

**RISTRUTTURAZIONE DELLA TRAVERSA DI MAZZÈ SULLA DORA BAL-
TEA
GLI STUDI PRELIMINARI, LE OPERE DI FONDAZIONE ED IL MONITORAG-
GIO DELLE STRUTTURE**

Balossi Restelli A., Rovetto E.

Studio di Ingegneria Civile, Dr. Ing. Achille Balossi Restelli, Milano

Bolognino B.

Direttore Associazione Irrigazione Est Sesia, Novara

Politecnico di Torino - Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili

SOMMARIO

La Traversa di Mazzè è costituita da uno sbarramento principale, dall'edificio della Centrale idroelettrica e di pompaggio e dallo scaricatore in sponda destra. Malgrado il suo funzionamento fosse regolare, negli anni 90 è apparsa evidente la necessità di una ristrutturazione generale dell'impianto e del suo ammodernamento funzionale. La campagna di indagini geognostiche ha evidenziato la necessità di consolidare le fondazioni della traversa e di realizzare uno schermo di impermeabilizzazione a monte. Gli interventi di consolidamento, realizzati mediante colonne jet grouting ed iniezioni di miscele cementizie e chimiche sono stati eseguiti tenendo sotto controllo i movimenti delle strutture. Il sistema di monitoraggio era gestito da una centralina di acquisizione collegata ad un P.C. predisposto per la gestione del software. Gli interventi in fondazione sono stati realizzati programmando le lavorazioni sia in funzione della risposta strumentale che in funzione dei dati registrati della centralina di iniezione, dati che hanno permesso di terminare i lavori senza provocare danni alle strutture che dovevano rimanere funzionali per garantire l'esercizio della traversa durante le stagioni estive.

Parole chiave: iniezioni, jet grouting, schermo di monte, traversa idraulica, monitoraggi.

1 GENERALITÀ

La traversa, costruita negli anni 1921-1922 nel letto della Dora Baltea nel territorio del Comune di Mazzè Canavese, è costituita da uno sbarramento principale (6 speroni in c.a., 5 setti intermedi e paratoie piane per la regolazione delle 10 luci da 6,76 m di larghezza ciascuna), dall'edificio della Centrale (dotata di turbine per la produzione di energia idroelettrica e alternativamente per il pompaggio dell'acqua nella rete irrigua della piana del Consorzio di Irrigazione Angiono Foglietti) e dallo scaricatore localizzato in destra orografica (anch'esso regolato da paratoie piane). Vedere figura n. 1.

Lo sbarramento è stato interessato anche, nella sua lunga vita, da due fenomeni di parziale sifonamento, verificatisi negli anni 1923-24 e 1939, a seguito dei quali è stato necessario realizzare un taglione di valle mediante cassoni in ferro e ricostituire l'alveo a monte dei cassoni; sono stati rinforzati gli speroni della traversa principale, prolungata la platea e sostituite le paratoie. In sponda destra, dove il fiume aveva esondato e creato un ramo secondario nel 1924, è stato realizzato lo scaricatore.

L'impianto, a partire dal 1993, è passato dalla gestione del Demanio e per esso della Delta Cogne S.p.a. a quella della Coutenza Canali Cavour con affidamento

particolare al Consorzio di Irrigazione e di Bonifica - Associazione Irrigazione Est Sesia di Novara.

Malgrado il suo funzionamento fosse regolare, è subito apparsa evidente la necessità di una ristrutturazione generale dell'impianto e del suo ammodernamento funzionale.

Sono stati allora intrapresi gli interventi qui di seguito elencati:

- studi preliminari ed indagini geotecniche delle formazioni sulle quali insiste l'opera;
- carotaggi attraverso le strutture portanti in c.a. degli speroni, dei setti e della Centrale;
- progettazione ed esecuzione dei trattamenti geotecnici di impermeabilizzazione e consolidamento delle fondazioni ritenuti indispensabili per la sicurezza delle attuali e future strutture.

Tali interventi sono stati completati entro l'anno 2004.

In futuro i lavori di riassetto funzionale saranno ulteriormente integrati da:

- prolungamento degli speroni per consentire la sostituzione delle paratoie piane con paratoie a settore di larghezza doppia (13,52 m);
- ammodernamento della Centrale, sostituzione delle turbine per la sola produzione di energia elettrica e costruzione in sponda sinistra di una nuova Stazione di

Sollevamento per l'irrigazione;

- completo rifacimento dello scaricatore con abbassamento della soglia di sfioro e sostituzione delle paratoie piane con paratoie a settore;
- sistemazione della zona a valle di sponda destra con rivestimento di massi antiscalzamento.

E' inoltre stato realizzato un modello idraulico dell'opera così rinnovata per la verifica della funzionalità del progetto, sia in relazione al normale esercizio dell'opera, sia in previsione di future piene eccezionali della Dora.

Qui di seguito vengono descritte le indagini eseguite e le fasi di progettazione con particolare riguardo allo stato deformativo previsto dagli studi effettuati e le reali deformazioni nel corso dei vari eventi, rilevate dal sistema di monitoraggio all'uopo predisposto.

2 LE INDAGINI GEOGNOSTICHE PRELIMINARI

La figura n. 2 riporta le indagini svolte nelle annate 1992 e 1996 in corrispondenza della traversa principale.

Attraverso i numerosi sondaggi, le prove in foro (S.P.T., prove di permeabilità tipo Lefranc), le analisi di laboratorio sui campioni di terreno estratti, le diagrame continue (D.A.C. tests) e prove sismiche, è stato possibile determinare le caratteristiche geotecniche delle varie bancate di depositi morenici (sponda sinistra) ed alluvionali (centro alveo e sponda destra) sulle quali è impostata l'opera.

