

## GENESI

### Green sEnSor NEtworks for Structural monitoring

Dott. Geol. A. D'Arcangelo <sup>(1)</sup>, Dott. Geol. M. Martino <sup>(1)</sup>, Ing. G. Lunardi <sup>(1)</sup>, Prof.ssa C. Petrioli <sup>(2,3)</sup>

<sup>(1)</sup> Tre Esse Engineering S.r.l., Roma, Italia.

<sup>(2)</sup> Dipartimento d'Informatica Università degli Studi di Roma "Sapienza", Roma, Italia.

<sup>(3)</sup> WSENSE Srl, Roma, Italia.

**ABSTRACT:** Il progetto di ricerca GENESI fa parte del settimo programma quadro della Comunità Europea, il cui obiettivo è sviluppare una nuova generazione di reti di sensori a basso consumo energetico mediante l'applicazione delle reti dei nodi sensori alla strumentazione del monitoraggio geotecnico e strutturale. La Tre Esse Engineering S.r.l. partecipa al progetto europeo, coordinato dal Dipartimento d'informatica dell'Università 'La Sapienza' di Roma, insieme ad altre università e società internazionali. I nodi sensori sono dei piccoli dispositivi elettronici autonomi, aventi dimensioni centimetriche, in grado di comunicare tra loro via wireless. Le innovative reti di sensori wireless saranno al contempo eterogenee, ad alta efficienza energetica ed intelligenti; si applicheranno a diverse tipologie di sensori geotecnici; saranno in grado di raccogliere energia da fonti multiple e di operare autonomamente per diversi decenni. Le attività di sperimentazione hanno luogo presso la galleria di linea della nuova tratta della Metropolitana di Roma "Linea B1". I nodi sensori sono applicati alle barrette estensimetriche a corda vibrante installate nei conci prefabbricati del rivestimento definitivo della galleria per effettuare misure dello stato tenso-deformativo. Genesi permetterà d'installare la strumentazione geotecnica senza l'utilizzo di cavi e pertanto tutto ciò si tradurrà in un notevole risparmio economico.

## 1 Introduzione

La Tre Esse Engineering S.r.l. e l'Università di Roma La Sapienza partecipano al progetto europeo Genesi, acronimo di Green sEnSor NEtworks for Structural monitoring, che fa parte del settimo programma quadro della Comunità Europea (The Seventh Framework Programme FP7) e si rivolge ad una vasta gamma di partecipanti tra cui: università, organizzazioni pubbliche e società private.

Il progetto Genesi prende forma dalla stretta collaborazione tra il mondo lavorativo e quello della ricerca scientifica, grazie al costante impegno e alle idee del Dott. Maurizio Martino (Tre Esse Engineering S.r.l.), della Prof.ssa Chiara Petrioli (Prof. Ass. del Dipartimento d'Informatica Università degli Studi di Roma "Sapienza"), coordinatrice del progetto stesso, e di WSENSE S.r.l., uno spin-off dell'Università di Roma "Sapienza" che fornisce soluzioni all'avanguardia per il monitoraggio sottomarino e terrestre mediante l'impiego di reti di sensori.

Gli altri partner del progetto Genesi sono: l'Università di Twente (Olanda), l'Università Alma Mater Studiorum di Bologna, l'Università Tyndall di Cork (Irlanda), la ST Microelectronics di Catania (Italia), la Solexperts AG Società di monitoraggio (Svizzera).

GENESI si propone l'ambizioso obiettivo di sviluppare una nuova generazione di reti di sensori wireless per il monitoraggio geotecnico e 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 (ad esempio dal vento, dal sole e dalle vibrazioni) e di operare autonomamente per diversi decenni; intelligenti, poiché in grado di ragionare in situ per valutare potenziali rischi e per l'innovativa modalità di trasmissione delle informazioni multidirezionale.

GENESI si esplica mediante l'applicazione della tecnologia delle reti dei nodi sensori (Wireless sensor networks) alla strumentazione del monitoraggio geotecnico e strutturale.

I nodi sensori (fig. n.1) sono dei piccoli dispositivi elettronici autonomi, aventi dimensioni centimetriche, in grado di comunicare tra loro via wireless. Essi sono stati riprogettati ed adattati per soddisfare i requisiti dei sistemi di monitoraggio geotecnico strutturale più impiegati.

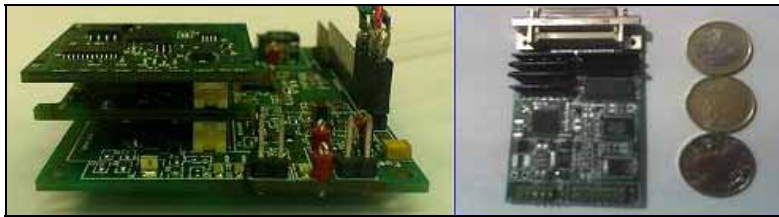


Figura 1 Nodo sensore Genesi.

## 2 Il monitoraggio geotecnico e strutturale

Generalmente un sistema di monitoraggio geotecnico strutturale si compone di varie tipologie di sensori per rilevare le grandezze ambientali, i parametri geotecnici e la risposta strutturale alle sollecitazioni. I sensori sono direttamente connessi tramite cavi a un sistema di acquisizione dati centralizzato.

