

# Rapporti tecnici INGV

**Emergenza sismica 2012 in  
Emilia Romagna: attività sperimentali di  
supporto alla Rete Sismica Mobile INGV  
svolte dal personale della sede di Ancona**

# 236



## **Direttore**

Enzo Boschi

## **Editorial Board**

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Simona Masina (BO)

Mario Mattia (CT)

Nicola Pagliuca (RM1)

Umberto Sciacca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

[redazionecen@ingv.it](mailto:redazionecen@ingv.it)



# Rapporti tecnici INGV

## **EMERGENZA SISMICA 2012 IN EMILIA ROMAGNA: ATTIVITÀ SPERIMENTALI DI SUPPORTO ALLA RETE SISMICA MOBILE INGV SVOLTE DAL PERSONALE DELLA SEDE DI ANCONA**

Simone Marzorati, Simona Carannante, Marco Cattaneo, Ezio D'Alema, Massimo Frapiccini,  
Chiara Ladina, Giancarlo Monachesi

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti)

# 236



## Indice

Introduzione	5
1. Pronto Intervento Sismico: installazione delle stazioni in <i>real-time</i> e loro manutenzione	5
2. Attività svolte al Centro di Acquisizione di Ancona	7
2.1 Indirizzamento stazioni UMTS da Ancona a Roma e acquisizione dati da Roma ad Ancona	8
2.2 Funzionamento stazioni e analisi di qualità del dato	9
2.3 <i>Earthworm</i> dedicato per la rete sismica mobile	22
3. Attività sperimentali	25
3.1 <i>Detection</i> e <i>picking</i> automatico degli eventi e rilocalizzazioni	25
3.2 Esempi di calcolo automatico di parametri della forma d'onda	32
4. Conclusioni	34
Ringraziamenti	35
Bibliografia	35



## Introduzione

A seguito di eventi sismici significativi, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) attiva il coordinamento delle attività di Pronto Intervento Sismico per integrare la Rete Sismica Nazionale [RSN, Delladio, 2011] aumentando il numero delle stazioni sismiche per il rilevamento della sismicità allo scopo di infittire il monitoraggio dell'area epicentrale e migliorare la qualità dei dati [Govoni et al., 2008; Moretti e Govoni, 2011]. Il funzionamento e l'efficienza del Pronto Intervento Sismico è frutto delle esercitazioni svolte periodicamente dall'INGV, come l'ultima svolta a fine settembre 2011 nel Comune di Santa Sofia in provincia di Forlì-Cesena, organizzata dall'INGV e dall'Agenzia di Protezione Civile della Regione Emilia Romagna, in regime di convenzione fra i due enti. A tale evento hanno partecipato varie sedi INGV coinvolte nel monitoraggio sismico del territorio nazionale (Ancona, Arezzo, Bologna, Irpinia, Milano, Pisa, Roma). Successivamente a questa esperienza, è stato avviato un processo di coordinamento delle attività (denominato Sismiko) in modo da istituire delle procedure comuni alle quali attenersi in caso di intervento in emergenza sismica; il coordinamento Sismiko rientra nelle attività del progetto europeo "Network of European Research Infrastructure for earthquake Risk Assessment and Mitigation" (NERA), in cui è in atto il tentativo di coordinare una rete di Pronto Intervento Sismico europea [Margheriti et al., 2011; Moretti et al., 2012a; Moretti et al., 2012b]. I vari gruppi delle sedi INGV coinvolti, sono esperti nella gestione di reti sismiche temporanee in area epicentrale [Abruzzese et al., 2011; La Rocca et al., 2011; Margheriti et al., 2011; Moretti e Govoni, 2011; Zuccarello et al., 2011; [accel.mi.ingv.it/statiche/VARIE/REMOMI.pdf](http://accel.mi.ingv.it/statiche/VARIE/REMOMI.pdf)]. Inoltre, tra le attività di Pronto Intervento Sismico è previsto l'insediamento di un Centro Operativo di Emergenza Sismica [COES, Moretti et al., 2010a] da cui è possibile coordinare e appoggiare le operazioni sul campo.

Come successo nelle recenti emergenze sismiche [L'Aquila 2009; Frusinate 2009; Fermano 2010; Montefeltro 2011] anche in occasione dell'emergenza sismica iniziata il 20 maggio 2012 a seguito del terremoto delle ore 02:03 UTC di magnitudo ( $M_L$ ) 5.9 in Emilia Romagna, sono state impiegate diverse unità di personale per installare stazioni sismiche temporanee in area epicentrale. In particolare, in questa occasione, sono state installate complessivamente 44 stazioni di cui: 4 trasmesse in *real-time* via telemetria satellitare [Re.Mo.Tel., CNT sede Irpinia, Abruzzese et al., 2011], 7 stazioni in *real-time* via telefonia mobile (Sezione di Milano-Pavia e CNT sede di Ancona), 12 *stand-alone* [Re.Mo., CNT sede di Roma, Moretti et al., 2010b]; oltre a queste sono state installate 22 stazioni *stand-alone* per studi di effetti di sito [EMERSITO, Bordoni et al., 2012]. Inoltre la Sezione INGV di Bologna ha collaborato con tutti gli altri gruppi nella fase di ricerca siti ed installazione degli apparati, alla manutenzione delle stazioni e al *download* dei dati. La mole di personale e di strumentazione coinvolta nel pronto intervento ha permesso di reperire dati di alta qualità che rappresentano un patrimonio unico dell'intera comunità scientifica [Moretti et al., 2012a; 2012b].

Nell'intervento sono stati utilizzati strumenti con caratteristiche differenti, tra cui velocimetri e accelerometri; inoltre, i dati sono stati trasmessi in tempo reale con differenti vettori (radio e satellite) e protocolli, in modo da garantire una ridondanza della rete sismica mobile in caso di problemi ad alcuni sistemi di telecomunicazione. In Figura 1 è descritto il complesso flusso dei dati che permette al dato sismico di essere trasmesso dalla zona epicentrale verso i diversi centri di acquisizione sparsi sul territorio nazionale e di essere convogliato, soprattutto via vettore *ethernet* dedicato, alla sala di sorveglianza sismica della sede di Roma.

In questo rapporto vengono descritte le attività sperimentate dalla sede di Ancona a supporto del Pronto Intervento Sismico dell'INGV finalizzate all'archiviazione ed all'organizzazione dei dati utili alla rapida valutazione delle *performance* della rete sismica temporanea *real-time*, della qualità del dato ricevuto e dei parametri degli eventi della sequenza in oggetto.

### 1. Pronto Intervento Sismico: installazione di stazioni *real-time* e loro manutenzione

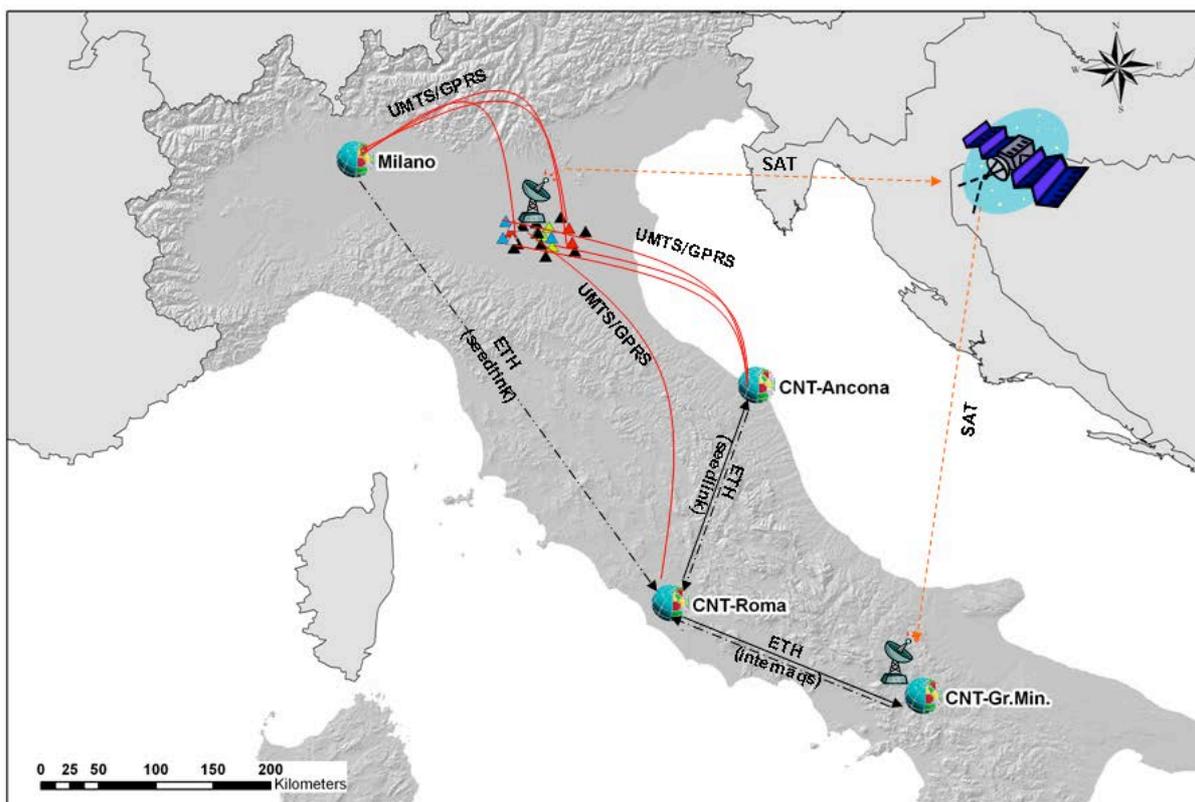
A seguito del *mainshock* delle ore 02:03 UTC del 20 maggio 2012, rilevato dalla sala di sorveglianza sismica di Roma, è stato attivato il coordinamento di Sismiko per poter intervenire tempestivamente nelle aree colpite dal sisma, coinvolgendo immediatamente le sedi INGV di Roma, Ancona, Milano e Bologna. Quest'ultima, pur non avendo strumentazione disponibile ha messo a disposizione la conoscenza diretta del territorio sul quale bisognava intervenire [Moretti et al., 2012b]. In ogni caso, sono stati presi contatti con tutte le sedi coinvolte nel coordinamento di Sismiko, permettendo l'attivazione della rete sismica temporanea in telemetria satellitare gestita dall'Osservatorio di Grottaminarda [Re.Mo.Tel., Abruzzese et al., 2011]. Le sedi di Pisa, Arezzo, Napoli, L'Aquila e Catania sono rimaste a disposizione in casi di necessità di successivi interventi.

La geometria di rete e la conseguente collocazione delle stazioni sismiche sul territorio è stata decisa all'interno del coordinamento Sismiko in condivisione con tutte le sedi coinvolte e centralizzata a Roma, da cui partivano le informazioni necessarie ai vari gruppi giunti in area epicentrale per la dislocazione delle stazioni sismiche sul territorio [Moretti et al., 2012b]. La geometria definitiva è stata ultimata in pochi giorni tenendo conto anche dell'evoluzione della sequenza.

La mattina del 20 maggio 2012, alle ore 07:00 locali, è partita una squadra di tre unità di personale dalle sede di Roma, dove è presente il servizio H24; tale squadra è stata seguita successivamente da una seconda, partita nel pomeriggio. Intanto, sempre la mattina del 20 maggio, due unità di personale sono partite dalla sede di Ancona e sono giunte nell'area epicentrale dotate di un accelerometro e di una stazione completa UMTS [Moretti et al., 2012b]. L'intervento del personale di Ancona inizialmente ha riguardato la stazione della RSN dell'INGV di Sermide (SERM), in provincia di Mantova, dotato di un velocimetro in pozzo e uno in superficie; in questo sito il personale ha sostituito il sensore velocimetrico in superficie con un sensore accelerometrico *Kinematics Episensor* FBA ES-T, in modo da poter registrare anche in questo sito eventuali *strong-motion*. Successivamente è stata installata in località Casumaro (FE) la stazione temporanea (nominata T0822) dotata di acquisitore GAIA2 [Salvaterra et al., 2008] e sensore Lennartz 3D lite (periodo 1 s). Entrambe le stazioni trasmettono i dati in *real-time* attraverso un *router* UMTS "UR5" della ditta Conel (<http://www.conel.cz/en/HSDPA-UMTS-router-v2-UR5>). Nella stessa giornata del 20 maggio, il personale della sede di Milano ha installato ulteriori 3 stazioni sismiche REFTEK 130-1 trasmesse alla loro sede tramite *router* UMTS.

Per quel che riguarda l'attività del personale di Ancona, una volta attivati gli strumenti in area epicentrale, i dati sismici sono stati trasmessi al Centro di Acquisizione anconetano dove il personale in sede aveva nel frattempo configurato la nuova stazione temporanea e apportato la modifica alla stazione permanente SERM nel sistema *Seiscomp* ([www.seiscomp3.org](http://www.seiscomp3.org)) locale nel database di SEISFACE [Pintore et al., 2012] sviluppato dall'Unita Funzionale Analisi Dati per la Sismologia (ADS) del CNT di Roma [Mazza et al. 2011]. Presso la sede INGV di Ancona, i primi dati dell'accelerometro di SERM sono stati acquisiti alle 08:48 UTC, mentre quelli relativi alla stazione T0822 alle 10:36 UTC. Dopo pochi minuti dall'acquisizione del segnale nella sede di Ancona, i dati delle due stazioni erano disponibili anche alla sala di sorveglianza sismica di Roma ed hanno contribuito da subito alla più precisa localizzazione degli eventi della sequenza.

A seguito delle scosse del 29 maggio 2012 (ore 07:00,  $M_L$  5.8; 10:55  $M_L$  5.3; 11:00  $M_L$  5.2, tutti in orario UTC), la sequenza è migrata verso ovest raggiungendo il limite occidentale della rete temporanea installata i primi giorni. Pertanto, il personale della sede di Ancona ha installato altre due stazioni (T0825 e T0826) a Gonzaga (MN) e in frazione Ca' de Frati nel Comune di Rio Saliceto (RE), con lo scopo di estendere la copertura spaziale e racchiudere la sismicità all'interno della rete. Le due nuove stazioni sono state equipaggiate con acquisitori GAIA2; alla T0825 è stato installato un sensore Lennartz 3D/5s e alla T0826 un sensore *Episensor* FBA ES-T. Anche i dati di queste due stazioni sono stati trasmessi alla sede di Ancona con *router* UMTS UR5 e da qui inviati con protocollo *Seedlink* (<http://www.seiscomp3.org/wiki/doc/applications/seedlink>) al centro di monitoraggio di Roma.



**Figura 1.** Flusso dei dati trasmessi in *real-time* dalle stazioni remote della rete sismica mobile di Pronto Intervento Sismico ai vari centri di acquisizione INGV.

## 2. Attività svolte al Centro di Acquisizione di Ancona

La collaborazione pluriennale tra l'INGV e la Regione Marche ha permesso che nella sede di Ancona venisse progettato, organizzato e realizzato il monitoraggio sismico del territorio regionale. Attualmente presso la sede di Ancona sono acquisiti i dati in *real time* delle stazioni dell'Italia centro orientale, provenienti dalle stazioni sismiche del territorio marchigiano e zone limitrofe, dell'Alta Valle Tiberina e dalla RSN [D'Alema et al., 2011]. Il sistema di acquisizione è basato sull'utilizzo del *software Seiscomp3* ([www.seiscomp3.org](http://www.seiscomp3.org)), il quale permette di gestire sia i dati trasmessi dalle stazioni sismiche remote alla sede di Ancona sia quelli provenienti dalla sede di Roma tramite connessione HDSL dedicata [Cattaneo et al., 2011; D'Alema et al., 2011]. La trasmissione diretta dei dati in *real time* dalle stazioni remote alla sede di Ancona avviene attraverso due connessioni principali: la prima è realizzata attraverso la dorsale di telecomunicazione Wi-Fi SHD 155 Mbps (denominata *Marche Way*) sulla quale passano i servizi di Protezione Civile regionale e di cui 2 Mbps sono dedicati alla trasmissione dei dati sismici, mentre la seconda avviene tramite *router* UMTS dotati di scheda per telefonia mobile. Principalmente i dati provengono da acquisitori GAIA2 [Salvaterra et al., 2008] che sfruttano il protocollo *Seedlink* il quale può essere gestito direttamente dal *software Seiscomp3*. Nella sede di Ancona è attivo anche un sistema basato sul protocollo *rtpd*, fornito dalla casa produttrice REFTEK ([www.reftek.com](http://www.reftek.com)), attualmente in uso principalmente per l'acquisizione dei dati in *real time* provenienti dalle stazioni sismiche in pozzo REFTEK 130-1 dell'Alta Valle Tiberina.

In quanto una delle attività principali del personale della sede di Ancona è quello della gestione e della manutenzione delle stazioni sismiche dell'Italia centro orientale, sono stati predisposti dei sistemi di controllo routinari utili alla comprensione del corretto funzionamento delle stazioni sismiche e al controllo di qualità dei segnali [Monachesi et al., 2011]. Per quel che riguarda il funzionamento, viene controllato lo stato di connessione tra i differenti ponti radio di *Marche Way* e tra questi e le stazioni sismiche remote. Inoltre è monitorato lo stato dell'alimentazione delle stazioni sismiche e quello della visibilità dei satelliti da parte delle antenne GPS, in modo da evitare la desincronizzazione dei dati sismici. Una volta acquisito il dato,

viene controllata la continuità del dato stesso, individuando la presenza di *gap* dopo la trasmissione, calcolando quanto segnale è presente in archivio e quanto ne è andato perso. Infine, il dato sismico acquisito è controllato dal punto di vista della qualità, indagando i livelli di rumorosità dei siti, individuando anomalie nella risposta dei sensori e verificando i risultati degli interventi di manutenzione in caso di guasti.

Nella sede di Ancona l'attività di monitoraggio sismico è completata dalla *detection in real time* di eventi sismici rilevanti, funzionale alla produzione di *Shake Maps* utili agli scopi di Protezione Civile regionale [D'Alema e Carannante, 2012] e dalla *detection "off-line"* della sismicità e micro sismicità dell'Italia centro orientale. Gli eventi sismici riconosciuti dai sistemi di *detection* sono interpretati abitualmente dal personale della sede di Ancona, in modo da restituire localizzazione, magnitudo e tempi di arrivo delle fasi P ed S di ogni terremoto. In via sperimentale, è in corso una fase di *test* relativa all'utilizzo di un *picker* automatico delle fasi P ed S, sviluppato dall'Università di Genova [Spallarossa et al., 2011], il quale permetterebbe di velocizzare significativamente l'attività di interpretazione manuale degli eventi sismici registrati.

Al Centro di Acquisizione di Ancona durante l'emergenza Emilia 2012 il personale ha operato a supporto delle operazioni di installazione delle stazioni SERM, T0822, T0825 e T0826, comunicando al personale in campagna le informazioni utili all'individuazione dei siti tenendoli continuamente aggiornati sia sull'attività sismica sia sullo stato di avanzamento dell'installazione della rete sismica temporanea di pronto intervento INGV, coordinandosi con i colleghi della sede di Roma.

Nei paragrafi successivi vengono descritte in dettaglio le operazioni di sala svolte dal personale della sede di Ancona durante l'emergenza sismica in Emilia, sfruttando l'esperienza accumulata durante l'esecuzione delle attività appena descritte sopra e adattando i sistemi di controllo all'acquisizione dei dati delle stazioni sismiche temporanee installate in emergenza dall'INGV.

## **2.1 Indirizzamento stazioni sismiche temporanee UMTS da Ancona a Roma e acquisizione dati da Roma ad Ancona**

Nella sede di Ancona è attivo un sistema di acquisizione dei dati sismometrici in *real-time* [Cattaneo et al., 2011], gestito tramite protocollo *Seedlink* che accentra ed omogeneizza tutti i dati provenienti da diversi sistemi di acquisizione e li archivia in formato *miniSEED* in un unico archivio. I dati ricevuti ad Ancona sono successivamente ritrasmessi in tempo reale al centro di monitoraggio di Roma attraverso collegamento *ethernet* dedicato su protocollo *Seedlink*. Quindi, inserendo nel sistema e nella configurazione del *software Seiscomp* nuove stazioni, è possibile inviare anche a Roma i dati ricevuti ad Ancona dalle stazioni installate in fase di emergenza, avendo preventivamente inserito i *metadata* relativi ai siti di installazione nel sistema SEISFACE. Infatti, appena si è a conoscenza delle coordinate e della strumentazione di cui è equipaggiata una nuova stazione, è sufficiente inserirle in SEISFACE e i dati inizieranno automaticamente ad essere acquisiti in sala di monitoraggio di Roma.

