



**Impianto Pilota Geotermico denominato Torre Alfina**

*Istruttoria di VIA - Integrazioni*

**ALLEGATO C1.3**

**Rapporto INGV - febbraio 2016**

# Convenzione di ricerca tra **INGV e ITW&LKW Geotermia Italia S.p.A.**

*Attività di monitoraggio geochimico e sismico degli impianti  
geotermici pilota di Castel Giorgio – Torre Alfina*

## **Rapporto tecnico-scientifico sulla configurazione della rete sismica locale ReMoTA e primo anno di attività**

## INDICE

Premessa .....	6
1. Descrizione della rete di monitoraggio sismico (ReMoTA) .....	8
1.1 Configurazione della rete sismica di test .....	8
1.2 Strumentazione delle stazioni sismiche .....	11
2. Qualità dei dati .....	13
2.1 Spettri di rumore .....	13
2.2 Caratteristiche delle registrazioni sismiche .....	15
2.3 Rapporto segnale rumore di eventi sismici .....	27
3. Sismicità locale osservata nell'area di Torre Alfina .....	29
3.1 Le capacità di ReMoTA .....	29
3.2 L'attività sismica analizzata .....	32
3.2.1 Localizzazione degli eventi .....	32
3.2.2 Meccanismi focali .....	36
3.2.3 Magnitudo .....	37
3.2.4 Eventi non tettonici .....	38
4. Futura configurazione di ReMoTA .....	41
4.1 Sistema di trasmissione dati in tempo reale .....	41
4.2 Data <i>storage</i> e data <i>processing</i> .....	42
5. Conclusioni .....	44
5.1 Valutazione di ReMoTA .....	44
5.2 Valutazione del livello di sismicità (livello zero) .....	45
6. Referenze .....	48
Elenco Allegati .....	50
Partecipanti alla ricerca .....	50

## ELENCO DELLE FIGURE

<i>Fig. 1.1 - Ubicazione delle stazioni sismiche utilizzate nell'ambito di questo rapporto appartenenti alla rete nazionale INGV, alla Regione Umbria (stazione accelerometrica CVIS) e messe in opera nell'ambito di ReMoTA (Rete di Monitoraggio Torre Alfina). .....</i>	<i>8</i>
<i>Fig. 1.2 - Ubicazione delle stazioni ReMoTA per il controllo della microsismicità nell'area dei progetti geotermici Castel Giorgio e Torre Alfina. La linea rossa delimita l'area di rilevazione DE (Dominio Esteso), la linea gialla quella del DI (Dominio Interno). DI e DE sono stati definiti in conformità con le indicazioni delle Linee Guida MISE. I cerchietti rossi indicano i pozzi di re-iniezione dei due progetti (più a sud quello relativo al progetto Castel Giorgio). .....</i>	<i>9</i>
<i>Fig. 2.1 - Esempio di registrazione delle due componenti orizzontali (N, E) e della verticale (Z), presenti nella stazione TA05: in grigio sono evidenziate le bande di frequenza A, B e C descritte nel testo. ....</i>	<i>14</i>
<i>Fig. 2.2 - Esempio di registrazione delle due componenti orizzontali e della componente verticale, della stazione TA11. ....</i>	<i>15</i>
<i>Fig. 2.3 – Spettro di ampiezza della sequenza temporale rappresentata in figura 2.2. ....</i>	<i>16</i>
<i>Fig. 2.4 - Spettrogramma della sequenza temporale rappresentata in figura 2.2. Si noti l'assenza di significativi incrementi di ampiezza per tutte le bande di frequenze investigate (stazione TA11). ....</i>	<i>16</i>
<i>Fig. 2.5 - Registrazione delle componenti verticali delle stazioni TA03, TA04 e TA02 installate ad una rispettiva distanza di circa 7 km tra loro. ....</i>	<i>17</i>
<i>Fig. 2.6 - Spettro di ampiezza della componente verticale delle stazioni mostrate in figura 2.5. ....</i>	<i>17</i>
<i>Fig. 2.7 - Spettrogramma della componente verticale delle registrazioni mostrate in figura 2.5. ....</i>	<i>18</i>
<i>Fig. 2.8 - Sismogrammi delle componenti Z (CH1), N (CH2), E (CH3) registrati alla stazione TA02. ....</i>	<i>19</i>
<i>Fig. 2.9 - Spettrogrammi delle registrazioni di TA02 (figura 2.8), "fase di accensione" delle frequenze di 4-8 Hz. ....</i>	<i>19</i>
<i>Fig. 2.10 - Sismogrammi delle componenti Z(CH1), N(CH2), E(CH3) registrati alla stazione di Torre Alfina (TA02). ....</i>	<i>20</i>
<i>Fig. 2.11 - Spettrogrammi delle registrazioni mostrate in figura 2.10. Si noti la diacronia durante la "fase di spegnimento": prima la scomparsa delle oscillazioni a 8 Hz seguita, dopo ca. 100 s, da quelle a 4 Hz. ....</i>	<i>20</i>
<i>Fig. 2.12 - Energia spettrale delle componenti orizzontali in funzione dell'azimuth per le stazioni TA03 (MTL), TA04 (PIC) e TA02, per intervalli sincroni di registrazione del 22-set-2015 che mostra come relativamente alla frequenza 4 Hz il contenuto energetico è maggiore per la stazione TA02 mentre è minore per le altre. Le stazioni sismiche TA02 e TA04 (PIC) mostrano anche un secondo incremento energetico alla frequenza di 8.5 Hz. ....</i>	<i>21</i>
<i>Fig. 2.13 - Esempio di rumore antropico registrato alla stazione TA11. ....</i>	<i>22</i>
<i>Fig. 2.14 - Spettrogramma della registrazione sismica di figura 2.13. ....</i>	<i>22</i>
<i>Fig. 2.15 - Tracce sismiche della componente nord per le stazioni TA03 (MTL), TA04 (PIC) e TA11. ....</i>	<i>23</i>

Fig. 2.16 - Spettrogramma della registrazione sismica di figura 2.15 (comp. N delle stazioni TA03 (MTL), TA04 (PIC) e TA11). .....	23
Fig. 2.17 - Tracce sismiche contenenti esempio di disturbo a doppia frequenza (1.5-4.5 Hz) identificato alla stazione TA11. ....	24
Fig. 2.18 - Spettrogramma delle 3 componenti presenti nella stazione TA11 mostrate in figura 2.17.....	24
Fig. 2.19 - Energia spettrale polarizzata per la stazione TA11 che mette in evidenza la diversa direzione di polarizzazione del rumore a due differenti frequenze. ....	24
Fig. 2.20 - Tracce sismiche della stazione TA11 contenenti il disturbo a 11 Hz.....	25
Fig. 2.21 - Spettrogramma delle registrazioni sismiche a 3 componenti per la stazione TA11 di figura 2.20. ....	25
Fig. 2.22 - Tracce sismiche della stazione TA04 (PIC) contenente il disturbo a frequenze tra 6 e 8 Hz sovrapposto ad alcuni transienti impulsivi. ....	26
Fig. 2.23 - Spettrogramma delle 3 componenti della stazione TA04 (PIC); si noti il rumore tra 6 e 8 Hz sovrapposto ad alcuni transienti impulsivi corrispondenti alle tracce mostrate nelle figure precedenti.....	26
Fig. 2.24 - Polarizzazione dell'energia spettrale per la stazione TA04 (PIC) dove il segnale mostra, per le frequenze corrispondenti al rumore di fondo tra 6 e 8 Hz, una polarizzazione circa est-ovest.....	26
Fig. 2.25 – (a) Due tracciati di rumore sismico, “basso” (in verde) ed “alto” (in blu), registrati alla stazione TA02 (A13) e (b) i rispettivi spettri di ampiezza. ....	27
Fig. 2.26 – Confronto degli spettri dei due terremoti ( $M_L = 2.6$ in rosso e $M_d = 0.8$ in verde) e gli spettri del rumore sismico (in nero) mostrati figura 2.25: a) rispetto al rumore sismico “basso”; b) rispetto al rumore sismico “alto”.....	28
Fig. 3.1 - Esempio di applicazione del trigger STA/LTA su 24 ore di registrazioni in data 21-dic-2014. Ogni linea rossa verticale indica la detezione di un evento sismico locale. La scritta “EVENT” segnala due terremoti nel Chianti non discriminati automaticamente dalle impostazioni del trigger. ....	29
Fig. 3.2 - Esempio di applicazione del trigger STA/LTA su 16 minuti di registrazioni in data 21-dic-2014. ReMoTA riesce a discriminare degli eventi locali meno intensi anche prima del primo evento riportato da ISIDe 14:40:58 GMT. ....	30
Fig. 3.3 - Esempio di applicazione del trigger STA/LTA a delle registrazioni di ReMoTA in giornate con attività sismica elevata (come riportato da ISIDe) per il periodo dal 1-nov-2014 al 30-nov-2015. ....	30
Fig. 3.4 - Mappa della sismicità estratta dal catalogo del Bollettino Sismico Italiano dell'INGV (cerchi blu) e dei 289 terremoti localizzati da ReMoTA (cerchi arancioni) per i 106 giorni analizzati nel periodo giugno 2014 – dicembre 2015. Le stelle rosse rappresentano probabili scoppi in cava. I triangoli verdi e rossi indicano le stazioni ReMoTA. Il rettangolo in nero evidenzia l'area di indagine mostrata nelle figure 3.5 e 3.6. ....	33
Fig. 3.5 - Dettaglio dell'area di indagine (evidenziata dal rettangolo in figura 3.4) con mappa dei cluster avvenuti nel dicembre 2014, marzo 2015 e novembre 2015. I triangoli verdi e rossi indicano le stazioni della rete locale di Torre Alfina. Il triangolo azzurro indica la stazione (CVIS) della regione Umbria ubicata a Castel Viscardo. Il rombo celeste indica l'unica stazione della rete sismica nazionale che ricade nell'area di indagine.	35

Fig. 3.6 – Mappa, in alto, e sezioni verticali, in basso, dei tre sciame localizzati in questo studio: in rosso lo sciame di dicembre 2014, in blu lo sciame di marzo 2015 e in verde lo sciame di novembre 2015. Sulla mappa in alto sono riportati i meccanismi focali: in rosso quelli relativi allo sciame del dicembre 2014 e in arancio quello relativo all’evento più forte della sismicità di fondo. La zona colorata è relativa all’area in distensione. Le magnitudo sono riportate accanto alla soluzione. Nella mappa sono indicate, con i triangoli neri, le stazioni della rete locale e le rispettive sigle; il triangolo blu mostra la stazione LATE della rete nazionale che è la più vicina all’area in esame. Le linee nere sulla mappa indicano le tracce dei profili riportati in basso. Tutti gli eventi degli sciame sono riportati nelle sezioni. ....	36
Fig. 3.7 - Istogramma della distribuzione della $M_d$ per gli eventi appartenenti agli sciame descritti nel testo. ....	37
Fig. 3.8 - Dettaglio di alcuni eventi di probabile natura antropica (stelle rosse) riconducibili all’attività di una cava estrattiva visibile al centro della figura. ....	39
Fig. 3.9 – Sismogrammi delle componenti verticali registrati nelle stazioni TA01, TA02, TA03 e TA05 relativi ad uno scoppio di cava avvenuto il 19 settembre 2014 ( $M_d = 2.1$ ; si veda tabella 6). ....	40
Fig. 5.1 - Simulazione di detectability stimate alle profondità di 1.5 km (a) e 3.5 km (b) e (c) una sezione ovest-est. Distribuzione spaziale dell’errore di localizzazione (RMS) stimato rispettivamente alla profondità di 2 km (d) e 5 km (e). ....	47

## ELENCO DELLE TABELLE

Tab. 1 - Elenco delle stazioni sismiche appartenenti a ReMoTA. Le stazioni segnate con (*) non sono attualmente operative. Informazioni dettagliate sulle caratteristiche sono riportate nelle singole schede di stazione presenti nell’Allegato A .....	11
Tab. 2 - Caratteristiche tecniche della strumentazione in uso da ReMoTA. ....	12
Tab. 3 - Modello del digitalizzatore sismico, il formato registrato, la routine di conversione e il software di analisi utilizzato. ....	13
Tab. 4 – Eventi presenti in ISIDe in un raggio di 25 km da Castel Giorgio comparati con quelli individuati (trigger) da ReMoTA. Gli eventi contrassegnata da “*” sono al di fuori del DE (si veda Allegato C per un dettaglio delle localizzazioni). ....	31
Tab. 5 - Modello di velocità usato per le localizzazioni. ....	33
Tab. 6 – Elenco degli eventi attribuiti a scoppi di cava registrati da ReMoTA. ....	38

## Premessa

Nell'ambito del contratto stipulato tra l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e la Società ITW&LKW Geotermia Italia S.p.A. (d'ora in poi ITW&LKW) il 15 marzo 2013 (prot. n° 0003095), l'INGV è stato incaricato a procedere alla realizzazione di un sistema di monitoraggio sismico, seguendo i provvedimenti del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) e del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo.

In assenza di un apposito regolamento, il MATTM decreta di applicare le raccomandazioni del MISE (DGRME, 2015) adottando gli *"Indirizzi e le Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche"* pubblicate, in data 24 Novembre 2014, sul sito ufficiale del Ministero dello Sviluppo Economico (UNMIG, 2014).

Anche se gli indirizzi e linee guida descritte nel documento si riferiscono soprattutto al monitoraggio delle attività di estrazione, reiniezione e stoccaggio di idrocarburi, sono state ritenute applicabili anche alla produzione di energia geotermica.

Essenzialmente, le prescrizioni ministeriali stabiliscono quanto segue:

1. Realizzazione di una rete di monitoraggio microsismico, in grado di determinare la massima accelerazione del suolo provocata da un sisma di Magnitudo inferiore ad almeno 0.5 in un raggio di almeno 5 km dall'impianto.
2. Alla rete deve essere associato un sistema di riconoscimento dell'ipocentro degli eventi, anche tramite "forme d'onda", che dovrà consentire, quando l'impianto dovesse entrare in esercizio, una valutazione in tempo breve degli ipocentri e valutare se l'eventuale sismicità rilevata sia riconducibile oppure no alle attività dell'impianto.
3. Attraverso la rete sismica dovrà essere eseguito un monitoraggio sismico di almeno 1 anno consecutivo prima dell'avvio delle attività antropiche.
4. Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche della rete, sulla base delle specifiche caratteristiche geologico-strutturali e sismo-tettoniche dell'area da monitorare, devono essere definiti due volumi interessati dalle attività di monitoraggio:
  - Il Dominio Interno di rilevazione (DI): è il volume più prossimo all'attività geotermica in senso stretto, entro cui ricadono i pozzi di estrazione e di re-iniezione, e che potrebbe eventualmente essere interessato da fenomeni di sismicità indotta o di deformazione del suolo legati all'attività geotermica. All'interno del DI, devono essere rilevati e localizzati i terremoti a partire da magnitudo locale ( $M_L$ ) compresa tra 0 e 1 e con incertezza nella localizzazione dell'epicentro di alcune centinaia di metri in un raggio di circa 5 km dal centro di re-iniezione. In quest'area l'interdistanza tra le stazioni dovrebbe essere di 3-5 km.

- Il Dominio Esteso di rilevazione (DE): è un volume definito spazialmente con un diametro di circa 10 km, che circonda il Dominio Interno, per meglio definire i fenomeni monitorati, interessando un volume maggiore di crosta terrestre. In quest'area va migliorata, di circa un'unità, il livello di magnitudo di completezza delle rilevazioni effettuate dalle reti di monitoraggio sismico per finalità di protezione civile a livello nazionale o regionale, con incertezza nella localizzazione dell'ipocentro contenuta entro 1 km.
5. Per la strumentazione viene suggerito che ogni stazione sia munita di due sensori tri-assiali, uno ad elevata sensibilità (sismometro) e l'altro ad elevata dinamica (accelerometro). Potranno essere adottati sensori sismici a corto periodo ( $T \leq 1$  s), ma con periodo proprio non inferiore a  $T = 0.5$  s. Si raccomanda l'installazione di almeno un sensore a banda estesa o larga (periodo proprio  $T \geq 20-40$  s, e frequenza massima di rilevazione non inferiore a 80 Hz) presso una stazione interna alla rete dedicata.
  6. Il segnale dovrà essere acquisito in continuo con frequenza di campionamento dei dati non inferiore a 200 Hz e a 100 Hz, rispettivamente per i sismometri e per gli accelerometri posti in superficie, e a 250 Hz per i sensori (sismometri o accelerometri) posti in pozzi profondi.
  7. Il segnale andrà trasmesso in tempo "quasi-reale" al centro di controllo presso la Struttura Preposta al Monitoraggio, ove ne sarà curata anche l'archiviazione, in modo da garantire l'integrità, la continuità e la sicurezza del dato. L'apparato di acquisizione dovrà essere dotato di un sistema di temporizzazione di precisione, basato su tecnologia GPS, per consentire la stima corretta dei tempi di arrivo delle fasi e l'integrazione con le altre reti esistenti.
  8. Si raccomanda di adottare strategie di gestione della rete atte a minimizzare le interruzioni nel flusso dei dati e delle elaborazioni. In particolare, dovrebbe essere garantita la copertura dei dati per almeno il 95% del tempo per ogni stazione, ed eventuali interruzioni o malfunzionamenti della singola stazione dovrebbero essere risolti in tempi brevi, in un intervallo di tempo massimo possibilmente compreso tra 7-10 giorni. A tale scopo, si raccomanda l'acquisto di strumentazione di ricambio da tenere disponibile per eventuali sostituzioni. Tale materiale dovrebbe essere disponibile in numero di circa un'unità completa ogni quattro, intendendosi per unità l'insieme della strumentazione (sismologica, elettronica, elettrica, etc.) necessaria per il funzionamento della stazione.
  9. In linea generale, potrà essere prevista l'installazione di sistemi di monitoraggio sismico con risoluzione crescente in magnitudo-localizzazione (ad esempio aumentando la densità delle stazioni) in funzione della pericolosità attesa di sismicità indotta, valutata in funzione dei volumi iniettati.



# 1. Descrizione della rete di monitoraggio sismico (ReMoTA)

## 1.1 Configurazione della rete sismica di test

La Rete di Monitoraggio Sismico di Torre Alfina (ReMoTA) è attualmente costituita da 10 stazioni sismiche operative su 13 inizialmente messe in opera (figure 1.1 e 1.2 e tabella 1). ReMoTA è stata progettata con lo scopo di poter svolgere un'attività di controllo e studio della micro-sismicità naturale nell'area circostante il serbatoio geotermico dell'Alfina, nonché dell'eventuale sismicità indotta dalla futura attività geotermica. L'attuale configurazione di ReMoTA è ancora provvisoria e la registrazione avviene in situ.

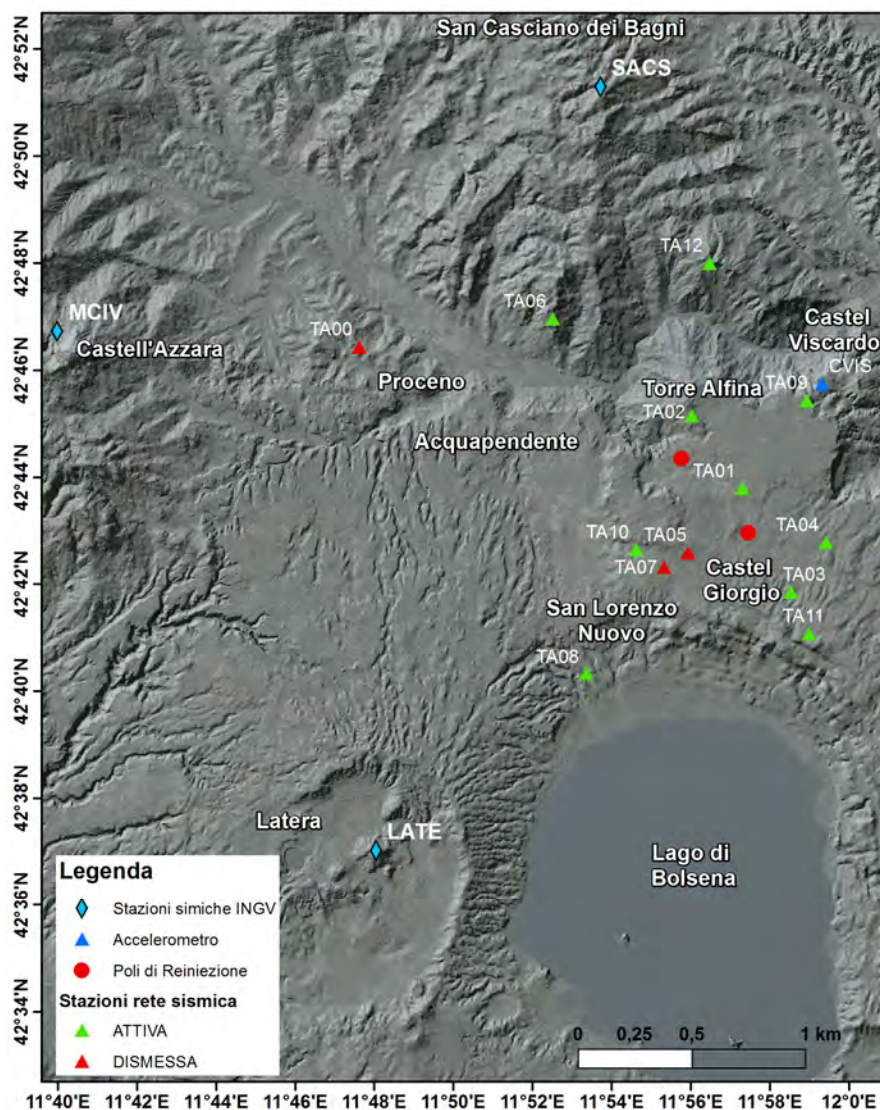


Fig. 1.1 - Ubicazione delle stazioni sismiche utilizzate nell'ambito di questo rapporto appartenenti alla rete nazionale INGV, alla Regione Umbria (stazione accelerometrica CVIS) e messe in opera nell'ambito di ReMoTA (Rete di Monitoraggio Torre Alfina).

La prima stazione è stata installata nel marzo 2014 e a novembre dello stesso anno la rete era costituita da 5 stazioni prodotte dalla SARA Electronic Instruments di Perugia e acquistate da ITW&LKW.

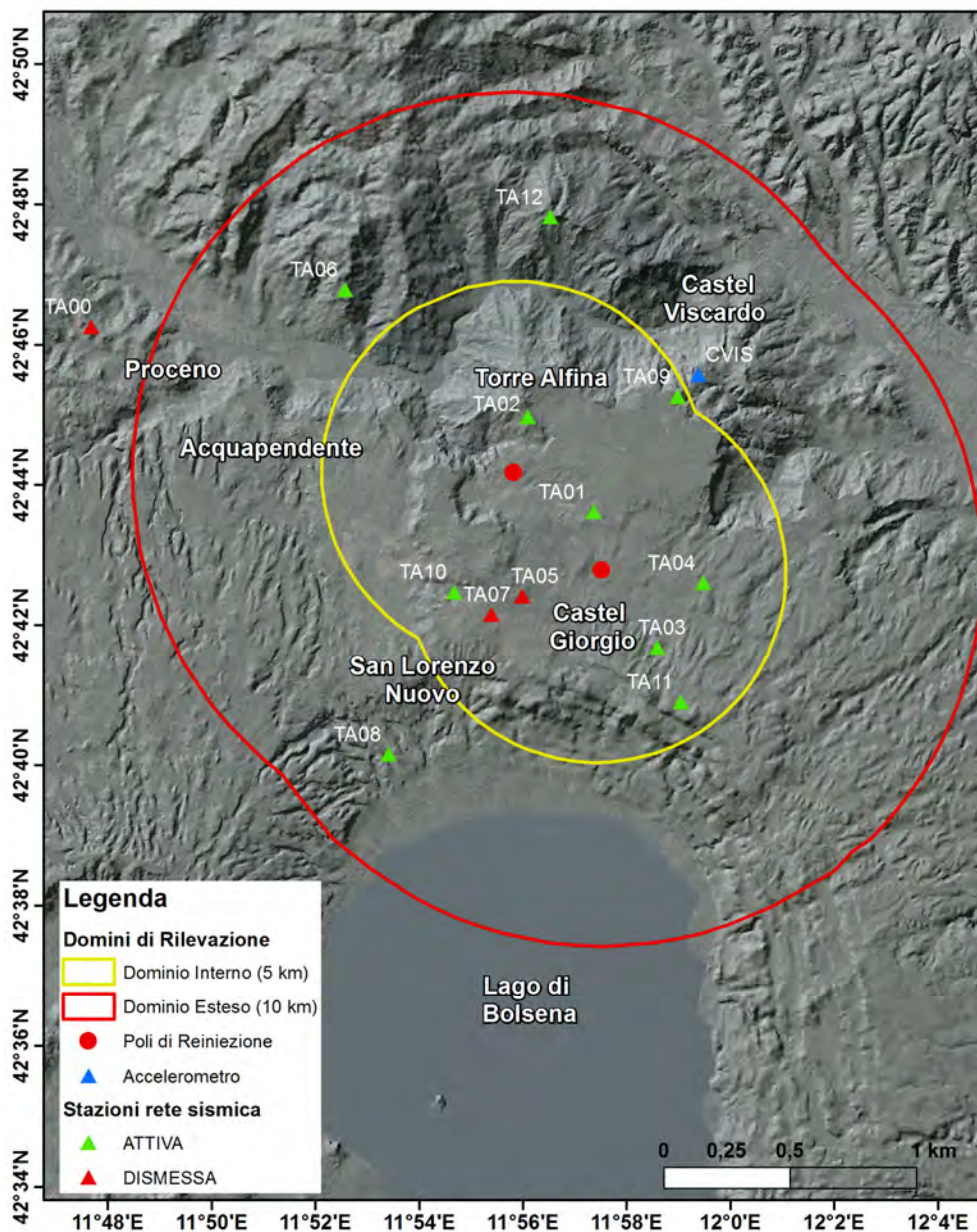


Fig. 1.2 - Ubicazione delle stazioni ReMoTA per il controllo della microsismicità nell'area dei progetti geotermici Castel Giorgio e Torre Alfina. La linea rossa delimita l'area di rilevazione DE (Dominio Esteso), la linea gialla quella del DI (Dominio Interno). DI e DE sono stati definiti in conformità con le indicazioni delle Linee Guida MISE. I cerchi rossi indicano i pozzi di re-iniezione dei due progetti (più a sud quello relativo al progetto Castel Giorgio).

Nel corso 2015, la rete è stata implementata con altre 5 stazioni temporanee dell'INGV, seguendo le indicazioni delle linee guida del MISE, affinché ReMoTA fosse composta da un numero di stazioni adeguato a garantire il monitoraggio anche nel caso di temporanei malfunzionamenti della strumentazione, e garantire la rilevazione di eventi deboli (con  $M \leq 1.0$ ) in corrispondenza del serbatoio e nelle immediate vicinanze. L'impiego di almeno 10 stazioni sismiche, è ritenuto indispensabile in quanto il livello di detezione di una rete, misurata a partire dalle registrazioni velocimetriche, dipende dalla distanza tra la stazione e l'ipocentro dell'evento: un evento sismico di piccola magnitudo può essere registrato, localizzato e analizzato soltanto se il suo epicentro è prossimo alla stazione.

Per questo la rete è stata ipotizzata con una geometria concentrata sull'area che ospita il serbatoio, all'interno di un volume ricadente all'interno del Dominio Interno (Fig. 1.2) dove la spaziatura tra le stazioni è di 3-4 km, e si allarga via via allontanandosi da esso cercando di restare a distanza intermedia dalle reti che svolgono servizio di monitoraggio sismico con finalità di protezione civile a livello nazionale o regionale. In questo modo ReMoTA potrà beneficiare dei dati acquisiti dalle reti limitrofe e, al fine di migliorare l'accuratezza e la completezza della sismicità dell'area del progetto, fornire informazioni ancor più robuste e valide con il massimo dettaglio possibile.

Infatti, nel raggio di circa 20 km dai limiti del permesso di ricerca geotermico Castel Giorgio-Torre Alfina, si trovano quattro stazioni sismiche appartenenti alla rete nazionale permanente dell'INGV (LATE, MCIV, SACS, MGAB) e un'accelerometrica gestita dalla Regione Umbria, a Castel Viscardo (Fig. 1.1). In un raggio di 50 km, invece, ci sono altre quattro stazioni della Rete Sismica Nazionale dell'INGV e dell'Osservatorio sismico Bina di Perugia, che possono comunque fornire importanti informazioni tanto per terremoti più grandi quanto per quelli locali.

Affiancando alle 5 stazioni della SARA altrettante stazioni dell'INGV, caratterizzate da una strumentazione di tipo differente (tabelle 2 e 3 e Allegato A), si è prefigurato quello che dovrebbe essere l'assetto definitivo di ReMoTA.

Nell'individuare i siti è stata data priorità a terreni demaniali, comunali, regionali e di competenza degli enti locali, ma in gran parte i siti individuati ricadono su terreni privati.

L'installazione delle stazioni è stata effettuata senza ulteriori oneri, in maniera gratuita e temporanea. E' inoltre evidente che avere dei siti in grado di impiegare energia elettrica è la soluzione preferita, sia perché ci sarebbero meno problemi nel raccogliere i dati, sia per gestire meglio il consumo energetico delle stazioni quando si sarà in grado di effettuare la trasmissione dei dati.

In sostanza, i siti prescelti sono quelli che costituiscono il miglior compromesso fra il rumore sismico di fondo, le facilità logistiche riguardanti l'installazione, la messa in sicurezza e l'accessibilità delle stazioni sismiche durante l'intero arco dell'anno. Non essendo ancora attiva la trasmissione in tempo reale dei dati su tutte le stazioni, vengono effettuati sopralluoghi (mediamente ogni 3 settimane) per controllare lo stato della rete sismica locale esistente e garantire che i dati vengano acquisiti correttamente.

Il controllo a distanza delle stazioni, con relativa trasmissione dei dati, è un aspetto molto importante che, una volta realizzato, consentirà di ridurre sensibilmente il lavoro di campagna. Inoltre, consentirebbe l'acquisizione e l'invio al sistema di elaborazione e archiviazione di pacchetti di dati in tempo quasi-reale.

Codice	Località	Latitudine	Longitudine	Quota (m s.l.m.)	Sensore	Acquisitore
TA00*	Proceno (Acquapendente VT)	42,770503	11,803787	396	Lennartz 1Hz	Reftek-130
TA01	Torraccia (Castel Giorgio TR)	42,722431	11,963742	537	Lennartz 5s	Lennartz M-24
TA02	Pozzo A13 (Acquapendente VT)	42,745633	11,943583	540	Sara SS-20 (2Hz)	Sara SL-06
TA03	Montiolo (Castel Giorgio TR)	42,689684	11,982714	586	Sara SS-20 (2Hz)	Sara SL-06
TA04	Casa Pisana (Castel Giorgio TR)	42,704667	11,998150	539	Sara SS-20 (2Hz)	Sara SL-06
TA05*	Castel Verde (Castel Giorgio TR)	42,703043	11,939707	569	Sara SS-20 (2Hz)	Sara SL-06
TA06	M.te Rufeno (Acquapendente VT)	42,777270	11,886182	533	Guralp GMT 40T	Reftek-130
TA07*	Caseificio (Castel Giorgio TR)	42,698889	11,929619	540	Lennartz 1Hz	Reftek-130
TA08	S. Lorenzo Nuovo (VT)	42,666515	11,895035	359	Lennartz 1Hz	Sara SL-06
TA09	Castel Viscardo (TR)	42,749094	11,992100	556	Lennartz 1s	Lennartz M-24
TA10	La Canala (Castel Giorgio TR)	42,704520	11,917910	529	Sara SS-20 (2Hz)	Sara SL-06
TA11	Opera del Duomo (Castel Giorgio TR)	42,676537	11,989638	631	Sara SS-20 (2Hz)	Sara SL-06
TA12	Allerona (TR)	42,792860	11,953128	627	Lennartz 5s	Reftek-130

Tab. 1 - Elenco delle stazioni sismiche appartenenti a ReMoTA. Le stazioni segnate con (\*) non sono attualmente operative. Informazioni dettagliate sulle caratteristiche sono riportate nelle singole schede di stazione presenti nell'Allegato A

Allo stato attuale sono due le stazioni (TA03, TA04) i cui dati vengono trasmessi utilizzando una semplice scheda telefonica, per iniziare a testare la trasmissione dati in UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

Una volta definite il numero e la posizione delle stazioni sismiche necessarie ad effettuare il monitoraggio, per migliorare il rapporto segnale/rumore, si farà in modo di alloggiare il sensore sismico di ogni stazione in un pozzetto di qualche metro di profondità, opportunamente drenato, areato e chiuso in superficie da un coperchio di lamiera o di acciaio.

## 1.2 Strumentazione delle stazioni sismiche

La strumentazione sismologica è composta da una parte acquistata dalla ITW&LKW ed un'altra fornita in via temporanea dall'INGV.

Gli strumenti sono stati acquistati dalla SARA srl di Perugia, che ha offerto strumentazione di alta qualità completamente rispondente ai requisiti richiesti ad un prezzo competitivo.

Oltre a quanto descritto nell'Allegato A, alcune caratteristiche tecniche della strumentazione sismica attualmente operante sono riassunte nella tabella 2.

Gli acquisitori sono stati configurati in modo da campionare il segnale a 100 Hz, frequenza che si ritiene adatta a monitorare la microsismicità naturale e indotta. Si rammenta che la rete sismologica nazionale dell'INGV usualmente campiona il segnale a circa 50 Hz.

