UN SIT PER IL MONITORAGGIO E LA MANUTENZIONE DI INFRASTRUTTURE FERROVIARIE

Maurizio POLLINO, Andrea DANZI, Luigi ROSSI

ENEA – Dipartimento ACS - Unità Osservazione della Terra e Sistemi Informativi Territoriali
C.R. Casaccia, Via Anguillarese 301 - 00123 Roma
Tel.: 06.3048.3359 – Fax: 06.3048.6038 – e-mail: maurizio.pollino@casaccia.enea.it

Riassunto
Nell'ambito del Progetto SIMMI (Sviluppo di tecnologie per la realizzazione di un Sistema Integrato per il monitoraggio e la Manutenzione di Infrastrutture ferroviarie, finanziato dal MIUR) e per iniziativa del Consorzio TRAIN è stato progettato e realizzato un Sistema Informativo Territoriale in grado di caratterizzare il posizionamento, nonché gli elementi conoscitivi dello stato di funzionamento, delle infrastrutture ferroviarie della Gestione Governativa Circumvesuviana S.p.A. di Napoli. Il SIT si configura come uno strumento di supporto alle attività di monitoraggio e di logistica del servizio manutenzione della rete ferroviaria oggetto di studio.
La capacità del SIT di posizionare geograficamente le infrastrutture, unitamente a quella di effettuare delle analisi statistiche, ha permesso di analizzare le densità di eventi e/o guasti all'interno di determinate aree territoriali, permettendo di analizzare il rapporto causa-effetto tra le caratteristiche dell'area e gli eventi rilevati, ed indirizzando in tal senso gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Abstract
This paper describes the R&S activities carried out within SIMMI Project (Sviluppo di tecnologie per la realizzazione di un Sistema Integrato per il monitoraggio e la Manutenzione di Infrastrutture ferroviarie), leaded by Consortium TRAIN. In this framework, ENEA ACS-CLIMOSTES unit has designed and developed a GIS for Circumesuviana Sp.a. Railways. The main goal is to support the maintenance of railway track components and facilities by using GIS analysis and procedures ad hoc developed.

Obiettivi ed ambito progettuale

Il lavoro si colloca nell'ambito del Progetto SIMMI - "Sviluppo di tecnologie per la realizzazione di un Sistema Integrato per il Monitoraggio e la Manutenzione di Infrastrutture ferroviarie". Il Progetto, cofinanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca nell'ambito dei Fondi Agevolazioni per la Ricerca (FAR) ex art. 5 del D.M. 593 8 agosto 2000, vede tra i suoi attuatori il Consorzio TRAIN per conto del quale l'Unità ENEA ACS-CLIMOSTES sta portando avanti le attività qui descritte. In questo quadro è stato progettato e realizzato un Sistema Informativo Territoriale (SIT) in grado di caratterizzare il posizionamento, nonché gli elementi conoscitivi dello stato di funzionamento, delle infrastrutture ferroviarie della Gestione Governativa Circumvesuviana S.p.A. di Napoli. Il SIT si configura come uno strumento di supporto alle attività di monitoraggio e di logistica del servizio manutenzione della rete ferroviaria oggetto di studio e per esso si possono distinguere i seguenti obiettivi principali:

1. Ricostruzione numerica aggiornata e con adeguato grado di completezza e di dettaglio geometrico del territorio intorno alla struttura ferroviaria di riferimento. Gli strati

informativi utilizzati ed i risultati delle relative analisi sono organizzati in un DataBase geografico.

2. Analisi dell'interazione tra la fascia territoriale intorno alla struttura ferroviaria e la struttura stessa, in riferimento ad azioni selezionate di monitoraggio e di manutenzione. Integrazione dei dati provenienti dai sistemi di monitoraggio e manutenzione messi a punto dagli altri sottosistemi presenti in ambito SIMMI e relativi alle infrastrutture sotto controllo.

Specifiche del SIT

L'area di studio prescelta coincide in pratica con il territorio della Provincia di Napoli, poiché è qui che si snoda in massima parte il tracciato della Ferrovia Circumvesuviana. In questo ambito sono state individuati e selezionati i dati geografici e le informazioni territoriali per lo sviluppo e la realizzazione del SIT.