Attraverso lo stesso canale, ma in senso inverso, la sede di Ancona è in grado di acquisire i canali *Seedlink* di nuove stazioni della rete di pronto intervento e farli confluire nell'archivio *miniSEED* omogeneamente ad altri dati ordinariamente acquisiti [Cattaneo et al., 2011; D'Alema et al., 2011].

In questo modo è stato possibile, grazie alla collaborazione tra personale ADS e quello della sede Irpinia, della Sezione di Milano-Pavia e all'organizzazione interna del sistema di acquisizione CNT, acquisire anche ad Ancona (Figura 1) i dati della Re.Mo.Tel.(sede Irpinia, 4 stazioni per 15 canali) e della RE.MO.MI (sede di Milano, 3 stazioni per 18 canali). In totale, nella sede di Ancona vengono acquisite ad oggi 11 stazioni installate durante il pronto intervento, descritte in Tabella 1.

Inoltre, in caso di necessità, è possibile inviare direttamente al Centro di Acquisizione di Ancona anche dati provenienti da stazioni Reftek 130-1 teletrasmesse in UMTS o con collegamento TCP/IP con protocollo proprietario *rtpd*, come sperimentato con successo durante l'esercitazione di Santa Sofia del settembre 2011 [Moretti et al., 2012b], ed inserirle automaticamente nel sistema *Seedlink*. In tale modo è stato creato un sistema ridondante che potenzialmente può ospitare in caso di necessità le stazioni Re.Mo. e RE.MO.MI trasmesse in *real-time*.

Codice	Lat (°)	Lon(°)	El.(m)	Acquisitore	Sensore 1	Sensore 2	Camp.(Hz)	Sede
T0800	44.8486	11.2479	9	Trident	Trillium120c	Episensor	100	Irpinia
T0802	44.8750	11.1816	9	Taurus	Episensor	x	80	Irpinia
T0803	44.7668	11.3508	10	Taurus	Episensor	x	80	Irpinia
T0805	44.9187	11.3226	5	Taurus	Episensor	x	80	Irpinia
T0819	44.8873	10.8987	19	Reftek-130	Le 3D/5s	Episensor	100	Milano
T0820	44.7912	11.5732	8	Reftek-130	Le 3D/5s	Episensor	100	Milano
T0821	44.9035	11.5405	3	Reftek-130	Le 3D/5s	Episensor	100	Milano
T0822	44.8328	11.3455	7	Gaia2	Le 3D lite	x	100	Ancona
T0825	44.8394	10.8113	7	Gaia2	Le 3D/5s	x	100	Ancona
T0826	44.97297	10.8469	13	Gaia2	Episensor	x	100	Ancona
SERM	45.0100	11.2958	7	Gaia2		Episensor	200	CNT

**Tabella 1.** Stazioni sismiche del pronto intervento acquisite in *real-time* alla sede di Ancona durante l'emergenza in Emilia.

## 2.2 Funzionamento stazioni e analisi di qualità del dato

L'analisi dei dati, trasmessi in *real-time* dalle stazioni della rete sismica mobile al Centro di Acquisizione di Ancona, è dedicato principalmente al controllo del corretto funzionamento della trasmissione dei dati stessi e al controllo di qualità del segnale sismico, in modo da indicare il più rapidamente possibile alle squadre impegnate nelle operazioni di campagna eventuali interventi di manutenzione. Questa funzionalità di controllo della qualità dei dati rientra tra le attività ordinarie svolte nella sede di Ancona per il monitoraggio dell'area dell'Italia centro orientale realizzato attraverso i dati provenienti da 91 stazioni sismometriche [Monachesi et al., 2011].

Le azioni di controllo riguardano principalmente: il monitoraggio della disponibilità del dato in archivio e i livelli di disturbo alle stazioni.

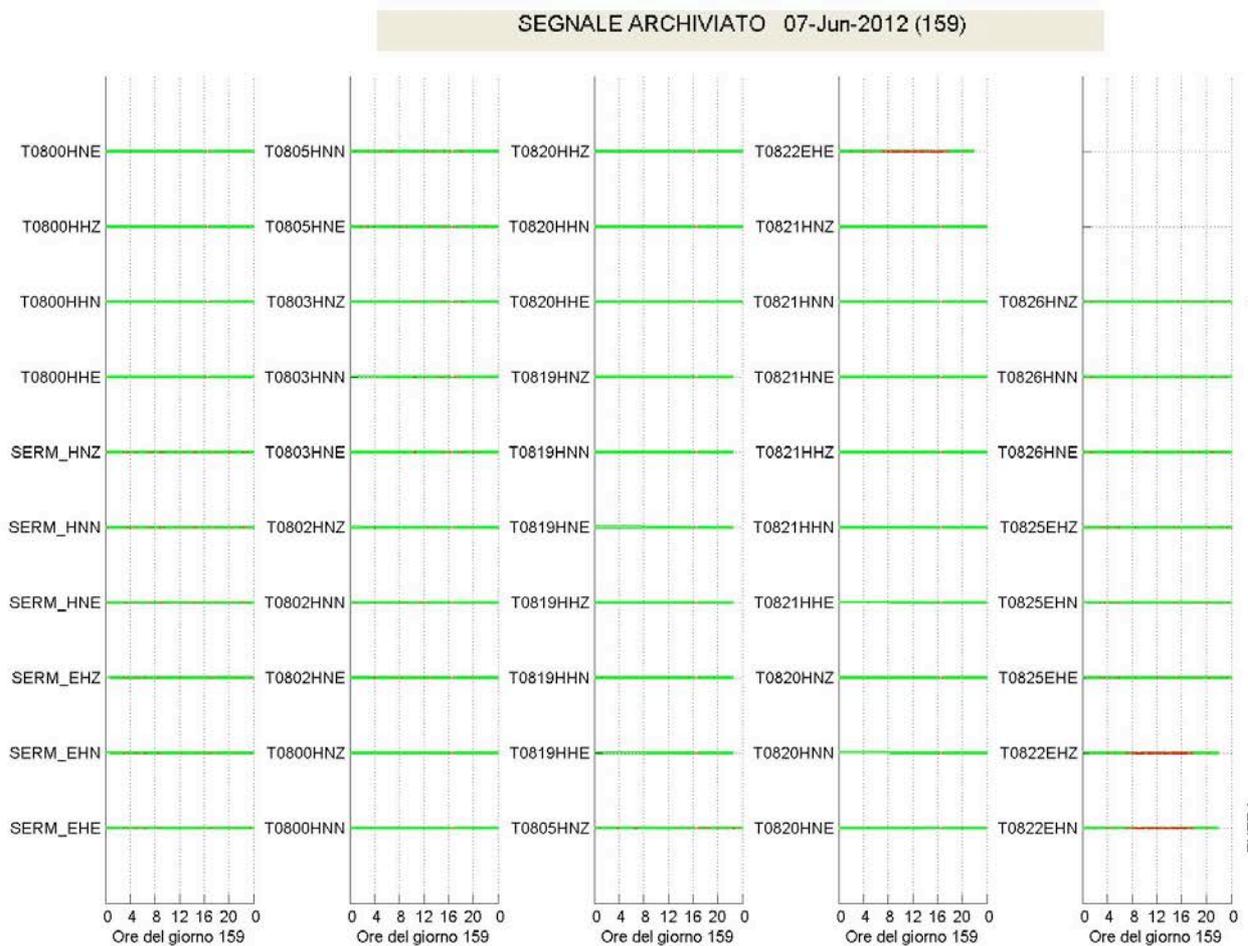
Il controllo della disponibilità del dato in archivio avviene attraverso l'investigazione del contenuto dei file *mseed* attraverso gli *script* "sdrsplrit" e "qmerge" del pacchetto Passcall (<http://www.passcall.nmt.edu/content/software-resources>), il cui *output* è organizzato in modo da graficare nel tempo l'avvenuta ricezione del dato nella sala di monitoraggio. Il grafico giornaliero della disponibilità del dato evidenzia se il segnale sismico è arrivato senza interruzioni o meno (Figura 2). Dalla presenza dei *gap* è possibile capire la stabilità del sistema trasmissivo come ad esempio controllare la continuità della trasmissione della telefonia cellulare e la sua funzionalità in area epicentrale, dove all'avvertimento delle scosse la popolazione generalmente intasa le celle di telefonia mobile rendendo potenzialmente più difficoltosa la trasmissione del dato.

Una causa di *gap* nella trasmissione UMTS può essere il basso livello del segnale radio che ostacola la connessione del *router* alla cella telefonica. Nella Figura 2, ad esempio, è possibile osservare una serie di *gap* nell'archiviazione del dato della stazione T0822 relativo al 7 giugno 2012 (giorno Giuliano 159). La serie di *gap* si ripete quotidianamente nelle ore diurne dalle 8:00 alle 18:00 UTC (in rosso in Figura 2). Questa instabilità nella connessione ha causato la perdita di massimo 2 ore di segnale al giorno almeno fino a quando si è deciso di cambiare il gestore di telefonia mobile utilizzata per la stazione. Una verifica a favore delle ipotesi formulate è indicata in Figura 3 in cui il segnale prelevato dalla *memory card* all'interno della stazione T0822, quindi registrato in locale, è messo a confronto con il segnale trasmesso ed acquisito nella sala di sorveglianza sismica di Roma. Dalla figura è possibile osservare come il segnale registrato in locale non contiene la numerosa serie di *gap* nelle ore diurne presente nella forma d'onda registrate in remoto. Quindi il problema è molto probabilmente legato alla difficoltà nella trasmissione dei pacchetti di segnale.

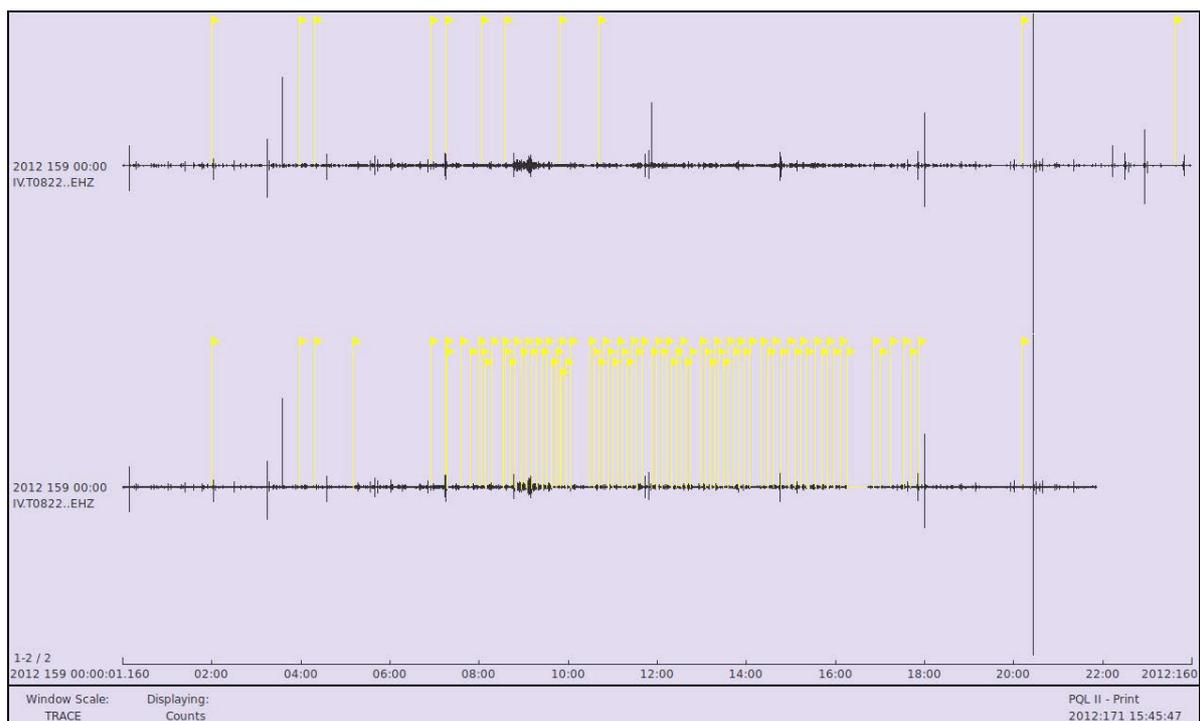
La periodicità dei *gap* non è comunque unicamente imputabile alla trasmissione, ma potrebbe indicare, sui sistemi GAI2, la periodica ricerca del sistema GPS di satelliti per la sincronizzazione del tempo. Il controllo operato in *real-time* permette l'individuazione di eventuali interruzioni nella connessione tra le sedi

INGV che forniscono e ricevono i dati. In questo caso i *gap* sono presenti contemporaneamente su più stazioni il cui segnale proviene da un'unica sede.

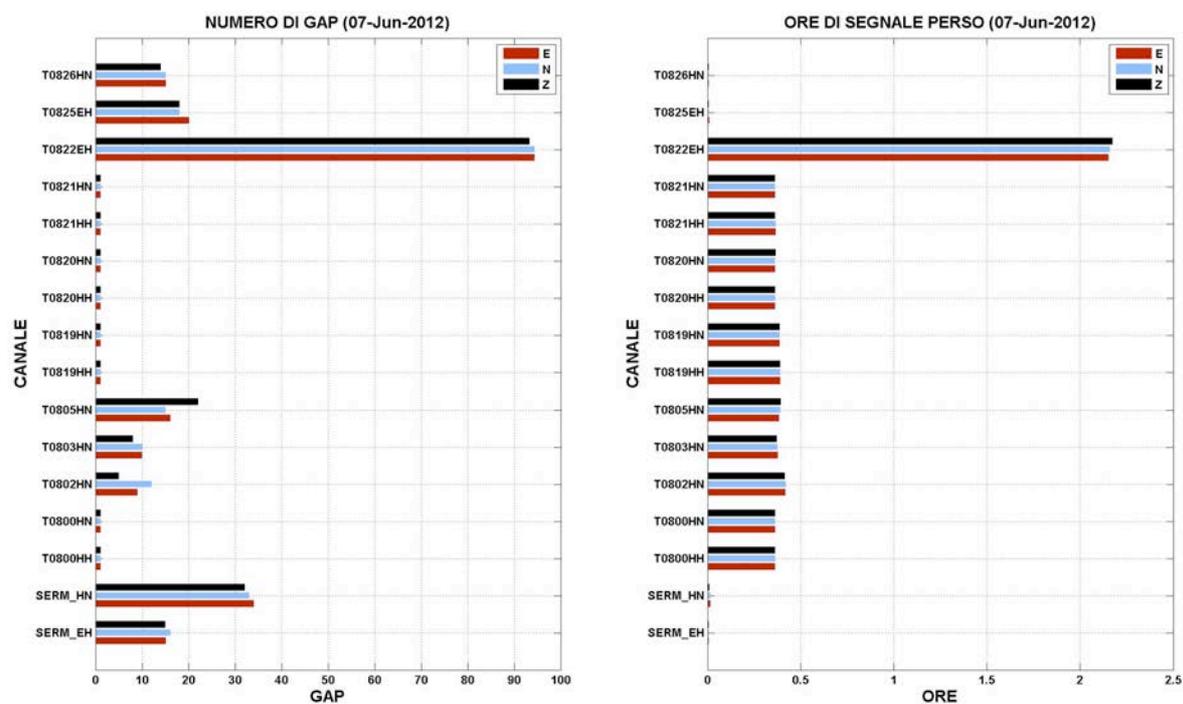
Infine i grafici del numero di *gap* per ogni canale e la quantità di segnale indicato in numero di ore permettono di decidere quanto eventuali problemi siano gravi e prioritari (Figura 4).



**Figura 2.** Segnale archiviato per ogni canale delle stazioni sismiche trasmesse in *real time* il giorno 7 giugno 2012.



**Figura 3.** Segnale del canale EHZ della stazione T0822 (schermata del *software* PQLII). Alto: segnale registrato in locale. Basso: segnale trasmesso in *real-time* tramite router UMTS. I marker gialli indicano la presenza di *gap*.



**Figura 4.** Giorno 7 Giugno 2012. Sinistra: numero di *gap* per ogni canale e per ogni componente (Z,N,E) della stazione. Destra: numero di ore perse in un giorno a causa della presenza dei *gap*.

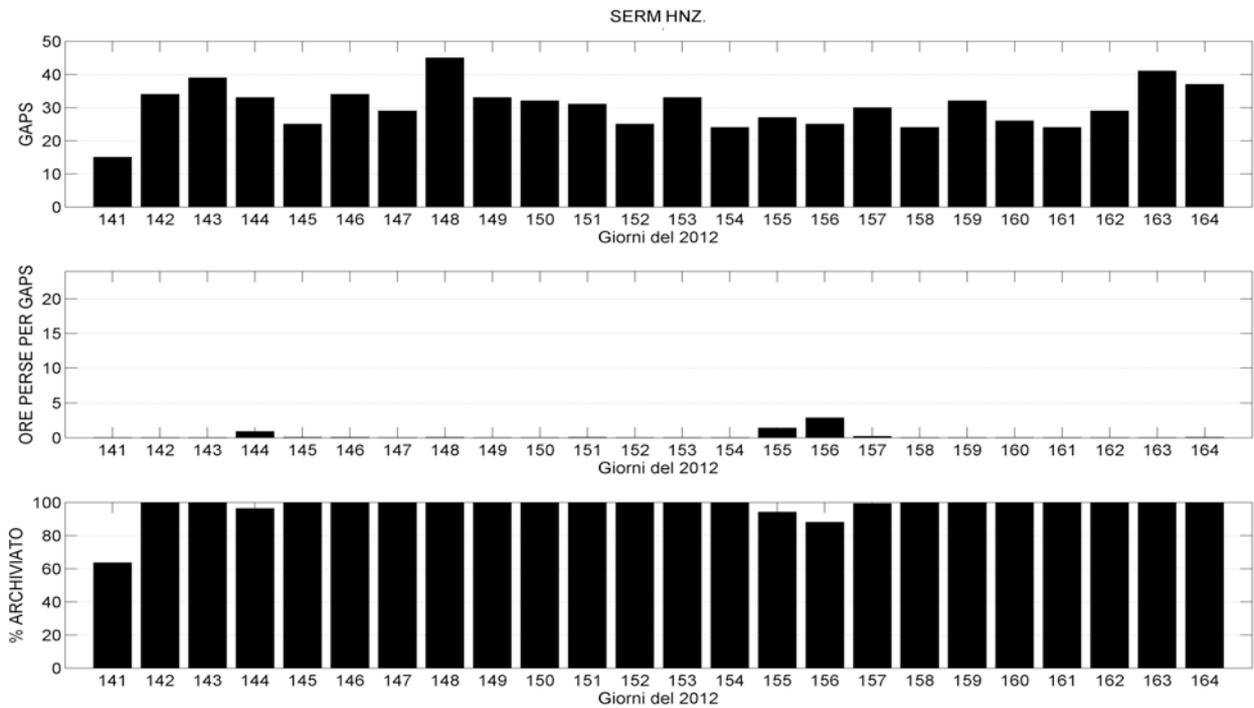
Il complesso di tutte queste semplici informazioni vanno a comporre lo storico del segnale archiviato, il quale rappresenta nel tempo il funzionamento della stazione e del sistema di trasmissione del dato. In Figura 5 è rappresentato come esempio lo storico del segnale archiviato relativo all'accelerometro del sito SERM. L'informazione sintetizzata in questo diagramma riguarda il numero di *gap* al giorno, le relative ore di segnale perse a causa della presenza dei *gap* e la percentuale di segnale archiviato giornalmente. Se la stazione in un giorno non ha funzionato o il segnale non è stato trasmesso, allora il numero di *gap* sarà 0, il segnale perso a causa dei *gap* sarà 0 e la percentuale di segnale archiviato sarà lo 0%. Al contrario potrebbe esserci un basso numero di *gap* e la conseguente perdita di segnale di pochi istanti o minuti, ma una bassa percentuale di segnale archiviato. Questo comportamento è indice della mancata ricezione della stazione o di un suo non funzionamento in una porzione della giornata, oppure può indicare, come nel caso del giorno giuliano 141 in Figura 5, che la stazione è stata installata durante la giornata.

Quindi, se la lunghezza dei *gap* è ridotta a pochi secondi, la loro presenza può non influire significativamente sul dato totale archiviato in quel giorno; infatti, come nell'esempio di Figura 5, la presenza dai 20 ai 50 *gap* al giorno statisticamente non comporta un problema, in quanto il dato archiviato è quasi sempre vicino al 100%.