Il ruolo del sistema di monitoraggio è quello di acquisire, immagazzinare ed elaborare i dati strumentali al fine di consentire un monitoraggio in tempo reale delle strutture.

Il monitoraggio geotecnico strutturale è oggi parte essenziale della realizzazione delle infrastrutture ed in particolar modo dei lavori in sotterraneo come le gallerie.

Per un'ottima esecuzione delle gallerie, sia in termini economici che di sicurezza, specialmente in ambienti sensibili come possono essere i contesti urbani, le attività di monitoraggio sono un indispensabile supporto alla progettazione consentendo di revisionare i parametri progettuali nel momento in cui le previsioni si discostano in maniera significativa dai parametri misurati.

Uno dei principali scopi del monitoraggio strutturale durante la realizzazione di un'Opera è quello di ridurre e mitigare il livello di rischio determinato dal verificarsi di un evento calamitoso.

Prendendo come esempio lo scavo di una galleria in un contesto urbano vi sarà sempre un potenziale rischio sulle strutture adiacenti (preesistenze, fabbricati, ecc.); infatti, queste potrebbero subire danni a causa di cedimenti indotti dallo scavo della galleria stessa.

Nella pianificazione del rischio e nella sua gestione devono essere prese in esame le cause che comportano tali cedimenti (ad esempio eventuali variazioni del livello di falda, la stabilità delle pareti di scavo, ecc) e devono essere definite le soglie di cedimento ammissibile per le strutture preesistenti. Piccoli cedimenti sono molto probabili, ma in genere non causano danni o se li causano sono minimi; al contrario elevati cedimenti possono danneggiare pesantemente le strutture esistenti, oppure, nel peggiore dei casi, possono portare al collasso totale delle stesse (fig. n.2).



Figura 2 Singapore MRT primavera 2004 prima e dopo il collasso (immagine tratta da internet "The Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works ITA Conference Seoul, April 25, 2006").

Pertanto devono essere intraprese tutte le precauzioni per evitare elevati cedimenti.

Il monitoraggio strutturale, che si esplica mediante misurazioni strumentali sistematiche ed ad alta precisione dei potenziali fenomeni di rischio, è una pratica fondamentale ed indispensabile per ridurre il rischio che un determinato evento calamitoso possa verificarsi.

Il monitoraggio permette di percepire il rischio e di adottare azioni per ridurlo (ad esempio se i cedimenti reali sono più elevati di quanto previsto dai modelli progettuali si possono effettuare degli interventi di consolidamento in corso d'opera).

Inoltre i sistemi di monitoraggio contribuiscono alla riduzione del rischio riducendo i danni a cose e a persone. Allarmi predisposti, infatti, consentono di evidenziare eventuali criticità permettendo agli addetti ai lavori (impresa, progettisti, ecc.) di intervenire per riportare le condizioni al contorno entro gli standard di sicurezza ed in alcuni casi di evacuare le strutture per tempo prima del crollo.

Il grafico sottostante mostra schematicamente come un uso sistematico del monitoraggio strutturale possa ridurre il rischio, portando il rischio residuo ad un livello accettabile (infatti, il rischio non può essere completamente eliminato).

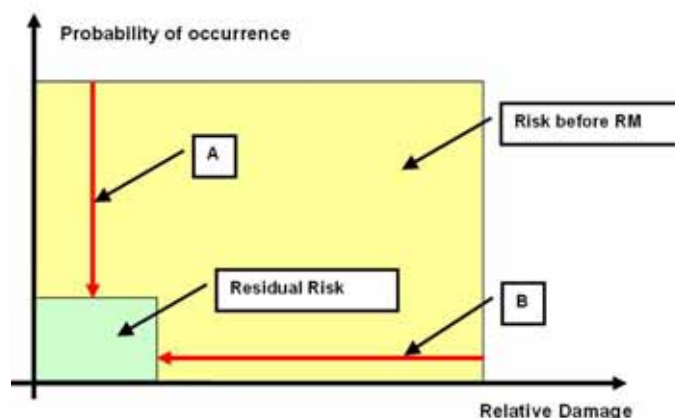


Figura 3 Riduzione del rischio mediante la sua valutazione.

Il rischio può essere espresso come il prodotto tra la probabilità di accadimento di un evento calamitoso e il danno da esso generato in termini economici, artistici, culturali, di vite umane, ecc.

Nella figura n.3 con la lettera A viene indicato come il monitoraggio può consentire la diminuzione della probabilità da parte di un evento di verificarsi ad esempio segnalando eventuali problematiche di una struttura, di cui può esserne migliorata la stabilità impedendone il collasso.

Con la lettera B invece viene indicato come il monitoraggio possa diminuire i danni connessi ad un determinato evento, allertando per tempo gli addetti ai lavori mediante sistemi di allarme appositamente predisposti e consentendo prima del crollo l'evacuazione della struttura.

### 3 La sperimentazione del progetto Genesi

In concomitanza al monitoraggio tradizionale di scavi meccanizzati in contesti urbani, la sperimentazione del progetto Genesi propone un monitoraggio geotecnico e strutturale sperimentale effettuato mediante l'utilizzo della tecnologia dei nodi sensori.