Inoltre, in seguito al protocollo di intesa sottoscritto tra il Consorzio TRAIN e la Gestione Governativa Circumvesuviana S.p.A. (Figura 1), sono stati resi disponibili una serie di dati ed informazioni territoriali da utilizzare per lo sviluppo del SIT (informazioni geografico/territoriali sulla linea ferroviaria e sulle infrastrutture tecnologiche, loro localizzazione e caratteristiche principali).

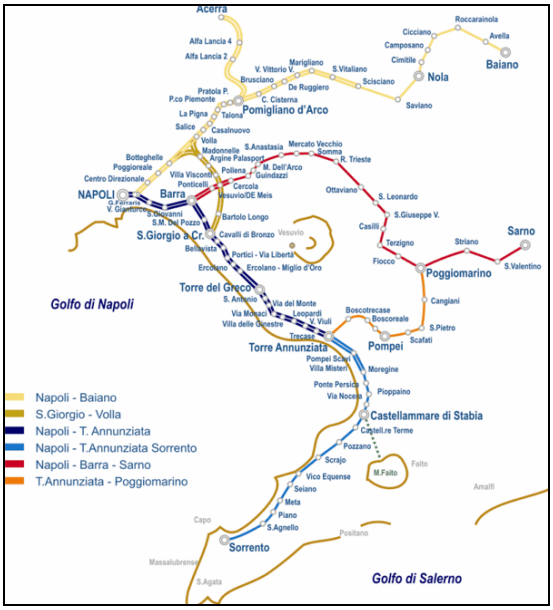


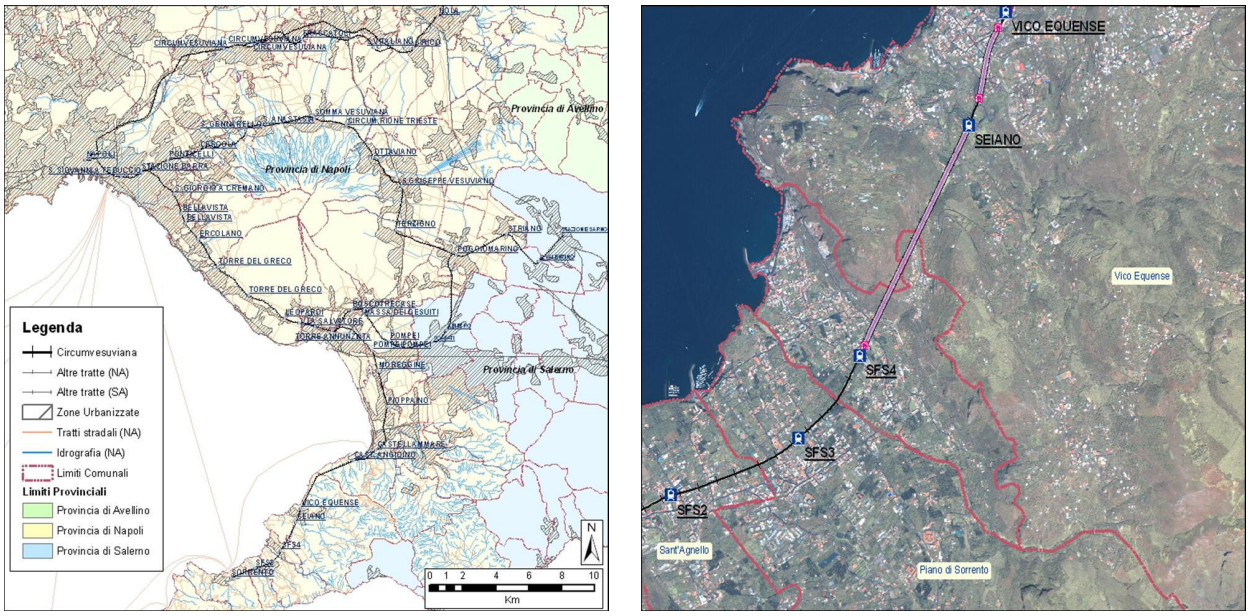
Figura 1 – Rete della Circumvesuviana

Sono stati utilizzati, pertanto, i seguenti strati informativi:

