ISSN 2039-7941
Anno 2017_Numero 370

rapporti tecnici INGV

Installazione della rete di monitoraggio sismico ReMoTA nell'area geotermica di Torre Alfina-Castel Giorgio (Lazio settentrionale-Umbria)

370

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Direttore Responsabile
Silvia MATTONI

Editorial Board
Luigi CUCCI - Editor in Chief (INGV-RM1)
Raffaele AZZARO (INGV-CT)
Mario CASTELLANO (INGV-NA)
Viviana CASTELLI (INGV-BO)
Rosa Anna CORSARO (INGV-CT)
Mauro DI VITO (INGV-NA)
Marcello LIOTTA (INGV-PA)
Mario MATTIA (INGV-CT)
Milena MORETTI (INGV-CNT)
Nicola PAGLIUCA (INGV-RM1)
Umberto SCIACCA (INGV-RM2)
Alessandro SETTIMI (INGV-RM2)
Salvatore STRAMONDO (INGV-CNT)
Andrea TERTULLIANI (INGV-RM1)
Aldo WINKLER (INGV-RM2)

Segreteria di Redazione
Francesca Di Stefano - Referente
Rossella Celi
Tel. +39 06 51860068
redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:
Barbara Angioni (RM1)

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.173 | 2014, 23 LUGLIO
© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI
Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma

ISSN 2039-7941
Anno 2017_Numero 370

rapporti tecnici

INGV

INSTALLAZIONE DELLA RETE DI MONITORAGGIO SISMICO ReMoTA NELL'AREA GEOTERMICA DI TORRE ALFINA-CASTEL GIORGIO (LAZIO SETTENTRIONALE-UMBRIA)

Thomas Braun[1], Nicola Pagliuca[1], Alessandro Gattuso[1], Giuliana Mele[1], Marco Caciagli[2], Daniela Famiani[1], Alessandro Marchetti[3], Lucio Badiali[3], Alberto Frepoli[3], Arianna Lisi[1], Maria Luisa Carapezza[1]

[1]**INGV** (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Sismologia e Tettonofisica)
[2]**INGV** (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna)
[3]**INGV** (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti)

370

Come citare: Braun T. et al., (2017). Installazione della rete di monitoraggio sismico ReMoTA nell'area geotermica di Torre Alfina-Castel Giorgio (Lazio settentrionale-Umbria). Rapp. Tec. INGV, 370: 1-44.

Indice

	Introduzione	7
1.	Descrizione della Rete di Monitoraggio sismico di Torre Alfina (ReMoTA)	8
1.1	Ubicazione delle stazioni	8
1.2	Strumentazione sismica	8
2.	Analisi del rumore sismico per la scelta definitiva dei siti	10
2.1	Caratteristiche spazio-temporali del rumore sismico	15
2.2	Rapporto segnale/rumore degli eventi sismici	18
3.	Capacità di detezione di ReMoTA	19
4.	Geologia dell'area Torre Alfina-Castel Giorgio e caratteristiche del sistema geotermico	22
5.	Trasmissione dei dati in tempo reale e archiviazione	24
6.	Conclusioni	24
	Bibliografia	25
Allegato: schede descrittive delle stazioni sismiche ReMoTA		27

Introduzione

Nell'ambito del contratto stipulato nel marzo 2013 tra l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e la Società ITW&LKW Geotermia Italia S.p.A. (di seguito indicata come ITW&LKW), l'INGV è stato incaricato del monitoraggio sismico dell'area di Torre Alfina-Castel Giorgio, compresa tra le regioni di Lazio e Umbria. In tale area è presente un campo geotermico a media entalpia (T=140°C), oggetto di interesse di ITW&LKW per la realizzazione di due impianti pilota geotermici [Carapezza et al., 2015].

In assenza di un apposito regolamento per il monitoraggio degli impianti geotermici, ITW&LKW ha deciso di adottare 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*" [UNMIG, 2014], pubblicati sul sito ufficiale del Ministero dello Sviluppo Economico (di seguito MISE). Sebbene si riferiscano principalmente al monitoraggio delle attività di coltivazione, re-iniezione e stoccaggio di idrocarburi, le linee guida sono state ritenute applicabili anche alle attività connesse all'utilizzo di energia geotermica.

Secondo le linee guida, il monitoraggio sismico ha lo scopo di "individuare e localizzare la sismicità in un volume circostante il luogo delle attività antropiche, anche con l'obiettivo di distinguere la sismicità naturale da quella eventualmente causata da tali attività. Il monitoraggio deve consentire di seguire l'evoluzione spazio-tempo-magnitudo della sismicità al fine, ove occorra, di rimodulare o, nei casi previsti, sospendere le attività stesse". Per verificare e misurare la sismicità naturale di fondo in condizioni "non perturbate", il monitoraggio deve partire almeno 1 anno prima dell'inizio delle attività di coltivazione o re-iniezione, proseguire per tutto il tempo dell'attività di coltivazione prevista e protrarsi per almeno 1 anno dopo la conclusione delle attività [UNMIG, 2014].

Le linee guida definiscono un dominio di rilevazione distinto in due sotto-domini: (i) *dominio interno di rilevazione (DI)*, definito come il volume all'interno del quale si ritiene che possano verificarsi fenomeni di sismicità indotta associati all'attività svolta. Esso rappresenta il volume di riferimento per il quale saranno identificati, monitorati e analizzati con la massima sensibilità i fenomeni di sismicità; (ii) *dominio esteso di rilevazione (DE)*, che rappresenta il volume circostante il dominio interno, tale da comprendere una porzione maggiore di crosta terrestre per una migliore definizione dei fenomeni monitorati.

Nel caso del campo geotermico oggetto di questo studio, abbiamo definito il dominio interno come l'inviluppo dei volumi compresi in un raggio di 5 km dai 2 pozzi di re-iniezione progettati e il dominio esteso come prolungamento di ulteriori 5 km oltre il DI. "La ridefinizione di tali volumi è possibile durante il periodo di monitoraggio sulla base di nuovi dati emergenti che ne consigliassero la modifica." [UNMIG, 2014].

Le linee guida prevedono che la rete di monitoraggio sismico abbia le seguenti caratteristiche tecniche:

a) "inter-distanza tra le stazioni di 3-5 km nell'area superficiale del dominio interno di rilevazione, aumentata progressivamente procedendo verso il bordo esterno del dominio esteso DE";
b) stazioni dotate di due sensori tri-assiali, uno a elevata sensibilità (sismometri a corto periodo $0.5 > T \geq 1$s e almeno un sismometro a banda estesa o larga con $T \geq 20$-40 s) e uno a elevata dinamica (accelerometro);
c) segnale acquisito in continuo, "con frequenza di campionamento dei dati non inferiore a 200 e 100 Hz, rispettivamente, per i sismometri e gli accelerometri posti in superficie, e a 250 Hz per i sensori (sismometri o accelerometri) posti in pozzi profondi;" il segnale sismico dovrà essere trasmesso in tempo "*quasi-reale*" alla struttura preposta al monitoraggio, che ne curerà l'archiviazione garantendo sicurezza, integrità e continuità del dato.
d) dovrà soddisfare i seguenti requisiti:
    1. "nel dominio interno di rilevazione, rilevare e localizzare i terremoti a partire da magnitudo locale M_L compresa tra 0 e 1, con errori nella localizzazione dell'ipocentro non superiori ad alcune centinaia di metri";
    2. "nel dominio esteso di rilevazione, migliorare di circa 1 unità il livello di magnitudo di completezza delle rilevazioni effettuate dalle reti nazionale e regionali" che svolgono il monitoraggio sismico per finalità di protezione civile, "con incertezza nella localizzazione dell'ipocentro contenuta entro circa 1 km";
    3. determinare, presso i punti di misurazione, l'accelerazione e la velocità del moto del suolo provocata dai terremoti, deboli e forti;
    4. integrarsi opportunamente con le reti di monitoraggio esistenti (Rete Sismica Nazionale dell'INGV, reti regionali ed eventuali altre reti locali), al fine di migliorare l'accuratezza e la completezza della sismicità registrata.

Per ulteriori dettagli si rimanda al documento citato [UNMIG, 2014].

Di recente, a Ottobre 2016, sul sito del MISE sono state pubblicate le "*Linee guida per l'utilizzazione della risorsa geotermica a media e alta entalpia*" [UNMIG, 2016], in cui si definiscono le specificità richieste per il monitoraggio sismico delle attività di coltivazione geotermica. Rispetto alle linee guida precedenti, in queste ultime viene definito un "dominio di rilevazione" (DR) che fa riferimento al "volume perturbato", corrispondente al volume su cui si riflettono le attività di coltivazione in termini di volumi di fluido estratto e re-iniettato, pressioni e temperature in gioco, caratteristiche di permeabilità e di fratturazione del serbatoio. Per definire il DR, "nel caso in cui il titolare della concessione non abbia fornito informazioni per la definizione dell'estensione del volume perturbato, si ritiene come Dominio Interno di rilevazione per gli impianti pilota un volume che si estende per 2 km intorno al pozzo stesso (valore convenzionale e cautelativo), ampliato di un'ulteriore fascia di 5 km, sia lateralmente che in profondità, che tenga conto dell'incertezza generale sul volume perturbato." Sempre in via cautelativa, si ritiene che l'area interessata dal monitoraggio debba comunque corrispondere quanto meno all'estensione del permesso di ricerca.

Nel presente lavoro illustriamo le caratteristiche tecniche della rete sismica locale installata nell'area geotermica Torre Alfina-Castel Giorgio. Abbiamo preso in considerazione 12 possibili siti, studiandoli sia dal punto di vista del rumore ambientale che geologico (vedi anche schede di stazione allegate). Di questi siti, 10 sono attualmente operanti. I sensori sismici presenti nelle stazioni sono velocimetri; gli accelerometri saranno eventualmente installati in futuro su richiesta del committente. Al momento, la rete sismica non comprende sensori in pozzo. Con questa configurazione, abbiamo eseguito test sulla capacità di detezione dei terremoti locali, confrontandola con quella della Rete Sismica Nazionale, e sulla trasmissione dei dati in tempo reale.

1. Descrizione della Rete di Monitoraggio sismico di Torre Alfina (ReMoTA)

1.1 Ubicazione delle stazioni

La Rete di Monitoraggio sismico di Torre Alfina, denominata ReMoTA, è stata progettata con lo scopo di monitorare e studiare la sismicità naturale nell'area circostante il serbatoio geotermico di Torre Alfina-Castel Giorgio e di poter riconoscere l'eventuale sismicità indotta dalla futura attività di utilizzo delle risorse geotermiche (estrazione e re-iniezione di fluidi).

La prima stazione è stata installata alla fine di marzo 2014; a novembre dello stesso anno la rete era composta da 5 stazioni equipaggiate con strumentazione acquistata da ITW&LKW. A queste si sono aggiunte, nel corso del 2015, altre 5 stazioni di proprietà dell'INGV, fornite in via temporanea per garantire il monitoraggio in caso di malfunzionamenti e la detezione di eventi di bassa magnitudo ($\leq$ 1.0) in corrispondenza del campo geotermico e nelle immediate vicinanze. Con questa strumentazione è stato analizzato il rumore ambientale in 12 siti, dei quali 10 sono stati selezionati per la configurazione definitiva. In un raggio di 45 km dall'area geotermica Torre Alfina-Castel Giorgio sono presenti, inoltre, 4 stazioni permanenti della Rete Sismica Nazionale (RSN) dell'INGV e una stazione accelerometrica gestita dall'Osservatorio Sismico "Andrea Bina" di Perugia (Figura 1.1).

