

Attività di ricerca nell'ambito del Progetto n.181 "CASSAT"
ATTIVITA' 3 – ANALISI DI DATI SISMICI

Sommario

Premessa	2
Fase 1 – analisi dei cataloghi sismici	4
Fase 2 – calibrazione di una nuova legge di magnitudo	7
Fase 3 – creazione di un database contenente dati parametrici relativi allo scuotimento sismico	12
Il caso di Barcelonnette del 07 aprile 2014	14

Premessa

Le stazioni di monitoraggio sismico di Arpa Piemonte e della Regione Autonoma Valle d'Aosta sono parte della rete sismica regionale dell'Italia nordoccidentale (RSNI, Regional Seismic network of North-western Italy, www.distav.unige.it/rsni). L'acquisizione dei segnali sismici, il rilevamento e l'elaborazione dei dati sono centralizzati presso il Laboratorio di sismologia del DISTAV dell'Università degli Studi di Genova. Le attività di monitoraggio sismico sono migliorate attraverso l'utilizzo dei dati sismici trasmessi in tempo reale anche da altre stazioni sismiche operanti in Italia nordoccidentale ovvero dalla rete sismica nazionale dell'INGV, dalla rete nazionale Svizzera gestita dall'ETH di Zurigo e dalla rete francese RéNaSS.

In particolare, presso il Centro Elaborazione Dati del DISTAV, è attiva una procedura che consente la condivisione in tempo reale dei segnali sismici registrati dalle stazioni della rete RSNI, della rete francese ReNaSS e della rete gestita dall'ETH di Zurigo. Nell'ambito dell'attività di interscambio dati vengono quindi gestiti in tempo reale i segnali sismici provenienti da 11 stazioni della rete sismica francese ReNaSS. Analogamente sono attive delle procedure per rendere disponibili ai partner francesi tutte le stazioni della rete RSNI ubicate in area interfrontaliera. In figura 1 viene riportata la configurazione della rete sismica integrata operante in area transfrontaliera e costituita da stazioni appartenenti alla rete RSNI, INGV, ETH e ReNaSS.

L'attività 3 del progetto "CASSAT" prevede lo svolgimento di analisi di dati sismici per il miglioramento delle performance della rete sismica. L'Università di Genova ha svolto in collaborazione con Arpa Piemonte l'analisi dei dati raccolti ed elaborati dalla rete RSNI per valutarne le performance e in particolare i miglioramenti conseguiti a seguito dell'integrazione tra le reti transfrontaliere nell'ambito dei progetti ALCOTRA RISE e CASSAT.

Le attività svolte a tal fine sono state pertanto le seguenti:

1. analisi del catalogo sismico per la valutazione delle performance della rete sismica, in termini di numero di eventi rilevati e delle caratteristiche di qualità dei dati:
 - a. effettuando un confronto tra i dati acquisiti nell'area transfrontaliera prima e dopo l'integrazione delle stazioni dei partner;
 - b. considerando i dati determinati dopo l'integrazione delle stazioni transfrontaliere, effettuando un confronto tra i dati determinati utilizzando tutte le stazioni integrate e i dati determinati escludendo le stazioni francesi e svizzere;
2. calibrazione di una nuova legge di magnitudo per l'area alpina occidentale utilizzando i dati delle stazioni transfrontaliere integrate;
3. creazione di un database contenente dati parametrici relativi allo scuotimento sismico nell'area alpina occidentale, in termini di valori di PGA (Peak Ground Acceleration) e PGV (Peak Ground Velocity).

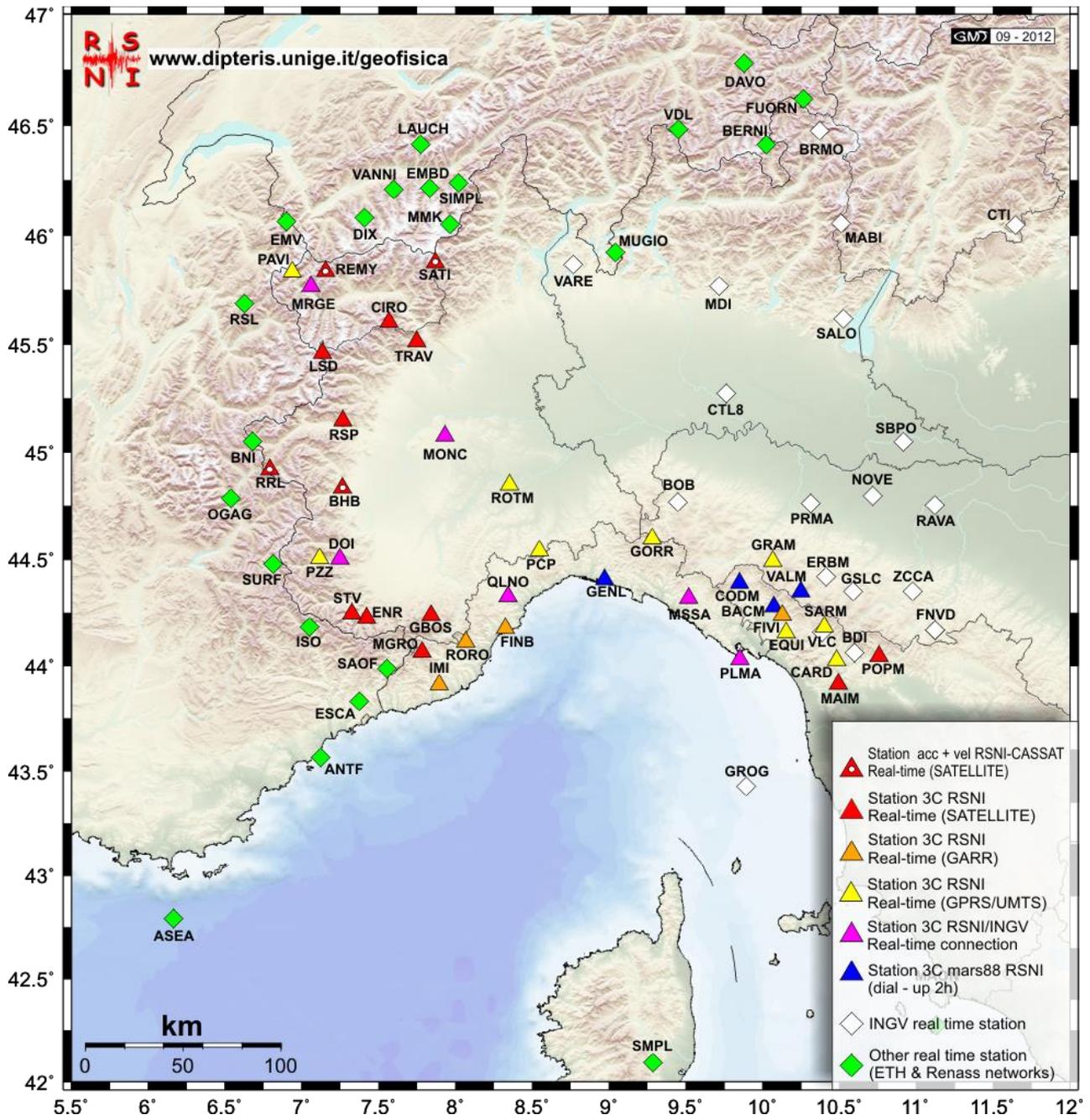


Figura 1: la rete sismica integrata dell'Italia Nord Occidentale

Fase 1 – analisi dei cataloghi sismici

L'inserimento delle stazioni sismiche francesi all'interno delle procedure per il monitoraggio dell'attività sismica in area interfrontaliera è iniziato a partire dall'aprile 2010. Dopo circa cinque anni dalla realizzazione di una rete sismica integrata in area interfrontaliera Italia - Francia - Svizzera è stato possibile valutare i benefici introdotti da tale implementazione del sistema di monitoraggio dell'attività sismica.

Nella prima fase, le attività di ricerca sono state principalmente indirizzate alla quantificazione del miglioramento della qualità del monitoraggio sismico nell'area interfrontaliera Italia-Francia-Svizzera indotto a seguito dell'integrazione fra le stazioni sismiche in tempo reale appartenenti alle differenti reti operanti nell'area. In particolare, le performance della rete integrata, in termini di "detezione" di eventi (event detection) e di qualità delle localizzazioni attraverso il confronto tra i cataloghi sismici pre- e post-2010 dei terremoti registrati in Piemonte e la stima delle differenze fra le localizzazioni ottenute utilizzando la rete integrata e la sola rete RSNI.

Una prima tipologia di analisi è quindi stata effettuata valutando, attraverso un approccio statistico, il numero degli eventi sismici localizzati in funzione della magnitudo considerando separatamente i periodi (A) Giugno 2005 – Marzo 2010 e (B) Aprile 2010 – Gennaio 2015 (i.e. 58 mesi per ciascun periodo). Per ciascun periodo è stata effettuata un'analisi statistica basata la **legge di Gutenberg–Richter**, legge che esprime la relazione fra la magnitudo e il numero totale dei terremoti in funzione della magnitudo in un dato periodo di tempo.