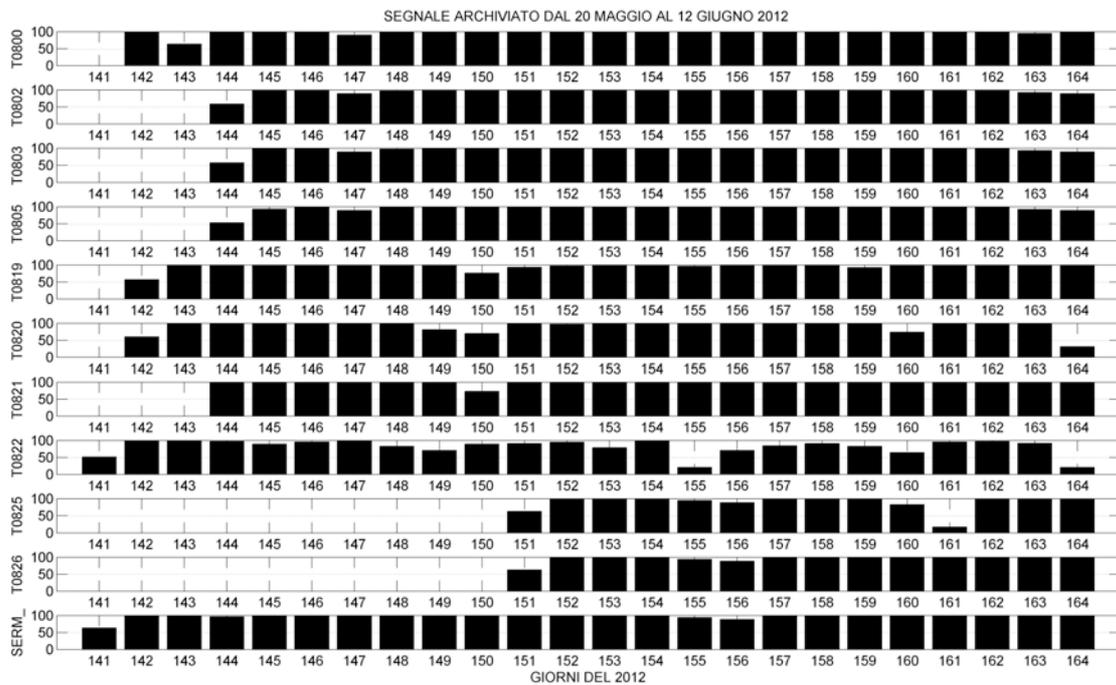
Se vengono composti in un diagramma tutti gli storici del segnale archiviato da tutte le stazioni trasmesse in tempo reale, si ha subito un'immagine sinottica del funzionamento generale dell'intera rete sismica (Figure 6). In tal modo è possibile fornire un altro elemento per valutare giorno per giorno l'eventuale necessità di intervenire sulla rete. Il dato sorprendente a seguito del terremoto emiliano è l'efficienza delle stazioni trasmesse via telefonia mobile GPRS/UMTS che i giorni 29 e 30 maggio 2012 (giorni 150 e 151 in Figura 6), in occasione e successivamente alla serie di eventi di  $M_L > 5.0$ , hanno trasmesso il dato sismico nonostante il verificato intasamento delle celle telefoniche.

Il dato acquisito non solo deve pervenire ed essere acquisito al centro di monitoraggio ma dev'essere anche di buona qualità in rapporto alle condizioni operative. La qualità dei dati viene controllata con l'ausilio dell'algoritmo implementato nel *software* PQLX [McNamara and Buland, 2004]. Per ogni canale di ogni stazione è possibile ottenere le *Power Spectral Densities* (PSD) orarie che compongono la statistica della rumorosità di ogni sito attraverso il calcolo di *Probability Density Function* (PDF). Inoltre, la presenza di ordinate spettrali anomale rispetto ai valori medi di rumore permette l'individuazione di eventuali malfunzionamenti dei sensori. Sui calcolatori della sede di Ancona per le stazioni della rete mobile viene creato, tramite PQLX, un *data base* MySQL dedicato in modo da poter caricare unicamente le stazioni desiderate e gestire le risorse di calcolo distribuendole in differenti momenti della giornata. L'analisi può essere aggiornata a piacere attraverso l'utilizzo di un "crontab" oppure manualmente ogni qualvolta si presenti la necessità. Dal *software* PQLX si può accedere anche alla visualizzazione delle forme d'onda relative ad un determinato intervallo temporale o ad una relativa porzione spettrale attraverso il *software* PQLII. Quindi si ha un completo monitoraggio sia nel dominio del tempo che in quello delle frequenze (Figura 7).

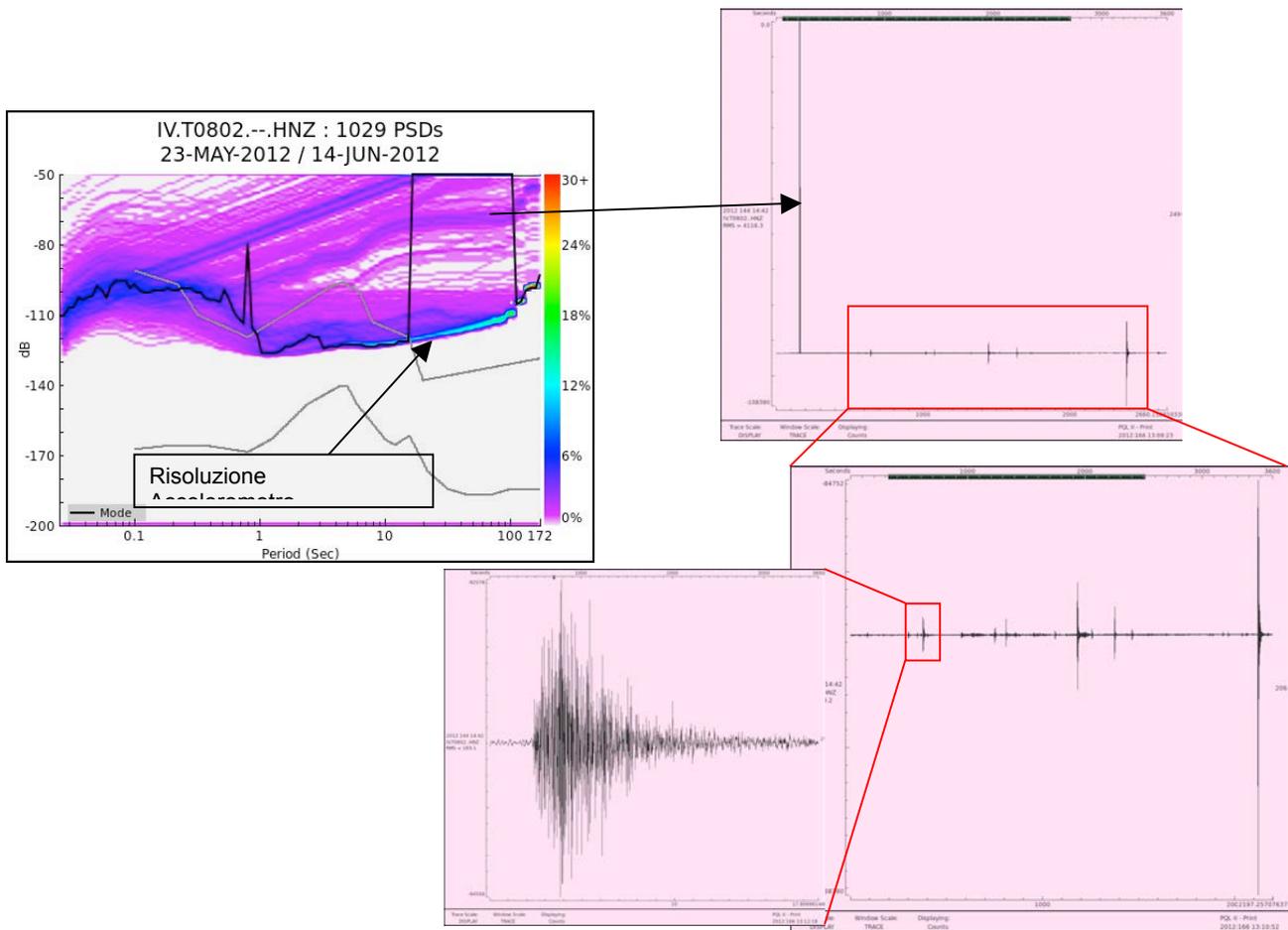
L'esempio di Figura 7 è una delle pratiche possibili per investigare i risultati mostrati dalle PDF di ogni componente del segnale. Al di fuori dei valori medi o dei valori più probabili registrati al sito (curva nera *mode*, nel riquadro in alto a sinistra di Figura 7), le PDF possono mostrare andamenti anomali che vanno analizzati per capire i motivi che li generano. Selezionando interattivamente la porzione di PDF scelta, si può passare immediatamente alla visualizzazione della forma d'onda causa di quei valori spettrali (Figura 7, riquadri a destra e in basso). In questo caso le forme d'onda presentano ampi *spike* di probabile natura elettrica, non sempre presenti e della durata di decine di minuti. Il sistema non permette di risalire alla probabile causa elettrica che genera gli *spike*, ma permette di verificare la qualità del segnale restante che rappresenta gran parte di ciò che ha registrato la stazione. Infatti, durante le emergenze sismiche, non ci si aspetta di ricevere un segnale sismico ideale ma sicuramente un segnale utile alla registrazione degli eventi della sequenza sismica in corso. Nel caso di Figura 7, selezionando il segnale non interessato dagli *spike*, si nota come la stazione registri eventi sismici anche di ampiezza ridotta ma con un ottimo rapporto Segnale/Disturbo (S/D). Perciò, almeno nel caso in questione, la rarità degli *spike* nel segnale non inficia il contributo fornito da questa stazione al monitoraggio in *real-time* degli eventi sismici.



**Figura 5.** Stazione SERM, canale HNZ, dal 20 maggio 2012 al 7 giugno 2012. Alto: numero di *gap* al giorno. Medio: ore di segnale perso al giorno a causa della presenza di *gap*. Basso: percentuale di segnale archiviato ogni giorno.

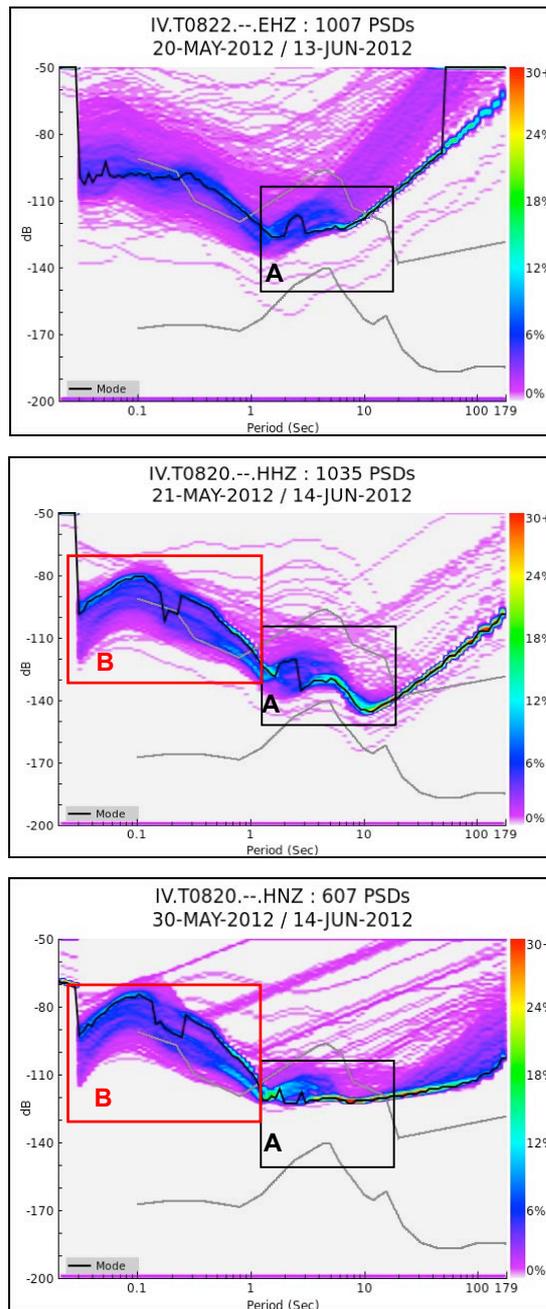


**Figura 6.** Segnale archiviato in sala sismica proveniente dalle stazioni trasmesse in *real-time* del Pronto Intervento Sismico INGV dal 20 maggio al 12 giugno 2012.



**Figura 7.** Esempio di utilizzo del *software* PQLX e PQLII per la valutazione della qualità del segnale.

L'analisi spettrale permette anche di verificare la corretta risposta dei sensori, la loro risoluzione e il loro corretto posizionamento. Infatti è utile riverificare dopo alcune ore di funzionamento degli strumenti la loro corretta installazione, in quanto la rapidità degli interventi sul campo non permette un immediato controllo, a causa della celerità con cui è necessario concludere le installazioni.



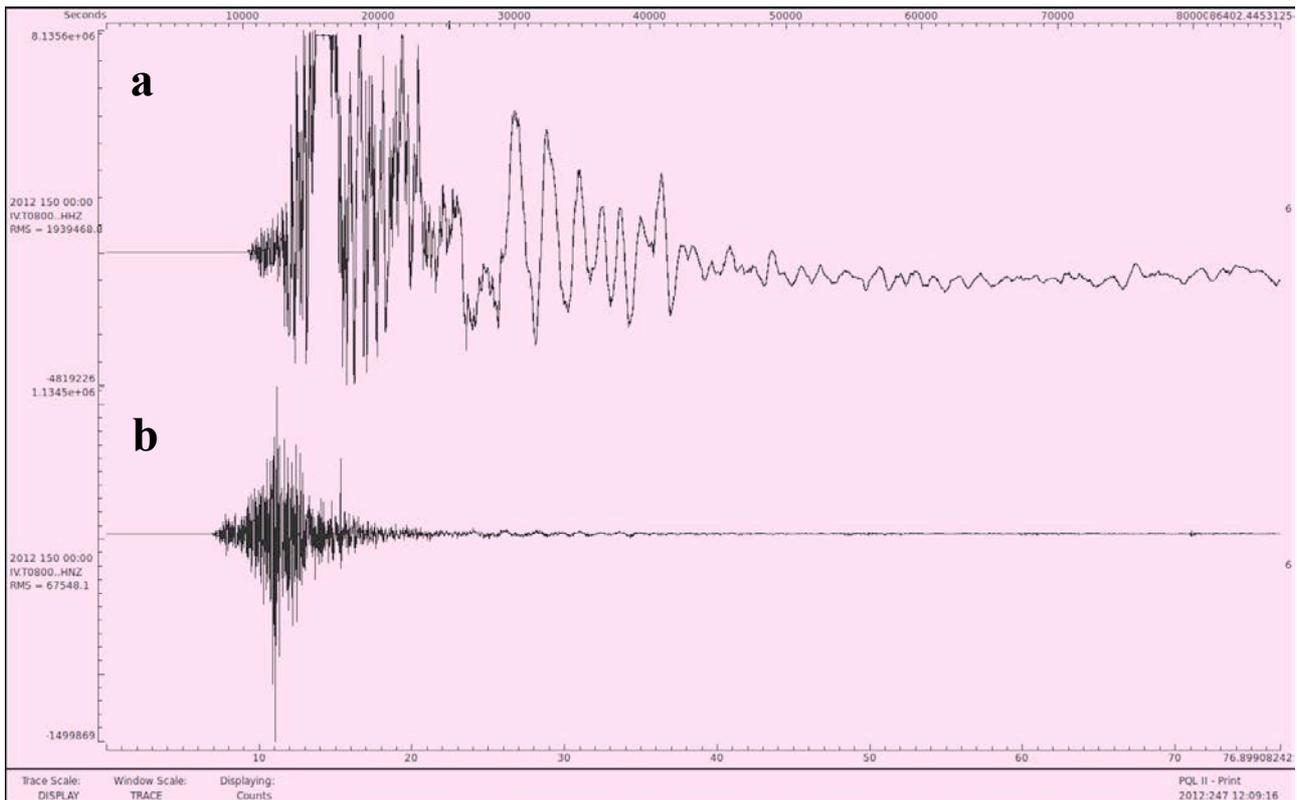
**Figura 8.** PDF delle componenti verticali (Z) di tre differenti sensori. Sinistra: velocimetro Lennartz 3D lite 1s. Centro: velocimetro Lennartz 3D/5s. Destra: Accelerometro Episensor FBA ES-T 2g. Settori A: risposta in bassa frequenza (< 1Hz). Settori B: risposta relativa ai disturbi in alta frequenza (> 1 Hz) e ai terremoti locali.

In Figura 8 vengono mostrate le PDF ottenute dalle componenti verticali di tre differenti sensori: due velocimetri rispettivamente con risposta piatta fino ad 1 e 5 s, e un accelerometro. Come è logico, i due velocimetri rispondono in maniera differente a bassa frequenza (settori “A” in Figura 8); il sensore con risposta piatta fino a 5 s rappresenta il rumore di fondo microsismico fino a frequenze intorno a 0.1 Hz (10 s in Figura 8). Al contrario, il sensore con risposta piatta fino a 1 s, nonostante la correzione della risposta strumentale, non riesce a rappresentare totalmente la componente microsismica del segnale la quale viene tagliata dal rumore dello strumento. L’accelerometro, impostato con *full scale* di 2 g, mostra una risoluzione dello strumento intorno ai -120 dB circa, con un taglio del rumore microsismico tra 2 e 10 s.

I settori “B” di Figura 8 evidenziano come la risposta dei tre sensori ad alta frequenza (> 1 Hz) è identica sia per il velocimetro che per l’accelerometro installati nello stesso sito T0820. Questi settori sono

quelli che contengono la maggior parte del segnale dei terremoti locali registrati durante una sequenza; in questo caso particolare, i disturbi ad alta frequenza sono tali che anche l'accelerometro registra i rumori di fondo ad alta frequenza e non perde nessuna caratteristica del segnale registrato dal velocimetro.

Un altro aspetto di comparazione tra velocimetri ed accelerometri, atteso e conosciuto, è mostrato in Figura 9 dove, durante la registrazione di *strong-motion* in campo vicino, il velocimetro arriva alla saturazione della sua dinamica e non riesce a registrare i valori di ampiezza raggiunti dal moto del suolo (Figura 9a), oltre che subire effetti meccanici che risultano in ampie oscillazioni delle sue componenti a periodi vicino al suo periodo naturale. Al contrario, l'accelerometro è in grado di rappresentare al meglio il moto del suolo (Figura 9b).



**Figura 9.** Forme d'onda della componente verticale del terremoto  $M_L$  5.8 del 29 maggio 2012 registrato in area epicentrale dalla stazione T0800. a): forma d'onda del velocimetro; b): forma d'onda dell'accelerometro.

