

Geotecnica e GIS

dalla progettazione al controllo

DI STEFANO PARBONI, ALBERTO MORINO, FEDERICO VALDEMARIN

La realizzazione di opere infrastrutturali inizia dalla loro collocazione in un contesto urbano o extraurbano. Gli strumenti di progettazione impiegati variano per le diverse fasi di approccio al problema, da quello ambientale e urbanistico, a quello ingegneristico e cantieristico. Le fasi di studio e quindi di realizzazione vengono implementate così attraverso gli strumenti tipici delle piattaforme GIS e CAD che intervengono l'uno nelle fasi di analisi e l'altro nelle fasi di progettazione architettonica ed esecutiva. Il diffondersi degli strumenti GIS, però, va ben oltre la loro competenza di gestione e analisi dei dati territoriali, ambientali e geologici. Il GIS sta assumendo infatti un ruolo sempre più determinante sia come strumento di gestione che come strumento di analisi e controllo dei cantieri in corso d'opera.

In questo articolo viene presentato un uso del GIS fortemente innovativo e orientato alla integrazione delle fasi di monitoraggio in campo geotecnico, dimostrando un alto grado di efficienza nella gestione dei diversi dati di monitoraggio e controllo in tutte le fasi critiche di realizzazione di una grande infrastruttura dei trasporti come la nuova linea metropolitana di Santiago del Cile.

La nuova linea 4 della metropolitana di Santiago del Cile, il cui completamento è previsto per il secondo semestre del 2004, si estenderà per una lunghezza di 33 Km. collegando la zona nord-orientale alla zona sud della capitale cilena.

L'esecuzione dell'opera contempla tre metodi costruttivi:

- tratto Tobalaba - Rotonda Grecia (sotterraneo)
- tratto Rotonda Grecia - Gran Avenida (superficie)
- tratto Vespuccio - Puente Alto (sotterraneo e viadotto)

Il progetto prevede per il settore tra Tobalaba e Rotonda Grecia la realizzazione di un tunnel di circa 8 Km a galleria unica con 27 stazioni, secondo il metodo NATM (New Austrian Tunneling Method).

La direzione del Metro, sempre attenta all'esplorazione e all'introduzione di nuove tecniche, ha commissionato uno studio su altre metodologie di scavo, come ad esempio l'utilizzo di una TBM, ottenendo il risultato di individuare il NATM come migliore approccio ai lavori in sotterraneo per le condizioni geologiche del sottosuolo di Santiago.

Il monitoraggio assume quindi un significato di controllo e di analisi sia per i progettisti sia per la SDO (Supervision De Obra) a cui è data la possibilità di ispezionare e verificare ogni fase di esecuzione dei lavori in tempo reale.

Un sorveglianza continua dei parametri di lavorazione è infatti il presupposto indispensabile per un tempestivo intervento in caso di proble-

matiche in cantiere.

Il GIS offre una soluzione efficace ai problemi di raccolta e di distribuzione dei dati di monitoraggio: è lo strumento giusto per l'elevata semplicità di visualizzazione delle informazioni territoriali e per la rapidità con cui i dati vengono distribuiti, essendo necessaria solamente una connessione ad internet ed un browser web.

Il monitoraggio dei lavori per lo scavo della nuova linea 4 viene realizzato da GEODATA Italia e CADE-IDEPE di Santiago.

Nel caso specifico della metropolitana di Santiago il controllo delle deformazioni si realizza attraverso l'utilizzo di strumenti di misurazione ottiche di livello (nivelación), di convergenza (convergencia) e di strumentazione geotecnica, con la presenza di inclinometri, celle di pressione, barre estensometriche e piezometri.

Per una specifica richiesta, i dati di monitoraggio raccolti durante la giornata devono essere pubblicati e resi quindi consultabili in tempo reale.