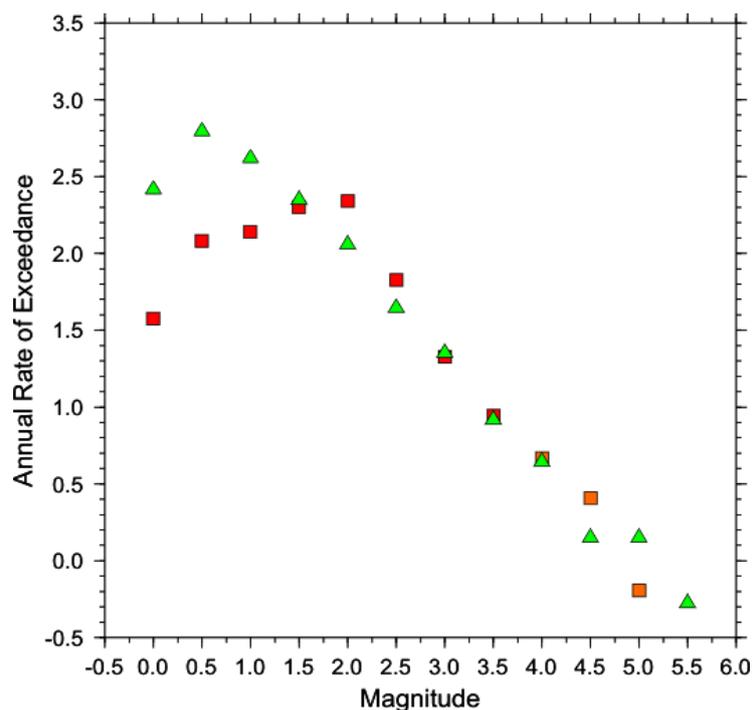


Figura 2: distribuzioni magnitudo-frequenza per i due intervalli temporali considerati: i quadrati sono rappresentano i valori derivati dal catalogo A (periodo 06/2005-03/2010) mentre i triangoli solo relativi al catalogo B (periodo 04/2010-01/2015). I dati sono ricavati dal bollettino della rete RSNI.

Relativamente alla valutazione delle capacità detettive della rete sismica durante i due intervalli temporali considerati, la figura 2 mostra le distribuzioni magnitudo-frequenza, così come ricavate dal bollettino della rete RSNI, per i due intervalli temporali considerati: i quadrati rappresentano i valori derivati dal catalogo A (periodo 06/2005-03/2010) mentre i triangoli solo i valori relativi al catalogo B (periodo 04/2010-01/2015). La figura mostra chiaramente la differente completezza dei due data set, indicata dal punto di flesso (a bassa magnitudo) della distribuzione dei tassi di sismicità. Il catalogo A risulta completo solo per magnitudo superiori a 2 mentre la soglia di

completezza del catalogo B, più recente, sembra corrispondere con $Ml=1.0$ o comunque appare compresa tra 0.5 ed 1. Tale analisi permette quindi di valutare in modo rigoroso l'implementazione che la rete RSNI ha subito nel corso degli anni grazie all'integrazione con altre reti operanti in area transfrontaliera. In particolare, tale implementazione ha permesso di raggiungere una capacità detettiva della rete RSNI che, attualmente, consente di localizzare terremoti aventi una magnitudo anche inferiore a 1.0.

Una seconda tipologia di analisi atta alla stima dei miglioramenti introdotti attraverso la realizzazione della rete sismica integrata ha riguardato la valutazione dei parametri di localizzazione in termini di ERH (errore orizzontale), ERZ (errore verticale), GAP azimutale (massima dimensione in gradi del settore privo di stazioni simiche rispetto alla posizione epicentrale), distanza dalla stazione più vicina all'epicentro, numero di fasi sismiche P+S impiegate per il calcolo dei parametri ipocentrali.

In questa analisi è stato preso in considerazione il solo catalogo B ovvero gli eventi sismici occorsi in Piemonte e in area transfrontaliera tra marzo 2010 e gennaio 2015. I terremoti sono stati localizzati, utilizzando la procedura di routine impiegata presso il CED del Laboratorio di Sismologia di Genova per compilare il bollettino sismico giornaliero, considerando due geometrie di rete differenti. Tutti i terremoti recenti sono stati localizzati sia utilizzando tutte le stazioni disponibili, ovvero stazioni RSNI, ReNaSS, ETH e INGV, (**catalogo B1**) sia escludendo dalla procedura le stazioni francesi (rete ReNaSS) e le stazioni svizzere (rete ETH) (**catalogo B2**).

Nella figura 1 viene mostrata la configurazione completa delle stazioni impiegate per definire i parametri di localizzazione del catalogo B1 mentre in figura 3 viene mostrata la configurazione ridotta della rete integrata utilizzata per ottenere le localizzazioni del catalogo B2.

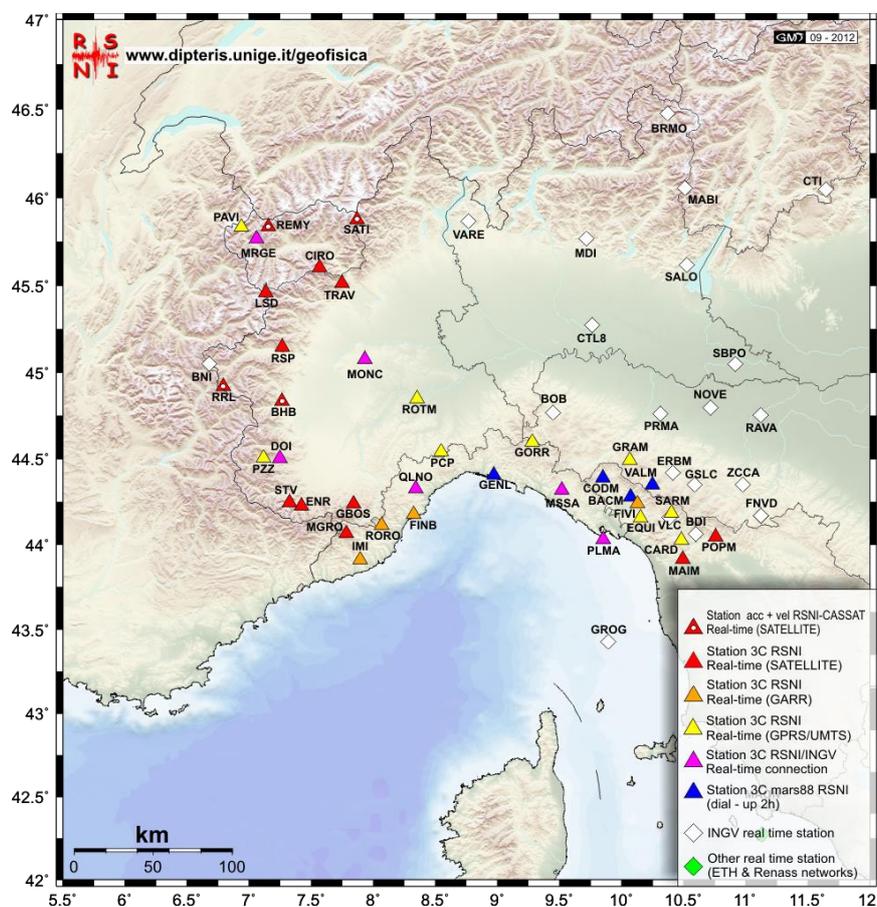


Figura 3: la configurazione della rete sismica dell'Italia Nord Occidentale escludendo le stazioni francesi e svizzere. Tale configurazione della rete è stata impiegata per ottenere le localizzazioni riportate nel catalogo B2 da confrontare con le localizzazioni ottenute considerando l'intera rete integrata (figura 1).

Nelle figure 4 e 5 vengono riportati gli istogrammi relativi ai parametri di localizzazione relativi ai due cataloghi sopra definiti.