Si è inoltre potuto ricostruire con buona precisione e definizione geometrica la differente situazione di decompressione evolutiva nella quale si veniva a trovare il terreno di subalveo dello sbarramento principale originata dall'azione di dilavamento delle frazioni fini, azione più o meno marcata a seconda della velocità dei filetti fluidi al di sotto delle fondazioni.



FIGURA 1. Vista da valle della traversa di Mazzè. In sinistra orografica si possono osservare gli speroni della traversa ed i setti intermedi, che dividono lo sbarramento in dieci luci, regolate da paratoie piane.

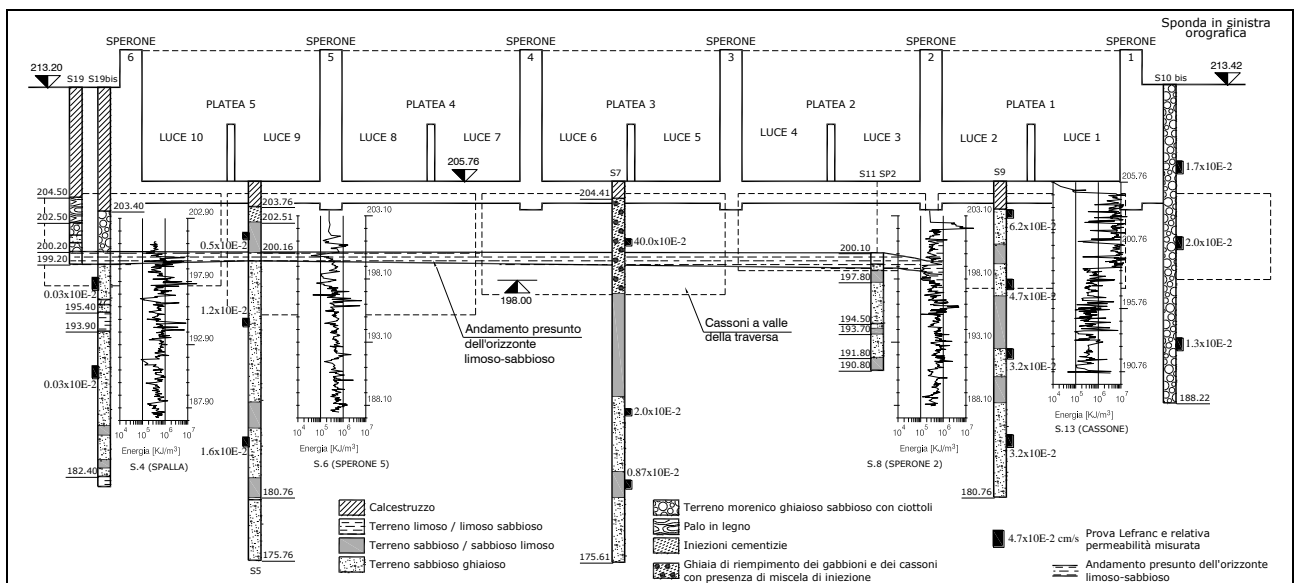


FIGURA 2. Sezione stratigrafica dei terreni sottostanti la traversa e restituzione dei diagrammi dell'energia dei D.A.C. test.

Si può notare come immediatamente sotto gli speroni il valore dell'energia specifica fosse molto basso (10^5 kJ/m³) mentre al di sotto di quota 198m s.l.m. l'energia tende a salire, attestandosi attorno a 10^6 kJ/m³. Fa eccezione il D.A.C. test S13, eseguito nel corpo del cassone, dove l'energia ha raggiunto il valore di 10^7 kJ/m³.

Nel corso delle numerose prove si è anche evidenziata la presenza di terreni molto aperti o addirittura di vuoti macroscopici al di sotto della platea a valle dello scaricatore.

Si è avuta la netta impressione che, a causa dei fenomeni evolutivi in corso, rallentati da interventi di iniezioni a base di cemento condotte tempo addietro, fosse urgente intervenire con sistemi e tecnologie che la tecnica odierna offre, allo scopo di arrestare in modo definitivo l'azione di indebolimento ed assicurare un buon consolidamento, anche nel lungo termine, a tutta l'opera attuale ed alle future modifiche.

3 I TRATTAMENTI DI IMPERMEABILIZZAZIONE E CONSOLIDAMENTO

Le indagini hanno dunque determinato gli interventi che nelle annate successive sono stati portati a compimento con buon successo.

Le figure nn. 3 e 4 illustrano i successivi trattamenti, che possono essere così elencati e riassunti:

- schermi di impermeabilizzazione realizzati tramite fori equipaggiati con tubi a valvola: lo schermo centrale profondo circa 25 m costituito da 3 file a quinconce nella zona immediatamente a monte degli speroni dal n. 1 al n. 6; lo schermo di spalla destra profondo circa 20 m e normale al precedente, costituito da 2 file di tubi e il prolungamento della schermatura centrale con un simile trattamento esteso in sponda sinistra per una ventina di metri.

Le iniezioni sono state eseguite con passate successive di miscela cementizia stabilizzata, utilizzando ce-

mento fine 525 e bentonite, e successivamente con miscele a base di silicato di sodio per permeare e fissare le particelle più fini delle frazioni sabbiose.

Il coefficiente di permeabilità del terreno originario che mediamente era pari a $0,5 \times 10^{-2}$ cm/sec è stato ridotto ad un valore di 10^{-4} cm/sec.