La SARA srl ha messo a disposizione un luogo cablato, dotato di accesso ad internet, dove poter installare la prima coppia di server per l'acquisizione e la visualizzazione dei dati in tempo reale (si veda anche il paragrafo 4.1).

Tipo di strumento	Modello	Altre caratteristiche	N. pezzi
Acquisitore	SARA SL-06	3 o 6 canali; 24 Bit, varie interfacce di comunicazione; Linux integrato e sincronizzazione GPS; campionamento massimo = 200 Hz; LSB = $0.119 \cdot 10^{-06}$ V/count	5
Acquisitore	Reftek-130	3 o 6 canali; 24 Bit, varie interfacce di comunicazione; sincronizzazione GPS; Campionamento fino a 1000 Hz. A 50 Hz presenta una sensibilità di circa 140 dB; LSB = $1.589 \cdot 10^{-06}$ V/count	3
Acquisitore	Le M24 compact	3 o 6 canali; 24 Bit, varie interfacce di comunicazione; sincronizzazione GPS; Campionamento fino a 500 Hz. LSB = $4.65661 \cdot 10^{-09}$ V/count	2
Velocimetro a banda larga	Guralp CMG-40T	Amplificazione = 800 V/m/s (differenziale); Periodo proprio T=20 s; frequenza massima = 50 Hz;	1
Velocimetro medio periodo	Lennartz 3D-5s	Amplificazione = 800 V/m/s (differenziale); Periodo proprio T=5 s; frequenza massima = 50 Hz	3
Velocimetro corto periodo	Lennartz 3D-1s	Amplificazione = 400 V/m/s (differenziale); Periodo proprio T=1 s; frequenza massima = 100 Hz	2
Velocimetro corto periodo	SARA SS20-2Hz	Sensore da 2 Hz di frequenza naturale; sensibilità = 200 V/m/s; frequenza massima = 100 Hz	5

Tab. 2 - Caratteristiche tecniche della strumentazione in uso da ReMoTA.

## 2. Qualità dei dati

Come spesso accade nelle prime fasi di sperimentazione, i dati sismici registrati durante il primo anno di ReMoTA, non sono in una forma omogenea. Per effettuare le registrazioni test, sono stati utilizzati acquisitori e sensori sismici differenti (vedi Tab. 2 e Allegato A). Di conseguenza anche i dati registrati sussistono in formati differenti: MSEED (Sara), Segy (RefTek) e GSE (Le M24).

Per l'elaborazione dei dati sono stati utilizzati dei programmi di software "free" (SAC, Geopsy, Snuffler) e codici autoprodotti (MatLab) che utilizzano principalmente due formati: MSEED e SAC.

Le procedure per la conversione dei dati in SAC sono riassunte in Tab. 3

Digitalizzatore	Formato dati	Routine di conversione	Software utilizzato
Sara	Miniseed	mseed2sac	Seismic Analysis Code, Snuffler, Geopsy, Psd_spec (Matlab)
RefTek 130	Segy	segy2sac → SAC	
Lennartz M24 compact	GSE2.0	SAC (readgse) → SAC	

Tab. 3 - Modello del digitalizzatore sismico, il formato registrato, la routine di conversione e il software di analisi utilizzato.

L'installazione delle stazioni sismiche avvenuta nella fase test periodo 2014-2015 è stata realizzata in maniera preliminare: i sensori ubicati all'interno di edifici, sono stati appoggiati direttamente sul pavimento di scantinati; le stazioni installate in aperta campagna, sono invece state interrate nel terreno a qualche decina di centimetri di profondità, senza la costruzione di un apposito pozzetto.

Uno degli obiettivi del presente rapporto tecnico è di valutare e decidere quali delle stazioni "test" è idonea per una configurazione definitiva delle rete. Per tale motivo sono stato calcolati gli spettri di rumore (paragrafo 2.1) e studiate le caratteristiche di transienti e disturbi non-stazionari nelle registrazioni delle singole stazioni (paragrafo 2.2).

### 2.1 Spettri di rumore

Per valutare il livello assoluto dell'energia sismica per unità di tempo sono stati calcolati gli spettri di potenza (*PSD - Power Spectral Density*) alle singoli stazioni sismiche. La figura 2.1 mostra l'esempio della *PSD* determinata per un'ora di rumore sismico registrato alle tre componenti della stazione TA05. Le curve tratteggiate rappresentano il rispettivo massimo (*NHNM – New High Noise Model*) e minimo (*NLNM – New Low Noise Model*) proposto da Peterson (1993).

Nell'Allegato B sono mostrati esempi di grafici *PSD (Power Spectral Density)* eseguiti per tutte le stazioni sia con minore rumore sismico (basso), spesso corrispondente alle ore notturne, che con un rumore sismico maggiore (alto), periodo corrispondente spesso alle ore giornaliere (si veda a titolo di esempio la figura 2.1). L'analisi è preliminare e di carattere qualitativo in quanto è limitata a dei periodi giudicati significativi ad una prima lettura dei dati, ma sarà estesa a dei periodi più lunghi dopo l'installazione definitiva delle stazioni di ReMoTA.

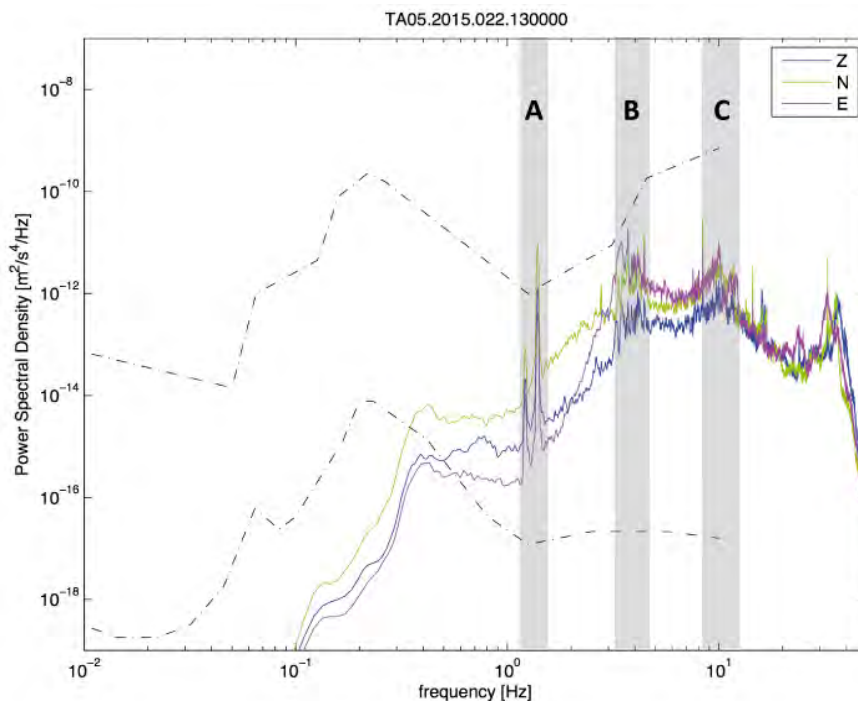


Fig. 2.1 - Esempio di registrazione delle due componenti orizzontali (N, E) e della verticale (Z), presenti nella stazione TA05: in grigio sono evidenziate le bande di frequenza A, B e C descritte nel testo.

L'energia spettrale nella banda tra 0.06 – 0.3 Hz è osservabile in tutte le stazioni sismiche a larga banda ed è attribuibile ai microsismi di origine marina. Le stazioni di ReMoTA registrano il rumore causato da tali microsismi solamente se dotate da un sensore a larga banda o di banda estesa (tabella 2). Le altre stazioni, equipaggiate da un sensore al breve periodo (per esempio SS20-2Hz) fungono automaticamente come passa alto, rimanendo insensibili a questa banda spettrale di rumore sismico. Come mostrato nel paragrafo 2.3 l'energia sprigionata da terremoti locali viene generata soprattutto nella banda di frequenza tra 2 e 40 Hz. Questo giustifica per ReMoTA l'utilizzo di sensori a breve periodo. Per quanto riguarda la valutazione delle singole stazioni, si fa riferimento ai grafici presenti nell'Allegato B.

La scelta dei siti delle stazioni all'interno di un raggio di 5 km dai pozzi di produzione (DI in figura 1.2) non lascia molte possibilità di scelta per allontanarsi in maniera significativa da fonti di rumore di origine antropica. I numerosi insediamenti di impianti industriali di piccole e medie dimensioni nella zona di Torre Alfina e Castel Giorgio, generano dei disturbi meccanici nella banda di frequenza compresa tra 1.5 e 11 Hz, visibili nei PSD (Allegato B; figura 2.1), contribuendo notevolmente all'incremento del rumore sismico visibili nei PSD (Allegato B; figura 2.1). Le stazioni di ReMoTA ubicati all'interno del DI (TA01, TA02, TA03, TA04, TA05, TA07, TA10) mostrano tutte quante un livello di rumore elevato. In particolare si notano disturbi in tre bande di frequenza principali, evidenziate in figura 2.1, tra 1.5 – 2 Hz (Banda A), tra 3.5 – 4 Hz (Banda B) e alcuni picchi di carattere monocromatico tra 8 – 15 Hz (Banda C).

Come viene descritto nei paragrafi 2.2 e 2.3, il rumore sismico nella banda (A) non influenza in maniera particolare la capacità di detezione dei terremoti locali, in quanto rimane al di sotto dell'energia sprigionata dai terremoti locali. I picchi monocromatici della banda (C) sono di carattere locale e ci si aspetta che, con un accurata monumentazione dei siti, si possano attenuare. Il rumore nella banda (B) influenza in maniera significativa le capacità di detezione di ReMoTA in quanto si propaga attraverso tutta la rete ed inoltre mostra delle caratteristiche stazionarie per molte ore al giorno. E' improbabile che l'ubicazione dei sensori all'interno dei pozzetti attenui in maniera significativa la registrazione di tali rumori. Sarebbe necessario impegnare delle stazioni in pozzo che, trovandosi in un area geotermica, comporterebbe delle difficoltà tecniche e costi importanti.

Considerando le prescrizioni del Ministero di dover installare 5 stazioni sismiche all'interno del DI, non ci sono alternative alle stazioni TA01-04. Per quanto riguarda invece le stazioni TA05, TA07 e TA10 che sono ubicate molto vicine tra loro, considerando inoltre che non era possibile ottenere per il sito TA05 il permesso per una installazione a lungo termine, dalla valutazione dei PSD è preferibile scegliere la stazione TA10 rispetto alla TA07.

Per quanto riguarda il DE le caratteristiche spettrali del rumore nelle varie bande è leggermente attenuato alle singole stazioni (TA06, TA08, TA09, TA11, TA12) e ci si può aspettare che la sistemazione dei siti attenui in particolare i disturbi monocromatici di carattere locale al di sopra degli 8 Hz.

## 2.2 Caratteristiche delle registrazioni sismiche

Le stazioni sismiche della rete registrano in continuo le vibrazioni del suolo generate da sorgenti naturali e/o antropiche. La figura 2.2 mostra un esempio di registrazione a tre componenti in corrispondenza della stazione TA11. La figura 2.3 rappresenta gli spettri di ampiezza delle tre componenti mentre la figura 2.4 mostra lo spettrogramma dello stesso tracciato.

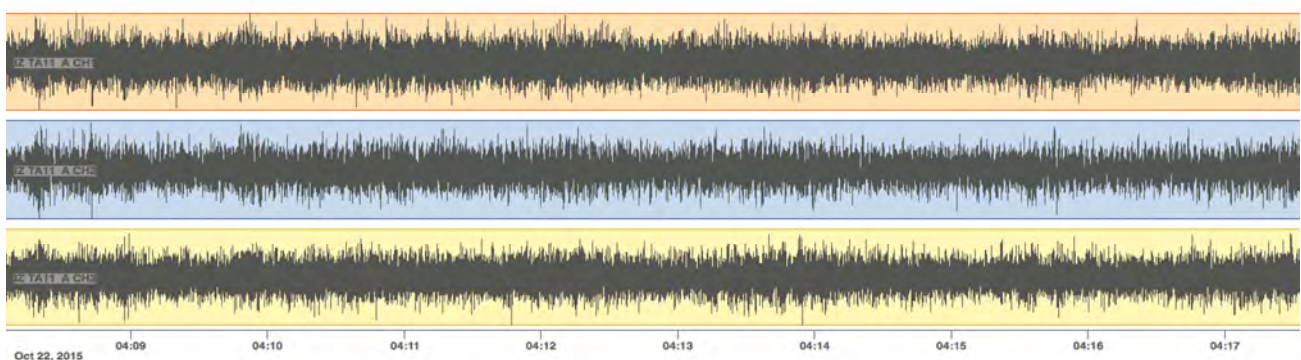


Fig. 2.2 - Esempio di registrazione delle due componenti orizzontali e della componente verticale, della stazione TA11.



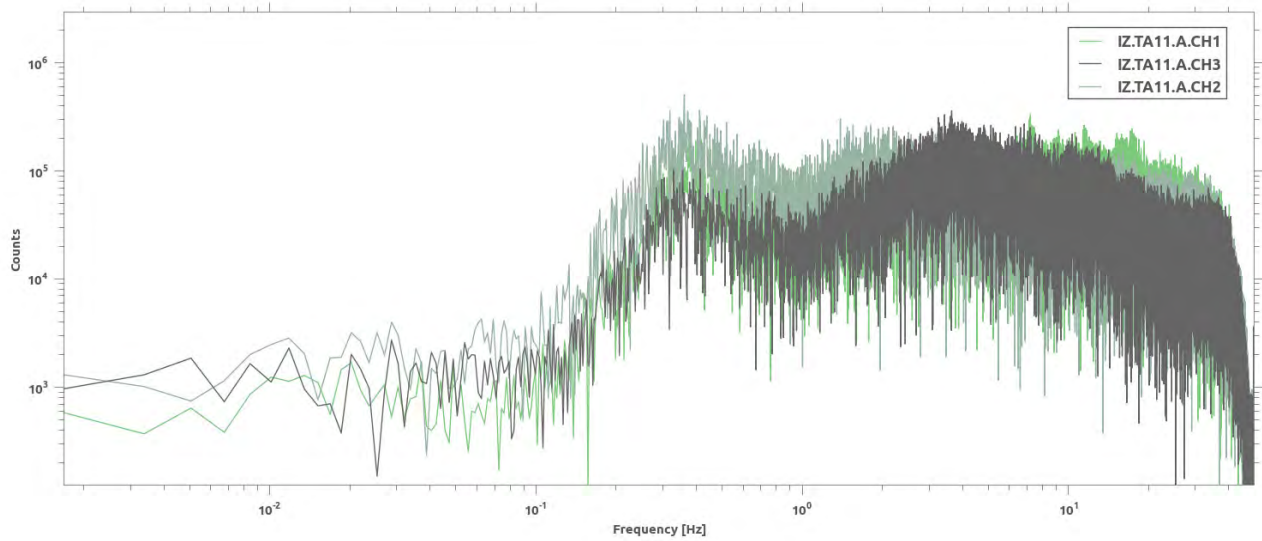


Fig. 2.3 – Spettro di ampiezza della sequenza temporale rappresentata in figura 2.2.

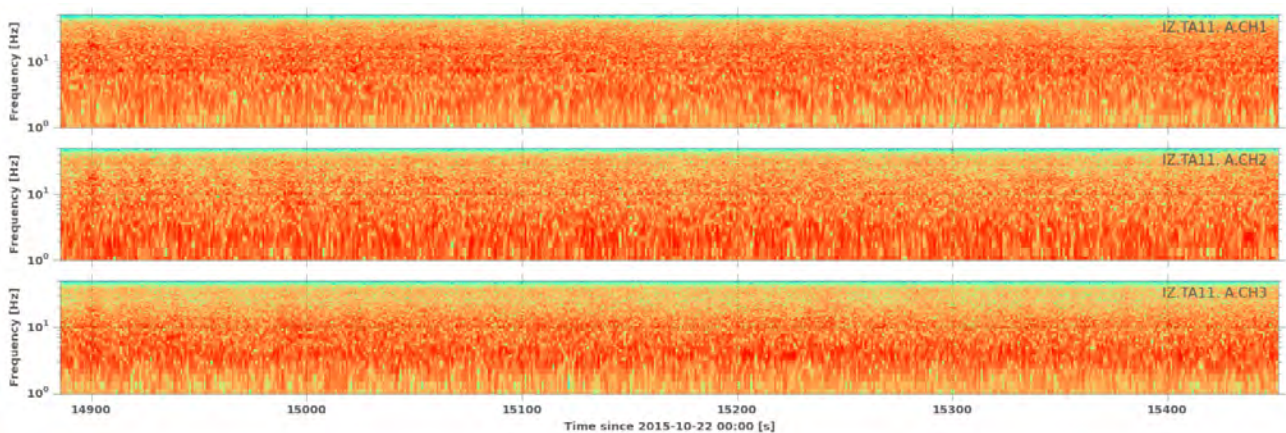


Fig. 2.4 - Spettrogramma della sequenza temporale rappresentata in figura 2.2. Si noti l'assenza di significativi incrementi di ampiezza per tutte le bande di frequenze investigate (stazione TA11).

Lo spettro medio dell'intera finestra temporale analizzata (figura 2.3) e l'andamento temporale del contenuto spettrale delle tracce (figura 2.4) non evidenziano, nella banda di frequenza compresa tra 1 e 20 Hz, variazioni significative del contenuto energetico. Questa condizione (*white noise*), come evidenziato negli esempi di seguito descritti, è purtroppo rara. L'alta densità di strutture edilizie, sia industriali che civili, rende molto difficile l'individuazione di siti caratterizzati da un basso livello di rumore. Essendo la zona di Torre Alfina-Castel Giorgio un'area priva di proprietà demaniali, spesso le scelte si sono dovute basare su proprietà private. Avendo l'obbligo di installare 5 stazioni nel Dominio Interno e 5 stazioni nel Dominio Esterno (figura 1.2), non è possibile allontanarsi a distanze opportune

dalle fonti di rumore antropico. Ad esempio, nella figura 2.5 sono mostrate le registrazioni delle componenti verticali delle stazioni TA03 (MTL), TA04 (PIC) e TA02 installate ad una distanza rispettiva di circa 7 km tra loro (figura 1.2). La finestra temporale mostrata evidenzia un brusco aumento del rumore sismico. Lo spettro di ampiezza (figura 2.6) delle componenti verticali delle tre stazioni mostra un picco di frequenza dominante a c.a. 4 Hz e un picco secondario, a c.a. 8.5 Hz, presente esclusivamente nella stazione di Torre Alfina (TA02). Gli stessi valori vengono registrati sulle componenti orizzontali.

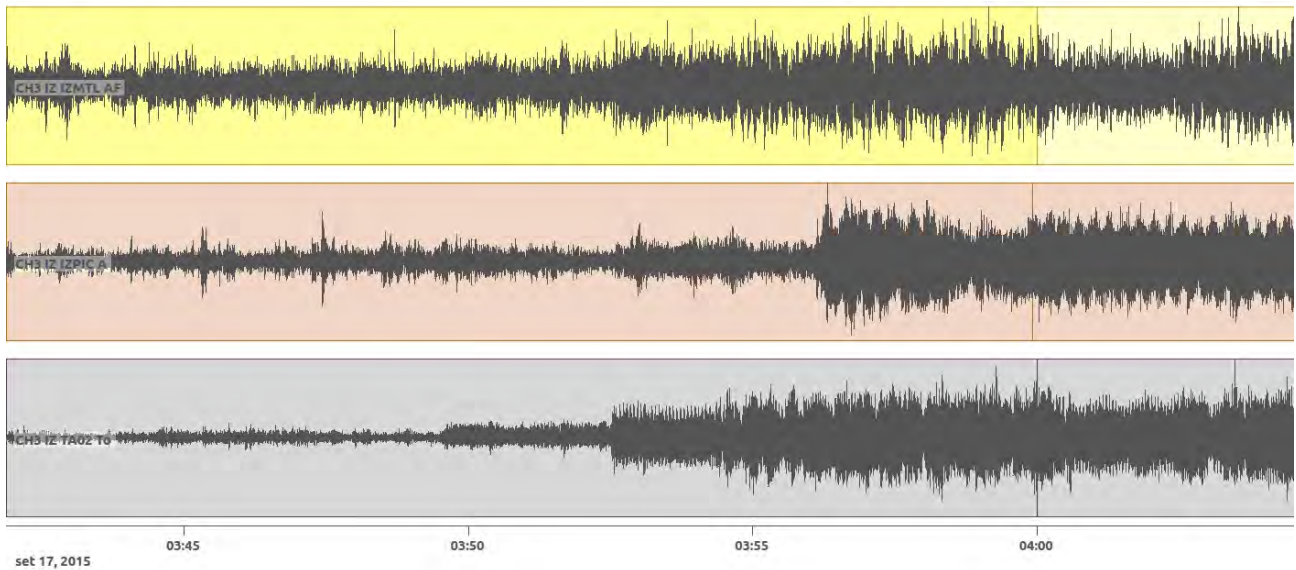


Fig. 2.5 - Registrazione delle componenti verticali delle stazioni TA03, TA04 e TA02 installate ad una rispettiva distanza di circa 7 km tra loro.

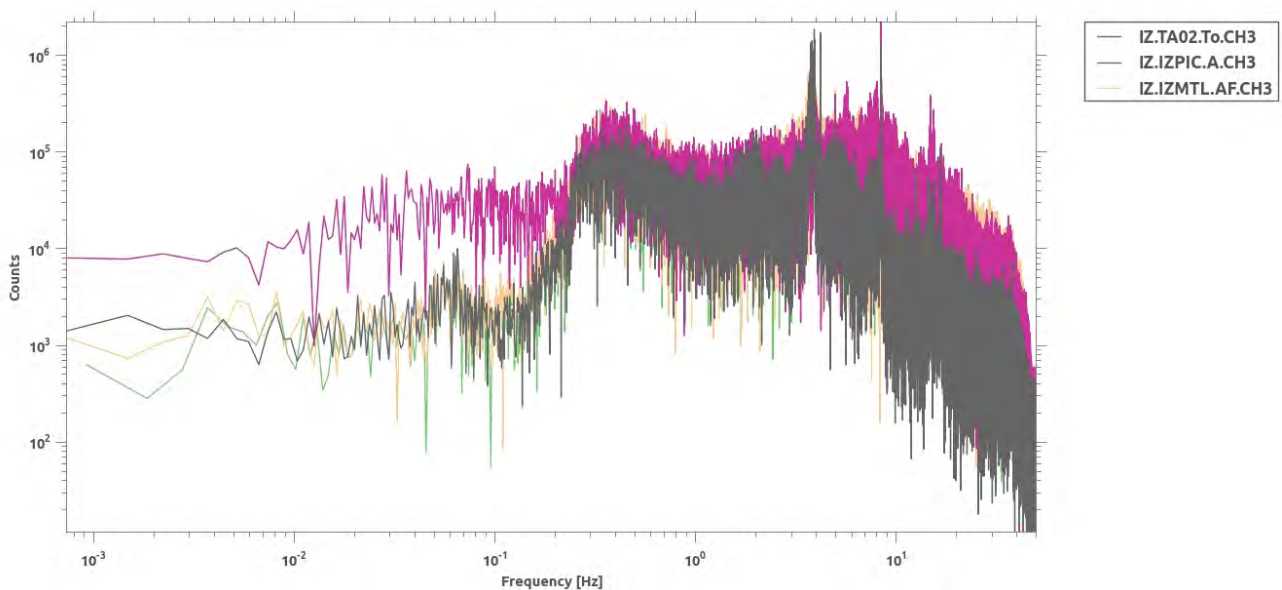


Fig. 2.6 - Spettro di ampiezza della componente verticale delle stazioni mostrate in figura 2.5.

L'andamento temporale del contenuto spettrale (figura 2.7) evidenzia che la fonte del rumore sismico è probabilmente dovuta all'accensione di un motore o di una pompa con frequenza principale di 4 Hz. Mettendo a confronto tracce registrate contemporaneamente in stazioni diverse, è possibile fare diverse osservazioni e deduzioni in merito alla tipologia e alla possibile provenienza di tale sorgente di rumore. Il fenomeno è osservabile soprattutto durante le ore giornaliere, con durata variabile, ma non tutti i giorni. Considerando che (i) l'inizio del fenomeno risulta essere registrato in tempi leggermente differenti (prima a TA02, poi a TA03 (MTL) e infine a TA04 (PIC)) e (ii) che l'intensità sembra calare con la stessa gerarchia, si può presumere che la fonte di rumore sia ubicata a ovest delle stazioni.

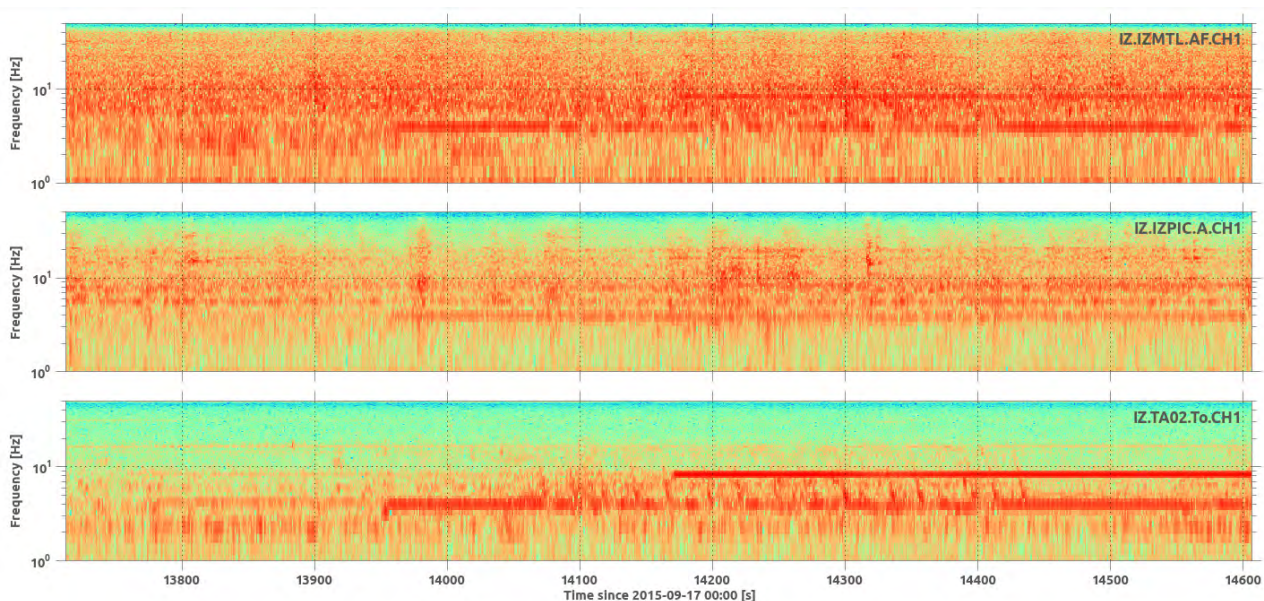


Fig. 2.7 - Spettrogramma della componente verticale delle registrazioni mostrate in figura 2.5.

La figura 2.8 mostra la registrazione delle tre componenti presenti nella stazione TA02. Verso le ore 05:17 GMT del 22 settembre 2015 si nota un incremento di ampiezza nel segnale ("fase di accensione"). Come si può evincere dallo spettrogramma (figura 2.9), a questo incremento di ampiezza corrisponde un picco spettrale di ca. 4 Hz al quale si aggiunge, dopo circa 100 s, un picco secondario di circa 8 Hz. Le stesse analisi, applicate alle altre stazioni sismiche, confermano il risultato che il fenomeno è osservabile soprattutto durante le ore giornaliere, con durata variabile, ma non tutti i giorni.

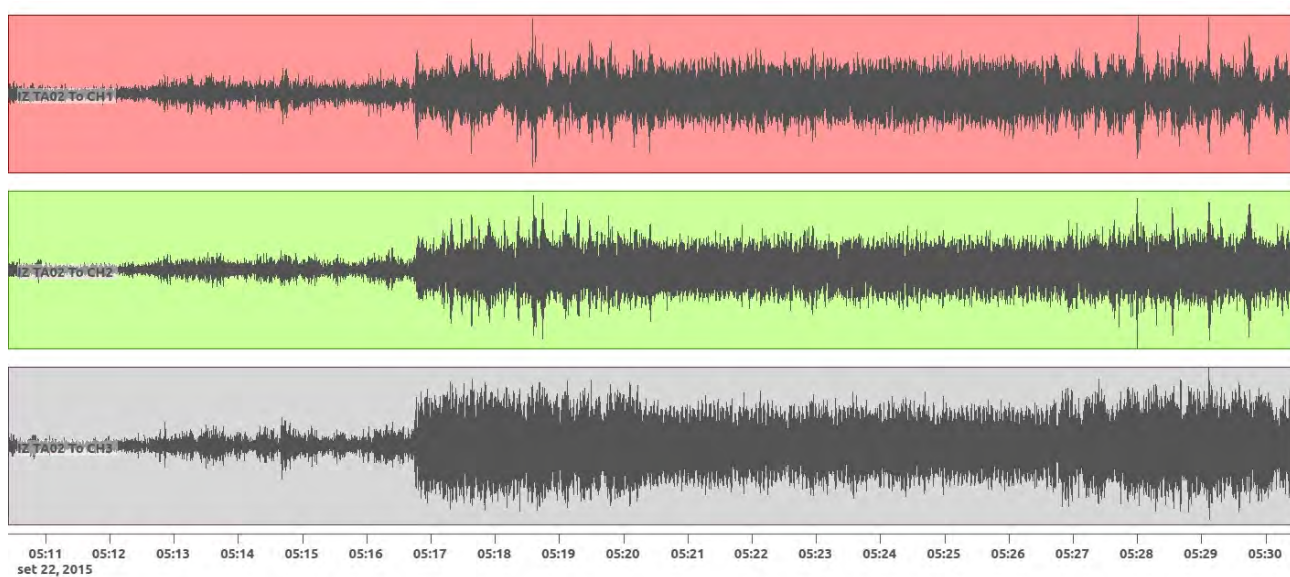


Fig. 2.8 - Sismogrammi delle componenti Z (CH1), N (CH2), E (CH3) registrati alla stazione TA02.

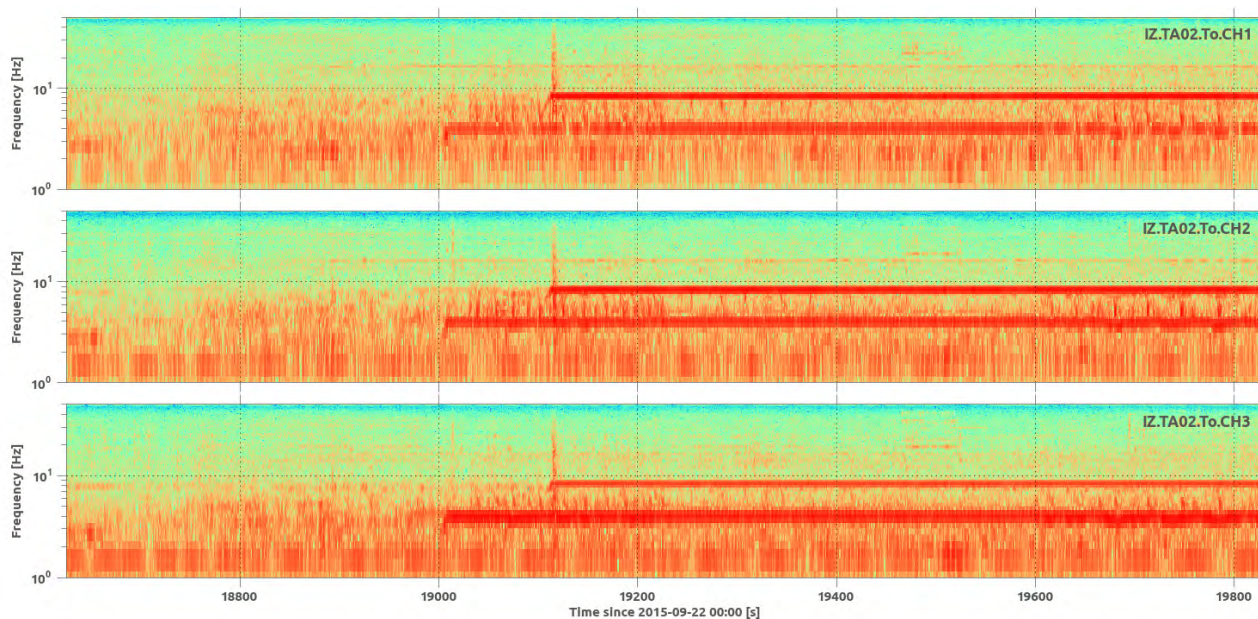


Fig. 2.9 - Spettrogrammi delle registrazioni di TA02 (figura 2.8), “fase di accensione” delle frequenze di 4-8 Hz.

Come mostrato nelle figure 2.10 e 2.11 la “fase di spegnimento” avviene verso le ore 16:25 GMT dello stesso giorno, con cronologia inversa rispetto alla “fase di accensione” precedentemente individuata. Si assiste alla sparizione delle oscillazioni ad 8 Hz, seguito da quelle a 4 Hz.