L'utilizzo dei nodi sensori permetterà di acquisire e trasmettere i dati via wireless, permettendo di ridurre al minimo le interferenze con le lavorazioni sia in corso d'opera durante la realizzazione delle gallerie, sia durante l'entrata in funzione dell'opera, ovvero nella fase di esercizio dei treni.

Genesis consentirà un notevole risparmio di tempo e quindi economico, mediante un monitoraggio innovativo, meno invasivo, eliminando la stesura di cavi e l'installazione in loco delle classiche centraline di acquisizione dati.

Una delle innovazioni di Genesis risiede nella rete dei Nodi sensori che permette il passaggio dell'informazione in modo intelligente: se uno o più nodi non dovessero funzionare, il sistema lo riconosce; i dati vengono comunque memorizzati e possono essere scaricati o ritrasmessi tramite protocolli innovativi progettati per coniugare alta affidabilità ad un basso consumo energetico. Pertanto l'informazione continuerà ad essere resa disponibile agli utilizzatori finali a meno che i nodi interfacciati agli strumenti, per motivi vari, risultassero danneggiati.

La strumentazione geotecnica cui si rivolge il progetto è quella che generalmente nel monitoraggio geotecnico e strutturale viene acquisita automaticamente mediante apposite centraline e pannelli per effettuare un monitoraggio in tempo reale.

Genesi si applica ai sensori più comuni adoperati negli strumenti del monitoraggio geotecnico e strutturale delle Opere civili presenti sul mercato attuale. Ad esempio si applica a sensori potenziometrici, piezoresistivi, resistivi, a corda vibrante, sensori di temperatura tipo resistori, ecc. Tali sensori consentono di fare misure di spostamento, di pressione, di inclinazione, di deformazione, di umidità, di temperatura ecc.

Il ruolo della Tre Esse Engineering S.r.l. come anche quello della Solexperts AG, entrambe società di monitoraggio, nell'ambito del progetto è quello di "End Users", ovvero di fruitori finali dell'innovativa tecnologia in fase di sperimentazione. Infatti, gli utenti finali direttamente coinvolti nel progetto come attori principali, partecipando attivamente alla fase di sperimentazione e conoscendo molto bene i requisiti del monitoraggio geotecnico strutturale, consentono di indirizzare la sperimentazione nella giusta direzione, per soddisfare le reali esigenze del monitoraggio strutturale e della società attuale.

La sperimentazione del progetto è effettuata dalla Tre Esse Engineering S.r.l., in collaborazione con l'Università degli Studi di Roma La Sapienza e WSENSE S.r.l, sulla "Metropolitana di Roma Linea B1" e dalla Solexperts AG sul "Pont de la Poya" a Fribourg in Svizzera.

Le attività di sperimentazione della Tre Esse Engineering S.r.l. hanno luogo presso la galleria di linea della nuova tratta della Metropolitana di Roma Linea B1, che collegherà la stazione "Conca D'Oro" alla stazione "Jonio".

La tecnologia dei nodi sensori è applicata alle barrette estensimetriche a corda vibrante installate nei conci del rivestimento definitivo della galleria.

L'utilizzo delle barrette estensimetriche è molto diffuso nell'ambito del monitoraggio strutturale delle opere civili e in particolar modo nella costruzione dei tunnel. Infatti, le barrette estensimetriche consentono di conoscere le deformazioni degli elementi strutturali in calcestruzzo e in acciaio di fondamentale importanza per determinare lo stato di sollecitazione agente; tale dato permette ai progettisti di gallerie di valutare la stabilità di una galleria e di verificare le deformazioni attese da progetto.

L'attività di sperimentazione di Genesi prevede l'installazione di n.4 apposite sezioni di monitoraggio strumentate con barrette estensimetriche a corda vibrante (fig n.4) Ogni sezione è costituita da 2/3 conci strumentati con n.6 barrette per concio.

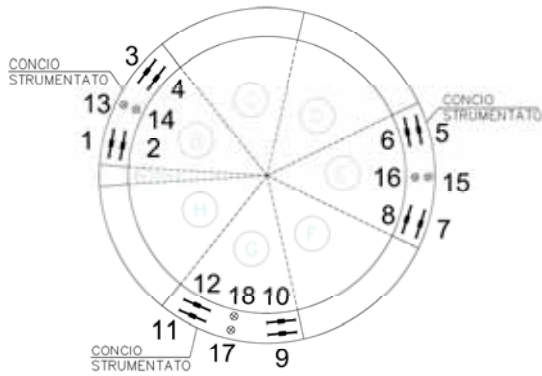
Nella galleria in esame un anello di rivestimento definitivo ha un diametro interno di circa 9 metri ed è composto da n.8 conci prefabbricati.

Le barrette estensimetriche sono installate sulle armature dei conci di calcestruzzo del rivestimento definitivo per effettuare misure dello stato tenso-deformativo (fig. n.5 e n.6).

In figura n.6 si possono visualizzare sia le barrette estensimetriche fissate all'armatura metallica dei conci, sia la scatola metallica saldata all'armatura; quest'ultima consente di raccogliere i cavi delle barrette ed il futuro alloggiamento del nodo sensore adibito all'acquisizione dei dati di monitoraggio.



Figura 4 Ubicazione delle sezioni di monitoraggio "Genesi" lungo la galleria della Metropolitana di Roma Linea B1 "tratta Piazza Conca D'Oro – Piazzale Jonio".



