

# Monitoraggio strumentale e GIS

## Applicazioni e soluzioni per il monitoraggio delle infrastrutture e le grandi opere

Di STEFANO PARBONI, ALBERTO MORINO, FEDERICO VALDEMARIN

Il monitoraggio strumentale interessa un grande ventaglio di attività che vanno da matrici di tipo ambientale - aria, acqua, emissioni - al controllo del territorio, come ad esempio dei fronti di frana o degli alvei dei fiumi. Esso trova applicazione anche in altre attività quali il restauro conservativo o l'ambito agronomico. Un settore che si è dimostrato in questi ultimi anni particolarmente interessato alle innovazioni introdotte dal supporto del GIS ai sistemi di monitoraggio strumentale, è quello delle grandi opere pubbliche.

**L**e ragioni di ciò risiedono nella necessità di controllo in tempo reale di una grandissima quantità di dati e nell'importanza, ai fini della sicurezza complessiva, che tali informazioni assumono, unitamente al loro contesto territoriale. Tanto più infatti il progetto dell'opera interagisce con le infrastrutture esistenti o con l'assetto idro-geologico, tanto più aumenta l'esigenza di un controllo puntiglioso e continuo. Se poi l'opera interessa un'area fortemente urbanizzata è comprensibile come la gestione integrata dell'informazione proveniente da strumenti di monitoraggio, la sua consultazione in tempo reale e la segnalazione immediata di anomalie e allarmi sia imprescindibile; si pensi infatti ad un'opera in sotterraneo realizzata avvicinandosi o sotto-attraaversando edifici e strutture preesistenti, ed alla relativa necessità di assicurare nel contempo la sicurezza delle persone, degli edifici e del traffico in superficie.

In tali casi il monitoraggio è oggetto di interesse da parte di diverse figure istituzionali (Committente, Appaltatori, Progettisti, Autorità ...) preposte a tutela della sicurezza e alla supervisione dei lavori; è quindi essenziale gestire e distribuire tempestivamente il dato misurato a supporto di importanti decisioni, come l'attivazione di ottimizzazioni progettuali o eventuali contromisure. Risolvere tali problemi significa minimizzare i rischi legati alla realizzazione dell'opera ed armonizzare il contributo di ogni figura istituzionale al progetto. Per tale scopo è stato studiato e messo in funzione un Sistema Informativo dedicato (SDM) di tipo GIS, basato su architettura Web, che consente un accesso in tempo reale via Internet al dato di monitoraggio ed una serie di funzioni utili all'interpretazione di ogni eventuale fenomeno.

### Soluzioni approntate

Le problematiche prima esposte, oltreché alcune considerazioni di economicità complessiva ed efficienza, hanno fatto sì che il sistema di monitoraggio sviluppato abbia una forte impronta web oriented. Gli intuibili vantaggi di tale approccio risiedono nel fatto che esso è utilizzabile da un numero virtualmente illimitato di utenti che dispongano unicamente della connessione alla rete intranet, dei diritti di accesso al sistema e di un browser quale *internet explorer* o *netscape navigator*.

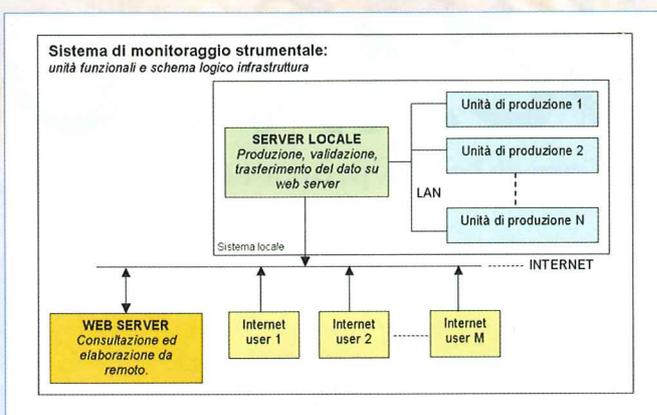


Fig. 1 - Schema funzionale del SDM.

Questo, di fatto, consente, oltre ad una efficiente distribuzione dell'informazione, di minimizzare i tempi di avvio del sistema medesimo e della sua periodica manutenzione evolutiva, in quanto non è necessario l'aggiornamento di ogni singola postazione "client" e tutto il lavoro di messa in esercizio, avvio e mantenimento, avviene in modo limitato al lato server e, come vedremo, alle postazioni deputate alla produzione del dato.