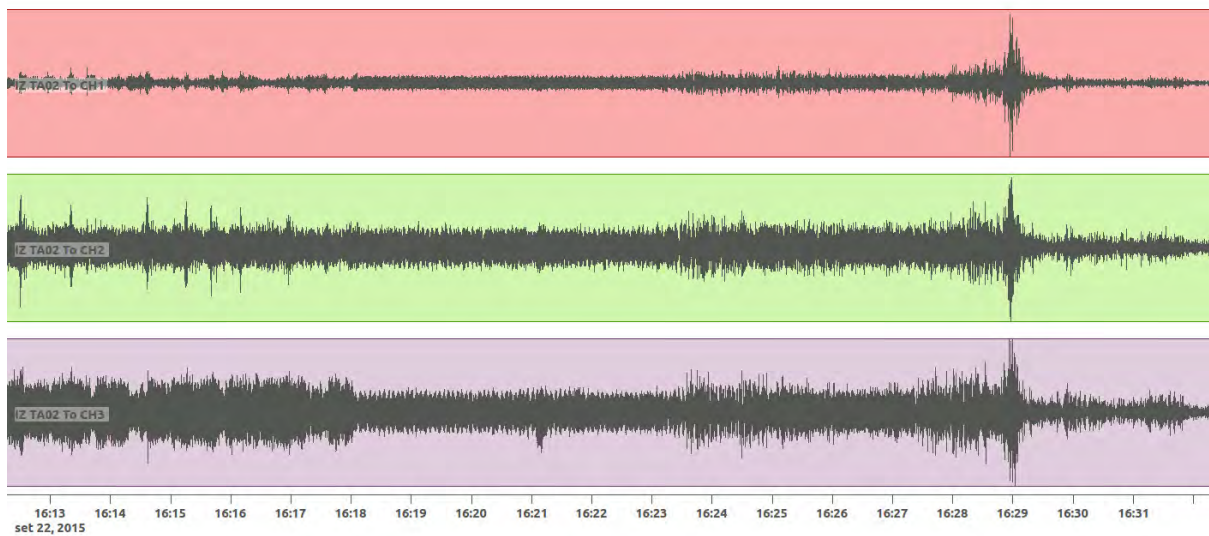


Fig. 2.10 - Sismogrammi delle componenti Z(CH1), N(CH2), E(CH3) registrati alla stazione di Torre Alfina (TA02).

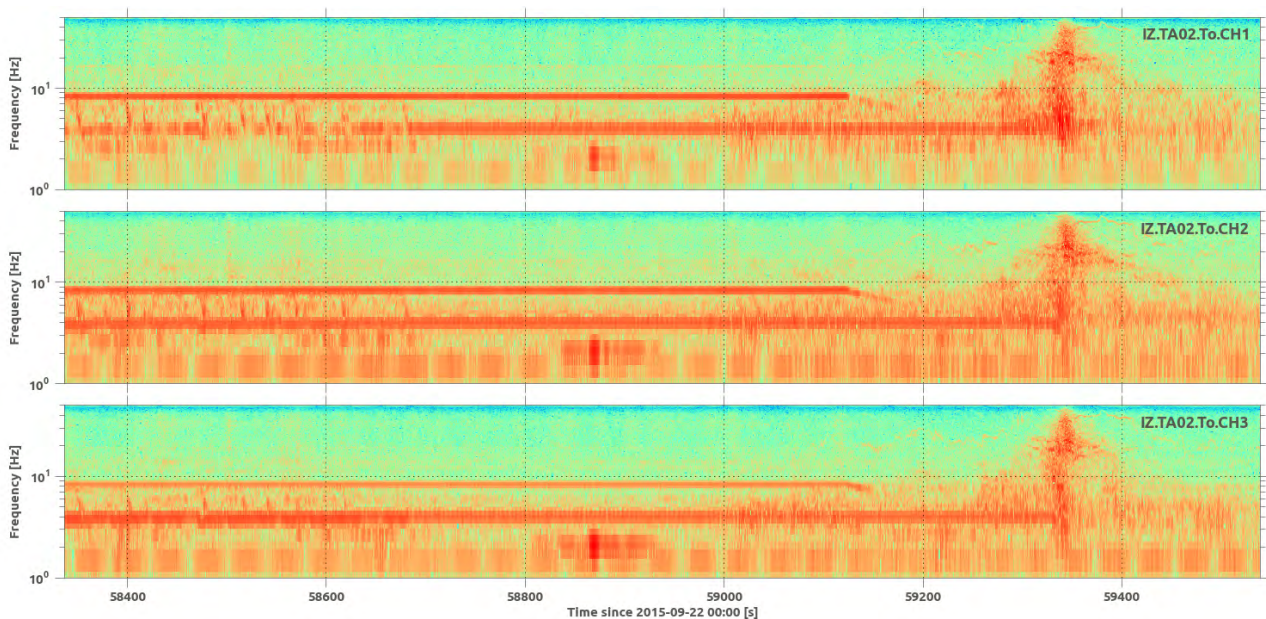


Fig. 2.11 - Spettrogrammi delle registrazioni mostrate in figura 2.10. Si noti la diacronia durante la “fase di spegnimento”: prima la scomparsa delle oscillazioni a 8 Hz seguita, dopo ca. 100 s, da quelle a 4 Hz.

Per determinare la direzione di tale fonte di rumore è stata calcolata l’energia spettrale sulle componenti orizzontali in funzione della direzione di provenienza (*azimuth*). Attraverso l’analisi dello spettro orizzontale ruotato è possibile identificare la direzione di polarizzazione dell’onda registrata.

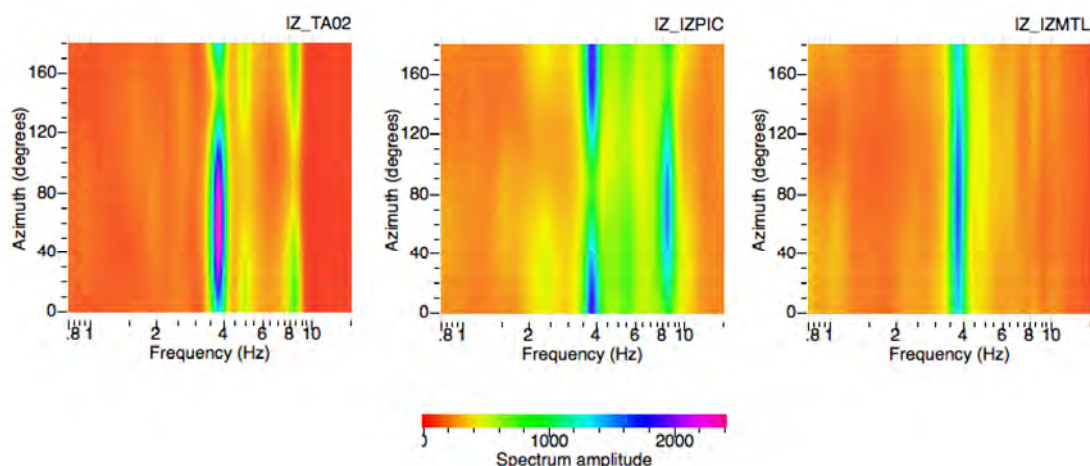


Fig. 2.12 - Energia spettrale delle componenti orizzontali in funzione dell'azimuth per le stazioni TA03 (MTL), TA04 (PIC) e TA02, per intervalli sincroni di registrazione del 22-set-2015 che mostra come relativamente alla frequenza 4 Hz il contenuto energetico è maggiore per la stazione TA02 mentre è minore per le altre. Le stazioni sismiche TA02 e TA04 (PIC) mostrano anche un secondo incremento energetico alla frequenza di 8.5 Hz.

La figura 2.12 mostra l'energia spettrale delle componenti orizzontali in funzione dell'azimuth per le stazioni TA03, TA04 e TA02 relativi all'evento mostrato in figura 2.5. Sono evidenti delle bande di frequenza con un'energia spettrale significativa, come per esempio a (A) 1.4 Hz, (B) ~4 Hz, (C) ~8 Hz e il rispettivo azimuth del massimo di energia. La Banda (A) non mostra delle significative variazioni azimuthali di provenienza (*random scattered wavefield*) e ciò permette di escludere una sorgente locale. I livelli di energia sismica delle bande (B) e (C) mostrano invece delle forti caratteristiche direzionali.

Mentre i disturbi sulla banda di frequenza di 4 Hz hanno caratteristiche ricorrenti temporalmente e interessano la rete nel suo insieme, esistono fonti di rumori di carattere locale su altre bande di frequenza.

Ad esempio, la figura 2.13 mostra la registrazione sismica delle tre componenti presenti nella stazione TA11. Il rispettivo spettrogramma, mostrato in figura 2.14, evidenzia un tipico esempio di rumore sismico locale. Sia la breve durata (ca. 250 s), sia il comportamento spettrale (incremento e decrescenza) portano alla probabile conclusione che il transiente registrato sia associabile ad una centrifuga presente nelle vicinanze del sensore sismico.

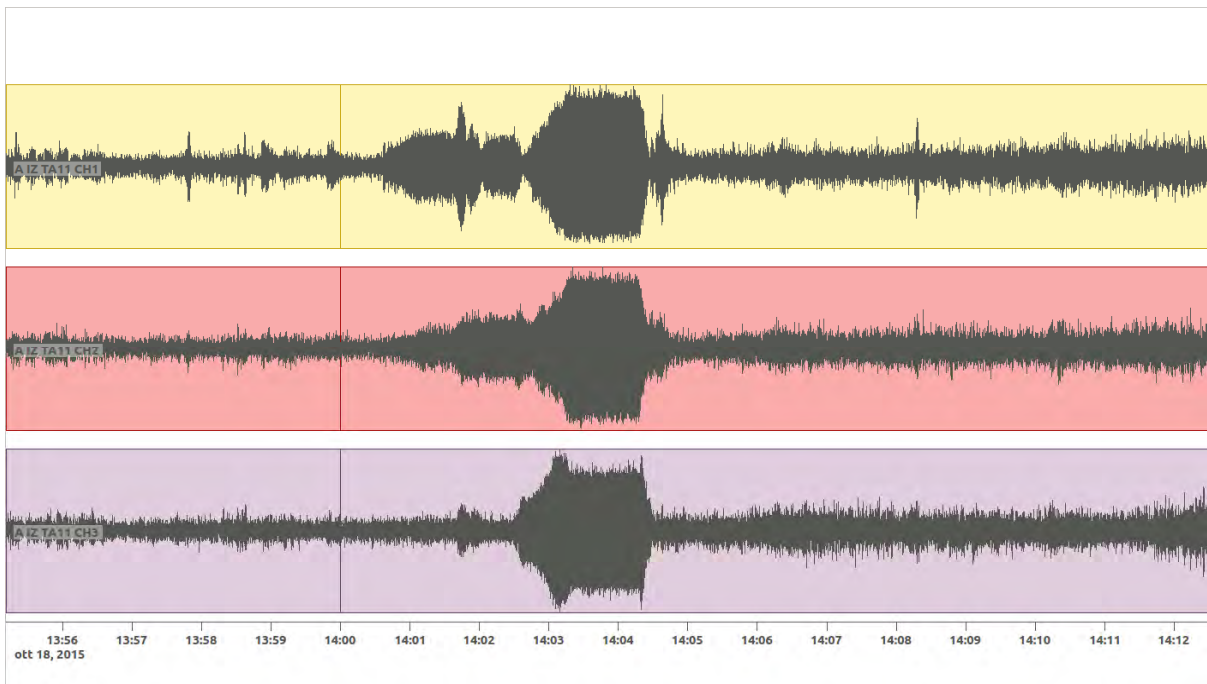


Fig. 2.13 - Esempio di rumore antropico registrato alla stazione TA11.

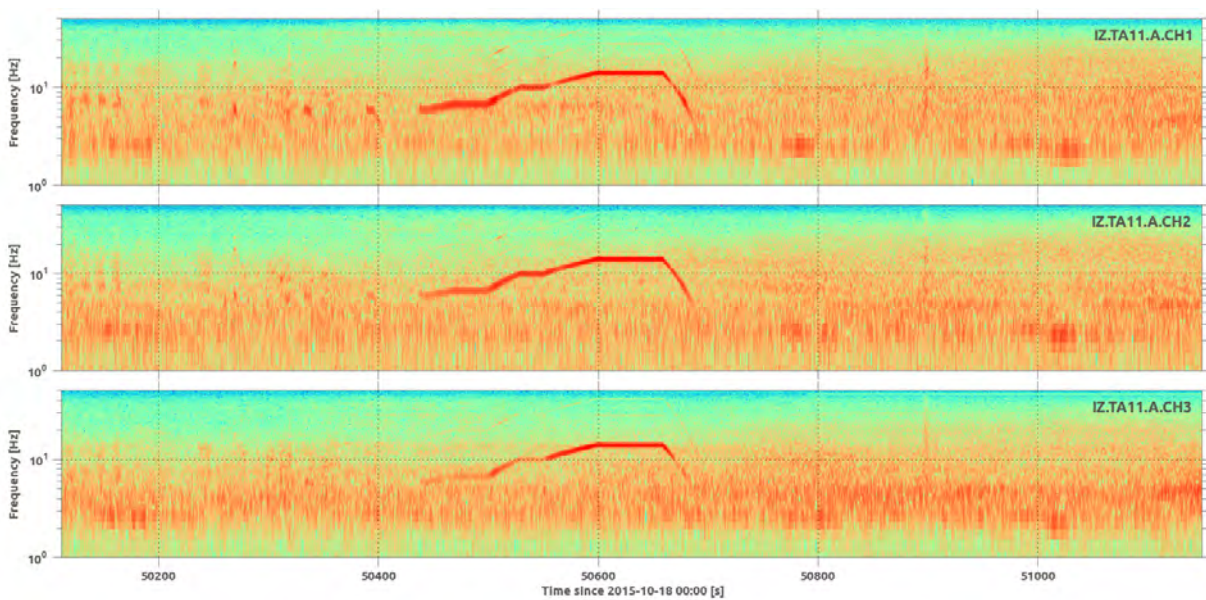


Fig. 2.14 - Spettrogramma della registrazione sismica di figura 2.13.

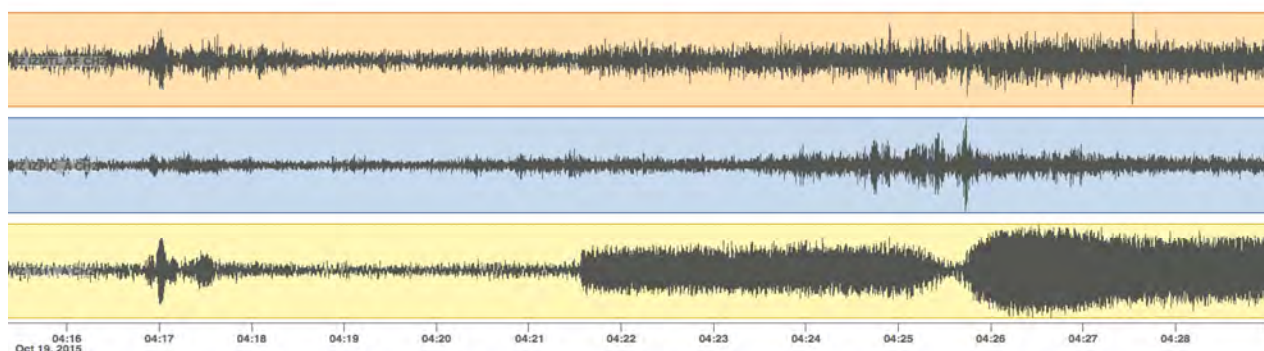


Fig. 2.15 - Tracce sismiche della componente nord per le stazioni TA03 (MTL), TA04 (PIC) e TA11.

Un altro esempio di disturbo locale è riportato in figura 2.15 che riporta le registrazioni delle componenti verticali delle stazioni TA03, TA04 e TA11 (figura 1.2).

Nella notte del 19 Ottobre 2015 (tra le ore 04:21 e 04:22 GMT), si è registrata l'insorgenza di un disturbo, particolarmente evidente alla stazione TA11 e via via meno evidente nelle altre stazioni. Lo spettrogramma delle tracce rappresentate in figura 2.15 è riportato in figura 2.16 e mostra che la frequenza di tale rumore è di ca. 1.5 Hz (banda A). La sua intensità è maggiore in vicinanza della stazione TA11, per poi decadere verso TA03 (MTL) e scomparire del tutto ad TA04 (PIC) suggerendo un carattere strettamente locale.

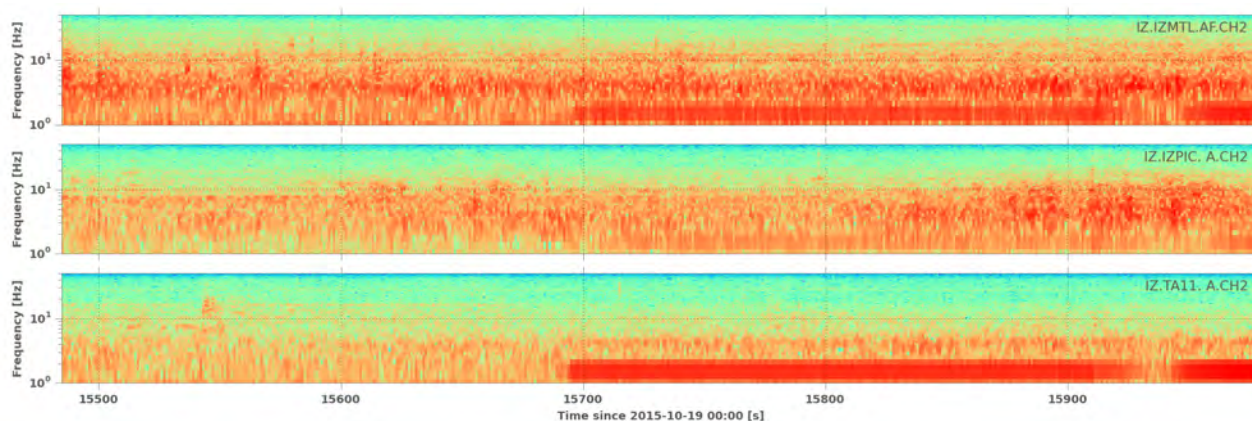


Fig. 2.16 - Spettrogramma della registrazione sismica di figura 2.15 (comp. N delle stazioni TA03 (MTL), TA04 (PIC) e TA11).

I ipotesi sul tipo di sorgente per il rumore nella banda (A) per la stazione TA11 sono di difficile formulazione in quanto, osservando l'andamento temporale del segnale sismico, la sorgente cambia le sue caratteristiche distintive passando da sorgente monocromatica a una a doppia frequenza. Prendendo un diverso intervallo temporale (figura 2.17) è stata identificata in concomitanza col disturbo a 1.5 Hz, una seconda frequenza a 4.5 Hz. Il momento di spegnimento della sorgente di rumore intorno alle ore 19:50 GMT, è ben visibile sia nelle tracce temporali che nello spettrogramma di figura 2.18.



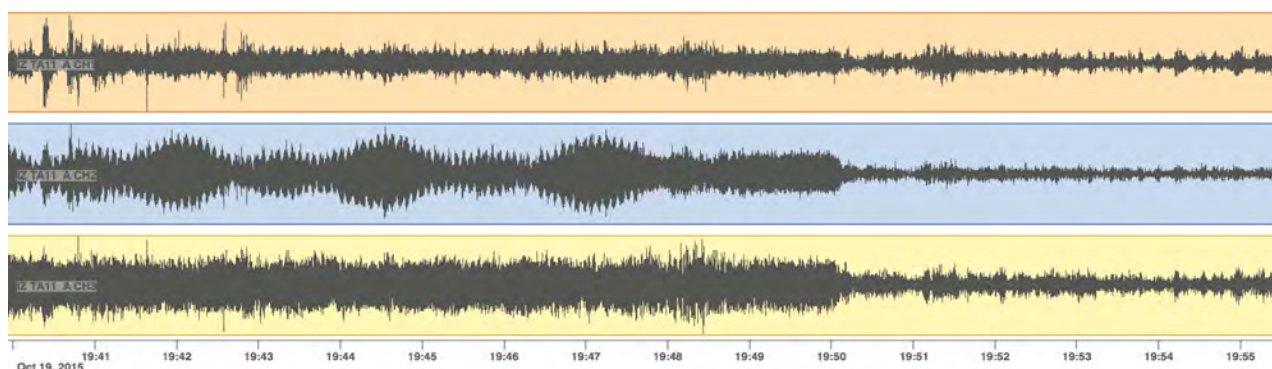


Fig. 2.17 - Tracce sismiche contenenti esempio di disturbo a doppia frequenza (1.5-4.5 Hz) identificato alla stazione TA11.

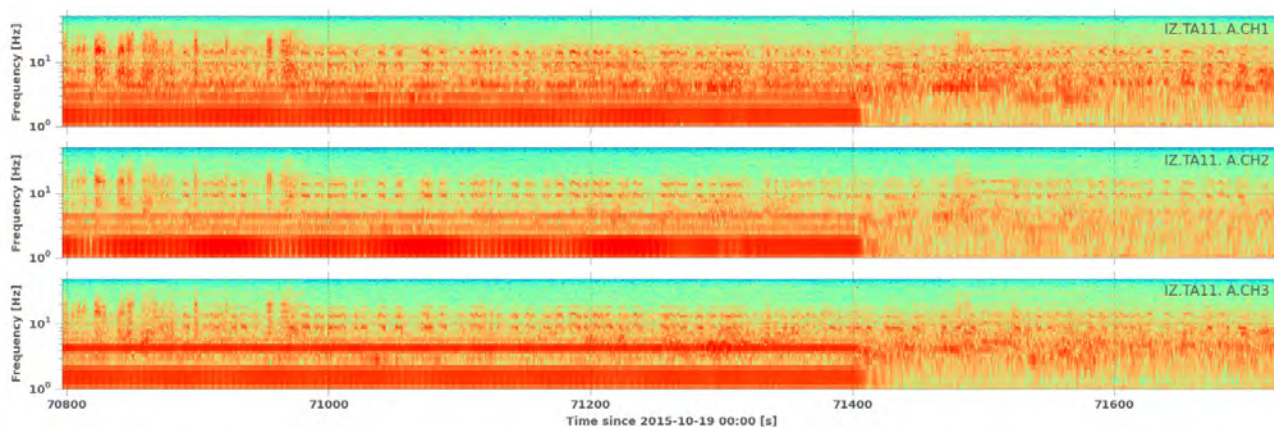


Fig. 2.18 - Spettrogramma delle 3 componenti presenti nella stazione TA11 mostrate in figura 2.17.

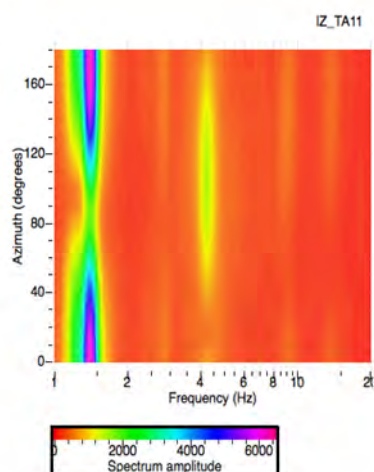


Fig. 2.19 - Energia spettrale polarizzata per la stazione TA11 che mette in evidenza la diversa direzione di polarizzazione del rumore a due differenti frequenze.

L'analisi degli spettri ruotati riportati in figura 2.19, ha permesso di distinguere una direzione preferenziale del rumore per le due diverse frequenze. Per la banda (A) l'azimuth è circa N-S mentre per la banda (B) è circa E-W.

Un terzo tipo di disturbo ricorrente per la stessa stazione, anche se di breve durata, è stato identificato a più alte frequenze (11 Hz). In figura 2.20 sono riportate un esempio delle tracce sismiche in un intervallo temporale che comprende tutta la sua durata.

Lo spettrogramma in figura 2.21, permette di distinguere meglio l'inizio (ore 03:50 GMT) e la fine (ore 03:58 GMT) di tale rumore.

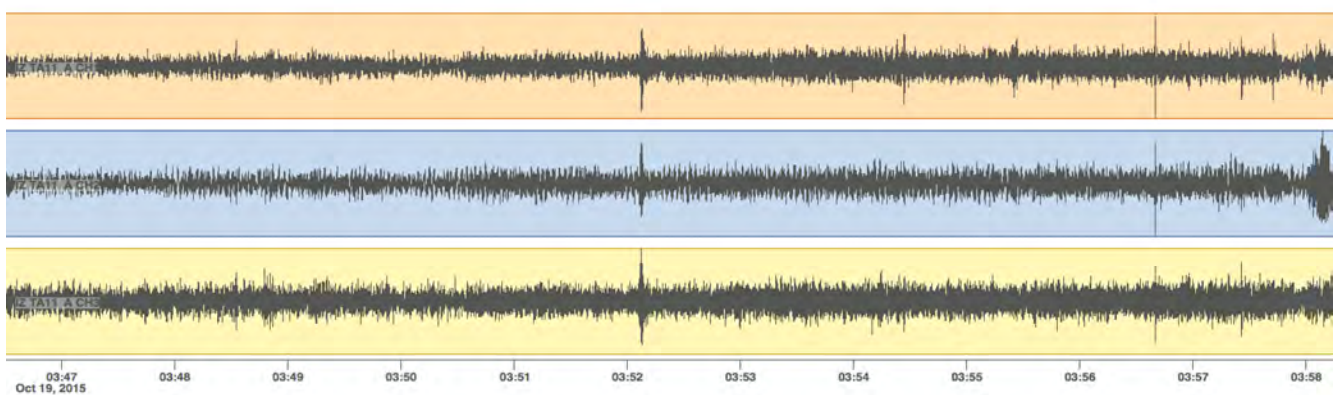


Fig. 2.20 - Tracce sismiche della stazione TA11 contenenti il disturbo a 11 Hz.

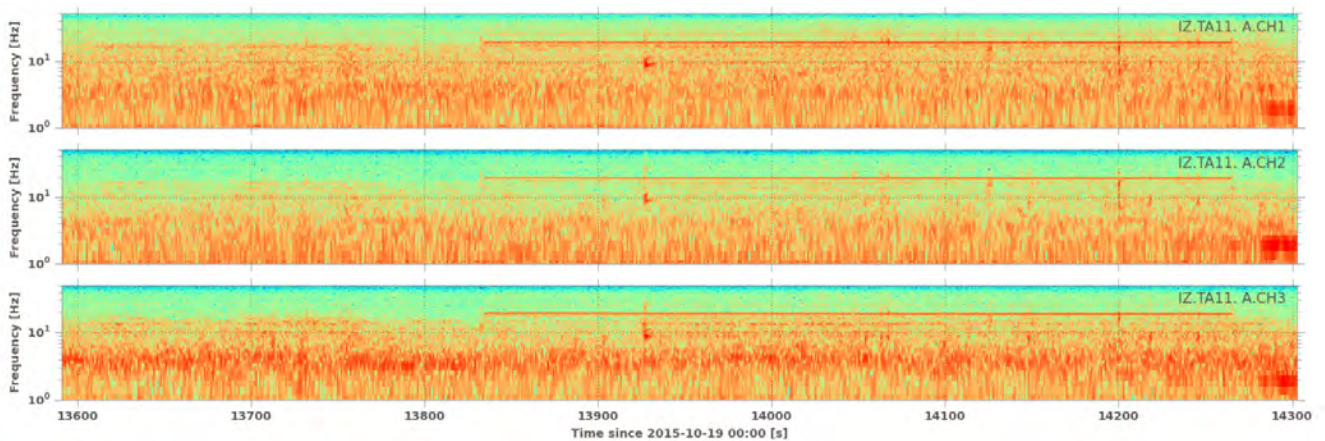


Fig. 2.21 - Spettrogramma delle registrazioni sismiche a 3 componenti per la stazione TA11 di figura 2.20.

Un ulteriore esempio di rumore sismico è mostrato in figura 2.22. Lo spettrogramma mostrato in figura 2.23 ci aiuta a discriminare il contenuto energetico all'interno del segnale sismico. Anche in questo caso è presente durante le ore notturne un rumore di fondo a frequenze comprese tra 6 e 8 Hz. Di seguito è riportato un intervallo temporale in cui a tale rumore di fondo sono sovrapposti transienti impulsivi. Effettuando un'analisi temporale della stazione è possibile affermare che questo

tipo di disturbo è di carattere stazionario. E' stata infine calcolata, attraverso l'analisi degli spettri ruotati, la direzione di polarizzazione del segnale (figura 2.24). La principale direzione corrisponde a un azimuth est-ovest.

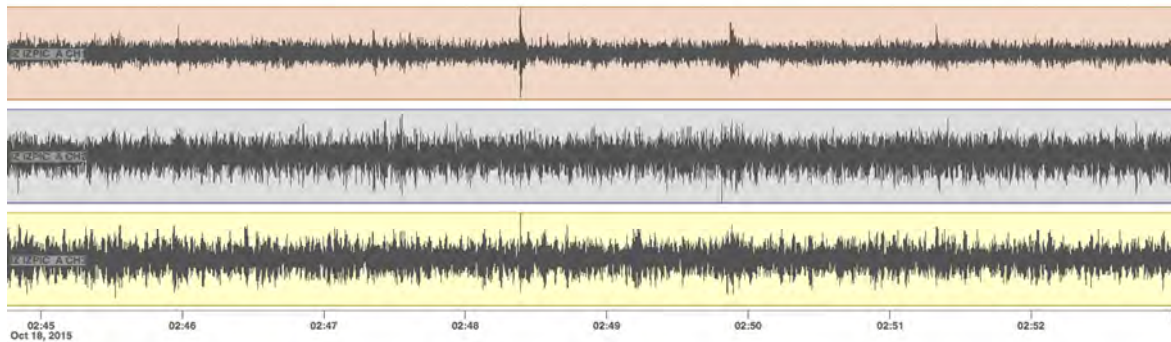


Fig. 2.22 - Tracce sismiche della stazione TA04 (PIC) contenente il disturbo a frequenze tra 6 e 8 Hz sovrapposto ad alcuni transienti impulsivi.

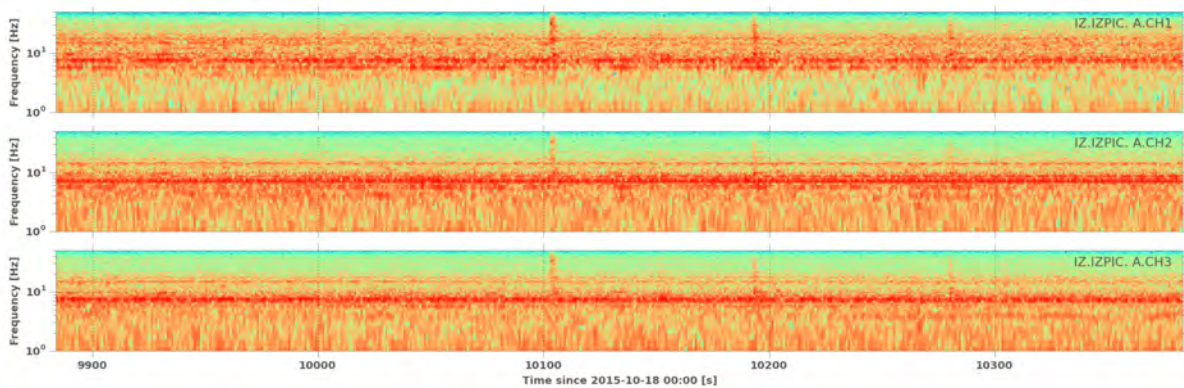


Fig. 2.23 - Spettrogramma delle 3 componenti della stazione TA04 (PIC); si noti il rumore tra 6 e 8 Hz sovrapposto ad alcuni transienti impulsivi corrispondenti alle tracce mostrate nelle figure precedenti.

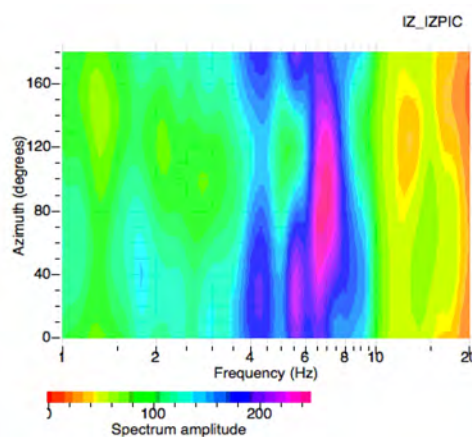


Fig. 2.24 - Polarizzazione dell'energia spettrale per la stazione TA04 (PIC) dove il segnale mostra, per le frequenze corrispondenti al rumore di fondo tra 6 e 8 Hz, una polarizzazione circa est-ovest.

### 2.3 Rapporto segnale/rumore di eventi sismici

L'analisi dettagliata del rumore sismico descritta nel paragrafo precedente, ci consente di determinare le soglie, di contenuto in frequenza e ampiezza minima, oltre le quali non è più possibile discriminare eventi locali dal rumore di fondo (*magnitude threshold*). Il livello di rumore registrato nelle singole stazioni sismiche non è stazionario ma soggetto a notevoli variazioni temporali sia in termini di ampiezza che di frequenza. Nel paragrafo precedente i vari "disturbi" con maggiore contributo energetico sono stati suddivisi in tre bande principali: A (< 2 Hz), B (~ 4 Hz), C (> 8 Hz). Per verificare la capacità della rete ReMoTA di discriminare la sismicità locale, sono stati realizzate una serie di analisi.

Nella figura 2.25a viene mostrata, in una finestra temporale di 60 s, la sovrapposizione di due registrazioni di rumore sismico effettuate nella stazione TA02 (A13): il tracciato verde rappresenta un livello di rumore che potremmo definire "basso" (ampiezza media ~  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s), mentre la traccia blu mostra un livello di rumore che potremmo definire "alto" (ampiezza media ~  $1.5 \cdot 10^{-7}$  m/s) in cui il rumore sismico presenta disturbi nelle bande di frequenza A, B, C precedentemente descritte. Come evidenziano i rispettivi spettri di ampiezza (figura 2.25b), ad eccezione dei picchi nelle bande di frequenze A, B e C, i due spettri di rumore sono sostanzialmente sovrapponibili.