La tecnologia seguita è stata quella di iniezioni ripetute in pressione, a volume controllato con limitazioni imposte dalla pressione di rifiuto;

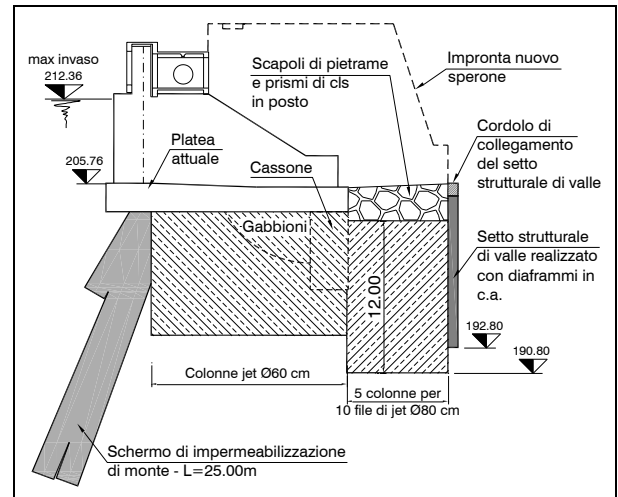


FIGURA 3. I trattamenti progettati in corrispondenza di uno sperone della traversa principale.

- coronelle di jet grouting monofluido ϕ 60cm tutt'attorno alle fondazioni degli speroni per assicurare un buon grado di consolidamento alle fondazioni degli speroni stessi esistenti;

- un diaframma in c.a. di 80 cm di spessore e profondità variabile (min. 11m, max 13m) localizzato a valle del futuro prolungamento degli speroni;

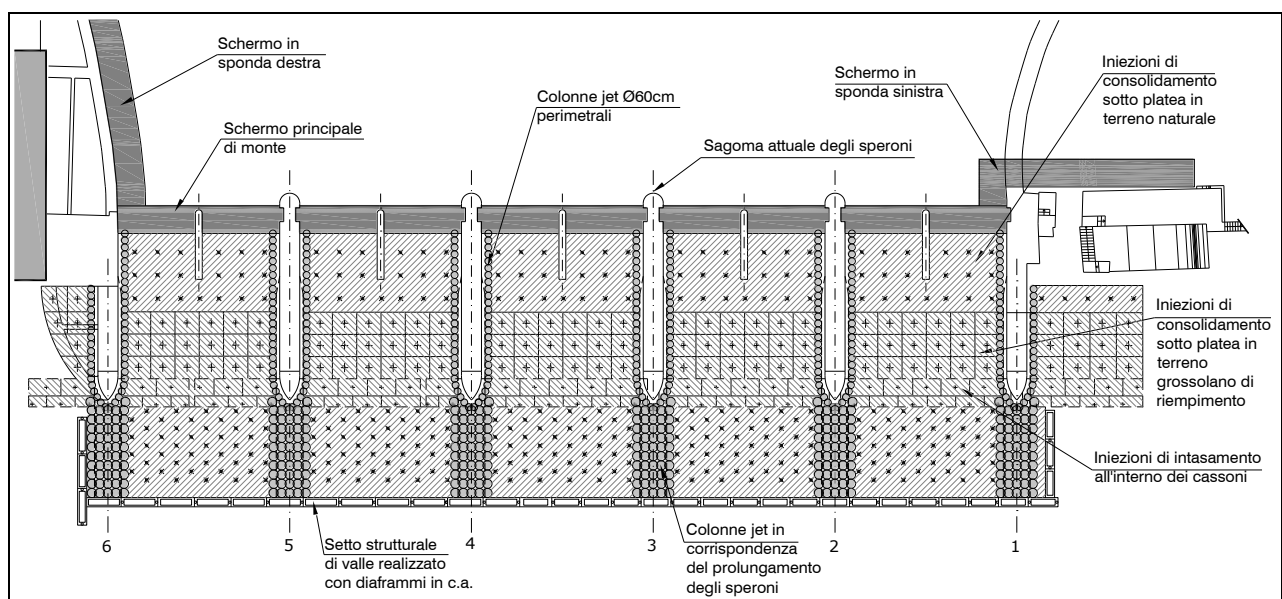


FIGURA 4. Planimetria degli interventi di consolidamento del terreno in corrispondenza della traversa principale.

- serie di colonne jet grouting monofluido \varnothing 80 cm, di profondità 12 m, tangenti fra loro a copertura di tutta l'area di base dei nuovi prolungamenti dei 6 speroni dello sbarramento;
- protezione con massi a gravità cementati antiscalfamento per la protezione della scarpata dell'alveo in sponda destra a valle dello scaricatore;
- iniezioni cementizie al di sotto della platea dello scaricatore per il riempimento dei vuoti riscontrati ed il consolidamento in generale di una bancata di 4,5 m di spessore;
- una fila di fori tangenti fra loro di jet grouting monofluido a protezione e rinforzo dell'unghia di monte dello scaricatore, con risvolto in sponda destra.

4 IL MONITORAGGIO. LA STRUMENTAZIONE INSTALLATA

Gli interventi geotecnici in fondazione sopra descritti hanno dovuto essere eseguiti in un contesto assai delicato anche a causa della presenza di un corso d'acqua soggetto a piene improvvise anche nella stagione invernale, generalmente più favorevole sotto questo punto di vista.

