

Bologna, 17, 18 19 ottobre 2013

EVOLUZIONE E PROSPETTIVE DEL MONITORAGGIO NELLA GEOINGEGNERIA

M. Martino⁽¹⁾, G. Lunardi⁽¹⁾, V. Moriello⁽²⁾, A. Sciotti⁽³⁾

⁽¹⁾ Tre Esse Engineering s.r.l., Roma, Italia,

⁽²⁾ Salini S.p.A., Roma, Italia,

⁽³⁾ Roma Metropolitana, Roma, Italia.

ABSTRACT: L'evoluzione del monitoraggio applicato a grandi infrastrutture ha compiuto nel tempo passi da gigante. L'intervento è volto ad inquadrare tale evoluzione, riportando come esempi pratici le esperienze acquisite durante gli anni di lavoro presso il Gruppo Rocksoil S.p.A., in particolare mediante: l'Analisi delle DEformazioni COntrollate nelle Rocce e nei Suoli (Metodo ADECO-RS). Il DM del 14 gennaio 2008 ha introdotto il concetto di Monitoraggio quale strumento indispensabile per la realizzazione e controllo delle infrastrutture nel contesto territoriale in cui sono inserite. Si riporta il confronto tra il monitoraggio di due stazioni della metropolitana di Roma: "Baldo degli Ubaldi", Linea A (1999) e "Libia", Linea B1 (2012). Si descrive come lo sviluppo tecnologico, informatico ed elettronico contribuisce a rendere sempre più performante l'acquisizione, la restituzione e l'utilizzo dei dati di monitoraggio, permettendo a tutti i "Soggetti" preposti alla realizzazione di un'Opera di partecipare in modo sempre più proficuo ed attivo al compimento dell'Opera stessa. Oggi il ruolo del Monitoraggio è sempre più importante durante ogni fase della realizzazione di una grande Opera. In conclusione, maggiore sarà l'efficienza del sistema di Monitoraggio, migliore sarà il sistema di Sicurezza e Qualità del lavoro.

1 Introduzione

Benché il monitoraggio sistematico delle grandi opere, ed in particolare delle opere in sotterraneo, sin dalle prime fasi della costruzione sia da circa quarant'anni una pratica comune, è solo nell'ultimo decennio che il suo ruolo nel processo progettuale e costruttivo si è diffuso ed imposto quale strumento per la verifica della corretta esecuzione delle opere.

Negli ultimi anni si è assistito ad una marcata ed evidente evoluzione del monitoraggio geotecnico applicato alla progettazione e alla successiva costruzione delle grandi opere su tutto il territorio nazionale. Già a partire dal 1997 la Tre Esse Engineering S.r.l. si occupa di progettazione e gestione di sistemi di monitoraggio geotecnico, strutturale ed ambientale.

L'attuazione in modo sistematico su larga scala del monitoraggio geotecnico viene applicato in Italia negli anni 90 durante le fasi di progettazione ed esecuzione della linea Alta Velocità Firenze-Bologna (CAVET). Infatti, la progettazione ha riservato al monitoraggio in fase costruttiva il compito importantissimo di strumento di controllo e taratura del progetto in corso d'opera secondo il **Metodo ADECO-RS** (Analisi delle **DE**formazioni **CO**ntrollate nelle **RO**ccie e nei **SU**oli).

In particolar modo, durante la fase costruttiva, è stata approntata una campagna di monitoraggio atta al controllo delle aree interessate da potenziali problematiche di natura geotecnica mediante l'applicazione della seguente strumentazione: estrusometri, barrette estensimetriche, celle di carico, assestimetri multibase, estenso-inclinometri, piezometri, ecc..

Affiancando al monitoraggio geotecnico il monitoraggio topografico è stata fornita una visione completa delle deformazioni indotte durante ogni fase lavorativa; ciò ha consentito di indirizzare verso scelte progettuali in corso d'opera che hanno ridotto notevolmente i rischi sia per i lavoratori che per l'opera stessa.

2 La stazione Baldo degli Ubaldi – Linea A – Metropolitana di Roma

La stazione “Baldo degli Ubaldi” della Metropolitana di Roma è stata di complessa realizzazione, sia per le caratteristiche costruttive dell’opera (la galleria del corpo stazione ha una profondità di circa 25 m, una luce di circa 22 m ed un’altezza di circa 16 m), sia per il contesto territoriale in cui è inserita (presenza di fabbricati con fondazioni a meno di due metri di distanza dall’estradosso di calotta della galleria, presenza di terreni con scadenti caratteristiche meccaniche, obbligo contrattuale di costruire senza mai interrompere il flusso del traffico di superficie in via Baldo degli Ubaldi).



Figura 1. Ubicazione della stazione “Baldo degli Ubaldi”, Linea A –Metropolitana di Roma.

La progettazione della galleria della Stazione “Baldo degli Ubaldi” è stata condotta sulla base dei principi dell’approccio **ADECO-RS**. Durante la realizzazione dell’Opera è stata definito un piano di monitoraggio geotecnico, che può essere considerato il precursore delle attività di monitoraggio impiegate oggi per il controllo delle deformazioni indotte sulle strutture preesistenti e sulle differenti parti d’Opera da realizzare.