Oltre a tutti i problemi derivanti dall'esigenza di elaborazio-

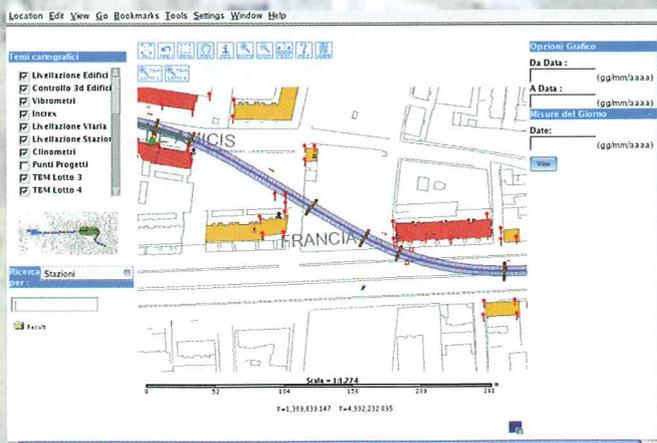


Fig. 2 - Layout della pagina principale del SDM.

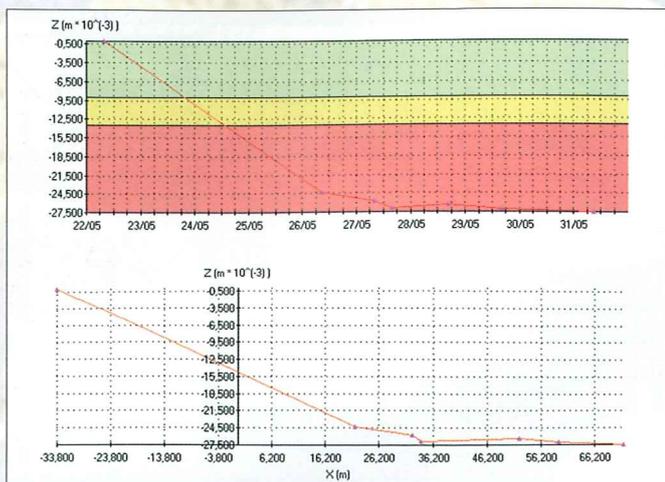


Fig. 3 - Sopra, grafico cedimenti/tempo, con rappresentazione delle soglie di attenzione ed allarme, sotto, grafico cedimenti/avanzamento dello scavo.

ne in tempo reale, il sistema messo a punto ha dovuto tenere conto del flusso di acquisizione del dato, della necessità di una sua analisi e validazione ed infine della sua diffusione e pubblicazione.

La situazione tipica, riscontrabile nel caso di cantieri impiantati per la realizzazione di grandi opere pubbliche, prevede che il dato venga acquisito e validato prima della pubblicazione. Inoltre, spesso, ci si trova in presenza di differenti imprese operanti nell'acquisizione dei dati strumentali, ciascuna con una propria metodologia di lavoro. Per facilitare il travaso dei dati acquisiti in una unica struttura fisica sono stati quindi predisposti una serie di "formati di importazione standard", digitali, che possono venire facilmente importati da un sistema server locale. Tale sistema ha quindi funzioni di acquisizione e concentrazione di tutti i dati provenienti da varie unità emittenti. Nella figura tale sistema è evidenziato da un