I dati di monitoraggio sono raccolti in un database relazionale che memorizza tutte gli elementi del pro-

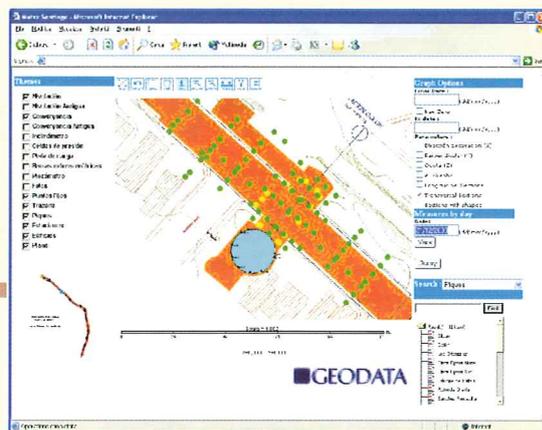


Figura 1: Pagina principale del sistema di monitoraggio su WEB

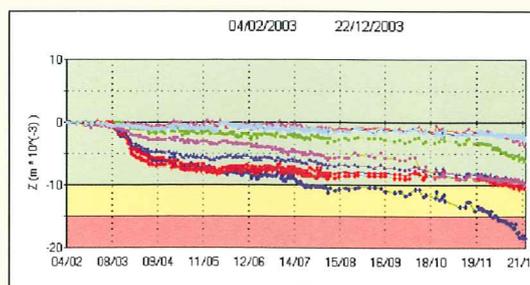


Figura 2: Grafico sezione trasversale di visualizzazione

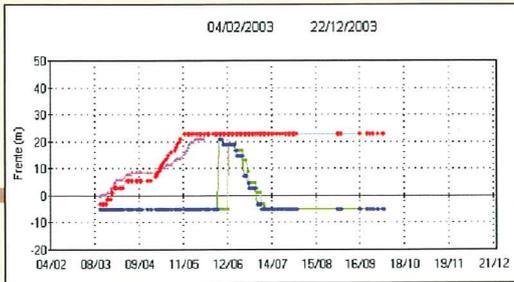


Figura 3: Visualizzazione delle posizioni dei fronti per uno scavo "NATM"

getto in forma gerarchica, dalle indicazioni generali del piano di lavoro, fino al dato grezzo di lettura del singolo strumento di monitoraggio.

Il database geotecnico è associato ad un GIS contenente la base cartografica su cui vengono localizzati geograficamente tutti gli strumenti di misurazione.

Nel GIS è stata impostata la catalogazione degli oggetti in modo funzionale alle caratteristiche di suddivisione logica e rendering grafico.

Nel front-end applicativo su web sono state incluse in una sola pagina sia gli strumenti di tipo GIS (mappa, controllo dei temi,

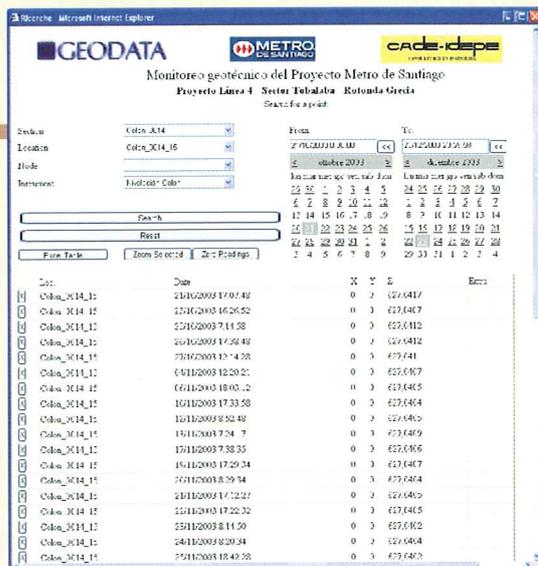


Figura 4: Esempio di esportazione parametrica del database geotecnico

overview ecc.) che quelli per l'analisi geotecnica. Grazie a questo accorgimento è possibile effettuare analisi multi-criteri in funzione, per esempio, della data di misura, della posizione del punto, della sezione di monitoraggio o dello strumento utilizzato.

Il GIS è risultato un elemento decisivo per rendere il sistema intuitivo e accessibile senza necessità di training, la pubblicazione su web consente l'analisi dei valori in real-time ad un numero virtualmente illimitato di utenti.