Nell'individuare i siti nei quali installare le stazioni ReMoTA, è stata data priorità a terreni di proprietà degli enti locali; tuttavia, poiché essi scarseggiano nella zona di Torre Alfina-Castel Giorgio, la scelta è spesso ricaduta su proprietà private. I 10 siti ad oggi selezionati rappresentano il miglior compromesso tra rumore di fondo, logistica di installazione, messa in sicurezza e accessibilità alla strumentazione durante l'intero arco dell'anno. Infatti, non essendo ancora attiva la trasmissione in tempo reale dei dati, eccetto che per una stazione, è necessario effettuare sopralluoghi all'incirca ogni 3 settimane per recuperare le registrazioni e controllare lo stato di funzionamento della strumentazione.

1.2 Strumentazione sismica

I siti presi in considerazione per l'installazione di ReMoTA sono stati equipaggiati con velocimetri e acquisitori di diverso tipo, in parte acquistati da ITW&LKW e in parte di proprietà dell'INGV, forniti da quest'ultimo in via temporanea. In Tabella 1.1 sono riportate l'ubicazione e la strumentazione dei 12 siti testati. La strumentazione delle stazioni ITW&LKW è stata acquistata da un produttore italiano, la *SARA electronic instruments Srl* di Perugia (di seguito SARA), che ha offerto prodotti della qualità rispondente alle specifiche tecniche dell'acquisitore e del sismometro richieste dal MISE a un prezzo competitivo. Il fatto che, al di fuori delle zone vulcaniche, i terremoti locali di bassa magnitudo rilascino energia significativa al di sopra di 2 Hz [Aki and Richards, 2002] giustifica la scelta di utilizzare sensori a corto periodo. Il segnale sismico è campionato a 100 Hz.

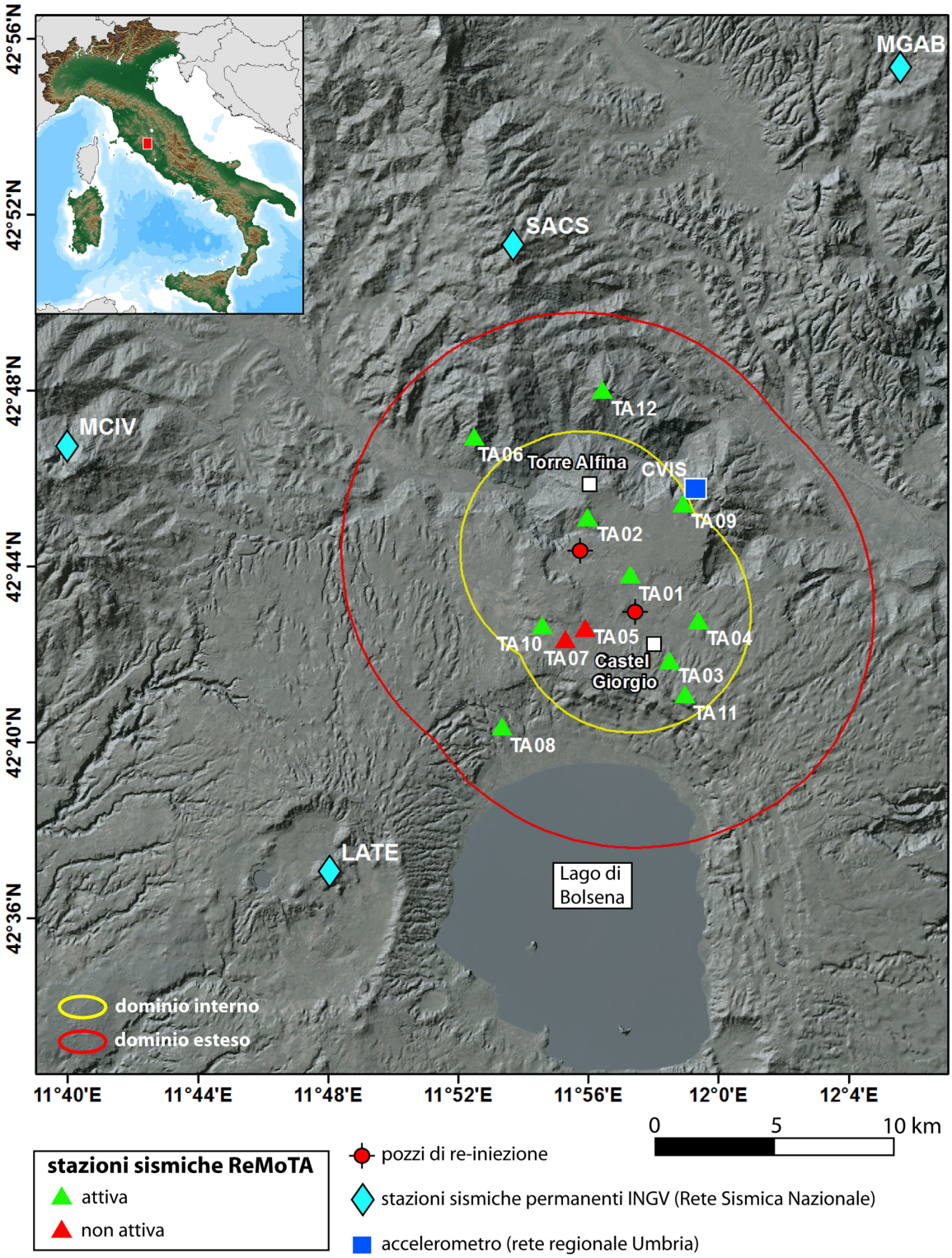


Figura 1.1 Ubicazione dei 12 siti testati per l'installazione della rete sismica ReMoTA nell'area del campo geotermico di Torre Alfina e Castel Giorgio. Dieci di questi siti sono stati scelti per l'installazione delle stazioni sismiche e sono tuttora operanti (triangoli verdi). Sono indicate anche le altre stazioni sismiche già presenti nell'area circostante il campo geotermico. Le aree di rilevazione dei fenomeni sismici, definite come dominio interno e dominio esteso secondo le linee guida del MISE [UNMIG, 2014], sono centrate sui due pozzi di re-iniezione. Nell'*inset* è evidenziata l'area in studio (rettangolo rosso).

Codice	Lat. N	Long. E	Alt. (m *s.l.m.*)	Velocimetro	Acquisitore
TA01	42.72	11.96	537	Lennartz 5s	Lennartz M-24
TA02	42.75	11.94	540	Sara SS-20 (2Hz)	Sara SL-06
TA03	42.69	11.98	586	Sara SS-20 (2Hz)	Sara SL-06
TA04	42.70	12.00	539	Sara SS-20 (2Hz)	Sara SL-06
TA05*	42.70	11.94	569	Sara SS-20 (2Hz)	Sara SL-06
TA06	42.78	11.89	533	Guralp CMG-40T	Reftek-130
TA07*	42.70	11.93	540	Lennartz 1s	Reftek-130
TA08	42.67	11.90	359	Lennartz 1s	Reftek-130
TA09	42.70	11.94	556	Lennartz 5s	Lennartz M-24
TA10	42.70	11.92	529	Sara SS-20 (2Hz)	Sara SL-06
TA11	42.68	11.99	631	Sara SS-20 (2Hz)	Sara SL-06
TA12	42.79	11.95	627	Lennartz 5s	Reftek-130

Tabella 1.1 Strumentazione installata nei 12 siti della rete sismica ReMoTA. I siti contrassegnati con un asterisco non sono attualmente in uso.

2. Analisi del rumore sismico per la scelta definitiva dei siti

Per selezionare i siti idonei per la configurazione definitiva di ReMoTA, sono stati calcolati gli spettri di rumore alle singole stazioni e studiate le caratteristiche dei transienti associabili all'utilizzo di macchinari di diverso tipo (pompe, generatori, ecc.). Per ciascun sito è stata calcolata la densità spettrale di potenza (PSD), che esprime il livello assoluto dell'energia sismica per unità di tempo. Le Figure 2.1-2.4 mostrano le PSD calcolate su 1 ora di rumore sismico registrato dalle tre componenti delle stazioni TA01-TA12 in condizioni di basso e alto rumore ambientale, corrispondenti alle ore notturne e diurne, rispettivamente.

L'energia spettrale nella banda 0.06 – 0.3 Hz è attribuibile ai microsismi di origine marina e si osserva nell'unica stazione sismica a larga banda TA06 (Figura 2.4), mentre le altre stazioni, equipaggiate con sensori a corto periodo, funzionano come filtri passa-alto rimanendo insensibili a questa sorgente di rumore.

La necessità di installare stazioni sismiche non oltre i 10 km di distanza dai pozzi geotermici di Torre Alfina e Castel Giorgio (Figura 1.1) non lascia molte possibilità di allontanarsi dal rumore antropico dovuto alla presenza di un elevato numero di strutture edilizie, industriali e civili nell'area di studio.

I numerosi impianti industriali di piccole e medie dimensioni generano disturbi nella banda di frequenza compresa tra 1.5 e 11 Hz (Figure 2.1-2.4). Le 9 stazioni ubicate entro il dominio interno (TA01-TA05, TA07, TA09-TA11, Figure 2.1-2.3) sono caratterizzate da un livello di rumore elevato in tre bande di frequenza principali: 1.5-2 Hz (banda A), 3.5-4 Hz (banda B) e picchi monocromatici tra 8 e 15 Hz (banda C). Mentre il rumore nella banda 1.5-2 Hz si propaga attraverso tutta la rete sismica, ma non influenza significativamente la capacità di detezione dei terremoti locali poiché è al disotto della frequenza dell'energia liberata dagli stessi, il rumore nella banda 3.5-4 Hz (B), osservabile per molte ore al giorno a molte stazioni della rete, causa una temporanea ridotta capacità di detezione di ReMoTA. L'eventuale alloggiamento dei sensori all'interno di pozzetti di cemento è improbabile che attenui in maniera significativa tali disturbi ad ampia propagazione, mentre dovrebbe ridurre notevolmente il rumore sismico locale della banda C.

Per quanto riguarda il Dominio Interno, dovendo scegliere un sito tra TA05, TA07 e TA10, molto vicini tra loro, e considerato che per TA05 risulta difficile ottenere il permesso per un'installazione a lungo termine, il confronto tra le PSD ha motivato la scelta di mantenere attiva la stazione TA10 anziché la TA07, più rumorosa (Figura 2.3). Rispetto alle stazioni del DI, le stazioni del DE (TA06, TA08, TA12, Figura 2.4) sono caratterizzate da un rumore inferiore nelle bande di frequenza A-C.