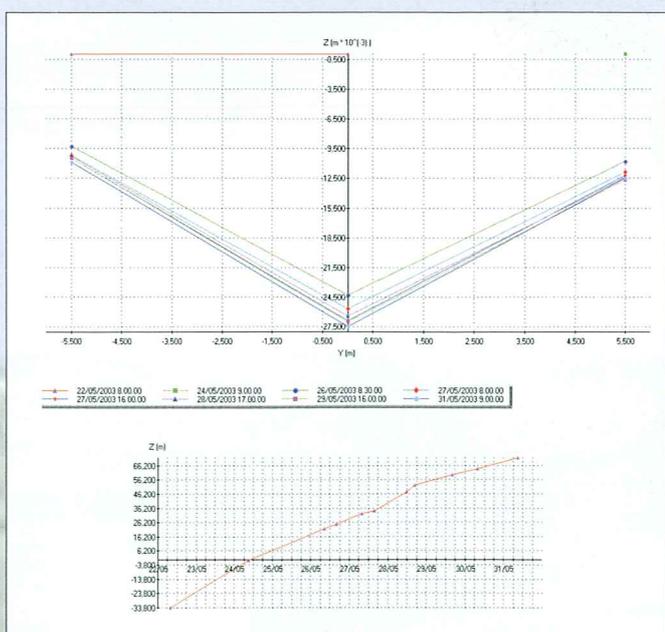


Fig. 4 - Sopra, grafico di più strumenti, uniti a formare un profilo di subsidenza, sotto, grafico avanzamento dello scavo/tempo.

riquadro e risulta composto da una rete locale (LAN), una serie di unità emittenti (client) e da un server locale con accesso alla rete internet.

Tale sistema opera in una logica "client-server", a seconda delle specifiche esigenze, possono venire installate, oltre alle standard, procedure dedicate alla gestione e al processamento di particolari tipologie di strumenti. In ogni caso i dati confluiscono nel server centrale, che dispone di un database alfanumerico e di un database cartografico. Tutte le interfacce utente, operative nel sistema locale, operano con il supporto di un GIS che attinge dallo stesso server locale le banche dati geografiche di supporto e il database alfanumerico strutturato per la definizione degli strumenti e le relative misurazioni storiche. Le banche dati GIS possono contenere vari strati di cartografia tecnica, geologica, dell'uso del suolo, oltretutto, naturalmente del progetto dell'opera. Viene così offerta la possibilità di georiferire tutti gli strumenti piazzati, sia in pianta che in sezione. Il GIS consente una essenziale funzionalità, ovvero quella di poter effettuare analisi raggruppando vari strumenti, in corrispondenza di determinati allineamenti o sezioni, in prossimità di uno specifico sito o all'interno di esso.

Le funzionalità del lato cantiere, identificato in figura come server locale, vengono completate da procedure di rappresentazione spazio/temporale di fenomeni derivanti dall'elaborazione di differenti letture. Esse evidenziano variazioni, tendenze, spostamenti assoluti e planari, con una grande varietà di opzioni di lavoro, tali da rendere il sistema completo ed idoneo alla maggior parte delle esigenze riscontrabili con queste funzioni vengono efficacemente assolte le necessità di supporto alle situazioni di allarme derivanti dal superamento di valori limite. Possibilità aggiuntive sono rese disponibili dall'esistenza di valori di calibrazione e di letture a zero, tali da poter offrire un quadro evolutivo sempre riscontrabile e quindi effettuare una corretta validazione del dato immesso.

Una volta validato, il dato può essere inviato, tramite sicure procedure FTP, al web server remoto.

Nel lato server web si trovano una serie di processi schedulati in grado di provvedere, senza la necessità di supporto operativo, all'aggiornamento delle banche dati GIS e alfanumeriche. Tale processo avviene peraltro senza la necessità di interrompere il servizio di consultazione su web che viene quindi garantito in continuo.

Gli utenti internet hanno a disposizione un sito dal quale è possibile accedere mediante autenticazione alle pagine dell'applicativo. Le principali funzionalità utente, per il lato internet, sono le seguenti:

- consultazione selettiva della cartografia con la possibilità di "navigare" sul territorio e interrogare gli oggetti territoriali suddivisi in strati (layer)
- utilizzo di legende di rappresentazione avanzate, basate sulle caratteristiche degli oggetti rappresentati
- accesso a tutti i dati di misurazione tramite il click sulla mappa in corrispondenza di uno strumento piazzato
- ricerca nominale degli strumenti e dei loro valori di lettura
- vari tipi di elaborazioni parametriche di tipo grafico rappresentativo
- visualizzazione dell'avanzamento del fronte di scavo di eventuali attività e lavorazioni (ad es. fronte di scavo di una galleria, interventi di consolidamento, realizzazione di infrastrutture, ecc.)

- accesso selettivo ai dati delle misurazioni provenienti dai sistemi che operano sul territorio e provvisti di tele-controllo strumentale quali ad es. i dati macchina delle TBM (Tunnel Boring Machine) o i parametri di controllo di impianti di consolidamento
- possibilità di stampa in scala di estratti cartografici
- possibilità di inviare via e-mail in allegato un estratto di mappa o qualsiasi elaborazione prodotta.