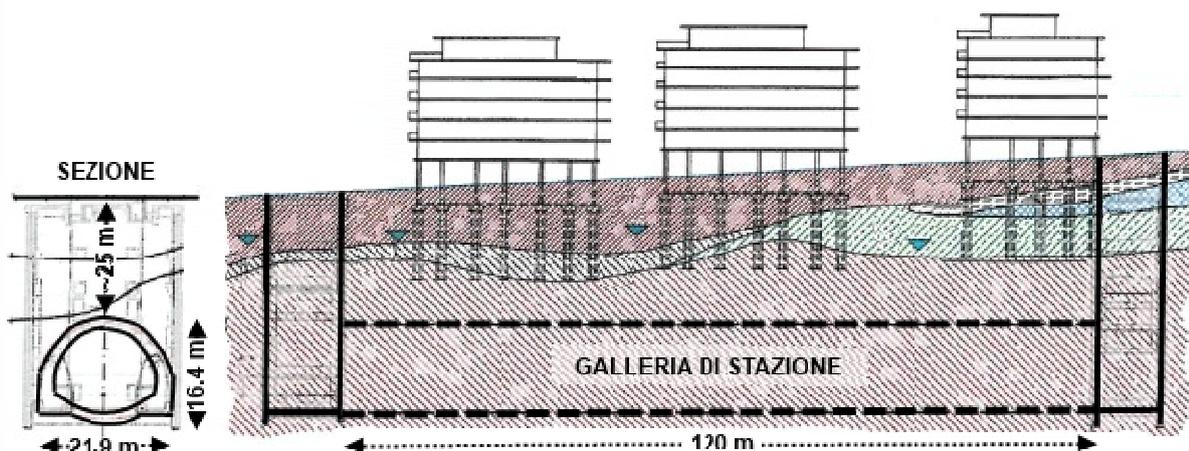


Figura 2. Sezioni della galleria di stazione “Baldo degli Ubaldi”, Linea A –Metropolitana di Roma.

Il monitoraggio geotecnico è stato caratterizzato dall’impiego di estrusometri sui fronti di scavo e dall’installazione di barrette estensimetriche e di celle di pressione nei conci prefabbricati del rivestimento definitivo della galleria. Inoltre, in funzione delle problematiche, sono state realizzate in superficie delle sezioni di monitoraggio integrative composte da inclinometri, assestimetri e piezometri.

Il monitoraggio geotecnico in corso d'opera della galleria di stazione "Baldo degli Ubaldi" ha rivestito grande importanza in quanto precursore di un efficace metodo di *prevenzione* per ciò che concerne la *sicurezza* del personale operante in cantiere e quella delle strutture preesistenti che interferiscono con il tracciato dell'Opera stessa.

Tale concetto verrà effettivamente legiferato diversi anni dopo nel DM del 14 gennaio 2008 relativo alle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

3 Nuove norme tecniche per le costruzioni – il "Metodo Osservazionale"

Per la prima volta in Italia con il DM del 14 gennaio 2008 viene introdotto a livello normativo il concetto "della conseguenza", in termini di effetti indotti, che un'opera in fase di realizzazione può produrre nell'ambito territoriale in cui è inserita.

Viene introdotto il "**Metodo Osservazionale**", che viene applicato nei casi in cui, a causa della particolare complessità della situazione geotecnica e dell'importanza dell'opera, dopo approfondite indagini preliminari, permangano documentate ragioni di incertezza risolvibili solo in fase costruttiva.

L'applicazione del Metodo Osservazionale, così come riportato nel capitolo 6 – Progettazione geotecnica delle NTC 2008, è basata sui seguenti punti:

- Devono essere stabiliti i limiti di accettabilità dei valori di alcune grandezze rappresentative del comportamento del complesso manufatto-terreno;
- Si deve dimostrare che la soluzione prescelta è accettabile in rapporto a tali limiti;
- Devono essere previste soluzioni alternative, congruenti con il progetto, e definiti i relativi oneri economici;
- Deve essere istituito un adeguato **sistema di monitoraggio** in corso d'opera, con i relativi piani di controllo, tale da consentire tempestivamente l'adozione di una delle soluzioni alternative previste, qualora i limiti indicati siano raggiunti.

Pertanto il monitoraggio deve essere inteso quale strumento per la verifica della corrispondenza tra le ipotesi progettuali ed i comportamenti osservati e di controllo della funzionalità dei manufatti nel tempo. Qualora non fosse soddisfatta la validità della soluzione progettuale adottata, la nuova normativa prevede che il monitoraggio in corso d'opera divenga lo strumento per individuare la più idonea tra le altre soluzioni previste in progetto.

Infine vengono delineate le principali caratteristiche ed i principali scopi che una corretta campagna di monitoraggio deve possedere:

- Esecuzione di misure ripetute nel tempo con strumenti adeguati;
- Valido supporto alla progettazione, alla costruzione e alla gestione delle opere da realizzare;
- Riduzione del rischio associato al raggiungimento della condizione di collasso (SLU) o alle limitazioni d'uso dell'opera (SLE).

4 Metropolitana di Roma – Linea B1 – Diramazione della linea B

La nuova linea B1 della Metropolitana di Roma è una diramazione della linea B preesistente. Il suo tracciato è ubicato nel settore nord-orientale della città e si sviluppa interamente in sotterraneo per una lunghezza complessiva di circa 5 km; essa è composta da quattro stazioni (Annibaliano, Libia, Conca d'Oro e Jonio).

Le gallerie di linea, scavate con metodo meccanizzato tramite Tunnel Boring machine del tipo Earth Pressure Balance (TBM-EPB), sono realizzate mediamente a 25-30 metri di profondità, mentre le stazioni di linea sorgono a ridosso di fabbricati fino ad una distanza minima di circa 4 metri nei pressi della stazione Libia.

L'opera in costruzione si colloca quindi in un contesto fortemente urbanizzato, in cui l'interazione con gli edifici civili è una costante lungo tutto il tracciato.