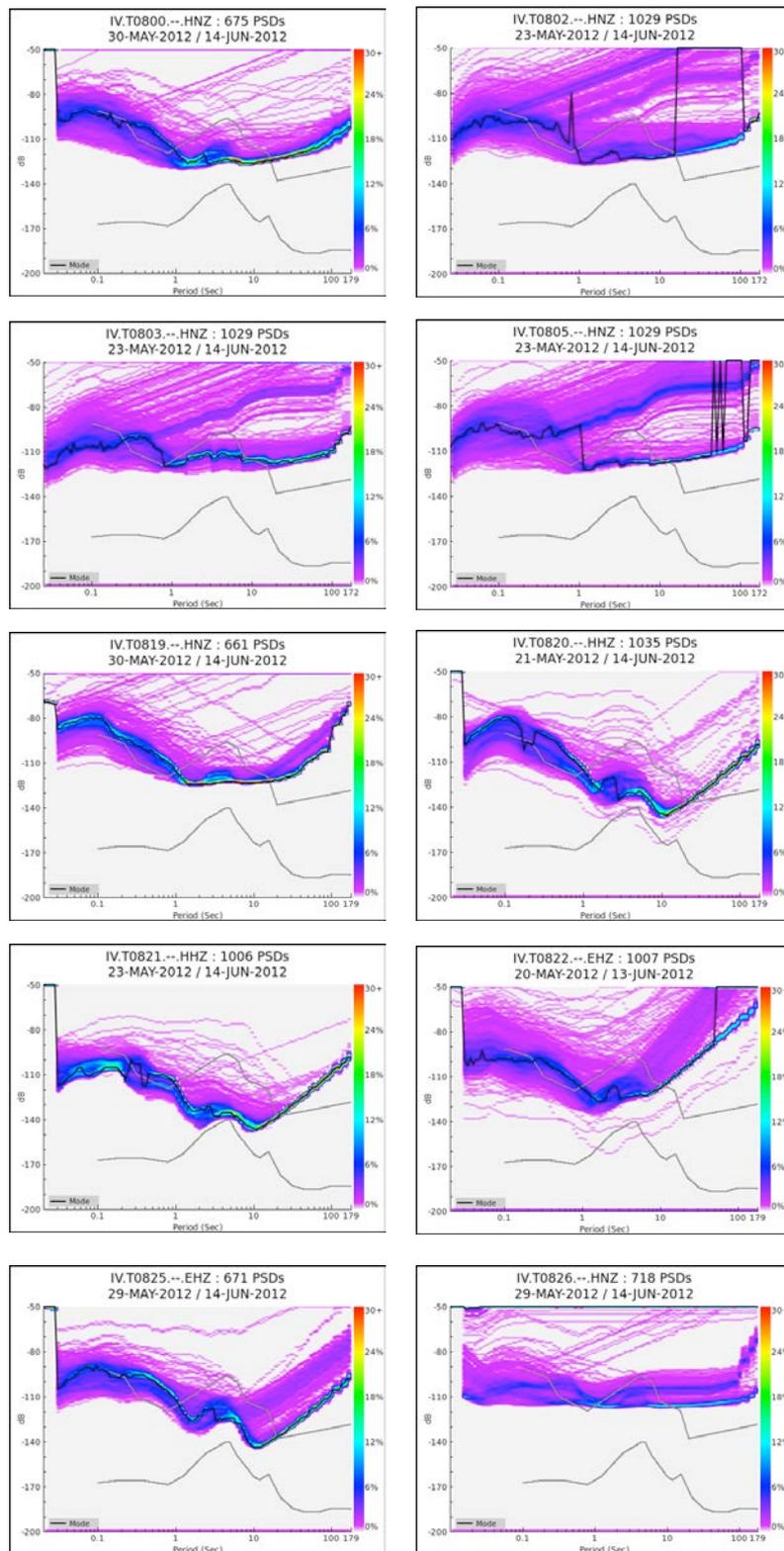
Infine, l'analisi spettrale dei segnali fornisce statisticamente la rumorosità dei siti in cui sono state installate le stazioni. Conoscere il livello medio o più probabile di rumorosità è la prima informazione utile per ottenere una successiva valutazione della capacità della rete di rilevare terremoti anche di piccola entità e di localizzarli con la massima precisione possibile. Anche per questo aspetto, lo scopo di monitorare la rumorosità dei siti in fase di emergenza non è quello di trovare il sito ideale ma di capire se l'installazione della stazione rientra in un compromesso accettabile tra i vari fattori che condizionano la scelta immediata e veloce di un sito: installare il più velocemente possibile, risolvere i problemi di accessibilità, verificare la copertura di campo per le trasmissioni (telefonia mobile, satellitare), scegliere le migliori condizioni del terreno anche in funzione della visibilità, individuare la presenza di rumorose strutture antropiche. Un esempio della rumorosità dei siti delle stazioni installate durante l'emergenza Emilia 2012 è riportato in Figura 10. Mediamente, i siti sono risultati rumorosi relativamente alle curve di riferimento di Peterson [1993]. Infatti, la curva di riferimento superiore è oltrepassata dai livelli più probabili registrati ai siti (curve nere, *mode*) tra 0.2 e 1 s (quindi tra 1 e 5 Hz). Questo è un risultato atteso, osservando che l'area epicentrale della sequenza sismica in corso fa parte di una delle aree maggiormente industrializzate e urbanizzate dell'intero territorio nazionale.

Infatti, i valori di rumorosità sono perfettamente in linea con dati di letteratura [Marzorati and Bindi, 2006], che mostrano come generalmente nella valle del Po la rumorosità dei siti è molto alta, anche in rapporto alla densità delle industrie e della popolazione presente in queste aree produttive.

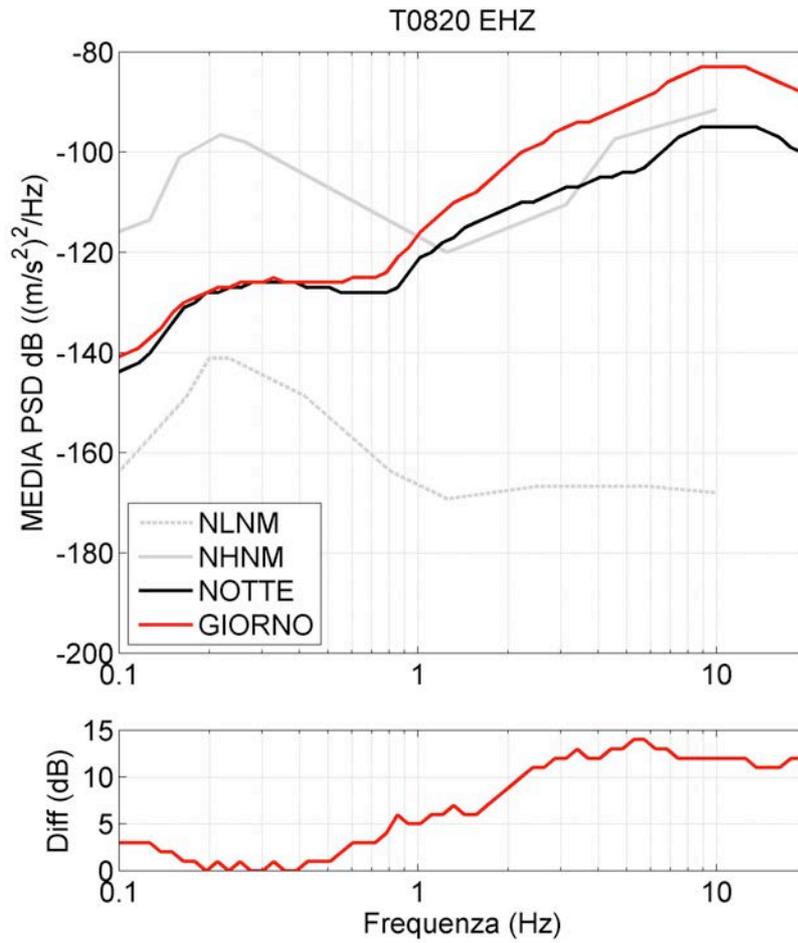
La relazione tra le attività industriali ed antropiche e i livelli di rumore registrati ad alte frequenze è ampiamente descritto in letteratura [ad esempio McNamara and Buland, 2004]; per l'area della Pianura Padana, alcuni esempi dettagliati di disturbi antropici monitorati per lunghi periodi temporali sono riportati in Marzorati and Bindi [2006] e Marzorati [2007]. Uno degli elementi che mostra questa relazione è la variazione giorno-notte e settimanale dei livelli di disturbo al sito, in modo da visualizzare la ciclicità delle variazioni ad un ritmo simile a quello delle attività antropiche. In Figura 11 è mostrato un esempio per la stazione sismica T08020, selezionando le PSD calcolate rispettivamente nelle ore notturne (dalle ore 22.00 alle ore 04.00 UTC) e nelle ore diurne (dalle ore 09.00 alle ore 15.00 UTC). Anche di notte i livelli medi di disturbo si mantengono elevati e aumentano dai 5 ai 15 dB durante le ore diurne, per frequenze maggiori di 1 Hz. Anche queste osservazioni corrispondono a variazioni dei disturbi osservati in letteratura [Marzorati and Bindi, 2006].

Nonostante la rumorosità dei siti, il fatto di essere mediamente vicini alle zone interessate dagli eventi della sequenza sismica permette in ogni caso alla rete di registrare la sismicità prodotta fino ad una soglia di magnitudo sufficientemente bassa. In ogni caso, tale capacità di monitoraggio è permessa dall'installazione di molte stazioni che creano una rete densa che ricopre tutta l'area della sequenza, la quale ha una lunghezza di circa 40 Km. Lungo tali distanze sono già sensibili gli effetti di attenuazione del moto, sono significativi gli effetti di propagazione e non ancora del tutto trascurabili gli effetti di sorgente. Tutto questo implica che la rete sismica d'emergenza può registrare in modo molto differente da zona a zona e da un estremo all'altro. Tale effetto è chiaramente visibile nelle Figure 12 e 13. Nelle due figure sono visualizzate rispettivamente le forme d'onda, normalizzate al loro massimo, registrate alle stazioni della rete mobile che trasmettono in *real-time* e relative ad eventi di magnitudo prossima al valore 2 avvenuti in zona est ed in zona ovest rispetto al baricentro della sequenza.

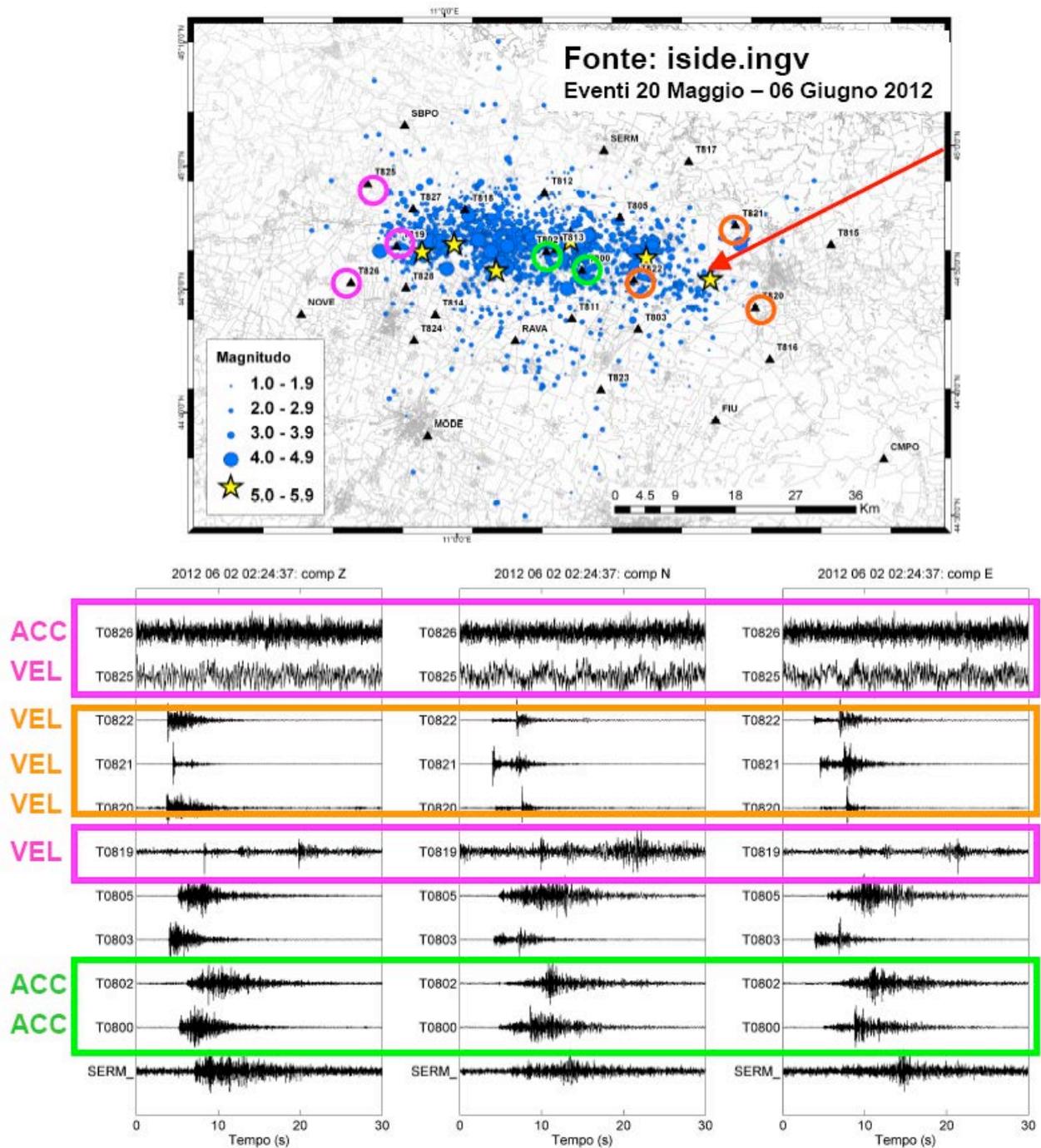
Per un evento in posizione orientale (Figura 12), tutte le stazioni registrano l'evento a parte quelle dell'estremo occidentale della rete (T0819, T0825 e T0826). Al contrario, per l'evento in posizione occidentale (Figura 13), le stazioni che non registrano l'evento sono quelle dell'estremo orientale della rete (T0820 e T0821) e in ogni caso le stazioni nella metà occidentale hanno uno scarso rapporto S/D (T0803, T0805, T0822). Le forme d'onda nelle Figure 12 e 13 delle stazioni T0800, T0802, T0803, T0805, T0826 e SERM appartengono ad accelerometri. A parte la stazione di SERM che risulta disturbata in superficie (ma dispone anche di un sensore velocimetrico in pozzo), gli altri accelerometri forniscono ottime forme d'onda che faciliteranno il *picking* delle fasi sismiche. In particolare, la posizione centrale delle stazioni T0800 e T0802 garantisce il rilevamento di terremoti provenienti anche dalle zone laterali della sequenza. Questo risultato sarà sicuramente utile sia per la *detection* degli eventi che per le successive operazioni di localizzazione.



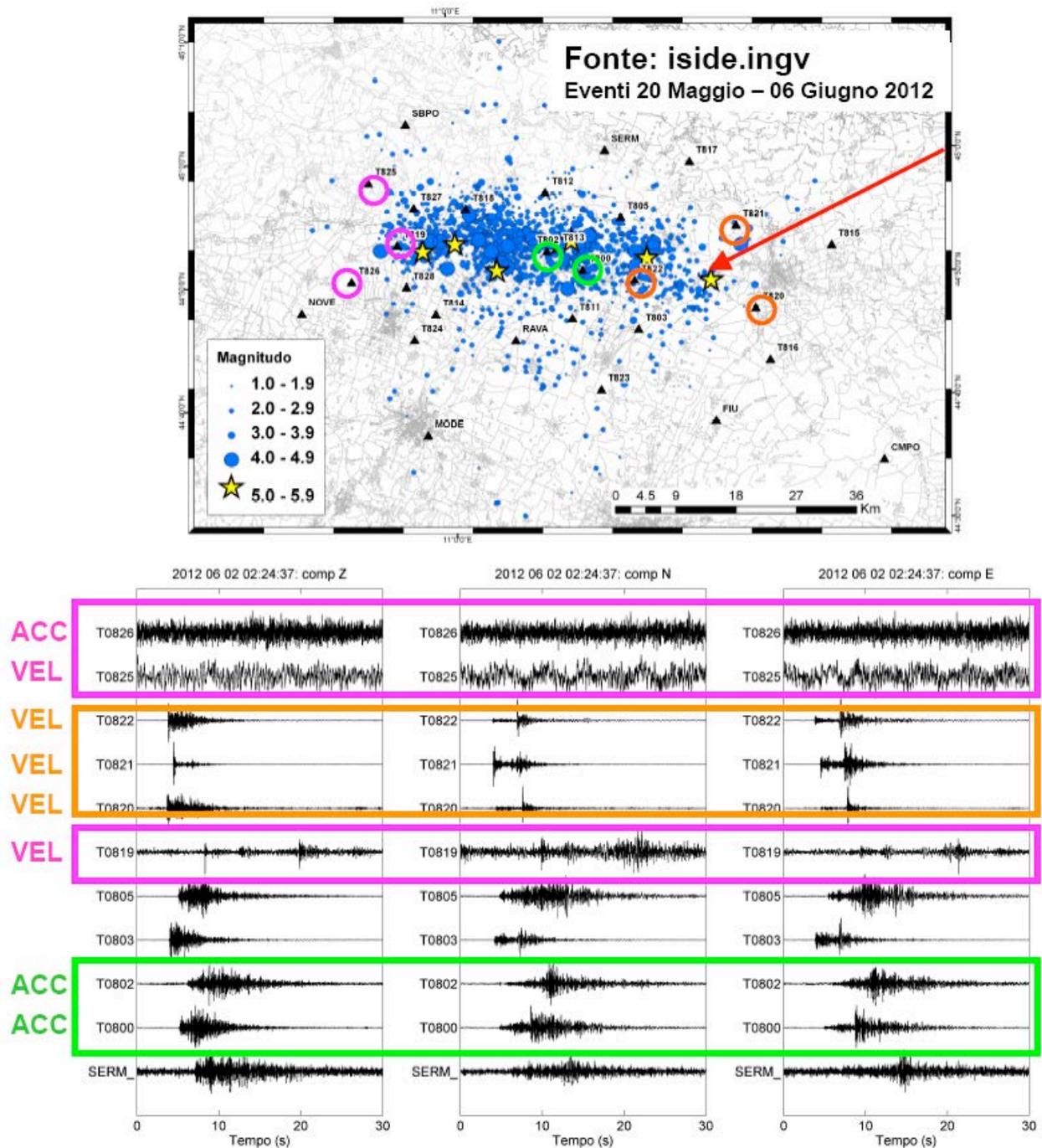
**Figura 10.** PDF delle componenti verticali delle stazioni T08\*\* trasmesse in *real-time* alla sala di monitoraggio INGV di Roma.



**Figura 11.** Esempio di variazione giorno/notte dei livelli di disturbo al sito T08020. Alto: livelli medi di disturbo di giorno (rosso) e di notte (nero). In grigio: curve di Peterson [1993]. Basso: differenza tra la curva di disturbo medio di giorno e quella di disturbo medio di notte.



**Figura 12.** Evento di  $M_L$  2.0 e profondità 20.6 Km [Fonte Dati: ISIDE; Mele et al. 2007; 2011] in area orientale rispetto alla sequenza, registrato dalle stazioni della rete di pronto intervento INGV trasmesse in *real-time*. La freccia rossa indica la posizione dell'epicentro dell'evento.



**Figura 13.** Evento di  $M_L$  2.5 e profondità 25.3 Km [Fonte Dati: ISIDE; Mele et al. 2007; 2011] in area occidentale rispetto alla sequenza, registrato dalle stazioni della rete di pronto intervento INGV trasmesse in *real-time*. La freccia rossa indica la posizione dell'epicentro dell'evento.

### 2.3 *Earthworm* dedicato per la rete sismica mobile

Oltre alle attività routinarie e sperimentali di supporto al pronto intervento, alla sede di Ancona sono in fase avanzata di sperimentazione anche analisi della sismicità rilevata dalla rete di sismica temporanea durante una sequenza sismica.

Una di queste sperimentazioni consiste nella realizzazione di un'istanza *Earthworm* (<http://folkworm.ceri.memphis.edu/ew-doc>) dedicata e separata dall'istanza che gestisce i *trigger* del monitoraggio dell'Italia centro orientale, gestita ordinariamente dalla sede di Ancona. Attivare un'istanza differente significa rendere operativo un nuovo processo di tutto il sistema di *trigger* funzionante in parallelo ma distintamente a quello già in uso. In tal modo è possibile condurre le analisi di riconoscimento degli eventi su un calcolatore a parte, con conseguente sgravio delle risorse di calcolo sui *server* che gestiscono ordinariamente la rete sismica composta da 91 stazioni *client* e *server*. Inoltre è possibile impostare parametri di *input* calibrati relativamente alla sismicità della sequenza. Per fare ciò è stata installata, su un *server* a parte, una copia identica del *software Earthworm v7.4*, configurato *ad hoc* in tutte le sue parti. Tale sistema è tenuto normalmente in *stand-by* ed attivato in caso di emergenza sismica, semplicemente aggiungendo le stazioni da monitorare e inserendo alcune semplici modifiche relative alla *detection* degli eventi.

Nel caso specifico, nell'istanza *Earthworm* dedicata alla *detection* degli eventi sismici della sequenza emiliana, oltre alle stazioni indicate in Tabella 1, è stata aggiunta la stazione della RSN CTL8 a Castelleone, in provincia di Cremona. CTL8, non molto distante dall'area epicentrale degli eventi in questione, è dotata di sensore velocimetrico in pozzo e di sensore accelerometrico in superficie.

È stata inoltre scelta e calibrata un'area di *detection* specifica compresa tra 44.5 e 45.5 gradi di latitudine N e tra 10.5 e 12.5 gradi di longitudine E. Per adeguarsi alle sigle utilizzate per le stazioni della rete sismica mobile, composte da 5 caratteri alfanumerici, è stato opportunamente reimpostato il modulo relativo contenente le informazioni delle stazioni (in particolare il file *ncal.hyp*).

