

Il prototipo SOSTEAM per la localizzazione di superstiti sotto le macerie

*D. Arosio*¹, *G. Bernasconi*², *P. Mazzucchelli*³, *S. Munda*¹, *D. Rovetta*², *L. Zanzi*¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Milano

² Dipartimento di Elettronica e Informazione, Politecnico di Milano

³ Aresys s.r.l., Milano

Introduzione. La microsismica passiva è un metodo già utilizzato dalle squadre di ricerca e soccorso per localizzare i sopravvissuti intrappolati dalle macerie dopo il crollo di un edificio. L'apparecchiatura attuale in dotazione alle squadre S&R è un'array di sensori, in grado di rilevare il rumore sismico generato dai sopravvissuti, collegati ad una centralina analogica dotata di cuffie per l'ascolto dei rumori e di barre a led per la visualizzazione dell'intensità dei segnali captati; con essa è possibile localizzare all'incirca il punto proiezione del superstite sulla superficie delle macerie attraverso la ricerca della posizione da cui i sensori captano la massima intensità di segnale. Questa procedura di localizzazione è abbastanza lunga e laboriosa perché sono necessarie parecchie fasi di ascolto e riposizionamento dei sensori. Anche se viene utilizzato un array di sensori, l'attuale apparecchiatura ignora la potenziale informazione data dai ritardi e non fornisce nessuna indicazione circa la profondità del superstite. L'obiettivo del progetto SOSTEAM è quello di migliorare la tecnologia ad oggi in uso sviluppando un prototipo di strumento digitale dotato di nuove potenzialità basate sulla registrazione del dato in formato digitale e sulla possibilità di elaborare i dati con algoritmi di localizzazione 3D che sfruttano non solo l'informazione dell'intensità del segnale ma anche quella associata ai ritardi relativi tra i vari sensori.

Energia e ritardi relativi. Sfortunatamente, la forte eterogeneità e anisotropia del materiale (macerie) in cui si propaga il segnale, può influenzare notevolmente le informazioni associate ai segnali elastici generati da un sopravvissuto intrappolato. È necessario quindi domandarsi quanto siano significativi e utili ai fini della localizzazione del superstite i confronti tra le energie e i tempi di ritardo osservati ai vari sensori. L'esperienza ormai pluriennale delle squadre di S&R dimostra che nonostante l'eterogeneità del mezzo il confronto delle energie ricevute aiuta a localizzare il superstite. Prima di investire nello sviluppo di uno strumento che registra i segnali allo scopo di utilizzare anche i tempi di ritardo relativi occorre quindi verificare che questi tempi siano almeno significativi quanto le energie. A questo scopo sono stati effettuati diversi test nei campi macerie dove si addestrano le squadre di S&R dei VVF e della Protezione Civile. L'operatore che simulava il superstite intrappolato sotto le macerie generava rumori di diversa intensità e battendo con diversi materiali (metallo, legno, pietra) o a mani nude. Per ciascuna registrazione, il sensore che riceveva il primo arrivo e quello che riceveva il segnale più intenso venivano confrontati con il sensore effettivamente più vicino al superstite. L'analisi degli errori commessi (Arosio et al., 2009a) ha dimostrato che i due criteri di riconoscimento sono paragonabili: gli errori commessi utilizzando i ritardi relativi sono comparabili o inferiori a quelli commessi utilizzando l'intensità. Si conclude quindi che i ritardi potrebbero essere combinati con successo con le energie per migliorare l'affidabilità statistica della localizzazione del sensore più vicino al superstite. Inoltre, il risultato incoraggia lo sviluppo di un nuovo prototipo di strumento digitale in grado di utilizzare i ritardi relativi per localizzare non solo il punto sulla verticale del superstite (epicentro) ma anche la profondità sotto la copertura di macerie (ipocentro).

Sviluppo del prototipo digitale. Il prototipo SOSTEAM è il risultato di un progetto finanziato da Regione Lombardia per favorire l'innovazione e il trasferimento tecnologico delle PMI. Si tratta di un prototipo pre-commerciale che consiste in una unità di acquisizione a 12 canali (24bit) collegata ad un portatile che monta il software di acquisizione, visualizzazione e localizzazione in tempo reale. Dei 12 sensori microsismici, 4 sono attivi, ossia dotati di un generatore di suoni e tutti sono equipaggiati con un microfono. La procedura di utilizzo prevede la posa dei 12 sensori secondo un layout a croce che copre un'area di indagine di circa 20x20m. I sensori attivi vengono attivati in sequenza mentre tutti i sensori microfonici sono in registrazione. Il medesimo software utilizzato per la localizzazione del superstite viene usato per la localizzazione relativa dei sensori sul campo macerie. Dopo l'autolocalizzazione, si attivano i sensori microsismici e si registrano i rumori provenienti dalle macerie. Il dato viene pre-elaborato per filtrare i rumori, riconoscere gli eventi significativi, stimare automaticamente i primi arrivi e le intensità dei segnali (Fig.1). Per ogni evento riconosciuto, il software di inversione per la localizzazione 3D propone in tempo reale la posizione del superstite e un indice di affidabilità statistica del risultato. Il prototipo prevede anche la possibilità di riascoltare in cuffia i segnali registrati qualora l'operatore desideri farlo.

