

## INFORMAZIONI COMPLEMENTARI

### ***Conseguenze del prosciugamento dei massicci rocciosi***

Le misurazioni delle deformazioni effettuate con i pendoli alla diga di Zeuzier durante l'ultimo trimestre del 1978 avevano evidenziato alcune deformazioni inabituali. A seguito di queste deformazioni, la diga è stata seriamente danneggiata al punto che si è dovuto interrompere il suo normale esercizio per un lungo periodo. Dopo attenti controlli è emerso che le deformazioni subite dalla diga erano dovute ad un cedimento generale del terreno, a forma di conca, con un'estensione di circa 2-3 chilometri. Questo cedimento era a sua volta dovuto al prosciugamento della roccia a seguito dello scavo del cunicolo di sondaggio della galleria del Rawil. È stato riscontrato un cedimento di 13 centimetri a perpendicolo sulla diga e un riavvicinamento dei fianchi della vallata di 7-8 centimetri.

D'altro canto, l'esecuzione di livellamenti di precisione lungo la strada del valico del San Gottardo ha messo in evidenza lo stesso tipo di fenomeno di cedimento, la cui estensione massima pari a 11,5 centimetri è stata misurata nella regione di Sustenegg. È proprio in questa regione che sono situate due opere sotterranee molto conosciute, la galleria ferroviaria e la galleria stradale del San Gottardo.

### ***Cause dei cedimenti della roccia***

Lo scavo di una galleria in un massiccio roccioso crepato e saturo può modificare le condizioni idrogeologiche locali. Alcune percolazioni, anche di una certa entità, possono raggiungere la galleria e quindi ridurre la pressione dell'acqua nelle fessure su una zona estesa, con la loro conseguente chiusura. La presenza di lievi movimenti può provocare dei cedimenti in superficie, che comportano conseguenze negative su opere sensibili, come ad esempio le dighe a volta. Va notato che i cedimenti in questione prendono la forma di una conca, il cui punto più profondo può essere a perpendicolo sulla galleria. A seconda delle condizioni topografiche e geologiche, vi possono tuttavia essere delle asimmetrie nella ripartizione delle fessure.

### ***Conseguenze per il progetto AlpTransit***

Sulla base delle conoscenze e delle esperienze passate, gli organi federali interessati, ossia l'Ufficio federale delle acque e della geologia, competente per le questioni tecniche relative alla sicurezza degli impianti di accumulazione, e l'Ufficio federale dei trasporti, che segue lo svolgimento dei lavori di realizzazione del progetto AlpTransit, hanno ritenuto necessario, già nel 1992, prendere delle misure, considerata la possibilità che il caso della diga di Zeuzier possa ripetersi anche per gli impianti situati nelle vicinanze del tracciato delle gallerie del San Gottardo e del Lötschberg. Nell'approvare i progetti, il Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni (DATEC) ha stabilito gli obblighi e le competenze in relazione allo scavo di gallerie e alla sicurezza degli impianti di accumulazione.

Nei pressi del tracciato della galleria di base del San Gottardo si trovano le dighe a volta di Santa Maria, Curnera e Nalps della società Forze motrici del Vorderrhein, mentre nelle vicinanze della galleria di base del Lötschberg è situata la diga a volta di Ferden della Forze motrici di Lötschen SA.

L'esercizio degli impianti idroelettrici alpini, come quello delle Forze motrici del Vorderrhein, è stagionale. Il livello di riempimento dei bacini di ritenuta varia nel corso dell'anno. I bacini sono pieni in autunno (settembre, ottobre), mentre il livello del pelo dell'acqua si abbassa notevolmente in primavera (aprile, maggio). Il periodo dell'anno durante il quale il bacino di ritenuta è riempito quasi al massimo livello è quindi limitato. Per quanto concerne il bacino di Ferden, di capacità modesta, l'esercizio è settimanale e le variazioni del livello dell'acqua sono rapide e frequenti.

