale si stima si collochi l'assestamento della curva di Ttot nel medio termine.

#### 4.7 Stima delle tensioni nella struttura

A partire dalle sollecitazioni sul manufatto, stimate sulla base delle caratteristiche geometriche e di resistenza della sezione, considerando anche la presenza del rinforzo metallico installato nel 2004, si sono valutate, in modo semplificato, le tensioni nel calcestruzzo e nell'acciaio d'armatura.

Pur nell'incertezza dei comportamenti, a medio termine si prospettano valori compatibili con le caratteristiche dei materiali.

Sullo spigolo di valle del vano griglie (lato Nord) la compressione massima nel calcestruzzo si aggirerebbe, alla fine del medio termine (2023), intorno a valori ammissibili facendo ritenere, in considerazione del carattere puntuale dello sforzo in una zona a forte spessore, che le condizioni statiche del pozzo risultino ancora accettabili.

La tensione massima attesa nelle armature nel medio periodo rimane ben al disotto dei valori di soglia.

Tensioni decisamente inferiori, in linea con i limiti posti dai connettori, sono previste nelle lamiere del rinforzo metallico nel vano paratoie.

## 5 MONITORAGGIO E SORVEGLIANZA

Con il completamento dell'intervento, avvenuto nella primavera 2009, il sistema di ancoraggio del pozzo di manovra è stato integrato, nel giro di due anni, con 33 tiranti permanenti: 18 nel 2008, più 15 nel 2009.

Nei mesi di Marzo e Luglio 2009 sono stati attivati, su un totale di 16 elementi, i sistemi di rilevazione automatica in continuo rispettivamente del primo e secondo gruppo di dispositivi, dopo aver operato su alcuni di essi una riduzione del tiro finalizzata ad un riallineamento alle previsioni progettuali.

Nel corso del primo anno di rilevamento, fino al Giugno 2010, la quasi totalità delle celle ha registrato regolarmente lo stato tensionale: come si vede nella Figura 12, alcuni tiranti seguono i cicli d'invaso, e deformativi, mentre altri presentano una leggera tendenza alla diminuzione.

Pur essendo necessario continuare a monitorare il comportamento del complesso pozzo-versante, verificandone le evoluzioni, il prevedibile stato del pozzo consentirà ampi margini temporali (almeno un decennio) per valutare su quale soluzione a lungo termine puntare, qualora il "trend" deformazionale non diminuisse in misura significativa.

Va segnalato al riguardo che il ciclo di esercizio 2009-'10, in concomitanza con una gestione prudentiale dell'invaso, si è caratterizzato per il sostanziale annullamento degli spostamenti incrementali residui segnalati dal pendolo, pur con oscillazioni in relazione ai livelli stagionali del serbatoio.

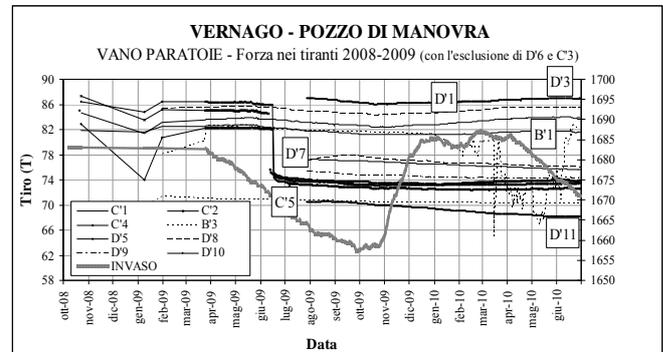


Figura 12 – Evoluzione della forza di tiro nei nuovi tiranti

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La memoria descrive l'operazione di reintegro del 50% dei tiranti d'ancoraggio, eseguita nel 2008-'09, all'interno del pozzo di manovra della Diga di Vernago in Val Senales.

Tale intervento si è reso necessario per garantire il prosieguo regolare delle prestazioni statiche funzionali dell'opera e si inserisce tra gli interventi di sistemazione e rinforzo del pozzo cominciati, agli inizi degli anni 2000, con la realizzazione della mantellata di rinalzo e proseguiti, nel 2004, con il risarcimento delle fessure, l'incamiciatura metallica e l'impermeabilizzazione.

I lavori, che pur erano resi difficoltosi dall'angustia e dalla profondità degli spazi disponibili all'interno del vano paratoie, si sono svolti con regolarità ed in sicurezza.