CATALOGO

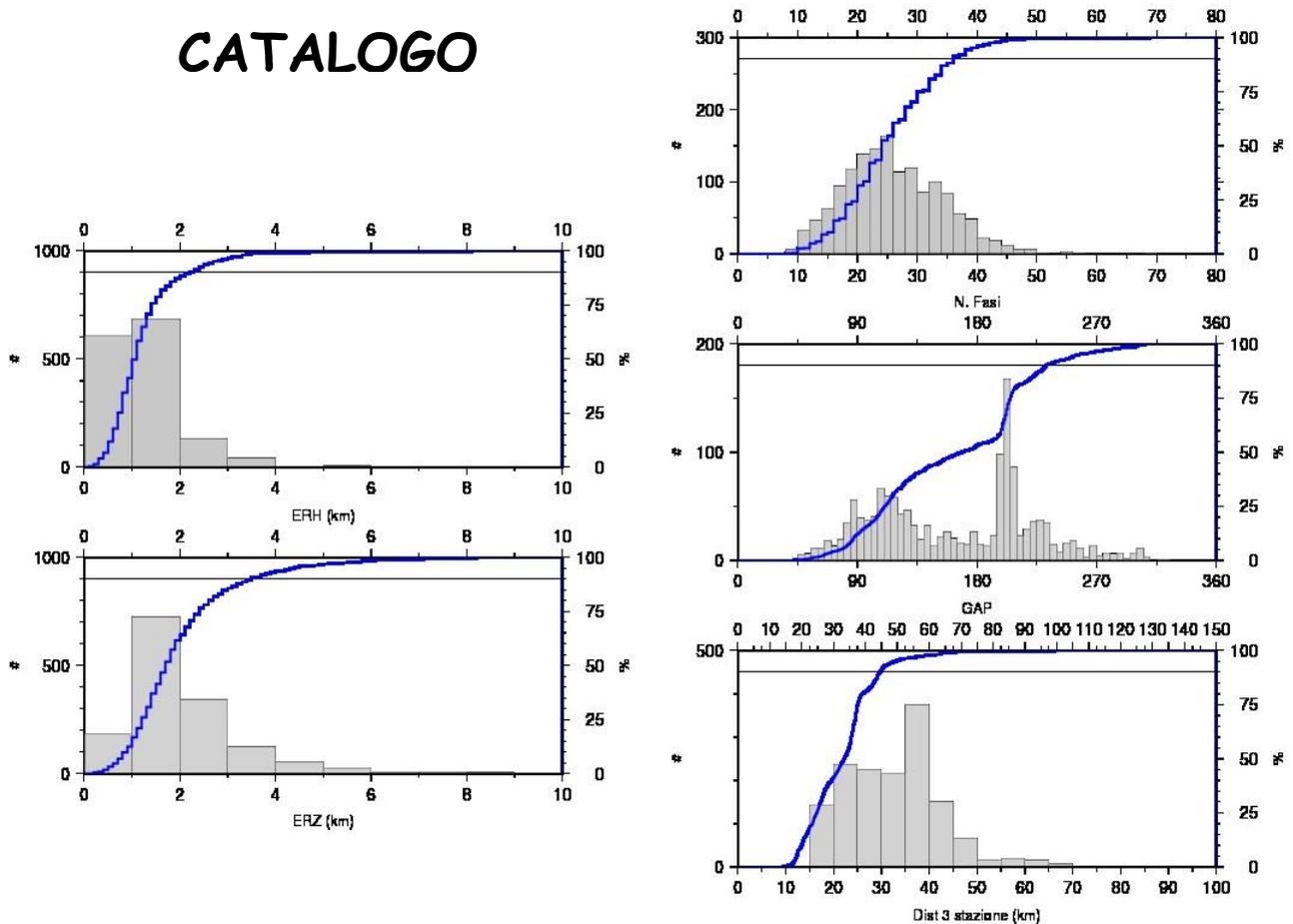


Figura 4: analisi statistica dei parametri di localizzazione relativi alle localizzazioni ottenute considerando la configurazione completa della rete sismica integrata (ERH: errore orizzontale rispetto alla posizione epicentrale; ERZ: errore sulla profondità; GAP: gap azimutale; distanza della stazione più vicina all'epicentro; numero di fasi impiegate per il calcolo dei parametri focali).

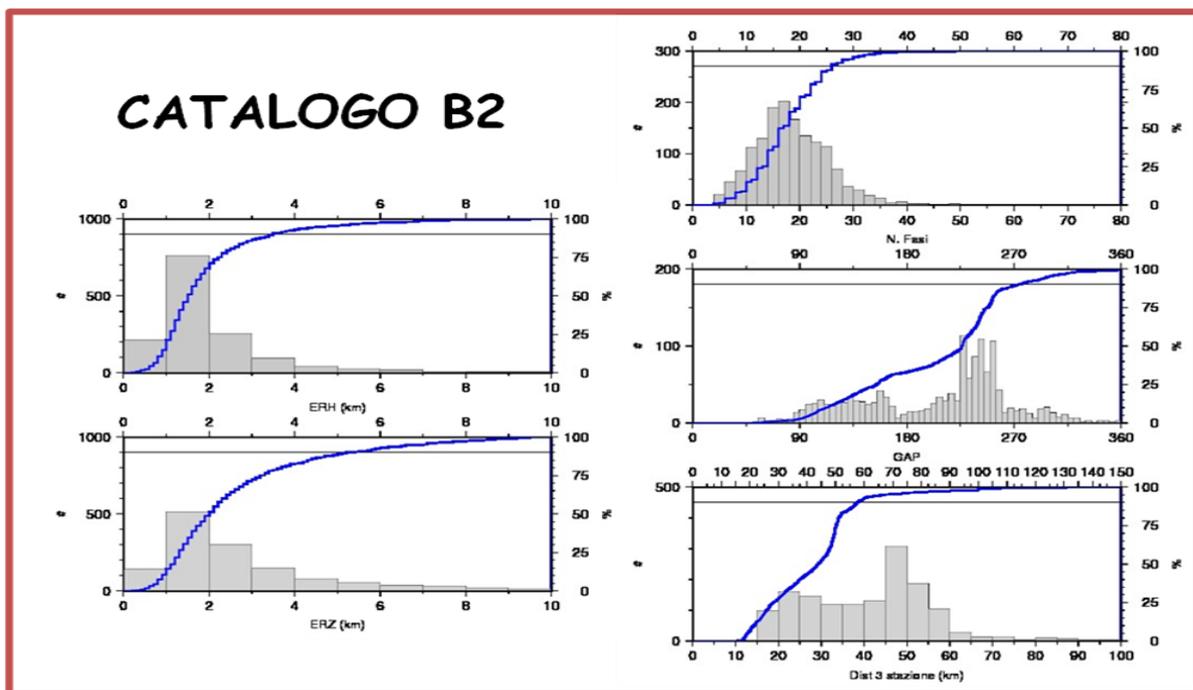


Figura 5: analisi statistica dei parametri di localizzazione relativi alle localizzazioni ottenute considerando la configurazione ridotta della rete sismica (ERH: errore orizzontale rispetto alla posizione epicentrale; ERZ: errore sulla profondità; GAP: gap azimutale; distanza della stazione più vicina all'epicentro; numero di fasi impiegate per il calcolo dei parametri focali)

Dall'analisi statistica relativa ai parametri associati alle localizzazioni ottenute utilizzando le due configurazioni di stazioni sismiche (figure 4 e 5) si osserva chiaramente come l'utilizzo delle stazioni sismiche francesi e svizzere conduca ad un incremento della qualità delle localizzazioni ottenute in termini di ERH ed ERZ (errori orizzontali e verticali sulle coordinate ipocentrali), GAP azimutale (massima dimensione in gradi del settore privo di stazioni sismiche rispetto alla posizione epicentrale), distanza dalla stazione più vicina all'epicentro e numero di fasi sismiche (P+S) impiegate per il calcolo dei parametri ipocentrali. Ovviamente una diminuzione del Gap azimutale implica una migliore copertura della rete rispetto al terremoto e quindi una migliore e più affidabile localizzazione dello stesso, una diminuzione della distanza della stazione più vicina implica una migliore definizione delle profondità focale, e un aumento del numero di fasi disponibili per il calcolo della localizzazione una migliore accuratezza nella risoluzione del problema stesso.

Fase 2 – calibrazione di una nuova legge di magnitudo

L'obiettivo di questa fase di attività è stato quello di calibrare una nuova legge di scala per il calcolo della magnitudo locale (MI) in Italia nordoccidentale alla luce dell'implementazione che la rete sismica regionale ha subito negli ultimi anni attraverso l'integrazione con le stazioni installate in aree transfrontaliera. Seguendo la procedura convenzionalmente adottata per questo tipo di analisi, la legge di Magnitudo è stata ottenuta attraverso l'uso di sismogrammi sintetici Wood-Anderson generati utilizzando le componenti orizzontali dei segnali forniti dalle stazioni della rete RSNI e dalle stazioni appartenenti agli altri network operanti nell'area (rete INGV, ETH e RéNaSS, figura 1). La corretta stima della magnitudo locale dei terremoti rappresenta ovviamente un dato fondamentale sia in fase di monitoraggio sismico e di allerta, fornendo una stima affidabile della "grandezza" del terremoto in esame, sia per l'accurata preparazione di cataloghi sismici che sono la base della maggior parte dei progetti scientifici dedicati alla valutazione del rischio sismico. La procedura di calibrazione consiste quindi nell'usare i coefficienti di attenuazione attualmente in uso

presso il CED, calibrati nel 2012, senza correzioni di stazione, e nel considerare la media delle ampiezze misurate sulle due componenti orizzontali per calcolare un valore preliminare di magnitudo per ogni registrazione analizzata. Quindi, è stato calcolato un valore iniziale di Magnitudo locale sulla base dell'ampiezza di ciascun sismogramma selezionato.

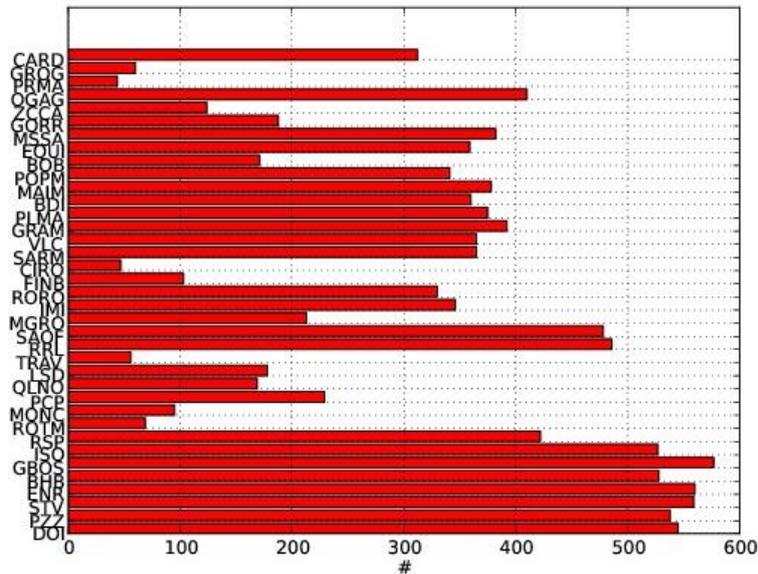


Figura 6: distribuzione del numero di dati (ampiezze Wood-Anderson) in funzione delle stazioni considerate

Nella figura 6 viene rappresentato il catalogo utilizzato in questa fase di calibrazione: il catalogo iniziale consiste in 6200 eventi circa, registrati dalla rete RSNI tra gennaio 2013 e dicembre 2014, da cui sono stati selezionati (per le caratteristiche di qualità del segnale) circa 1000 terremoti.