**Figura 5 Conci prefabbricati del rivestimento definitivo (immagine a sinistra). Ubicazione delle barrette in un anello strumentato del rivestimento definitivo (immagine a destra).**



**Figura 6 Barrette estensimetriche per calcestruzzo installate sull'armatura dei conci del rivestimento definitivo e scatole metalliche per il futuro alloggiamento del nodo sensore.**

Il contesto delle gallerie scelto per la sperimentazione è estremamente "difficile". Infatti, la temperatura può variare da -10 a 40°C, l'umidità può raggiungere il 100%; vi è una elevata presenza di polvere e di acqua, i nodi possono essere soggetti ad urti da parte degli operatori o da parte dei macchinari impiegati nelle lavorazioni. In conseguenza di ciò il grado di protezione dell'involucro (housing) dei nodi deve essere elevato e il loro posizionamento in galleria è estremamente importante.

La rete di nodi sensori installata nella galleria di linea appartenente alla tratta Conca D'Oro – Jonio della Metropolitana di Roma "Linea B1" è costituita dai seguenti dispositivi:

- "Sensing nodes".
- "Relay nodes".
- "Gateway".
- "Debug relay nodes".

I "Sensing nodes" (fig. n.7 e n.8) sono dei nodi sensore direttamente interfacciati alle barrette a corda vibrante e permettono l'acquisizione dei dati di monitoraggio e la loro trasmissione via wireless; vengono alloggiati nei conci prefabbricati in un secondo tempo rispetto alle barrette, generalmente nel piazzale adiacente al pozzo di alimentazione della fresa, "Tunnel boring machine" (TBM) = macchina per trivellazioni orizzontali, poco prima della discesa dei conci in galleria per essere montati.

I "Relay nodes" (fig. n.7 e n.9), posizionati sul rivestimento definitivo della galleria e sulla TBM, sono dei nodi "ponte", che consentono la comunicazione e il passaggio dei dati via wireless tra un nodo e l'altro fino al raggiungimento del "Gateway".

Il "Gateway" (fig n.7 e n.10), posizionato all'imbocco della galleria, è il dispositivo di raccolta dati, che è provvisto di modem per inviare i dati via internet ad un apposito Server FTP.

I "Debug relay nodes" (fig.n.7), oltre ad avere tutte le funzioni di un "relay node", consentono anche di generare dati di debug che vengono inoltrati verso il gateway come se fossero dei "sensing nodes". Il loro scopo è quello di effettuare prove di comunicazione.

In tutto sono impiegati: n.9 "Sensing nodes", n.12 "Relay nodes", n.10 "Debug relay nodes".

I nodi sensore sono alimentati a batterie, mentre si è scelto di alimentare il gateway a corrente durante la fase di sperimentazione. Tutti i nodi sono muniti di antenna (ricetrasmittitore CC2420 da 2.4GHz) e la loro connettività diminuisce notevolmente quando vengono alloggiati nelle apposite scatole metalliche dei conci, passando da una connettività avente come raggio di azione di 50-80 metri in galleria ad una di 15-20 metri all'interno del concio.

Per la gestione della rete è stato creato un apposito protocollo di comunicazione chiamato "DiSSense" in grado di sfruttare al meglio le disponibilità energetiche. "DiSSense" è un protocollo di comunicazione a bassissimo consumo energetico, che consente alla rete di recuperare periodicamente i dati dai "Sensing nodes" e di trasmetterli al "Gateway".

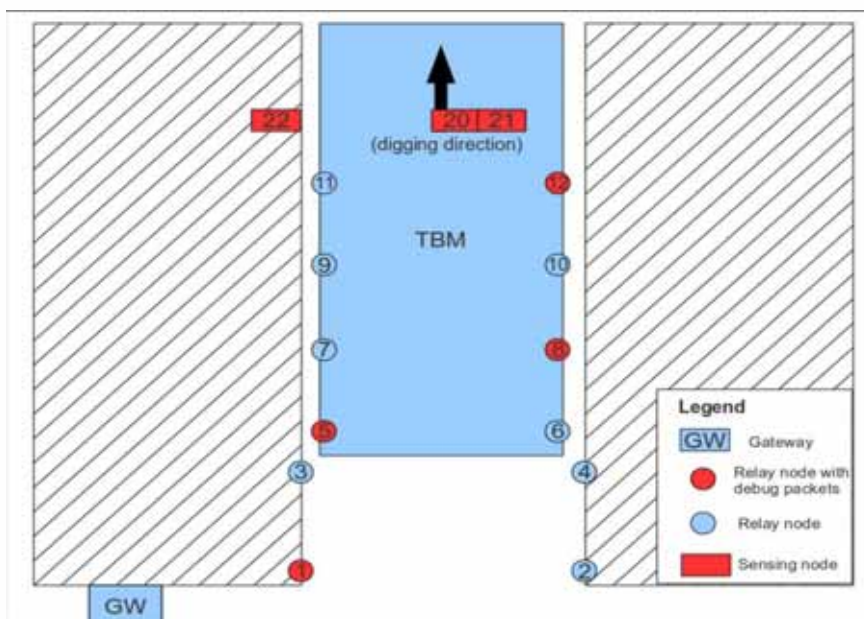


Figura 7 Esempio schematico della rete di nodi sensore installata in galleria.