In tali condizioni la progettazione e la successiva realizzazione del sistema di monitoraggio ha assunto importanza primaria, procedendo ad effettuare un controllo capillare di tutte le fasi di lavoro; ciò ha

ribaltato, pertanto, il concetto di un monitoraggio applicato solo ed esclusivamente alle criticità o laddove sorgeva una problematica.

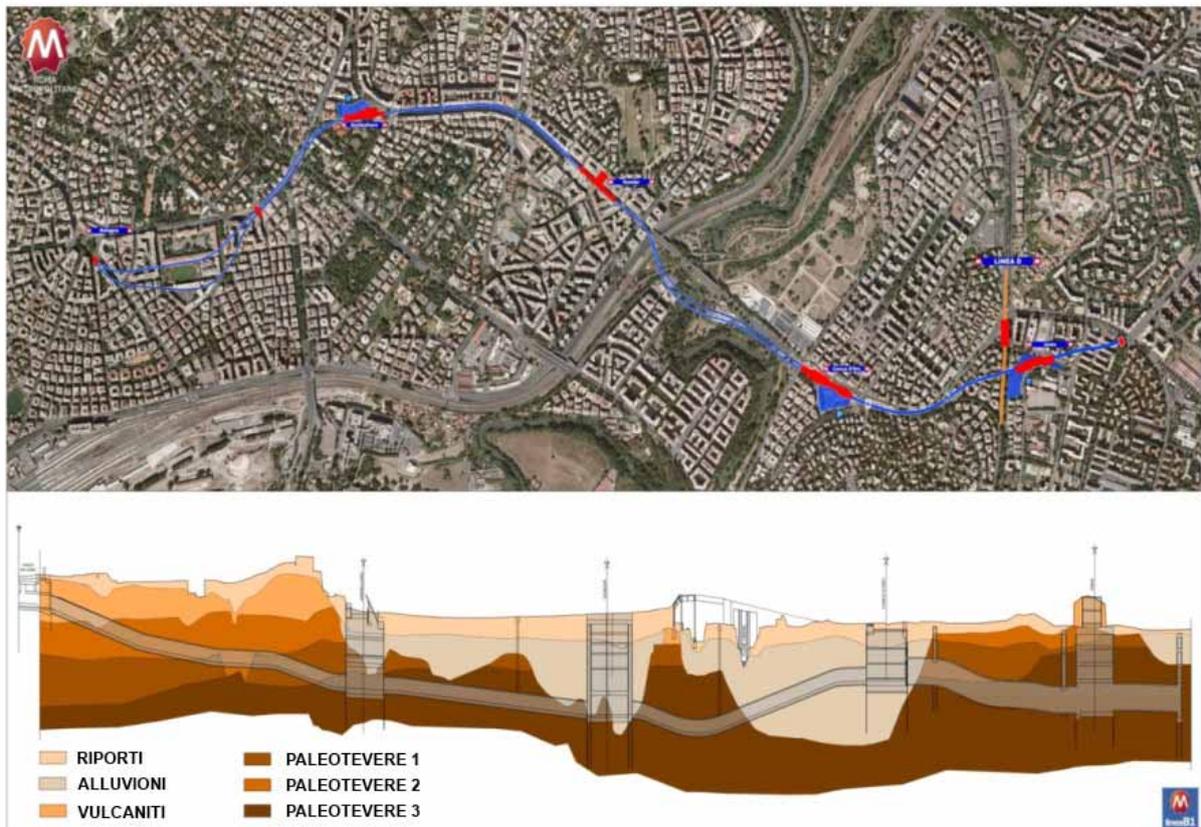


Figura 3. Planimetria e profilo geologico della Metropolitana di Roma - Linea B1 (Cfr. Roma metropolitane, modificata)

Sulla Linea B1 della Metropolitana di Roma il monitoraggio geotecnico è intervenuto sin dalle prime fasi della progettazione, influenzando le scelte progettuali adottate. Come esempio viene riportato il caso del pozzo prova di piazza Annibaliano ubicato in prossimità della futura stazione Annibaliano, che ha consentito di definire le metodologie più idonee da adottare per il consolidamento dei terreni ed in particolare ha consentito di verificare gli effetti del jet-grouting e del congelamento sui terreni interessati dall'intera tratta di metropolitana.

Durante i test del campo prova si è provveduto ad effettuare una costante attività di monitoraggio per valutare gli effetti indotti dalle differenti tecniche di consolidamento del terreno. I dati acquisiti hanno consentito di calibrare i parametri progettuali, di definire le soglie di deformazione ammissibile e di redigere la fase finale della progettazione.

Il monitoraggio geotecnico e strutturale in corso d'opera della Metropolitana ha comportato considerevoli vantaggi; tra cui si menzionano la salvaguardia delle strutture preesistenti e l'ottimizzazione dei tempi di esecuzione dell'opera stessa.

L'esigenza di operare in ambito fortemente urbanizzato ha richiesto in alcuni casi di intensificare il numero di strumenti da installare e di rendere i dati di monitoraggio disponibili agli esecutori dell'opera (impresa, progettista, DL etc.) in tempi molto brevi, affinché si potesse intervenire tempestivamente al sorgere di eventuali anomalie e/o problemi.

Di seguito viene riportato l'esempio del progetto e della realizzazione del sistema di monitoraggio adottato presso la stazione Libia; sono descritte le modalità di gestione e di trasmissione dei dati di monitoraggio.

4.1 La Stazione Libia della Metropolitana di Roma - Linea B1 – Diramazione della Linea B

La stazione Libia della Metropolitana di Roma Linea B1 sorge tra V.le Libia e P.zza Palombara Sabina in un'area intensamente urbanizzata con edifici alti mediamente 8 piani.