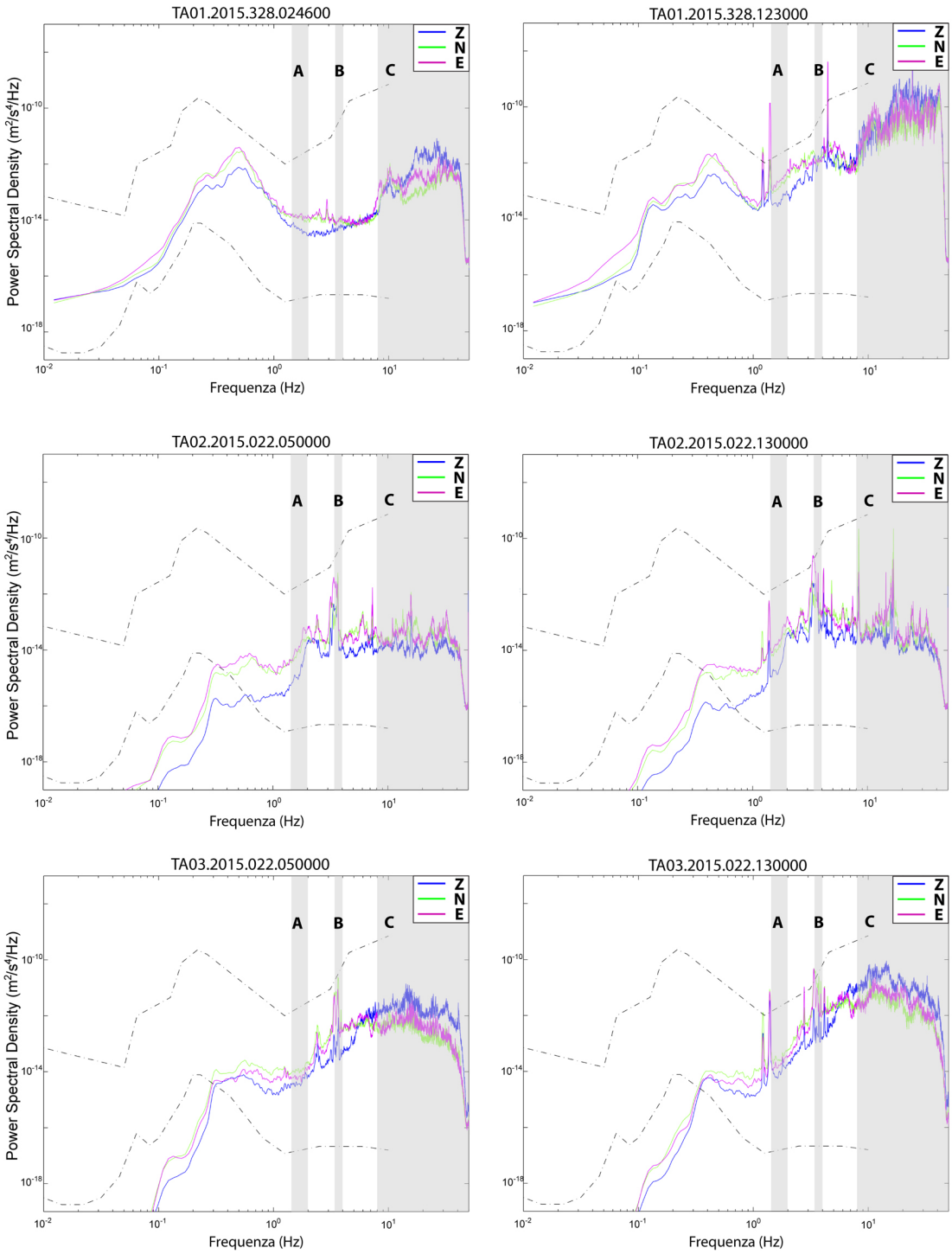


Figura 2.1 Densità spettrale di potenza (PSD), calcolata in una finestra temporale di 1 ora, del rumore di fondo registrato alle 3 componenti delle stazioni TA01, TA02 e TA03 (dominio interno) in condizioni di basso (sinistra) e alto (destra) rumore sismico. Le linee tratteggiate mostrano, per confronto, i modelli di rumore minimo e massimo proposti da Peterson [1993]. In grigio sono evidenziate le principali bande di rumore antropico osservate nell'area investigata.

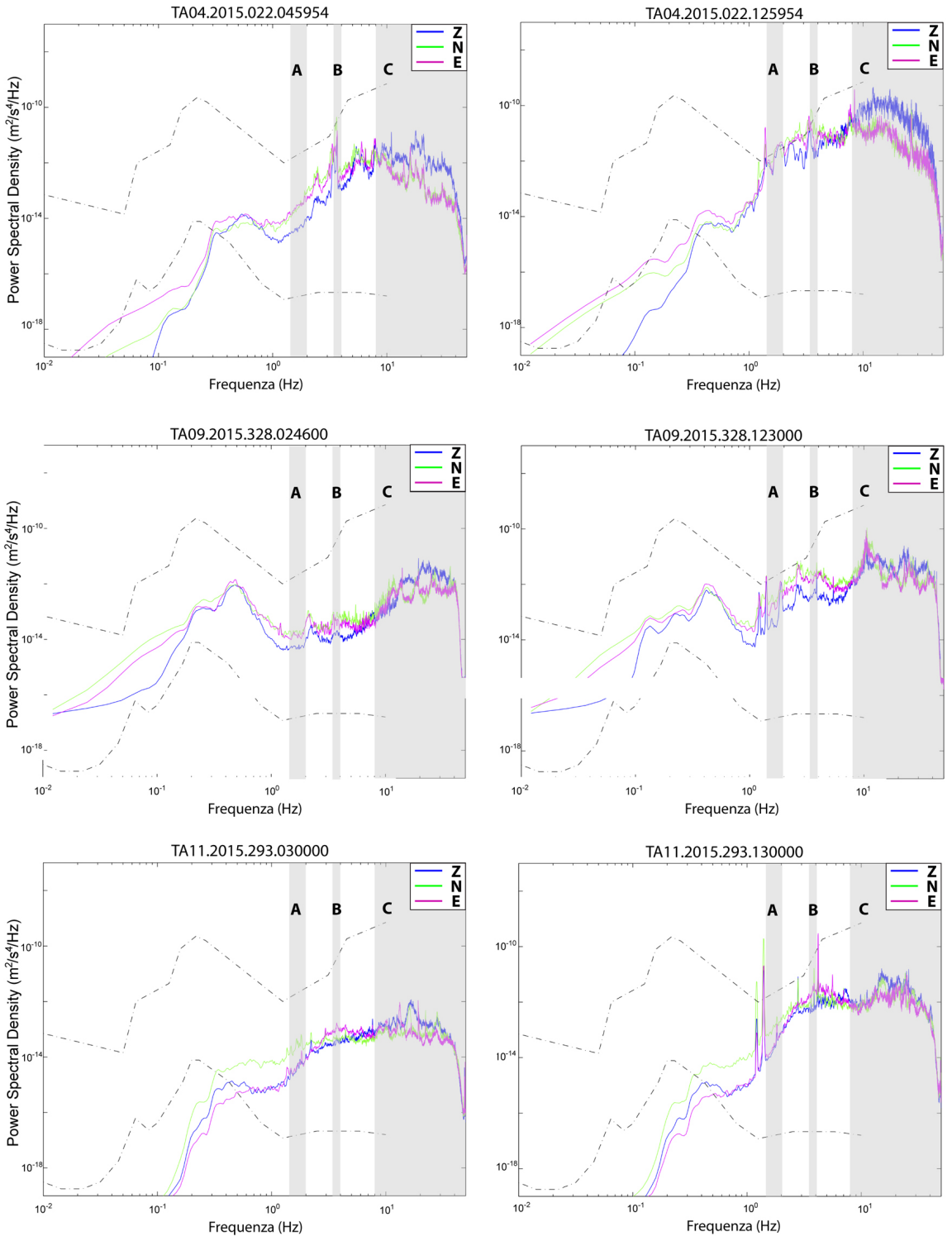


Figura 2.2 Densità spettrale di potenza (PSD), calcolata in una finestra temporale di 1 ora, del rumore di fondo registrato alle 3 componenti delle stazioni TA04, TA09 e TA11 (dominio interno), in condizioni di basso (sinistra) e alto (destra) rumore sismico. Le linee a tratteggio mostrano, per confronto, i modelli di rumore minimo e massimo proposti da Peterson [1993]. In grigio sono evidenziate le principali bande di rumore antropico osservate nell'area investigata.

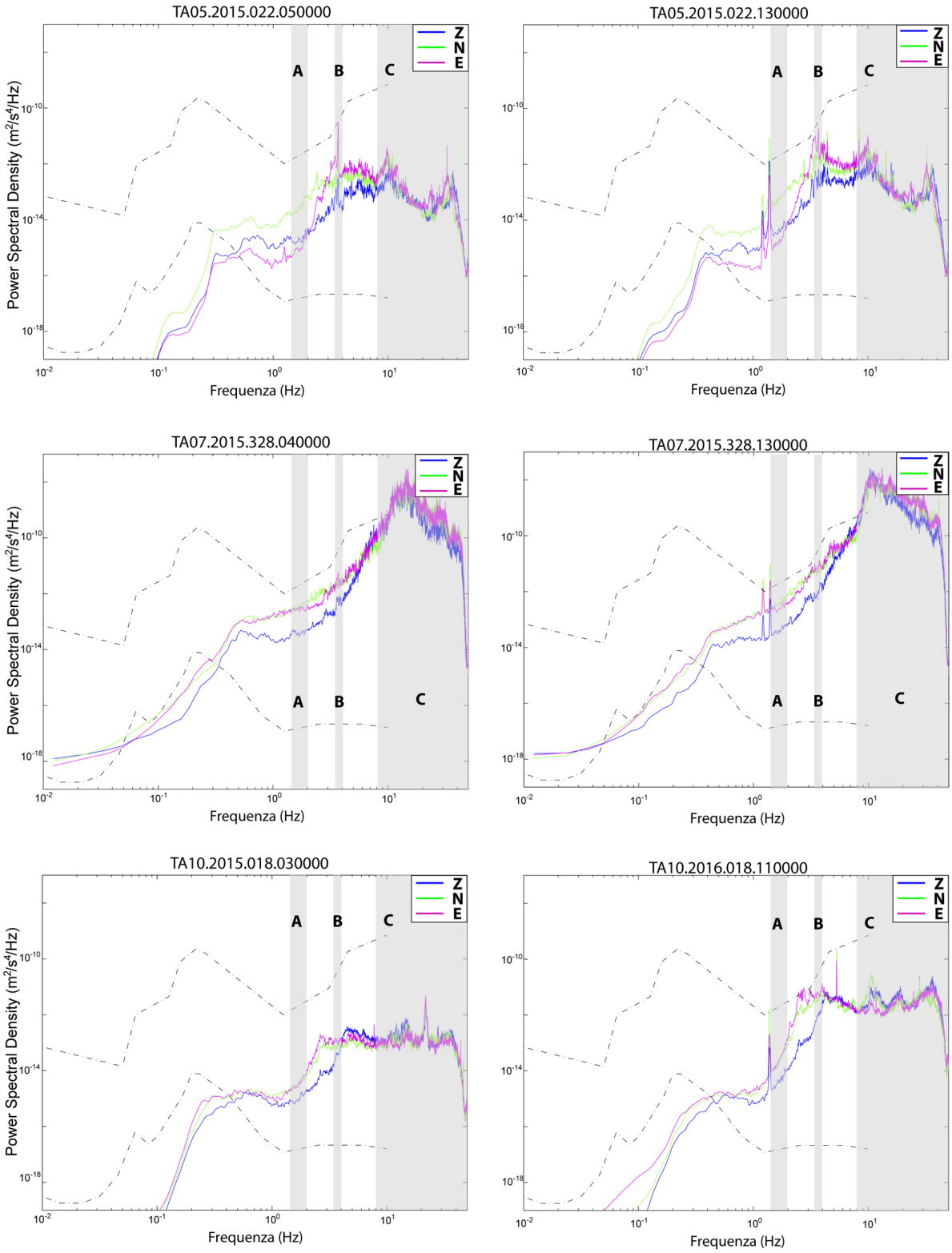


Figura 2.3 Densità spettrale di potenza (PSD), calcolata in una finestra temporale di 1 ora, del rumore di fondo registrato alle 3 componenti delle stazioni TA05, TA07 e TA10 (dominio interno), in condizioni di basso (sinistra) e alto (destra) rumore sismico. Le linee a tratteggio mostrano, per confronto, i modelli di rumore minimo e massimo proposti da Peterson [1993]. In grigio sono evidenziate le principali bande di rumore antropico osservate nell'area investigata.