La definizione di magnitudo locale M_l data da Richter (1935, 1958) è la seguente:

$$M_l = \log A - \log A_0 + S$$

dove A è l'ampiezza massima osservata sulle componenti orizzontali del sismogramma sintetico Wood-Anderson, A_0 è la curva che descrive l'attenuazione in funzione della distanza ed S è un fattore di correzione di stazione M_l - dipendente.

Il parametro $\log(A_0)$ è solitamente vincolato ad una distanza di riferimento R_{ref} . Sulla base della definizione di Richter, il terremoto di riferimento a cui è attribuito un valore di magnitudo pari a 3 produce un'ampiezza di 1 mm su un sismografo Wood-Anderson che si trova a 100 km dall'epicentro. Dato che la profondità media dei terremoti in Italia nord-occidentale è pari a circa 10 km (Cattaneo et al., 1999) e considerando la distribuzione magnitudo-distanza, la scelta di 100 km come distanza di riferimento è risultata essere appropriata anche per il nostro data set.

La calibrazione della curva di attenuazione rappresentata dal termine $\log(A_0)$ è stata effettuata secondo un approccio parametrico, comunemente utilizzato, che ha portato alla determinazione della curva e delle incertezze associate ai parametri utilizzati, ottenendo la seguente formulazione:

$$-\log A_0 = (1.59 \pm 0.04) \log \frac{r}{100} + (0.0064 \pm 0.0003)(r - 100) + 3$$

La figura 7 mostra le curve di attenuazione dipendenti dalla distanza ottenute applicando il metodo parametrico e considerando 2000 diversi ricampionamenti (seguendo procedura di *bootstrap*).

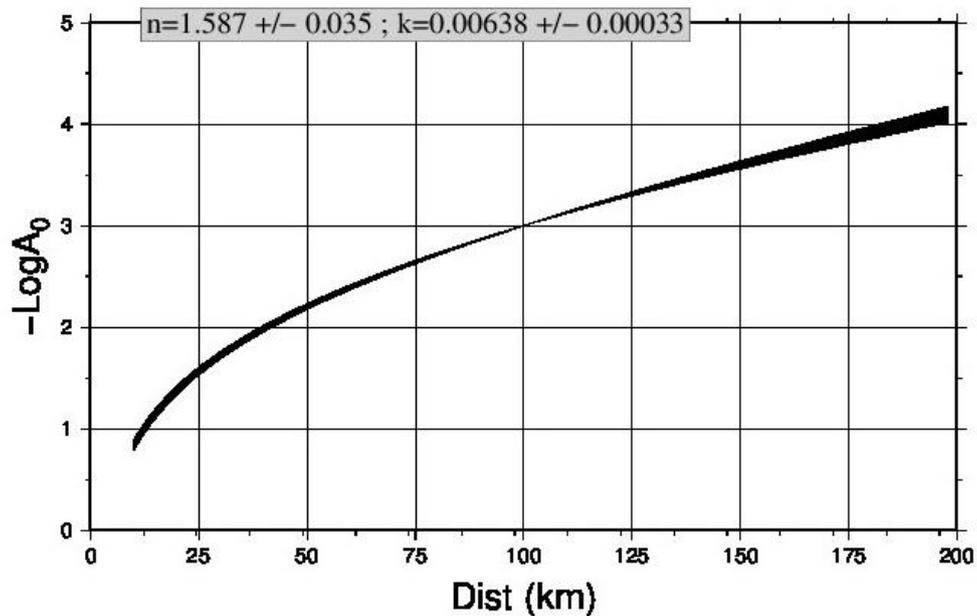


Figura 7: risultati della procedura parametrica per la calibrazione della legge di magnitudo: curva di attenuazione in funzione della distanza (termine $\log A_0$).

Nella figura 8 viene riportato il confronto fra la magnitudo locale calcolata con la legge determinata nel 2012 e quella calibrata in questo lavoro, per i terremoti presi in esame.

Come atteso, le due leggi di magnitudo sono relativamente simili e soprattutto conducono a valori di magnitudo molto simili. Rispetto alla legge di magnitudo calibrata nel 2012 nell'ambito del progetto RiskNat, la principale implementazione ha riguardato una migliore calibrazione della legge soprattutto per quanto riguarda l'utilizzo delle stazioni francesi inserite all'interno delle procedure di localizzazione negli ultimi due anni.

Numero Eventi: 6244

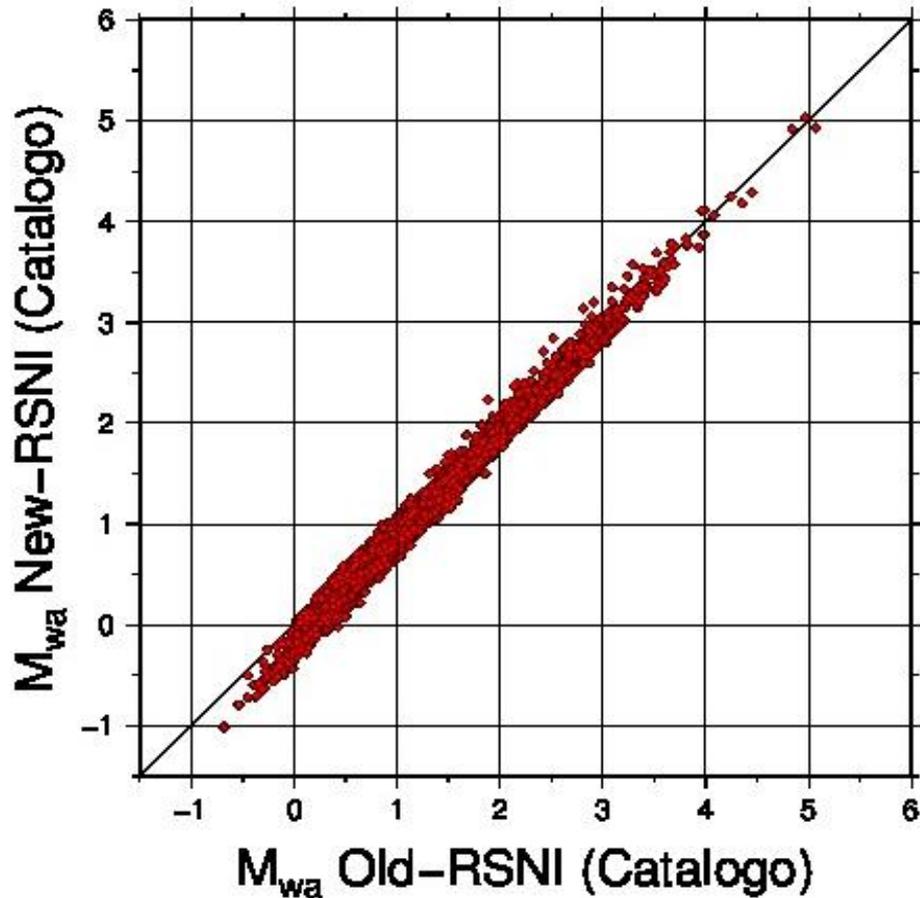


Figura 8: confronto fra le magnitudo calcolate utilizzando la precedente legge e quello ottenute applicando i risultati della presente attività

Un secondo importante risultato che permette di completare la fase di calibrazione per la legge di magnitudo locale, oltre ai parametri di attenuazione, riguarda la stima delle correzioni di stazione, che rappresentano dei parametri, calibrati per ciascuna stazione, legati agli effetti di amplificazione locale eventualmente presenti presso i vari siti di installazione. In generale, le correzioni per le stazioni situate su sedimenti o rocce ad alto grado di fratturazione sono negative mentre le correzioni per le stazioni situate sulla roccia sono prossime allo zero o assumono valori positivi. Nella figura 9 vengono riportati i valori calcolati per ciascuna stazione considerata relativamente ai fattori correttivi da impiegare per il calcolo della magnitudo di stazione.