Figura 4. Ubicazione della stazione “Libia” – MetroB1

La distanza minima tra la paratia del corpo stazione e gli edifici è di circa 4 metri.

La profondità massima di scavo è di circa 40 metri da p.c., con un battente idraulico massimo a fondo scavo di circa 35 metri.

Dato il particolare assetto dell'area in cui si inserisce l'opera, fin da subito è apparso evidente il ruolo fondamentale che dovesse giocare un corretto sviluppo del sistema di monitoraggio strutturale.

Come riportato nelle figure 5 e 6, si nota il massiccio ausilio di strumentazione di monitoraggio, sia internamente, sia esternamente al corpo stazione.



- STAZIONI DI MONITORAGGIO NEL TERRENO: INCLINOMETRO, PIEZOMETRO E ASSESTIMETRO
- INCLINOMETRI INSTALLATI IN PARATIA CORPO STAZIONE
- PIEZOMETRI CASAGRANDE A LETTURA MANUALE/ELETRICA

Figura 5. Ubicazione planimetrica della strumentazione di monitoraggio esterna alla stazione Libia

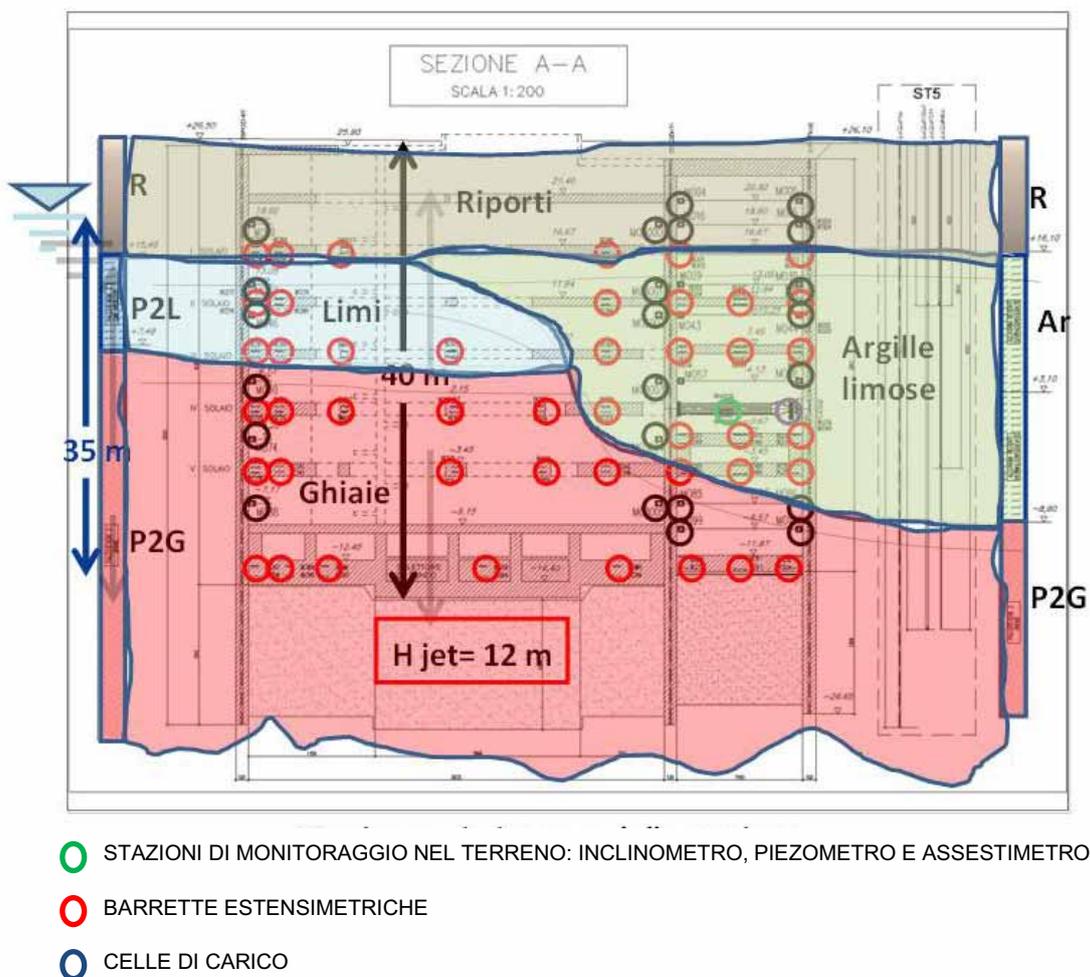


Figura 6. Sezione schematica St. Libia, Monitoraggio interno con strain gauges e celle di carico - Litologia Riporto; Alluvioni recenti; Paleotevere2:Limi, Ghiaie

A questa strumentazione si aggiunge quella topografica, costituita da staffe e capisaldi, che ha interessato tutti i fabbricati al contorno dell'Opera (in carta, distinti da numero e campitura).

Durante le attività di monitoraggio in corso d'opera della stazione Libia, nel periodo di riferimento che va dal 2006 al 2011, sono stati installati in totale 1062 strumenti e sono state eseguite 272000 letture.

La disposizione della strumentazione di monitoraggio, nonché la quantità di dati acquisiti durante tutto il periodo delle lavorazioni, hanno permesso di realizzare l'intera opera in oggetto con tutte le garanzie di sicurezza possibili e di indirizzare le scelte operative in base all'andamento delle deformazioni registrate.