Si è dovuto inoltre tenere presente il fatto che le sollecitazioni indotte in fondazione dagli interventi di consolidamento e impermeabilizzazione previsti, avrebbero potuto generare sollevamenti differenziali degli speroni e dei setti e conseguenti anomalie di funzionamento delle paratoie, oltrechè arrecare possibili danni alle travi reticolari di sommità.

Per questi motivi tutti gli interventi di impermeabilizzazione e consolidamento hanno dovuto essere condotti con grande garbo e sotto un monitoraggio rigoroso e continuativo, che in qualsiasi momento, in tempo reale, fosse in grado di segnalare che l'entità delle deformazioni della struttura non superasse le soglie "di allarme" predeterminate ed ammissibili.

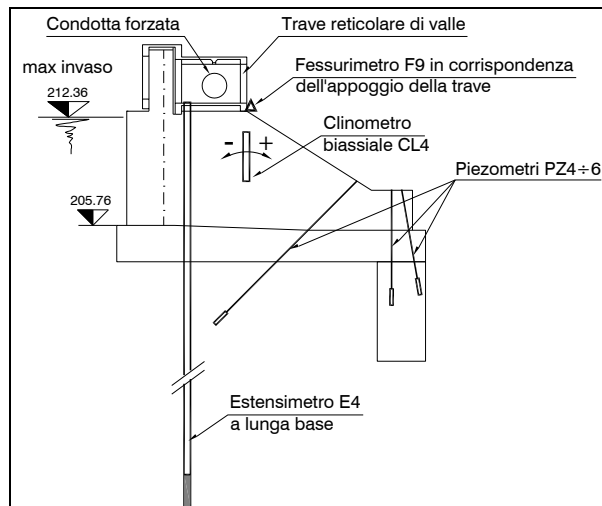


FIGURA 5. Sezione dello sperone n. 4 e relativa strumentazione di controllo installata: estensimetro E4, clinometro biassiale CL4, piezometri PZ4÷PZ6 e fessurimetro F9 in corrispondenza dell'appoggio della trave reticolare di valle.

Il sistema di monitoraggio automatizzato è consistito nell'impiego delle seguenti apparecchiature:

- estensimetri a lunga base verticali, con sensore a corda vibrante, dotati di astine Invar libere in perforazioni attraverso il corpo stesso degli speroni nella zona di monte ed ancorate al terreno di fondazione alla loro estremità di base: E1÷E6 in corrispondenza della traversa principale ed E7÷E8 in corrispondenza dello scaricatore (vedere figure n. 5 e 6);
- fessurimetri a corda vibrante posti a cavallo delle fessure più evidenti nell'ambito delle travi reticolari in c.a. colleganti la sommità degli speroni (F1÷F16);
- fessurimetri a corda vibrante F17 ed F18 in corrispondenza delle lesioni del muro laterale sinistro della Centrale;
- sondine termometriche montate su ognuna delle testate degli estensimetri e dei fessurimetri;

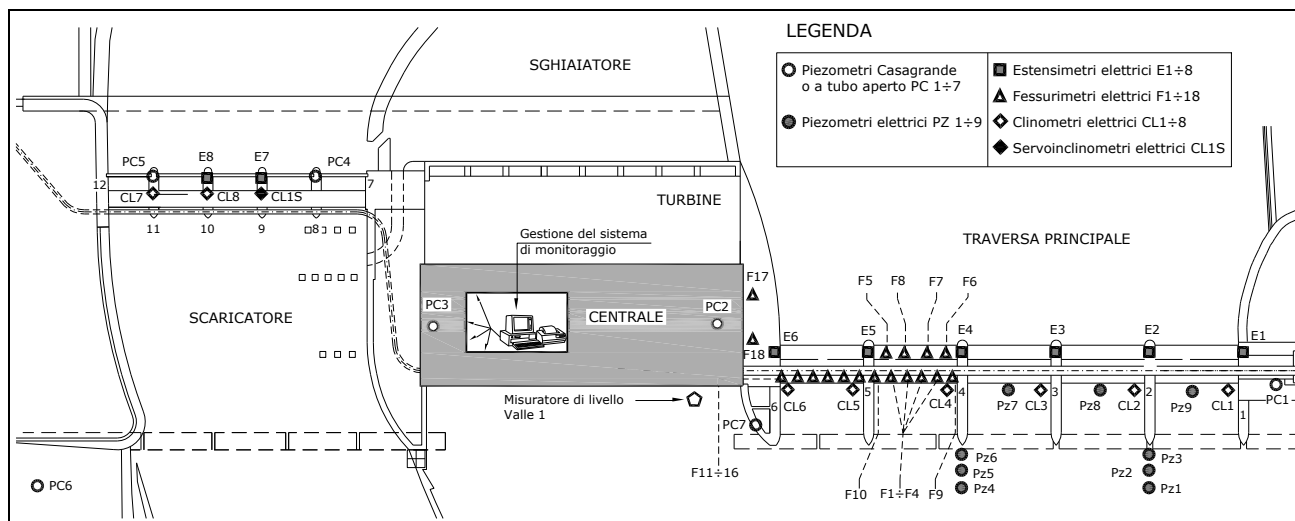


FIGURA 6. Planimetria della traversa di Mazzè con quadro generale di ubicazione della strumentazione di controllo.