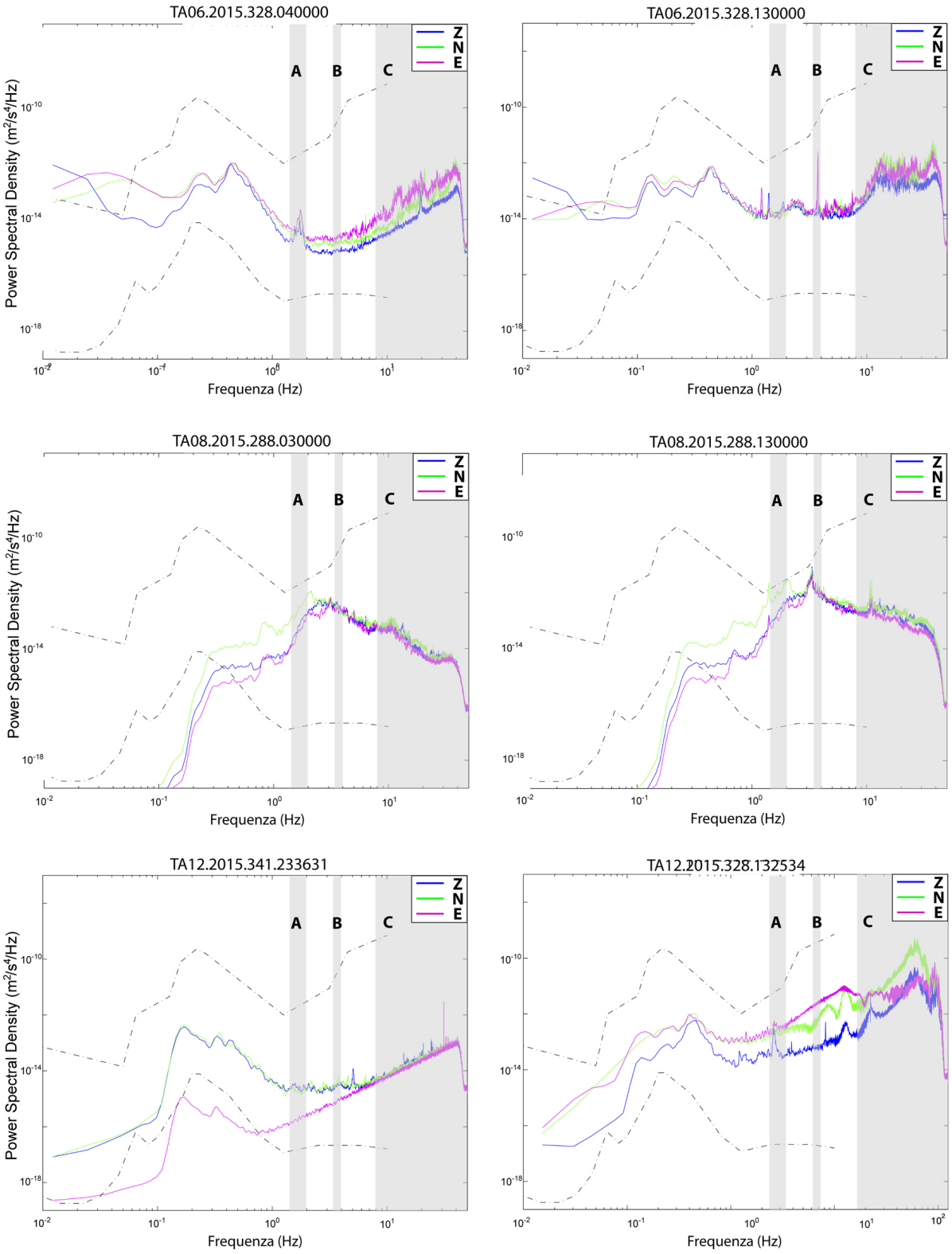


Figura 2.4 Densità spettrale di potenza (PSD), calcolata in una finestra temporale di 1 ora, del rumore di fondo registrato alle 3 componenti delle stazioni TA06, TA08 e TA12 (dominio esteso), in condizioni di basso (sinistra) e alto (destra) rumore sismico. Le linee a tratteggio mostrano, per confronto, i modelli di rumore minimo e massimo proposti da Peterson [1993]. In grigio sono evidenziate le principali bande di rumore antropico osservate nell'area investigata. L'andamento anomalo della componente EW della stazione TA12 è dovuto al sensore fuori bolla.

2.1 Caratteristiche spazio-temporali del rumore sismico

Le stazioni sismiche registrano in continuo le vibrazioni del suolo generate da sorgenti naturali e antropiche. La Figura 2.5 mostra un esempio di registrazione sulle tre componenti della stazione TA11 e l'andamento temporale del contenuto spettrale (spettrogramma). Gli spettrogrammi illustrati nel presente lavoro sono normalizzati rispetto al valore massimo riscontrato nell'intervallo di tempo analizzato, cosicché i valori spettrali sono rappresentati con un *range* di colori "arcobaleno" (*colorbar rainbow*) che va dal blu (0, valore minimo) al rosso (1, valore massimo). La finestra temporale degli spettrogrammi è di 1 secondo.

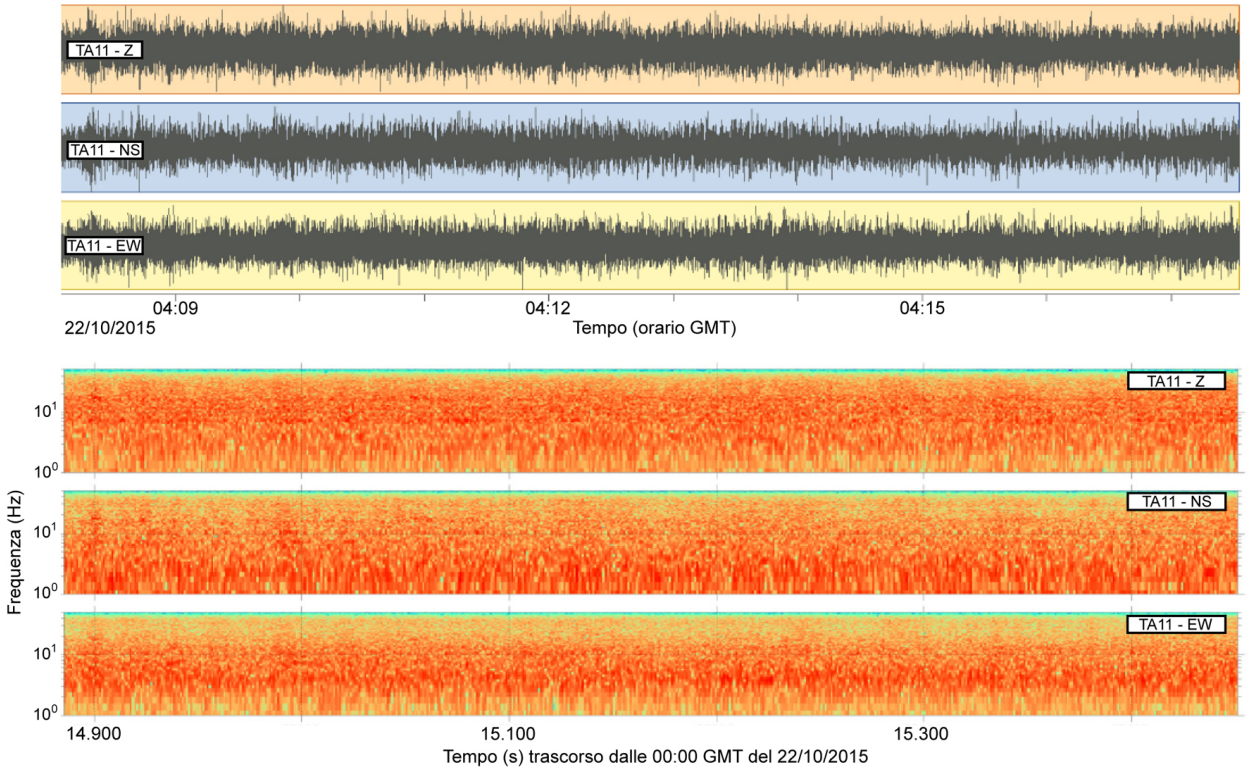


Figura 2.5 Esempi di registrazione sulle 3 componenti della stazione TA11 (in alto) e relativi spettrogrammi (in basso). Il tempo nei sismogrammi è indicato come orario GMT, negli spettrogrammi come numero di secondi trascorsi dalle ore 00:00 GMT. Negli spettrogrammi i valori spettrali normalizzati variano dal valore minimo (blu) al valore massimo (rosso).

In questo esempio, non si evidenziano variazioni significative del contenuto energetico nella banda di frequenza analizzata. Questa condizione di basso rumore equi-distribuito, senza significativi picchi di risonanza, è purtroppo rara nell'area in esame, come evidenziano gli altri esempi descritti in seguito.

Mettendo a confronto tracce registrate contemporaneamente in stazioni diverse, è possibile fare osservazioni e deduzioni in merito alla tipologia e alla possibile provenienza del rumore. In Figura 2.6 sono mostrati 18 minuti di registrazione sulle componenti verticali delle stazioni TA02, TA03 e TA04, durante i quali si è osservato un brusco aumento del rumore. Gli spettrogrammi mostrano disturbi a ~ 4 Hz e a ~ 8.5 Hz, maggiormente evidenti a TA02. Lo stesso si osserva sulle componenti orizzontali, non mostrate qui. Gli spettrogrammi suggeriscono che il disturbo è probabilmente dovuto all'accensione di un motore o di una pompa. Il fenomeno è osservabile soprattutto durante le ore diurne, ma non tutti i giorni, e ha durata variabile. Il fatto che l'inizio del disturbo si registri in tempi diversi - prima a TA02, poi a TA03 e infine a TA04 - e decada nello stesso ordine, indica che la sorgente è ubicata a ovest di TA02.