1. 14 CTP (Carte Tecniche Provinciali in scala 1:25.000) di base per l'inquadramento generale, relative a tutto il territorio della Provincia di Napoli, in formato Raster (repertorio cartografico Provincia di Napoli);
2. Strati informativi prioritari o di base relativi all'area di studio (limiti amministrativi, aree urbanizzate, uso del suolo, principali infrastrutture non ferroviarie, idrografia, ecc…);
3. Tematismi in formato vettoriale relativi a Agronomia, Dissesti, Geologia, Geomorfologia, Idrogeologia, Vulcanologia, Sismica, Idrografia e Strade (Scala di riferimento variabile tra 1:25.000 e 1:250.000) (dati CIRAM - Centro Interdipartimentale di Ricerca Ambiente);
4. Modello digitale del terreno DTM (con risoluzione massima 5 m), relativo a tutto il territorio della Provincia di Napoli (repertorio cartografico Provincia di Napoli);
5. 54 CTR (Carte Tecniche Regionali in scala 1:5.000) relative al territorio della Provincia di Napoli, in formato vettoriale (repertorio cartografico Regione Campania);
6. Immagini satellitari ad alta risoluzione geometrica (*QuickBird*, *pansharpened* a 0,60 m) dell'area relativa al sito dimostratore di Seiano (Penisola Sorrentina);
7. Informazioni geografiche/territoriali della linea ferroviaria e delle infrastrutture tecnologiche presenti (tracciato, tipologia di linea a binario doppio o singolo, materiale di costruzione, ecc...) (Circumvesuviana S.p.A.);
8. Localizzazione delle infrastrutture civili presenti e loro caratteristiche principali (Circumvesuviana S.p.A.);
9. Verbali delle visite di controllo alle opere d'arte (Circumvesuviana S.p.A.);
10. Altre informazioni specifiche e/o accessorie per i siti dimostratori (ad es. rilievi fotografici o tavole di progetto inseriti come attributi aggiuntivi degli strati informativi).

Per raggiungere gli obiettivi progettuali, una parte dei suddetti strati informativi è stata utilizzata come base cartografica (scala 1:25.000) per le fasi di inquadramento generale e descrizione complessiva dell'area di studio. Passando, successivamente, ad un livello di dettaglio maggiore, si sono utilizzate le cartografie in scala 1:5000, in modo da ottenere la rappresentazione con adeguata completezza ed opportuno dettaglio geometrico del territorio intorno alla struttura ferroviaria.
In definitiva, sono state adottate le seguenti scale di analisi:

- 1:25.000 - "inquadramento generale" (Figura 2-a): rappresentazione generale e visione completa del territorio d'analisi; è composta da:
  - Carte Tecniche Provinciali scala 1:25000;
  - Strati prioritari DBPrior10K (Limiti Amministrativi Provinciali e Comunali, Strade, Ferrovie, Idrografia);
  - Tematismi territoriali (idrologia, geomorfologia, ecc.).
- 1:5.000 - "dettaglio" (Figura 2-b): rappresentazione di specifiche porzioni del territorio individuate come aree di studio (siti dimostratori); è composta da:
  - Cartografia Tecnica Regionale scala 1:5000;
  - Modello digitale del terreno (DTM) a risoluzione 5 m;
  - Immagini Satellitari QuikBird (*Pansharpened*, risoluzione 0,60 m) ortorettificate;
  - Tematismi territoriali;
  - Verbali di ispezione delle infrastrutture tecnologiche e civili;
  - Eventi registrati sulla linea dai sensori sul campo (guasti, disturbi, ecc.).



(a) **(b)**

Figura 2 – Inquadramento generale (a) ed area di analisi di dettaglio (b) per il sito dimostratore del Viadotto di Seiano (Comune di Vico Equense)

Elaborazioni ed Analisi spaziali

Partendo dalle informazioni esistenti nel DataBase geografico di progetto, mediante una serie di analisi sono stati creati nuovi livelli informativi, associando i dati in maniera da identificare relazioni prima non chiaramente individuabili. Il passo preliminare è stato costituito dalle analisi effettuate con la semplice sovrapposizione di più livelli informativi (*overlay*), come il tracciato ferroviario e le cartografie tematiche dei limiti amministrativi, allo scopo di identificare la tratta di competenza per ogni comune interessato.