- clinometri potenziometrici biassiali installati sugli speroni (CL1÷CL6 in corrispondenza della traversa principale, CL7-CL8 in corrispondenza dello scaricatore);

- servoinclinometro elettrico CL1S, posizionato in corrispondenza dello sperone centrale dello scaricatore;

- piezometri elettrici posti in corrispondenza della traversa principale (PZ1÷PZ3 e PZ4÷PZ6 sugli speroni n. 2 e 4 e PZ7, PZ8 e PZ9 sui setti in corrispondenza delle platee n. 1, 2 e 3). Le celle piezometriche si trovano ubicate appena al di sotto delle fondazioni della struttura, a differenti distanze rispetto alla linea dello schermo di monte. Ulteriori piezometri a tubo aperto a lettura manuale sono stati installati in corrispondenza della spalla sinistra, della centrale e dello scaricatore, come si può dedurre dalla figura n. 6;

- misuratori del livello dell'acqua nel fiume, l'uno chiamato "valle 1" posto immediatamente a valle della traversa, l'altro "valle 2" posto a 200 m circa dalla traversa stessa in sponda destra, in prossimità del ponte sulla SS 595.

L'intera rete strumentale automatizzata sopra descritta è collegata mediante cavi elettrici alle 6 unità periferiche (Multiplexer) che consentono la gestione automatica dell'alimentazione, del riscaldamento e della lettura dei sensori e sono differenziate sulla base delle caratteristiche della risposta del sensore interrogato (frequenza per gli estensimetri, i fessurimetri ed i piezometri e tensioni per i clinometri).

Ciascuna unità periferica (Multiplexer) è collegata mediante un proprio cavo alla Centralina di Acquisizione dati (Datalogger), ubicata negli uffici della Centrale, che provvede all'esecuzione della misura ed alla conversione analogico/digitale del dato.

A sua volta il Datalogger è collegato ad un P.C. predisposto per la gestione del sistema di monitoraggio.

Attraverso il software per la gestione del monitoraggio è possibile:

- gestire in automatico l'alimentazione e la misura della rete strumentale secondo una frequenza regolabile in funzione delle necessità contingenti (ad esempio aumentando la frequenza durante i periodi delle lavorazioni e riducendola durante il normale periodo di esercizio dell'impianto);

- archiviare le misure e consentire la visualizzazione dei grafici delle misure stesse, aggiornate in tempo reale;

- gestire gli allarmi confrontando, al momento dell'esecuzione delle misure, i valori rilevati con quelli di soglia preimpostati.

E' stato inoltre installato un sistema topografico di controllo automatico con due postazioni strumentali di stazione per il teodolite integrato, l'una localizzata a valle dell'opera e l'altra a monte.

Le mire topografiche, costituite da prismetti riflettenti, automaticamente collimabili, sono state fissate nei punti della traversa ritenuti più sensibili ai movimenti (n. 12 a valle e n. 11 a monte) e ulteriori punti in corrispondenza della centrale e dello scaricatore, per un totale di 38 punti di controllo e 5 di riferimento, questi ultimi distanti dalla traversa e considerati fissi.

Queste misure topografiche di precisione in genere

venivano eseguite, durante il periodo delle lavorazioni, due volte alla settimana ed i risultati, elaborati con programma dedicato, forniti il giorno successivo e messi a confronto con tutti i dati evidenziati dai diagrammi continui emessi dalla centralina automatica del monitoraggio.

5 I TRATTAMENTI CONTROLLATI E "GUIDATI" ATTRAVERSO I DATI FORNITI DAL MONITORAGGIO

La delicatezza della situazione generale dell'opera, evidenziata dalla campagna di indagine, ha suggerito la messa in opera delle apparecchiature principali di monitoraggio con notevole anticipo nei confronti dell'inizio delle operazioni di rinforzo in fondazione.

In questo modo è stato possibile seguire l'andamento dello stato deformativo delle strutture portanti per una annata intera prima di mettere mano alle lavorazioni che in qualche modo avrebbero potuto influire sul normale andamento delle deformazioni cicliche dovute alle sollecitazioni di invasi e svassi di esercizio, nonché alle variazioni di temperatura.

Questa fase preliminare di approccio è stata, a nostro parere, molto utile sia per mettere a punto l'acquisizione dei dati, sia per essere in grado di giudicare con sicurezza maggiore l'entità delle variazioni in funzione delle lavorazioni intraprese in fase successiva.

Il normale esercizio della traversa aveva comportato valori di spostamento degli speroni inferiori ad 1mm (valori rilevati dagli estensimetri E1÷E6), valori di apertura delle fessure presenti in corrispondenza delle travi reticolari inferiori a 0,5mm (valori rilevati dai fessurimetri F1÷F8) e movimenti in corrispondenza degli appoggi delle travi reticolari, inferiori a 2mm (giunti di dilatazione).

La taratura definitiva dell'impianto di monitoraggio, dopo vari mesi di funzionamento, è stata completata nel settembre 1998, mentre i primi interventi di consolidamento (jet grouting ed iniezioni) sono iniziati a metà ottobre di quello stesso anno.

Motivo di forte preoccupazione sono state le iniezioni dello schermo centrale, perché esse venivano condotte al di sotto dell'unghia di monte della platea e degli speroni e setti che già avevano denunciato qualche lieve movimento rotazionale monte/valle ad invaso massimo ed anche perché i terreni generalmente fini (sabbioso limosi) non presentavano una composizione granulometrica favorevole alla diffusione delle miscele per permeazione.

Soprattutto le miscele a base di cemento (indispensabili per conferire un buon grado di ricomprensione) si sarebbero diffuse più per "claquage" (lenti di rottura del terreno) che per permeazione dei grani e questo fatto, se pur contenuto tramite la pressione di rifiuto, avrebbe potuto comportare sollevamenti anche di una certa entità della parte di monte delle strutture portanti.

