

## **SISTEMA DI MONITORAGGIO PER L'ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ DI UN ARGINE DEL FIUME ADIGE**

Simeoni L., Tarantino A, Mongiovi L.

*Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale,*

*Università degli Studi di Trento*

*e-mail: lucia.simeoni@ing.unitn.it*

De Polo Fabio

*Azienda speciale per la regolazione dei corsi d'acqua e la difesa del suolo,*

*Provincia Autonoma di Bolzano*

*fabio.depolo@provincia.bz.it*

### **Sommario**

In questa nota si illustrano i criteri adottati nella progettazione di un sistema di monitoraggio automatico con trasmissione in tempo reale dei dati finalizzato alla valutazione della pericolosità dei rilevati del fiume Adige.

### **Gli argini del fiume Adige**

Il fiume Adige, che scorre nell'omonima valle, è caratterizzato da un percorso meandriforme tipico dei fiumi di origine glaciale. In virtù di questa morfologia, la valle dell'Adige, formata dall'ultima espansione Würmiana, è stata sede di innumerevoli eventi alluvionali che hanno modificato il paesaggio in più occasioni. Alla fine del XIX secolo, sia per mitigare il pericolo di alluvioni che per consentire una più agevole costruzione del tratto ferroviario Verona-Bolzano, il percorso del fiume è stato rettificato mediante la realizzazione di argini.

L'ubicazione dei dissesti avvenuti dopo la rettifica del corso del fiume induce ad ipotizzare una maggiore probabilità di raggiungimento delle condizioni di rottura laddove l'attuale percorso interseca il paleoalveo. L'Azienda speciale per la regolazione dei corsi d'acqua e la difesa del suolo della Provincia Autonoma di Bolzano ha pertanto incaricato il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale di definire una metodologia per la valutazione della pericolosità dei rilevati del fiume Adige e per la definizione di criteri di progettazione di interventi di adeguamento e recupero. Oltre ad indagini di laboratorio e ad analisi di tipo numerico, lo studio prevede il monitoraggio in tempo reale di un tratto di argine.

### **Il caso studio**

Il tratto di argine selezionato come caso reale per lo studio dell'evoluzione nel tempo delle condizioni di stabilità si trova nel comune di Egna (BZ), a circa 1 km più a sud del ponte che attraversa il fiume per collegare il centro abitato con la stazione ferroviaria. Il sito si trova in destra orografica e comprende la zona dove l'argine incrocia il vecchio e naturale percorso del fiume Adige (figura 1). Proprio per la particolarità dell'ambiente di sedimentazione, in questo tratto la stratigrafia del sottosuolo varia sia in direzione orizzontale che in direzione verticale. Le indagini preliminari hanno consentito di definire 3 schemi stratigrafici tipo, riferibili alle sezioni A, B e C riportate in figura 1. In prima approssimazione, si possono distinguere tre tipologie di terreno. Un primo terreno, costituente il corpo arginale e classificabile come

ghiaie con sabbia limosa, il materiale costituente il paleoalveo e variabile da ghiaie con ciottoli a sabbie, un terzo terreno di granulometria più fine, variabile da limo ad argilla, con locali inclusioni di materiale organico. Questo terreno si trova generalmente sotto ed ai fianchi del paleoalveo.

Le sezioni A e B, entrambe in corrispondenza del paleoalveo, si differenziano sostanzialmente per la presenza sul lato campagna della sezione B, di uno strato superficiale di materiale a granulometria fine posto al di sopra del materiale grossolano del paleoalveo. Nella sezione C, esterna al paleoalveo, il corpo arginale poggia direttamente sul materiale a granulometria più fine.