Attraverso l'applicativo *java* SWARM, è possibile visualizzare in un monitor dedicato le stazioni installate durante l'emergenza. In Figura 14 si può ad esempio vedere la schermata dell'applicativo: nella parte a destra viene rappresentata la mappa delle stazioni con la possibilità di visualizzazione in *real-time* delle forme d'onda di qualunque stazione configurata; nella parte centrale si vedono contemporaneamente il *plot* di tutte le componenti verticali delle stazioni, mentre nella parte a sinistra si osserva il menù di scelta delle stazioni da visualizzare, oltre alla possibilità di scegliere alcuni tematismi.

Selezionando una specifica stazione di cui si vuol conoscere il funzionamento pregresso, è possibile visualizzare il sismogramma (*drum*) delle ore precedenti per ciascun canale acquisito in modo da verificare eventuali interruzioni dell'acquisizione, osservare la sismicità in corso od eventualmente il malfunzionamento della sensoristica; un esempio è dato dalla schermata inserita in Figura 15. A partire da questa schermata è possibile eseguire uno *zoom* di dettaglio di qualsiasi intervallo temporale della traccia su cui è poi possibile eseguire alcune operazioni tra cui lo spettro e lo spettrogramma del segnale, anche in tempo reale (Figura 16).

Al fine di poter verificare e gestire più facilmente il corretto funzionamento della localizzazione automatica di *Earthworm*, è stata creata una pagina html minimale, nella quale sono elencate tutte le localizzazioni restituite dal sistema (Figura 17, sinistra). La lista viene popolata automaticamente dopo la dichiarazione di evento nell'archivio. Ogni *record* della lista, identificato da un codice evento, indica il tempo origine, i parametri ipocentrali (latitudine, longitudine, profondità) e la magnitudo dell'evento così come sono state calcolate dal sistema automatico. Inoltre, cliccando sul tempo origine è possibile visualizzare in una mappa la posizione della localizzazione rispetto alla sequenza in corso (Figura 17, destra). Nella mappa, tutti i simboli degli eventi della sequenza sono rappresentati con dimensioni proporzionali alla magnitudo e con colori relativi alla profondità per aggiungere un'ulteriore informazione sul dato restituito dal sistema *Earthworm*.

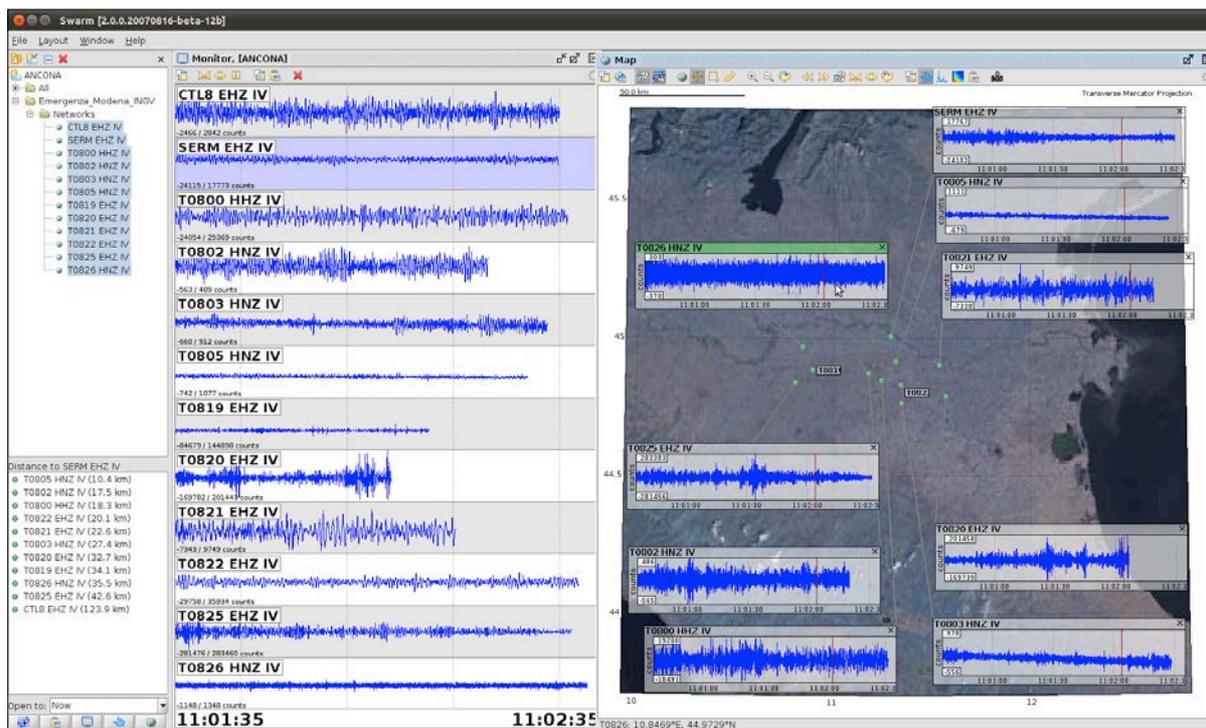


Figura 14. Schermata dell'applicativo SWARM. Sinistra: elenco delle stazioni selezionate. Centro: visualizzazione delle forme d'onda in *real-time*. Destra: mappa delle stazioni selezionate e forme d'onda ad esse associate.

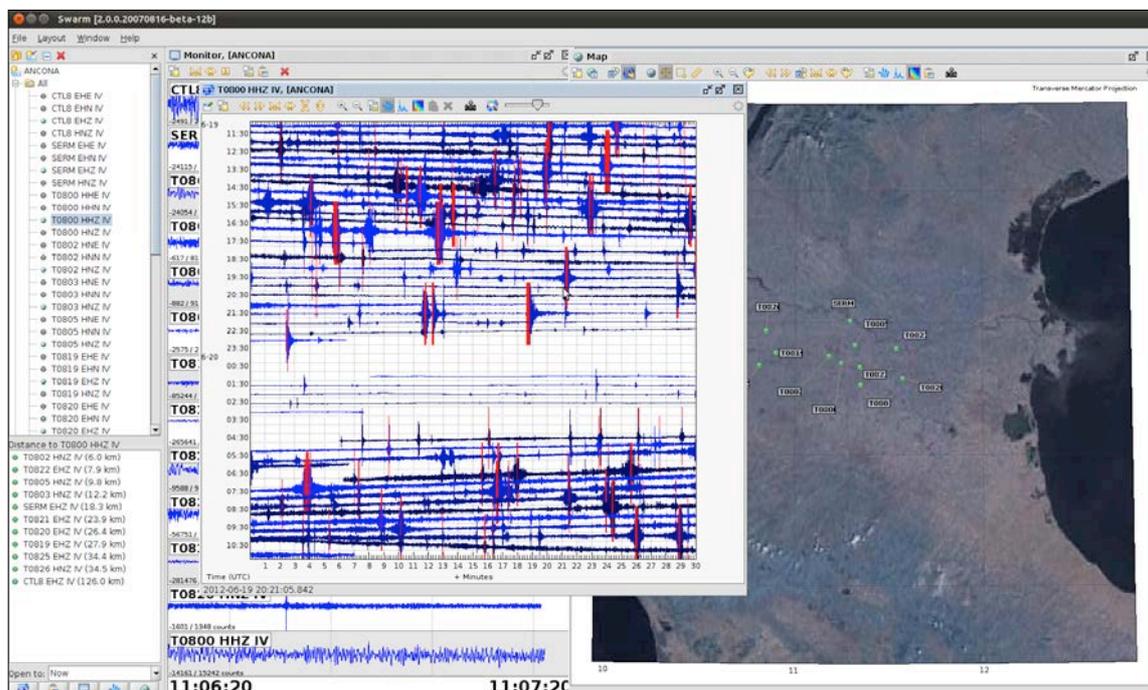


Figura 15. *Drum* di un canale scelto per osservare le ore di segnale precedenti.

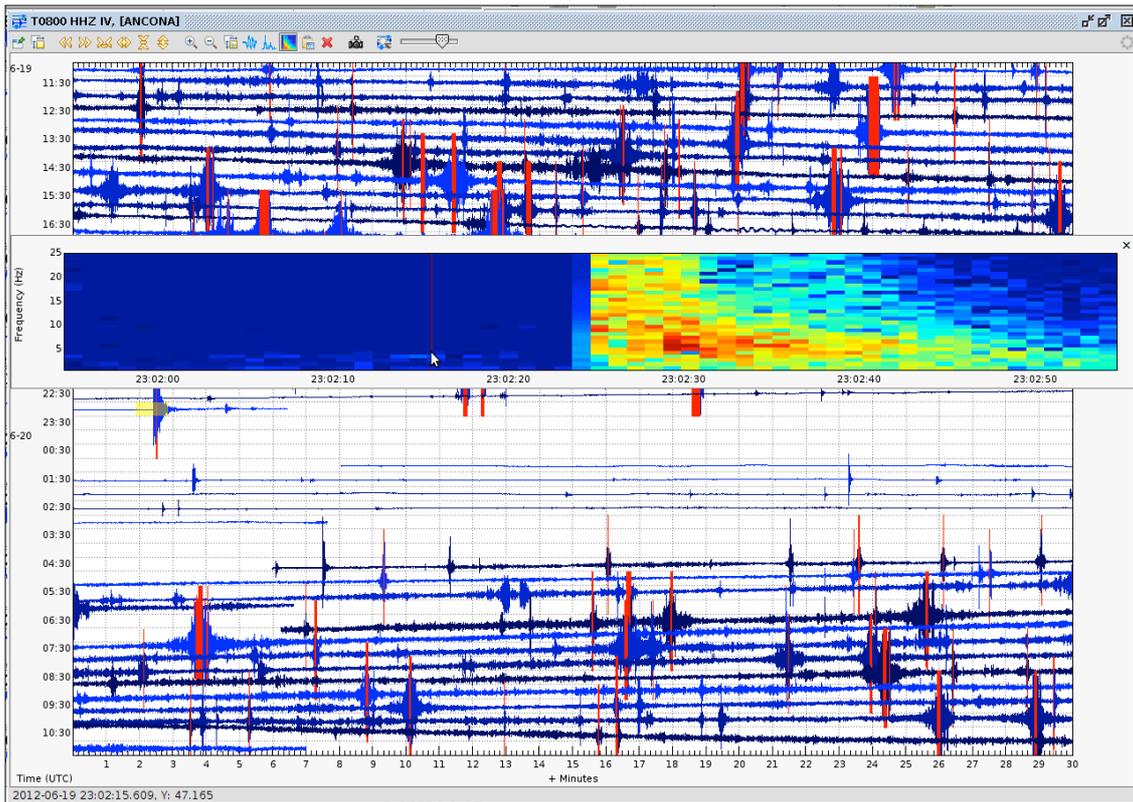


Figura 16. Selezione di un intervallo di tempo (rettangolo giallo trasparente) sul *drum* e visualizzazione dello spettrogramma associato.

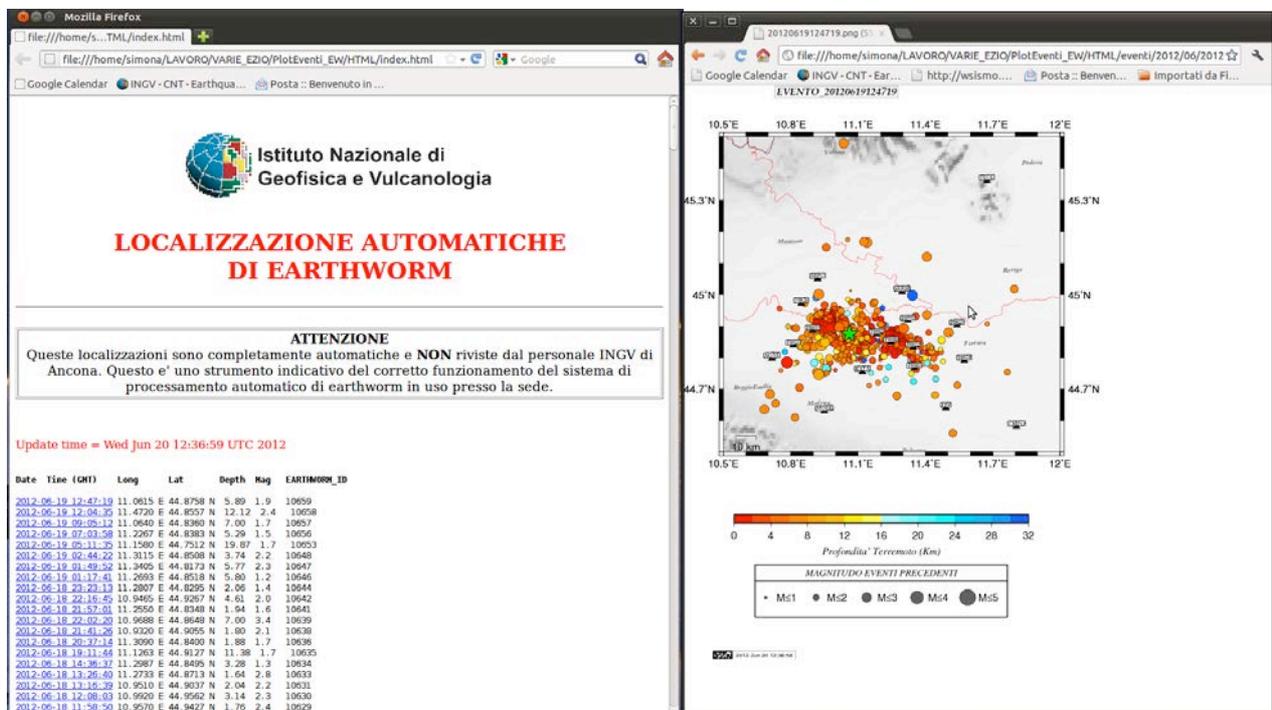


Figura 17. Sinistra: pagina html contenente la lista delle localizzazioni automatiche prodotte da *Earthworm*. Destra: mappa della localizzazione di un evento scelto cliccando sul tempo origine della lista eventi.

### 3. Attività sperimentali

Avendo a disposizione i dati delle stazioni sismiche installate durante l'emergenza emiliana, è stata colta l'occasione per sperimentare tecniche automatiche di elaborazione che permettessero di fornire informazioni sul maggior numero possibile di eventi sismici durante la sequenza in atto. Così, le procedure attive in sede ad Ancona, riguardanti la *detection*, *picking* e localizzazioni automatici delle fasi sismiche, sono state adattate ai dati delle stazioni temporanee. Successivamente, ottenuti i dati relativi ai tempi di arrivo delle fasi, sono state sviluppate procedure che permettessero il calcolo automatico dei parametri sintetici delle forme d'onda e delle informazioni relative ai rapporti spettrali delle componenti del moto. Nei paragrafi successivi sono presentati gli esempi che descrivono queste procedure.

#### 3.1 *Detection e picking* automatico degli eventi e rilocalizzazioni

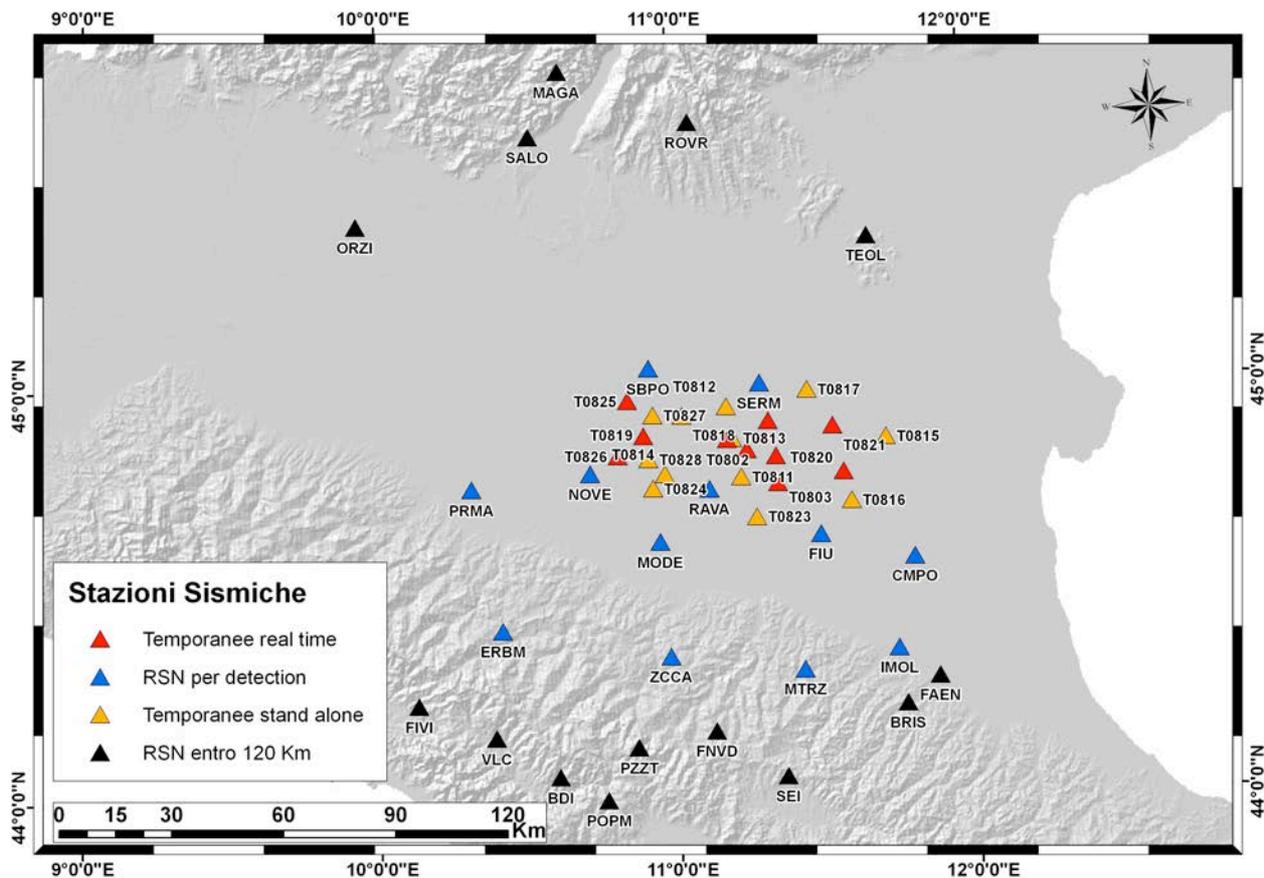
La distribuzione di una rete sismica densa e una buona qualità dei segnali registrati permettono di avere a disposizione un mezzo utile per analizzare con il miglior dettaglio possibile l'evoluzione della sequenza sismica in atto. Tuttavia un elevato numero di stazioni e di canali trasmessi richiede una gestione intensiva del dato registrato e la messa in campo di risorse umane e tecnologiche. I dati raccolti in *real-time* confluiscono alla sala di sorveglianza sismica di Roma, la quale deve farsene carico in aggiunta all'imponente gestione del monitoraggio dell'intero territorio nazionale. Inoltre le informazioni relative ai terremoti più significativi devono essere riviste da personale esperto e comunicate in breve tempo agli organi di protezione civile. Tutto questo implica una gestione selettiva dei dati in arrivo dalla rete d'emergenza, permettendo così di mantenere totalmente efficiente il compito svolto dagli operatori della sala di monitoraggio dell'INGV di Roma.

La sede di Ancona, ricevendo i segnali in *real-time* dalle stazioni della rete sismica temporanea durante l'emergenza emiliana, ha sperimentato l'impiego di un algoritmo STA/LTA [Borman, 2012] dedicato ed il *picking* automatico delle fasi P ed S, nel tentativo di rilocalizzare automaticamente e in breve tempo più eventi possibili per ottenere una fotografia dettagliata e quasi in *real-time* della sequenza in atto. Questa attività, complementare a quella copiosa e gravosa svolta ordinariamente dai sismologi in turno presso la sala di sorveglianza INGV di Roma, è funzionale alla comprensione delle *performance* della rete sismica mobile durante la sequenza.