Analisi più avanzate sono state effettuate con la combinazione di diversi operatori, anche complessi, che operano sui dati sia bidimensionali sia tridimensionali. Una categoria a parte sono gli operatori specializzati per la gestione e l'analisi delle reti a grafo, che operano su una struttura dati topologica di tipo lineare avente degli attributi alfanumerici particolari, necessari ad effettuare le analisi di connettività e le relazioni tipiche delle infrastrutture a rete. In questo contesto, si è fatto ricorso alla estensione del modello topologico lineare denominata segmentazione dinamica (*dynamic segmentation*), mediante la quale alla struttura topologica fisica è stata sovrapposta una nuova topologia, definita in maniera logica, senza la necessità di modificare i dati presenti nel DataBase .
Un'altra fase di studio ha riguardato l'interazione tra la tratta stessa ed il territorio circostante (con particolare riguardo alle aree densamente urbanizzate) attraverso l'utilizzo degli strati informativi più idonei allo scopo. Innanzitutto, è stata effettuata un'analisi di prossimità per evidenziare meglio la vicinanza degli edifici alla ferrovia Circumvesuviana: attraverso la realizzazione di 4 tipi di buffer basati sulla distanza dai binari rispettivamente di 100, 200, 300 e 400 metri, sono stati individuati, sia graficamente che numericamente (nella tabella degli attributi), gli edifici maggiormente interessati dalla vicinanza alla tratta, e quindi maggiormente influenzati da fenomeni acustici e/o vibrazioni (colore rosso) indotte dal passaggio dei convogli (Figura 3).

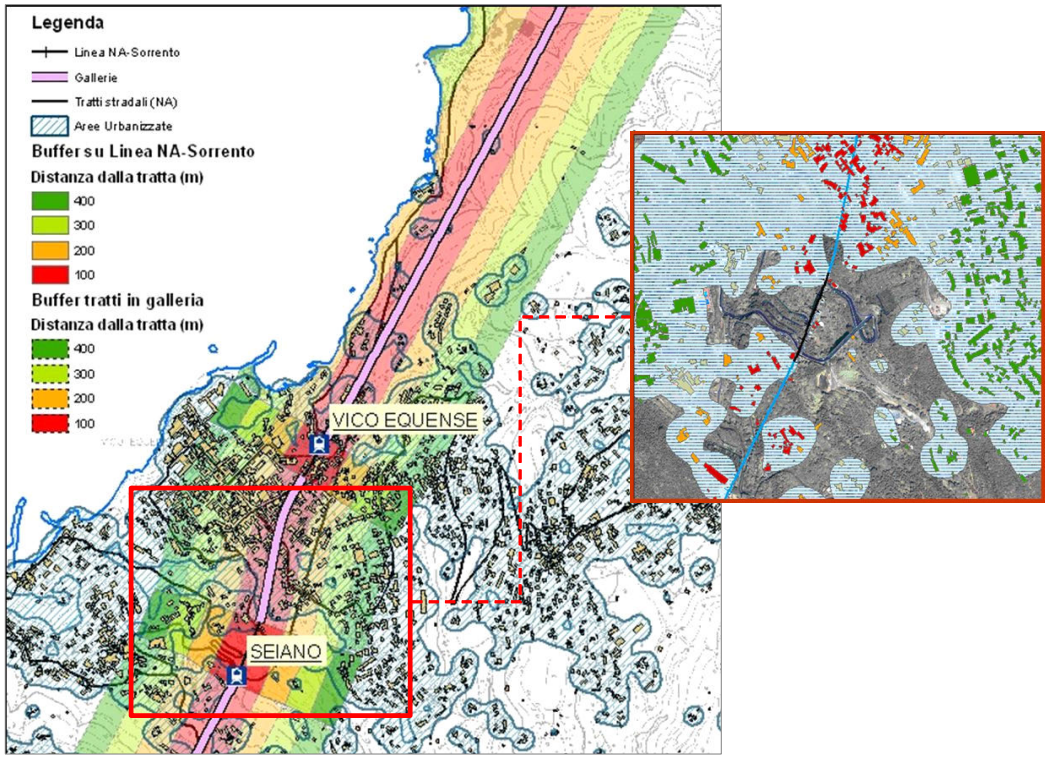


Figura 3 - Rappresentazione della prossimità di aree densamente urbanizzate alla linea ferrata (possibili problemi di tipo dinamico o acustico legati al passaggio dei convogli)