A proposito di ciò si cita la risoluzione di un evento critico con l'ausilio di una corretta campagna di monitoraggio, ovvero, il superamento di alcune problematiche relative alla stabilità dei fabbricati adiacenti alla stazione stessa durante le fasi di realizzazione del tampone di fondo in jet-grouting con l'utilizzo di miscele bi-fluido a 400 bar.

La realizzazione della stazione Libia ha previsto inizialmente lo scavo dei diaframmi costituenti il corpo stazione tramite idrofresa per poi eseguire il tampone in jet-grouting dello spessore di 12 metri per il consolidamento basale. Il tampone di fondo è stato realizzato mediante colonne in jet-grouting di diametro variabile da 1800 a 1500 mm, a 400 bar utilizzando miscele bi-fluido.

TRATTAMENTI JET GROUTING

SEZIONE 1-1 (1:500)

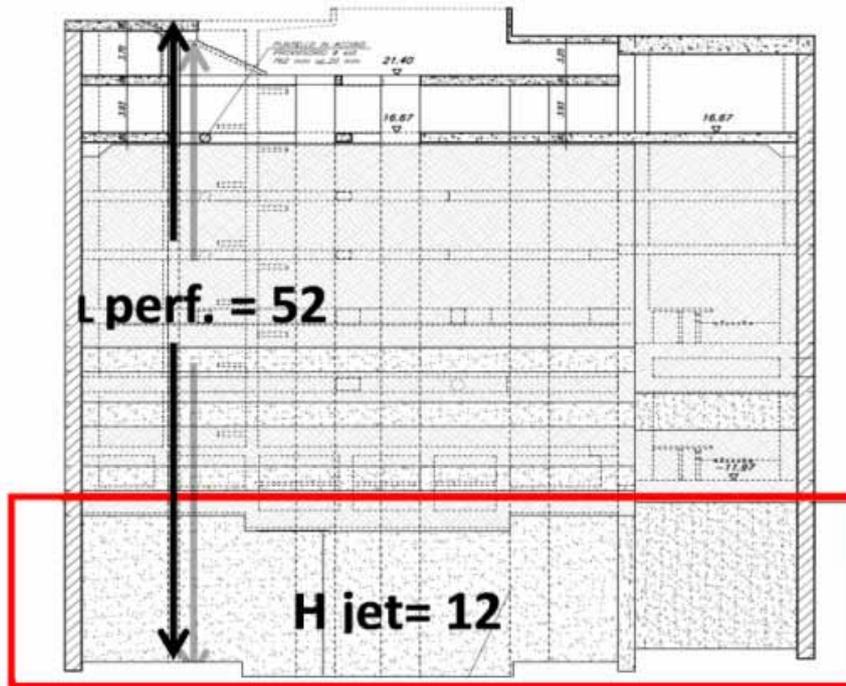


Figura 7. Schematizzazione del tampone di fondo della stazione Libia

L'impresa esecutrice dei lavori ha avuto la necessità di monitorare le paratie durante l'esecuzione del tampone di fondo in modo continuo. E' stato proposto un monitoraggio in continuo (con acquisizione del dato ogni 6 minuti) tramite l'installazione di n.6 catene inclinometriche removibili a 5 punti di misura (sonde inclinometriche) disposte, in base alle esigenze, di volta in volta su altrettanti tubi inclinometrici precedentemente installati nei diaframmi del corpo stazione e/o nel terreno a tergo degli stessi. L'acquisizione ravvicinata del dato, la trasmissione in tempi brevissimi e la procedura di allarme, tramite sms preimpostati, se si fosse superata una determinata soglia di deformazione, hanno permesso di portare a termine le lavorazioni monitorate senza problemi ed in totale sicurezza.

Di seguito in fig. 8 viene mostrata la condizione limite di spostamento, raggiunta durante la realizzazione del tampone di fondo, registrata dagli inclinometri installati all'interno dei diaframmi del corpo stazione.