Per le autorità federali è importante che i lavori di scavo di gallerie, cunicoli e pozzi non abbiano conseguenze sugli impianti di accumulazione tanto in termini di sicurezza che di eventuali perdite di acqua dei bacini. Esse hanno inoltre deciso di istituire un sistema di sorveglianza globale sia come prova a futura memoria che come sistema di allarme. Grazie ad un'adeguata sorveglianza, sarà possibile individuare tempestivamente un eventuale movimento del terreno e una deformazione particolare delle dighe, delle loro fondamenta e dell'area circostante. È stato inoltre istituito un gruppo di esperti di diverse discipline diretto dall'UFAEG, il cui mandato è valutare tra l'altro il comportamento del massiccio roccioso grazie all'impiego di modelli sofisticati, nonché la sensibilità delle dighe ad eventuali movimenti delle loro fondamenta. È stato inoltre chiesto al gruppo di esperti di proporre l'impiego di mezzi supplementari per la sorveglianza degli impianti, sulla base dell'esperienza fatta alla diga di Zeuzier.

Lo sviluppo di un modello matematico ha permesso di simulare le modifiche delle condizioni idrogeologiche nei massicci rocciosi e di valutare l'estensione delle deformazioni. Va notato che l'inizio dei cedimenti in un determinato punto può essere in anticipo, contemporaneo o in ritardo rispetto al fronte di perforazione della galleria. È stata quindi anche esaminata l'evoluzione dei cedimenti in funzione dell'avanzamento del fronte di perforazione. L'impiego del modello matematico ha permesso di confermare la plausibilità dei cedimenti osservati nella regione del valico del San Gottardo e di trarre alcune conclusioni interessanti (influsso delle venute d'acqua proveniente dal massiccio roccioso e dalle zone alterate, estensione e effetto dell'abbassamento della falda libera).

È stato avviato uno studio sulla sensibilità delle dighe alle deformazioni eventuali delle loro fondamenta. Intanto va precisato che le dighe di materiali sciolti e le dighe a gravità sono opere meno sensibili ai cedimenti del terreno rispetto alle dighe a volta. Mentre i cedimenti a carattere uniforme non provocano danni particolari, le deformazioni di tipo differenziale (oscillazioni a livello delle fondamenta, avvicinamento o allontanamento dei fianchi della vallata) e l'"effetto cesoia" dei versanti nel senso della vallata possono provocare dei danni, come fessure e apertura dei giunti. Gli studi condotti hanno messo in evidenza un comportamento proprio ad ogni opera. I danni, anche se gravi, non comportano necessariamente la rottura dell'opera. Se necessario, si può effettuare un abbassamento del pelo dell'acqua o lo svuotamento possibilmente rapido del bacino, in quanto le opere soggette al controllo della Confederazione devono essere munite di organi di scarico, che permettono, insieme al turbinaggio, di mantenere abbassato il livello del bacino.

### ***Organizzazione generale della sorveglianza***

Allo scopo di raggiungere gli obiettivi fissati, è opportuno istituire una sorveglianza adeguata delle dighe e delle loro vicinanze, esterna e nelle gallerie.

I controlli presso la diga e nelle sue vicinanze rientrano nell'ambito del sistema di sorveglianza ordinario. Si tratta di controlli visivi e dell'attuazione di misure tramite dispositivi di controllo ad hoc. Questi ultimi corrispondono agli standard obbligatori per tutti gli impianti di accumulazione

svizzeri e possono ritenersi efficaci. I controlli e le misure sono eseguiti dal personale dell'esercente. Certe misure automatiche possono essere analizzate in maniera costante. Tutti i risultati, dopo una prima valutazione dell'esercente, sono inviati all'ingegnere incaricato della sorveglianza continua, che potrà giudicare se il comportamento della diga è normale. In passato questo sistema si è rivelato efficace, evidenziando comportamenti irregolari.