Per quanto attiene l'analisi dell'influenza del rumore sulle aree urbane attraversate dalla ferrovia è stata applicata una versione semplificata del modello matematico *SCHALL03*, con particolare attenzione all'attenuazione della propagazione del suono e tenendo conto dell'effetto della distanza, dell'interazione con il terreno, ecc…. Suddiviso il tracciato ferroviario in singoli tratti di lunghezza 100 m, è stato calcolato il livello di attenuazione per propagazione del rumore emesso dal centro di ogni singolo tratto ("punto di immissione") per tutti i punti del territorio fino ad una distanza massima di 200 m dalla tratta stessa per cui si vuole valutare il livello sonoro.
Sfruttando la capacità del SIT di posizionare geograficamente le infrastrutture, l'attività seguente è stata mirata al lo studio del rapporto causa-effetto tra le caratteristiche dell'area attraversata dalla ferrovia e gli eventi (guasti e/o malfunzionamenti) che su essa si verificano, in modo fa fornire un supporto agli interventi di manutenzione. Partendo da tali presupposti, è stata condotta un'analisi

dei guasti e/o eventi potenzialmente riconducibili a fenomeni naturali. Grazie all'utilizzo delle mappe tematiche disponibili per il territorio della Provincia di Napoli (Carte Tematiche relative a Agronomia, Dissesti, Geologia, Geomorfologia, Idrogeologia, Vulcanologia, Sismica, Idrografia e Strade), si è cercato di stabilire una connessione tra i guasti non imputabili direttamente a difetti dei dispositivi e le caratteristiche del territorio stesso. L'idea di fondo era quella che certi tipi di problemi possono essere legati direttamente o indirettamente alla morfologia ed alle caratteristiche intrinseche del territorio in questione.