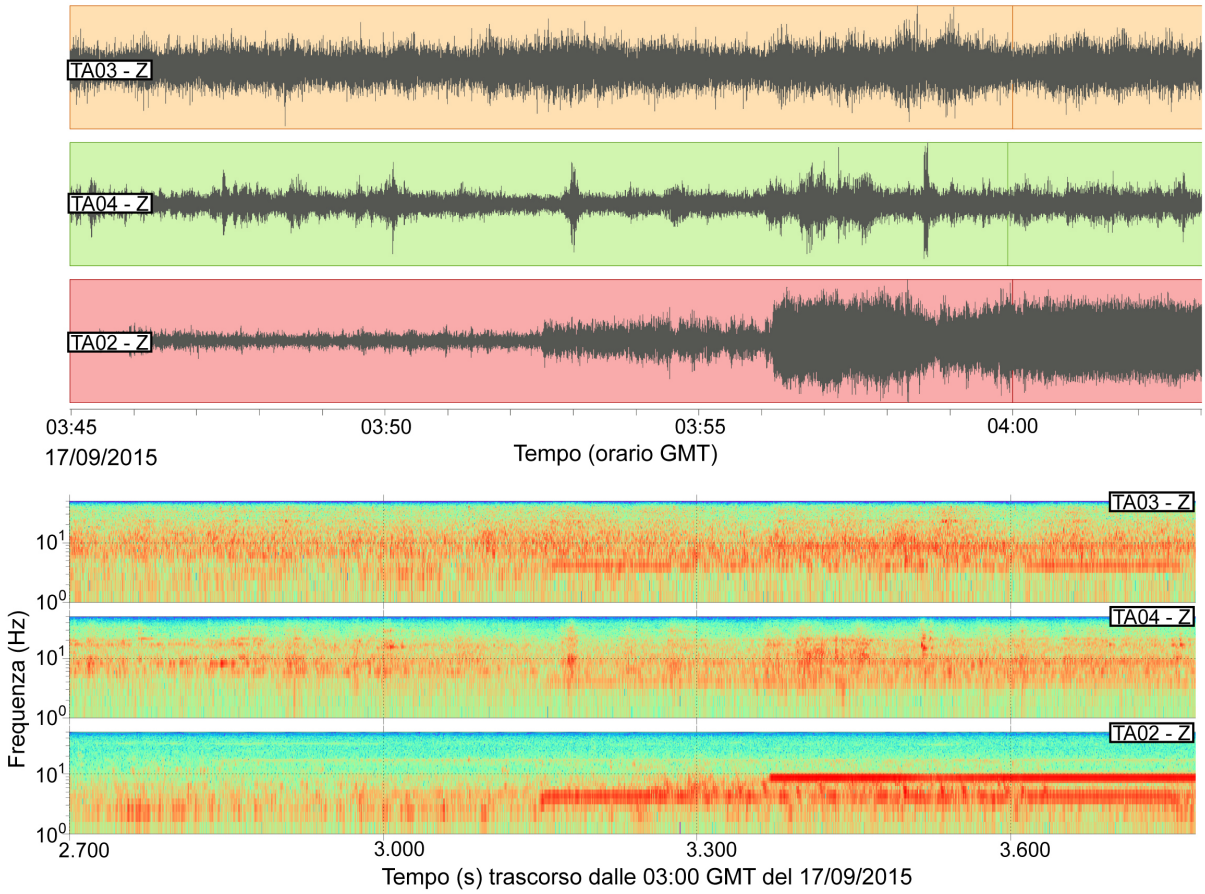


Figura 2.6 Esempi di registrazione (in alto) sulle componenti verticali delle stazioni TA02, TA03 e TA04 e relativi spettrogrammi (in basso). Il tempo nei sismogrammi è indicato come orario GMT, negli spettrogrammi come numero di minuti trascorsi dalle ore 03:00 GMT. Si nota la presenza di disturbi a 4 Hz e a 8.5 Hz, più marcati alla stazione TA02. Negli spettrogrammi i valori spettrali normalizzati variano dal valore minimo (blu) al valore massimo (rosso).

In Figura 2.7 sono analizzate le tre componenti della stazione TA02. Poco prima delle 05:17 GMT del 22 settembre 2015 (pannello superiore a sinistra) si nota un incremento di ampiezza del segnale (fase di "accensione"). Come si evince dagli spettrogrammi (pannello inferiore a sinistra), a questo incremento corrisponde un picco a ~ 4 Hz al quale si aggiunge, dopo circa 100 s, un picco secondario a ~ 8.5 Hz. Lo "spegnimento" (pannelli a destra) avviene con cronologia inversa rispetto alla fase di "accensione" (le oscillazioni a 8 Hz scompaiono prima delle oscillazioni a 4 Hz). Il disturbo termina intorno alle 16:25 GMT dello stesso giorno.

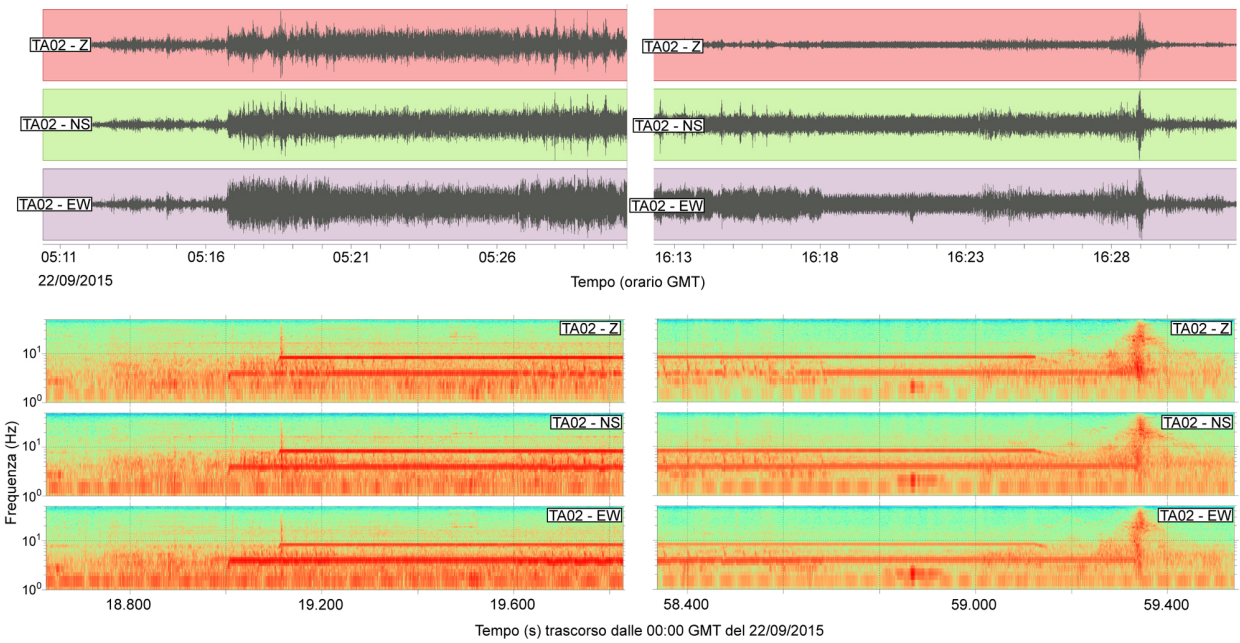


Figura 2.7 Esempi di registrazione (in alto) della stazione TA02 e relativi spettrogrammi (in basso). Il tempo nei sismogrammi è indicato come orario GMT, negli spettrogrammi come numero di secondi trascorsi dalle ore 00:00 GMT. Negli spettrogrammi sono evidenti comparsa e scomparsa repentine di rumore nelle bande di frequenza B e C. Questi disturbi si propagano per diversi chilometri e contaminano le registrazioni di tutte le stazioni del dominio interno. Negli spettrogrammi i valori spettrali normalizzati variano dal valore minimo (blu) al valore massimo (rosso).

In Figura 2.8 mostriamo il risultato di un'analisi della distribuzione azimutale del rumore. Nell'intervallo temporale preso in esame in Figura 2.7 è stata analizzata l'energia spettrale sulle componenti orizzontali in funzione dell'azimut. Si nota che la banda A (1.5-2.0 Hz) non evidenzia significative variazioni azimutali (*random scattered wavefield*) e ciò permette di escludere che la sorgente di rumore sia locale, mentre l'energia sismica nelle bande B (~4 Hz) e C (~8.5 Hz) ha forti caratteristiche direzionali.

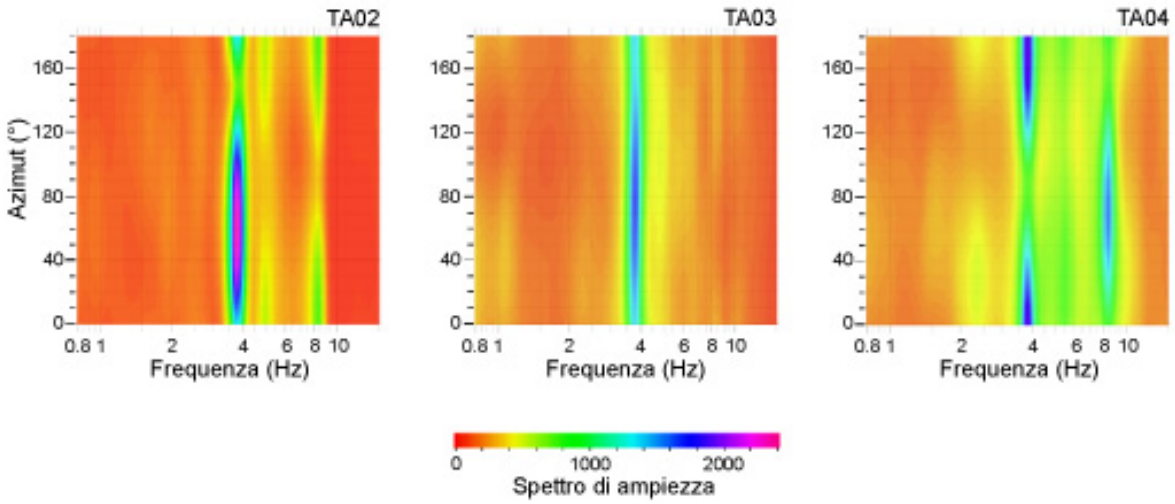


Figura 2.8 Energia spettrale delle componenti orizzontali in funzione dell'azimut per le stazioni TA02, TA03 e TA04, calcolata per intervalli sincroni di registrazione del 22 settembre 2015. Il contenuto energetico a 4 Hz, maggiore a TA02 rispetto a TA03 e TA04, e a 8.5 Hz, maggiore a TA04, mostra evidenti caratteristiche direzionali.

Mentre i disturbi di bassa frequenza (banda A) hanno caratteristiche ricorrenti e interessano tutta la rete nel suo insieme, il rumore nelle altre bande di frequenza B e C è di carattere più locale.

Un altro esempio di rumore antropico locale è mostrato in Figura 2.9. Gli spettrogrammi delle tre componenti della stazione TA11 evidenziano un disturbo che, per la breve durata (~ 6 minuti) e il comportamento spettrale (incremento e decremento), è consistente con l'azione di una centrifuga presente nelle vicinanze del sensore sismico.