Per confrontare i contributi energetici dovuti ai terremoti locali rispetto al rumore sismico, sono stati sovrapposti i rispettivi spettri di ampiezza. La figura 2.26 mostra un esempio di tale confronto.

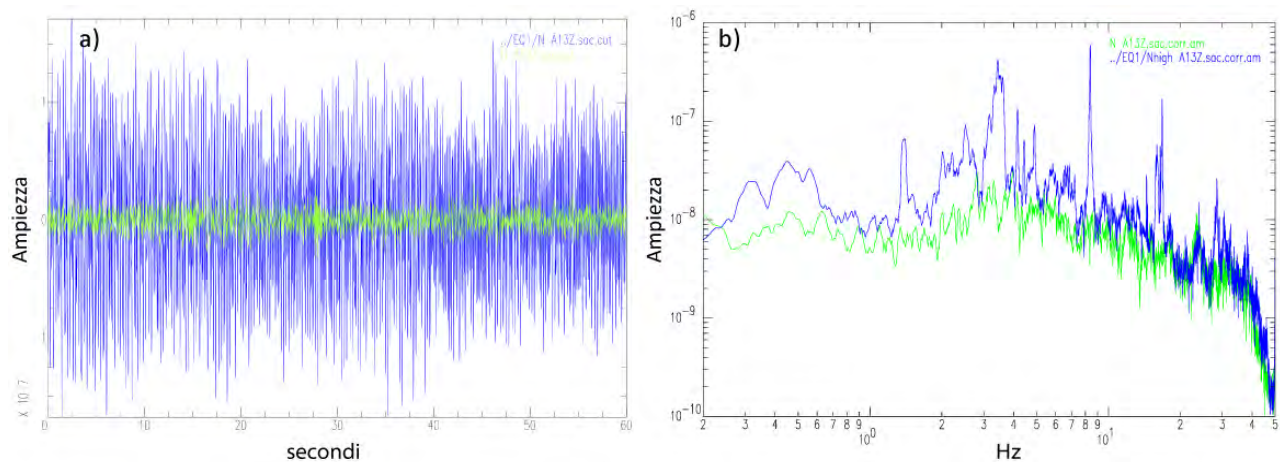


Fig. 2.25 – (a) Due tracciati di rumore sismico, "basso" (in verde) ed "alto" (in blu), registrati alla stazione TA02 (A13) e (b) i rispettivi spettri di ampiezza.

Agli spettri di rumore mostrati in figura 2.25, sono sovrapposti gli spettri di ampiezza di due eventi sismici locali, localizzati da ReMoTa, avvenuti entrambi il 21 dicembre 2014: il primo (in verde) alle ore 14:35:47 (GMT) di  $M_d = 0.8$  (Id 43 in Allegato C), il secondo (in rosso) alle ore 14:40:58 di  $M_L = 2.6$  (Id 44 in Allegato C). Quest'ultimo è presente anche nel catalogo del Bollettino Sismico Italiano dell'INGV (ISIDe - [iside.rm.ingv.it](http://iside.rm.ingv.it) ; Mele et al., 2010a).

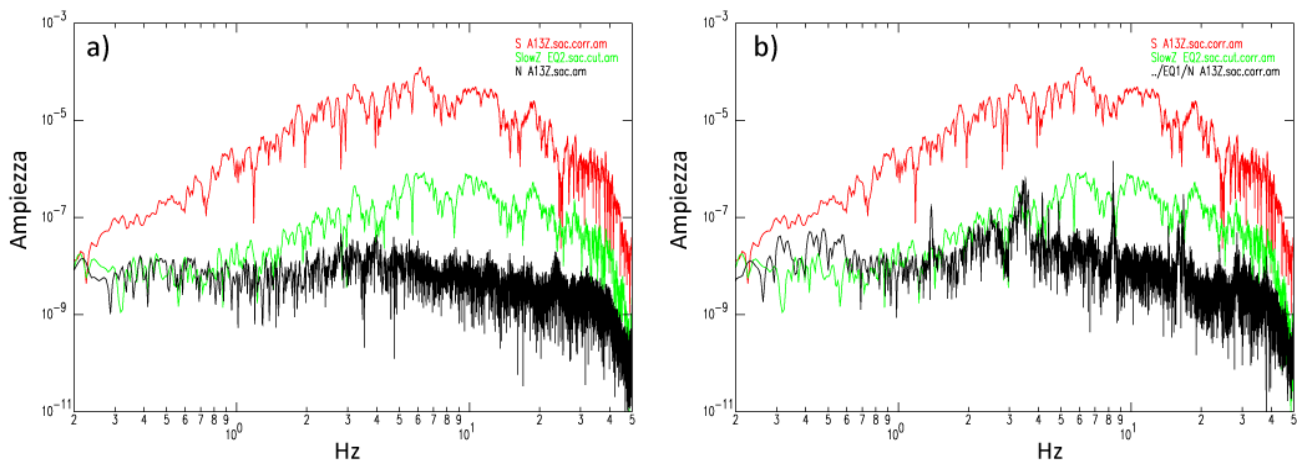


Fig. 2.26 – Confronto degli spettri dei due terremoti ( $M_L = 2.6$  in rosso e  $M_d = 0.8$  in verde) e gli spettri del rumore sismico (in nero) mostrati figura 2.25: a) rispetto al rumore sismico “basso”; b) rispetto al rumore sismico “alto”.

Nella figura 2.26a si evince che, durante i periodi di rumore sismico basso, sia il terremoto di  $M_L = 2.6$  (in rosso) sia l’evento sismico più debole (in verde) sono facilmente discriminabili. Si nota inoltre che il contenuto spettrale di entrambi gli eventi è molto simile e si manifesta nella banda spettrale tra 1 e 50 Hz (con dei massimi tra 4 e 20 Hz). Nel caso di un alto livello di rumore antropico (figura 2.26b), mentre è ancora evidente l’andamento spettrale del terremoto di  $M_L = 2.6$ , la discriminazione dell’evento di  $M_d = 0.8$  è ostacolata dai disturbi presenti nelle bande spettrali A, B e C.

Considerando che il contenuto spettrale di eventi sismici locali si concentra soprattutto a frequenze superiori a 1-2 Hz, l’influenza dei disturbi della banda (A) possono essere eliminati con un semplice filtro passa alto (*highpass*). Per quanto riguarda i disturbi monocromatici ad alta frequenza (banda C), l’applicazione di eventuali filtri “Notch” (filtri a passa banda molto stretti) potrebbe eliminare il contributo del rumore in questione. La gestione del rumore sismico nella banda a  $\approx 4$  Hz (B) è più complessa, per due motivi: (i) il rumore intorno a 4 Hz si propaga quasi attraverso tutta la rete, e (ii) maschera una buona parte del segnale sismico generato da terremoti di bassa magnitudo, rendendo difficile la sua rilevazione (detezione) e la lettura delle fasi P e S. Eventuali filtraggi a posteriori non garantiscono una corretta lettura di polarità del primo arrivo.

Come risulta dalle analisi realizzate nei paragrafi 2.1, 2.2 e 2.3 la qualità delle registrazioni di ReMoTA non è alta. Il livello di rumore, in particolare nella banda di frequenza al di sopra di 1 Hz, risulta essere potenzialmente causa di disturbi rilevanti. Nel capitolo 3 viene stimato quanto la capacità di detezione venga condizionata dal rumore sismico antropogenico.

### 3. Sismicità locale osservata nell'area di Torre Alfina

#### 3.1 Le capacità di ReMoTA

Per valutare la capacità di rilevazione (detezione) della rete sismica installata è necessario paragonare il numero di eventi sismici locali riconosciuti da ReMoTA con gli eventi presenti nel catalogo del Bollettino Sismico Italiano dell'INGV (ISIDe - *iside.rm.ingv.it*; Mele et al., 2010a). A tale scopo, alle tracce prefiltrate, è stato applicato un algoritmo (*trigger*) per il calcolo del rapporto STA/LTA (*short time average/long time average*). Sono stati effettuati una serie di test preliminari per determinare i parametri STA/LTA ottimali, che consentono la discriminazione degli eventi esclusivamente locali. Per il momento è stata fatta la seguente scelta: Filtro passa alto con *corner frequency* a 10 Hz, lunghezza finestra STA 1.0s, lunghezza finestra LTA 10 s, Ratio 10, level 0.30.

Come evidente nelle figure 3.1 e 3.2, la scelta di tali valori garantisce la detezione degli eventi locali ed esclude telesismi ed eventi sismici regionali. La figura 3.1, mostra le detezioni (linee rosse verticali) del *trigger* applicato per il giorno 21-dic-2014. Le linee rosse indicano gli eventi che appartengono ad una sequenza sismica con epicentri a pochi chilometri a ovest di Castel Giorgio. Nello stesso giorno si sono verificati due terremoti con Magnitudo M2.9 (00:49:48 GMT) e M3.0 (17:02:41 GMT) a circa 120 km a Nord nei pressi di Greve in Chianti, ma l'impostazione del trigger ignora correttamente la segnalazione di tali eventi (evidenziati con la scritta "EVENT").

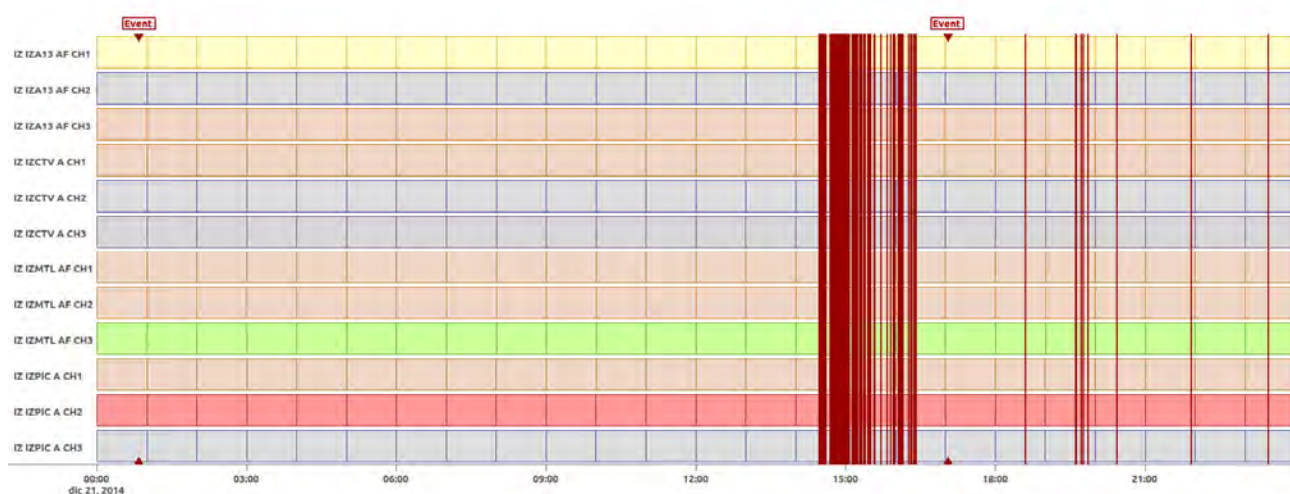


Fig. 3.1 - Esempio di applicazione del trigger STA/LTA su 24 ore di registrazioni in data 21-dic-2014. Ogni linea rossa verticale indica la detezione di un evento sismico locale. La scritta "EVENT" segnala due terremoti nel Chianti non discriminati automaticamente dalle impostazioni del trigger.

Il trigger STA/LTA applicato ai dati registrati da ReMoTA permette di discriminare un significativo aumento di eventi riconosciuti rispetto a quanto riportato nel catalogo ISIDe (Mele et al 2010a) evidenziando l'incremento di sensibilità sismica permesso da ReMoTA. Ad esempio, la figura 3.2 mostra che, precedente al primo evento riportato da ISIDe (14:40:58 GMT; Id 44 in Allegato C) ReMoTA è stata in grado di discriminare una serie di eventi sismici meno intensi non localizzati dalla rete nazionale. Infine le stesse impostazioni del trigger STA/LTA sono state applicate a delle

registrazioni di ReMoTA in giornate con attività sismica elevata (come riportato da ISIDe) nel periodo dal 1-nov-2014 al 30-nov-2015. La tabella 4 elenca il numero di eventi sismici individuati da ReMoTA, alcuni dei quali localizzati e parametrizzati sono elencati nell’Allegato C di questo rapporto, confrontati con il numero di eventi sismici localizzati dalla rete nazionale INGV e riportati in ISIDe.



Fig. 3.2 - Esempio di applicazione del trigger STA/LTA su 16 minuti di registrazioni in data 21-dic-2014. ReMoTA riesce a discriminare degli eventi locali meno intensi anche prima del primo evento riportato da ISIDe 14:40:58 GMT.

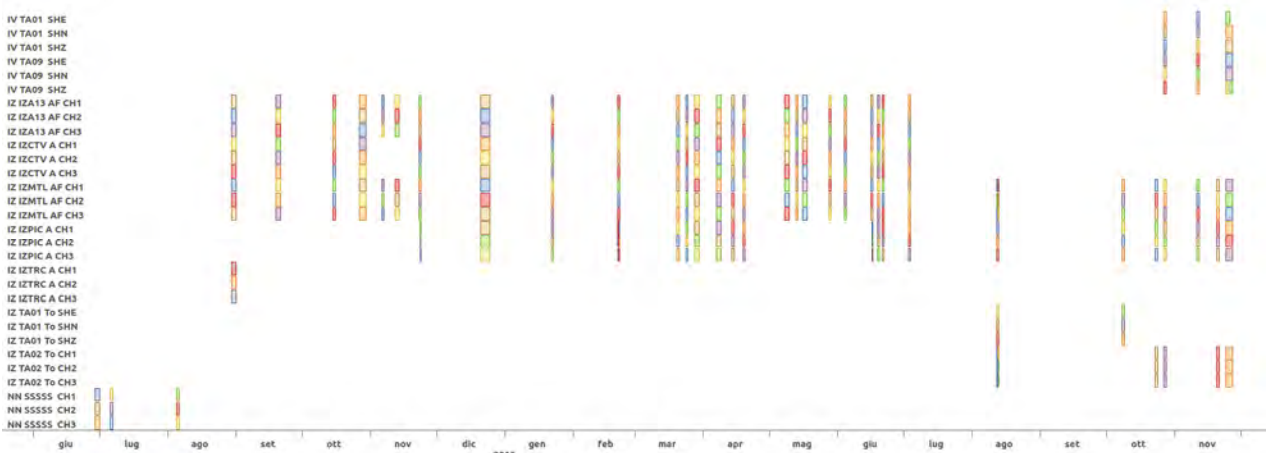


Fig. 3.3 - Esempio di applicazione del trigger STA/LTA a delle registrazioni di ReMoTA in giornate con attività sismica elevata (come riportato da ISIDe) per il periodo dal 1-nov-2014 al 30-nov-2015.

Data	N° eventi r=25 km da Castel Giorgio (ISIDe)	N° localizzazioni (ReMoTA)	N° detezioni (ReMoTA)	N° stazioni (ReMoTA)
29-giu-2014	1	2	5	1
30-giu-2014	1*	-	0	1
06-lug-2014	1	-	3	1
05-ago-2014	1	-	1	1
30-ago-2014	0	6	8	4
31-ago-2014	1	2	3	4
19-set-2014	0	2	2	3
20-set-2014	1	2	4	3
15-ott-2014	1	-	1	3
27-ott-2014	0	2	2	3
28-ott-2014	1	1	1	3
29-ott-2014	0	1	1	3
06-nov-2014	4	8	23	2
12-nov-2014	1	1	25	2
13-nov-2014	0	7	8	2
23-nov-2014	1	1	1	3/4
21-dic-2014	10	94	127	4
22-dic-2014	0	8	8	4
23-dic-2014	0	12	17	4
24-dic-2014	1	41	41	4
22-gen-2015	1	-	2	4
21-feb-2015	1	-	5	4
20-mar-2015	1	-	1	4
24-mar-2015	2	3	5	4
28-mar-2015	1	29	48	4
29-mar-2015	0	2	2	4
07-apr-2015	0	1	1	4
08-apr-2015	3	6	6	4
14-apr-2015	1	1	2	4
19-apr-2015	1*	-	1	4
08-mag-2015	1*	-	0	3
09-mag-2015	1	2	1	3
13-mag-2015	1	-	2	3
16-mag-2015	0	1	9	3
17-mag-2015	1	2	2	3
28-mag-2015	1	-	2	3
04-giu-2015	1	-	1	3
16-giu-2015	1	-	3	3/4
19-giu-2015	1	3	5	4
21-giu-2015	1	-	4	4
03-lug-2015	1*	-	0	4
12-ago-2015	1*	-	0	4
08-ott-2015	2*	-	0	3
23-ott-2015	1	-	0	3
27-ott-2015	1	1	2	5
11-nov-2015	2	-	2	4
24-nov-2015	1	31	28	5
25-nov-2015	1	10	10	5
26-nov-2015	1	6	6	5
Totale	46	289	431	-

Tab. 4 – Eventi presenti in ISIDe in un raggio di 25 km da Castel Giorgio comparati con quelli individuati (trigger) da ReMoTA. Gli eventi contrassegnata da “\*” sono al di fuori del DE (si veda Allegato C per un dettaglio delle localizzazioni).



Dalla tabella 4 si nota, ad esempio, che della sequenza sismica del 21 dicembre 2014 rappresentata nel catalogo ISIDe da 10 eventi, ReMoTA individua 127 eventi incrementando notevolmente il dettaglio dell'evoluzione della sequenza stessa. Inoltre, nei 3 giorni successivi alla sequenza principale, a fronte di un unico evento riconosciuto dalla rete nazionale il 24 dicembre 2014, ReMoTA registra un totale di 66 eventi (8 il 22 dicembre, 17 il 23 dicembre e 41 il 24 dicembre).

Mediamente, per il periodo di tempo considerato, ReMoTA è stata in grado di aumentare di circa 10 volte la capacità di detezione sismica rispetto alla rete nazionale INGV (46 eventi presenti in ISIDe a fronte di 431 eventi registrati da ReMoTA). Come si evince anche dalla figura 3.3, in questa fase sperimentale, il numero di stazioni utilizzate per l'analisi è variabile nel tempo. Si noti che alla data finale della finestra temporale considerata (26 novembre 2015) la configurazione utile di ReMoTA era rappresentata da un massimo di 5 stazioni mentre la configurazione attuale è costituita da 10 stazioni operative (tabella 1).

## **3.2 L'attività sismica analizzata**

La sismicità locale è stata analizzata nel periodo compreso tra giugno 2014 e dicembre 2015. Le uniche registrazioni precedenti al suddetto periodo sono relative alla stazione accelerometrica CVIS, in dotazione alla Regione Umbria, e ubicata nel Comune di Castel Viscardo (figura 1.1). Tali registrazioni mostrano solo eventi di natura antropica prodotti da una cava estrattiva situata nei pressi di Castel Viscardo (tabella 6).

### **3.2.1 Localizzazione degli eventi**

In questa prima fase di analisi della sismicità, la base di partenza è stata il catalogo del Bollettino Sismico Italiano dell'INGV estratto da [iside.rm.ingv.it](http://iside.rm.ingv.it) (Mele *et al.*, 2010a), nel periodo 1 giugno 2014 – 31 dicembre 2015 in un raggio di 25 km da Castel Giorgio, che comprende i 62 eventi riportati con i blu in figura 3.4.

I tagli delle registrazioni in continuo delle stazioni della rete locale sono stati eseguiti sugli eventi selezionati dal catalogo del Bollettino Sismico Italiano dell'INGV. In alcuni casi, sono stati analizzati anche i dati dei giorni precedenti e successivi ad eventi ravvicinati ed in questo modo, sono stati recuperati molti micro-terremoti non registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale. Per il periodo giugno 2014 – dicembre 2015 sono stati analizzati finora 106 giorni.

Tutti i terremoti sono stati localizzati con il programma Hypoellipse (Lahr, 1999) utilizzando i dati delle stazioni locali integrati con le letture riviste del Bollettino Sismico Italiano dell'INGV. Per gli eventi più piccoli di cui non si disponeva di localizzazioni INGV, sono state comunque analizzate le registrazioni in continuo delle stazioni della Rete Sismica Nazionale più vicine (SACS, LATE, MGAB, MCIV), che hanno permesso di recuperare molte fasi e vincolare meglio le localizzazioni. Il modello di velocità usato per le localizzazioni è quello calcolato per l'ENEL da Batini *et al.* (1980) per i primi 3 km, mentre per gli strati più profondi è stato utilizzato quello del programma di localizzazione prodotto e utilizzato presso l'INGV per generare i cataloghi sismici (tabella 5), il rapporto  $V_p/V_s$  è 1.73 km/s.

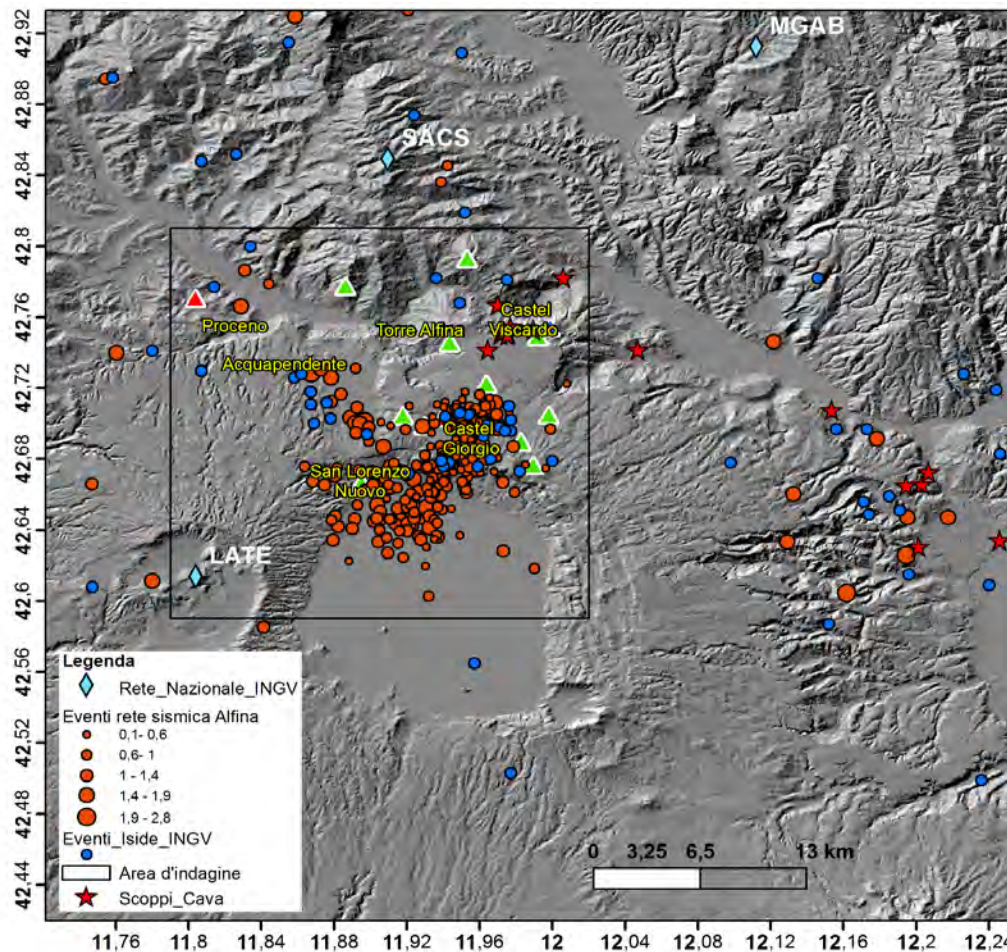


Fig. 3.4 - Mappa della sismicità estratta dal catalogo del Bollettino Sismico Italiano dell'INGV (cerchi blu) e dei 289 terremoti localizzati da ReMoTA (cerchi arancioni) per i 106 giorni analizzati nel periodo giugno 2014 – dicembre 2015. Le stelle rosse rappresentano probabili scoppi in cava. I triangoli verdi e rossi indicano le stazioni ReMoTA. Il rettangolo in nero evidenzia l'area di indagine mostrata nelle figure 3.5 e 3.6.

$V_p$ (km/s)	Depth (km)
3.00	0.0
5.50	1.1
6.00	3.0
6.50	11.0
8.05	38.0

Tab. 5 - Modello di velocità usato per le localizzazioni.

I primi eventi sismici localizzati con l'integrazione dei dati della rete locale e della Rete Sismica Nazionale dell'INGV sono del 29 giugno 2014. Al momento, l'ultimo evento elaborato è relativo al 26 novembre 2015 (tabella 4 e Allegato C).

Questo tipo di analisi, seppur parziale, ha permesso di localizzare 307 eventi, registrati da almeno 3 stazioni, a fronte dei circa 62 presenti nel catalogo ISIDe. Nella figura 3.4 sono rappresentati i terremoti registrati da almeno 4 stazioni e 8 fasi per un totale di 289 eventi (cerchi arancioni), gli eventi presenti in ISIDe (cerchi blu) ed eventi di tipo antropico (stelle rosse), probabilmente attribuibili alle attività estrattive delle cave presenti nella zona.

Nel periodo analizzato la sismicità risulta distribuita in modo non uniforme sia spazialmente sia temporalmente: tre piccoli cluster (figura 3.5 e 3.6) sono avvenuti in tre zone distinte e in tre differenti finestre temporali.

La prima sequenza (*cluster*), avvenuta tra il 21 e il 24 dicembre 2014, (cerchi rossi della figura 3.5) risulta localizzata a sud-ovest del centro abitato di Castel Giorgio, ed è costituita da circa 160 eventi con profondità ipocentrali per lo più comprese tra 4 e 8 km e Magnitudo massima  $M_L = 2.6$ , calcolata con le stazioni della Rete Sismica Nazionale. Si noti che questi eventi ricadono quasi al centro del DI, corrispondente all'area che ospiterà gli impianti di futura produzione di energia geotermica, e sono stati registrati mediamente da 4-5 stazioni locali oltre che da quelle della Rete Nazionale.

Il *cluster* successivo, occorso dal 24 al 30 marzo 2015 (cerchi blu nella figura 3.5) risulta localizzato ad ovest del precedente tra le località di Grotte di Castro e San Lorenzo Nuovo, nella parte meridionale del DE, ed è stato registrato mediamente da 3-4 stazioni. Questo cluster è costituito da circa 60 eventi con profondità ipocentrale tra 4 e 6 km e magnitudo massima  $M_d = 1.7$ .

Il *cluster* più recente (cerchi verdi nella figura 3.5), avvenuto tra il 24 e 25 novembre 2015, è stato localizzato a sud dei primi due, sul bordo settentrionale del lago di Bolsena. Gli eventi, registrati mediamente da 7-8 stazioni sismiche, sono stati circa 50, con profondità ipocentrali di circa 5-6 km e magnitudo massima  $M_d = 1.9$ .

Prendendo in considerazione solo le localizzazioni migliori (indici di qualità A e B forniti da Hypoellipse) che ricadono nell'area in esame (figure 3.4 e 3.5), sono stati selezionati 240 eventi per tutto il periodo e per i singoli cluster, dal primo al terzo, rispettivamente 152, 25 e 38 eventi. I cluster con solo le localizzazioni di qualità A e B sono rappresentati lungo due sezioni orientate SW-NE e NE-SW in figura 3.6.

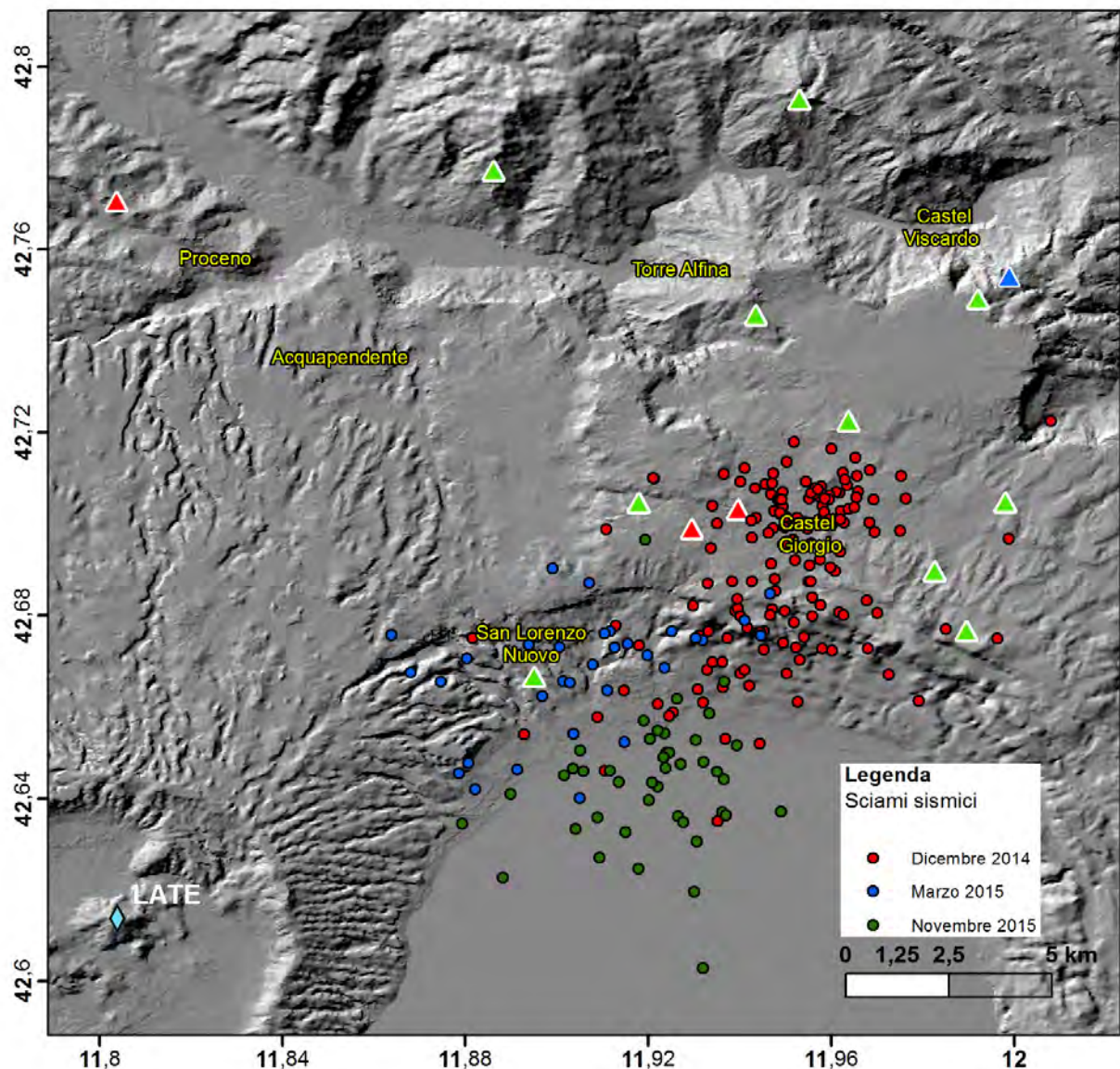


Fig. 3.5 - Dettaglio dell'area di indagine (evidenziata dal rettangolo in figura 3.4) con mappa dei cluster avvenuti nel dicembre 2014, marzo 2015 e novembre 2015. I triangoli verdi e rossi indicano le stazioni della rete locale di Torre Alfina. Il triangolo azzurro indica la stazione (CVIS) della regione Umbria ubicata a Castel Viscardo. Il rombo celeste indica l'unica stazione della rete sismica nazionale che ricade nell'area di indagine.

### 3.2.2 Meccanismi focali

E' stato possibile determinare i meccanismi focali per 8 eventi, un terremoto di  $M_L = 2.8$  appartenente alla sismicità di background e 7 eventi dello sciame del dicembre 2014 (figura 3.6). Le soluzioni focali risultano generalmente di tipo distensivo con una piccola componente strike.