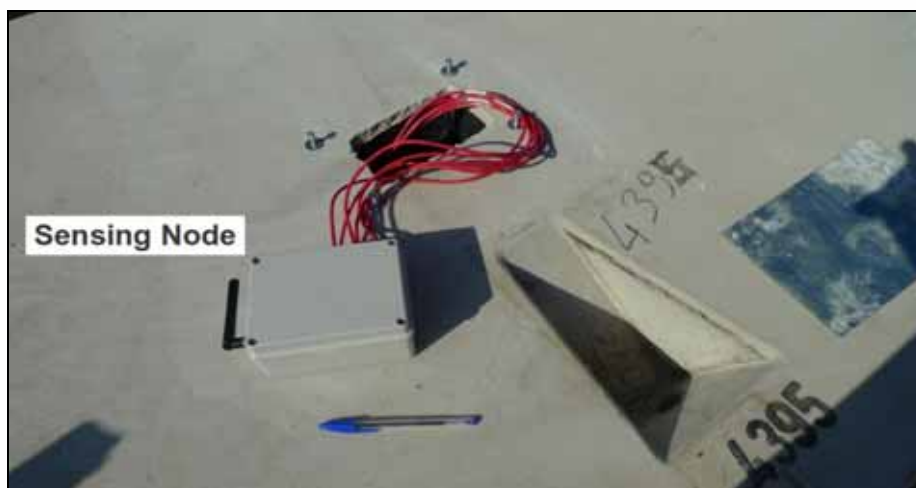


Figura 8 "Sensing node" interfacciato alle barrette estensimetriche di un concio prefabbricato.

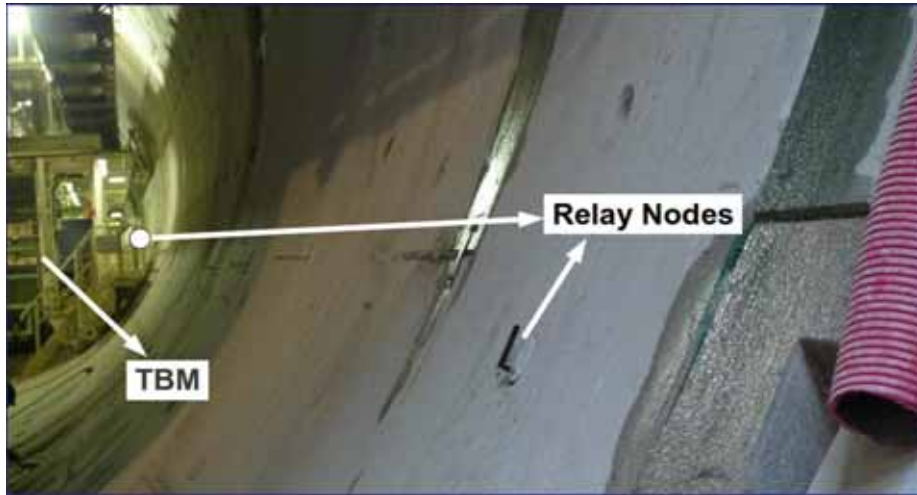


Figura 9 "Relay node" posizionato sul rivestimento definitivo della galleria e TBM.

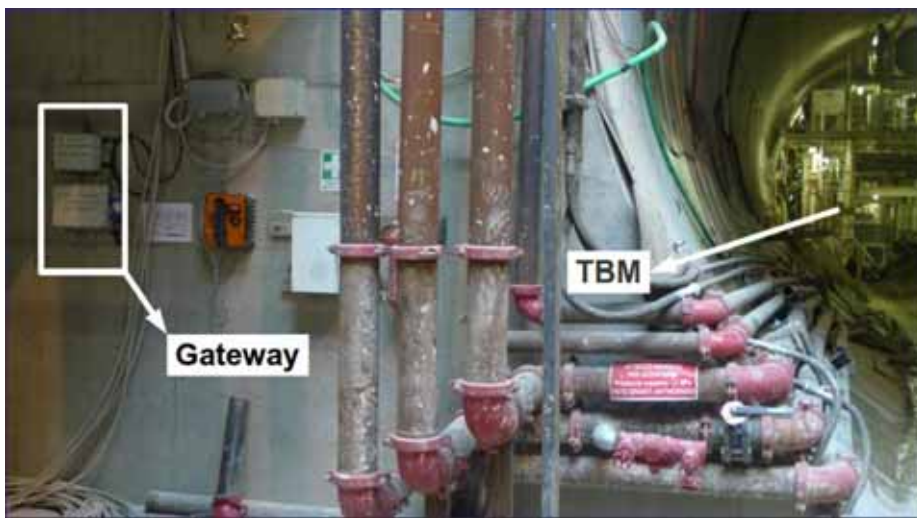


Figura 10 "Gateway" posizionato all'imbocco della galleria di linea.

L'attività di sperimentazione della Solexperts AG viene svolta a Fribourg in Svizzera presso il "Pont De la Poya".

Il ponte "Poya" (fig. n.11), attualmente in fase di costruzione, ha una lunghezza di 853 metri ed una campata massima di 196 metri, la più grande mai realizzata in Svizzera.