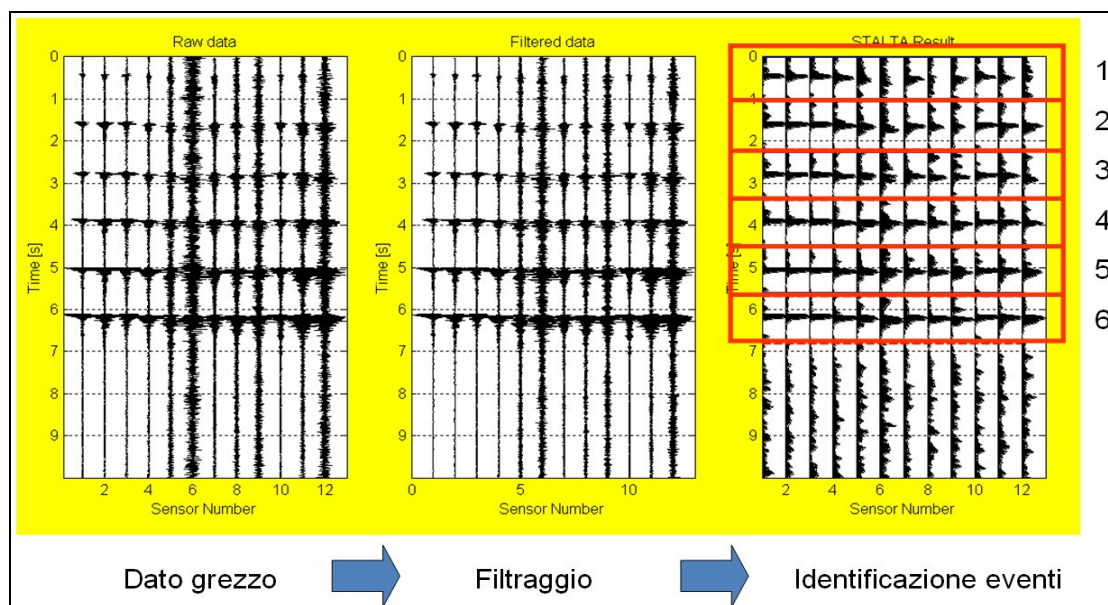


Fig. 1 – Esempio di pre-elaborazione e riconoscimento eventi.

Software di localizzazione. Sono stati sperimentati due diversi algoritmi per la localizzazione 3D, uno basato sull'inversione Bayesiana dei tempi di ritardo relativi e l'altro basato sulla focalizzazione degli eventi riconosciuti.

Nel primo caso la localizzazione è affrontata come un problema inverso e si utilizza un approccio probabilistico per la sua soluzione (Tarantola e Valette, 1982; Tarantola, 2004; Hadidi et al., 2007; Bernasconi e Rovetta, 2008). In questo modo si descrivono, attraverso le densità di probabilità, il modello e le incertezze dei dati, così come qualsiasi informazione a priori eventualmente disponibile. Poiché i tempi assoluti non sono disponibili, i dati di ingresso sono detti tempi differenziali di arrivo (o Differential Time Of Arrival, DTOA), vale a dire differenze di tempo rispetto ad un ricevitore di riferimento (Haykin, 1995; Bernasconi e Rovetta, 2008). Il modello è parametrizzato come una sorgente puntiforme in un mezzo a velocità costante. Le informazioni a priori sui parametri da stimare (posizione del superstite, velocità di

propagazione nel materiale) sono descritte statisticamente come densità di probabilità. Attraverso di esse si afferma, ad esempio, che la velocità deve essere positiva e che il superstite si trova sotto la superficie delle macerie. L'informazione a priori sui dati osservati è di nuovo espressa da una densità di probabilità che descrive l'incertezza della procedura di picking dovuta al rumore e all'instabilità del segnale. Il modello diretto, consistente in un algoritmo di ray-tracing, è il legame tra il modello e i parametri dei dati. E' utilizzato per predire, per un dato insieme di parametri del modello, i valori dei parametri osservabili. Anche il modello diretto può contenere approssimazioni, che sono di nuovo descritte mediante densità di probabilità. Nel quadro probabilistico, la soluzione del problema inverso è descritta da una densità di probabilità a posteriori che unisce l'informazione a priori con l'informazione ottenuta dal modello diretto.