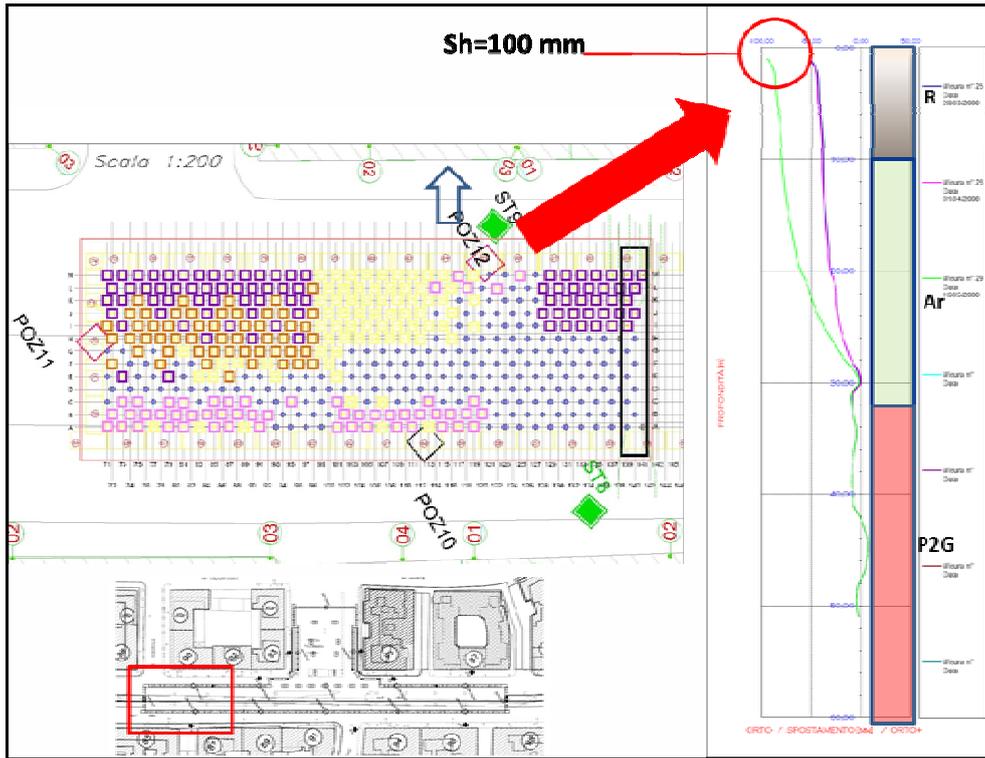


Figura 8. Posizione e Deformata registrata del tubo inclinometrico installato nel diaframma POZ12 durante la realizzazione delle colonne jet-grouting del tampone di fondo; schema litologia: Riporto; Alluvioni recenti; P2G: Paleotevere2 Ghiaie.

Successivamente alle deformazioni indotte ed illustrate in fig.8 si è predisposto, come descritto precedentemente, un sistema di allarme tramite sms gestito dalla centralina di acquisizione dati delle catene inclinometriche.

Come illustrato in fig. 9, l'attivazione dell'allarme al superamento di determinate soglie con conseguente fermo delle lavorazioni in corso, spostamento della macchina perforatrice ed esecuzione di una nuova colonna ad una certa distanza, ha permesso la chiusura del tampone di fondo senza problemi.

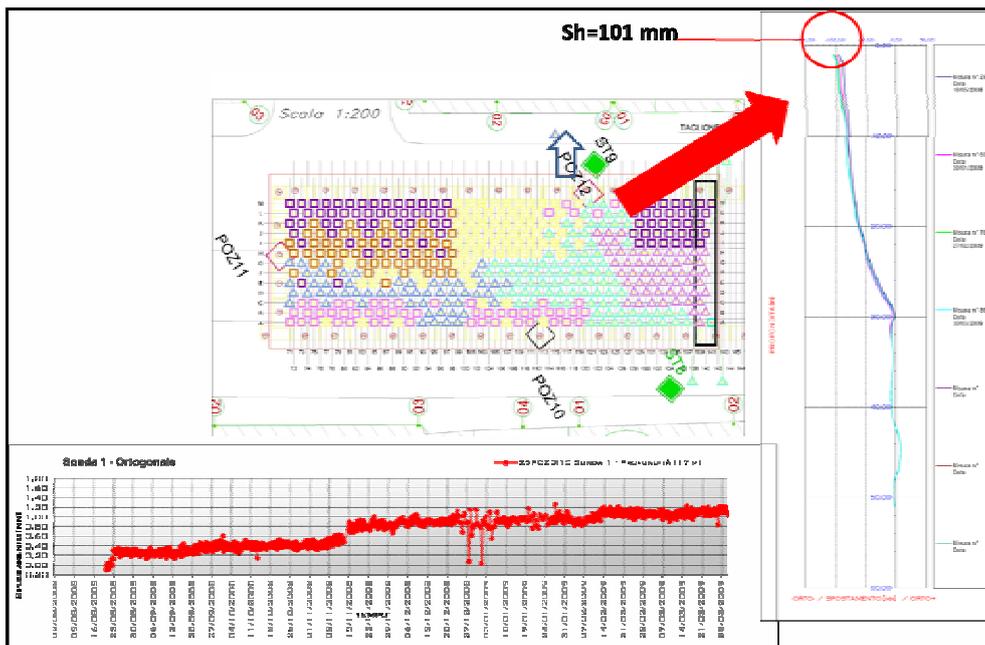


Figura 9. Chiusura del tampone di fondo senza ulteriori deformazioni di rilievo. Si riporta come es. la risposta della sonda inclinometrica fissa "1" durante un periodo di acquisizione automatica per il controllo delle lavorazioni (stazione "Libia").

Un'ulteriore innovazione del sistema di monitoraggio impiegato è stata quello di predisporre, secondo progetto, una piattaforma informatica di gestione dati di monitoraggio capace di rendere disponibile nel minor tempo possibile e secondo le esigenze una notevole quantità di dati ed informazioni a tutti gli addetti alla realizzazione dell'opera.

5 Piattaforma informatica

La progettazione e l'esecuzione di un corretto sistema di monitoraggio segue di pari passo sia l'evoluzione tecnologica sia, come abbiamo precedentemente visto, la normativa in costante mutamento. La nascita di nuove tecnologie ha portato e porterà ad un'ottimizzazione dei dati di monitoraggio, sia in termini di qualità, sia in termini di velocità di trasmissione (monitoraggio in tempo reale).

In particolare la Tre Esse Engineering S.r.l. ha sviluppato una serie di software dedicati alla gestione integrale di qualsiasi campagna di monitoraggio geotecnico e topografico (HiCapMonitor, WebDataMonitor, BinSlope, ecc.), in grado di fornire in tempi brevissimi la possibilità di esportare e visualizzare i dati d'interesse da parte delle varie figure addette alla realizzazione dell'opera in qualsiasi luogo del mondo mediante una semplice connessione internet.



Figura 10. Pagina iniziale di HiCapMonitor: riepilogo automatico della strumentazione, numero di misure eseguite, suddivisione ad albero secondo WBS di Progetto, reportistica.

La consultazione in linea, tramite browser internet, intuitiva e veloce, permette a tutti gli utenti di avere immediatamente a disposizione tutte le informazioni inerenti agli strumenti di monitoraggio di interesse; la mole considerevole di dati viene raggruppata e gestita da un database, che permette su Web una navigazione comoda e per nulla dispersiva.