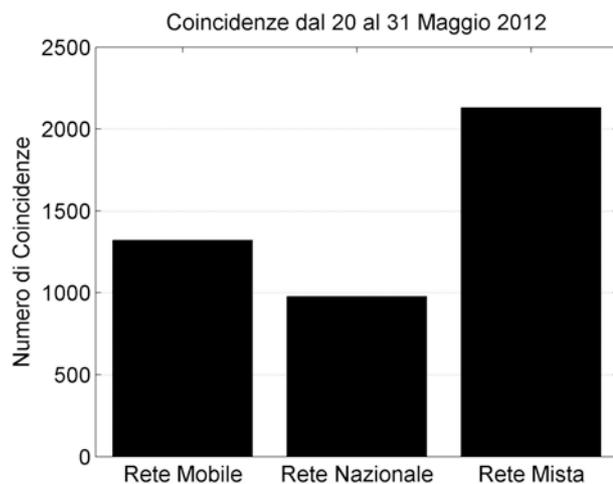
L'algoritmo di *trigger* STA/LTA sviluppato ed utilizzato nella sede di Ancona per i tagli *off-line* degli eventi registrati per il monitoraggio dell'area Umbro-Marchigiana, lavora per sottoreti; perciò è possibile aggiungere una rete di *trigger* autonoma come quella composta dalle stazioni della rete mobile. L'*input* dell'algoritmo permette di modulare le finestre di analisi, le stazioni utilizzate ed il peso di ogni singolo canale per il *trigger*, il quale può derivare dall'analisi della qualità del segnale, dalla valutazione dei disturbi ad ogni stazione e dalla risoluzione degli strumenti utilizzati. In questo caso l'algoritmo è stato modificato per poter accogliere codici stazioni a 5 lettere e per poter gestire dati campionati con passi differenti (80, 100, 125, 200 campioni per secondo, *sps*). Infatti, le forme d'onda ottenute in formato *miniSEED* vengono pre-processate eliminando *trend* e *off-set*, riempiendo i *gap* del segnale e ricampionando i segnali a 100 *sps*, in modo da poterle gestire facilmente nel sistema implementato alla sede di Ancona. L'algoritmo in questo caso è stato impostato per lavorare su finestre di analisi di 1 s per il calcolo di STA (*Short Time Average*) e di 50 s per il calcolo di LTA (*Long Time Average*), con una ricerca di coincidenze tra le stazioni su finestre di 20 s, traslate di 5 s. Per una prima sperimentazione è stata utilizzata una coincidenza di 4 stazioni per la dichiarazione di un possibile evento. Oltre alle stazioni della rete mobile trasmesse in *real-time* (triangoli rossi in Figura 18), sono stati utilizzati anche i segnali di alcune stazioni della RSN, presenti sia in Pianura Padana (triangoli neri in Figura 18) che nei siti appenninici (triangoli blu in Figura 18) intorno alla sequenza.

Per differenziare e monitorare i *trigger* derivanti dalle sole stazioni della RSN, da quelli generati dalle sole stazioni della rete temporanea e da quelli della rete 'mista', composta cioè dall'insieme di tutte le stazioni disponibili, le coincidenze ottenute sono state etichettate con le sigle delle tre diverse sottoreti. Dal confronto quantitativo delle tre diverse sigle, per il periodo compreso tra il 20 e il 31 maggio 2012, il numero di coincidenze ottenute dalle stazioni della sola RSN sono inferiori a quelle della rete sismica mobile, anche nei primi giorni quando nel calcolo entrano poche stazioni della rete temporanea (Figura 19). Questo risultato atteso indica l'utilità della rete d'emergenza nel monitorare più in dettaglio la sequenza.

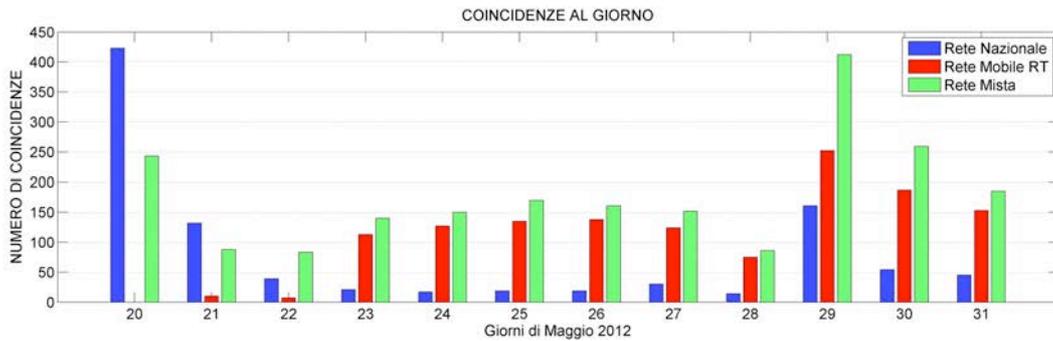
Un altro effetto importante è quello dell'attività sinergica della rete mista. Sfruttando infatti le potenzialità di entrambe le reti unitariamente è stato possibile ottenere più di 2000 coincidenze negli 11 giorni analizzati. Entrando più nel dettaglio l'effetto sinergico risulta evidente anche nel corso dell'evoluzione della sequenza (Figura 20).



**Figura 18.** Stazioni utilizzate per la *detection* (rosse e blu) e la localizzazione (tutte) automatica degli eventi sismici della sequenza emiliana 2012. Triangoli neri e blu: stazioni della RSN-INGV. Triangoli rossi: stazioni della rete sismica d'emergenza trasmesse in *real-time*. Triangoli arancioni: stazioni della rete sismica d'emergenza *stand-alone*.



**Figura 19.** Numero totale di *trigger* delle tre sottoreti composte dalle stazioni della rete temporanea in *real-time*, dalla RSN e dalla rete mista.



**Figura 20.** Numero di *trigger* al giorno delle tre sottoreti composte dalle stazioni della rete temporanea in *real-time*, dalla RSN e dalla rete mista.

Infatti, dalla Figura 20 si osserva come con le sole stazioni della RSN il numero di coincidenze al giorno decade velocemente nei giorni successivi al primo *mainshock* del 20 maggio 2012 quando la progressiva installazione di stazioni temporanee permette di massimizzare la *detection* con un numero di coincidenze al giorno quasi mai inferiore a 100. La sola rete d'emergenza, una volta installata completamente, mantiene un numero di coincidenze maggiori rispetto alla RSN. Il giorno 29 maggio 2012, in cui una forte ripresa della sismicità ha generato nuovi *mainshock*, il numero di coincidenze è più elevato per la rete mobile che per la RSN ma solo l'effetto combinato delle due sottoreti permette di rilevare più di 400 dichiarazioni di evento. Mediamente, questo è ciò che viene osservato ogni giorno nei risultati del sistema di *detection*.

Le coincidenze ottenute con la metodologia indicata sono processate da un *picker* automatico sviluppato da Spallarossa et al. [2011], il quale cerca l'evento intorno alla coincidenza indicata e tenta di individuare il tempo di arrivo della fase P e della fase S ad ogni stazione, massimizzando una funzione AIC [Kurz et al., 2005]. Se le interpretazioni automatiche sono consistenti, automaticamente vengono calcolati i parametri focali che, all'occorrenza, possono essere rivisti manualmente.

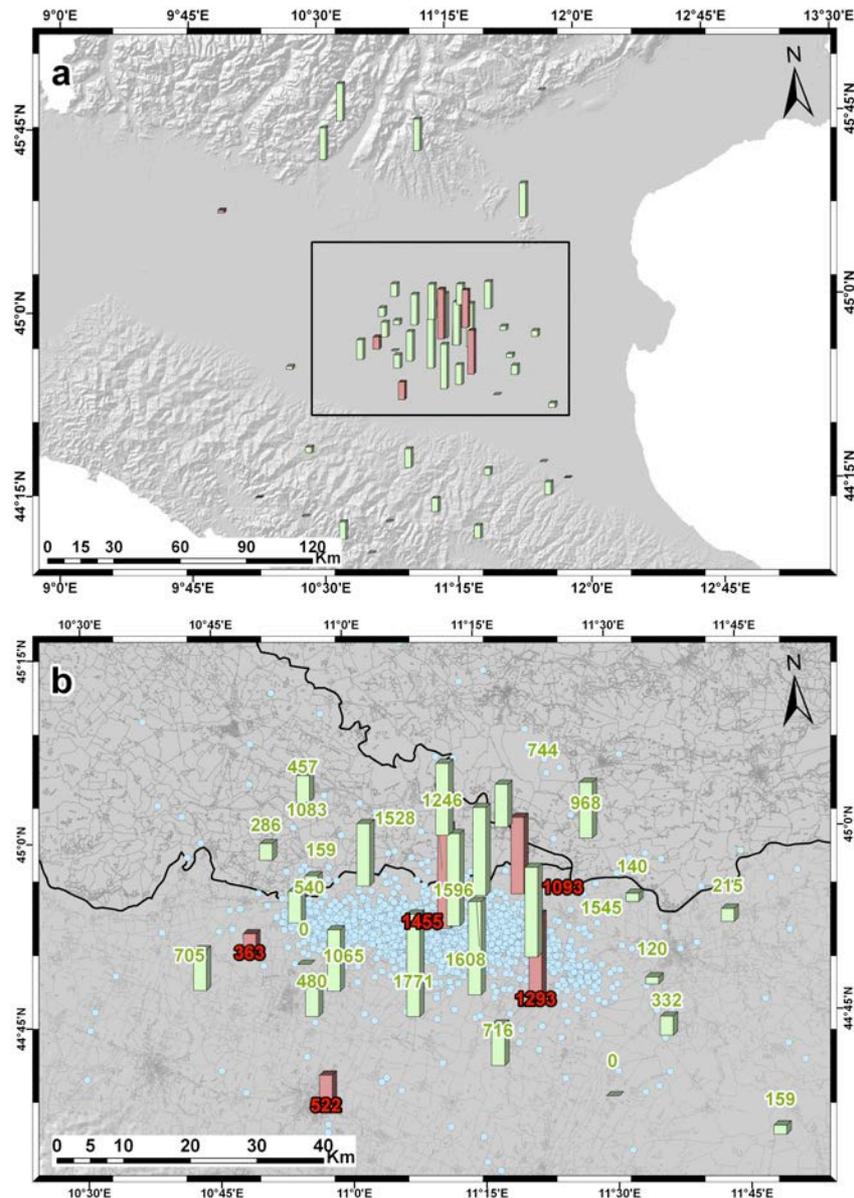
Infatti, dopo le prime localizzazioni automatiche è possibile semplicemente selezionare quelle con le soluzioni migliori oppure rivedere manualmente alcuni eventi significativi. La revisione manuale permette di comporre un *data set* di eventi *master*, che organizzati in funzione della loro localizzazione, vengono utilizzati da una procedura di miglioramento del *picking* automatico così schematizzabile:

- tutti gli eventi, localizzati anche solo in modo approssimativo, vengono confrontati stazione per stazione con gli eventi *master* più vicini;
- se la cross-correlazione supera una soglia prefissata su un numero sufficiente di stazioni, le cross-correlazioni stesse calcolate su finestre limitate intorno all'arrivo presunto per le onde P e le onde S, guidano una ri-determinazione dei tempi di arrivo delle fasi.

Questi tempi di arrivo possono essere utilizzati sia per il calcolo di localizzazioni assolute (con le procedure *standard*) sia come *input* per le localizzazioni relative con metodi alle doppie differenze [Waldhauser, 2001; Waldhauser and Ellsworth, 2000]. Per le localizzazioni assolute è stato utilizzato il codice *HypoEllipse* [Lahr, 1979], che permette di introdurre modelli di propagazione differenti per gruppi di stazioni ed un termine di correzione statico dei tempi di arrivo. Nel caso della sequenza emiliana, infatti, è risultata evidente la forte asimmetria dei residui tra stazioni alpine a nord ed appenniniche a sud, oltre che tra le stazioni in zona epicentrale poste sugli alti strutturali e le zone di bacino più profonde. In questa fase preliminare, sono stati adottati modelli differenti, derivati da regressioni empiriche, per le stazioni alpine ed appenniniche ed un modello *standard* per le stazioni installate in Pianura Padana, con un termine di correzione proporzionale alla profondità del basamento sotto ad ogni stazione, come desunto dal Modello Strutturale d'Italia [Bigi et al., 1992].

In Figura 21 viene presentato il risultato del *picking* automatico attraverso il numero di fasi P rilevate ad ogni stazione. In questa fase di analisi, per le localizzazioni automatiche è stato pensato di aggiungere alle stazioni utilizzate per la *detection* anche quelle della RSN ad una distanza minore di 120 Km dal centroide della sequenza (triangoli neri in Figura 18) e quelle della rete mobile con registrazione in locale (triangoli arancioni in Figura 18); il dato originale di queste ultime è stato recuperato e organizzato in un secondo momento ad opera del personale CNT di Roma e, per omogeneizzare il *data set*, interpretato automaticamente secondo le procedure messe in atto dalla sede di Ancona.

Una prima evidenza nei risultati è l'elevato numero di fasi registrate dalle stazioni poste nell'area centrale della rete mobile, con un leggero sbilanciamento verso la porzione orientale della sequenza. Questo è dovuto al fatto che la sequenza è migrata nei giorni successivi verso ovest, continuando ad essere registrata dalle stazioni al centro. Evidente è lo scarto tra il numero di fasi di queste stazioni centrali (tra 1000 e 2000 fasi) e le fasi riconosciute dalle stazioni agli estremi laterali della rete (poche centinaia di fasi) che confermano le considerazioni riguardo il rapporto S/D descritte nel Paragrafo 2.2. Un'altra caratteristica del risultato è il maggior numero di fasi riconosciute dalle stazioni alpine a nord, rispetto a quelle appenniniche a sud (Figura 21a).



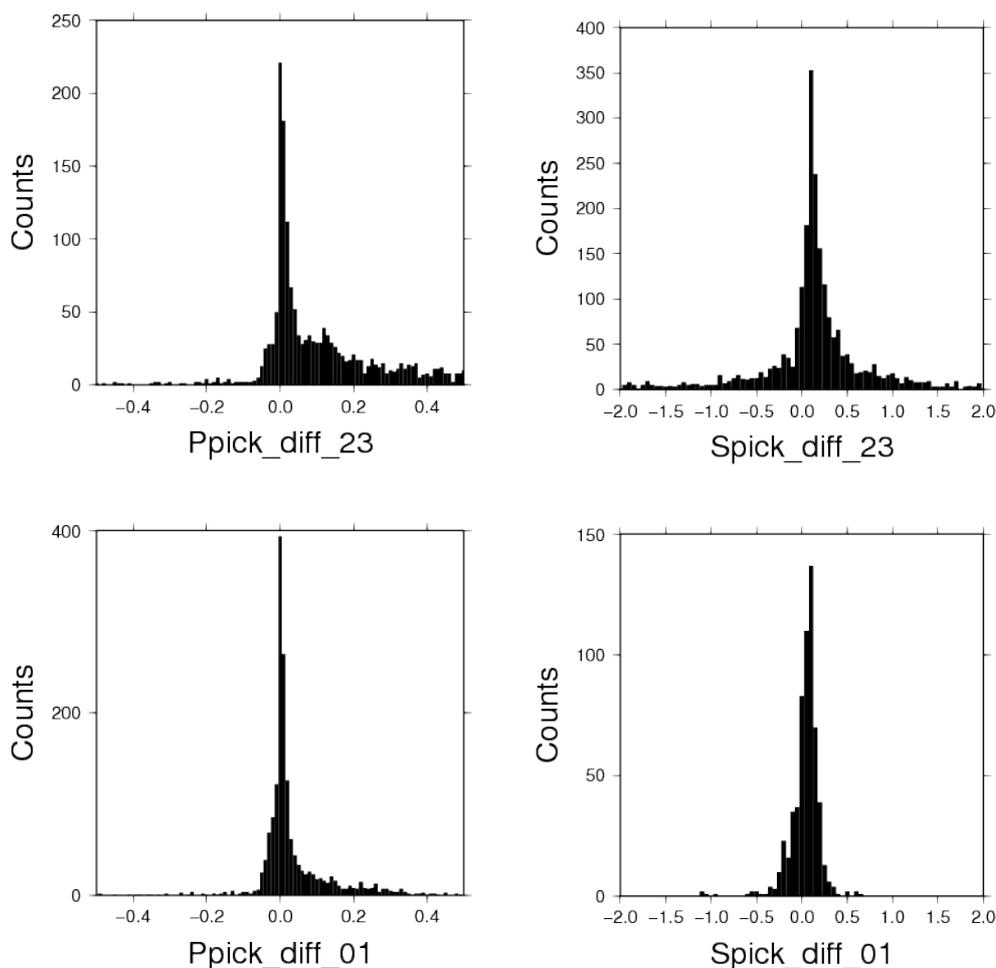
**Figura 21.** Fasi P riconosciute dal sistema di *picking* automatico. a) statistica di tutte le stazioni utilizzate. b) statistica delle stazioni in area epicentrale (rettangolo nero in a). Barre verdi: fasi delle stazioni velocimetriche. Barre rosse: fasi delle stazioni accelerometriche. Numeri verdi e rossi: numero di fasi per stazione. Cerchi azzurri: epicentri degli eventi localizzati con le fasi automatiche.

Le barre rosse in Figura 21b rappresentano il risultato ottenuto dalle stazioni che disponevano del solo sensore accelerometrico. Come si può notare, le fasi riconosciute dagli accelerometri sono del tutto confrontabili con i valori ottenuti dai velocimetri ad esse adiacenti, indicando come il rapporto S/D è simile per entrambi i sistemi di acquisizione.

Per valutare la qualità del *picking* automatico, le fasi P ed S restituite dal sistema sono state confrontate con quelle risultanti dall'elaborazione di circa 200 eventi interpretati manualmente dal personale della sede di Ancona. La differenza dei tempi di arrivo tra *picking* automatico e manuale è mostrata in Figura 22. Differenze positive indicano che la fase automatica è in ritardo rispetto alla fase manuale, mentre per differenze negative la fase automatica anticipa la fase manuale. Gli istogrammi delle differenze sono stati suddivisi secondo i pesi di qualità dati alle letture: 0 e 1, per le letture migliori; 2 e 3 per le letture peggiori. Ai *picking* automatici è stato abbinato un peso di qualità della lettura in base al rapporto S/D tra il disturbo pre-evento e l'ampiezza del segnale intorno alla lettura.

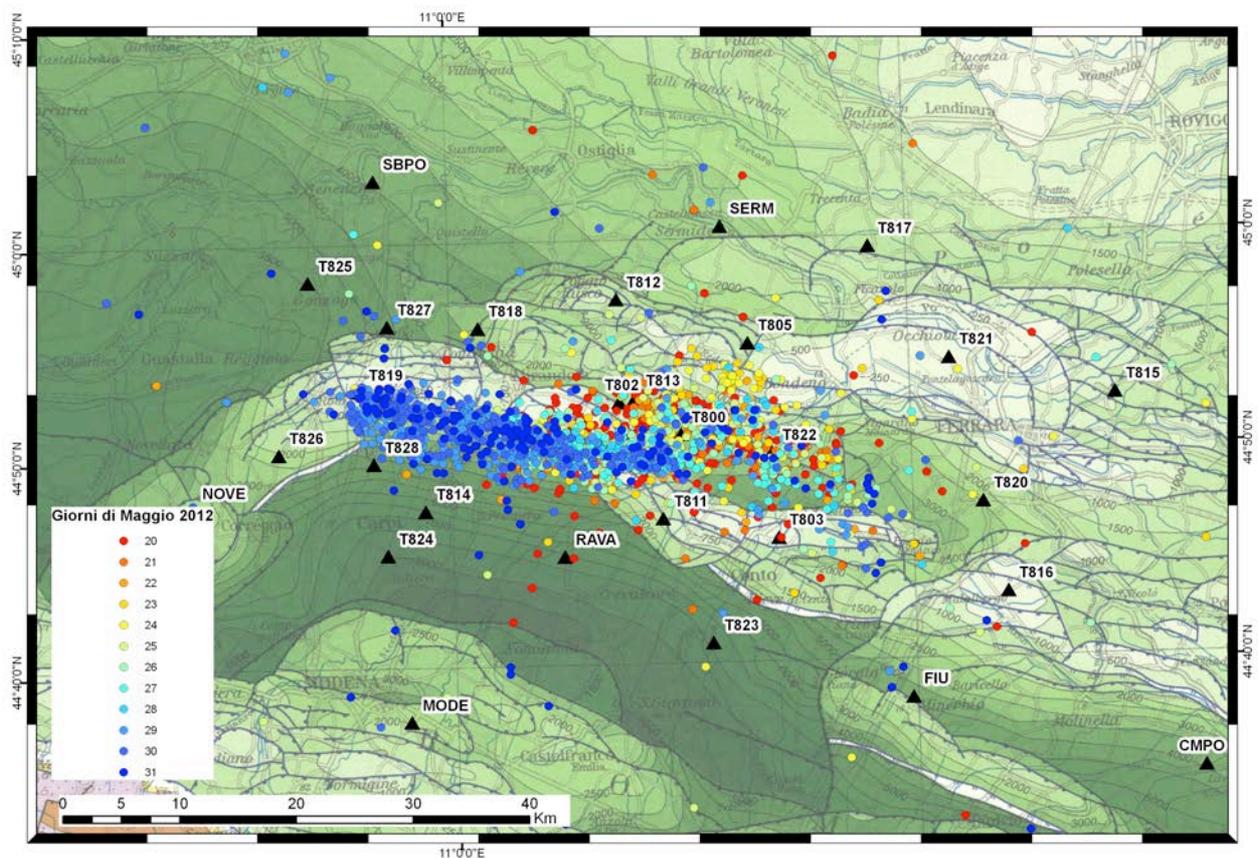
Per gli istogrammi relativi alle fasi P (Figura 22, sinistra), si può notare come i risultati siano mediamente buoni con una percentuale del 77.7 % di fasi P automatiche con peso 0 e 1 all'interno di 0.15 s di scostamento dalle manuali e il 74.1 % con peso 3 e 4 all'interno di 0.45 s. Soprattutto per i pesi 2 e 3 (Figura 22, riquadro in alto a sinistra), si osservano casi di ritardo che rendono asimmetrici gli istogrammi delle fasi P verso le differenze positive. Questo è dovuto alle fasi emergenti non riconosciute dal sistema automatico. Per le fasi S (Figura 22, destra), i risultati sono più critici, con differenze più alte rispetto alle fasi P. In questo caso, l'84 % delle letture S con peso 0 e 1 ricadono all'interno di scostamenti inferiori a 0.25 s, mentre l'81.3 % di quelle con peso 2 e 3 è all'interno di 0.85 s.