L'altro algoritmo di localizzazione utilizza operatori di crosscorrelazione o di semblance, vale a dire, operatori matematici che quantificano il grado di corrispondenza tra i segnali in termini di allineamento temporale e somiglianza della forma d'onda. Assumendo una posizione della sorgente nello spazio tridimensionale e un modello di velocità, si applica alle tracce acquisite dai sensori una correzione di moveout e l'allineamento risultante è valutato matematicamente. Impostando una griglia di ricerca, con la sorgente in diverse posizioni ed esplorando differenti modelli di velocità, l'algoritmo valuta la semblance/correlazione su uno spazio a 4 dimensioni. Il valore più alto indica la posizione 3D della sorgente e la velocità media che ha generato la miglior corrispondenza dei dati. Ovviamente, sia gli effetti di dispersione sia l'accuratezza del modello di velocità possono giocare un ruolo rilevante nel definire l'affidabilità di questo approccio (Arosio et al., 2009b). I test hanno dimostrato l'utilità di un buon pre-processing dei dati per limitare gli effetti della dispersione.

Test e conclusioni. I test del prototipo e degli algoritmi di localizzazione sono stati effettuati in diversi campi macerie (Figg.2 e 3) tra cui Bovisio Masciago (VVF), Luino (Gruppo Unità Cinofile della Protezione Civile) e Pisa (VVF).

Gli algoritmi di localizzazione si sono dimostrati pressochè equivalenti in termini di prestazioni. La precisione osservata nella localizzazione 3D è in entrambi i casi nell'ordine di 2-3 metri, ossia nei limiti della risoluzione sismica imposta dal contenuto spettrale del dato. Sul prototipo finale e' stato installato il codice che implementa l'algoritmo di inversione statistica con tempi di esecuzione di pochi secondi. Lo stesso algoritmo è usato anche per localizzare automaticamente le posizioni relative dei sensori non appena questi sono posizionati sulle macerie (Bernasconi and Rovetta, 2009).

Il prototipo permette di accelerare la procedura di ricerca dei superstiti perchè non richiede il riposizionamento dei sensori e non necessita di ripetere l'ascolto del superstite per molte volte. Il tempo stimato per esplorare un'area di circa 20x20m e' nell'ordine dei 10-15 minuti. La possibilità di applicare filtri digitali al dato registrato consente un miglior abbattimento dei rumori ambientali rispetto allo strumento analogico. Il prototipo è maturo per la fase di ingegnerizzazione.

Ringraziamenti. La ricerca è stata finanziata da Regione Lombardia (Bando 2007 per la promozione dell'eccellenza nei Metadistretti Industriali). Gli autori ringraziano tutti i partner (Solgeo, Aresys, Boviar, Politecnico di Milano e Fondazione Politecnico di Milano) che hanno contribuito al successo del progetto e hanno permesso di divulgare questi risultati. Si ringraziano vivamente la Direzione Regionale dei VVF

della Lombardia, il Comando Provinciale dei VVF di Pisa e il Gruppo Unità Cinofile di Luino (VA) per la collaborazione e per aver consentito l'accesso ai campi di addestramento di loro proprietà.



Fig. 2 – Campo di addestramento USAR (VVF Pisa).



Fig. 3 – Sperimentazioni nel campo macerie dei VVF di Pisa.

Bibliografia

- Arosio D., Bernasconi G., Mazzucchelli P., Rovetta D., Zanzi L.; 2009a: Localization algorithms for Search and Rescue applications, Near Surface 2009.
- Arosio D., Garanzini S., Zanzi L.; 2009b: Geophysics and caving: an example from Apuan Alps. 22nd SAGEEP, 949-957.
- Bernasconi G., Rovetta D.; 2008: Bayesian inversion of traveltimes for cavity location. 21st SAGEEP, 1056-1062.
- Bernasconi G., Rovetta D.; 2009: Automatic localization of acoustic sensors. 22nd SAGEEP, 636-644.
- Hadidi R., Gucunski N., Maher A.; 2007: Application of probabilistic approach to the solution of inverse problems in nondestructive testing and engineering geophysics, 20th SAGEEP, 167-176.
- Haykin S.; 1995: Adaptive filter theory, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Tarantola A., Valette B.; 1982: Inverse problems = quest for information. Journal of Geophysics, 50, 159-170.
- Tarantola A.; 2004: Inverse Problem Theory, SIAM, Philadelphia, PA.