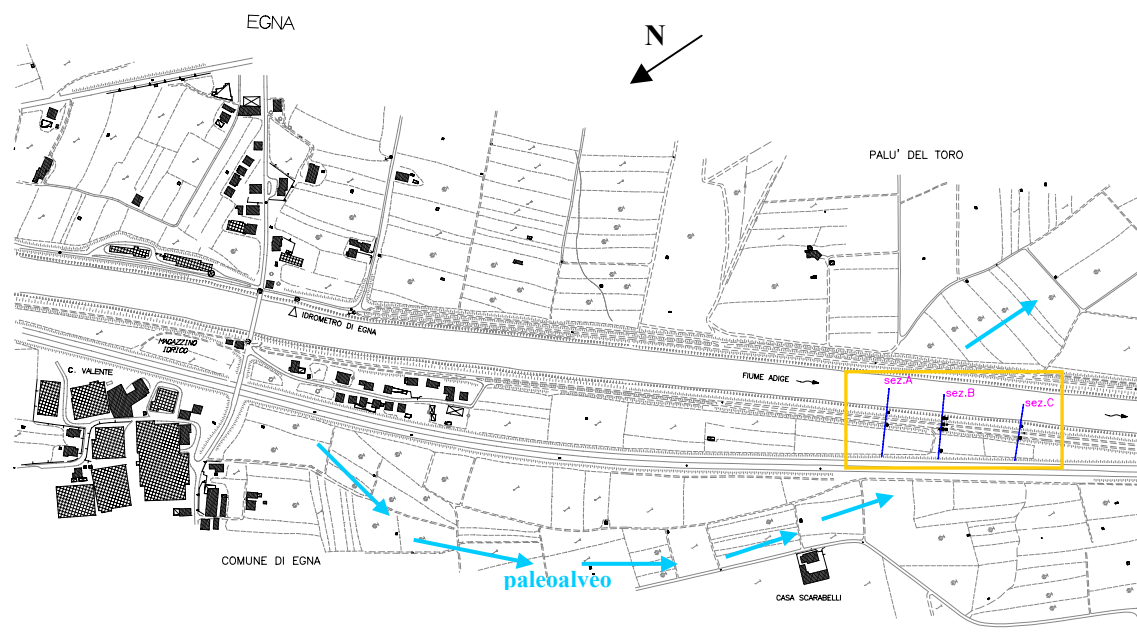


Figura 1. Area di studio

### Il sistema di monitoraggio

La progettazione del sistema di monitoraggio è stata condotta seguendo questo schema:

1. definizione degli scopi del monitoraggio;
2. individuazione dei meccanismi geotecnici che si vogliono studiare;
3. formulazione degli interrogativi geotecnici;
4. individuazione delle grandezze da monitorare;
5. valutazione dell'entità delle variazioni delle grandezze da misurare;
6. ridondanza degli strumenti;
7. scelta degli strumenti e loro ubicazione.

### Scopi del monitoraggio

Vi sono due scopi principali per cui il sistema di monitoraggio sarà utilizzato. Il primo, che possiamo definire *scientifico*, è acquisire i dati richiesti per lo studio dei meccanismi che governano le condizioni di stabilità del rilevato. Essi possono essere grandezze che definiscono le condizioni al contorno del problema o valori che consentono di validare il modello utilizzato per risolvere il problema. Il secondo scopo può essere denominato di *protezione civile* e consiste nell'individuare una configurazione di strumenti che la Provincia Autonoma di Bolzano possa efficacemente utilizzare nei punti critici del fiume Adige ai fini della valutazione delle condizioni di pericolo associate all'instabilità degli argini. Pertanto il

sistema di monitoraggio deve sia misurare in modo preciso ed accurato tutte le grandezze necessarie alla definizione dei meccanismi che essere sufficientemente economico per poter essere utilizzato in modo diffuso sul territorio. Inoltre, per adempiere lo scopo di protezione civile il sistema deve fornire i dati in tempo reale.

### *Meccanismi geotecnici*

Si vogliono indagare due meccanismi principali di raggiungimento delle condizioni di instabilità: formazione di una superficie di scivolamento su un fianco del corpo arginale per riduzione della resistenza al taglio in seguito alla riduzione della suzione e all'incremento delle pressioni interstiziali positive; annullamento della resistenza al taglio a causa dei fenomeni di sifonamento. E' evidente la necessità di conoscere l'evoluzione dei processi di filtrazione al variare delle condizioni meteorologiche e del livello d'acqua del fiume, ma anche l'entità degli spostamenti verticali ed orizzontali per conoscere le deformazioni volumetriche del terreno e l'ubicazione di eventuali superfici di rottura.

### *Interrogativi geotecnici*

I quesiti che ci siamo posti per lo studio del problema e, quindi, per la scelta degli strumenti possono essere così riassunti: quali sono gli effetti delle condizioni meteorologiche sul processo di filtrazione nel terreno? Quali sono gli effetti del livello dell'acqua nel fiume? Qual è la rete di filtrazione? Quali sono le deformazioni volumetriche del terreno associate alla variazione delle pressioni interstiziali? Quali sono le condizioni di stabilità? Quali sono i cinematismi associati ai fenomeni di rottura? Vi è corrispondenza tra la caratterizzazione idraulica dei terreni non saturi in laboratorio e il loro comportamento in sito? I modelli numerici utilizzati sono in grado di cogliere gli aspetti fondamentali del fenomeno?

### *Grandezze da misurare*

Congruentemente con le domande poste, le grandezze da misurare sono: le condizioni meteorologiche rappresentate da precipitazione, pressione atmosferica, temperatura, umidità relativa, radiazione netta, direzione e velocità del vento, il livello dell'acqua nel fiume; la suzione e il contenuto d'acqua nella porzione non satura del terreno; le pressioni interstiziali nella porzione satura del terreno; gli spostamenti verticali e gli spostamenti orizzontali del terreno; la temperatura di lavoro degli strumenti.

### *Entità delle variazioni delle grandezze da misurare*

A titolo di esempio si riportano i casi della misura delle pressioni interstiziali nella porzione satura del terreno e degli spostamenti verticali ed orizzontali.