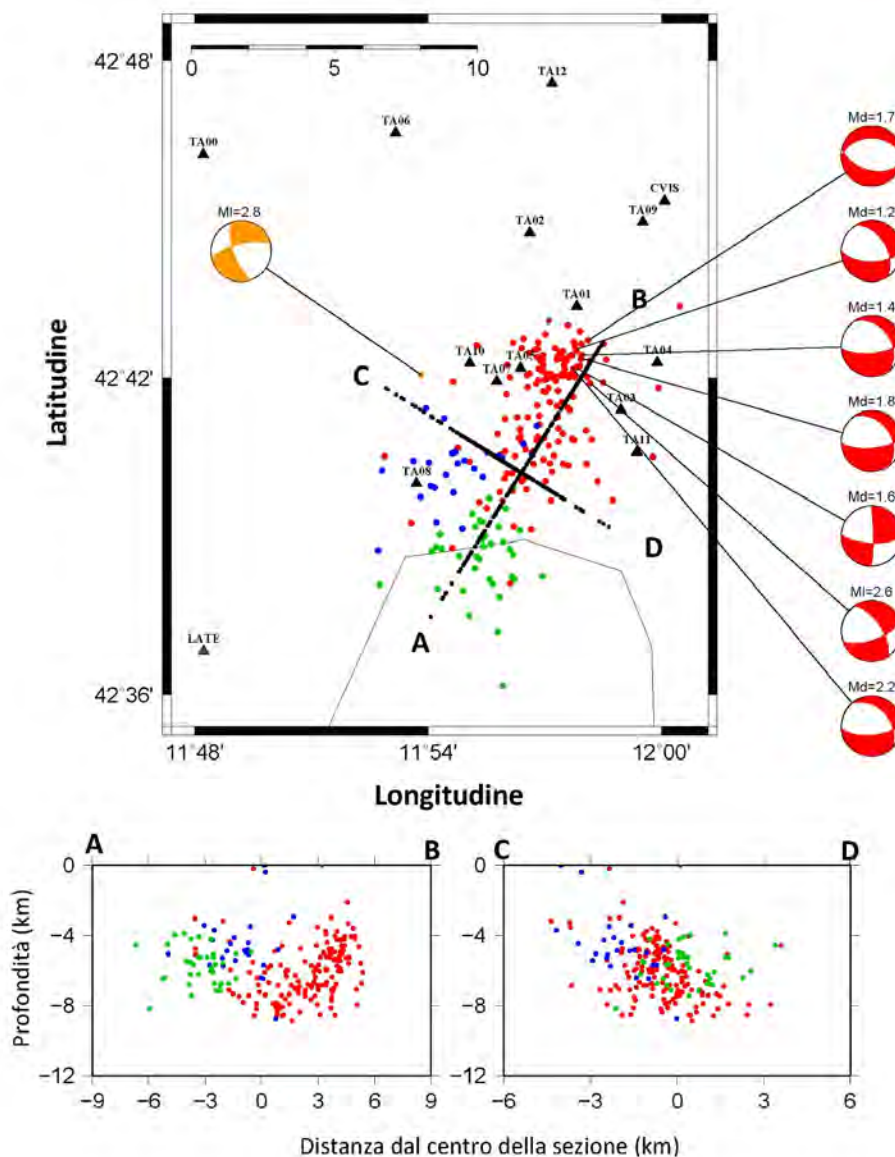


Fig. 3.6 – Mappa, in alto, e sezioni verticali, in basso, dei tre sciami localizzati in questo studio: in rosso lo sciame di dicembre 2014, in blu lo sciame di marzo 2015 e in verde lo sciame di novembre 2015. Sulla mappa in alto sono riportati i meccanismi focali: in rosso quelli relativi allo sciame del dicembre 2014 e in arancio quello relativo all'evento più forte della sismicità di fondo. La zona colorata è relativa all'area in distensione. Le magnitudo sono riportate accanto alla soluzione. Nella mappa sono indicate, con i triangoli neri, le stazioni della rete locale e le rispettive sigle; il triangolo blu mostra la stazione LATE della rete nazionale che è la più vicina all'area in esame. Le linee nere sulla mappa indicano le tracce dei profili riportati in basso. Tutti gli eventi degli sciami sono riportati nelle sezioni.

Gli eventi con  $M_L = 2.8$  e  $M_L = 2.6$  presentano componente strike maggiore. Solo un evento presenta una soluzione strike quasi pura e un altro evento è quasi un normale puro. Gli assi T sono orizzontali e sub-orizzontali con direzione NNE-SSW per 6 degli 8 eventi, mentre risultano orientati NE-SW per gli altri 2 eventi. Le profondità ipocentrali degli eventi con soluzione focale sono comprese tra 5 e 7 km.

### 3.2.3 Magnitudo

La magnitudo durata  $M_d$  degli eventi localizzati è stata calcolata utilizzando l'equazione empirica utilizzata nel codice Hypoellipse (Lee et al., 1972; Lahr et al., 1975; Bakun and Lindh, 1977)

$$M_d = C_1 + C_2 \log_{10}(D \cdot c) + C_3 E + C_4 Z + C_5 (\log_{10}(D \cdot c))^2$$

dove, nel nostro caso:

$C_1 = -0.87$ ,  $C_2 = 2$ ,  $C_3 = 0.0035$ ,  $C_4 = 0$ ,  $C_5 = 0$ ,  $D =$  durata (s),  $E =$  distanza epicentrale (km),  $Z =$  profondità ipocentrale (km) e  $c = 1$  da cui

$$M_d = -0.87 + 2 \log_{10}(D) + 0.0035E$$

La figura 3.7 mostra la distribuzione delle magnitudo per i 289 eventi sismici localizzati con 4 stazioni e 8 fasi, mostrati in figura 3.5.

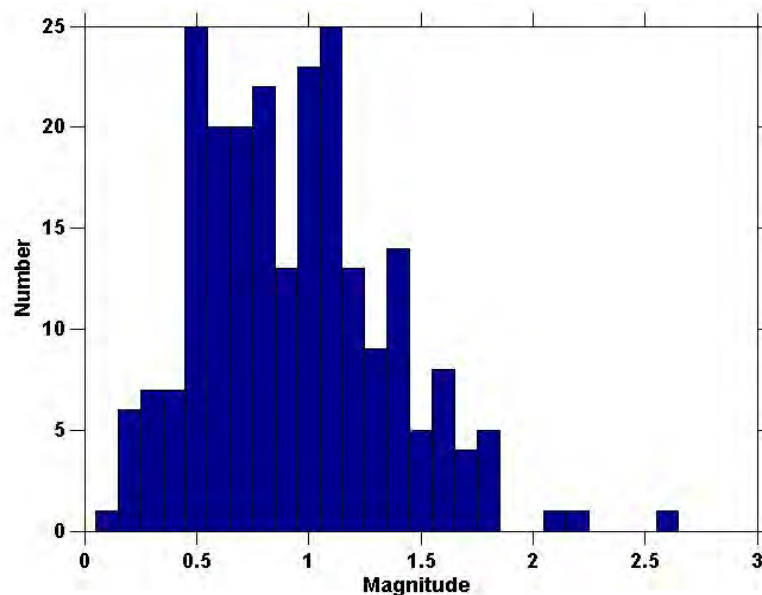


Fig. 3.7 - Istogramma della distribuzione della  $M_d$  per gli eventi appartenenti agli sciami descritti nel testo.

### 3.2.4 Eventi non tettonici

Nella figura 3.4, oltre all'attività sismica, sono mostrati eventi di probabile origine antropica. Nell'area di studio, infatti, sono presenti diverse cave e alcuni centri industriali. La localizzazione e le relative stime della magnitudo durata ( $M_d$ ) dei 19 eventi mostrati nella figura 3.4 sono elencati in tabella 6.

Anno	Mese	Giorno	h	m	ss.ss	Latitude	Longitude	$M_d$
2014	09	19	07	01	1216	42,7507	11,9715	2.1
2014	10	27	08	24	4339	42,7515	11,97583	1.9
2014	11	07	08	32	5263	42,7673	11,97	1.8
2014	11	12	08	30	0895	42,7547	11,977	1.8
2014	11	13	07	19	0030	42,666	12,20333	1.8
2014	12	19	07	23	5542	42,628	12,285	2.2
2014	12	22	07	37	0698	42,7522	11,97317	1.9
2015	03	24	07	01	0502	42,7078	12,15367	1.8
2015	03	25	08	10	4022	42,6728	12,207	1.9
2015	03	26	09	03	3576	42,7418	11,96467	2.0
2015	04	08	09	02	3590	42,7825	12,00617	1.6
2015	04	15	06	39	5501	42,753	11,98983	1.7
2015	05	07	07	33	5059	42,7418	12,04717	1.8
2015	05	18	06	30	0675	42,7502	11,9755	2.0
2015	06	19	10	01	3740	42,6343	12,24617	2.4
2015	10	27	09	05	4191	42,6307	12,2015	1.9
2015	11	24	07	49	2462	42,6653	12,19467	2.0
2015	11	24	09	53	0148	42,8162	11,534	2.1
2015	11	26	10	04	2818	43,3472	11,0865	2.1

Tab. 6 – Elenco degli eventi attribuiti a scoppi di cava registrati da ReMoTA

La figura 3.8 mostra una cava situata tra i comuni di Torre Alfina e Castel Viscardo e le localizzazioni dei probabili scoppi (simboli rossi). Come esempio, quattro registrazioni di un segnale relativo ad un probabile scoppio avvenuto il 19 settembre 2014 (tabella 6) sono mostrate in figura 3.9. La magnitudo  $M_d$  equivalente, associata a tale evento, è risultata uguale al valore di 2.1.

La figura 3.9 mostra il sismogramma delle componenti verticali di questo scoppio di cava registrato dalle stazioni TA01, TA02, TA03, TA05 (per la loro ubicazione si veda la figura 1.2). L'osservazione di questi segnali consente di evidenziare alcune caratteristiche comuni, utili per discriminare e riconoscere le registrazioni legate a esplosioni in cava (Mele et al., 2010). La caratteristica più evidente, comune a quasi tutti i sismogrammi, è l'inizio compressivo della fase P, caratteristica peculiare di una esplosione. In alcuni casi questo inizio è impulsivo, in altri emergente, ma sempre compressivo.

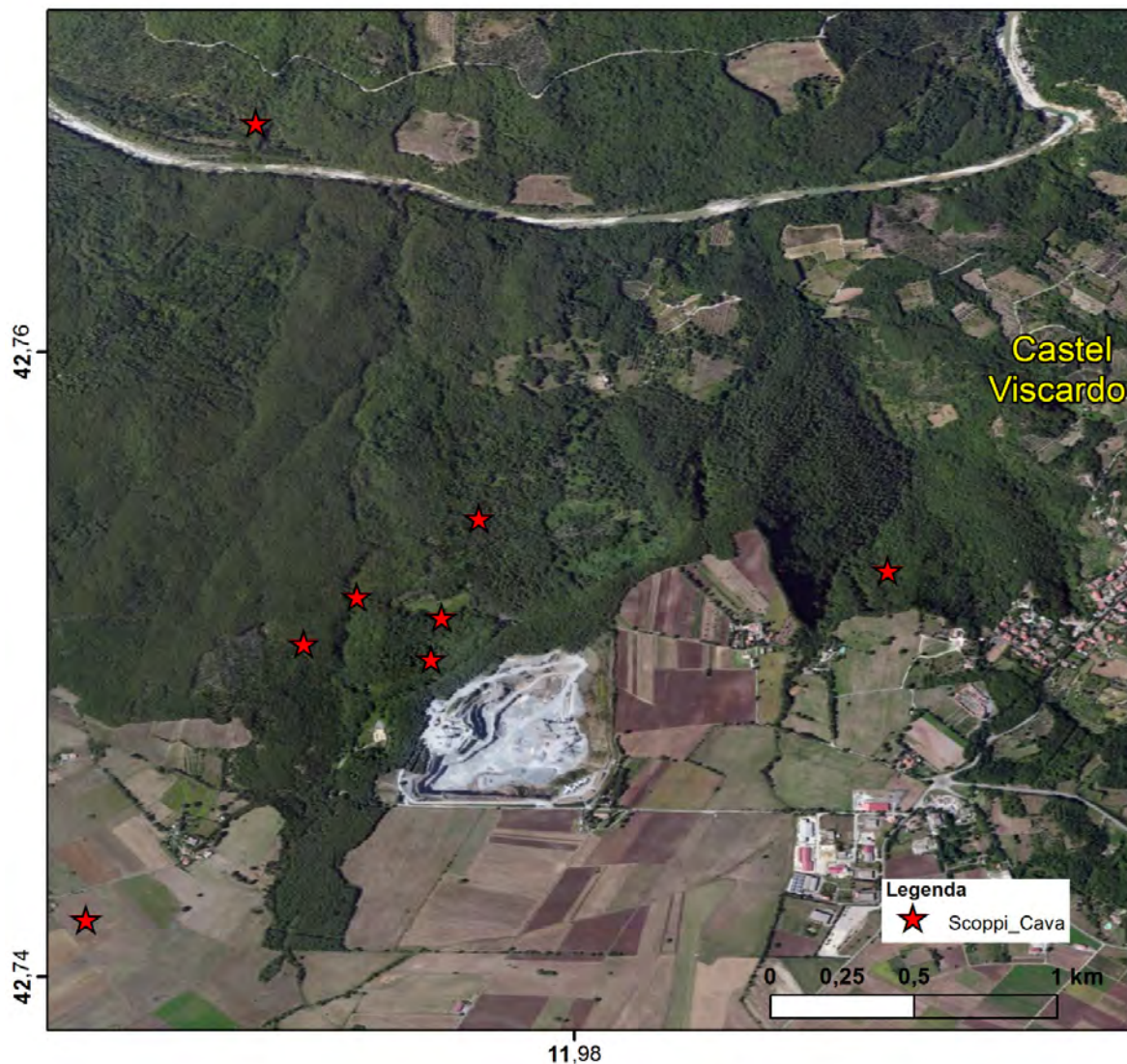


Fig. 3.8 - Dettaglio di alcuni eventi di probabile natura antropica (stelle rosse) riconducibili all'attività di una cava estrattiva visibile al centro della figura.

Altra caratteristica comune è la presenza di un secondo arrivo dopo la fase P che, interpretato erroneamente come una fase S, introduce nella localizzazione ipocentrale un errore che si concretizza nella non corretta stima della profondità; pertanto quest'ultima non può essere in genere utilizzata come elemento discriminante per individuare le esplosioni. In realtà questo secondo arrivo potrebbe essere dovuto a un'onda P convertita in S in corrispondenza di una eventuale discontinuità superficiale, oppure potrebbe indicare l'arrivo di un'onda superficiale. I quattro sismogrammi mostrano dei segnali monotoni a bassa frequenza con la presenza di un segnale ad alta frequenza sovrapposto nei primi secondi di registrazione. La distribuzione oraria dei terremoti registrati in una determinata area può essere infine utilizzata come discriminante per riconoscere eventi di natura



tettonica da quelli di origine antropica; la concentrazione di questi in determinati orari e nei giorni lavorativi è un indizio ulteriore al loro riconoscimento.

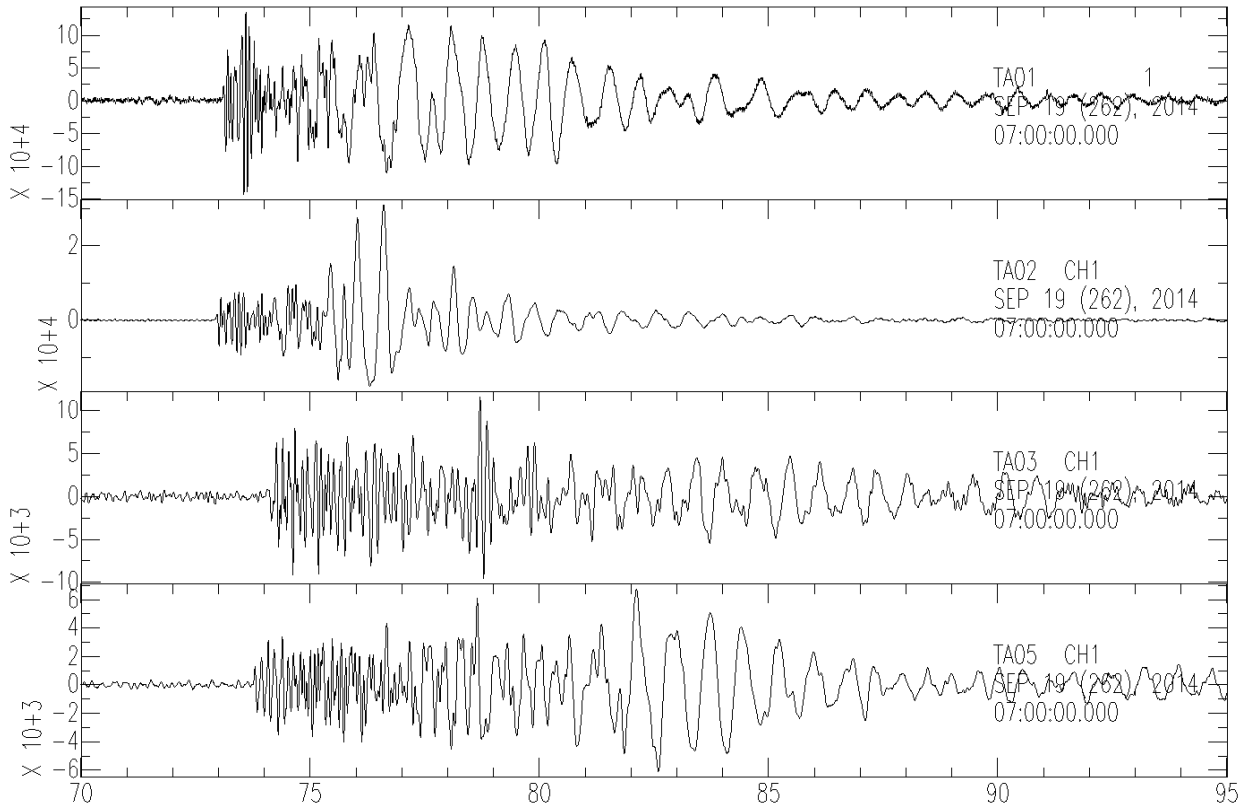


Fig. 3.9 – Sismogrammi delle componenti verticali registrati nelle stazioni TA01, TA02, TA03 e TA05 relativi ad uno scoppio di cava avvenuto il 19 settembre 2014 ( $M_d = 2.1$ ; si veda tabella 6).

## 4. Futura configurazione di ReMoTA

### 4.1 Sistema di trasmissione dati in tempo reale

La rete di monitoraggio sismico predisposta utilizzerà un'infrastruttura di comunicazione basata su protocollo TCP/IP e sistemi misti di trasmissione dati, composti da (i) rete cellulare, (ii) rete internet (ADSL) e (iii) rete satellitare dedicata internet (Open-Sky) e, in funzione della disponibilità e copertura locale, tramite rete VPN (*Virtual Private Network*). Le reti VPN si basano su una architettura *client-server* per cui i nodi remoti (*client*) si collegano ad un nodo centrale (*server*) per l'autenticazione e l'acquisizione di un indirizzo IP. In questo modo la connettività della rete è garantita anche con nodi collocati all'interno di diverse reti informatiche o di diversi gestori. Sia la stazione sismica che l'apparato di comunicazione diventano indipendenti l'uno dall'altro. Ovvero è possibile utilizzare qualsiasi apparato di comunicazione con uno qualsiasi degli acquisitori mantenendo inalterata l'architettura della rete VPN. Inoltre la stazione sismica (dove risiede il *client* VPN) può essere spostata all'interno di qualsiasi rete informatica purché possa ottenere accesso ad internet, e attraverso questa raggiungendo il *server* potrà collegarsi a qualsiasi altro apparato e a sua volta essere accessibile dagli altri. Ogni stazione sismica connessa ad internet, utilizzerà un protocollo di crittografia SSL con chiavi e certificati dedicati stazione per stazione facenti capo al server VPN dedicato.

La predisposizione degli apparati a tale architettura è già predisposta negli strumenti acquistati dalla SARA Electronic Instruments srl.

Per quanto riguarda l'accessibilità alla rete internet in termini di copertura telefonica, dai rilievi finora eseguiti si è evidenziata una copertura mista nella zona fra i gestori TIM, Wind e Vodafone. Si raccomanda l'uso dei primi due gestori in quanto Vodafone potrebbe non garantire la connettività di più di un apparato simultaneamente. Quest'ultimo aspetto risulta essere potenzialmente discriminante in fase di manutenzione e nel caso si renda necessario applicare, ad una delle connessioni, altri apparati di monitoraggio. In caso di mancanza di copertura di rete mobile si consiglia l'uso di un router satellitare (Open-Sky).

Tramite la rete VPN ogni nodo della rete diventa un punto di accesso per tutti gli altri, sviluppando così una infrastruttura flessibile e pratica. La sicurezza della rete è garantita dal sistema crittografico/chiavi di accesso/certificati elettronici precedentemente descritto. Un operatore che debba accedere alla rete (incluso l'accesso al *server*) potrà farlo installando sul proprio computer o tablet, il software relativo alla VPN e i certificati ad essa associati. Essendo collegati via VPN, tutti gli apparati potranno trasmettere i loro flussi dati in tempo reale al *server* centrale. Attualmente il *server* è ospitato presso SARA electronic instruments srl sia come gestione della VPN che come registrazione dei dati in tempo reale tramite flussi SEEDLink.

Il flusso di dati legato all'interazione fra le varie stazioni, fra stazione e server e fra utente e stazioni è condizionato dalla tipologia di contratto di connettività dati stipulati con i singoli gestori. Si raccomanda di prevedere come minimo un *plafond* di 2Gbytes di dati mensili per stazione, di solito facilmente disponibili presso qualsiasi gestore telefonico. TIM per le SIM card machine-to-machine

offre normalmente 5 Gbytes. Wind offre di base 2Gbytes. Opensky offre numerosi pacchetti, fra i quali quello base di telemetria garantisce una banda di 256kbit senza limiti di traffico.

Per la telefonia mobile si possono utilizzare sia apparati commerciali che di tipo industriale. I costi variano da circa 200,00 € a oltre 1000,00 €, a seconda della tipologia e delle funzionalità offerte. Alcuni ad esempio, incorporano 2 SIM in modo da scegliere l'una o l'altra a seconda del gestore in quel momento disponibile. Per gli apparati SAT, si consiglia l'acquisto presso lo stesso gestore con cui si stipula in contratto di connettività (es. Open-Sky o altri) in modo che rispondano perfettamente alle esigenze tecniche richieste. I costi sono di solito modesti (es. < 500,00 euro).

Come accennato precedentemente, è in corso un primo test di connettività. Il giorno 11 febbraio 2016, due stazioni sono state connesse alla VPN. In località Pozzo A13 (TA02) è stata riscontrata la necessità di applicare antenna SAT per mancanza di copertura mobile affidabile. In località Montiola (TA03) è stata riscontrata la possibilità di avere connettività Wind, ma non TIM. In località Casa Pisana (TA04) è presente in modo affidabile sia la connettività Wind che TIM. I due apparati di Montiola (TA03) e Casa Pisana (TA04) sono al momento collegati in VPN.

#### **4.2 Data storage e data processing**

I dati acquisiti vengono registrati in 3 modi diversi:

- I. in continuo sulla macchina locale (stazione sismica)
- II. in continuo sulla macchina centrale (server)
- III. in modalità *trigger*, ossia in modo autonomo sulla macchina locale. [Nota: in questo caso i files registrati vengono poi inviati automaticamente al server centrale tramite procedura separata con protocollo FTP]

Il server centrale acquisisce i flussi dati in continuo e scrive dei files continui che saranno archiviati periodicamente. Questa operazione è eseguita dal software SeiscomP.

I flussi ricevuti in continuo (tramite il *modo I*) verranno processati automaticamente tramite il software RTQuake che analizza i segnali ed identifica quelli che sono correlati (fra le stazioni) per essere identificati come terremoti (criterio di coincidenza). Alla rilevazione di un evento, il programma esegue la localizzazione automatica ed invia una email di notifica. L'evento riconosciuto viene salvato in un database insieme alle forme d'onda ad esso associate ed è così pronto per la fase di post-processing.

Allo scopo di definire un "livello 0" di sismicità naturale precedente all'inizio delle attività di sfruttamento geotermico dell'area, tutti i dati raccolti finora che consistono in diversi Gigabytes necessitano di una accurata analisi. Le analisi effettuate solo per alcune giornate specifiche e mostrate nei capitoli 2 e 3, andranno quindi estese a tutto il *dataset* disponibile.

Il sistema di analisi dati sarà predisposto anche per la seguente procedura di analisi:

- Rilevamento dal catalogo di rete nazionale INGV degli eventi sismici contenuti nell'area di interesse.
- Rilevamento acustico del dato sismico. Il dato sismico è “audificato” in modo da poter esaminare molto rapidamente ed in modo efficace grandi quantità di dati.
- L'operatore rileva in acustica il segnale identificabile come evento sismico e marca il tempo che sarà poi successivamente riestratto.
- Una procedura automatica esegue il replay delle tracce sismiche attraverso un database di forme d'onda per l'analisi di cross-correlazione ad identificare in modo automatico la presenza di eventi sismici (*matched filter*). Le tracce che riscontrano un *pattern* identificabile vengono marcate (*trigger*).

Un criterio di coincidenza regolerà l'estrazione temporale, dai files di tutte le stazioni, connessa all'identificazione di *trigger* simultanei su almeno tre canali. Viene eseguita l'analisi quantitativa in post-processing con sistema DESK SEISMOWIN tramite operatore.

I terremoti registrati a *trigger (modo III)* sono ricevuti in una area della memoria di massa del server a funzione di collettore. Questa area (una cartella specifica) è monitorata automaticamente da due software: il modulo ESCAP e il modulo DESK di SEISMOWIN. Tali software sono in grado di calcolare: (i) l'accelerazione di picco al suolo (PGA), (ii) la magnitudo del terremoto ( $M_L$ ), (iii) localizzare anche con una singola stazione (per eventi molto piccoli) e (iv) confrontare dati anche con le informazioni provenienti dalla rete nazionale. A loro volta i software possono generare una reportistica e agire in modo da inviare notifiche separate delle revisioni e/o delle allerte.

## 5. Conclusioni

### 5.1 Valutazione di ReMoTA

Per la realizzazione di ReMoTA sono state seguite le prescrizioni del MISE (DGRME, 2015) adottando le linee guida *“Indirizzi e le Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell’ambito delle attività antropiche”* pubblicate, in data 24 Novembre 2014, sul sito ufficiale del Ministero dello Sviluppo Economico (UNMIG, 2014). Sono state installate quindi, 5 stazioni all’interno del DI e altre 5 stazioni nel DE.

Nell’area tra Torre Alfina e Castel Giorgio sono presenti numerosi insediamenti industriali di piccole medie dimensioni. La vicinanza di tali impianti alle stazioni di ReMoTA comporta un notevole livello di rumore sismico proveniente dall’attività industriale (motori, pompe). Nei periodi di accensione di tali macchinari, i dati sismici registrano le interferenze del rumore sismico antropogenico, caratterizzati da energia sismica nella banda di frequenza tra 1- 15 Hz, le stesse bande di frequenza degli eventi sismici locali a bassa magnitudo. Oltre ad alcuni disturbi monofrequenti, di origine locale, è principalmente il rumore sismico intorno a 4 Hz (banda B) che si propaga quasi attraverso tutta ReMoTA escludendo, in questa maniera, qualsiasi alternativa di sito nell’area di studio.

Per migliorare la qualità dei dati registrati, un’alternativa tecnica potrebbe essere l’installazione di microarray (cluster di 4 stazioni) a distanze di almeno 10 km. Con l’applicazione di tecniche di analisi *array* si potrebbe riuscire ad attenuare il rumore sismico stazionario, aumentando in questa maniera il rapporto segnale/rumore. Tale soluzione non è comunque contemplata nelle direttive del MISE che prevede l’installazione delle stazioni sismiche solo all’interno dei domini DI e DE, escludendo in questa maniera altre configurazioni di rete. Inoltre, all’interno di un area geotermica, l’eventuale installazione di stazioni in pozzo è poco praticabile per motivi relativi alle difficoltà tecniche dovute all’alto gradiente geotermico. In alternativa, l’installazione della strumentazione all’interno di un pozzetto cementato, dovrebbe attenuare l’ampiezza di alcuni fenomeni disturbanti (vedi paragrafo 2.2), migliorando il rapporto segnale/rumore.

Nonostante i limiti di ReMoTA dovuti ai persistenti disturbi di origine antropica precedentemente discussi, l’alta densità della rete porta ad una capacità di discriminazione degli eventi sismici locali che supera nettamente quella della rete sismica nazionale (INGV). Sia l’applicazione di un *trigger* STA/LTA per la discriminazione automatica degli eventi, sia la detezione manuale, porta alla conclusione che l’attuale configurazione di ReMoTA riesce a superare la capacità di detezione della rete nazionale dell’INGV di circa un fattore 10.

Per quanto riguarda la configurazione della rete definitiva si prospettano le seguenti modifiche:

- Considerando l’attuale vicinanza delle stazioni TA03 e TA11, è probabile che una delle due stazioni verrà spostata nella zona a sud-est del DE.
- Almeno 4 stazioni dovranno essere dotate di accelerometri.
- 2 stazioni (una per dominio) saranno equipaggiate di sensori a larga banda.

Inoltre, per garantire la copertura dei dati per almeno il 95% del tempo per ogni stazione, e quindi ridurre al minimo eventuali interruzioni o malfunzionamenti della singola stazione, si consiglia l'acquisto di strumentazione di ricambio pari ad una unità completa (strumentazione sismologica, elettronica, elettrica, etc.), da tenere disponibile per eventuali sostituzioni.

## 5.2 Valutazione del livello di sismicità (livello zero)

Nel capitolo 3 del presente rapporto è descritta la sismicità osservata dal Giugno 2014 al Novembre 2015. Gli epicentri localizzati ricadono all'interno del DE e sono quindi prossimi al futuro impianto pilota geotermico "Castel Giorgio".

Stabilire il livello di sismicità naturale e i rispettivi meccanismi di sorgente prima dell'inizio delle attività antropiche (livello zero) è indispensabile per la valutazione di eventuali cambiamenti durante la fase di esercizio.

Anche se finora sono stati elaborati solo alcuni giorni dell'intero *dataset* (figura 3.3, tabella 4 e Allegato C), il livello di sismicità discriminata applicando le attuali configurazioni di *trigger* STA/LTA è circa 10 volte (tabella 4) il numero di eventi localizzati dalla rete nazionale dell'INGV (ISIDe; Mele et al. 2010a).

La distribuzione degli ipocentri localizzati finora si colloca all'interno della crosta superiore ad una profondità compresa tra 4 e 8 km. In particolare, la distribuzione e le soluzioni focali ottenute per il *cluster* del dicembre 2014, evidenziano la presenza di una faglia normale, con una debole componente trascorrente, orientata circa NW-SE ed immergente verso SW, collocata al di sotto del DI in prossimità dell'area di futura produzione geotermica. I due *cluster*, del marzo e del novembre 2015, sembrano delineare delle strutture antitetiche a quest'ultima. Considerando che il livello di esercizio della futura reiniezione è previsto ad una profondità compresa tra 1500 m e 2300 m e considerando inoltre le incertezze delle localizzazioni ipocentrali, la discriminazione tra i terremoti "naturali" e quelli potenzialmente indotti o innescati dall'attività antropica si presenta come una sfida ardua (Braun et al., 2010; Braun et al., 2015).

Come illustrato in precedenza, i meccanismi focali degli eventi più forti mostrano preferenzialmente una cinematica di tipo distensivo. Meccanismi di sorgente di eventi sismici, che si verificassero dopo l'avvio della produzione geotermica, caratterizzati da componenti isotropiche, CLVD (*Compensated Linear Vector Dipole*) o con cinematiche compressive non coerenti con l'assetto sismo tettonico dell'area, si distinguerebbero facilmente dalla sismicità naturale suggerendo una potenziale origine legata all'attività antropica. Di contro, terremoti con meccanismi focali di carattere distensivo, simili a quelli già individuati, non escluderebbero a priori l'origine antropica. La reiniezione di fluidi in profondità, infatti, può innescare la riattivazione di faglie limitrofe già esistenti. Si veda a titolo di esempio quanto accaduto in Svizzera nei campi geotermici di S. Gallen (SED, 2013) o di Basilea (Håring et al, 2008; Deichmann et al, 2014).

Un potenziale elemento discriminante, in genere, è la profondità ipocentrale a cui è avvenuto l'evento, compatibile o meno con il volume di roccia influenzato dai cambiamenti di *stress* imputabili allo sfruttamento geotermico dell'area (Caciagli et al., 2015).

Anche per questo motivo, l'accuratezza nella stima delle localizzazioni ipocentrali degli eventi sismici individuati riveste un ruolo molto importante per le attività di monitoraggio e gli scopi per cui ReMoTA è stata strutturata. A questo scopo, un'ulteriore fase di questo lavoro definirà un nuovo modello di velocità 1D per l'area in esame. Si continuerà l'analisi dei segnali per tutti i giorni non ancora rivisti che porterà ad un probabile incremento del *dataset* di eventi. In seguito, tutte le fasi registrate verranno invertite simultaneamente con il modello di velocità, usato in questo studio, per trovare un eventuale nuovo modello di velocità che minimizza i residui delle localizzazioni. A tal fine verrà utilizzato il codice VELEST (Kissling et al., 1994) che fornirà anche le nuove localizzazioni relative calcolate con il miglior modello individuato. Con questa tecnica ci aspettiamo di ottenere rilocalizzazioni relative più precise che potremmo eventualmente correlare con le strutture geologiche dell'area.

Considerazioni definitive in merito alla magnitudo di completezza non possono ancora essere formulate in attesa della sistemazione definitiva delle singoli stazioni.

In generale, i fattori che influiscono sulla capacità di detezione di una rete sono:

- La configurazione della rete sismica (numero di stazioni e distribuzione geografica)
- La tipologia di allocazione delle stazioni (pozzetti, *shelter*,...)
- Il livello di rumore alla singola stazione

Definendo la qualità di una stazione in funzione del livello di rumore sismico è possibile simulare la qualità della rete sismica impostata in termini di "magnitudo di detezione" (*detectability*), oppure l'errore di localizzazione aspettato (RMS).

Sono stati effettuati dei primi test con un software commerciale (MDesign) concesso in prova dall'istituto Sismologico Norvegese NORSAR. I risultati preliminari sono mostrati nella figura 5.1.

Assumendo (i) ReMoTA come composta dalle 13 stazioni (TA00-TA12), (ii) un livello di rumore uniforme in tutte le stazioni pari a  $5 \mu\text{m/s}$  e il modello di velocità 1D utilizzato in questo rapporto (tabella 5), si può simulare la capacità di detezione per tutto il volume crostale indagato.