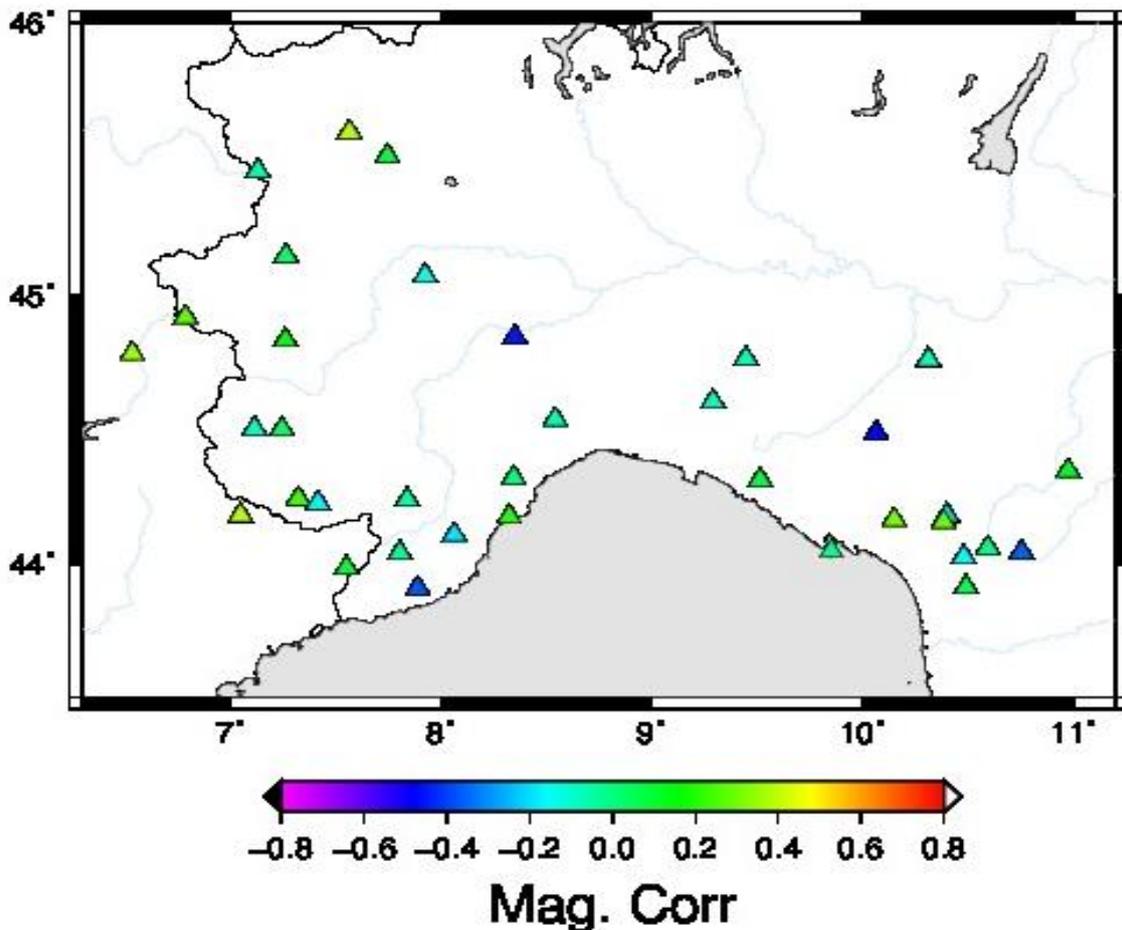


Figura 9: valori e distribuzione areale delle correzioni di stazione calcolati all'interno della presente analisi, da impiegare per il calcolo delle magnitudo.

Un ultimo risultato ottenuto a seguito dell'analisi sopra descritta riguarda il calcolo degli effetti di sito presso ciascuna stazione considerata attraverso il metodo dei rapporti spettrali a singola stazione. Tali curve sono state ottenute calcolando, per ogni terremoto registrato da ciascuna stazione, il rapporto degli spettri di ampiezza delle componenti orizzontali rispetto alla componente verticale, considerando una finestra di 14s dopo il primo arrivo dell'onda S. In particolari le varie figure mostrano il valore medio della curva H/V (linea rossa) e l'incertezza associata in funzione della deviazione standard. Stazioni prive di effetti di amplificazione sismica locale sono caratterizzate da curve H/V "piatte" con valori prossimi a 1. Le stazioni caratterizzate da correzioni di stazioni positive o con valori prossimi a 0 dovrebbero essere caratterizzate da curve H/V "piatte". Nelle figure seguenti vengono riportati gli esempi di curve H/V relativi a due stazioni ubicate in Piemonte.

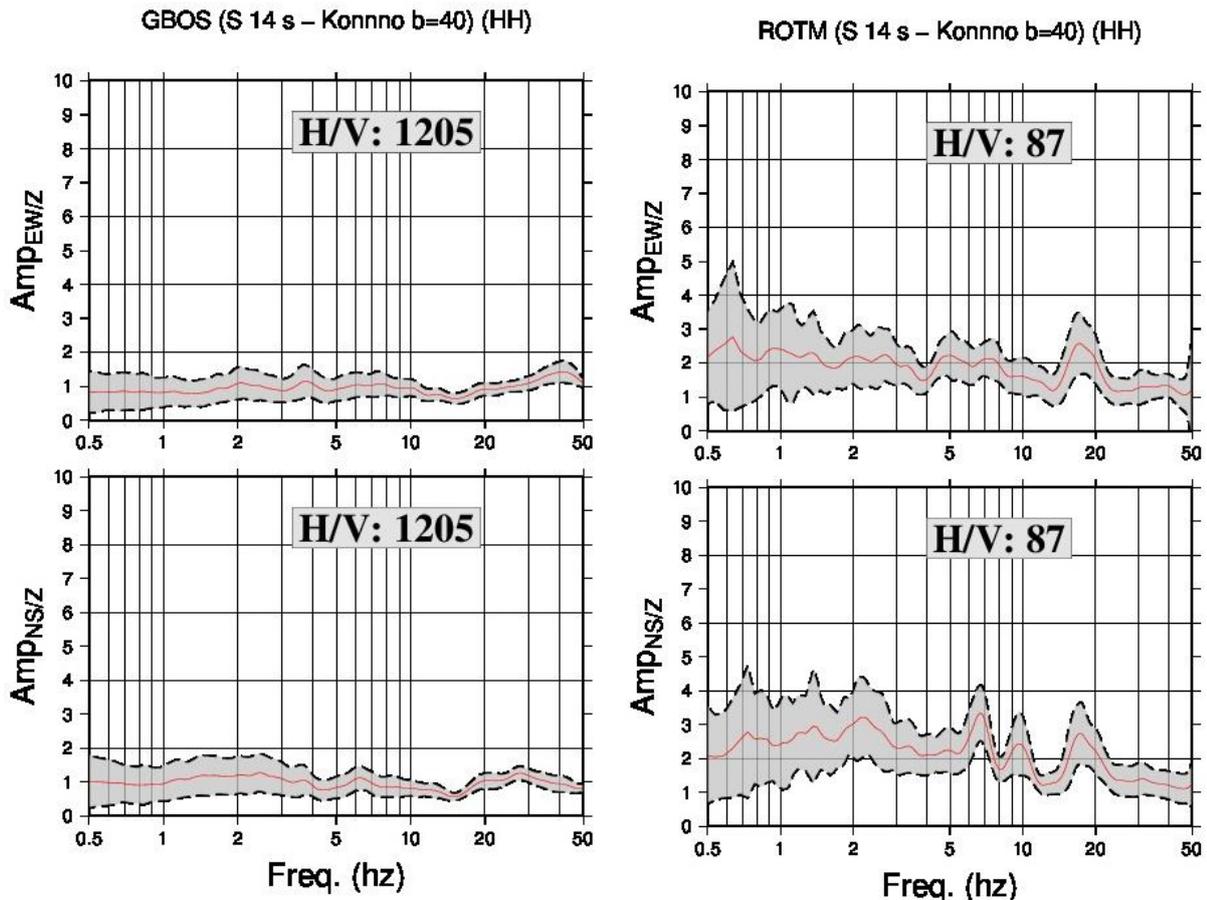


Figura 10: curve H/V calcolate per le stazioni di GBOS (pannello a sinistra) e ROTM (pannello a destra). Mentre la stazione GBOS mostra una curva perfettamente piatta propria di siti privi di effetti di amplificazione sismica locale (risultato assolutamente compatibile con le caratteristiche del sito di installazione), la stazione ROTM, installata a Rocchetta Tanaro, in pianura, mostra invece deboli effetti di amplificazione a diverse frequenze.

Fase 3 – creazione di un database contenente dati parametrici relativi allo scuotimento sismico

All'interno della terza fase di attività, si è proceduto con la creazione di un database contenente dati parametrici relativi allo scuotimento sismico al suolo in termini di PGA e PGV.

Attraverso l'analisi dei segnali trasmessi dalle stazioni della rete RSNI (lo stesso data set impiegato per la calibrazione della legge di magnitudo) è stato possibile raccogliere un database di dati parametrici relativi allo scuotimento sismico. Tali dati parametrici sono stati raccolti in termini di valori di PGA (Peak Ground Acceleration) e PGV (Peak Ground Velocity).

I segnali sono stati selezionati innanzitutto secondo i seguenti criteri:

- Criterio geografico:
 - $43.5^{\circ} \leq \text{latitudine} \leq 46.5$
 - $6.0^{\circ} \leq \text{longitudine} \leq 10.0^{\circ}$
- Criteri di qualità:
 - ERH (errore orizzontale)

- ERZ (errore verticale) < 10km
- Gap azimutale < 300°

Le forme d'onda da cui sono stati estratti i valori di scuotimento sono state ulteriormente selezionate utilizzando solamente i sismogrammi aventi un rapporto elevato del livello del segnale sismico rispetto al rumore di fondo.

La ricerca del valore di PGA e PGV per ogni componente è stata effettuata considerando una finestra di 30s dopo il tempo di arrivo della fase P. Tali parametri risultano assolutamente adeguati alla definizione e calibrazione di una legge di attenuazione applicabile in Piemonte e nell'aree transfrontaliera. Nelle figure successive vengono mostrati alcuni grafici che riportano alcune delle caratteristiche del database ottenuto.