La variazione delle pressioni interstiziali è associata alla variazione del livello dell'acqua nel fiume ed ai processi di filtrazione ed evapotraspirazione collegati alle condizioni meteorologiche. La variazione massima prevista tra il livello di magra e di massima piena del fiume è di circa 5 m, per cui in prima approssimazione 50 kPa è stato assunto come estremo superiore delle variazioni delle pressioni interstiziali. Con tale ipotesi si è assunto predominante l'effetto della variazione del livello dell'acqua nel fiume rispetto al contributo fornito dalle precipitazioni od evapotraspirazione e da possibili alimentazioni della falda, al momento non riconosciute, dalle zone di conoide alluvionale circostanti. Un altro aspetto importante che è stato preso in considerazione è la differente permeabilità satura dei terreni, stimata tra  $10^{-3}$  m/s per il terreno del paleoalveo e  $10^{-6}$  m/s per i terreni a granulometria più fine. Tale aspetto è stato preso in considerazione nella scelta del tipo di piezometro.

Gli spostamenti verticali ed orizzontali sono associati alle variazioni dello stato tensionale del terreno, ovvero alla variazione delle pressioni interstiziali positive e negative. I processi di

consolidazione dovuti alla costruzione del corpo arginale si sono verosimilmente già esauriti; i terreni su cui poggia il corpo arginale e che costituiscono il corpo stesso sembrano relativamente rigidi. Pertanto gli spostamenti verticali attesi sono dell'ordine dei mm/m. Gli spostamenti orizzontali, se si fa eccezione dell'eventuale formazione di superfici di rottura, sono attesi pari ad un'aliquota di quelli verticali. Con tali ordini di grandezza si sono ritenuti importanti gli effetti delle variazioni di temperatura, sia sulle parti meccaniche che elettriche degli strumenti, e gli effetti dell'interazione terreno-riempimento del foro-strumento.

#### *Ridondanza degli strumenti*

Ogni grandezza deve essere misurata con almeno due strumenti differenti, possibilmente uno con lettura automatica ed uno con lettura manuale, allo scopo di accertare l'affidabilità delle misure e consentire il controllo delle condizioni di stabilità anche in caso di guasto del sistema di acquisizione dati.

#### *Scelta ed ubicazione degli strumenti*

Per la misura delle pressioni interstiziali sono stati installati i piezometri tipo "Piezopress" della Solexperts. Questi piezometri consentono di posizionare il trasduttore di pressione direttamente a contatto con la cella porosa, eliminando i tempi di risposta legati agli spostamenti di volumi d'acqua nel tubo aperto. In questo modo i valori di pressione interstiziale misurati nei differenti terreni si riferiscono esattamente allo stesso istante. Inoltre, il trasduttore può essere rimosso per eseguire periodicamente la sua calibrazione. In queste occasioni si può anche eseguire la misura manuale del livello di falda. Per ridurre i costi, nello stesso foro sono state installate tre differenti celle porose, opportunamente separate da sigilli di bentonite, ubicate nei tre differenti terreni. Sono state eseguite due verticali per ciascuna sezione d'indagine: una nella banca interna ed una nella banca esterna. Sul lato campagna della sezione B è stata eseguita anche una terza verticale, dove, nel 1981, si era verificato un fontanazzo. I trasduttori di pressione sono assoluti e di tipo piezoresistivo, con fondo scala 250 o 400 kPa, linearità dichiarata  $\pm 0,44\%$  e  $\pm 0,33\%$  rispettivamente.

Per la misura degli spostamenti verticali nella sezione B sono stati installati tre estensimetri multibase a barre di acciaio e ancoraggio tipo packer della Boart Longyar Interfels. Due estensimetri a due basi sono stati ubicati sulle due banche, il terzo, a tre basi, nella mezzeria del corpo arginale. Il foro di sondaggio è stato riempito con una miscela di acqua, cemento e bentonite. Per rendere l'ancoraggio superiore solidale con il terreno circostante, in testa all'estensimetro è stata realizzata una piastra di base quadrata 1 m x 1 m. I trasduttori di spostamento sono di tipo potenziometrico, con fondo scala 50 mm, linearità dichiarata  $\pm 0,1\%$ . Per valutare gli effetti delle variazioni di temperatura delle barre di acciaio e dei trasduttori di spostamento è prevista l'installazione di sensori di temperatura tipo PT100 in ciascuna testa degli estensimetri. Nell'estensimetro centrale è prevista l'installazione di ulteriori sensori tipo PT100 ubicati a diverse profondità. La ridondanza della misura degli spostamenti verticali è stata ottenuta installando due Trivec della Solexperts, uno sulla banca lato campagna ed uno in mezzeria. Oltre a consentire un confronto con le misure automatiche, questo strumento consente di misurare la distribuzione degli spostamenti verticali ed orizzontali per ogni metro di profondità. Il fondo scala degli spostamenti orizzontali è  $\pm 10$  mm, con precisione  $\pm 0,003$  mm e linearità  $\pm 0,3\%$ . Il fondo scala degli spostamenti orizzontali mediante la misura della deviazione dalla verticale è  $\pm 5^\circ$ , con precisione 0,05 mm/m e linearità  $\pm 0,3\%$ .

#### **Bibliografia**

Dunnicliff, J. (1993). *Geotechnical instrumentation for monitoring field performance*. New ed. New York, N.Y. [etc.] :Wiley, 1993.