Minore preoccupazione davano le iniezioni nella zona di valle della platea, dove il terreno, a seguito degli interventi di riempimento eseguiti in passato, risultava decisamente più grossolano e aperto, come evidenziato

dal sondaggio S7.

Per le iniezioni dello schermo appariva dunque inderogabile la necessità di iniettare a volume controllato piccoli quantitativi di miscela in fasi successive (operazione consentita dalla presenza delle valvole in gomma dei tubi) raggiungendo, senza mai superare, la pressione considerata di rottura del terreno.

La granulometria delle varie bancate era nota e quindi è stato possibile formulare, in funzione del diametro efficace (d_{10}), le percentuali di assorbimento e i valori della pressione di rifiuto per miscele cementizie e silicatiche; ma essendo prossimi al limite di iniettabilità

risultava indispensabile, durante le iniezioni, tenere sotto attento e costante controllo le deformazioni in senso verticale degli speroni dello sbarramento.

I diagrammi di figura n. 7 riportano l'andamento delle deformazioni verticali subite, in vari periodi di lavoro, dalla sezione di monte degli speroni n. 4 e 5, così come sono state registrate dagli estensimetri a lunga base. Qui sono stati rilevati gli spostamenti più sensibili.

E' interessante fare rimarcare quanto segue:

- nel periodo precedente alle iniezioni si erano registrati movimenti inferiori ad 1mm;

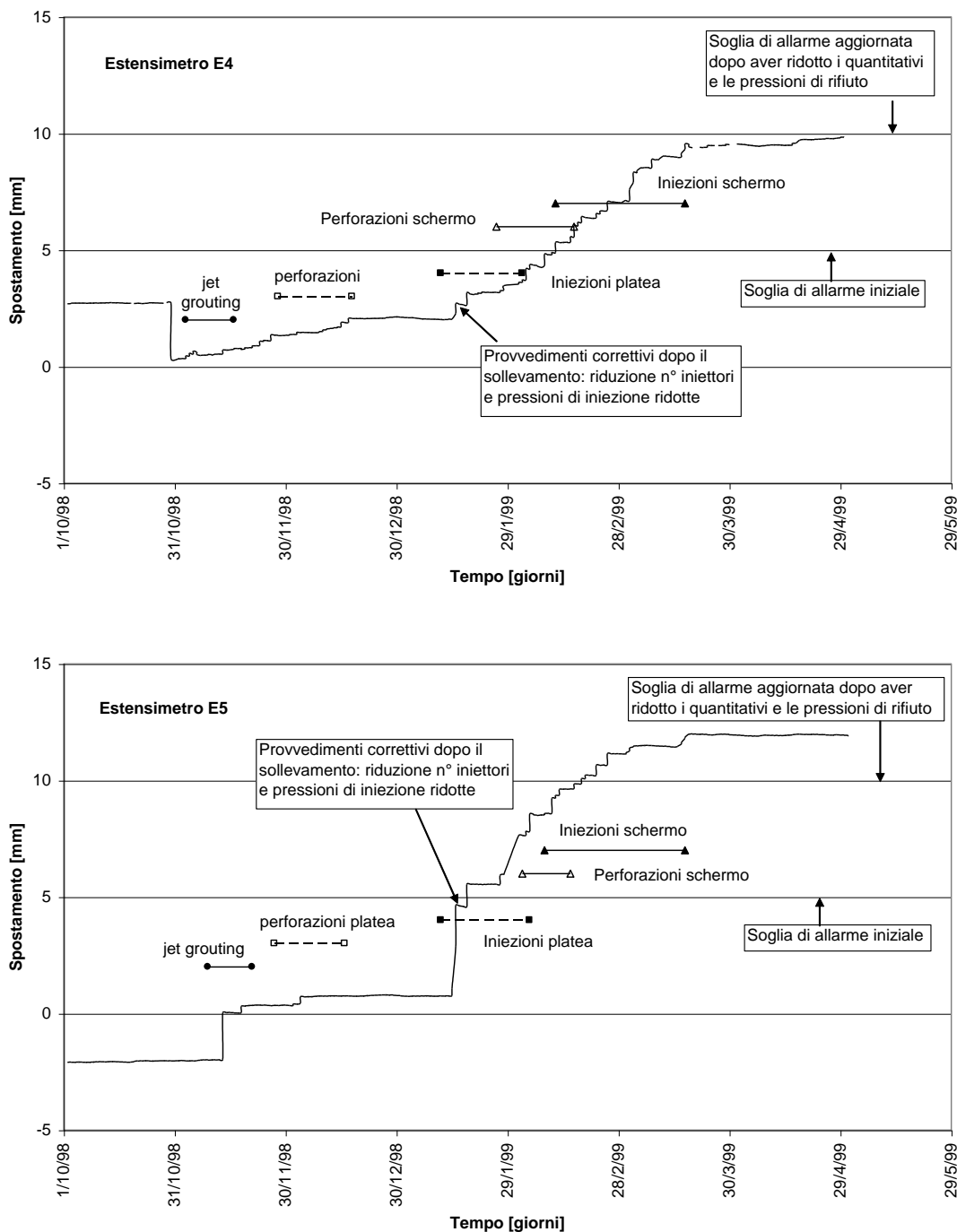


FIGURA 7. Diagrammi degli estensimetri E4 ed E5 durante il periodo di esecuzione degli interventi di consolidamento ed impermeabilizzazione in fondazione.