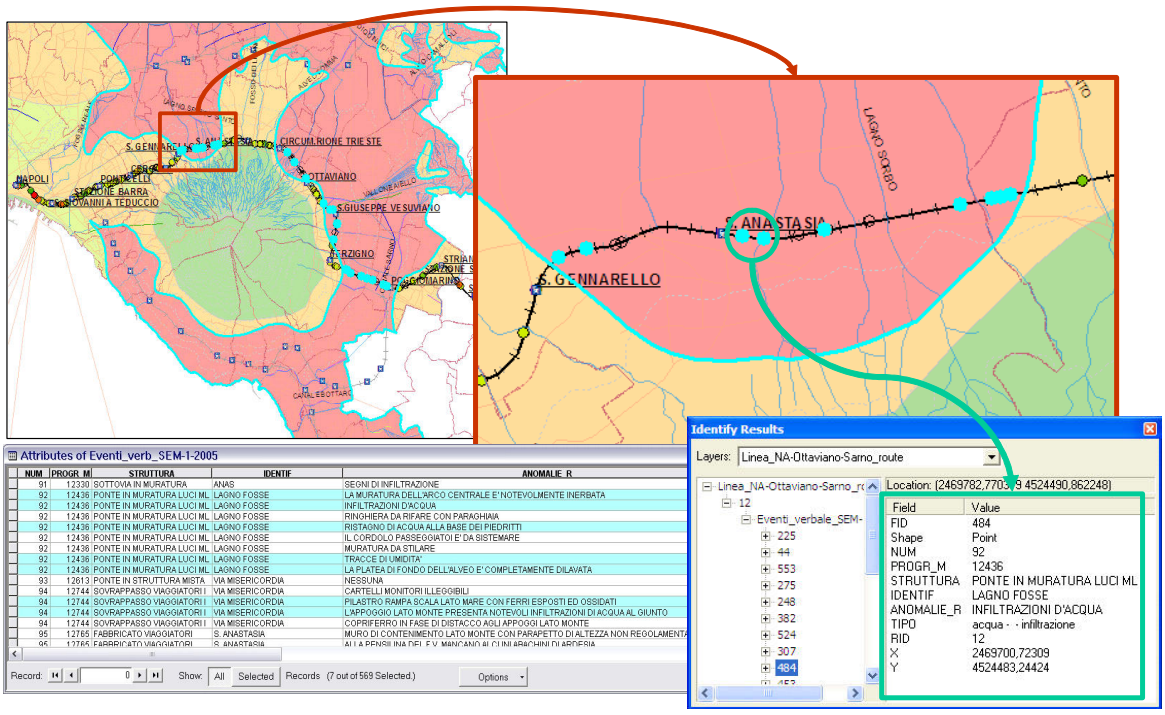


Figura 4 - Linea Napoli-Ottaviano-Sarno. Rappresentazione territoriale delle anomalie sul tracciato: esempio di localizzazione delle infiltrazioni d'acqua.

Servendosi della segmentazione dinamica, gli eventi registrati nei "Verbali delle visite di controllo alle opere d'arte" redatti semestralmente dai tecnici della Circumvesuviana lungo il tracciato sono stati associati ai singoli tratti del grafo che rappresenta l'intera rete ed incrociati con gli strati informativi di tipo geomorfologico ed idrogeologico.
I risultati sono andati nella direzione prevista, in quanto il SIT ha permesso di evidenziare (come si può osservare nell'esempio in Figura 4, relativo alla Linea Napoli-Ottaviano-Sarno) un legame tra le anomalie sul tracciato imputabili ad infiltrazioni d'acqua ed alcune zone del territorio maggiormente "predisposte" a causare questo tipo di inconveniente.

Il Sistema integrato SIMMI

Il Sistema SIMMI prevede una serie di sottosistemi (SIT, SDT e SINFRA, alcuni dei quali sul campo) per il monitoraggio e la diagnostica delle infrastrutture tecnologiche e civili presenti lungo la Circumvesuviana. Un Centro di Controllo (CDD) ha poi il compito di raccogliere tutte le informazioni provenienti dai sottosistemi e di renderle disponibili in un Sistema Diagnostico Integrato (SDI). Il SIT dialoga con l'SDI al

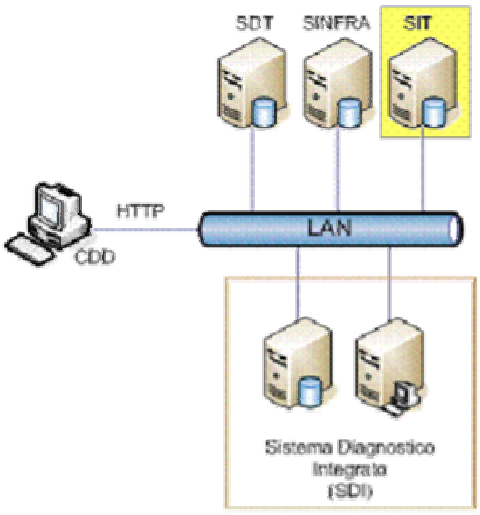


Figura 5 - Architettura semplificata dei sottosistemi operanti in SIMMI

fine di ricevere informazioni su eventi riguardanti guasti o malfunzionamenti di elementi e/o sottoimpianti della tratta, rilevati dalle unità diagnostiche dislocate sul campo (Figura 5). I dati diagnostici raccolti dagli altri sottosistemi e così ricevuti diventano, all'interno del SIT, attributi specifici delle infrastrutture a cui competono. In altre parole, nel SIT si realizza la corrispondenza territoriale tra le infrastrutture monitorate ed i rispettivi dati diagnostici rilevati sul campo: gli eventi registrati vengono, pertanto, messi in relazione con le infrastrutture corrispondenti e posizionati sul grafo della rete ferroviaria.
In questo contesto, sono stati memorizzati nel SIT una serie di eventi diagnostici relativi alla Linea Napoli-Sorrento sotto forma di tabelle di attributi contenenti tutte le informazioni riguardanti il tipo di evento registrato, l'ora, la data, le coordinate metriche, ecc. Grazie alla segmentazione dinamica, i dati relativi agli eventi registrati sul tracciato sono stati associati ai singoli tratti del grafo che rappresenta la linea. Sulla base di tali informazioni, nell'ambito del SIT sono stati implementati criteri di associazione tra eventi correlati e rete ferroviaria per mettere in evidenza aspetti specifici ed analizzare ulteriormente l'interazione tra il territorio ed il tracciato. Gli eventi sono stati materializzati in punti per una completa visualizzazione nel SIT (Figura 6).