Le figure 5.1a,b mostrano in mappa le magnitudo minime (*detectability*) stimate alle profondità di 1.5 km e 3.5 km, assumendo la registrazione in almeno 4 stazioni con un rapporto segnale/rumore  $\text{SNR} \geq 2$ . La figura 5.1c mostra lo stesso risultato in una sezione ovest-est.

Le figure 5.1d,e mostrano in mappa la distribuzione spaziale dell'errore di localizzazione aspettato (RMS), stimato rispettivamente alla profondità di 2 km e 5 km, assumendo un evento sismico di Magnitudo  $M_L = 2$  e un incertezza di lettura della fase P pari a 0.03 s.

Queste prime simulazioni sembrano indicare che l'attuale configurazione di ReMoTA tenda a soddisfare le prescrizioni del MISE in merito al monitoraggio sismico delle attività industriali.

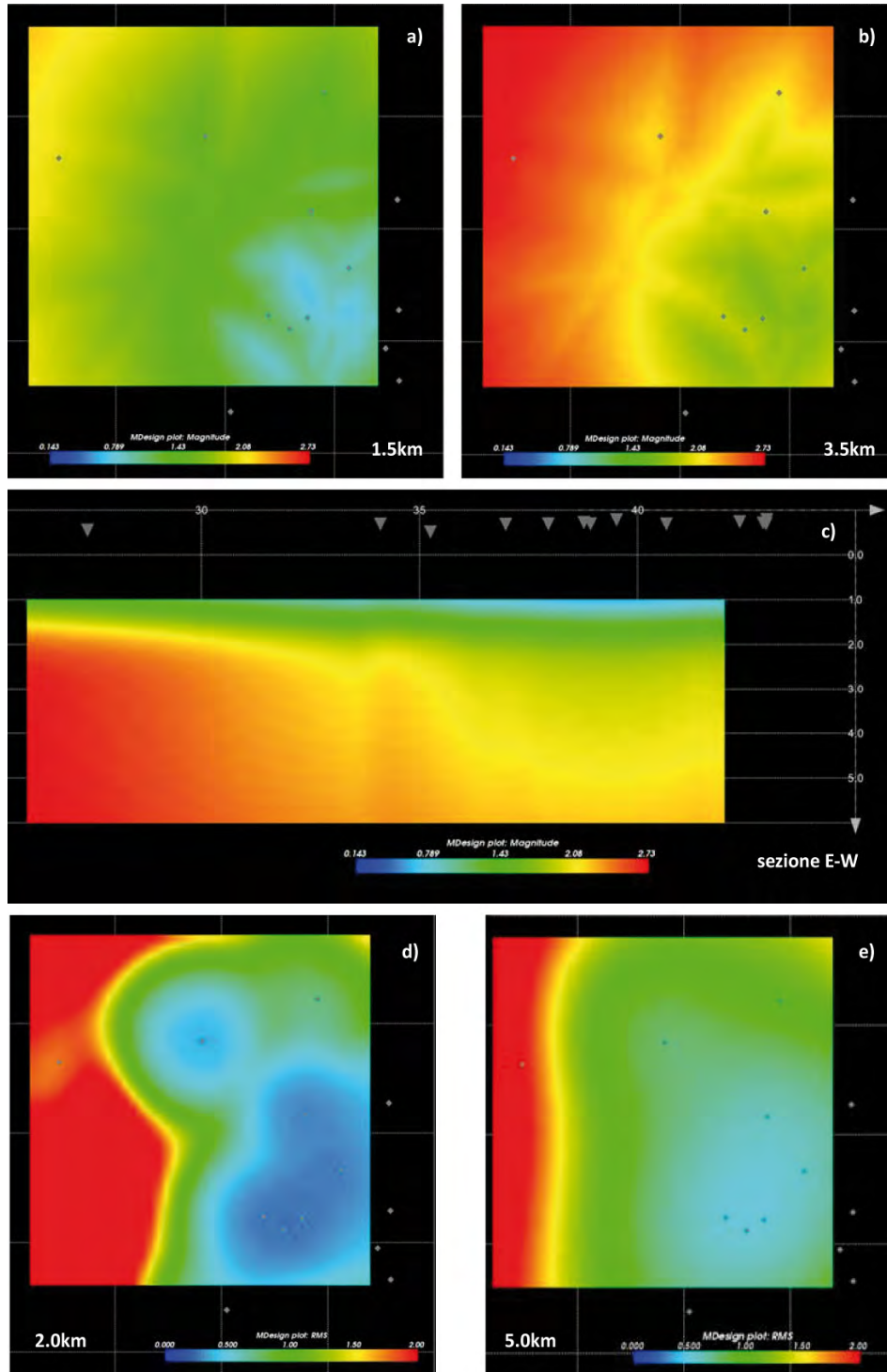


Fig. 5.1 - Simulazione di detectability stimata alle profondità di 1.5 km (a) e 3.5 km (b) e (c) una sezione ovest-est. Distribuzione spaziale dell'errore di localizzazione (RMS) stimato rispettivamente alla profondità di 2 km (d) e 5 km (e).



## 6. Referenze

- Bakun W.H., & A.G. Lindh (1977): Local magnitudes, seismic moments and coda durations for earthquakes near Oroville, California, *Bull. Seism. Soc. Am.* (67) 615-629.
- Batini F., C. Bufe, G.M. Cameli, R. Console & A. Fiordelisi (1980): Seismic Monitoring in Italian Geothermal Areas. *Proceedings 2nd Doe-Enel Workshop for Coop. Research in Geothermal Energy*.
- Braun, T., J. Heinicke & T. Dahm (2010): The difficulty to distinguish natural and human related seismicity in a complex tectonically active area. *Cahiers bleus*, (30), 63 - 68.
- Braun T., M. Buttinelli, M. Caciagli, L. Improta, D. Piccinini, G. Saccorotti & D. Scrocca (2015): Examples of anthropogenic seismicity in Italy. *StatSei9 Conference, Potsdam (Germany) June 2015*, doi: 10.13140/RG.2.1.1415.2806.
- Caciagli M., R. Camassi, S. Danesi, S. Pondrelli, S. Salimbeni (2015): Can we consider the 1951 Caviaga (Northern Italy) earthquakes as non-induced events? *Seis. Res. Lett.* (86) 1335-1344, ISSN: 0895-0695, doi: 10.1785/0220150001
- Deichmann, N., T. Kraft & K. F. Evans (2014): Identification of faults activated during the stimulation of the Basel geothermal project from cluster analysis and focal mechanisms of the larger magnitude events, *Geothermics*, doi:10.1016/j.geothermics.2014.04.001.
- DGRME – Direzione Generale per le Risorse Minerarie ed Energetiche (2015): Linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell’ambito delle attività antropiche. 58-59, in: “Rapporto annuale dell’attività 2014”; <http://www.sviluppoeconomico.gov.it/images/stories/pubblicazioni/ra2015.pdf>
- Häring, M. O., U. Schanz, F. Ladner & B. C. Dyer (2008): Characterisation of the Basel 1 enhanced geothermal system, *Geothermics*, 37(5), 469–495.
- Kissling E., W.L. Ellsworth, D. Eberhart-Phillips & U. Kradolfer (1994): Initial reference models in local earthquake tomography. *J. Geophys. Res.* 99 (10), 19635–19646.
- Lahr J.C., R.A. Page & J.A. Thomas (1975): Catalogue of earthquakes in south central Alaska, April-June 1972: *U.S. Geological Survey, Open-File Report*, 30 p.
- Lahr J.C. (1999): Revised 2012, HYPOELLIPSE: a computer program for determining local earthquake hypocentral parameters, magnitude, and first-motion pattern, *US Geological Survey, Open-File Report*, 99–23, version 1.1, 119 pp.
- Lee W.H.K., R.E. Bennett & K.L. Meagher (1972): A method of estimating magnitude of local earthquakes from signal duration: *U.S. Geological Survey Open-File Report*, 28 p.
- Mele F., L. Arcoraci, P. Battelli, M. Berardi, C. Castellano, G. Lozzi, A. Marchetti, A. Nardi, M. Pirro & A. Rossi (2010): Bollettino Sismico Italiano 2008. *Quaderni di Geofisica*, 85, INGV, Roma, 45 pp.

Mele F., C. Marocci, A. Bono & A. Marchetti (2010a): ISIDe, Italian Seismic Instrumental and parametric Data base. INGV, CNT: <http://ISIDe.rm.ingv.it/>.

Peterson J. (1993): Observations and modelling of seismic background noise. *U.S. Geological Survey, Open-File Report 93-322*, 91 pp.

SED, Servizio Sismico Svizzero (2013); Cronologia dei terremoti nell'ambito del progetto geotermico presso San Gallo. [http://www.seismo.ethz.ch/sed/archive/Archiv\\_2013/copy\\_of\\_Chronologie\\_SG/index\\_IT](http://www.seismo.ethz.ch/sed/archive/Archiv_2013/copy_of_Chronologie_SG/index_IT)

UNMIG, Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse (2014): Indirizzi e le Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche. 1-38, [http://unmig.mise.gov.it/unmig/agenda/upload/85\\_238.pdf](http://unmig.mise.gov.it/unmig/agenda/upload/85_238.pdf)

## Elenco Allegati

Gli allegati di seguito elencati sono parte integrante di questo rapporto.

- A) Schede descrittive delle stazioni sismiche di ReMoTA
- B) Spettri di potenza (PSD - Power Spectral Density) del rumore sismico registrato nelle stazioni sismiche di ReMoTA
- C) Elenco delle localizzazioni ipocentrali e relativa stima della Magnitudo durata ( $M_d$ ) degli eventi sismici analizzati tramite ReMoTA dal 29 giugno 2014 al 26 novembre 2015

## Partecipanti alla ricerca

Responsabile scientifico del progetto:	Maria Luisa Carapezza (INGV – Sezione Roma 1)
Responsabile del monitoraggio sismico:	Thomas Braun (INGV – Sezione Roma 1)
Partecipanti alla ricerca:	Lucio Badiali (INGV – Centro Nazionale Terremoti)
	Marco Caciagli (INGV – Sezione Bologna)
	Daniela Famiani (INGV – Sezione Roma 1)
	Alberto Frepoli (INGV – Centro Nazionale Terremoti)
	Alessandro Gattuso (INGV – Sezione Roma 1)
	Arianna Lisi (INGV – Sezione Roma 1)
	Alessandro Marchetti (INGV – Centro Nazionale Terremoti)
	Nicola Mauro Pagliuca (INGV – Sezione Roma 1)

*Convenzione di ricerca tra  
INGV e ITW&LKW Geotermia Italia S.p.A.*

Attività di monitoraggio geochimico e sismico  
degli impianti geotermici pilota di Castel Giorgio – Torre Alfina

*Rapporto tecnico-scientifico  
sulla configurazione delle rete sismica locale  
ReMoTA e primo anno di attività*

# **ALLEGATO A**

**Schede descrittive  
delle stazioni sismiche di ReMoTA**

Febbraio 2016

# TA01

# TORRACCIA

## CARTA D'IDENTITÀ

IN	31.03.2015
OUT	---
LAT	N 42.722431
LOI	E 11.963742
ALT. (M) S.L.M	537

## STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	M-24
SENSORE	LENNARTZ 5S
ALIMENTAZIONE	220 V

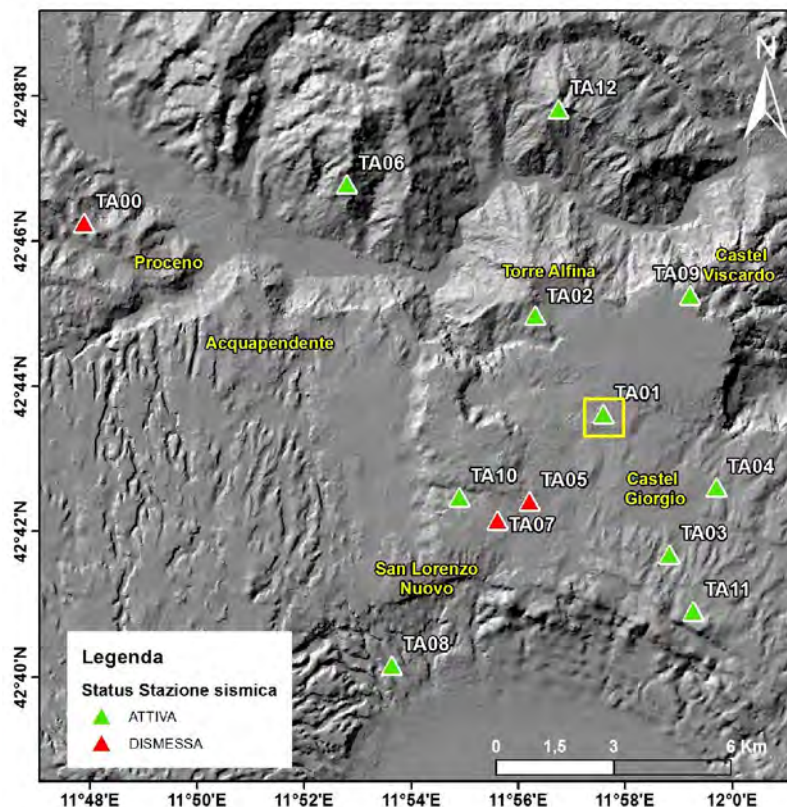
## CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	MEMORIA INTERNA
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1

## STATION CODE: IZTRC

VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica de "La Torraccia" (rettangolo giallo). La stazione sismica TA01 è stata installata all'interno di un locale seminterrato messo a disposizione dal Comune di Castel Giorgio (TR).



### Geologia del sito:

Depositi continentali quaternari.

Depositi essenzialmente fini con clasti di varie dimensioni, provenienti dal disfacimento delle rocce del substrato Foiditi, tefriti (lave, piroclastiti e ignimbriti).



**TA02**

**Pozzo A13**

**CARTA D'IDENTITÀ**

IN	25.07.2014
OUT	---
LAT	N 42.745633
LON	E 11.943583
ALT. (M) S.L.M	540

**STRUMENTAZIONE**

ACQUISITORE	SL-06
SENSORE	SS20-2Hz
ALIMENTAZIONE	220 V

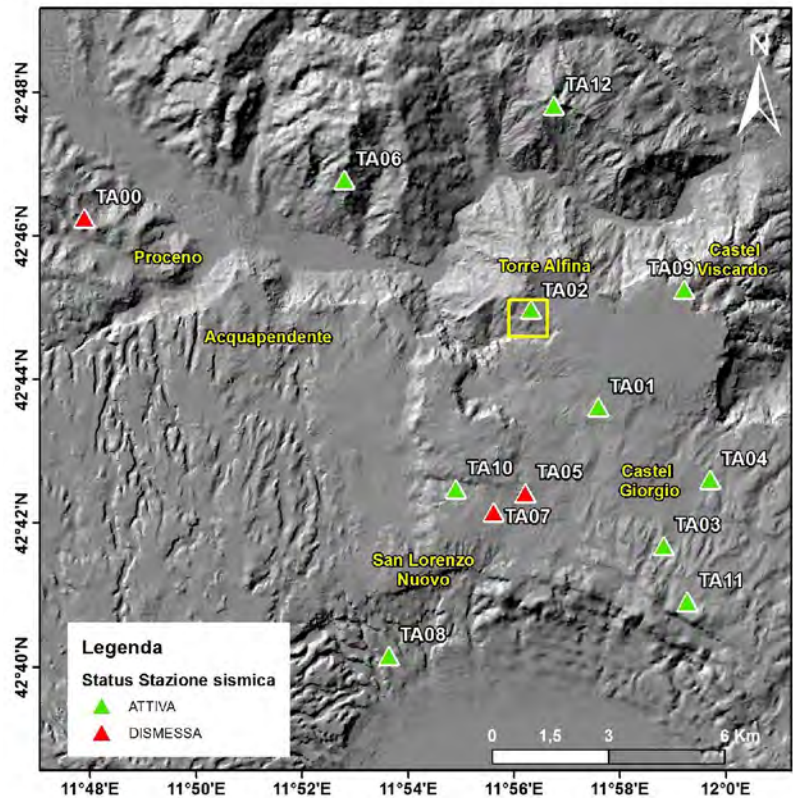
**CONFIGURAZIONE**

ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1

**STATION CODE: IZA13**

VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica di "Pozzo A13" (rettangolo giallo). La stazione sismica TA02 è stata installata all'interno di un casale privato, a piano terra e ubicata in prossimità del vecchio pozzo Enel A13 (Comune di Acquapendente).



**Geologia del sito:**

Calcere marnoso/marne/argillite.

Unità: Flysh Tolfetano.

Alternanza di litotipi a componente dominante calcareo marnosa, subordinatamente argillitica.

Età: Cretacico superiore - Oligocene



# TA03

# MONTIOLO

## CARTA D'IDENTITÀ

IN	25.07.2014
OUT	---
LAT	N 42.689684
LON	E 11.982714
ALT. (M) S.L.M	586

## STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	SL-06
SENSORE	SS20-2Hz
ALIMENTAZIONE	BATTERIA + PANNELLO SOLARE

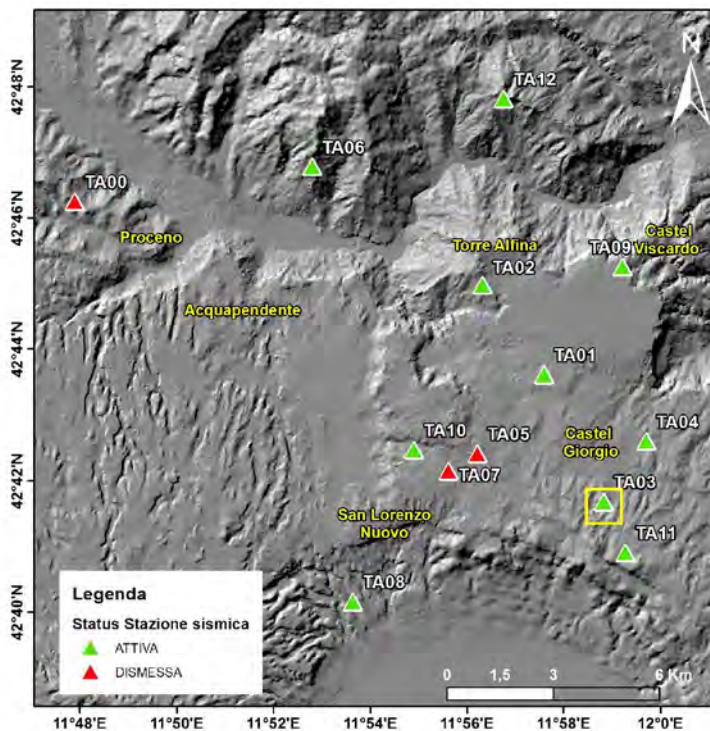
## CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1

## STATION CODE: IZMTL

VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica di "Montiolo" (rettangolo giallo). La stazione sismica TA03 è stata installata all'interno di un locale a pian terreno, messo a disposizione da una Fondazione Agricola, nel comune di Castel Giorgio.



### Geologia del sito:

Supersintema dei Monti Vulsini.

Scorie varicolori dei centri vulcanici di Poggio del Torrone, Poggio Pocatrabbio e Monte Panaro, caratterizzate da strutture porfiriche con diverse quantità di leucite, plagioclasio, clinopirosseno e K-feldspato, e da composizione da leucite, tefrite.

Ciclo Quaternario

# TA04

# CASA PISANA

## CARTA D'IDENTITÀ

IN	20.11.2014
OUT	---
LAT	N 42.704667
LON	E 11.998150
ALT. (M) S.L.M	539

## STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	SL-06
SENSORE	SS20-2Hz
ALIMENTAZIONE	220 V

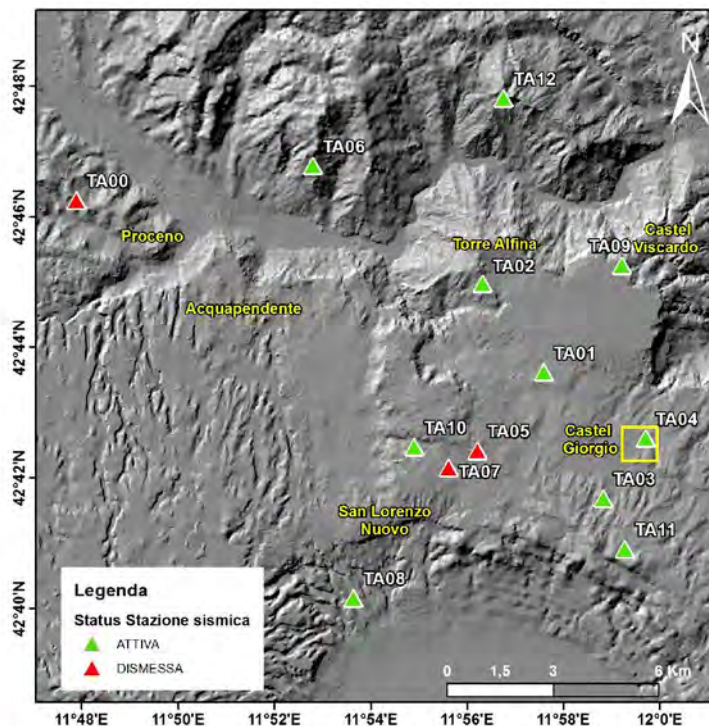
## CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1

## STATION CODE: IZPIC

VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica di "Casa Pisana" (rettangolo giallo). La stazione sismica TA04 è stata installata all'interno di un capannone industriale di proprietà privata a pian terreno, nel comune di Castel Giorgio.



### Geologia del sito:

Supersintema dei Monti Vulsini. Unità Podere Sambuco.

Successione piroclastica stratificata con alternanza di tuffi fini e lapilli tuffi costituiti da pomice o scorie. Nella parte basale dell'unità di Podere Sambuco nella zona di Case Perazza strati di spessore decimetrico o metrico di tuffi/breccia/scoria.

Ciclo Quaternario



# TA05

# CASTEL VERDE

## CARTA D'IDENTITÀ

IN	25.07.2014
OUT	29.07.2015
LAT	N 42.703043
LON	E 11.939707
ALT. (M) S.L.M	569

## STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	SL-06
SENSORE	SS20-2Hz
ALIMENTAZIONE	BATTERIA + PANNELLO SOLARE

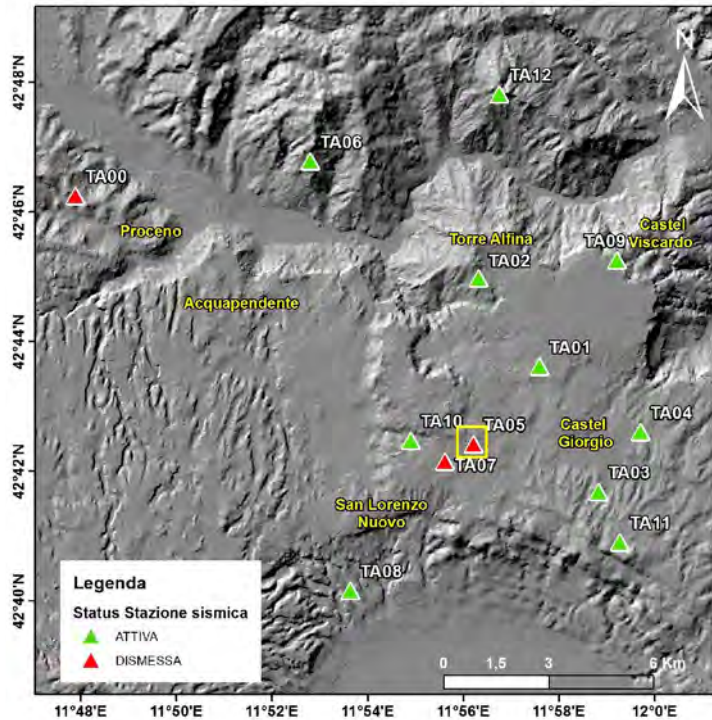
## CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1

## STATION CODE: IZCTV

VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica di "Castel Verde" (rettangolo giallo). La stazione sismica TA05 è stata installata a pian terreno all'interno di un casale di proprietà privata, facente parte di una grande tenuta nella zona compresa tra Castel Giorgio e San Lorenzo Nuovo. La stazione è stata rimossa per indisponibilità dei proprietari.



### Geologia del sito:

Supersistema dei Monti Vulsini. Colate di Castel Giorgio.

Colate laviche debolmente porfiriche per fenocristalli di leucite e feldspati intercalate all'unità di Podere Sambuco presso Castel Giorgio. La composizione varia da leucitica a tefritico-fonolitica.



Ciclo Quaternario

# TA06

# MONTE RUFENO

## CARTA D'IDENTITÀ

IN	18.03.2015
OUT	---
LAT	N 42.777270
LON	E 11.886182
ALT. (M) S.L.M	533

## STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	REFTEK-130
SENSORE	GURALP CMG-40T
ALIMENTAZIONE	BATTERIA + PANNELLO SOLARE

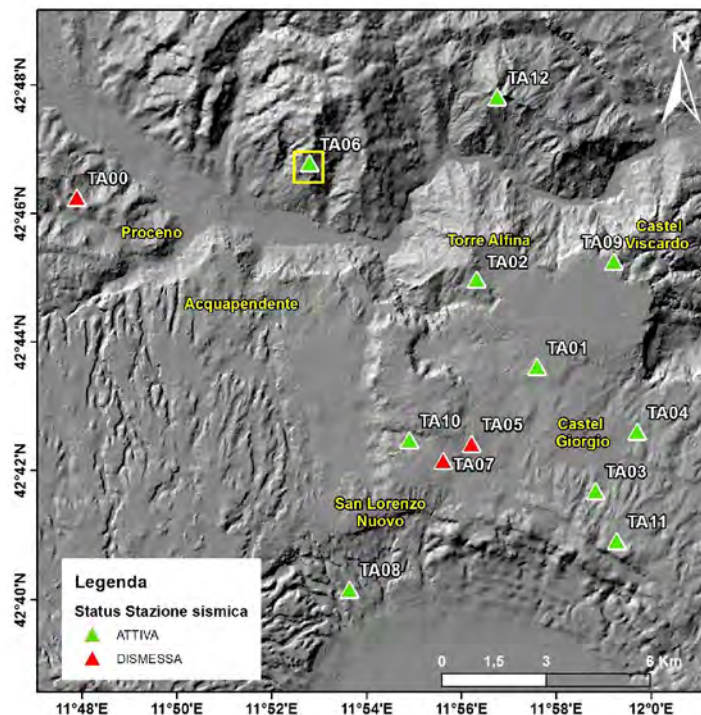
## CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	COMPACT FLASH
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1

## STATION CODE: IZRUF

VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica di "Monte Rufeno" (rettangolo giallo). La stazione sismica TA06 è stata installata nel territorio della Riserva Naturale di Monte Rufeno, nel Comune di Acquapendente (VT). La stazione è ospitata all'interno di un manufatto, realizzato ad hoc, utilizzato già in passato per lo stesso scopo.



### Geologia del sito:

Calcere marnoso/marne/argillite.

Unità: Flysch Tolfetano.

Alternanza di litotipi a componente dominante calcareo marnosa, subordinatamente argillitica.

Età: Cretacico superiore - Oligocene



# TA07

# CASEIFICIO

## CARTA D'IDENTITÀ

IN	03.08.2015
OUT	18.02.2016
LAT	N 42.698889
LON	E 11.929619
ALT. (M) S.L.M	540

## STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	REFTEK-130
SENSORE	LENNARTZ 1S
ALIMENTAZIONE	BATTERIA + PANNELLO SOLARE

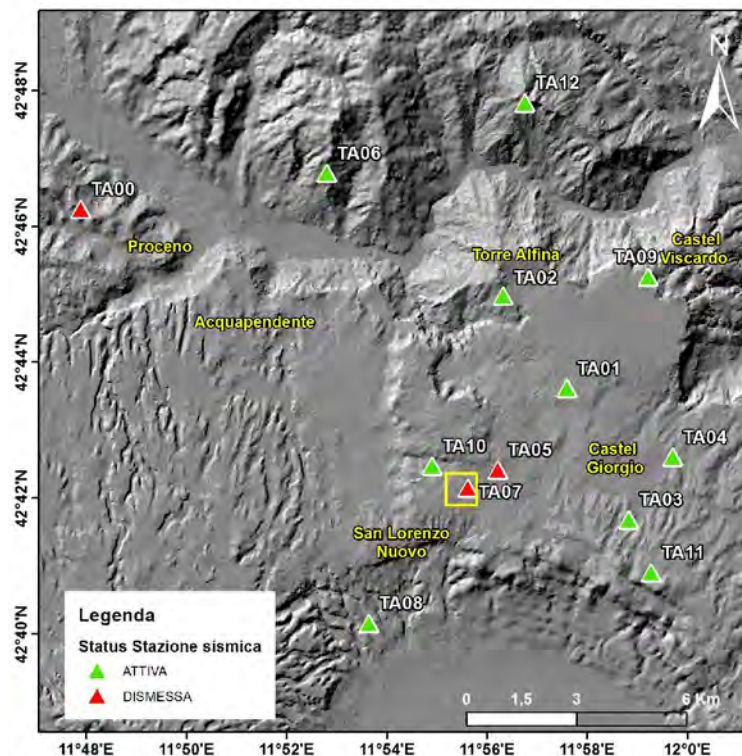
## CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	COMPACT FLASH
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1

## STATION CODE: IZCAS

VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica di "Caseificio" (rettangolo giallo). La stazione sismica di TA07 è stata installata in un terreno di proprietà privata appartenente al Caseificio di Castel Giorgio, lungo la via Maremmana. La stazione è stata rimossa in quanto il sito non è risultato idoneo.



### Geologia del sito:

Tufo/tufite. Depositi post-orogenesi.

Tufi stratificati, tufiti e tufi terrosi.

Età: Pleistocene

# TA08

# CAMPOLUNGO

## CARTA D'IDENTITÀ

IN	23.12.2015
OUT	---
LAT	N 42.666515
LON	E 11.895035
ALT. (M) S.L.M	359

## STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	SL-06
SENSORE	SS20-2Hz
ALIMENTAZIONE	BATTERIA + PANNELLO SOLARE

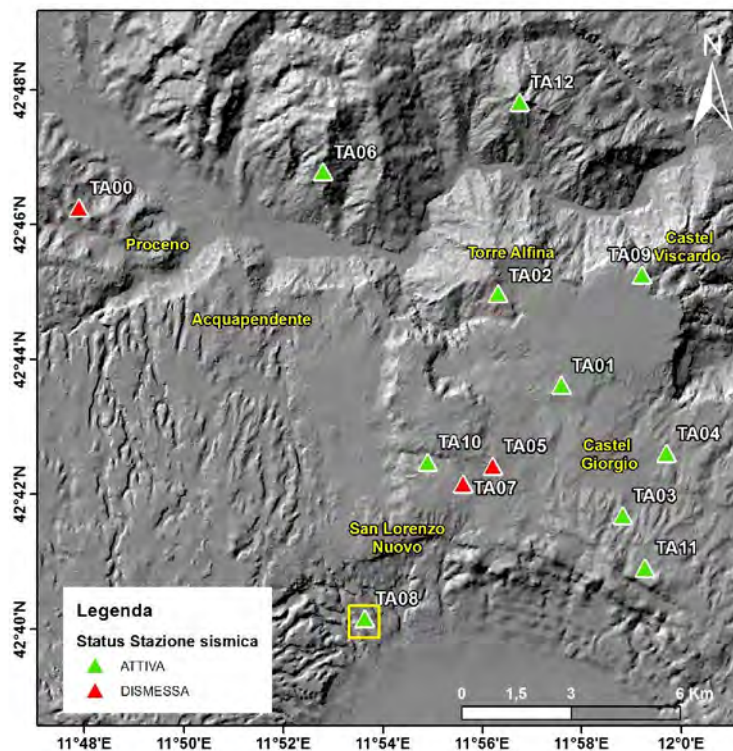
## CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1

## STATION CODE: GCAS

VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica di "Campolungo" (rettangolo giallo). La stazione sismica TA08 è stata installata all'interno di un locale di proprietà privata a pian terreno, ricadente nel Comune di San Lorenzo Nuovo.



### Geologia del sito:

Copertura quaternaria-depositi ubiquitari. Alluvioni ghiaiose, sabbiose, argillose attuali e recenti anche terrazzate e coperture colluviali ed eluviali.

Età: Olocene

# TA09

# CASTEL VISCARDO

## CARTA D'IDENTITÀ

IN	09.10.2015
OUT	---
LAT	N 42.703043
Lon	E 11.939707
ALT. (M) S.L.M	556

## STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	M-24
SENSORE	LENNARTZ 5S
ALIMENTAZIONE	220 V

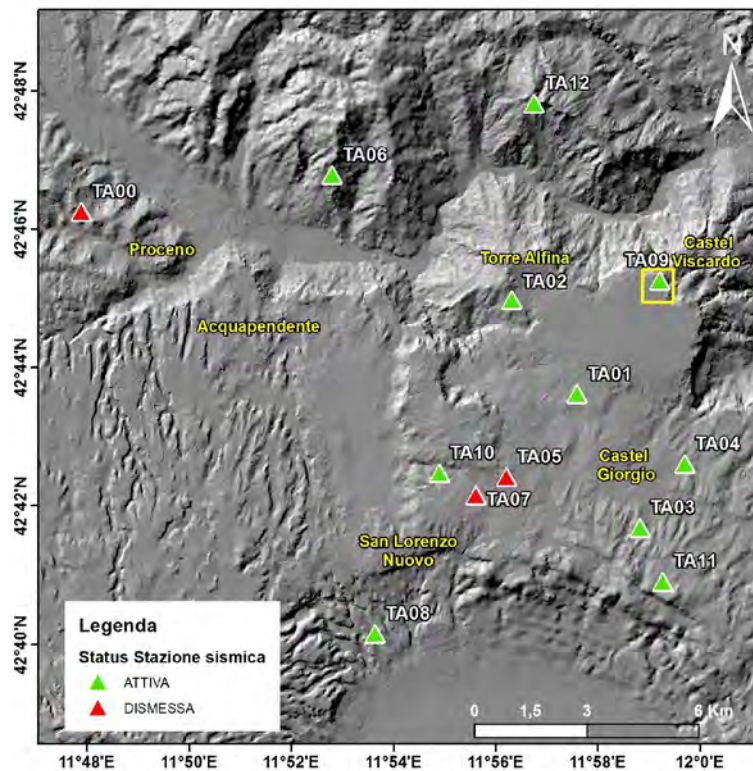
## CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	MEMORIA INTERNA
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1

## STATION CODE: CVIS

VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica di "Castel Viscardo" (rettangolo giallo). La stazione sismica TA09 è stata installata in un locale di proprietà comunale, all'intero di una cappella cimiteriale a piano terra.