- nel corso dell'intervento con colonne jet grouting i sollevamenti sono rimasti comunque contenuti al di sotto dei 2 mm;

- nel corso delle iniezioni si sono verificati dei sollevamenti praticamente istantanei pari a 4mm in corrispondenza dello sperone 5; inoltre il fessurimetro F10, posizionato in corrispondenza dell'appoggio della trave reticolare di valle sullo sperone n. 5, ha rilevato uno spostamento di 4mm, come conseguenza del sollevamento dello sperone;

- la soglia di allarme degli estensimetri, prefissata in 5mm, è stata raggiunta in corrispondenza dello sperone n. 5 subito dopo le prime iniezioni; a questo punto si è stati costretti ad assumere gli interventi correttivi sotto descritti ed elevare la soglia di allarme fino a 10mm, dopo aver eseguito ulteriori verifiche di stabilità.

In particolare, osservando giornalmente l'andamento dei movimenti, è stato possibile "guidare" le iniezioni in modo che i sollevamenti fossero sempre compatibili con le entità ammesse dai calcoli di progetto, secondo i criteri indicati nei punti riportati qui di seguito.

1. Nel periodo immediatamente successivo al sollevamento di 4mm dello sperone n. 5, sono state applicate delle specifiche più rigorose tendenti a regolamentare il numero massimo di iniettori operanti contemporaneamente nell'ambito degli speroni interessati dal sollevamento. E' stato necessario completare l'intervento di iniezione con un solo iniettore nell'ambito dello sperone, rispetto ai 4 operanti contemporaneamente prima dell'evento.

2. Si è ritenuto inoltre di dover iniettare minori quantitativi per passata, avendo ridotto il valore della pressione di rifiuto da 12 a 10 bar.

Le suddette specifiche sono state formalizzate in una apposita relazione dopo aver esaminato anche le registrazioni dei parametri di iniezione di ciascuna valvola iniettata nell'ambito delle fondazioni degli speroni n. 4 e 5 (quantitativi di miscela iniettati, portata degli iniettori, verifica dell'eventuale superamento della pressione di rifiuto prefissata).

Per quanto concerne il completamento delle iniezioni in corrispondenza delle altre platee è stato fissato a 2 il numero massimo di iniettori operanti contemporaneamente in ciascuna luce di platea; il risultato di queste precauzioni prese in corso d'opera e mirate a limitare i sollevamenti della struttura è stato che in corrispondenza degli altri 4 speroni i sollevamenti sono stati contenuti al di sotto dei 5mm per cui non è stato qui necessario alzare la soglia di allarme.

Il monitoraggio strumentale automatico è stato costantemente confrontato con quello topografico (Stazione Totale TCA 2003 della Leica), che rilevava i sollevamenti in corrispondenza delle estremità di monte e di valle di speroni e setti; le indicazioni fornite dai due sistemi di monitoraggio sono state sempre concordi nell'ambito della precisione strumentale dei due sistemi di controllo. Questo doppio controllo strumentale dei movimenti delle strutture ha permesso e permette tutt'ora una assoluta affidabilità del sistema di monitoraggio predisposto, in quanto consente di avere una continuità di dati anche nei momenti in cui vengono effettuati interventi di manutenzione, a causa dei quali le letture di uno dei due sistemi devono essere temporaneamente sospese.

Un'altra fase delicata nei confronti dei movimenti indotti alle fondazioni è stata quella relativa all'esecuzione del trattamento di consolidamento mediante jet grouting $\varnothing 80$ cm di tutto il masso di terreno compreso tra il diaframma di valle e la punta degli speroni esistenti. Trattamento di basilare importanza quest'ultimo: infatti questa porzione di terreno (consolidato con jet), di superficie 3m x 8m all'incirca e 12 m di profondità, avrebbe costituito la fondazione delle nuove estensioni degli speroni verso valle (massima compressione a lago pieno).

Dopo vari tentativi si è riusciti ad ottenere una sufficiente diffusione omogenea della miscela (verificata tramite sondaggi) facendo variare l'interasse fra le colonne e la velocità di risalita della testa di iniezione ed anche la distanza tra le varie colonne in iniezione contemporanea (massimo 2 colonne); tutto questo regolato costantemente tramite il monitoraggio. Le operazioni non hanno tuttavia comportato movimenti rilevabili dalla strumentazione installata.

Infine è stato possibile osservare come la piena della Dora dell'ottobre 2000 (3100 m³/sec di portata - valutata ad Ivrea e validata da uno studio che ha interessato tutto il tratto della Dora - valore pari al dato previsto come portata di progetto millenaria) non abbia provocato alcun movimento rilevabile dal sistema di monitoraggio. Da notare tuttavia che le fondazioni degli speroni erano già state rinforzate dalle coronelle di jet grouting estese tutt'attorno al perimetro e anche nella zona di valle.

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Durante il primo periodo di intervento i trattamenti eseguiti direttamente al di sotto delle fondazioni delle strutture esistenti hanno provocato movimenti di un certo rilievo.

Il sistema di monitoraggio, assai completo e diffuso lungo tutta l'opera, ha consentito di avvertire in tempo reale le deformazioni indotte ed è risultato quindi di basilare importanza per l'adozione di tutti quei correttivi operativi indispensabili per la salvaguardia delle strutture in genere e della funzionalità dell'esercizio dell'impianto in particolare.

Così tutti i trattamenti di consolidamento ed impermeabilizzazione, previsti anche per l'ampliamento, sono stati completati entro l'aprile del 2004, senza che si siano manifestate situazioni di rischio particolari.

A tutt'oggi i sistemi di monitoraggio, sia automatico che topografico, sono sempre in funzione. Naturalmente la frequenza dei rilevamenti è stata ridotta passando dai 3 minuti (adottati in fase di lavorazione) ad un'ora (come richiesto in fase di esercizio della traversa).