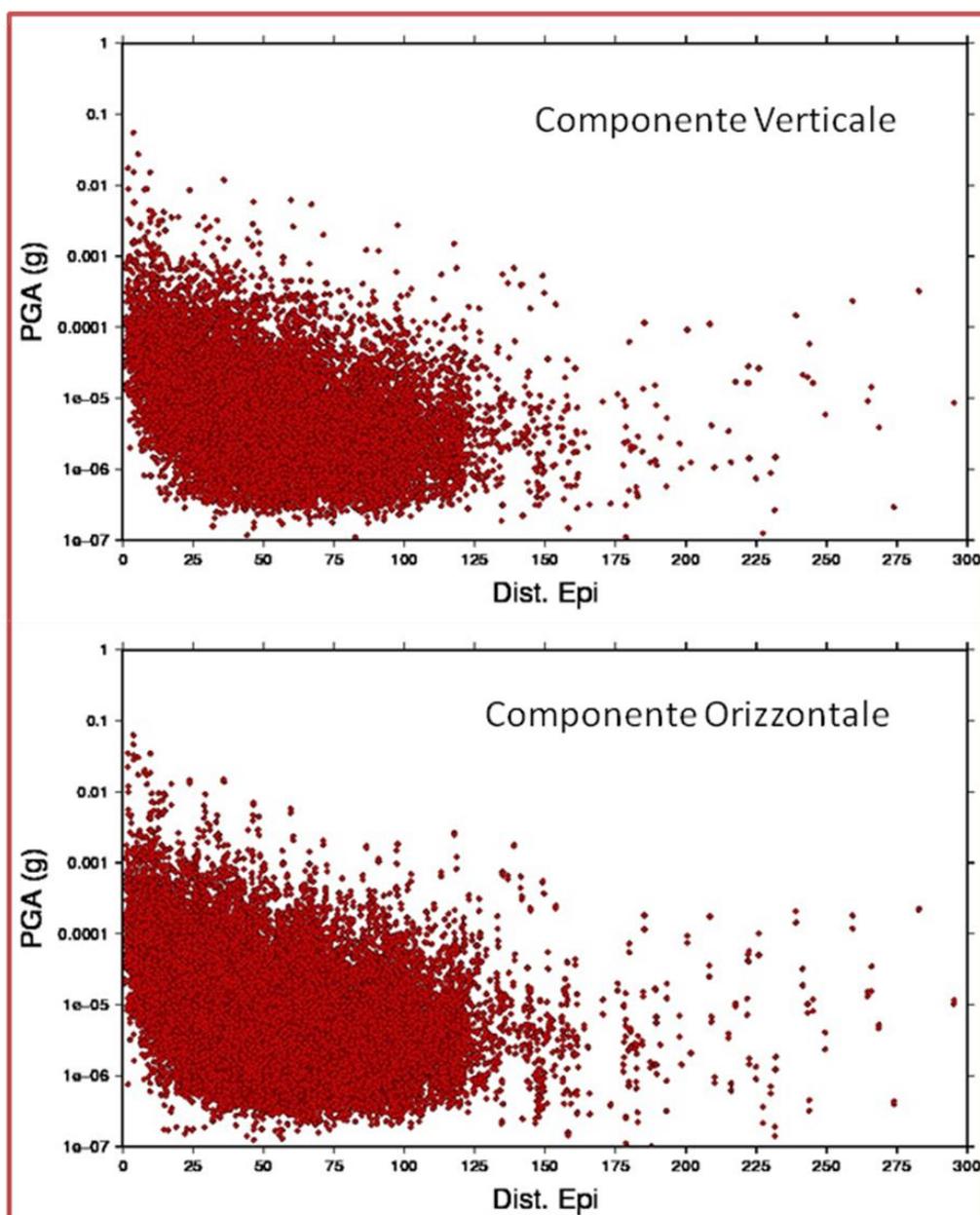


Figura 11: Valori di PGA in funzione della distanza epicentrale misurati alle stazioni della rete RSNI.

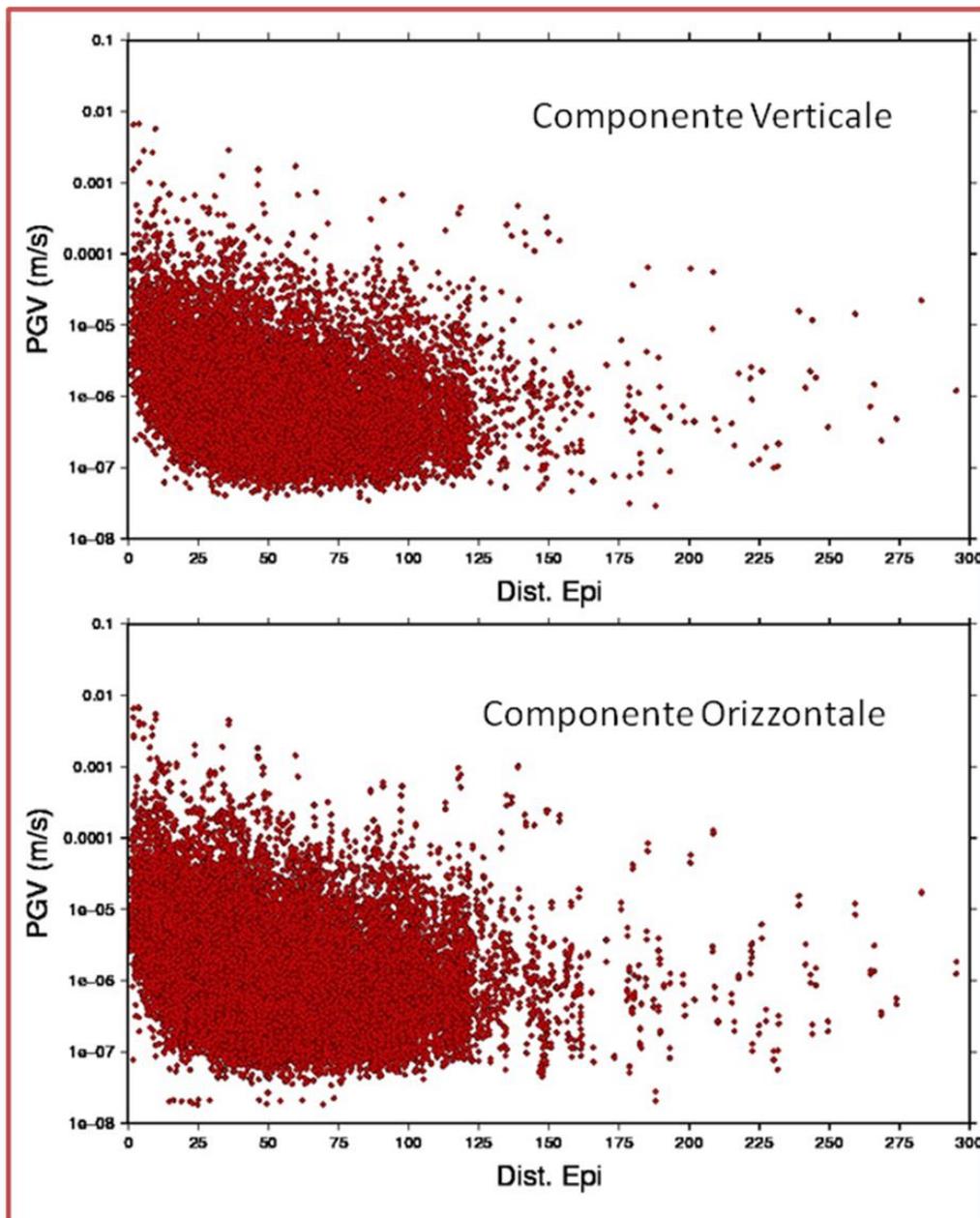


Figura 12: Valori di PGV in funzione della distanza epicentrale misurati alle stazioni della rete RSNI .

Il caso di Barcelonnette del 07 aprile 2014

Il 07 aprile 2014 si è verificato, nei pressi di Barcelonnette, il sisma più importante della zona coperta dalle stazioni sismiche dei partner di progetto. Questo evento ha permesso di calibrare gli sviluppi inerenti la creazione di « Shake maps » realizzati dal partner Géozur. Uno studio specifico è stato intrapreso da tutti i partner francesi coinvolti nel progetto: Isterre de Grenoble, Géozur et CEREMA à Nice.

Il sisma ha avuto luogo nella regione dove l'attività micro-sismica registrata risulta importante a partire dal 2003 (<http://sismalp.obs.ujf-grenoble.fr/cases/ubaye/ubaye.html>). Il laboratorio Isterre,

dove operano F. Thouvenot e L. Jenatton, ha analizzato i dati dell'evento (una forte attività senza comunque registrare eventi eccezionali) da cui si può tirare una sintesi attraverso la seguente figura, che si trova nel sito ad essa dedicato:

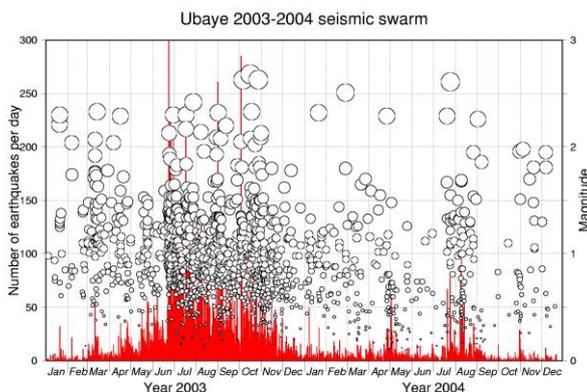
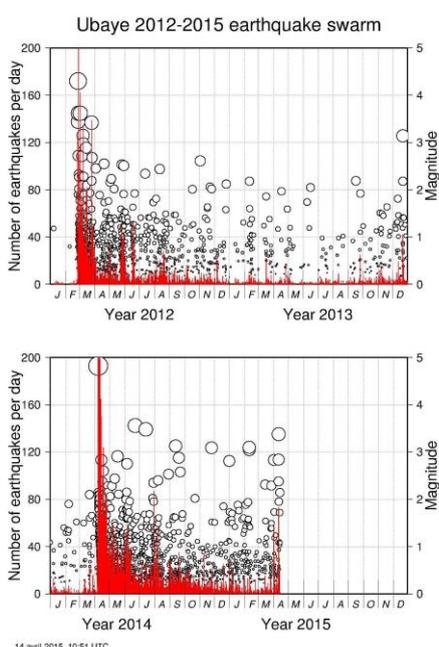