### Geologia del sito:

Supersistema dei Monti Vulsini. Colate di Castel Giorgio.

Colate laviche debolmente porfiriche per fenocristalli di leucite e feldspati intercalate all'unità di Podere Sambuco presso Castel Giorgio. La composizione varia da leucitica a tefritico-fonolitica.

Ciclo Quaternario

# TA10

# LA CANALA

## CARTA D'IDENTITÀ

IN	16.10.2015
OUT	---
LAT	42.704520
LON	11.917910
ALT. (M) S.L.M	529

## STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	SL-06
SENSORE	SS20-2Hz
ALIMENTAZIONE	BATTERIA + PANNELLO SOLARE

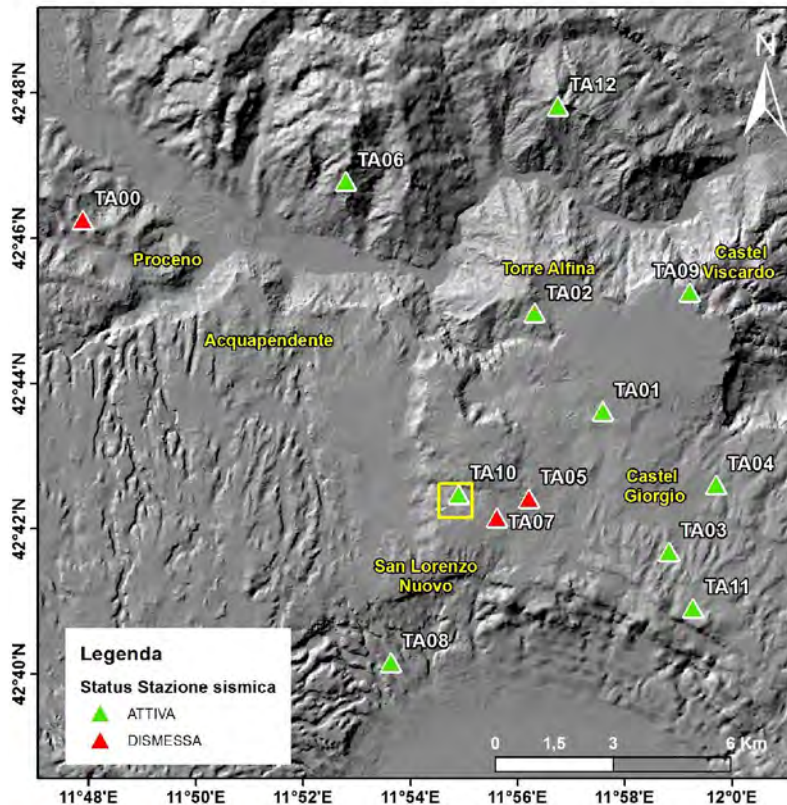
## CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1

## STATION CODE: CANA

VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica di "La Canala" (rettangolo giallo). La stazione sismica TA10 è stata installata a piano terra all'interno di un locale di proprietà privata, ricadente nel Comune di Castel Giorgio (TR).



### Geologia del sito:

Tufo/tufite. Depositi post-orogenesi.

Tufi stratificati, tufiti e tufi terrosi.

Età: Pleistocene.

# TA11

# CASTEL GIORGIO

## CARTA D'IDENTITÀ

IN	16.10.2015
OUT	---
LAT	N 42.676537
LON	E 11.989638
ALT. (M) S.L.M	631

## STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	SL-06
SENSORE	SS20-2Hz
ALIMENTAZIONE	BATTERIA + PANNELLO SOLARE

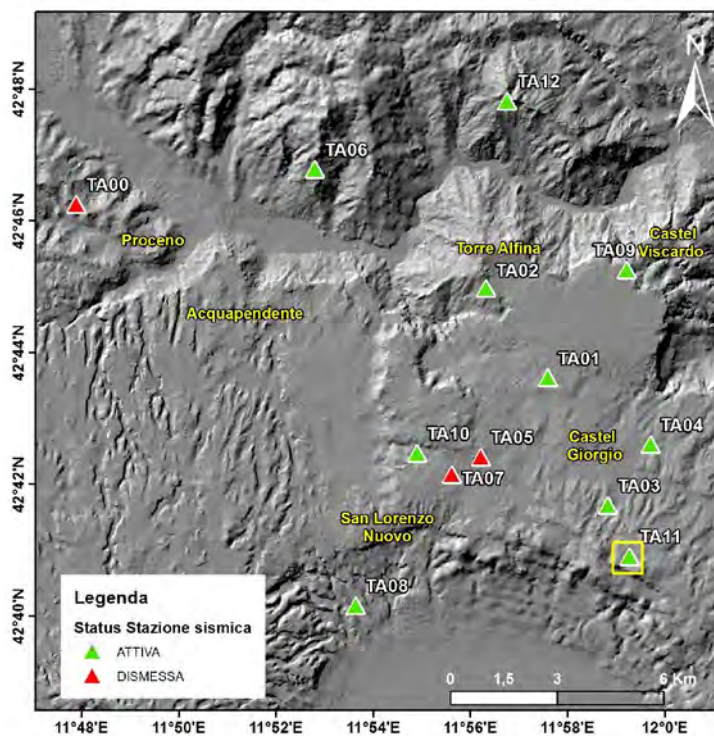
## CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1

## STATION CODE: TA11

VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica di "Castel Giorgio" (rettangolo giallo). La stazione sismica TA11 è stata installata all'interno di un locale seminterrato di proprietà privata, ricadente nel Comune di Castel Giorgio (TR).



### Geologia del sito:

Supersintema dei Monti Vulsini.

Scorie varicolori dei centri vulcanici di Poggio del Torrone, Poggio Pocatrabbio e Monte Panaro, caratterizzate da strutture porfiriche con diverse quantità di leucite, plagioclasio, clinopirosseno e K-feldspato, e da composizione da leucite, tefrite.

Ciclo Quaternario

# TA12

# VILLA CAHEN

## CARTA D'IDENTITÀ

IN	16.10.2015
OUT	---
LAT	N 42.792860
LON	N 11.953128
ALT. (M) S.L.M	627

## STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	REFTEK-130
SENSORE	LENNARTZ 5S
ALIMENTAZIONE	220 V

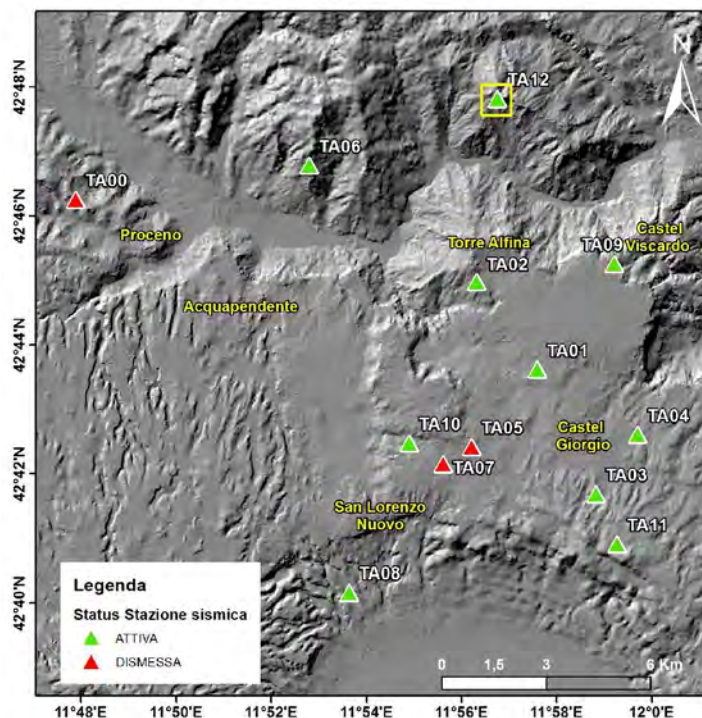
## CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1

## STATION CODE: TA12

VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica di "Villa Cahen" (rettangolo giallo). La stazione sismica TA12 è stata installata all'interno di un locale seminterrato di proprietà del Corpo Forestale dello Stato che ha sede nel Comune di Alleronia (TR).



### Geologia del sito:

Formazione di Sillano.

Alternanza di argilliti e siltiti di colore grigio scuro, torbiditi calcareo-marnose di colore grigio verde, localmente nocciola, di spessore sottile o medio e. e torbiditi arenaceo-calcaree grigie.

Cretaceo Superiore.



# TA00

# PROCENO

## CARTA D'IDENTITÀ

IN	10.02.2015
OUT	06.03.2015
LAT	42.770503
LON	11.803787
ALT. (M) S.L.M	396

## STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	REFTEK-130
SENSORE	LENNARTZ 5S
ALIMENTAZIONE	BATTERIA + PANNELLO SOLARE

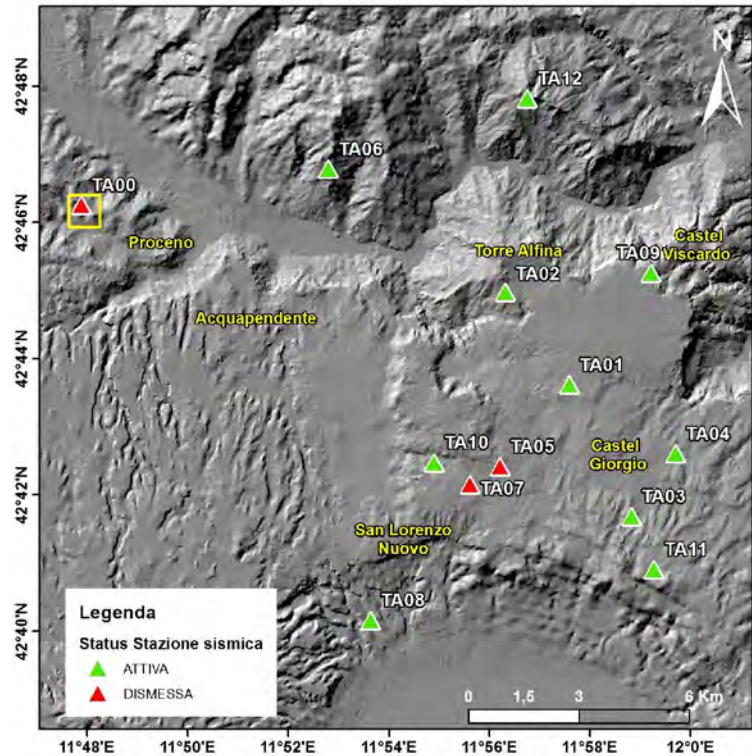
## CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	COMPACT-FLASH
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1

## STATION CODE: IZPRC

VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica di "Proceno" (rettangolo giallo). La stazione sismica TA00 è stata installata all'interno di un locale di un'abitazione privata a pian terreno, ricadente nel Comune di Proceno.



### Geologia del sito:

Depositi prevalentemente argillosi in facies marina e marino-marginale lungo costa.

Pliocene – Pleistocene.

*Convenzione di ricerca tra  
INGV e ITW&LKW Geotermia Italia S.p.A.*

Attività di monitoraggio geochimico e sismico  
degli impianti geotermici pilota di Castel Giorgio – Torre Alfina

*Rapporto tecnico-scientifico  
sulla configurazione delle rete sismica ReMoTA  
e primo anno di attività*

## **ALLEGATO B**

**Spettri di potenza  
(PSD - Power Spectral Density)  
del rumore sismico  
registrato nelle stazioni sismiche di ReMoTA**

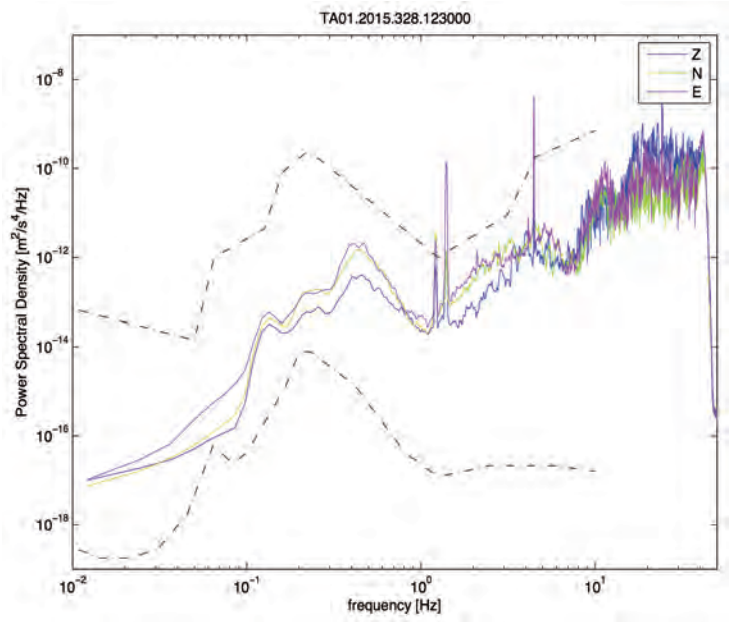
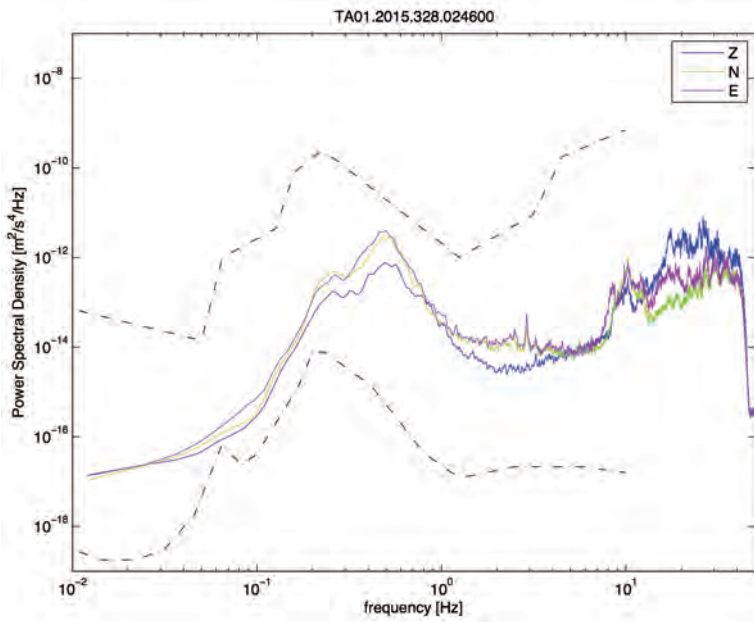
Febbraio 2016

# ALLEGATO B - Spettri di potenza (PSD - Power Spectral Density)

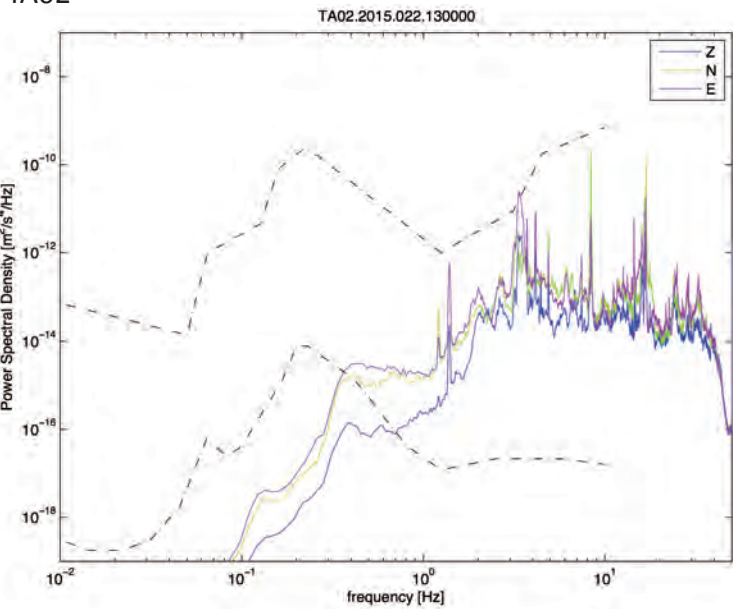
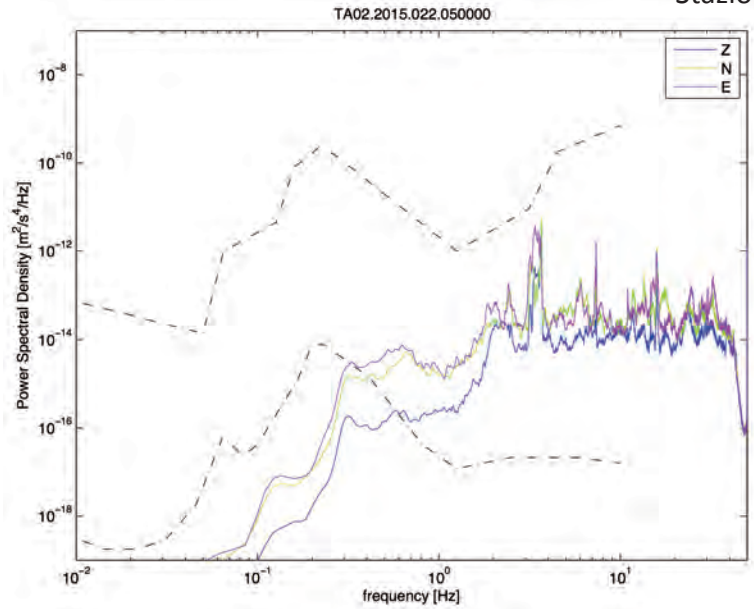
Basso

Alto

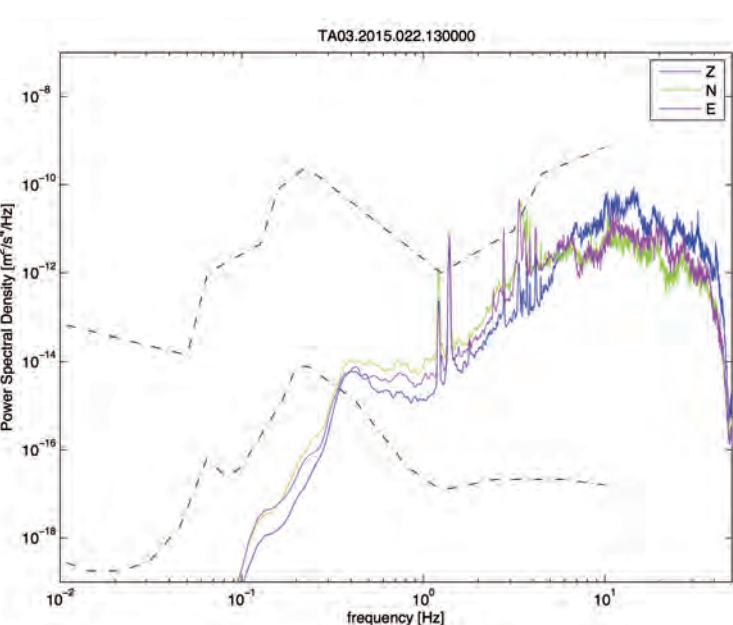
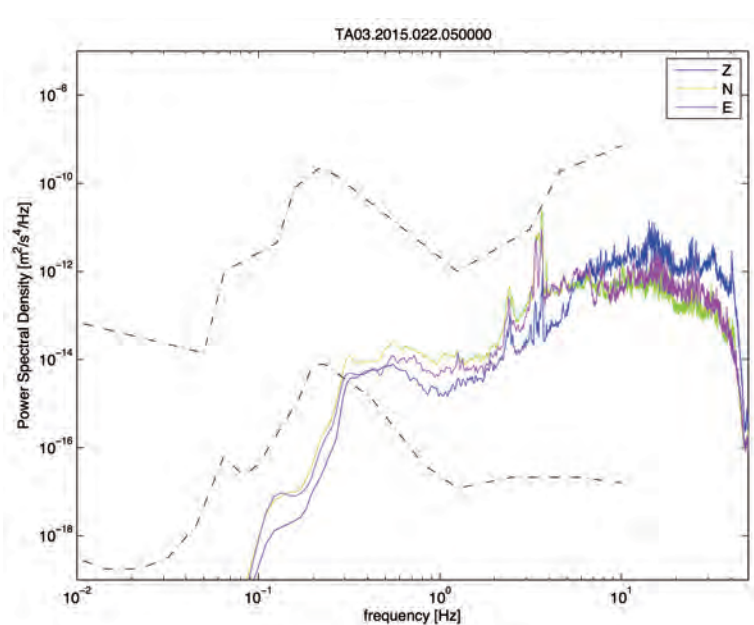
Stazione TA01



Stazione TA02



Stazione TA03

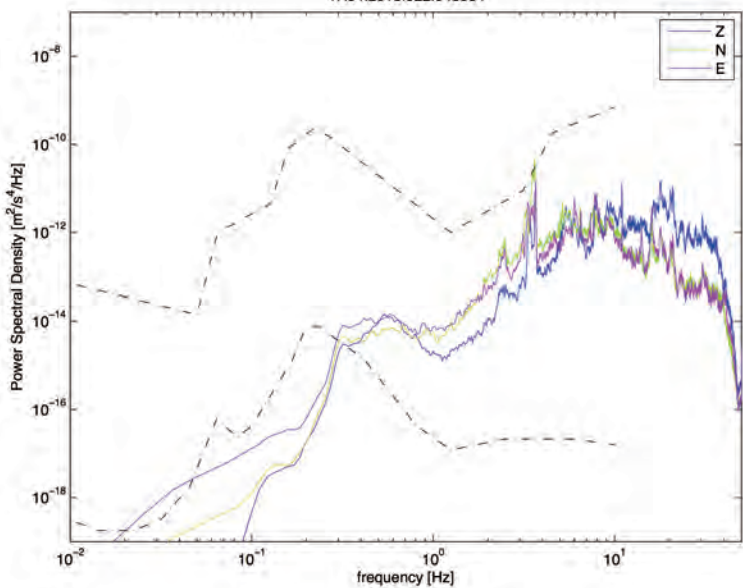


Basso

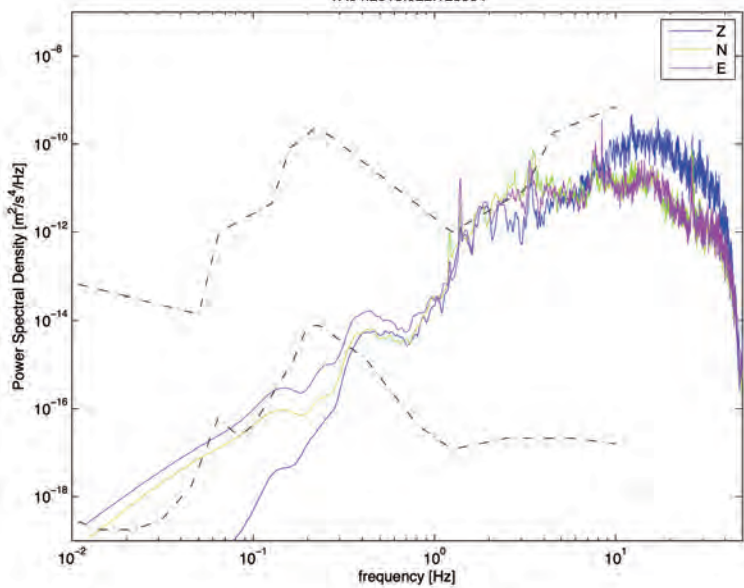
Alto

Stazione TA04

TA04.2015.022.045954

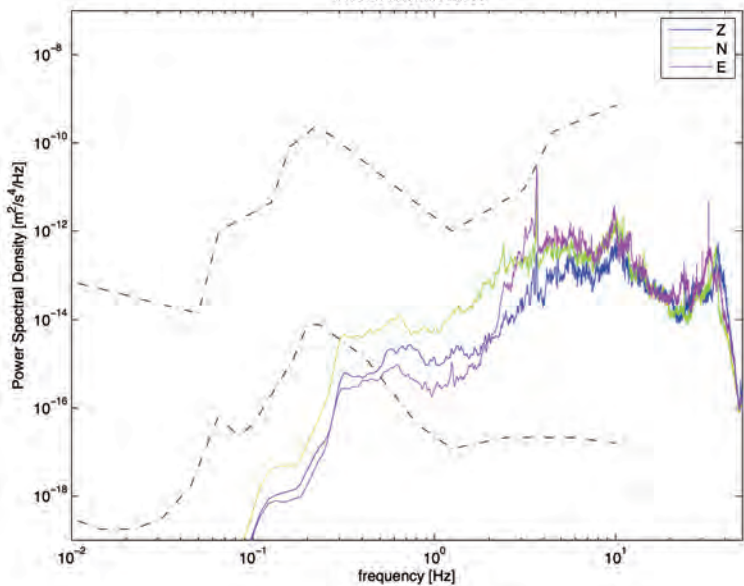


TA04.2015.022.125954

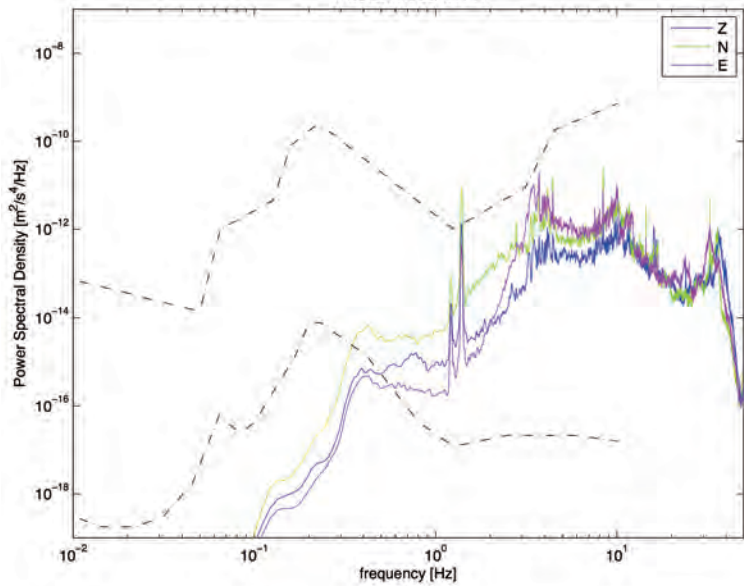


Stazione TA05

TA05.2015.022.050000

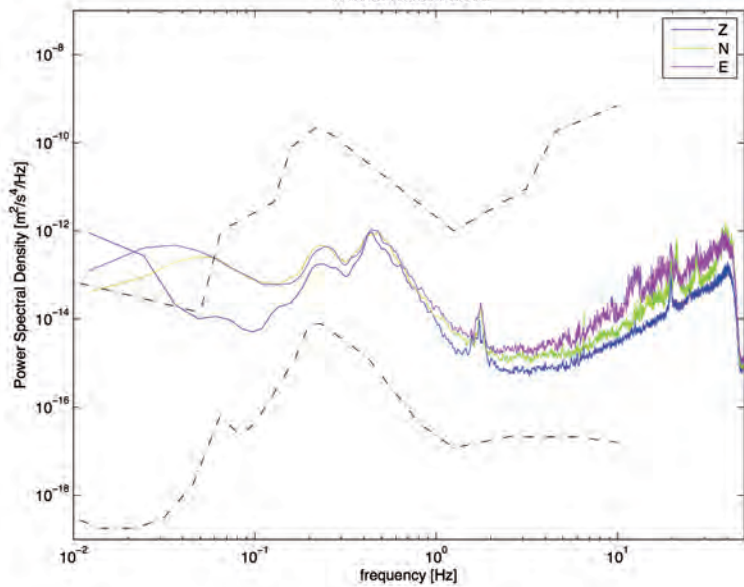


TA05.2015.022.130000

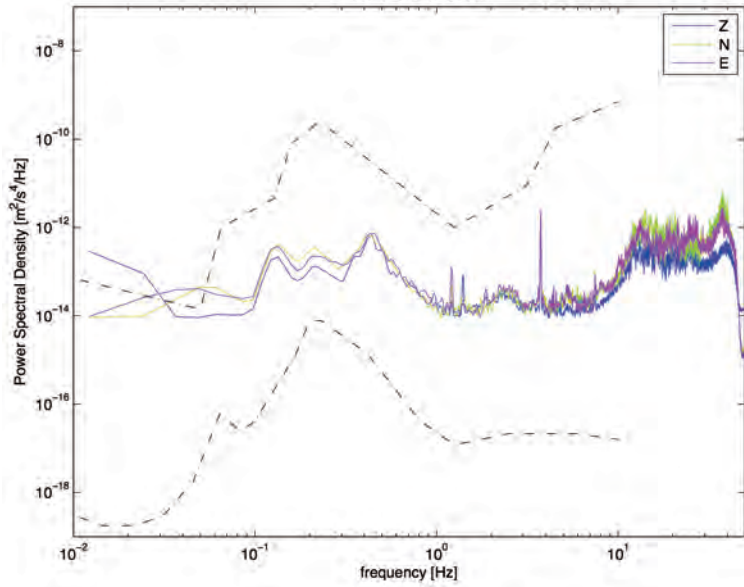


Stazione TA06

TA06.2015.328.040000



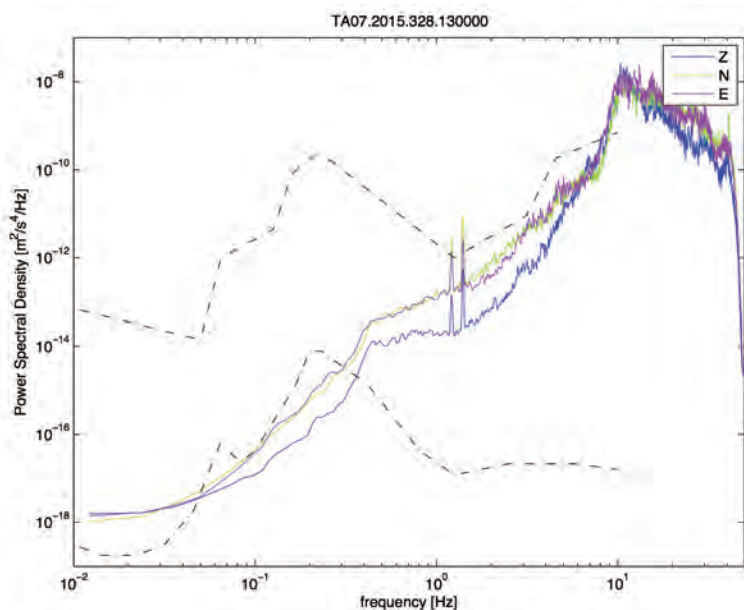
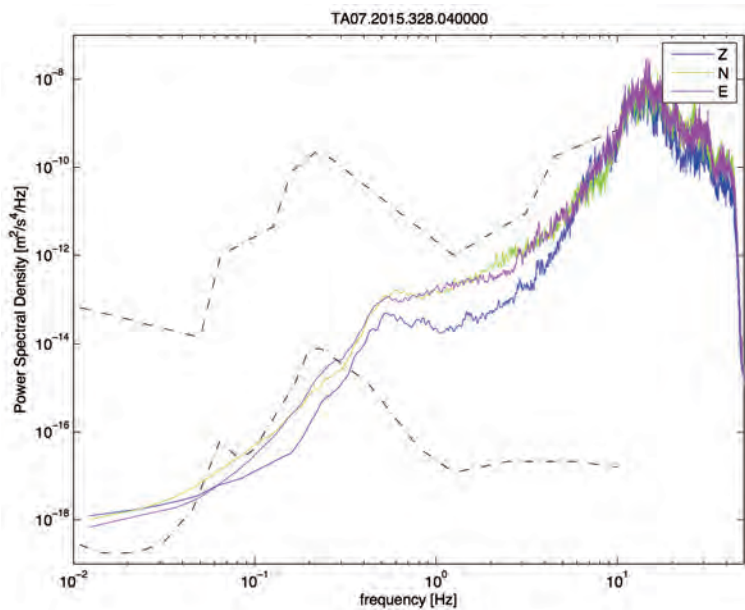
TA06.2015.328.130000