La traversa è così pronta per affrontare, in sicurezza e sempre sotto controllo in tempo reale, la seconda fase degli interventi che riguarda l'estensione degli speroni verso valle, la sostituzione delle paratoie ed in generale il miglioramento funzionale di tutti gli impianti.

7 BIBLIOGRAFIA

Balossi Restelli A. (1968) *Una soluzione d'avanguardia*

- per un difficile problema di scavo in alveo fluviale. Il Nuovo Cantiere*, n. 11.
- Balossi Restelli A. (1969) *Trattamento preventivo, mediante iniezioni, di terreni incoerenti per consentire lo scavo di gallerie metropolitane sotto zone edificate, senza che intervengano cedimenti nelle fondazioni delle opere sovrastanti*. 1° Conv. Int. sui Problemi Tecnici nelle Costruzioni di Gallerie, Torino.
- Balossi Restelli A. (1981) *Iniezioni in terreni sciolti*. X Ciclo di conferenze di meccanica dei terreni e ingegneria delle fondazioni, Torino.
- Balossi Restelli A. (1995) *Il miglioramento ed il rinforzo dei terreni e delle rocce. Controlli sulla validità degli interventi*. Atti del XIX Convegno Nazionale di Geotecnica, Pavia, Relazione generale 3^a Sessione, Vol. 2, pp. 447-470.
- Balossi Restelli A., Castellotti U., Ceccolini E., Ghelfi G., Finzi B. (1991) *Blindhole Tunnel for Underground Station in Milan: Finite Element Analysis and Comparison with in Situ measured Settlements*. Proc. Tunnels et micro-tunnels en terrain meuble, Paris, pp 295-306.
- Balossi Restelli A., D'Alò G., Pettinaroli A. (2002) *Due differenti metodologie di avanzamento nell'ambito di un lotto della linea 3 della Metropolitana Milanese*. Atti del XXI Convegno di Geotecnica, L'Aquila, pp 437-446.
- Balossi Restelli A., Granata R., Manuli G., Rovetto E. (2000) *"E la falda è tagliata fuori" - Intervento per il sostegno e l'impermeabilizzazione dello scavo in falda - SS Paullese*. Le Strade 9/2000, pp. 54-59.
- Balossi Restelli A., Tornaghi R., Pettinaroli A., Rovetto E. (2003) *Reconstruction of La Fenice theatre in Venice. Foundation problems*. Proc. XIIIth European Conference on soil mechanics and geotechnical engineering - Praga, 4^a Sessione, Vol. 2, pp. 29-34.
- Bolognino B. (1993) *La ristrutturazione degli impianti di Mazzè*. Rivista Est Sesia n. 92, 07/1993, pp. 5-16.
- Tornaghi R., Pettinaroli A. (2004) *Design and control criteria of jet grouting treatments*. ASEP-GI 2004 International Symposium on Ground Improvement - Ecole Nationale des Ponts et Chaussées - Parigi - settembre 2004.

ABSTRACT

MAZZÈ DAM RESTORATION PROJECT. PRELIMINARY INVESTIGATIONS, FOUNDATION CONSOLIDATION WORKS AND MONITORING SYSTEM

Keywords: cement and chemical grouting, jet grouting, grout curtain, river dam, monitoring system.

The Mazzè Dam on the Dora river consists of three main structures: the 100 m length main dam (structure with six buttresses), the power and pumping station building, the gated spillway on the right bank.

Although the plant was operating properly, in 1993 the management passed from public to private and a general renewing process both of structures and plants resulted advisable.

The results of geognostic investigations made it clear that further foundation consolidations were needed as well as the realization a waterproof grout curtain upstream.

Moreover the soil consolidation underneath the new enlarged buttresses was executed.

In fact the replacement of vertical sliding gates with radial gates called for enlarging and extending downstream the buttresses of the main dam structure.

The consolidation and waterproofing works were carried out by means of:

- jet grouting \varnothing 60 cm columns below the outborder of the old buttresses of the dam;
- jet grouting \varnothing 80 cm columns under the extension of the new part of the buttresses;
- cement and chemical grouting for the waterproofing curtain upstream;
- cement grouting to consolidate the spillway structure;
- construction of a concrete diaphragm wall downstream.

The works were carried out in Autumn and Winter only, monitoring the movement of the actual structures by means of a complex data acquisition system.

During Spring and Summer the plant had to pump water for irrigation and other agricultural uses and it was not possible to operate in the area.

The automatic monitoring system consisted in borehole rod extensometers, crack meters, surface clinometers and electric piezometers. Data were acquired every three minutes and fed to a data logger through a series of multiplexers connected to all different sensors. A software package was carrying out main functions like automatic measurements acquisition, printing and recording of measurements, comparison of measurements with threshold values and alarms activation.

The development of the works was controlled and adjusted by diagrams so that the consolidation treatments could be completed without any damage to the existing structures. During the 4th and 5th buttresses soil consolidation operations it was necessary to reduce the number of grouting pumps working in the same area contemporarily, otherwise the structure would have reached more than acceptable values; moreover the grouting pressure and flow were reduced.

So the final uplift values were limited to 12 mm for the 5th buttress and 10 mm for the 4th one and less than 5 mm for the remaining buttresses.

After two years of consolidation treatments, during the October 2000, river flood of 3100 m³/sec have been registered; the data acquired showed no measurable structure deformations.

All consolidation works were concluded in April 2004. No significant deformation has been recorded up to this date.