Quindi, i risultati mostrano una buona qualità del sistema automatico. Le criticità, in generale, derivano dal fatto che i siti sono rumorosi, che durante la sequenza molti eventi sono concatenati uno dietro all'altro o sovrapposti e che le forme d'onda sono molto complesse a causa probabilmente dell'effetto tridimensionale del modello di velocità.



**Figura 22.** Istogrammi delle differenze tra i tempi d'arrivo delle fasi automatiche e manuali. Sinistra in alto: fasi P con pesi 2 e 3. Sinistra in basso: fasi P con pesi 0 e 1. Destra in alto: fasi S con pesi 2 e 3. Destra in basso: fasi S con pesi 0 e 1.

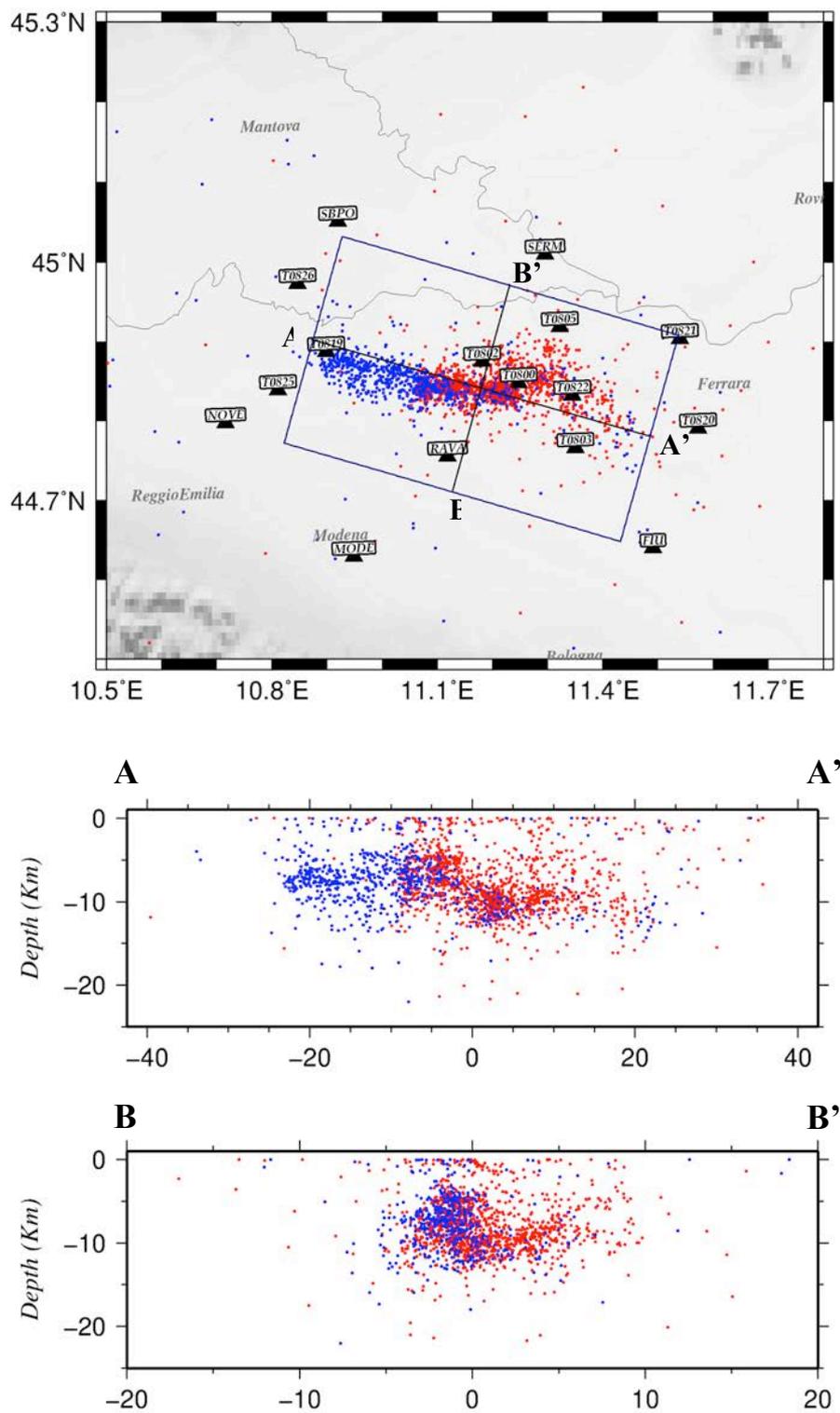
La Figura 23 mostra la mappa delle 2364 localizzazioni ottenute dalla *detection* e dal *picking* automatico per l'intervallo 20-31 maggio 2012. I commenti che seguono sono funzionali alla sola valutazione dei risultati ottenuti dalle operazioni automatiche realizzate dalla sede di Ancona unicamente per una rapida valutazione preliminare dei caratteri della sequenza che potrebbero essere corretti o confermati dalle analisi di dettaglio attualmente in corso. La posizione degli epicentri è stata sovrapposta al Modello Strutturale d'Italia - Foglio 1 – [Bigi et al., 2012] che rappresenta per l'area tra Modena e Ferrara la batimetria del *top* del basamento cristallino al di sotto dei sedimenti della valle del Po. Complessivamente la sequenza è allungata in direzione grossomodo est-ovest e sembra aver interessato in due tempi diverse strutture. La porzione più orientale, relativa alla prima fase della sequenza sprigionata dal 20 maggio per circa una settimana, si scosta dall'allineamento espandendosi verso nord e si colloca in mappa sui fronti di sovrascorrimento ferraresi, tra la città di Ferrara e il paese di Mirandola. La seconda porzione della sequenza, quella più occidentale, si colloca al di sopra di altre strutture mappate nella carta strutturale, poste a sud rispetto alle precedenti.



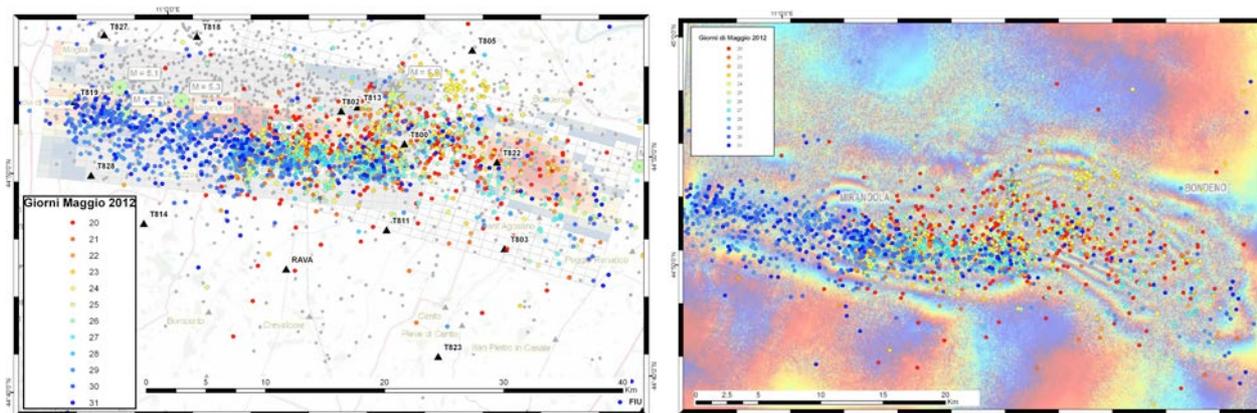
**Figura 23.** Mappa delle localizzazioni automatiche. Cerchi colorati: epicentri. Triangoli neri: stazioni vicine utilizzate per le localizzazioni automatiche. Sfondo: Carta Strutturale d'Italia - Foglio 1 [Bigi et al., 1992].

Visualizzando queste localizzazioni in sezione (Figura 24) è possibile intuire, sia longitudinalmente (sezione A-A') sia trasversalmente (sezione B-B') alla sequenza, due differenti strutture parzialmente sovrapposte. La struttura potenzialmente interessata dagli eventi in gran parte accaduti dal 29 maggio in poi, è posta leggermente più a sud e sovrapposta ad una seconda struttura più profonda e apparentemente a più basso angolo.

La sismicità osservata è stata sovrapposta con il risultato degli studi ottenuti dal gruppo deformazioni dell'INGV che elabora i dati rilevati dai satelliti radar di COSMO-SkyMed dell'Agenzia spaziale Italiana (ASI), che ha fornito dettagli sia sul campo delle deformazioni osservate da satellite, sia sui modelli delle due strutture interessate dagli eventi del 20 e del 29 maggio 2012 [Salvi et al., 2012]. Come si può osservare in Figura 25, gli epicentri delle localizzazioni automatiche sono in buon accordo sia con le proiezioni dei modelli di faglia proposti, sia con il campo delle deformazioni riconosciute per l'area.



**Figura 24.** Alto: localizzazioni automatiche, stazioni intorno all'area epicentrale e traccia delle sezioni. Basso: sezioni longitudinale (A-A') e trasversale (B-B') alla sequenza. Punti rossi: eventi dal 20 al 29 maggio mattina. Punti blu: eventi dal 29 maggio alle ore 07:00 (UTC) al 31 maggio 2012.



**Figura 25.** Sinistra: localizzazioni automatiche (punti colorati) rispetto alla modellazione di faglia da inversione InSAR [Salvi et al., 2012]. Destra: localizzazioni automatiche (punti colorati) rispetto al campo delle deformazioni del suolo [Salvi et al., 2012].

### 3.2 Esempi di calcolo automatico di parametri della forma d'onda

Sfruttando i risultati del *picker* automatico delle fasi P ed S, è stato sperimentato anche il calcolo automatico di diversi parametri della forma d'onda. La sperimentazione nasce dal presupposto che le procedure di analisi delle forme d'onda operano su finestre temporali che mediamente contengono la porzione del campo d'onda d'interesse (es. l'intera traccia del terremoto, la porzione energetica intorno alla fase S, la coda, ecc.). Pertanto i risultati del *picking* automatico possono essere più che sufficienti per l'individuazione del campo d'onda d'interesse.

Per selezionare la forma d'onda di un evento registrato ad una stazione, è possibile individuare una finestra di analisi a partire da un valore arbitrario prima del tempo d'arrivo della fase P (ad esempio 0.1 s) e da un valore arbitrario dopo il tempo d'arrivo della fase S (ad esempio 20 s); in alternativa può essere calcolato un valore medio (ad esempio il *root mean square*, rms) di una finestra di rumore ed utilizzarla come soglia al di sotto della quale si dichiara terminato l'evento dopo la sua coda.

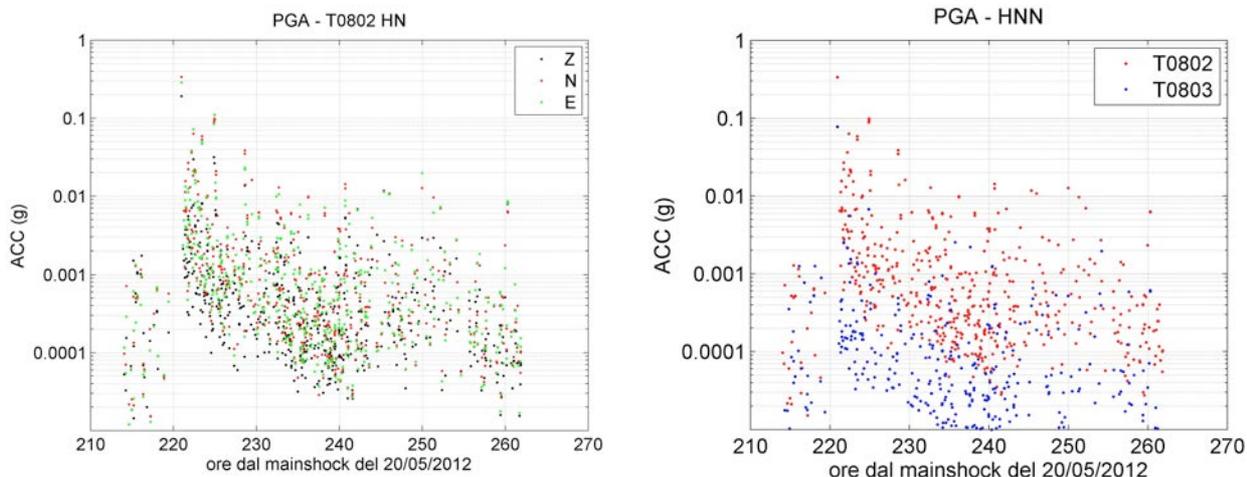
Disponendo della finestra contenente la forma d'onda dell'intero evento, è possibile calcolare vari parametri che la descrivono sinteticamente. Alcuni di questi sono ad esempio i valori di picco *Peak Ground Acceleration* (PGA) e *Peak Ground Velocità* (PGV), l'accelerazione RMS ( $a_{rms}$ ), l'intensità di Arias, quella di Housner, la durata T90 (durata del moto sismico tra il 5% e il 95% dell'energia cumulata). Inoltre, possono essere calcolati anche gli spettri di risposta: spettro di accelerazione assoluta (SA), spettro di pseudo-accelerazione (PSA), spettro di velocità relativa (SV), spettro di pseudo-velocità (PSV), spettro di spostamento relativo (SD).

In Figura 26 viene visualizzato come esempio il diagramma dei valori di PGA calcolati per i giorni 29 e 30 maggio 2012. Nel riquadro di sinistra, tre serie di dati rappresentano le PGA delle tre componenti del segnale registrato dalla stazione accelerometrica T0802; diversamente e sempre come esempio, nel riquadro a destra sono messi a confronto i valori di PGA delle componenti N delle stazioni T0802 e T0803. Quindi, con poche ore di dati, è possibile reperire una notevole quantità di informazioni e creare dei *data set* facilmente interrogabili per successive ed immediate investigazioni del moto del suolo registrato ai vari siti ed eventuali raffronti.

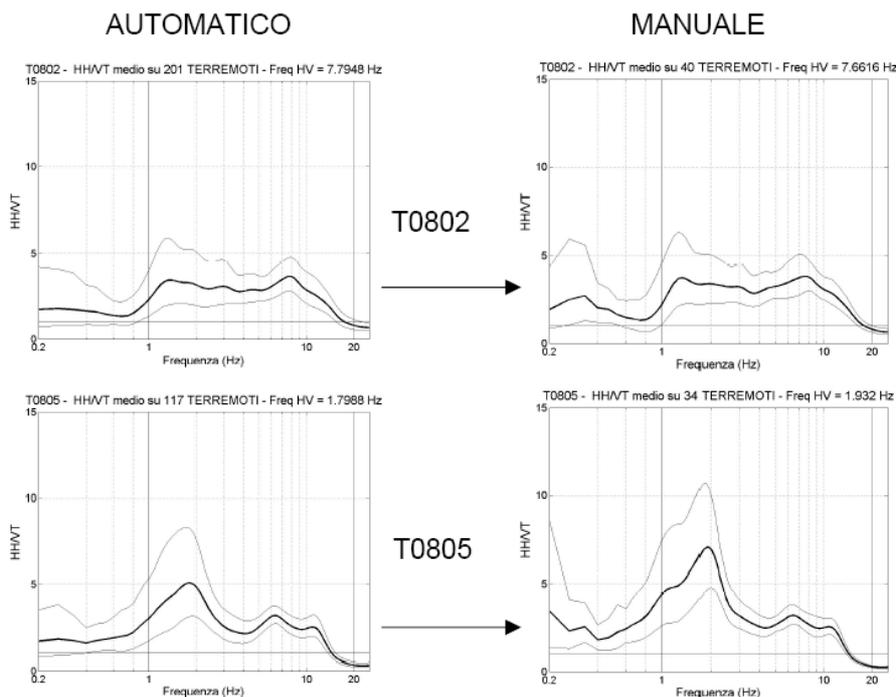
L'altra possibile applicazione riguarda le tecniche che si basano sui rapporti spettrali tra le varie componenti del moto, come ad esempio il rapporto spettrale *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Anche in questo caso il nodo centrale è la selezione della finestra di forma d'onda da analizzare: essa potrebbe rappresentare ancora tutta la forma d'onda, solo la parte più energetica intorno alla fase S, solo la coda dell'evento o la coda del primo arrivo P. Anche in questo caso, la scelta della durata delle finestre può essere calcolata automaticamente a partire dai tempi di arrivo delle fasi P ed S e dai livelli di segnale rispetto al rumore pre-evento, oppure ispezionando a campione alcune forme d'onda significative che mostrino la durata delle caratteristiche dell'evento alle stazioni che si vogliono analizzare.

Pur potendo selezionare ulteriormente gli eventi di cui è disponibile il *picking* automatico attraverso la qualità della lettura o per la correzione con la cross-correlazione delle forme d'onda, in prima analisi è stato

restituito il risultato ottenuto dall'elaborazione di tutti gli eventi con buon rapporto S/D ( $> 10$ ) e confrontato con il risultato ottenuto a partire da 40 eventi di cui era disponibile il *picking* manuale delle fasi.



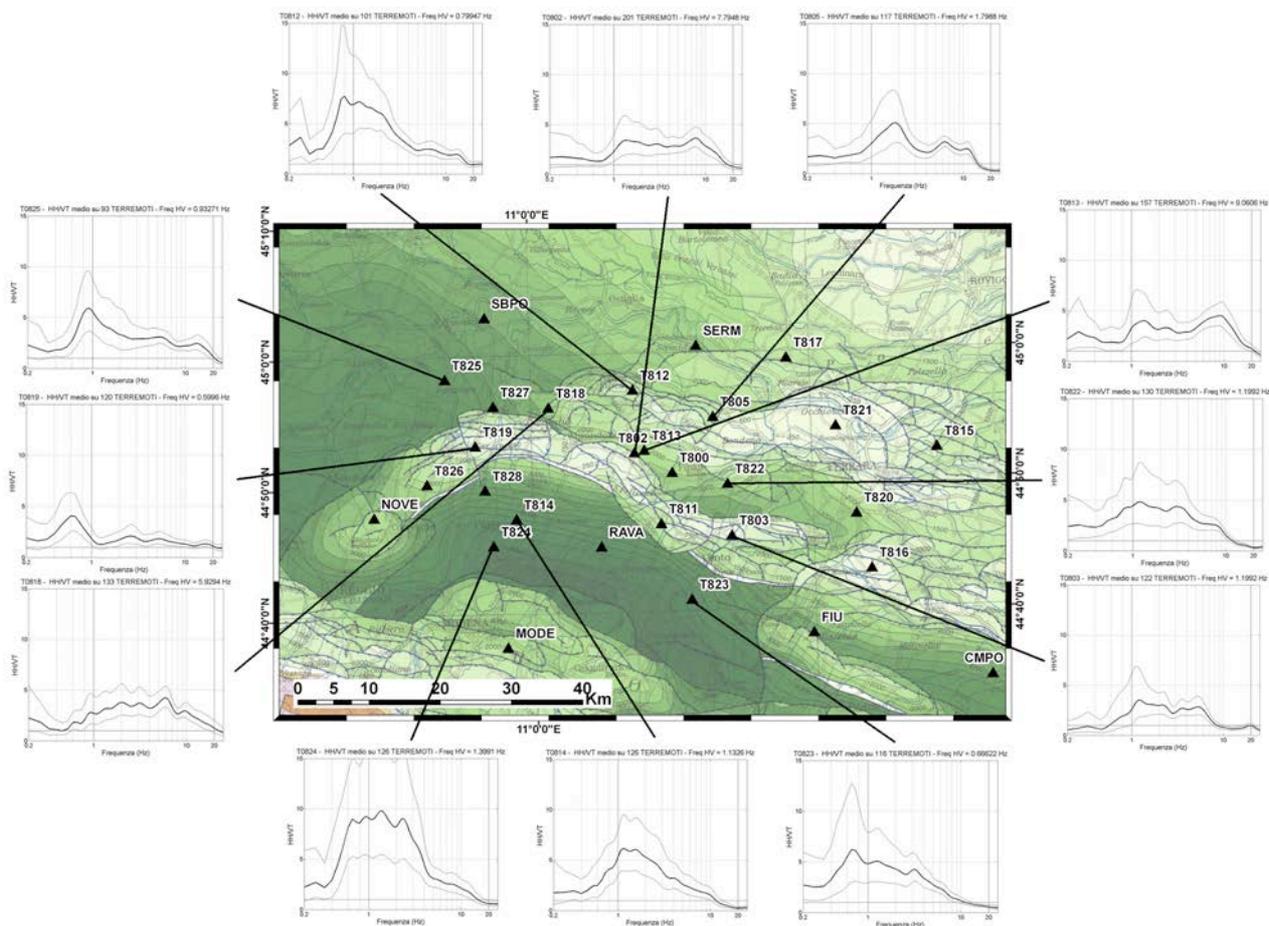
**Figure 26.** Valori di PGA calcolati nel periodo 29-30 maggio 2012. Sinistra: PGA delle tre componenti del segnale alla stazione T0802. Destra: PGA delle componenti N delle stazioni T0802 e T0803.