Ciò è stato possibile grazie all'utilizzo di macchinari, realizzati allo scopo, con tecnologie d'avanguardia e di materiali d'alta qualità; tra questi i tiranti, completamente protetti e separati dall'ambiente esterno, estremamente aggressivo.

Il tiro complessivo applicato alla struttura è risultato, al termine dei lavori, leggermente superiore al valore massimo fornito dal sistema dei tiranti esistenti dopo la ritesatura del 2000.

Tali tiranti, che pure sono operativi da quasi 30 anni, possono beneficiare del contributo fornito da quelli nuovi, venendosi così a determinare un rallentamento del processo di detensionamento, con ovvii benefici per la stabilità del pozzo negli anni futuri.

A conclusione della posa in opera e collaudo degli ancoraggi, compresi i sistemi di rilevazione in automatico, i dati di monitoraggio del pozzo hanno finora rilevato, per il primo anno di esercizio, un significativo miglioramento dell'evoluzione delle deformazioni.

## PERSONALIA

Committente:  
A.E. S.p.A (Bolzano)

Direttore dei Lavori:  
Dott.Ing. M. Maestri (A.E. S.p.A. – Bolzano)

Progettazione dell'intervento:  
Geotecna Progetti s.r.l. – Milano

Impresa Esecutrice:  
Bilfinger-Berger S.p.A.

## RINGRAZIAMENTI

Gli Autori ringraziano l'AE S.p.A. di Bolzano che ha permesso la pubblicazione di questo articolo.

## BIBLIOGRAFIA

- Croce A., Martinelli D., 1978. *Il sovrizzo della Diga di Vernago e le opere di fondazione durante 20 anni di esercizio*. Atti del XIII Convegno Nazionale di Geotecnica, Merano 1978, pp.137-145
- Baldovin E., Chissale' L., Morelli G.L.-2007. *Stabilizzazione e controllo del versante meridionale della Diga di Vernago*. Atti del XXIII Convegno Nazionale di Geotecnica, Padova-Abano Terme 2007, pp.131-138
- Baldovin E., Martini G., Morelli G.L.-2008. *Vernago Reservoir southern slope stabilization and operation shaft reinforcement*. 76<sup>th</sup> Annual Meeting ICOLD, Sofia 2008
- Baldi A.M., Baroni C., Braga G., Carton A., Maestri M., Morelli G.L., Piccio A., Pilla G. -2009. *Indagini geologiche, geofisiche, e radiometriche per lo studio della DGPV del lago di Vernago*. Atti del III Congresso AIGA, San Giovanni Valdarno 2009

## ABSTRACT

### ANCHOR CABLES EXECUTION IN THE VERNAGO RESERVOIR OPERATION SHAFT

Keywords: deformation, structural damage, stabilizing embankment, operation shaft, cable

In the 60's, after the initial impounds of Vernago Dam in Senales Valley (Bozen-Italy), relevant deformations of the southern slope of the reservoir, involving the cortical detritic-glacial soils, originated some structural damages in the deep operation shaft, located 250 m upstream of the dam.

The damages interested the structure at the passage between the bed-rock and the upper loose deposits.

Such phenomena obliged in the 80's to realize a reinforced concrete interior lining of the gates section of the shaft and to connect it to the rock with a system of 56 sub-horizontal and 7 sub-vertical anchor cables. Furthermore a vertical system of 15 cables acting between the top and the bottom of the shaft was executed in order to restore the compression of the structure.

Since the beginning of 2000, as the deformations continued, several studies and investigations have been developed with the purpose to better understand and contrast the phenomena. The design and the stabilization works, i.e. the upstream extension of the outlet and derivation tunnels and the reinforcement of the slope in front of the operation shaft with a rockfill embankment, followed between 2000 and 2003.

In 2004 the deeper part of the gates shaft has been strengthened with an interior steel lining 18 mm thick.

Due to a progressive decrease of the tension of the existent sub-horizontal anchor cables, mainly for the steel corrosion in proximity of the heads, in 2008-'09 new cables have been installed inside the gates shaft.

The paper, after a synthetic description of the geological and geotechnical context of the southern slope, illustrates the design and the activities developed to reintegrate such group of 33 new cables.

A particular remark is given to the special equipments adopted to operate safely in a closed and narrow deep space. A brief comment regarding the first monitoring data after the works is added.