Nel periodo 2006-2011, il monitoraggio della linea B1 ha portato ad effettuare e a gestire 1.026.059 di letture su 5329 strumenti installati sull'intera tratta. La quantità dei dati, raggruppati per strumenti di differente tipologia ed ubicazione, senza l'utilizzo di tali software dedicati, renderebbe il sistema di monitoraggio poco pratico per la difficoltà di gestione e visualizzazione dei dati nel loro insieme. Attualmente, quindi, si dispone di:

- una banca dati flessibile ed efficiente che permette la configurazione degli strumenti da parte dell'utente;

- accessibilità attraverso collegamento ad Internet in qualsiasi momento ed in qualunque luogo per permettere l'interrogazione delle letture e la visualizzazione dei dati da parte di utenti abilitati;
- semplicità di utilizzo con interfaccia "amichevole";
- strumenti di elaborazione e restituzione dati predeterminati ma flessibili che includono anche tabelle e grafici;
- interfaccia con GIS (Sistema Informatico Geografico);
- possibilità di supportare un'ampia gamma di strumenti;
- importare ed esportare i dati per ulteriori elaborazioni;
- piattaforme aperte alla fruizione di ingenti quantità di dati;
- piattaforme per la gestione di dati macchine (TBM, ecc....).

6 Ricerca e sviluppo "Progetto Genesi"

Grazie alla disponibilità di Roma Metropolitane, la Tre Esse Engineering S.r.l. ha avuto l'occasione di sperimentare delle nuove tecnologie relative al monitoraggio all'interno del progetto di ricerca europeo "Genesi".

Il progetto Genesi, acronimo di Green sEnsor NETworks for Structural monitoring, fa parte del settimo programma quadro della Comunità Europea (The Seventh Framework Programme FP7), che si rivolge ad una vasta gamma di partecipanti: università, organizzazioni pubbliche e società private. La coordinatrice del progetto è la professoressa Chiara Petrioli del dipartimento d'informatica dell'Università 'La Sapienza' di Roma.

Il progetto GENESI ha come obiettivo l'applicazione della tecnologia delle reti dei nodi sensori (Wireless sensor networks) alla strumentazione del monitoraggio geotecnico e strutturale.

I nodi sensori sono dei piccoli dispositivi elettronici autonomi, aventi dimensioni centimetriche, in grado di comunicare tra loro via wireless. Ciò permetterebbe di installare la strumentazione geotecnica senza l'utilizzo di cavi e pertanto tutto ciò si tradurrebbe in un notevole risparmio economico.

GENESI si propone l'ambizioso obiettivo di sviluppare una nuova generazione di reti di sensori wireless per il monitoraggio strutturale che siano al contempo: eterogenee, poiché applicate a diverse tipologie di sensori; ad alta efficienza energetica, poiché in grado di raccogliere energia da fonti multiple e di operare autonomamente per diversi decenni; intelligenti, poiché in grado di ragionare in situ per valutare potenziali rischi.

Gli altri partner internazionali del progetto sono: il dipartimento d'Informatica dell'Università 'La Sapienza' di Roma, l'Università di Twente (Olanda), l'Università Alma Mater Studiorum di Bologna, l'istituto di ricerca Tyndall di Cork (Irlanda), la ST Microelectronics (Italia), la Solexperts AG società di monitoraggio (Svizzera).

La sperimentazione inoltre mira alla possibile applicazione della nuova tecnologia al controllo di strutture sensibili (come scuole, ospedali, e non solo) al sopraggiungere di un evento critico (ad esempio in caso di terremoto, di frana, etc.). Prendendo come esempio gli eventi avvenuti all'Aquila nel 2009 (sciame sismico di alcuni mesi, terminato con la scossa di 5,9 della scala Richter), un monitoraggio costante di edifici e strutture avrebbe molto probabilmente evidenziato i limiti di alcune strutture che, dopo l'evento critico, sono collassate producendo danni a cose e a persone.

7 Conclusioni

Il monitoraggio strutturale, evolvendosi nel tempo, ha subito un notevole miglioramento qualitativo e normativo, come testimonia il ruolo sempre più importante che riveste durante ogni fase della realizzazione di una grande Opera.

Maggiore sarà l'efficienza del sistema di monitoraggio geotecnico e strutturale adottato, migliore sarà la Sicurezza e la Qualità del lavoro. Basti pensare alle innovative piattaforme informatiche (tipo HiCapMonitor), ovvero ai software per la gestione dei dati che permettono all'Azienda d'inserirsi pienamente nel Sistema di *Qualità*, andando a delineare la storia di ogni singolo strumento di misura all'interno della struttura gerarchica ad albero di ogni Opera Civile. La rappresentazione gerarchica ad

albero della Piattaforma fornisce una visione logica ed intuitiva per i fruitori finali in quanto permette di identificare rapidamente tutti gli elementi da esaminare.

Lo sviluppo tecnologico, informatico ed elettronico rende quasi immediata la disponibilità dei dati, permettendo a tutti i "Soggetti" preposti alla realizzazione dell'Opera di partecipare in modo sempre più proficuo ed attivo al compimento della stessa.

Ulteriori campi d'applicazione e sviluppo sono l'attuazione sistematica del Monitoraggio strutturale a "complessi sensibili" (vd. ospedali, scuole, ecc...), e/o ad aree instabili. Ciò, permetterebbe di acquisire dati sul comportamento strutturale e geomeccanico di quella Opera o Area nel tempo, ottenendo una sorta di certificato sullo stato di "salute", e quindi, di avere dei dati da utilizzare come strumento di programmazione degli interventi e delle risorse.