**La sicurezza**

La sicurezza del sistema è a diversi livelli: oltre l'utilizzo di proxy e firewall infatti, il GIS di monitoraggio dispone di un proprio sistema di autenticazione che permette di riservare alcune attività solo a specifici utenti.

Per l'amministratore del sistema è possibile disporre, inoltre, di un capillare log sugli accessi e sulle richieste effettuate al server. Su richiesta del committente è quindi possibile ottenere un preciso riscontro sull'utilizzo complessivo e di ogni singolo utente.

L'amministratore può inoltre riservare l'accesso solo a particolari aree o lotti dell'opera o limitare l'utilizzo di ogni funzione disponibile.

**Esempi applicativi**

Il sistema approntato, nonostante le caratteristiche innovative e il recente sviluppo, ha trovato impiego in molti progetti di grandi opere pubbliche; si citano al riguardo la realizzazione della metropolitana di Torino, della metropolitana di Porto (Portogallo) e della metropolitana di Santiago (Cile).

Altri esempi applicativi realizzati riguardano il monitoraggio idraulico e strutturale del Ponte della Cittadella di Alessandria e di numerose gallerie in Italia e all'estero.

**Evoluzione del sistema**

Attualmente sono in corso di realizzazione nuove funzionalità orientate a completare l'offerta elaborativa e/o incrementare i diversi campi di applicazione del sistema.

Notevole impulso si attende dallo sviluppo di un modello tridimensionale per l'analisi grafica dei cedimenti. Infatti, un grande progetto sviluppato in contesto urbano, dove l'analisi delle deformazioni causate dagli interventi è un punto cruciale del monitoraggio, una rappresentazione grafica creata dall'interpolazione dei valori di subsidenza calcolati nelle loro rispettive posizioni, consente una immediata visualizzazione dei cedimenti lungo l'asse di scavo. L'accurata distribuzione dei pun-

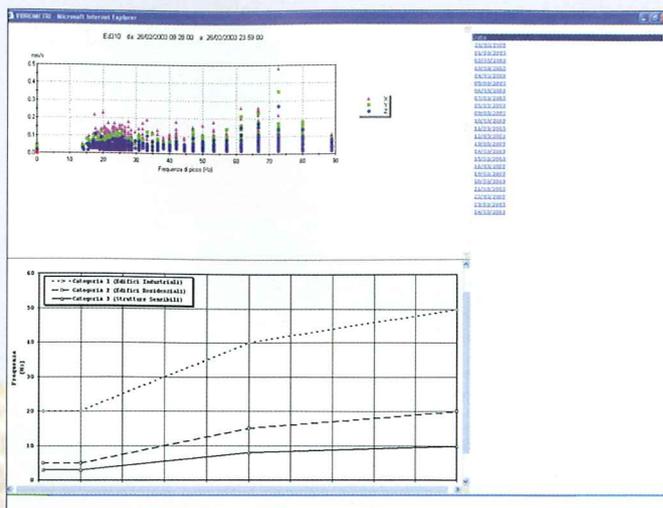


Fig. 5 - Pagina di consultazione delle misure vibrometriche.

ti di livellazione consente la creazione di un modello matematico altimetrico a cui vengono associati dei colori in funzione dei livelli di attenzione e allarme. Tipicamente viene visualizzata una gamma di colori dal verde (minori cedimenti) fino al rosso, che rappresenta i valori più elevati di abbassamento. Il modello tridimensionale permetterà anche una stima dei volumi di scavo persi, nel caso di gallerie, per fenomeni di subsidenza o di convergenza.

Un altro aspetto riguarda la stima dell'andamento di una particolare curva secondo formule matematiche di previsione della tendenza del grafico. Le formule di previsione sono caratterizzate da un alto numero di parametri e coefficienti che l'utente avrà modo di modificare secondo il tipo di progetto a cui sta lavorando. Attraverso questa caratteristica sarà possibile una stima dei futuri cedimenti, consentendo l'adozione di tempistiche contromisure in tempo utile.

**Autore**

**STEFANO PARBONI**  
(Gd Inter 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.gdinter.it](http://www.gdinter.it)

[www.gdinter.it](http://www.gdinter.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)