Tutti i valori degli strumenti impiegati nella campagna di monitoraggio, memorizzati nel database geotecnico, vengono interrogati secondo le necessità dell'utente, ottenendo le rappresentazioni grafiche desiderate, partendo da quelli di più facile

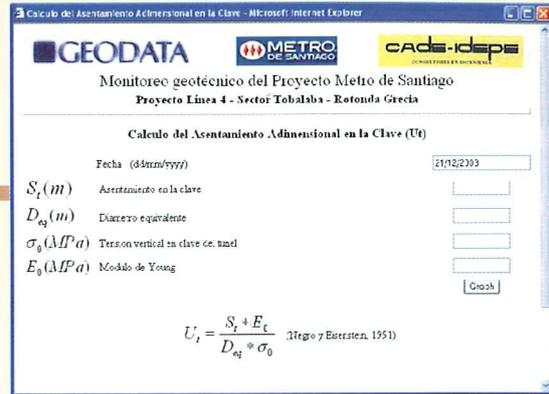


Figura 5: Maschera di inserimento dei parametri di calcolo delle curve di interpolazione

realizzazione che rappresentano semplicemente i dati di ogni singolo strumento in funzione della data di misura o di un intervallo di date, arrivando a rappresentazioni complesse, come ad esempio grafici cumulativi per sezioni trasversali o longitudinali che rappresentano su uno stesso schema, i valori di più punti di misura.

Per ogni elemento del sistema di monitoraggio è possibile ottenere un grafico delle fasi di scavo alle diverse date, ottenendo importanti informazioni supplementari per interpretare i grafici delle sezioni interessate.

Nel caso in cui l'utente volesse effettuare un download dei dati contenuti nel database, è stata realizzata una utile funzione di estrazione parametrica tramite un query-builder in grado di individuare i dati desiderati e esportarli in forma tabellare su Excel. La SDO di Santiago ha richiesto una elaborazione avanzata basata su funzioni grafiche di approssimazione dei valori di cedimento superficiali, calcolati sulle aree interessate dallo scavo.

Il monitoraggio di subsidenza prevede una analisi in senso trasversale all'asse del tunnel e una longitudinale lungo tutto il settore interessato, in funzione della posizione dei diversi fronti di scavo ad una qualunque data scelta dall'operatore.

La richiesta dei valori di abbassamento richiede la compilazione preventiva di una serie di parametri di lavoro gestibili tramite una apposita interfaccia utente.

Il CGI (Common Gateway Interface) residente sul server si occupa di analizzare le richieste fatte dall'utente, esegue la query al database di monitoraggio e si occupa di generare la pagina web contenente i grafici richiesti da inviare al browser remoto. I diagrammi ottenuti dai valori estratti dal database geotecnico sono le curve di interpolazione che meglio approssimano le serie di punti dati utilizzando il metodo dei minimi quadrati.

La curva utilizzata per l'approssimazione dei cedimenti in una sezione trasversale è la curva di Gauss, in quanto considerata la migliore nella letteratura geotecnica.

La conoscenza di questa curva permette di valutare numerosi e

$$S = \frac{V_s}{\sqrt{2 * \pi * i}} * e^{-\frac{y^2}{2i^2}} * \left\{ G \left[\frac{x - x_i}{i} \right] - G \left[\frac{x - x_f}{i} \right] \right\}$$

importanti parametri per il monitoraggio, quali per esempio:

- il cedimento massimo in una sezione trasversale all'asse dello scavo
- la pendenza massima e quindi la massima deformazione
- la distanza dall'asse del tunnel in cui si trova l'area critica
- il volume di scavo perso

La formula di Gauss standard, che prevede il calcolo di due incognite, in questo caso è stata leggermente modificata con l'introduzione di un terzo parametro che consente di spostare orizzontalmente l'asse di simmetria della curva.

$$S = S_{MAX} * (G_1 - G_2)$$

La soluzione dell'equazione e' ottenuta risolvendo un sistema matriciale a tre incognite, ottenendo i parametri caratteristici della curva, "a", "b" e "Xo".

La conoscenza di questi valori della curva rappresentativa della sezione consente di stimare il cedimento anche dove non sono presenti valori di misura.