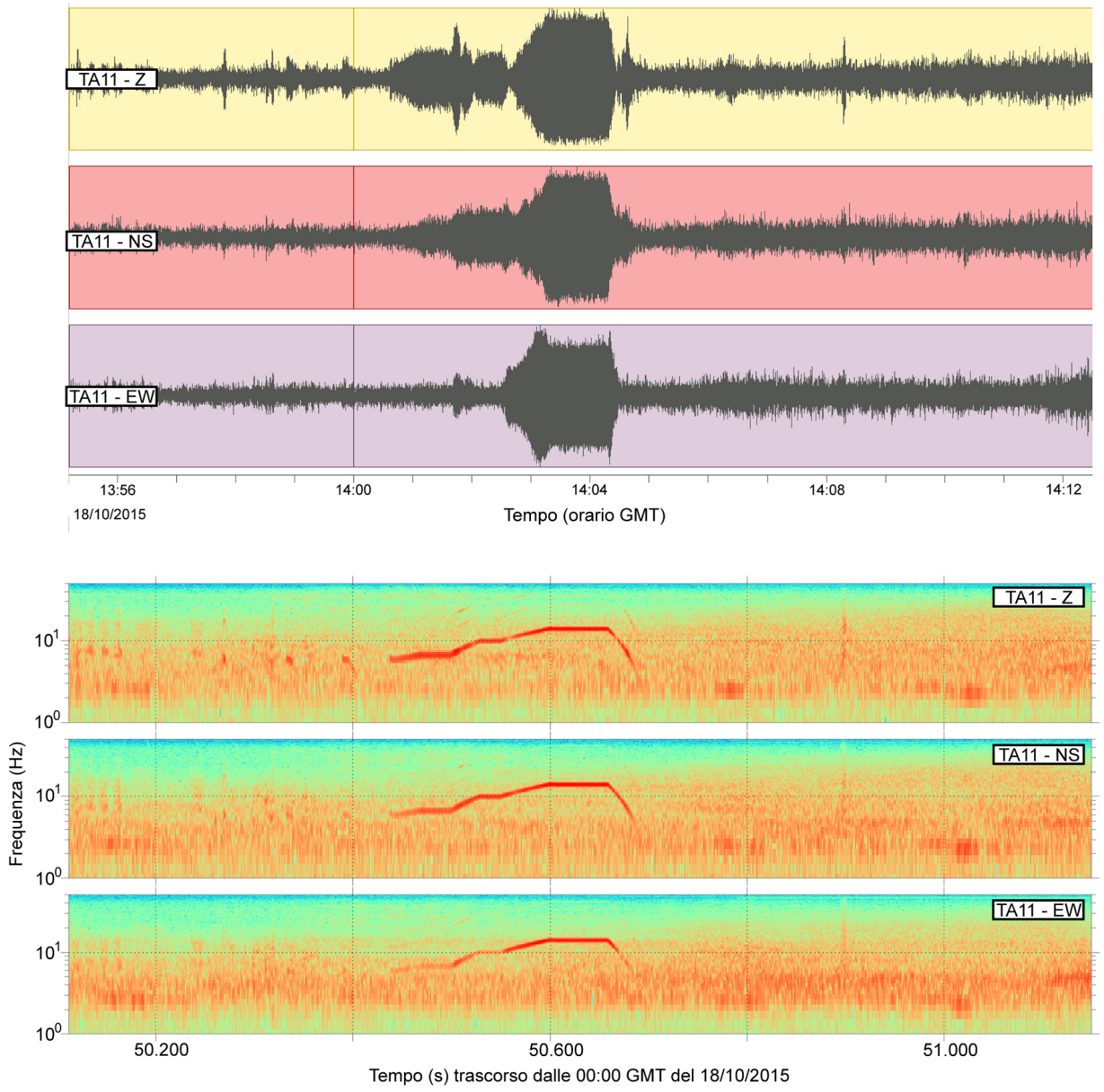


Figura 2.9 Registrazione (in alto) e comportamento spettrale nel tempo (in basso) di un transiente di origine antropica locale registrato alla stazione TA11, rivelatosi poi essere una centrifuga. Il tempo nei sismogrammi è indicato come orario GMT, negli spettrogrammi come numero di secondi trascorsi dalle ore 00:00 GMT.

2.2 Rapporto segnale/rumore degli eventi sismici

Per valutare il rapporto segnale/rumore in una delle stazioni maggiormente influenzate dai disturbi quasi-stazionari (descritti e analizzati nel capitolo 2.1) e per determinare la minima magnitudo rilevabile rispetto ai diversi livelli di rumore sismico, abbiamo confrontato gli spettri di due terremoti locali di M_d=0.8 e M_L=2.6 con il rumore minimo e massimo registrati a quella stazione. Un esempio è mostrato in Figura 2.10 per la stazione TA02 (componente verticale).

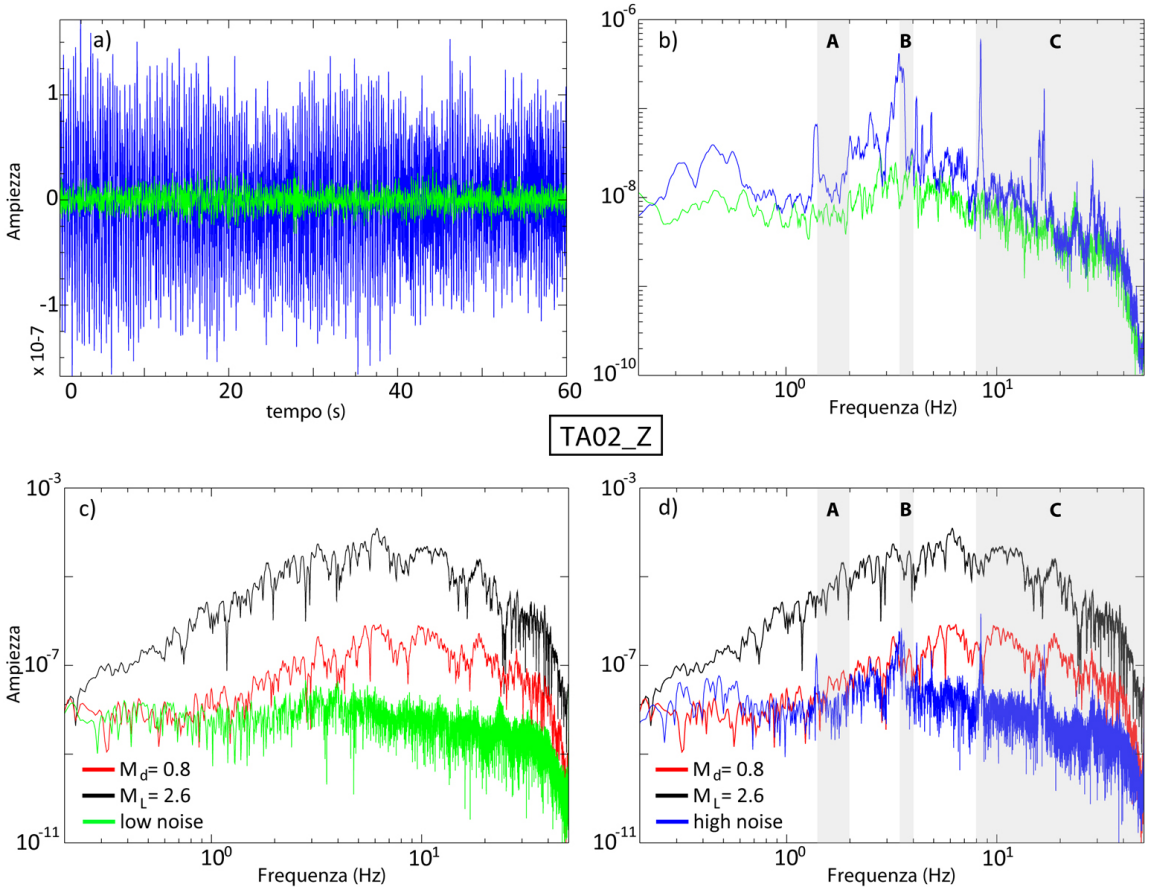


Figura 2.10 (a) Rumore sismico minimo (verde) e massimo (blu) registrato sulla componente verticale della stazione TA02 e (b) relativi spettri di ampiezza. In (c) e (d) lo spettro del rumore minimo e massimo è confrontato con gli spettri di due terremoti locali di magnitudo M_d=0.8 e M_L=2.6. In grigio sono evidenziate le principali bande di rumore antropico osservate nell'area investigata.

Durante un periodo di basso rumore sismico entrambi i terremoti di M_d=0.8 e M_L=2.6 sono rilevabili (Figura 2.10c), mentre durante i periodi di elevato rumore il terremoto di M_d=0.8 è mascherato dai disturbi presenti nelle bande di frequenza A (< 2 Hz), B (~ 4 Hz), and C (> 8 Hz) (Figura 2.10d). Poiché i terremoti locali hanno un contenuto in frequenza dominante sopra 2 Hz, il rumore intorno a 1.5 Hz (banda A) può essere eliminato usando un filtro passa-alto. Il rumore a 4 Hz (banda B) non è eliminabile in quanto è nella stessa banda di frequenza dei terremoti locali, mentre il rumore monocromatico della banda C può essere eliminato utilizzando un filtro *notch*.

3. Capacità di detezione di ReMoTA

Per la detezione di eventi locali, ai dati di ReMoTA è stato applicato un algoritmo per calcolare il rapporto STA/LTA, utilizzando i seguenti parametri determinati con test preliminari: filtro passa-alto con *corner frequency* di 10 Hz, lunghezza della finestra STA di 1 s, lunghezza della finestra LTA di 10 s, *ratio* 10, *level* 0.30. La scelta di tali valori esclude dalla detezione i terremoti regionali e telesismici.

Un esempio di applicazione del trigger STA/LTA è mostrato nei grafici di Figura 3.1. Nella giornata del 21 Dicembre 2014, ReMoTA ha riconosciuto una sequenza di eventi (barre verticali) localizzati pochi chilometri a ovest di Castel Giorgio, mentre 2 terremoti di magnitudo M_L 2.9 (00:49:48 GMT) e 3.0 (17:02:41 GMT), localizzati a circa 120 km dalla rete ("EVENT" in Figura 3.1), sono stati correttamente ignorati dall'algoritmo di trigger. Nel pannello inferiore di Figura 3.1 evidenziamo un dettaglio della sequenza temporale, che mostra gli eventi sismici riconosciuti da ReMoTA prima del primo evento della giornata riportato alle 14:40:58 GMT nel database sismologico della Rete Sismica Nazionale dell'INGV, ISIDe [Mele et al., 2010].