**Figure 27.** HVSr medi da *picking* automatico (sinistra) e da *picking* manuale (destra) delle stazioni T0802 (in alto) e T0805 (in basso).

Il raffronto tra l'HVSr medio calcolato su 15 s di coda degli eventi con *picking* automatico e manuale per le stazioni T0802 e T0805 è mostrato in Figura 27. Come si nota, i due risultati sono perfettamente confrontabili; la forma delle curve HVSr automatiche riproduce i picchi spettrali di quelle ottenute dall'analisi manuale. Inoltre, la statistica delle curve HVSr automatiche risulta più stabile (minor deviazione *standard*) alle basse frequenze.

Riuscendo a sfruttare la catena di analisi automatiche è stato quindi possibile calcolare i rapporti spettrali di centinaia di eventi in un breve periodo temporale (2 giorni). Potendo disporre dei dati in tempo reale di molte stazioni installate durante un intervento di emergenza, sarebbe possibile, in poco tempo, ottenere un'immagine preliminare ed indicativa delle amplificazioni lungo l'intera rete. Nel caso dell'emergenza in Emilia, essendo la rete installata interamente sui sedimenti della valle del Po, la situazione complessa dovuta alla presenza nel sottosuolo di un basamento a pieghe e sovrascorrimenti emerge nelle curve HVSR mostrate in Figura 28, la quale necessita di approfondimenti che vanno oltre lo scopo della sperimentazione tecnologica di questo rapporto.



**Figura 28.** HVSR medi di alcune stazioni installate nell'area epicentrale. Le barre nere verticali nei diagrammi HVSR indicano la frequenza di 1 Hz. Sfondo: Modello Strutturale d'Italia [Bigi et al., 1992].

#### 4. Conclusioni

A seguito degli eventi sismici che hanno colpito l'Emilia Romagna a partire dal 20 maggio 2012, l'INGV è intervenuto con l'installazione di numerose stazioni sismiche da parte di vari gruppi specializzati. Grazie al lavoro svolto da tutto il personale coinvolto nell'emergenza, sia sul campo che nei vari centri di acquisizione dati, è stato possibile reperire nella sede di Ancona il dato in tempo reale di 11 stazioni. Inoltre, successivamente sono stati raccolti i dati di 12 stazioni Re.Mo. che acquisiscono in locale.

Con lo scopo di dare supporto alle operazioni di manutenzione sulla rete di Pronto Intervento Sismico e di monitorare velocemente la funzionalità, l'efficienza e la qualità della rete e dei segnali ricevuti, la sede di Ancona ha svolto alcune attività sperimentali.

Monitorare le caratteristiche del dato archiviato e la sua qualità è utile per capire quanto siano gravi eventuali problemi su una stazione, quanto questi problemi influenzano l'efficienza della stazione stessa

rispetto alla funzionalità della rete e se sono necessari interventi per modificare la struttura della rete. Essendo le operazioni in emergenza svolte in condizioni non agevoli, in maniera speditiva e coordinando vari gruppi di intervento, le risultanti installazioni non ci si aspetta che siano ideali, dovendo rispondere a più necessità (qualità del dato sismico e del segnale di trasmissione, accessibilità al sito, visibilità e uso del suolo, etc.). Per questo, il monitoraggio della qualità dei segnali e *performance* della rete permette di capire, da parte di personale esperto, se i compromessi sono accettabili e in quali casi è possibile o obbligatorio intervenire per un migliore risultato del monitoraggio e anche per ridurre e distribuire il più possibile gli interventi tra i vari gruppi coinvolti nelle operazioni, in modo da ridurre la dispersione di forze e di risorse economiche.

Le sperimentazioni relative alle rilocalizzazioni automatiche degli eventi, implementate nei sistemi di acquisizione della sede INGV di Ancona, mettono in evidenza la potenzialità di una rete densa di monitoraggio intorno all'area epicentrale, integrata sinergicamente con la rete fissa di monitoraggio del territorio nazionale. Inoltre, tali sperimentazioni vogliono indicare come l'utilizzo immediato di più dati in *real-time* permettono di ottenere quotidianamente indicazioni dettagliate sull'evoluzione della sequenza sismica. Il fatto di ottenere automaticamente una rilevazione sufficientemente precisa delle fasi P ed S degli eventi, dal maggior numero di punti di osservazione possibili, permette di gestire in maniera altrettanto automatica una mole di dati che durante le sequenze sismiche non può essere analizzata totalmente e in tempi brevi dagli operatori che svolgono revisioni manuali dei dati. Questo test è stato possibile sia utilizzando tutti i dati trasmessi in *real-time* dalle varie sedi INGV, sia aggiungendo i dati della rete mobile Re.Mo. registrati in locale e recuperati tempestivamente dal personale dell'INGV.

È stato mostrato che le localizzazioni automatiche, pur perfettibili, permettono di individuare l'evoluzione della sismicità e di illuminare le strutture sismogenetiche interessate dagli eventi. Inoltre, a partire dalle stesse fasi automatiche, anche se non sempre precise come quelle determinate dalla revisione manuale esperta, è possibile applicare tecniche di analisi che permettono di estrarre dai dati i parametri fondamentali delle forme d'onda, tra cui i parametri *strong-motion* e le caratteristiche spettrali, potendo ottenere fotografie di tali caratteristiche per tutta la rete.

## Ringraziamenti

Gli autori del presente lavoro intendono ringraziare tutto il personale coinvolto nelle operazioni di emergenza delle sedi di Roma, Irpinia, Milano, Bologna, Pisa, gli operatori della sala di sorveglianza sismica di Roma, il personale della U.F. ADS del CNT e chiunque delle varie sedi dell'INGV abbia permesso il reperimento dei dati, senza i quali i risultati presentati non sarebbero stati possibili.

Si ringrazia Maurizio Ferretti, responsabile del Centro Funzionale del Servizio Protezione Civile e Sicurezza Locale della Regione Marche per aver messo a disposizione del personale INGV di Ancona 3 stazioni GAIA\_2 in telemetria radio UMTS e le relative schede SIM destinate originariamente alla sostituzione di apparati *dial-up* della vecchia rete regionale.

Inoltre si ringrazia il Prof. Daniele Spallarossa dell'Università di Genova per la distribuzione del *software* di *picking* automatico e manuale utilizzato dalla sede di Ancona INGV.

Le mappe delle figure sono state realizzate con ArcGis e GMT.

## Bibliografia

- Abruzzese L., De Luca G., Cattaneo M., Cecere G., Cardinale V., Castagnozzi A., D'Ambrosio C., Delladio A., De Martin M., Falco L., Franceschi D., Govoni A., Mammolo A., Migliari F., Minichiello F., Moretti M., Moschillo M., Pignone M., Selvaggi G., Zarrilli L., (2011). *La Rete sismica Mobile in telemetria satellitare (Re.Mo.Tel.)*. Rapporti Tecnici INGV, 177, 30 pp.
- Bigi G., Cosentino D., Parotto M., Sartori R., Scandone P., (eds), (1992). *Modello strutturale tridimensionale d'Italia in scala 1: 500.000*. CNR- Centro Nazionale delle Ricerche, Roma.
- Bordoni P., Azzara R., Cara F., Cogliano R., Cultrera G., Di Giulio G., Fodarella A., Milana G., Pupillo S., Riccio G., Rovelli A., Augliera P., Luzi L., Lovati S., Massa M., Pacor F., Puglia R., Ameri G., (2012). *Site effects in epicentral area of the 2012 Emilia seismic sequence from EMERSITO, the rapid response network for seismic effect studies*. Submitted to *Annals of Geophysics*.

- Bormann, P. (Ed.), (2012). *New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP-2)*. IASPEI, GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam; <http://nmsop.gfz-potsdam.de>; DOI:10.2312/GFZ.NMSOP-2 urn:nbn:de:kobv:b103-NMSOP-2.
- Cattaneo M., D'Alema E., Frapiccini M., Marzorati S., Monachesi G., (2011). *Acquisizione presso la sede di Ancona*. In: Cattaneo M. e Moretti M., eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico “Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell’arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico” Roma 20 | 21 dicembre 2010, Miscellanea INGV, 10, pp. 91-93.
- D'Alema E. e Carannante S., (2012). *Procedura automatica per il calcolo delle ShakeMaps e rilocalizzazione degli eventi presso la sede di Ancona dell'INGV-CNT*. Rapporti Tecnici INGV, 225, 30 pp.
- D'Alema E., Cattaneo M., Frapiccini M., Marzorati S., Monachesi G., Ferretti M., (2011). *Rete Sismometrica Marchigiana e sua integrazione con la RSN e Rete AVT*. In: Cattaneo M. e Moretti M., eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico “Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell’arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico” Roma 20 | 21 dicembre 2010, Miscellanea INGV, 10, pp. 19-21.
- Delladio A., (2011). *Monitoraggio sismico del territorio nazionale*. In: Cattaneo M. e Moretti M., eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico “Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell’arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico” Roma 20 | 21 dicembre 2010, Miscellanea INGV, 10, pp. 11-18.
- Govoni A., Abruzzese L., Amato A., Basili A., Cattaneo M., Chiarabba C., Delladio A., Monachesi G., Moretti M., Selvaggi G., Boschi E., (2008). *Sequenze sismiche: La nuova struttura di Pronto Intervento dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*. 27° Convegno Nazionale GNGTS – Trieste 6-8 ottobre 2008.
- La Rocca M. e Galluzzo D., (2011). *La Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Vesuviano*. In: Cattaneo M. e Moretti M., eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico “Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell’arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico” Roma 20 | 21 dicembre 2010, Miscellanea INGV, 10, pp. 61-64.
- Lahr J.C., (1979). *Hypoellipse: a computer program for determining local earthquake parameters, magnitude, and first motion pattern*. U.S. Geol. Surv., Open File Rep., 79-431.
- Kurz J. H., Grosse C. U. and Reinhardt H., (2005). *Strategies for reliable automatic onset time picking of acoustic emissions and of ultrasound signals in concrete*. Ultrasonic, 43,7, 538-564.
- Margheriti L., Chiaraluce L., Voisin C., Cultrera G., Govoni A., Moretti M., Bordoni P., Luzi L., Azzara R., Valoroso L., Di Stefano R., Mariscal A., Improta L., Pacor F., Milana G., Mucciarelli M., Parolai S., Amato A., Chiarabba C., De Gori P., Lucente P., Di Bona M., Pignone M., Cecere G., Criscuoli F., Delladio A., Lauciani V., Mazza S., Di Giulio G., Cara F., Augliera P., Massa M., D'Alema E., Marzorati S., Sobiesiak M., Strollo A., Duval A.-M., Dominique P., Delouis B., Paul A., Husen S., Selvaggi G., (2011). *Rapid response seismic networks in Europe: lessons learnt from the L'Aquila earthquake emergency*. Annals of Geophysics, 54, 4, doi: 10.4401/ag-4953
- Marzorati S., (2007). *Fenomenologia del noise sismico ambientale: dalla conoscenza del segnale alle applicazioni empiriche*. Tesi di dottorato, Università degli Studi di Milano Bicocca, 16 gennaio 2007 (url: <http://www.earth-prints.org/handle/2122/7960>).
- Marzorati S. and Bindi D., (2006). *Ambient noise levels in north central Italy*. Geochem. Geophys. Geosyst., 7, Q09010, doi:10.1029/2006GC001256.
- McNamara D. E. and Buland R.P., (2004). *Ambient noise levels in the continental United States*, Bull. Seismol. Soc. Am., 94(4), 1517–1527.
- Mazza S., Basili A., Bono A., Lauciani V., Marocci C., Mandiello A., Mele F., Pintore S., Quintiliani M., Scognamiglio L. Selvaggi G., (2011). *L'acquisizione e l'analisi dei dati sismici al CNT*. In: Cattaneo M. e Moretti M., eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico “Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell’arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico” Roma 20 | 21 dicembre 2010, Miscellanea INGV, 10, pp. 108-112.
- Mele F., Basili A., Bono A., Lauciani V., Mandiello A., Marocci C., Mazza S., Pintore S., Quintiliani M., Scognamiglio L. e Selvaggi G., (2011). *La base di dati ISIDE: stato attuale e possibili sviluppi*. In: Cattaneo M. e Moretti M., eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico “Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell’arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico” Roma 20 | 21 dicembre 2010, Miscellanea INGV, 10, pp. 128-130.

- Mele F., Castello B., Marchetti A., Marcocci C., Moro R., (2007). *ISIDE, Italian Seismological Instrumental and parametric DataBase: una pagina web per interrogare il Bollettino Sismico Italiano*. 26° Convegno Nazionale GNGTS, 13-15 novembre, Roma.
- Monachesi G., Cattaneo M., D'Alema E., Frapiccini M., Marzorati S., Ferretti M., (2011). *Sistemi di controllo in uso al centro di acquisizione della sede di Ancona*. In: Cattaneo M. e Moretti M., eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico "Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell'arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico" Roma 20 | 21 dicembre 2010, Miscellanea INGV, 10, pp. 103-107.
- Moretti M., Abruzzese L., Abu Zeid N., Augliera P., Azzara R., Barnaba C., Benedetti L., Bono A., Bordoni P., Boxberger T., Bucci A., Cacciaguerra S., Calò M., Cara F., Carannante S., Cardinale V., Castagnozzi A., Cattaneo M., Cavaliere A., Cecere G., Chiarabba C., Chiaraluce L., Ciaccio M.G., Cogliano R., Colasanti G., Colasanti M., Cornou C., Courboux F., Criscuoli F., Cultrera G., D'Alema E., D'Ambrosio C., Danesi S., De Gori P., Delladio A., De Luca G., Demartin M., Di Giulio G., Dorbath C., Ercolani E., Faenza L., Falco L., Fiaschi A., Ficeli P., Fodarella A., Franceschi D., Franceschina G., Frapiccini M., Frogneux M., Giovani L., Govoni A., Improta L., Jacques E., Ladina C., Langlaude P., Lauciani V., Lolli B., Lovati S., Lucente F.P., Luzi L., Mandiello A., Marcocci C., Margheriti L., Marzorati S., Massa M., Mazza S., Mercerat D., Milana G., Minichiello F., Molli G., Monachesi G., Morelli A., Moschillo R., Pacor F., Piccinini D., Piccolini U., Pignone M., Pintore S., Pondrelli S., Priolo E., Pucillo S., Quintiliani M., Riccio G., Romanelli M., Rovelli A., Salimbeni S., Sandri L., Selvaggi G., Serratore A., Silvestri M., Valoroso L., Van der Woerd J., Vannucci G., Zaccarelli L., (2012a). *Rapid-response to the earthquake emergency of May 2012, in the Po Plain, Northern Italy*. Submitted to Annals of Geophysics.
- Moretti M., Abruzzese L., Augliera P., Azzara R., Bono A., Bordoni P., Bucci A., Cacciaguerra S., Cara F., Carannante S., Cardinale V., Castagnozzi A., Cattaneo M., Cavaliere A., Cecere, G., Chiarabba C., Chiaraluce L., Ciaccio M. G., Cogliano R., Colasanti G., Colasanti M., Criscuoli F., Cultrera G., D'Alema E., D'Ambrosio C., Danesi S., De Gori P., De Luca G., Delladio A., Demartin M., Di Giulio G., Ercolani E., Faenza L., Falco L., Fiaschi A., Ficeli P., Fodarella A., Franceschi D., Franceschina G., Frapiccini M., Giovani L., Govoni A., Improta L., Ladina C., Lauciani V., Lolli B., Lovati S., Lucente F. P., Luzi L., Mandiello A., Marcocci C., Margheriti L., Marzorati S., Massa M., Mazza Salvatore, Milana G., Minichiello F., Monachesi G., Morelli A., Moschillo R., Pacor F., Piccinini D., Piccolini U., Pignone M., Pintore S., Pondrelli S., Pucillo S., Quintiliani M., Riccio G., Rovelli A., Salimbeni S., Sandri L., Selvaggi G., Serratore A., Valoroso L., Vannucci G., Zaccarelli L., (2012b). *Terremoto in Emilia: le attività del Pronto Intervento Sismico durante il primo mese di emergenza. Modalità e tempistica*. Sottomesso a Quaderni di Geofisica INGV.
- Moretti M., Amato A., Basili A., Doumaz F., Govoni A., Selvaggi G., Vinci S., (2010a). *Progettazione e realizzazione del Centro Operativo Emergenza Sismica (COES)*, Rapporti Tecnici INGV, 172, 24 pp.
- Moretti M. e Govoni A., (2011). *La Rete Sismica Mobile del CNT e la CO.RE.MO*. In Cattaneo M. e Moretti M., (eds). Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell'arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico, Miscellanea INGV 2011, 10, pp. 51-54.
- Moretti, M., Govoni A., Colasanti G., Silvestri M., Giandomenico E., Silvestri S., Criscuoli F., Giovani,L., Basili, A. Chiarabba C. e Delladio A., (2010b). *La Rete Sismica Mobile del Centro Nazionale Terremoti*. Rapporti Tecnici INGV, 137, 66 pp.
- Peterson J., (1993). *Observations and modeling of background seismic noise*. U.S. Geol. Surv. Open File Rep., 93-322.
- Pintore S., Marcocci C., Bono A., Lauciani V., Quintiliani M., (2012). *SEISFACE: interfaccia di gestione delle informazioni della Rete Sismica Nazionale Centralizzata*. Rapporti Tecnici INGV, 218, 30 pp.
- Salvaterra L., Pintore S., Badiali L., (2008). *Rete sismologica basata su stazioni GAIA*. Rapporti Tecnici INGV, 68, 28 pp.
- Salvi S., Tolomei C., Merryman Boncori J.P., Pezzo G., Atzori S., Antonioli A., Trasatti E., Giuliani R., Zoffoli S., Coletta A., (2012). *Activation of the SIGRIS monitoring system for ground deformation mapping during the 2012 Emilia seismic sequence, using COSMO-SkyMed InSAR data*. Submitted to Annals of Geophysics.
- Spallarossa D., Ferretti G., Scafidi D., Pasta M., (2011). *Picking automatico nella rete sismica dell'Italia Nord-Occidentale (RSNI)*. In Cattaneo M. e Moretti M., (eds). Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell'arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico, Miscellanea INGV 2011, 10, pp. 141-146.

- Waldhauser F., (2001). *HypoDD: A computer program to compute double-difference earthquake locations*. USGS Open File Rep., 01-113.
- Waldhauser F. and Ellsworth W.L., (2000). *A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault*. Bull. Seism. Soc. Am., 90, 1353-1368.
- Zuccarello L., Messina A., Rapisarda S., Platania P.R., Aiesi G., Cappuccio P., Contraffatto D., Larocca G., Manni M., Sassano M., Scuderi L., (2011). *2001-2011: Dieci anni di attività della Rete Sismica Mobile della Sezione di Catania*. In Cattaneo M. e Moretti M., (eds). Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell'arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico, Miscellanea INGV 2011, 10, pp. 57-60.

**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2012 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

**<http://www.ingv.it>**



**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**