Il secondo schema della figura 6 è il profilo longitudinale di cedimento. Questo è ottenuto dalle misurazioni, alla data selezionata, dei punti in asse allo scavo della galleria per un intero settore di scavo.

Il grafico prende spunto dall'equazione caratteristica utilizzata in fase progettuale con cui si valuta l'estensione della zona di influenza dello scavo, la cosiddetta distribuzione cumulativa della curva di Gauss.

Secondo questa interpretazione (Attewell e Woodmann, 1982) l'andamento dei cedimenti nel terreno segue la legge matematica: con:

- S cedimento verticale in superficie [m]
- y distanza del punto dall'asse del tunnel [m]
- x distanza della sezione di monitoraggio
- Vs volume del bacino di subsidenza per metro di galleria
- xi posizione iniziale del fronte
- xf posizione finale del fronte

Il procedimento seguito per l'ottenimento della curva interpolante non si basa su valori progettuali di cedimento massimo, ma esclusivamente su misure di monitoraggio.

La formula precedente si riduce a:
nel caso in cui y=0, i punti presi in considerazione sono sull'asse dello scavo.

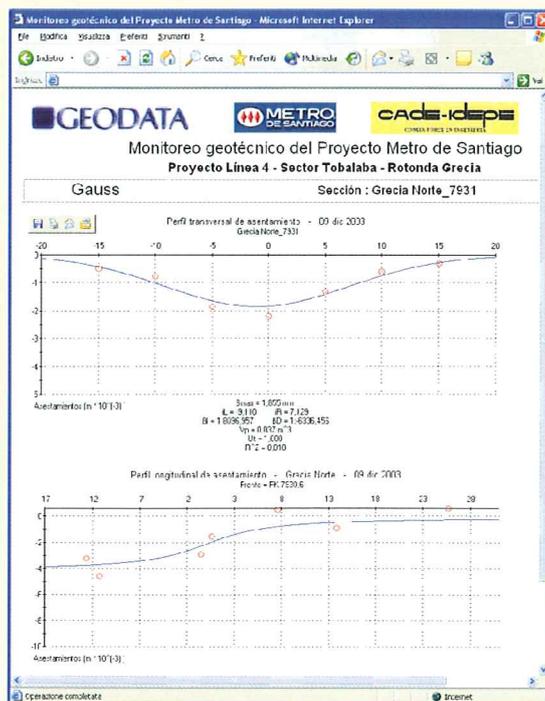


Figura 6: Curve di interpolazione dei cedimenti in una sezione trasversale (grafico in alto) e in una sezione longitudinale all'asse di scavo

Il valore di Smax di progetto è calcolato in funzione di numerosi parametri geologici tipici del terreno e della profondità di scavo, che non sono conosciuti dall'equipe di monitoraggio.

La curva interpolante presente nel sistema è invece ottenuta risolvendo una equazione a due parametri con una formula convergente alla tecnica dei minimi quadrati.

La visualizzazione di una curva che meglio approssima l'andamento dei cedimenti in una sezione longitudinale consente l'analisi della zona di influenza sui cedimenti della posizione del fronte di scavo e la previsione del cedimento massimo nelle sezioni già lontane dal fronte.

Autori

STEFANO PARBONI
(Gd Initer srl)

ALBERTO MORINO
(Gd Test srl)

FEDERICO VALDEMARIN
(Geodata SPA)

GD INITER

TECNOLOGIA GIS & MONITORAGGIO STRUMENTALE

- GRANDI OPERE PUBBLICHE
- PREVENZIONE E DIFESA IDROGEOLOGICA
- CONTROLLI STRUTTURALI
- MONITORAGGIO AMBIENTALE

www.gdiniter.it

www.gdiniter.it

Via Pigafetta, 15 - TORINO

Tel. 011.5810679 - Fax 011.5098833

... alcune applicazioni:

- Metropolitana di Torino
- Galleria San Martino (AN)
- Ponte della Cittadella (AL)
- Galleria Driskos (Grecia)
- Metropolitana di Santiago (Cile)
- Metropolitana di Oporto (Portogallo)