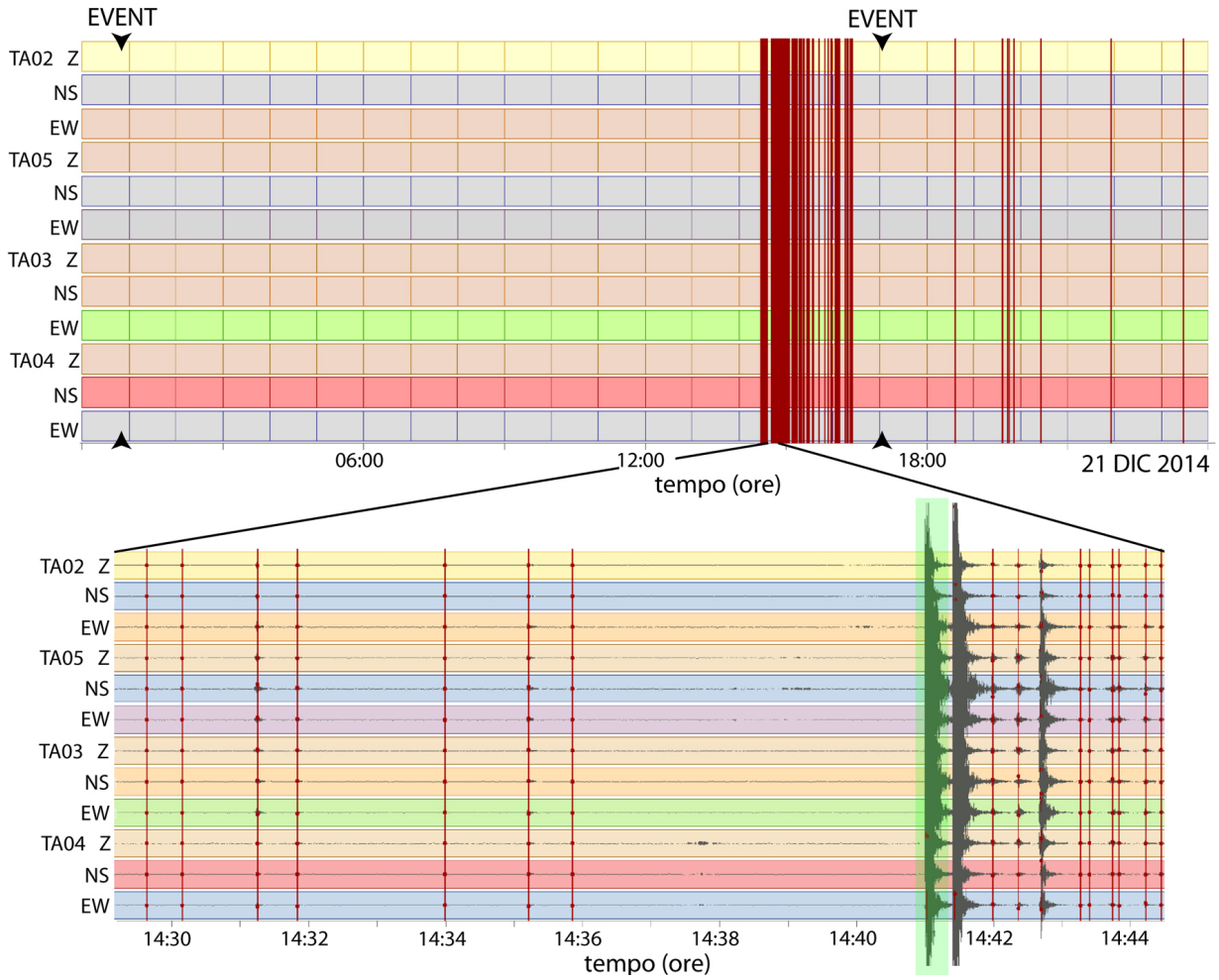


Figura 3.1 Esempio di applicazione del trigger STA/LTA a 24 ore di registrazione di 4 stazioni ReMoTA. Pannello superiore: le barre verticali indicano gli eventi locali riconosciuti da ReMoTA; i triangoli sovrastati dalla scritta "EVENT" indicano 2 eventi regionali correttamente ignorati dalla procedura di trigger. Nel pannello inferiore è ingrandito un intervallo di 16 minuti di registrazione, in cui sono presenti eventi locali riconosciuti da ReMoTA, meno intensi del primo evento (evidenziato in verde) riportato nel database ISIDe.

Il passo successivo per testare la capacità di detezione di ReMoTA è stato confrontare il numero di eventi locali riconosciuti da ReMoTA con il numero di eventi localizzati dalla Rete Sismica Nazionale dell'INGV. L'analisi è stata fatta sui dati acquisiti tra il 30 agosto 2014 e il 30 Novembre 2015, periodo in cui la Rete Sismica Nazionale ha registrato attività sismica nell'area di nostro interesse. In questo intervallo di tempo, abbiamo estratto dai database della Rete Sismica Nazionale (ISIDe) e di ReMoTA le giornate nelle quali è stata rilevata attività sismica in un'area circolare di 25 km di raggio centrata sulla località di Castel Giorgio e confrontato il numero di eventi localizzati (Tabella 3.1).

#	*Data*	*Numero di eventi localizzati*	
		ReMoTA	RSN (ISIDe)
1	30 ago 2014	6	-
2	31 ago 2014	2	1
3	19 set 2014	2	-
4	20 set 2014	2	1
5	15 ott 2014	-	1
6	27 ott 2014	2	-
7	28 ott 2014	1	1
8	29 ott 2014	1	-
9	06 nov 2014	8	4
0	12 nov 2014	1	1
11	13 nov 2014	7	-
12	23 nov 2014	1	1
13	21 dic 2014	94	10
14	22 dic 2014	8	-
15	23 dic 2014	12	-
16	24 dic 2014	41	1
17	22 gen 2015	-	1
18	21 feb 2015	-	1
19	20 mar 2015	-	1
20	24 mar 2015	3	2
21	28 mar 2015	29	1
22	29 mar 2015	2	-
23	07 apr 2015	1	-
24	08 apr 2015	6	3
25	14 apr 2015	1	1
26	19 apr 2015	-	1
27	08 mag 2015	-	1
28	09 mag 2015	2	1
29	13 mag 2015	-	1
30	16 mag 2015	1	-
31	17 mag 2015	2	1
32	28 mag 2015	-	1
33	04 giu 2015	-	1
34	16 giu 2015	-	1
35	19 giu 2015	3	1
36	21 giu 2015	-	1
37	03 lug 2015	-	1
38	12 ago 2015	-	1
39	08 ott 2015	-	2
40	23 ott 2015	-	1
41	27 ott 2015	1	1
42	11 nov 2015	-	2
43	24 nov 2015	31	1
44	25 nov 2015	10	1
45	26 nov 2015	6	1
	TOTALE	**286**	**52**

Tabella 3.1 Numero di eventi localizzati da ReMoTA e dalla Rete Sismica Nazionale nel raggio di 25 km da Castel Giorgio. Il periodo di analisi si estende dal 30 agosto 2014 al 30 novembre 2015.

Il 21 dicembre 2014 ReMoTA ha localizzato 94 eventi rispetto ai 10 riportati da ISIDe (vedi anche Figura 3.1). Nei 3 giorni successivi, a fronte di 1 solo evento localizzato dalla Rete Sismica Nazionale, ReMoTA ha localizzato 61 eventi. Nell'intero periodo selezionato per l'analisi, il database di ReMoTA riporta 286 eventi locali rispetto ai 52 di ISIDe.

In Figura 3.2 sono evidenziati i giorni, tra quelli elencati in Tabella 3.1, nei quali sono presenti eventi localizzati da ReMoTA. Il numero di stazioni utilizzate per la localizzazione è variabile, con un massimo di 5.

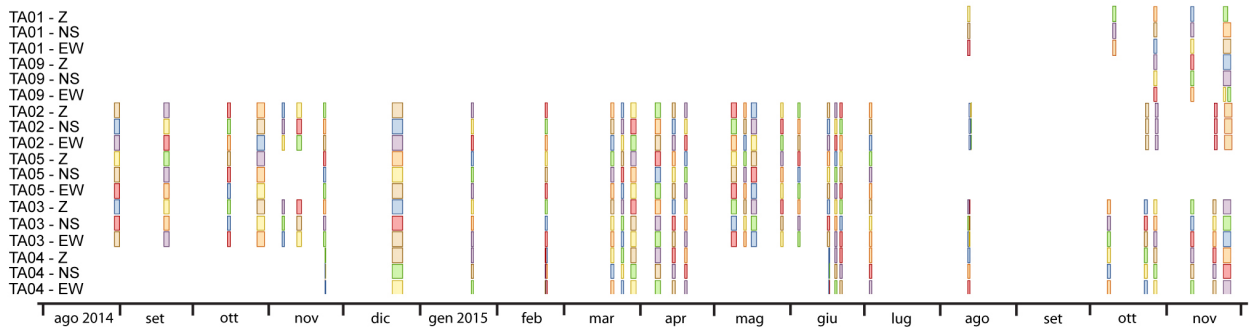


Figura 3.2 I giorni evidenziati come celle colorate sono quelli nei quali ReMoTA ha riconosciuto gli eventi locali tramite l'applicazione della procedura di trigger STA/LTA (Tabella 3.1). Il numero di stazioni utilizzate per la localizzazione degli eventi è variabile nel periodo di analisi considerato.

Per localizzare l'attività sismica dell'area di Torre Alfina-Castel Giorgio con le stazioni ReMoTA, abbiamo utilizzato il modello 1-D di velocità riportato in Tabella 3.2 [Batini et al., 1980a; 1980b; Chiarabba et al., 1995].

Profondità (km)	***Vp (km/s)***
0	3.00
1	4.55
3	5.12
5	5.83
7	6.41
11	6.50
38	8.05

Tabella 3.2 Modello di velocità usato per localizzare gli eventi sismici locali con le stazioni ReMoTA.

4. Geologia dell'area Torre Alfina-Castel Giorgio e caratteristiche del sistema geotermico

L'assetto geologico di quest'area è noto grazie alle pubblicazioni derivate dall'attività di esplorazione geotermica dell'Enel negli anni 1970-80 [Costantini et al., 1988, Buonasorte et al., 1988; 1991]. Le formazioni rilevate in superficie e attraversate dai sondaggi sono state raggruppate in "Complessi", ciascuno dei quali separato dal sottostante da una superficie di discontinuità corrispondente, nella maggior parte dei casi, a una discordanza angolare di importanza regionale [Buonasorte et al., 1988].

In Figura 4.1 è mostrata la sezione geologica NNW-SSE dell'area compresa tra Torre Alfina e Castel Giorgio, corrispondente al profilo 4 della Carta Geologica dell'area geotermica di Torre Alfina di Costantini et al. [1988]. Dalla superficie alla base dello spessore investigato, sono presenti:

1) *Complesso vulcanico dei Monti Vulsini* (0.8-0.1 Ma), un vasto strato-vulcano policentrico i cui prodotti sono rappresentati da una vasta gamma di tipi alcalino-potassici che va da termini sottosaturi, ricchi in leucite (leucititi, tefriti, fonoliti, trachiti a leucite) a termini saturi o soprassaturi (trachibasalti, latiti, trachiti).

2) *Complesso neoautoctono*, prevalentemente costituito da sedimenti argillosi che evolvono verso il basso a termini più marcatamente sabbiosi e conglomeratici. Ha spessori variabili che possono raggiungere i 400-500 metri, in diminuzione da S-SE a N-NW.
3) *Complesso delle unità di facies ligure e austroalpina interna*. Le formazioni appartenenti a questo complesso sono riferibili a due unità tettoniche sovrapposte: l'*Unità ofiolitifera delle "argille con calcari palombini"* (non presente nella sezione di Figura 4.1), rappresentata prevalentemente da una massa argillosa che ingloba blocchi di calcare siliceo grigio (palombino) e ofioliti, e l'*Unità di S. Fiora*, costituita da sequenze torbiditiche arenaceo-pelitiche o calcarenitico-lutitiche con una porzione argillitica nettamente dominante.
4) *Complesso delle formazioni di facies toscana,* costituito dal basso verso l'alto da una successione che va dal Calcare Cavernoso del Trias sup. al Macigno dell'Oligocene con uno sviluppo complessivo di circa 900 metri. Esso è stato raggiunto dalle perforazioni di diversi pozzi Enel [Buonasorte et al., 1988; 1991]. Nella parte orientale dell'area, sotto le rocce della serie toscana si trova una potente serie carbonatica a facies umbra [Buonasorte et al., 1991].

Il serbatoio geotermico di Castel Giorgio-Torre Alfina è un alto strutturale dei carbonati mesozoici della *facies toscana*, che ospita nella sua parte più alta una cappa di gas (prevalentemente CO_2). La copertura impermeabile è assicurata da una potente coltre di terreni flyschoidi alloctoni appartenenti al *Complesso delle unità di facies ligure e austroalpina interna*. Il fluido geotermico è costituito da acqua calda con una temperatura intorno a 140 °C e con ~ 2 % in peso di CO_2 disciolta. Nell'area vi è una sola manifestazione con emissione di gas freddi, connessa a una faglia con direzione NNW-SSE [Carapezza et al., 2015].

Informazioni di dettaglio sulla geologia dei 12 siti presi in esame in questo studio per l'installazione della rete sismica sono riportate nelle schede di stazione presenti in Allegato.