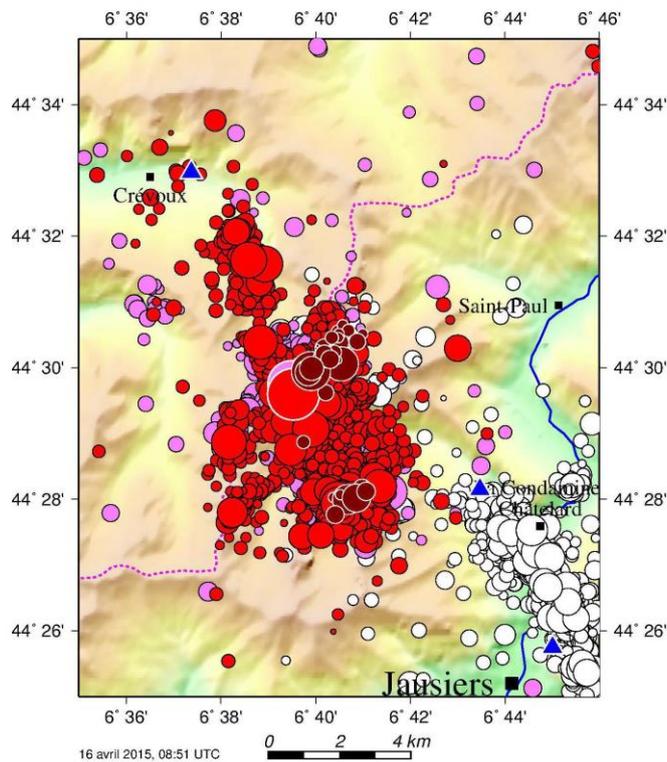
Figura 13 : periodo temporale tra gennaio 2003 e dicembre 2004. Ogni sbarra rossa rappresenta il numero di sismi registrati per ciascun giorno. Il massimo dell'attività sismica è stato raggiunto il 23 giugno 2003 con 361 sismi (sbarra che fuoriesce dai limiti del grafico). Più di 16.000 eventi sono stati registrati da gennaio 2003 a dicembre 2004. I cerchi bianchi corrispondono, per ciascuna data, alle magnitudo di circa 1400 eventi che hanno potuto essere localizzati (scala di Magnitudo a destra del grafico, da 0 a 3). Le magnitudo più importanti sono state raggiunte tra ottobre 2003 e luglio 2004: 2,6 il 6 ottobre 2003, 2,7 il 16 ottobre 2003, 2,6 il 27 ottobre 2003, 2,6 il 24 luglio 2004.

Da allora, Isterre (Sismalp) assicura il monitoraggio sismico del settore attraverso un'importante dislocazione di stazioni sismiche. Le analisi sono manuali per quelle stazioni che non dispongono dell'integrazione dei segnali scambiati con i partner di CASSAT e poi analizzati automaticamente. I risultati dimostrano, comunque, una precisione ben maggiore rispetto ad un'eventuale analisi di routine realizzata automaticamente in tempo reale. Tale procedura permette un'analisi più esauriente per la comprensione del fenomeno.



Un'analisi dettagliata di questa nuova attività è stata prodotta da IsTerre sul sito <http://sismalp.obs.ujf-grenoble.fr/cases/stpaul/stpaul.html>. « A febbraio 2012 si è verificato, nella zona nord-ovest della crisi precedente, un sisma di magnitudo 4.3, seguito da un grande numero di repliche. Questo evento è stato risentito in tutta le Alpi del sud-est, seguito da una forte attività sismica. Anche il sisma di aprile 2014, di Magnitudo 4.8 è stato largamente risentito ed ha riattivato lo stesso settore ».

Figura 14: In rosso (scala a sinistra): numero di sismi registrati ogni giorno nella zona epicentrale da inizio anno 2012. Il numero massimo di scosse (455) è stato raggiunto il 07 aprile 2014. I cerchi bianchi (il cui raggio è proporzionale alla Magnitudo) sono inseriti cronologicamente in funzione della scala di Magnitudo (a destra). Magnitudo massima (4,8) raggiunta il 7 aprile 2014



Gli istogrammi del tasso di sismicità mostrano un carattere molto differente rispetto a quello della crisi 2003-2004: siamo in presenza di una ripartizione nel tempo dove l'attività segue un evento principale e poi decresce lentamente nel tempo. L'attività è reattivata durante il verificarsi di un evento un po' più forte.

Figura 15: La carta a sinistra, in bianco, mostra lo sciame dei sismi del 2003-2004; in rosa lo sciame del 2012-2014, fino al 06 aprile 2014; in rosso i sismi dopo il 07 aprile 2014; in rosa e rosso cerchiati di bianco i rispettivi epicentri dei sismi del 26 febbraio 2012 e del 07 aprile 2014; in marrone, eccezionalmente su questa carta, i sismi avvenuti a inizio aprile. La dimensione dei simboli è direttamente proporzionale alla magnitudo. I triangoli blu sono le due stazioni permanenti più vicine (Crévoux et Jausiers), e una stazione semi-permanente installata a La Condamine il primo maggio 2014.

Sito web Sismalp: <http://sismalp.obs.ujf-grenoble.fr/cases/stpaul/stpaul.html>.

Dal 10 aprile all'11 giugno, sono state installate, dai partner CASSAT, 7 stazioni sismiche temporaneamente, nell'intorno della zona epicentrale. Le stazioni hanno permesso di monitorare con maggior dettaglio la sequenza sismica che ha seguito la scossa di magnitudo 5.2 (MI ReNaSS). Nel mese di luglio 2014, è stata condotta una campagna di effetti in sito nella valle dell'Ubaye, in prossimità di Geysolles, dove erano stati notati i danni più importanti a seguito dei rilievi post-sismici (BSCF, http://www.franceseisme.fr/donnees/intensites/2014/140407_1927/RapportSismologiqueBCSF-Sei07Avril2014-Barcelonnette-BD.pdf).

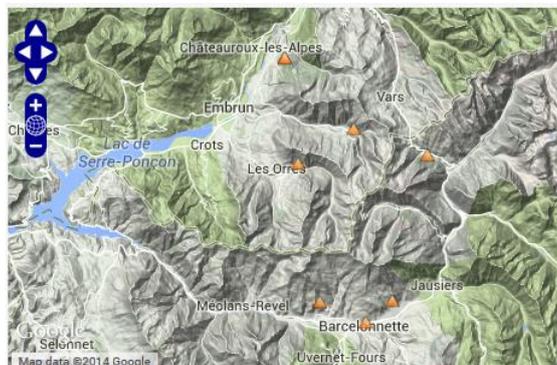


Figura 16: Carta delle stazioni temporanee installate tra il 10 aprile e l'11 giugno 2014

I dati delle stazioni temporanee (figura 16) sono stati analizzati automaticamente in contemporanea con le informazioni della rete Sismalp (Isterre), il cui catalogo è realizzato su un'analisi manuale

delle registrazioni. Su 2 mesi analizzati si ottengono circa 3000 eventi (viola nell'istogramma dei tempi), di cui 2185 (cerchi sulla carta) possono essere localizzati e 1668 (in rosso sulla carta, in blu sull'istogramma) sono ottenuti con una buona localizzazione (4 fasi P e 2 fasi S, rms inferiore a 0.1 sec)

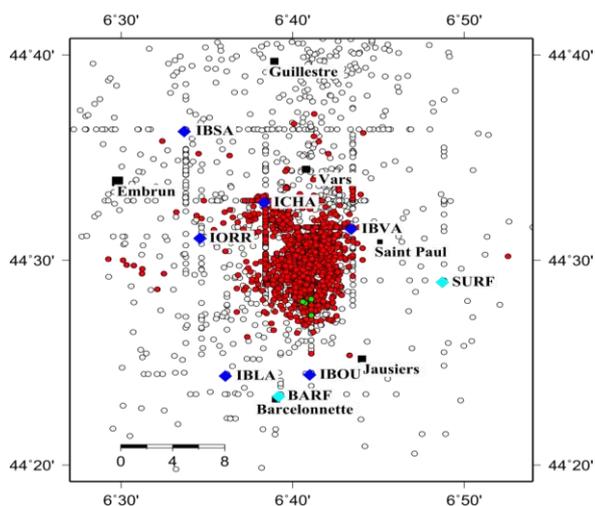


Figura 17: Carta degli eventi registrati e localizzati in automatico con l'applicazione di puntamento automatico indirizzato dalle onde Sd a partire dai dati delle stazioni temporanee.