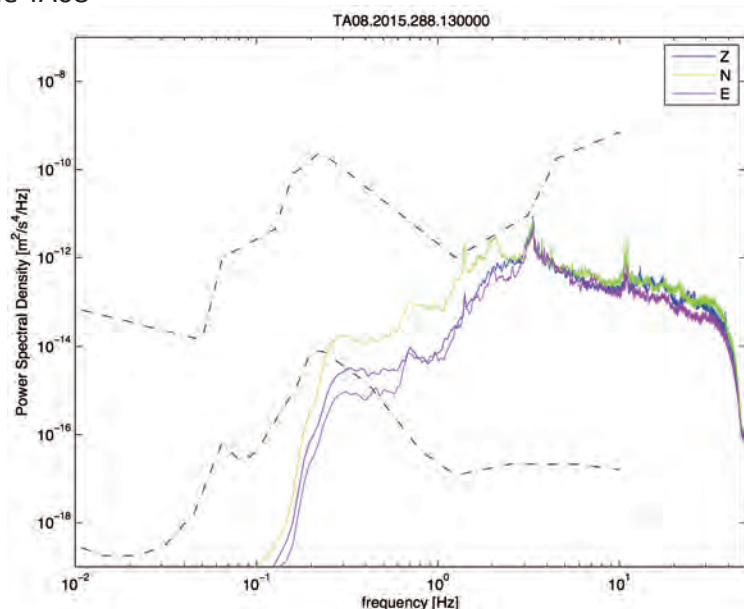
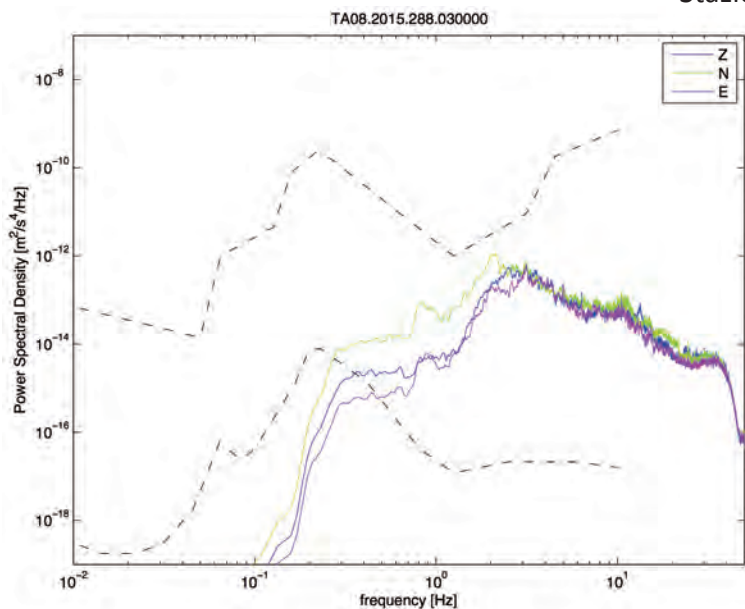
Basso

Alto

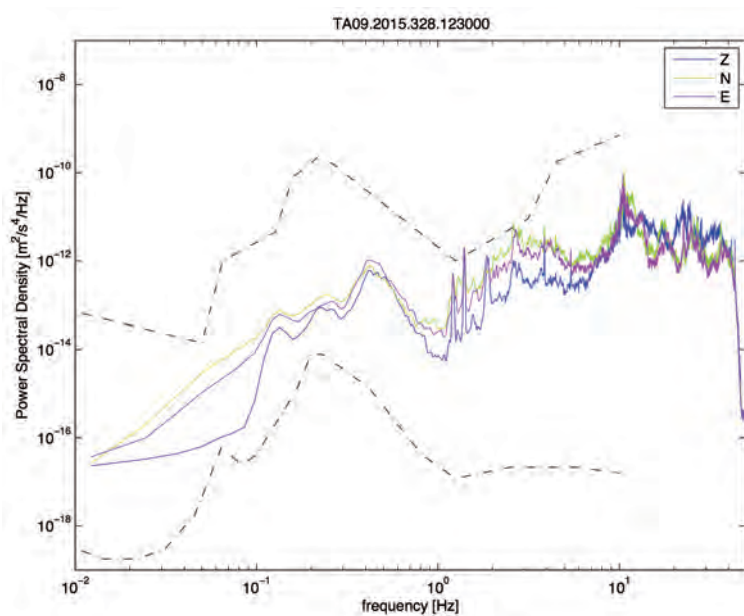
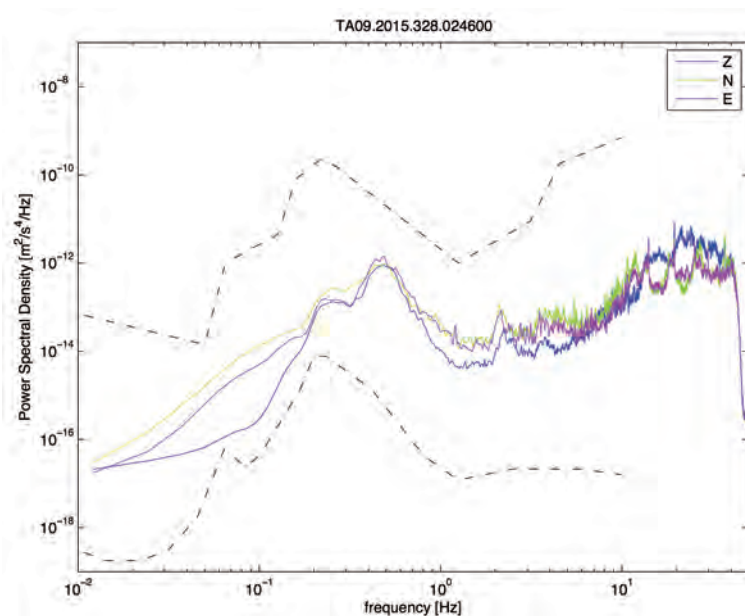
Stazione TA07



Stazione TA08



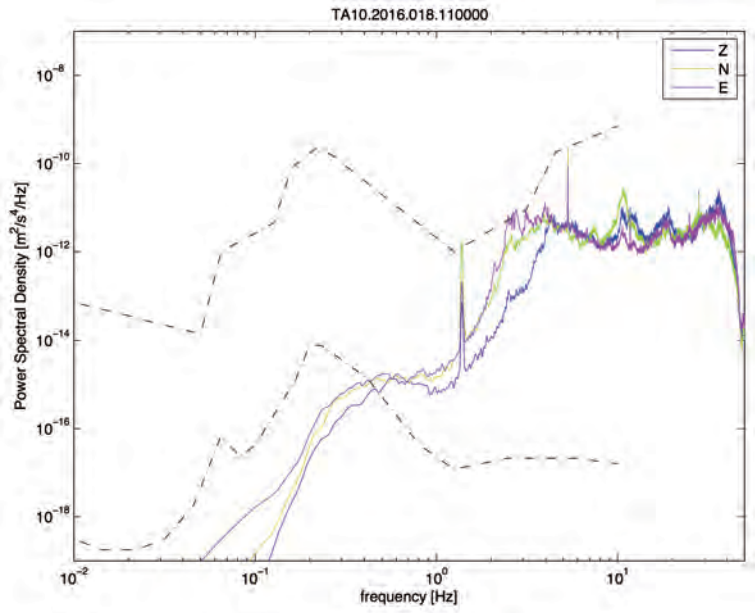
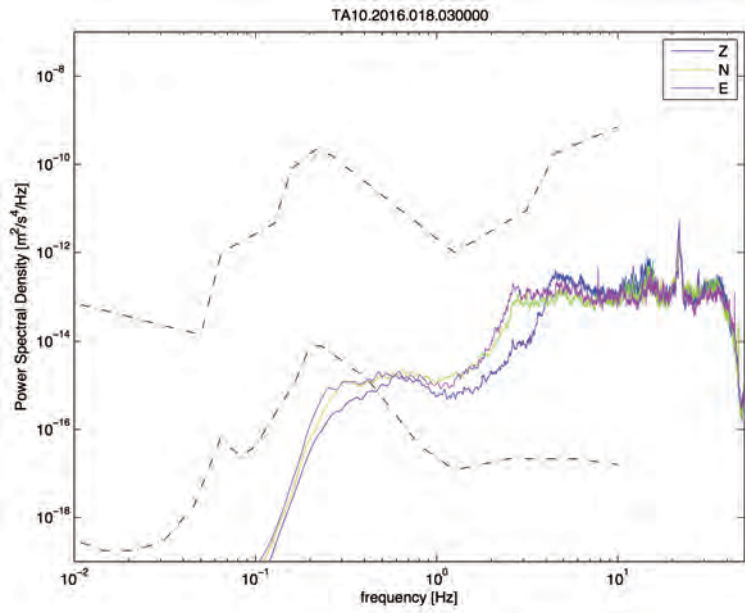
Stazione TA09



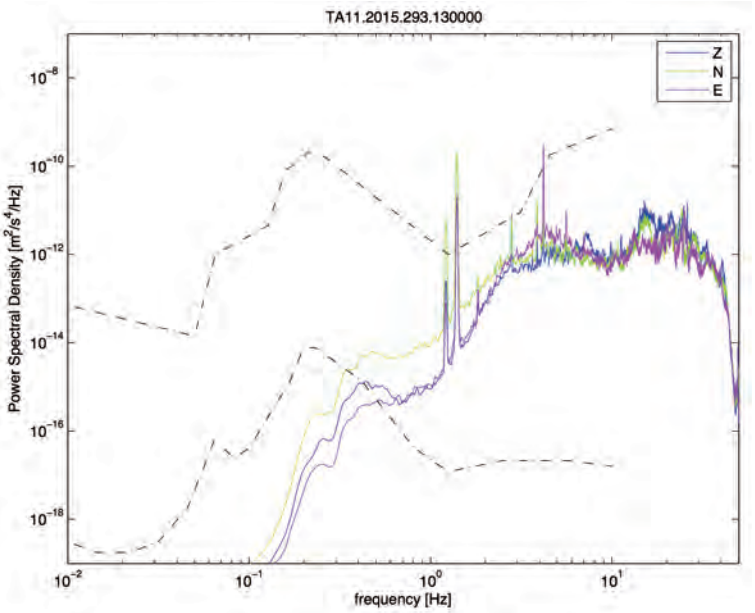
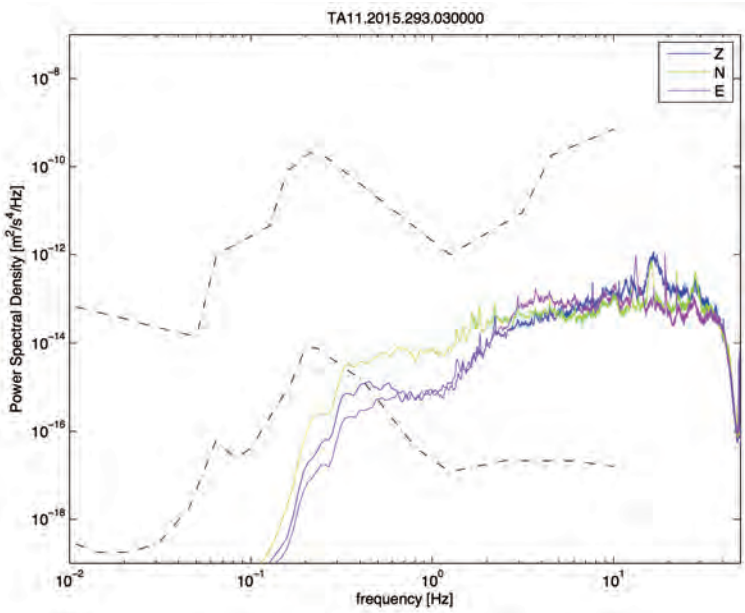
Basso

Alto

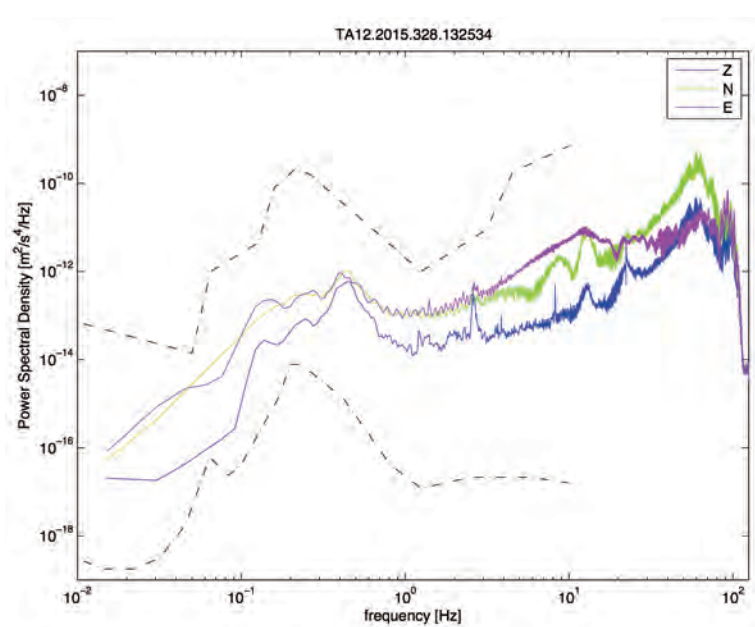
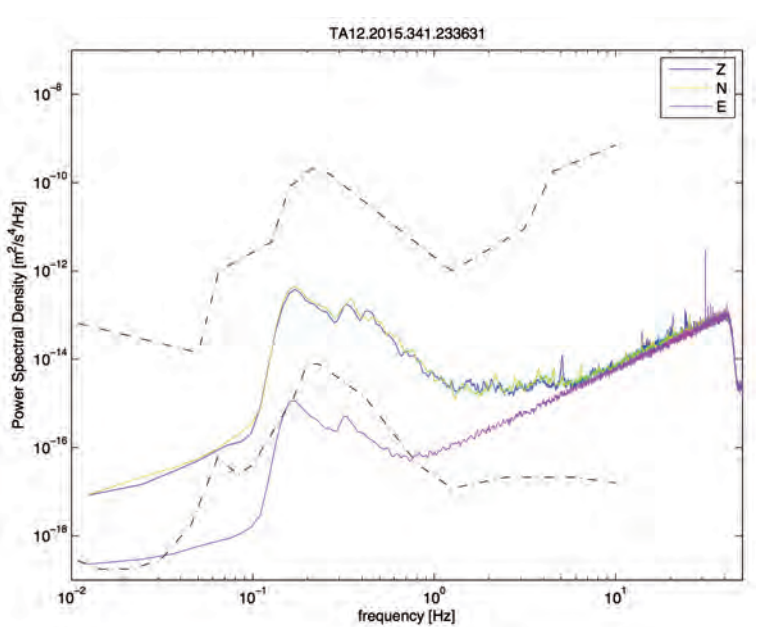
Stazione TA10



Stazione TA11



Stazione TA12



*Convenzione di ricerca tra  
INGV e ITW&LKW Geotermia Italia S.p.A.*

Attività di monitoraggio geochimico e sismico  
degli impianti geotermici pilota di Castel Giorgio – Torre Alfina

*Rapporto tecnico-scientifico  
sulla configurazione delle rete sismica locale  
ReMoTA e primo anno di attività*

## **ALLEGATO C**

**Elenco delle localizzazioni ipocentrali  
e relativa stima della Magnitudo durata (Md)  
degli eventi sismici analizzati tramite ReMoTA  
dal 29 giugno 2014 al 26 novembre 2015**

Febbraio 2016

**ALLEGATO C - Elenco delle localizzazioni ipocentrali e relativa stima della Magnitudo durata (Md) degli eventi sismici analizzati tramite ReMoTA dal 29 giugno 2014 al 26 novembre 2015**

<b>Id</b>	<b>DATA (AAAAMMGG)</b>	<b>ORA (HH:MM:SS.CC)</b>	<b>Longitudine</b>	<b>Latitudine</b>	<b>Profondità (Km)</b>	<b>Md</b>
1	20140629	15434949	11.985	42.669	4.28	2.2
2	20140629	15480672	11.973	42.628	2.34	1.1
3	20140830	00544147	11.916	42.640	1.91	1.0
4	20140830	00544607	11.933	42.641	7.70	1.6
5	20140830	03280288	11.956	42.693	3.94	1.4
6	20140830	15451735	11.921	42.934	9.47	1.3
7	20140830	15455655	11.941	42.675	3.57	1.8
8	20140830	18411040	11.917	42.645	1.91	1.6
9	20140831	03281886	11.945	42.939	9.93	2.1
10	20140831	21013028	11.910	42.666	4.39	0.9
11	20140919	22121201	12.129	42.633	16.42	1.9
12	20140919	23370309	12.162	42.605	17.47	2.1
13	20140920	07212003	11.978	42.687	4.89	1.2
14	20140920	11585289	11.990	42.618	6.89	0.9
15	20141027	09225202	12.195	42.647	31.98	1.8
16	20141027	10162414	12.218	42.647	34.40	1.6
17	20141028	08574330	12.122	42.746	13.31	1.5
18	20141029	11005267	11.906	42.701	0.10	0.5
19	20141106	14161944	11.897	42.701	6.66	2.8
20	20141106	14172206	11.929	42.699	13.42	1.5
21	20141106	14173119	11.893	42.709	0.30	1.3
22	20141106	14173399	11.878	42.713	2.58	1.1
23	20141106	14183869	11.889	42.703	5.12	1.9
24	20141106	14233251	11.892	42.701	2.65	1.8
25	20141106	16595865	11.899	42.698	0.30	1.2
26	20141106	17253874	11.894	42.700	4.49	1.8
27	20141112	10465000	11.760	42.740	9.12	1.9
28	20141113	22081801	11.952	42.666	3.49	1.4
29	20141113	22121352	11.951	42.665	2.42	1.0
30	20141113	22221118	11.933	42.663	2.98	1.2
31	20141113	22241304	11.934	42.662	3.08	0.9
32	20141113	22242111	11.953	42.663	2.24	0.9
33	20141113	22421933	11.935	42.661	2.95	1.0
34	20141113	22571167	11.938	42.660	2.76	1.2
35	20141123	02114057	11.690	42.875	3.05	1.6
36	20141221	14272958	11.949	42.707	4.04	1.0
37	20141221	14293461	11.940	42.667	6.43	0.7
38	20141221	14300558	11.960	42.672	8.59	0.6



39	20141221	14311014	11.951	42.700	4.99	0.2
40	20141221	14311163	11.962	42.681	7.29	1.4
41	20141221	14314688	11.958	42.692	5.95	1.2
42	20141221	14350931	11.957	42.701	5.25	1.4
43	20141221	14354722	11.941	42.668	7.24	0.8
44	20141221	14405825	11.970	42.698	6.79	2.6
45	20141221	14412267	11.962	42.703	5.32	2.2
46	20141221	14415601	11.958	42.701	5.02	0.8
47	20141221	14421870	11.958	42.704	4.26	1.4
48	20141221	14423847	11.968	42.700	6.03	1.8
49	20141221	14431265	11.930	42.682	4.91	0.7
50	20141221	14432033	11.970	42.681	7.48	0.5
51	20141221	14433756	11.952	42.679	6.37	0.3
52	20141221	14434141	11.957	42.706	4.25	0.9
53	20141221	14434662	11.960	42.717	5.59	0.8
54	20141221	14440920	11.958	42.673	7.42	1.0
55	20141221	14442323	11.931	42.676	6.12	0.7
56	20141221	14445283	11.939	42.681	5.69	0.5
57	20141221	14450521	11.925	42.659	4.36	0.1
58	20141221	14451220	11.950	42.667	7.41	0.8
59	20141221	14453340	11.953	42.670	7.90	0.9
60	20141221	14454761	11.961	42.690	6.10	0.8
61	20141221	14455560	11.947	42.691	5.48	0.6
62	20141221	14460307	11.955	42.699	3.77	0.4
63	20141221	14461267	11.962	42.694	0.00	0.2
64	20141221	14463253	11.955	42.706	3.77	0.7
65	20141221	14464611	11.960	42.691	6.67	1.0
66	20141221	14465875	11.964	42.703	5.87	1.6
67	20141221	14475086	11.915	42.664	4.24	0.7
68	20141221	14481358	11.933	42.668	5.53	0.6
69	20141221	14483941	11.940	42.682	4.62	0.8
70	20141221	14494339	11.973	42.667	8.55	1.2
71	20141221	14500088	11.955	42.691	5.71	0.6
72	20141221	14501639	11.947	42.707	6.39	0.6
73	20141221	14504013	11.959	42.703	5.33	1.5
74	20141221	14514267	11.966	42.707	5.58	1.4
75	20141221	14520132	11.949	42.702	5.20	0.7
76	20141221	14522258	11.944	42.652	7.35	0.6
77	20141221	14522712	11.957	42.708	4.22	0.9
78	20141221	14524496	11.922	42.661	5.96	0.8
79	20141221	14533547	11.909	42.658	4.45	0.5
80	20141221	14535229	11.935	42.635	5.11	0.5
81	20141221	14542507	11.955	42.688	7.32	0.8
82	20141221	14564649	11.952	42.697	5.67	1.4
83	20141221	14573183	11.925	42.658	2.95	0.5
84	20141221	14583734	11.937	42.653	7.13	0.7
85	20141221	14585534	11.960	42.700	4.78	1.6
86	20141221	14595580	11.969	42.705	3.32	1.1

87	20141221	15000423	11.945	42.673	5.71	0.6
88	20141221	15002905	11.979	42.661	7.93	1.0
89	20141221	15015696	11.931	42.664	7.83	0.8
90	20141221	15035444	11.948	42.685	6.30	1.1
91	20141221	15041615	11.911	42.646	4.78	0.7
92	20141221	15071758	11.996	42.675	4.60	0.5
93	20141221	15073537	11.956	42.684	6.93	0.9
94	20141221	15075368	11.943	42.708	3.01	0.6
95	20141221	15101167	11.956	42.707	4.29	1.1
96	20141221	15105613	11.966	42.706	5.29	1.8
97	20141221	15122292	11.968	42.683	6.81	0.7
98	20141221	15134426	11.963	42.680	6.62	1.2
99	20141221	15164010	11.963	42.711	3.60	0.9
100	20141221	15173123	11.937	42.675	6.70	1.1
101	20141221	15191671	11.985	42.677	4.14	0.5
102	20141221	15192435	11.934	42.670	7.89	0.8
103	20141221	15212868	11.958	42.682	7.14	0.8
104	20141221	15215837	11.918	42.674	6.11	0.9
105	20141221	15230433	11.976	42.706	4.05	0.5
106	20141221	15270124	11.932	42.661	7.50	0.5
107	20141221	15284618	11.942	42.665	8.57	0.8
108	20141221	15290931	11.933	42.677	5.84	0.8
109	20141221	15340934	11.956	42.688	7.16	0.6
110	20141221	15533943	11.950	42.696	7.48	0.7
111	20141221	15571234	11.953	42.661	8.20	1.1
112	20141221	15584479	11.965	42.704	4.62	1.6
113	20141221	15590167	11.947	42.681	5.98	0.2
114	20141221	16024521	11.954	42.701	4.41	1.1
115	20141221	16035786	11.975	42.711	6.12	0.6
116	20141221	16044610	11.940	42.684	6.10	0.9
117	20141221	16053767	11.956	42.696	5.25	1.0
118	20141221	16065893	11.962	42.707	4.07	1.4
119	20141221	16071517	11.956	42.707	5.18	0.5
120	20141221	16082560	11.944	42.701	8.52	0.7
121	20141221	16153088	11.934	42.704	7.93	0.5
122	20141221	16175592	11.936	42.670	6.84	1.3
123	20141221	16195100	11.936	42.664	7.44	1.6
124	20141221	16232234	11.949	42.704	4.79	0.7
125	20141221	18360283	11.948	42.705	8.13	0.5
126	20141221	19362241	11.950	42.699	6.86	0.9
127	20141221	19430516	11.935	42.700	6.87	0.7
128	20141221	19450873	11.946	42.709	8.55	0.6
129	20141221	23274419	11.945	42.677	6.85	1.3
130	20141222	01182403	12.008	42.723	6.91	0.5
131	20141222	02264227	11.911	42.699	3.26	0.2
132	20141222	04501201	11.952	42.701	6.01	0.7
133	20141222	07175924	11.943	42.697	6.98	0.3
134	20141222	07363548	11.950	42.702	3.93	0.5

135	20141222	07473144	11.921	42.710	6.87	0.3
136	20141222	08033939	11.940	42.680	8.19	0.3
137	20141222	21195925	11.938	42.688	6.85	1.0
138	20141223	01504240	11.958	42.701	4.97	1.3
139	20141223	16194115	11.961	42.701	7.03	0.8
140	20141223	18033302	11.953	42.700	6.84	0.6
141	20141223	18041378	11.948	42.703	5.90	0.6
142	20141223	18042414	11.963	42.700	5.40	1.2
143	20141223	18060449	11.960	42.701	7.22	0.5
144	20141223	18061618	11.953	42.701	5.94	0.6
145	20141223	18072625	11.949	42.703	6.69	0.6
146	20141223	18074643	11.949	42.706	7.51	0.5
147	20141223	18083841	11.975	42.699	6.05	0.5
148	20141223	18091189	11.947	42.699	6.06	0.5
149	20141223	18102445	11.962	42.701	4.96	1.5
150	20141224	03134898	11.999	42.697	7.96	0.7
151	20141224	03230562	11.882	42.675	3.17	1.0
152	20141224	03245896	11.893	42.654	3.05	1.0
153	20141224	03265227	11.913	42.678	0.22	1.0
154	20141224	05051683	11.946	42.698	5.80	0.4
155	20141224	05052114	11.933	42.687	6.01	0.4
156	20141224	05052570	11.955	42.709	4.84	0.9
157	20141224	05054045	11.956	42.680	8.88	0.7
158	20141224	05055904	11.934	42.695	4.76	0.5
159	20141224	05060568	11.947	42.680	7.64	0.4
160	20141224	05061611	11.948	42.688	8.37	0.4
161	20141224	05062467	11.951	42.696	6.40	1.0
162	20141224	05071691	11.943	42.688	7.05	1.0
163	20141224	05081499	11.943	42.701	7.14	0.9
164	20141224	05090187	11.954	42.675	8.08	0.7
165	20141224	05091591	11.942	42.677	8.12	1.1
166	20141224	05093808	11.949	42.705	7.70	0.2
167	20141224	05094090	11.966	42.711	4.18	1.0
168	20141224	05101314	11.952	42.692	7.66	0.7
169	20141224	05102334	11.961	42.707	4.60	0.8
170	20141224	05125699	11.969	42.712	4.66	1.7
171	20141224	05141418	11.964	42.709	5.25	1.2
172	20141224	05142053	11.968	42.673	7.91	0.4
173	20141224	05144525	11.958	42.708	4.23	0.7
174	20141224	05145284	11.957	42.708	4.87	0.9
175	20141224	05151006	11.963	42.710	4.09	0.8
176	20141224	05155058	11.945	42.676	7.87	0.4
177	20141224	05171871	11.950	42.674	8.55	0.5
178	20141224	05175416	11.960	42.706	5.03	1.2
179	20141224	05233293	11.950	42.714	2.11	0.5
180	20141224	05282904	11.952	42.673	8.38	0.8
181	20141224	05283945	11.941	42.712	5.41	0.5
182	20141224	05325423	11.952	42.718	7.09	0.3

183	20141224	05343939	11.937	42.711	7.10	0.6
184	20141224	05345582	11.960	42.705	4.96	1.0
185	20141224	05364596	11.965	42.715	6.76	0.3
186	20141224	05364986	11.947	42.709	5.72	0.3
187	20141224	05433383	11.921	42.710	3.53	0.5
188	20141224	05434329	11.940	42.709	7.16	0.2
189	20141224	05563505	11.959	42.706	5.44	1.4
190	20141224	07183775	11.950	42.681	7.36	0.5
191	20141224	13492332	11.947	42.711	5.00	0.5
192	20150324	10324604	11.947	42.685	2.94	1.4
193	20150324	11352044	11.908	42.669	4.12	1.1
194	20150324	12312028	11.905	42.640	1.98	0.7
195	20150328	09590787	11.941	42.679	4.83	1.6
196	20150328	10044771	11.875	42.666	3.24	1.1
197	20150328	10061180	11.907	42.687	0.41	1.5
198	20150328	10083818	11.899	42.690	0.10	1.0
199	20150328	10281609	11.881	42.648	2.25	1.1
200	20150328	10302375	11.912	42.677	3.50	1.3
201	20150328	10322266	11.882	42.642	2.76	1.2
202	20150328	14042414	11.891	42.646	2.19	1.2
203	20150328	14045204	11.868	42.668	2.22	1.2
204	20150328	18473212	11.932	42.675	5.69	1.0
205	20150328	18560231	11.904	42.654	3.43	1.5
206	20150328	19103991	11.916	42.674	4.43	1.4
207	20150328	19150357	11.911	42.676	5.09	1.1
208	20150328	19291087	11.930	42.675	6.48	1.1
209	20150328	19300128	11.945	42.676	8.77	1.1
210	20150328	19361511	11.901	42.673	5.43	1.1
211	20150328	19475662	11.864	42.676	2.63	1.0
212	20150328	19494942	11.915	42.652	5.69	1.4
213	20150328	19590891	11.925	42.677	6.44	0.8
214	20150328	21430608	11.879	42.646	5.06	1.0
215	20150328	21460868	11.880	42.671	3.71	1.1
216	20150328	21462020	11.901	42.666	5.29	1.1
217	20150328	21470648	11.897	42.662	4.27	1.2
218	20150328	21483520	11.911	42.664	4.89	1.4
219	20150328	21494001	11.894	42.674	4.48	1.1
220	20150328	21501694	11.920	42.671	4.83	1.1
221	20150328	21502755	11.924	42.669	5.00	1.7
222	20150328	21544654	11.913	42.673	4.86	1.3
223	20150328	22081030	11.903	42.665	5.75	1.2
224	20150329	02514070	11.942	42.846	5.55	0.9
225	20150329	04390791	11.939	42.836	7.39	1.0
226	20150407	18565999	11.841	42.585	2.46	1.3
227	20150408	05391619	11.867	42.729	4.95	2.1
228	20150408	05411048	11.892	42.731	5.65	0.9
229	20150408	05451752	11.873	42.731	4.99	1.6
230	20150408	05453436	11.878	42.726	7.47	1.8

231	20150408	05460354	11.884	42.717	6.85	1.4
232	20150408	21465875	11.780	42.611	3.65	1.8
233	20150414	03380824	12.195	42.626	13.22	2.4
234	20150509	00540975	11.829	42.766	1.31	1.8
235	20150509	03583187	11.844	42.779	0.10	1.0
236	20150516	02402628	11.892	42.695	0.31	1.3
237	20150517	06504242	11.754	42.894	2.55	1.4
238	20150517	09123445	11.859	42.930	2.05	1.9
239	20150619	02053110	11.831	42.787	7.38	1.1
240	20150619	04250213	11.980	42.754	4.04	0.8
241	20150619	13554228	12.178	42.692	6.89	1.6
242	20151027	11243618	12.133	42.660	21.45	1.7
243	20151124	00254630	11.747	42.666	6.22	1.3
244	20151124	14011932	11.912	42.646	5.20	1.0
245	20151124	16571308	12.340	43.046	22.45	1.9
246	20151124	21155216	11.890	42.641	1.94	1.2
247	20151124	21303909	11.924	42.647	5.25	1.3
248	20151124	21305514	11.924	42.650	5.30	0.9
249	20151124	21305955	11.920	42.640	7.44	1.4
250	20151124	21325748	11.924	42.654	7.16	1.3
251	20151124	21333505	11.937	42.666	4.96	1.8
252	20151124	21335575	11.931	42.631	3.90	0.6
253	20151124	21340498	11.919	42.657	6.77	0.8
254	20151124	21353513	11.925	42.650	5.08	1.6
255	20151124	21361695	11.930	42.653	5.59	1.5
256	20151124	21415342	11.935	42.646	6.75	1.0
257	20151124	21464711	11.927	42.636	6.25	1.1
258	20151124	21503768	11.904	42.633	4.52	1.1
259	20151124	21521262	11.915	42.633	3.98	1.0
260	20151124	21533044	11.909	42.636	1.91	1.0
261	20151124	21555080	11.939	42.652	6.77	1.0
262	20151124	22173933	11.937	42.644	6.09	1.0
263	20151124	22370149	11.926	42.662	6.47	1.1
264	20151124	23154951	11.879	42.635	8.17	1.2
265	20151124	23321348	11.906	42.646	4.22	1.2
266	20151124	23331875	11.902	42.645	5.45	1.3
267	20151124	23344760	11.920	42.653	5.64	1.3
268	20151124	23352879	11.922	42.643	5.25	1.7
269	20151124	23354999	11.904	42.647	5.52	1.1
270	20151124	23365593	11.932	42.603	4.56	1.0
271	20151124	23374151	11.922	42.655	6.86	1.1
272	20151124	23405293	11.918	42.625	6.47	0.8
273	20151124	23422836	11.930	42.620	6.43	0.6
274	20151125	00052998	11.919	42.697	8.58	0.8
275	20151125	00114480	11.933	42.659	5.03	1.4
276	20151125	00121896	11.923	42.649	4.24	1.6
277	20151125	00383103	11.679	42.890	5.25	1.5
278	20151125	03594667	11.936	42.637	5.24	0.8

279	20151125	04465477	11.949	42.637	6.04	0.6
280	20151125	20344189	11.905	42.651	6.22	1.4
281	20151125	22530591	11.937	42.636	5.26	1.4
282	20151125	22541714	11.921	42.644	4.09	1.6
283	20151125	23143062	11.932	42.648	7.17	1.1
284	20151126	00215389	11.914	42.644	5.66	1.1
285	20151126	00220642	11.927	42.648	5.87	1.7
286	20151126	00230745	11.888	42.623	3.05	0.6
287	20151126	00234923	11.982	42.753	5.80	0.7
288	20151126	00241907	11.909	42.627	3.16	1.1
289	20151126	03444419	11.928	42.635	6.83	1.1