Per quanto riguarda la sorveglianza esterna, il dispositivo di controllo è stato esteso su una superficie maggiore, allo scopo di individuare un'eventuale deformazione in superficie conseguente ai lavori sotterranei nelle immediate vicinanze e nelle zone più discoste. Il dispositivo comprende misurazioni geodetiche come i livellamenti e misurazioni della distanza tra i fianchi della vallata e le fondamenta della diga. I livellamenti sono una misura prioritaria quale segnale di allarme, in quanto permettono di evidenziare i cedimenti. Una volta installati gli impianti di controllo supplementare, sono state effettuate delle misurazioni geodetiche per un periodo di un anno, al fine di valutare eventuali effetti stagionali e ottenere dati di riferimento prima dell'inizio dei lavori di scavo delle gallerie. Durante questi lavori, le misurazioni sono eseguite in funzione dell'avanzamento del fronte di perforazione del tunnel rispetto alle dighe o in funzione dell'eventuale sviluppo di deformazioni in superficie. La campagna di misurazioni più estese potrà essere protratta anche dopo l'ultimazione dello scavo della galleria per accertarsi che non vi sia alcun fenomeno differito. Tali misurazioni potranno essere definitivamente integrate nel dispositivo di controllo supplementare.

Infine, la sorveglianza nelle gallerie permetterà di prendere misure supplementari per evitare danni e ottimizzare i lavori di scavo. Di norma vengono eseguite perforazioni di sondaggio man mano che avanzano i lavori di scavo, al fine di conoscere le future condizioni geologiche e idrologiche. Dopo lo scavo vengono solitamente eseguiti dei rilevamenti. In caso di venute di acqua, è molto importante canalizzarle e misurarne la portata. A seconda della loro importanza, spetta al committente prendere le misure edilizie e di tamponamento, tramite iniezioni, allo scopo di ridurre le fessure e diminuire il rischio di cedimento del massiccio roccioso. L'UFAEG sarà tenuto al corrente delle condizioni geologiche e idrogeologiche constatate. Sulla base delle informazioni disponibili (in particolare per quanto concerne le portate delle venute d'acqua), potranno essere eseguite misurazioni geodetiche di controllo.

### ***Organizzazione della sorveglianza della galleria di base del San Gottardo***

Nell'approvare il progetto presentato, il DATEC ha previsto l'istituzione di un gruppo di accompagnamento diretto dall'UFAEG, allo scopo di garantire l'informazione reciproca e il coordinamento delle misure necessarie per assicurare la continuità dello scavo della galleria, senza mettere in pericolo la sicurezza delle dighe. Il gruppo di accompagnamento è composto da rappresentanti dei servizi federali competenti (UFAEG e UFT) e dalle parti interessate (AlpTransit Gottardo SA, Forze motrici del Vorderrhein). L'organo può inoltre fare delle proposte di strategia ed esprimersi sulle misure e i criteri volti ad evitare danni.

Oltre alle misure di sorveglianza ordinarie e alla loro estensione, la AlpTransit Gottardo SA e le Forze motrici del Vorderrhein hanno ritenuto necessario mettere in atto degli strumenti supplementari per la misurazione e la sorveglianza, allo scopo di poter valutare in anticipo le condizioni idrogeologiche nonché testare e prendere i necessari provvedimenti all'interno della galleria. È stata installata una rete di strumenti di misurazione geodetica permanente presso le dighe e nello loro vicinanze, completata da livellamenti e da misurazioni di punti isolati.

### ***Prime esperienze al Löttschberg***

Il primo cantiere aperto in prossimità di una diga nell'ambito del progetto AlpTransit è quello relativo al cunicolo di accesso di Ferden, per la costruzione della galleria del Löttschberg. La diga di Ferden si trova nel Löttschental.

Durante lo scavo del cunicolo di Ferden, lungo 4 chilometri, il committente ha installato diversi punti di misurazione della portata delle venute d'acqua. In generale, le misurazioni hanno dato risultati nettamente inferiori alle aspettative. Il committente ha inoltre presentato all'UFAEG un rapporto settimanale sulle misurazioni effettuate. Parallelamente all'avanzare del fronte di perforazione della galleria sono state eseguite sei campagne di misurazioni geodetiche. I livellamenti e le misurazioni delle distanze non hanno rilevato alcuna deformazione particolare.