Tra le nuove tecnologie e tecniche di monitoraggio si citano l'Interferometria da Terra e da Satellite. La tecnica interferometrica permette di ottenere la storia del luogo o del manufatto ancor prima dell'evento (ante-operam) mediante accurate misure satellitari di spostamento, eseguite su "bersagli" privilegiati (PS, Permanent Scatterers), identificati sul territorio dall'occhio del satellite. Essi corrispondono tipicamente a manufatti (es. edifici, antenne, tralicci, blocchi di cemento, ecc.) o ad elementi naturali (es. rocce esposte). Si può pensare ai PS come ad una fitta rete naturale di punti di misura da utilizzare sia per conoscere lo spostamento puntuale (es. di un singolo edificio), sia per ricostruire, su scala regionale, l'andamento dei moti superficiali (es. frane, subsidenze, faglie sismiche, ecc.).

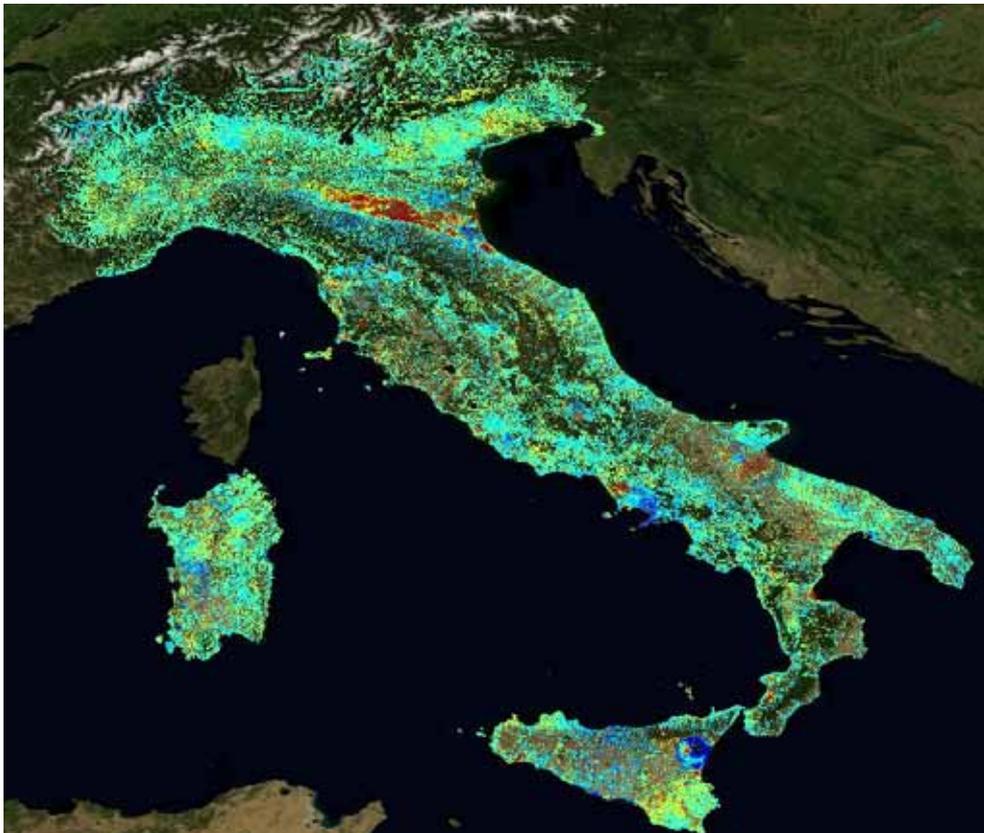


Figura 11. Esempio di Mappatura da satellite con PS del territorio nazionale (rosso: cedimenti; blu: sollevamenti).

Ad oggi molto è stato fatto, conseguendo dei buoni risultati, ma molto ancora si può fare.

Per dare maggiore sviluppo ed impulso al settore del monitoraggio geotecnico servirebbe una valorizzazione economica ben precisa. Al *Monitoraggio* dovrebbe essere destinata una percentuale predeterminata dell'importo dei costi di costruzione di un'Opera, senza essere soggetto a ribasso, così come già avviene per gli oneri della Sicurezza. Il monitoraggio è uno strumento indispensabile per ridurre i potenziali rischi, anche di tipo economico, a cui ogni Opera Civile può essere soggetta.

8 Ringraziamenti

Si ringraziano: la Stone S.p.A., la RockSoil S.p.A., il Consorzio Metro B1, la Salini Costruttori S.p.A. ed in particolare la Direzione Lavori di Roma Metropolitane sempre attivamente presente nella richiesta e nella verifica delle attività di monitoraggio e per la disponibilità fornita ad effettuare una parte della sperimentazione del progetto Genesi presso i loro cantieri.

Infine un ringraziamento particolare va ai colleghi Tre Esse operosamente impegnati nella realizzazione del monitoraggio in corso d'opera.

9 Bibliografia

Lunardi, P., Focaracci, A. 1998. Stazione "Baldo degli Ubaldi". Quarry and Construction;

Lunardi, P., Focaracci, A., Valente, A. – 1998. L'impiego di Pozzi Prova nella realizzazione di opere sotterranee in area Urbana

Lunardi, P., Leoni, F., Valente, A. 2001. Full scale test of grouting and freezing for new extension of Rome underground, line B1 - Atti del Congresso Internazionale su "Progress in Tunnelling after 2000", Milano.

2008. Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni. DM 14 gennaio 2008, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 72.