I nodi sensori del progetto Genesi sono applicati a diverse tipologie di strumentazioni geotecniche sia statiche che dinamiche: clinometri, termometri, assestimetri mutibase, estensimetri, piezometri, celle di carico, anemometri e accelerometri.



Figura 11 Rendering 3D del Pont de la Poya (immagini del Progetto Genesi fornita dalla Solexperts AG).

## 4 Green Sensor Networks

La rete di sensori Genesi è definita “verde” e “sostenibile” perché i nodi sensore possono acquisire energia da fonti rinnovabili (dal vento, dal sole, dalle vibrazioni, dalle variazioni termiche); ciò consente ai nodi di autoalimentarsi e di ricaricare le batterie per operare autonomamente diversi anni.

Infatti, il monitoraggio di Genesi è progettato anche per monitoraggi di lunga durata.

Il progetto inoltre prevede anche lo sviluppo di piccole celle combustibile in grado di fornire quantità significative di energia ai singoli dispositivi della rete (nodi e gateway) rendendoli autosufficienti.

Nella galleria di linea della Metropolitana di Roma “Linea B1” sono stati installati dei nodi sensore provvisti di dispositivi per la raccolta di energia eolica (fig n.12).

In particolare sono stati installati n.6, nodi dotati di micro-turbine eoliche, per 38 giorni allo scopo di raccogliere dati sui flussi d'aria generati dal passaggio dei treni durante la fase di collaudo della metropolitana.

E' stata sviluppata un'apposita applicazione del nodo per registrare il voltaggio generato dalla microturbina ogni 2 secondi, ogni qualvolta che una corrente d'aria viene prodotta dal passaggio di un treno.

La figura n.13 mostra tre fasi distinte durante il periodo in cui sono stati rilevati i dati:

1. Una fase di pre-collaudo, in cui la maggior parte degli eventi rilevati sono connessi al transito di veicoli impiegati per le lavorazioni.
2. Una fase di inattività, durante la quale non è stato rilevato alcun passaggio di mezzi nel tunnel.
3. Una fase di collaudo in cui sono stati rilevate correnti d'aria considerevoli connesse al passaggio dei treni.

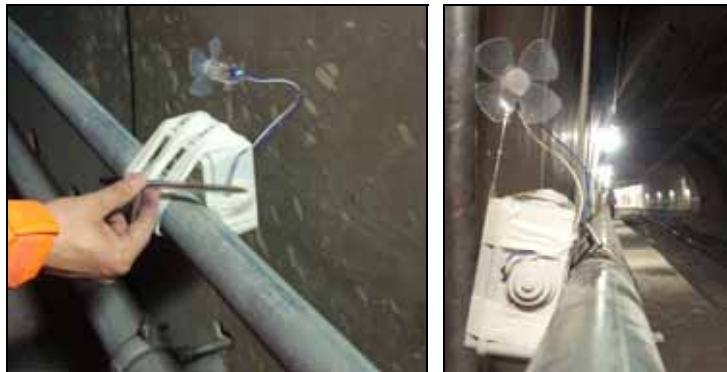


Figura 12 Nodo eolico

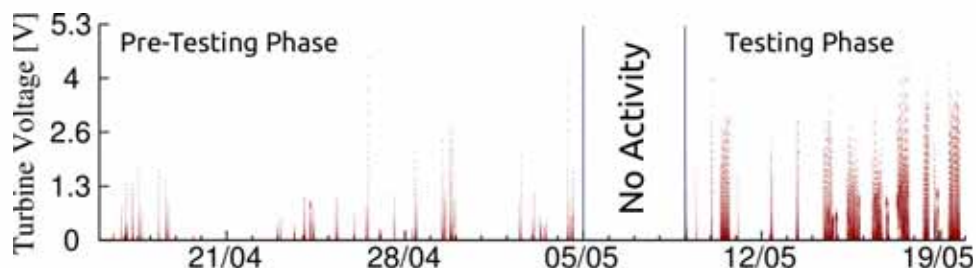


Figura 13 Voltaggio sviluppato dalla microturbina di uno dei nodi installati durante la fase di collaudo dei treni in una delle gallerie della Metropolitana di Roma (Linea B1).

In ambiente esterno i nodi sensore possono essere provvisti di pannelli per la raccolta di energia solare.



## 5 Soluzioni e vantaggi di Genesi rispetto ai sistemi di monitoraggio tradizionali

Genesis consente di risolvere tutta una serie di problematiche tipiche dei sistemi di monitoraggio tradizionale e presenta innumerevoli vantaggi rispetto ad essi:

- un sistema di monitoraggio può essere sviluppato e progettato con Genesis in maniera non attuabile mediante l'utilizzo dei sistemi di monitoraggio tradizionali; infatti, i nodi di Genesis sono interfacciabili ad una moltitudine di sensori, aventi caratteristiche elettroniche differenti in termini di tipologia di sensore (trasduttore), di alimentazione, di segnale d'uscita, di interfaccia/connessione, ecc.. Mediante i nodi "relay" tutti i dati strumentali acquisiti sono diretti in un unico centro di raccolta dati (Gateway). I diversi strumenti geotecnici appartenenti alla stessa rete di nodi sensore possono essere acquisiti con tempi d'acquisizione (sampling rate) differenti in base alle esigenze dei progettisti. Pertanto Genesis permette di uniformare gli impianti di monitoraggio, evitando di utilizzare pannelli di centralizzazione differenti in base al tipo di strumentazione installata.
- Consente di elaborare i dati bruti mediante appositi algoritmi ed ha la possibilità di valutare potenziali rischi mediante la gestione di sistemi di allarme, ad esempio, inserendo apposite soglie di allerta variabili in base al tipo di strumento utilizzato e al tipo di monitoraggio da effettuare. In caso di strumento in allerta può consentire di aumentare automaticamente i tempi di campionamento.
- Non è richiesta l'installazione di cavi. L'utilizzo di cavi, la loro protezione (conduit e corrugati) e i relativi cablaggi sono essenziali nei sistemi di monitoraggio tradizionali, sia per posizionare i datalogger in punti accessibili, sia per la messa in opera di pannelli di centralizzazione multicanale per cui si rende necessario avere i cavi dei sensori in un unico punto. I cavi possono spesso essere danneggiati, precludendo la possibilità di acquisire i dati di più sensori (fig. n.14 e n.15). Genesis, attraverso il suo sistema di comunicazione wireless, bypassa questi problemi, consentendo un notevole risparmio economico. Si pensi al risparmio dei costi inerenti ai materiali (cavi e loro protezione), alla riduzione dei tempi di lavoro impiegati per l'installazione degli impianti di monitoraggio e quindi alla riduzione del personale impiegato, alla diminuzione degli interventi di manutenzione, al mancato utilizzo di mezzi elevatori di cantiere necessari per la stesura dei cavi. Inoltre ci sono meno costi per la gestione dell'impianto di monitoraggio: tutta la tecnologia GENESI è auto-configurabile e progettata per essere di lunga durata, quindi i costi di gestione dell'impianto sono sensibilmente ridotti. I vantaggi economici di Genesis diventano sempre più evidenti, quanto più l'area da monitorare è estesa.



Figura 14 Cavi e corrugati (Metropolitana di Roma Linea B1).



**Figura 15 Cavi tranciati.**

- Consente di superare ostacoli mediante la comunicazione wireless. Ad esempio nel caso di una galleria con scavo meccanizzato la TBM può impedire l'accesso diretto alle centraline d'acquisizione dati (datalogger) posizionate all'interno dei conci e pertanto di acquisire i dati di monitoraggio fin dalla messa in opera dei conci (fig. n.16). Anche il sistema di areazione (ventolino) può ostacolare l'accesso alle centraline di acquisizione dati (fig. n. 16).



**Figura 16 La TBM non consente l'accesso diretto ai dataloggers (immagine a sinistra). Il sistema di areazione può ostacolare l'accesso ai dataloggers (immagine a destra).**

- Minori interferenze con il cantiere, essendo le modalità di installazione di GENESI più semplici: i nodi possono essere spostati, aggiunti e rimossi facilmente. GENESI non richiede un coordinamento stretto con il cantiere come i monitoraggi tradizionali in cui il posizionamento dei cavi deve essere eseguito in modo coordinato.
- Facilità di acquisizione dati dalle sezioni strumentate in gallerie: i dati possono essere scaricati direttamente dai singoli "Sensing nodes", che sono dotati di una memoria interna riscrivibile, oltre che dal "Gateway". Inoltre l'acquisizione automatica dei dati in tempo reale avviene durante tutte le fasi della costruzione dei tunnel e non solo in un secondo tempo, come avviene, in genere, per la maggior parte dei sistemi tradizionali.
- Facilità nel set-up della rete. La configurazione della rete avviene via wireless senza la necessità di accedere fisicamente ai datalogger, per esempio, quando occorre modificare i tempi di campionamento.
- Nessuna differenza tra sezioni di monitoraggio temporaneo e sezioni definitive nel momento in cui sono stati installati strumenti idonei per un monitoraggio di lunga durata. Di conseguenza, l'ulteriore costo dell'hardware necessario per il monitoraggio permanente dell'opera (pannelli di acquisizione dati permanenti) e tutti i costi di implementazione derivati possono essere evitati.

## 6 Conclusione

Genesi è stato ideato e progettato per il monitoraggio geotecnico e strutturale delle grandi opere civili come si può evincere dalle due sperimentazioni del progetto: la galleria della “Metropolitana di Roma Linea B1” ed il ponte “Pont de la Poya di Fribourg” (Svizzera).

Ma si adatta molto bene anche ad altre tipologie di monitoraggio tra cui:

- Il monitoraggio di strutture già esistenti soprattutto in contesti montuosi e poco urbanizzati (opere di sostegno e contenimento, strade, gallerie, ecc.)
- Il monitoraggio di frane.

Per entrambe le applicazioni uno dei vantaggi nell'impiego principale di Genesi è l'indipendenza dall'infrastruttura elettrica esterna, potendo contare sulle fonti di energia rinnovabile e sull'impiego di celle combustibile.

Genesi non richiede l'installazione di cavi per il collegamento dei sensori al “gateway” e ciò consente di posizionare i sensori geotecnici su aree estese ed impervie.

Nelle aree non urbanizzate, nel caso in cui si voglia trasmettere i dati, la disponibilità di una rete esterna come ad esempio quella GPRS è più limitata, ma mediante la tecnologia “multi-hop” di Genesi la trasmissione dati è resa più fattibile con la messa in opera di diversi nodi su una vasta area che comunicano tra loro via wireless.