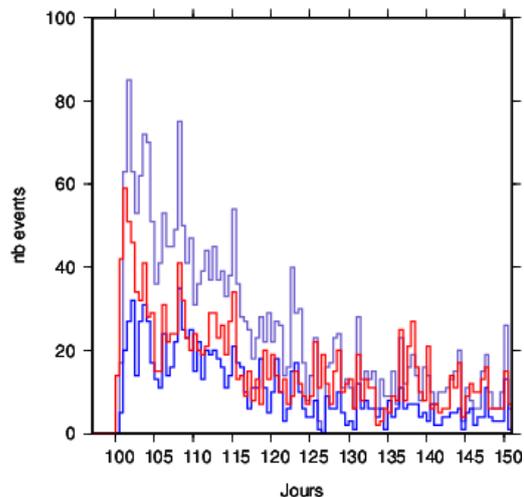


Figura 18 : Iistogrammi di frequenza suddivisi per giorno dell'evento registrato (viola), ben localizzati (blu); in rosso è rappresentato l'istogramma del catalogo manuale Sismalp, ottenuto da un'analisi manuale dei dati. Si vede che con i dati delle stazioni temporanee nella zona epicentrale, il trattamento automatico dei dati permette un approccio della crisi simile ai risultati ottenuti con il trattamento manuale, tuttavia più lungo da realizzare.

E' in corso un'analisi dei byte (sismi i cui dati sono omogenei per tutte le stazioni di registrazione) per cercare di trovare una strutturazione delle faglie sulle quali è avvenuta l'attività microsismica. Si osservano, in particolare, degli allineamenti NE-SW (come i due sciami riattivatisi recentemente nel 2015, in marrone sulla figura 16) che lasciano presupporre che la faglia principale NW-SE, sulla quale hanno avuto origine i due sismi più forti, può essere suddivisa in più faglie congiunte, che sarebbero responsabili della forte attività micro-sismica microsismique, scatenata a seguito dei sismi di febbraio 2012 e aprile 2014.

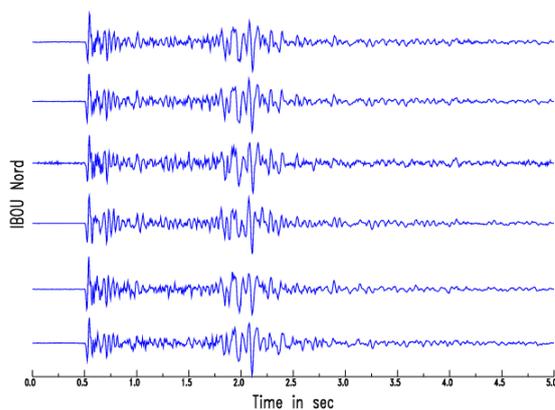


Figura 19: componente NS di 6 éeventi registrati dalla stazione IBOU. La forte similitudine dei segnali lascia pensare che la sorgente è la stessa a meno di cento metri di distanza.

Nel mese di luglio 2014, il CEREMA ha condotto un'esperienza di caratterizzazione degli effetti al sito nell'alta valle dell'Ubaye.

L'esperienza è stata condotta in 3 parti:

- 1) Uno studio di rumore di fondo in rete a Barcelonnette: dispiegamento di 16 stazioni in 4 cerchi di 10m, 30m, 90m e 300m.

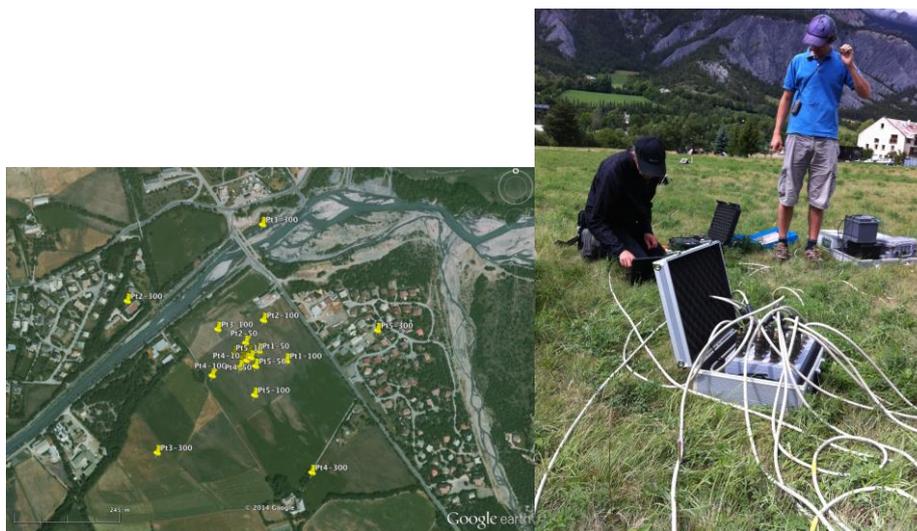


Figura 20: dispositivo sperimentale per l'analisi del rumore di fondo nella rete

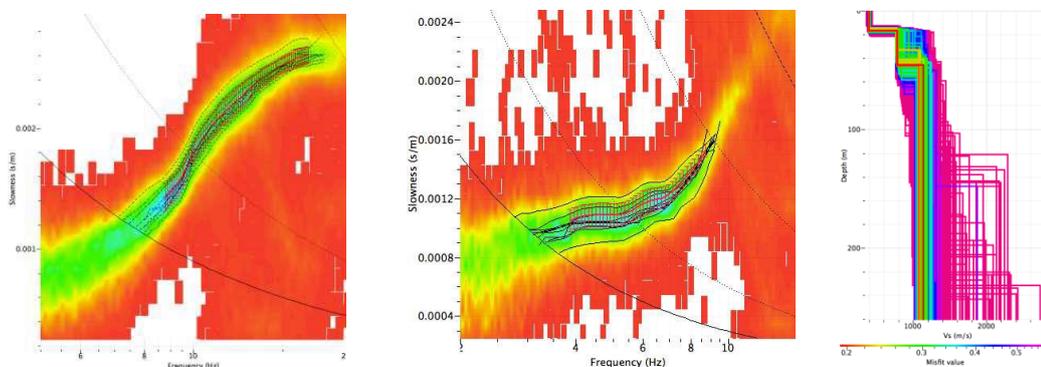


Figura 21 : analisi del rumore di fondo nella rete per i cerchi di 10m/30m (a sinistra) e 30m/90m (al centro) ; i modelli di velocità (v_s) che modellizzano le curve di dispersione sono rappresentati a destra.

Il metodo F-K permette di definire le curve di dispersione associate alle onde superficiali nel bacino. La gamma di frequenza nella quale i risultati sono ben definiti dipende dalla taglia della rete considerata. I trattamenti effettuati sui dati dei cerchi di 10m/30m e 30m/90m presentano una buona coerenza.

A partire da queste curve, si è cercato di trovare un modello 3D sistematico. I risultati dimostrano una buona caratterizzazione dei primi 2 strati sedimentari. La parte più profonda è mal rappresentata da questa analisi, come mostrato in Figura 21.

- 2) Un profilo di 12 stazioni con una distanza di 20 m per lo studio del rumore di fondo nel villaggio di Gleizolles.

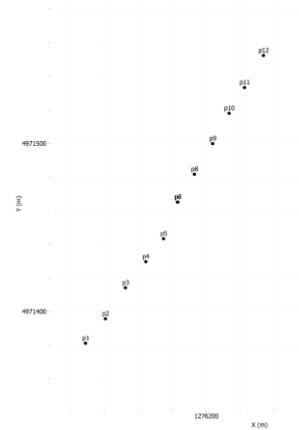


Figura 22 : dispositivo di registrazione di un profilo sismico.

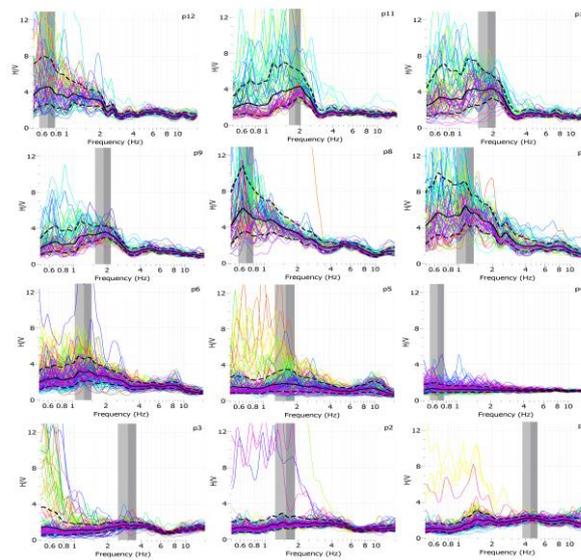


Figura 22: rapporto H/V sul rumore di fondo per i 12 punti di profilo vicino a Gleizolles

I dati di questa sperimentazione sono in corso di analisi, ma si può notare dai rapporti H/V sul rumore di fondo per ciascun punto del profilo una grande eterogeneità delle consistenze del sottosuolo.

3) Un ascolto sismico in due siti è stato installato fino alla fine del mese di ottobre 2014.

I dati delle due stazioni sismologiche nel settore particolarmente colpiti dal sisma permetteranno di compiere analisi di H/V dei sismi

L'analisi dei dati della crisi sismica della regione di Barcelonnette, non ancora terminata, permetterà di completare una carta dettagliata degli effetti al sito dei sismi. Inoltre, permetterà di capire meglio gli effetti di questi sismi di magnitudo moderata e di migliorare la localizzazione dei danni in caso di sisma più importante. Questo sarà di aiuto per la gestione di una crisi sismica in territorio montano o in centri abitati poco accessibili.