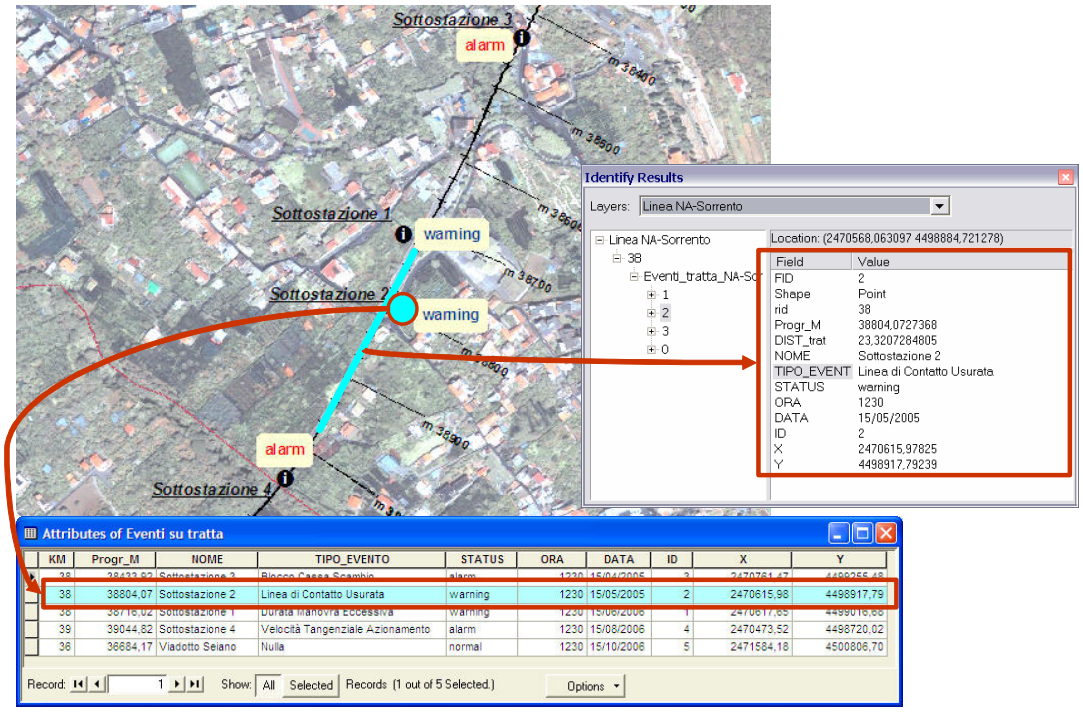


Figura 6 - Linea Napoli-Sorrento: eventi ricevuti dal campo e memorizzati nel GeoDatabase

Conclusioni

Tutti gli strati informativi utilizzati ed i risultati delle relative analisi sono stati organizzati in un DataBase geografico atto a descrivere il territorio, la sua interazione reciproca col tracciato ferroviario ed a fornire supporto alla manutenzione. Ciò ha permesso di caratterizzare lo stato corrente della tratta, visualizzarne le caratteristiche e porre le basi per considerazioni preventive di manutenzione.
La capacità del SIT di posizionare geograficamente le infrastrutture, unitamente a quella di effettuare delle analisi statistiche, ha permesso di analizzare le densità di eventi e/o guasti all'interno di determinate aree territoriali. Mediante interrogazioni ed analisi mirate, pertanto, è stato possibile mettere in evidenza eventi e/o guasti imputabili non a difetti dei dispositivi ma alle caratteristiche del territorio, ovvero è stato analizzato il rapporto causa-effetto tra le caratteristiche dell'area e gli eventi rilevati ed indirizzare in tal senso gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, consentendo anche una riduzione dei relativi costi.