Inoltre i sistemi di allarme gestiti in maniera efficiente da Genesi sono molto importanti in queste tipologie di monitoraggio.

Tra i possibili futuri scenari di mercato della nuova tecnologia Genesi si deve menzionare il monitoraggio strutturale applicato alle strutture pubbliche e private in maniera preventiva (scuole, edifici sensibili), che verrebbe realizzato per tutte quelle strutture particolarmente a rischio (come ad esempio manufatti collocati in aree potenzialmente instabili o in aree ad elevato rischio sismico) in modo da acquisire dati durante l'intera vita dell'opera (fase di esercizio) prima che si manifesti e intervenga un eventuale fenomeno di dissesto, al fine di valutare al meglio gli eventuali effetti indotti.

Il monitoraggio strutturale preventivo rappresenta il più moderno ed indicato approccio per scongiurare i numerosi incidenti e disastri conseguenti:

- ad eventi naturali (quali frane, terremoti, inondazioni, fenomeni di subsidenza);
- all'invecchiamento fisiologico dei manufatti;
- a cattivi criteri di costruzione.

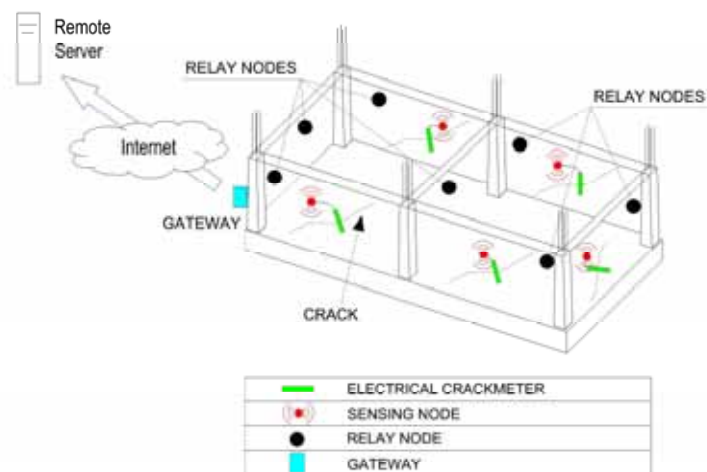
La tecnologia dei nodi sensori si adatta perfettamente a questa tipologia di monitoraggio, essendo applicabile a strumentazioni differenti, aventi un diverso segnale di uscita e una diversa frequenza di campionamento. Inoltre permetterebbe un rapido controllo della stabilità di una struttura ad esempio dopo un evento sismico e/o un controllo di normale routine, mediante un sistema intelligente di trasmissione dati.

I controlli, eseguiti durante l'intera vita delle strutture, avranno come obiettivo principale quello di registrare eventuali variazioni a lungo termine dei parametri geotecnici e quindi di permettere la valutazione delle cause, strutturali o esterne di qualsiasi natura, che abbiano determinato tali variazioni e di valutare la stabilità delle strutture medesime.

I sensori geotecnici sono interfacciati ai nodi Genesi e collegati tramite comunicazione wireless ad un sistema di raccolta dati centralizzato (gateway).

Il ruolo di Genesi è di acquisire, memorizzare ed elaborare i dati strumentali per consentire un monitoraggio in tempo reale.

I sensori da impiegare potrebbero essere: fessurimetri elettrici, clinometri elettrici, accelerometri, ecc.(fig n.17).



**Figura 17 Esempio di edificio intelligente**

La realizzazione di un tal sistema di monitoraggio rappresenta una risorsa importante per confrontarsi in modo competitivo nella realizzazione di soluzioni innovative nell'ambito della sicurezza. Il monitoraggio, infatti, consente la misurazione, periodica o continua, del comportamento degli elementi la cui integrità è vitale per la sicurezza delle strutture in generale e per garantire la salvaguardia della pubblica incolumità.

I dati derivanti da tale monitoraggio permetterebbero di ottenere una sorta di certificato sullo stato di "salute" delle strutture, e, quindi, potenzialmente, una garanzia sulla loro stabilità strutturale nel tempo.

## 7 Ringraziamenti

Si ringraziano:

tutti i partecipanti del Progetto Genesi, la WSENSE S.r.l., la Commissione europea del settimo programma quadro "Research & Development" per aver cofinanziato il progetto,

l'Ing. Andrea Sciotti, Direttore dei lavori di Roma Metropolitane, ed il suo collaboratore Dott. Roberto Fiore, per avere reso possibile la sperimentazione del progetto Genesi,

l'Ing. Vincenzo Moriello, Direttore di Cantiere della MetroB1, la MetroB1 e l'impresa Salini S.p.A. per la disponibilità fornita nelle fasi più operative della sperimentazione.

## 8 Bibliografia

Filas Pitt nr. 270 "Stone-Net Structural Monitoring Via Sensor Networks, periodo attività 1997-98

Internet, progetto della "Metropolitana di Roma Linea B1", dal sito di Roma Metropolitane: <http://www.romametropolitane.it>.

Internet, progetto del "Pont de la Poya", dal sito del Canton Fribourg: <http://pont-poya.ch>.

Internet, dal sito del progetto Genesi: <http://genesi.di.uniroma1.it>.

ITA Conference Seoul, April 25, 2006. The Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works.