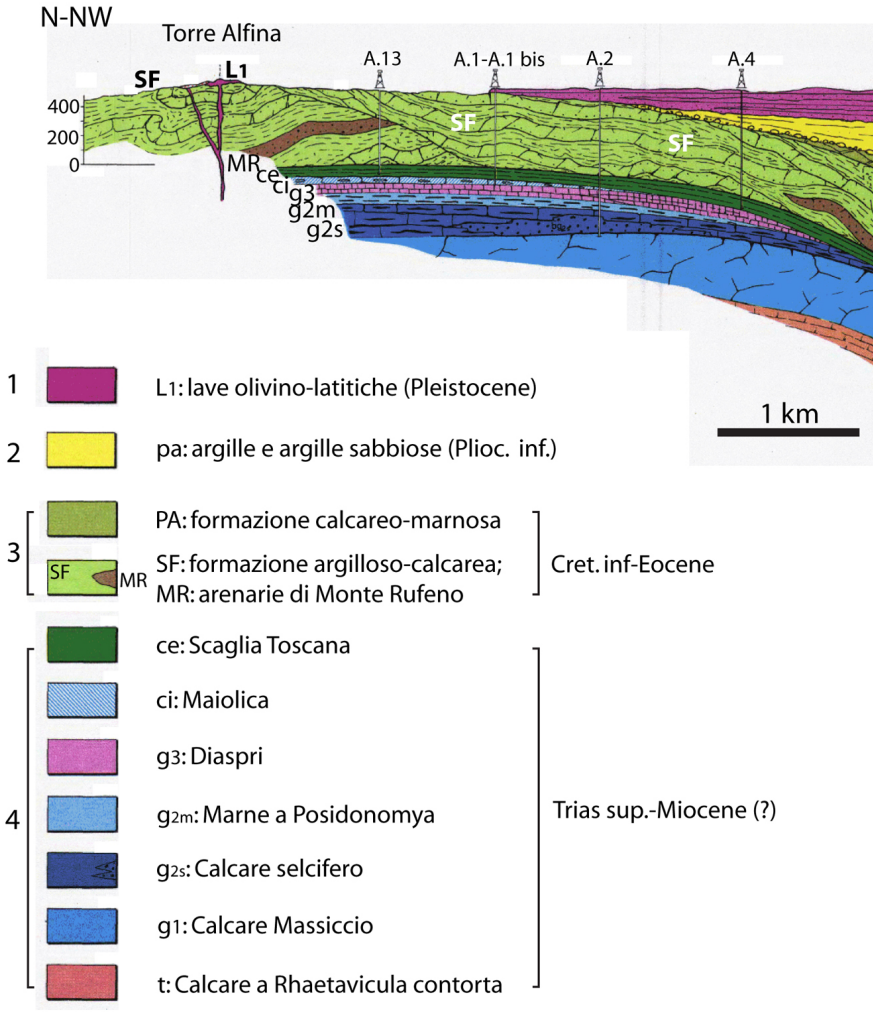


Figura 4.1 Sezione geologica dell'area compresa tra Torre Alfina e Castel Giorgio (tratta dal profilo 4-4 di Costantini et al. [1988]), nella quale si riconoscono i seguenti Complessi: 1) vulcanico dei Monti Vulsini (Quaternario); 2) neoautoctono (Pliocene inf.); 3) unità di facies ligure e austroalpina interna (Cretaceo inf. - Eocene medio-sup.); 4) formazioni di facies toscana (Giurassico sup.).

5. Trasmissione dei dati in tempo reale e archiviazione

Per valutare l'accessibilità alla rete internet in termini di copertura telefonica, le stazioni ReMoTA sono state inserite in internet tramite rete telefonica mobile, con modem provvisti di SIM *UMTS* (*Universal Mobile Telecommunications System*) con plafond di 2Gb di dati mensili. Dai rilievi eseguiti sul campo si è evidenziata una copertura mista fra i gestori TIM, Wind e Vodafone. Si è misurato che i primi due gestori hanno migliore copertura nella zona di interesse mentre Vodafone potrebbe non garantire la connettività di più di un apparato alla volta. Questo aspetto è discriminante nel caso si renda necessario connettere altri apparati per il monitoraggio multidisciplinare.

Attualmente tutte le stazioni acquisiscono i dati in continuo sulla macchina locale; solo TA04 li invia, mediante *UMTS*, anche a un *server* collocato presso SARA, a Perugia. Difficoltà di trasmissione sono state riscontrate alle stazioni TA02, TA08 e TA11 mentre per le rimanenti stazioni i test di trasmissione sono stati incoraggianti. In futuro si considererà l'uso di una connessione internet satellitare tipo *Open-Sky* per superare le criticità di alcuni siti e diminuire il costo di trasmissione dei dati.

I dati trasmessi in tempo reale dalla stazione TA04 sono ricevuti dal *server* e qui processati con il *software SeisComP3* [Weber et al., 2007], che scrive e archivia periodicamente *files* continui. Il segnale viene analizzato tramite il *software RTQUAKE* [Utheim et al., 2014] che, in caso di più stazioni, identifica i segnali correlati riconoscendoli come terremoti (criterio di coincidenza). Al riconoscimento di un evento sismico, il programma esegue la localizzazione automatica e invia una *email* di notifica. La localizzazione viene salvata in un *database* insieme alle forme d'onda associate all'evento, che restano disponibili per le analisi successive.

6. Conclusioni

Nell'area di Torre Alfina e Castel Giorgio, compresa tra le regioni Lazio e Umbria, è stata installata dall'INGV una rete locale per il monitoraggio della sismicità, in vista di due futuri progetti pilota condotti dalla Società ITW&LKW Geotermia Italia S.p.A. Nell'area in questione sono presenti numerosi insediamenti industriali di piccole e medie dimensioni. Per attenerci alle linee guida del Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) in materia di monitoraggio sismico degli impianti geotermici, l'ubicazione delle stazioni sismiche vicino a tali impianti è stata inevitabile e comporta un elevato livello di rumore antropico nelle registrazioni. Durante i periodi di accensione dei macchinari industriali, nei dati sismici compaiono interferenze caratterizzate da energia tra 1.5 e 15 Hz. In particolare, le stazioni sismiche ubicate entro una fascia di 5 km centrata sui futuri siti di re-iniezione (dominio di rilevazione interno), mostrano un livello di rumore elevato tra 1.5 e 2 Hz, 3.5 e 4 Hz e picchi monocromatici nella banda tra 8 e 15 Hz. Il rumore a 1.5-2 Hz non influenza significativamente la capacità di detezione dei terremoti locali, in quanto è al disotto della frequenza dell'energia liberata dagli stessi, mentre il rumore nella banda 3.5-4 Hz, che è osservabile per molte ore al giorno a quasi tutte le stazioni ReMoTA, ricade nella banda di frequenza dei terremoti locali ed è difficilmente eliminabile. Il rumore sismico di carattere locale osservato tra 8 e 15 Hz si potrà probabilmente attenuare installando i sensori all'interno di pozzetti in cemento.

L'elevato rumore sismico quasi-stazionario nella banda B (3.5-4 Hz) condiziona in maniera significativa le capacità di detezione di ReMoTA e non può essere migliorato in quanto le linee guida del MISE prevedono l'installazione delle stazioni sismiche solo all'interno del dominio di rilevazione, escludendo altre configurazioni possibili. L'unica alternativa per attenuare l'ampiezza dei disturbi antropici consiste nell'installare la strumentazione all'interno di un pozzetto cementato, e ciò è previsto nelle successive fasi di sviluppo della rete.

Nonostante i limiti dovuti alla rumorosità dei siti, i test effettuati hanno dimostrato che la configurazione attuale di ReMoTA, composta da 10 stazioni, ha una capacità di detezione degli eventi sismici locali superiore di circa 7 volte a quella della Rete Sismica Nazionale. Per tutte le stazioni, che attualmente registrano i dati in continuo su supporto locale, sono stati effettuati test per la trasmissione dei dati in tempo reale mediante *UMTS*. Ad oggi una sola stazione trasmette i dati in continuo via UMTS.

Bibliografia

Aki K., and Richards, P.G., (2002). *Quantitative seismology, Second Edition,* University Science Books; Sausalito, California; ISBN 0-935702-96-2.

Batini F., Bufe C., Cameli G.M., Console R. and Fiordelisi A., (1980a). *Seismic monitoring in Italian geothermal areas I: seismic activity in the Larderello-Travale region*. Proceedings Second DOE-ENEL Workshop on Cooperative Research in Geothermal Energy, Berkeley, CA, USA, Report LBL - 11555 Lawrence Berkeley Laboratory, October 20 - 22, 20 – 47.

Batini F., Cameli G.M., Carabelli E. and Fiordelisi A., (1980b). *Seismic monitoring in Italian geothermal areas {II}: seismic activity in the geothermal fields during exploitation*. Proceedings Second DOE-ENEL Workshop on Cooperative Research in Geothermal Energy, Berkeley, CA, USA, Report LBL - 11555 Lawrence Berkeley Laboratory, October 20 - 22, 48 – 85.

Buonasorte G., Cataldi R., Ceccarelli A., Costantini A., D'Offizzi S., Lazzarotto A., Ridolfi A., Baldi P., Barelli A., Bertini G., Bertrami R., Calamai A., Cameli G., Corsi R., Dacquino C., Fiordelisi A., Ghezzo A. and Lovari F., (1988). *Ricerca ed Esplorazione nell'area geotermica di Torre Alfina (Lazio, Umbria)*. Boll. Soc. Geol. It. 107, 265-337.

Buonasorte G., Enrico P. and Adolfo F., (1991). *The Alfina 15 well: deep geological data from northern Latium (Torre Alfina geothermal area)*. Boll. Soc. Geol. It., 110, 823-831.

Carapezza M.L., Ranaldi M., Gattuso A., Pagliuca N.M. and Tarchini L., (2015). *The sealing capacity of the cap rock above the Torre Alfina geothermal reservoir (Central Italy) revealed by soil CO_2 flux investigations*. J. Volcanol. Geotherm. Res. 291, 25–34.

Costantini A., Ghezzo C. and Lazzarotto A., (1988). *Carta geologica dell'area geotermica di Torre Alfina (Prov. Di Siena-Viterbo-Terni), scala 1:25.000*. Boll. Soc. Geol. It., 107.

Chiarabba C., Amato A. and Fiordelisi A., (1995). *Upper crustal tomographic images of the Amiata-Vulsini geothermal region, central Italy*. J. Geophys. Res. 100(B3), 4053-4066.

Mele F., Marcocci C., Bono A. and Marchetti A., (2010). *ISIDe, Italian Seismic Instrumental and parametric Data base*. INGV, CNT: http://ISIDe.rm.ingv.it/.

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

UNMIG, Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse, (2014). *Indirizzi e 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

UNMIG, Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse, (2016). *Linee guida per l'utilizzazione della risorsa geotermica a media e alta entalpia,* 1-43. http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/agenda/upload/174_375.pdf

Utheim T., Havskov J., Ozyazicioglu M., Rodriguez J., and Talavera E., (2014). *RTQUAKE, a real time earthquake detection system integrated with SEISAN*. Seismol. Res. Lett. 85:735–742

Weber B., Becker J., Hanka W., Heinloo A., Hoffmann M., Kraft T., Pahlke D., Reinhardt J., and Thoms H., (2007). *SeisComP3 - automatic and interactive real time data processing*. Geophysical Research Abstracts. In: EGU General Assembly, Vol. 9, No. 09219.

ISSN 2039-7941
Anno 2017_Numero 370

Allegato

Schede descrittive delle stazioni sismiche ReMoTA

SCHEDA STAZIONE

TA01

LA TORRACCIA

CARTA D'IDENTITÀ

IN	31.03.2014
OUT	---
LAT.	N 42.72
LON.	E 11.96
ALT. (M) S.L.M.	537

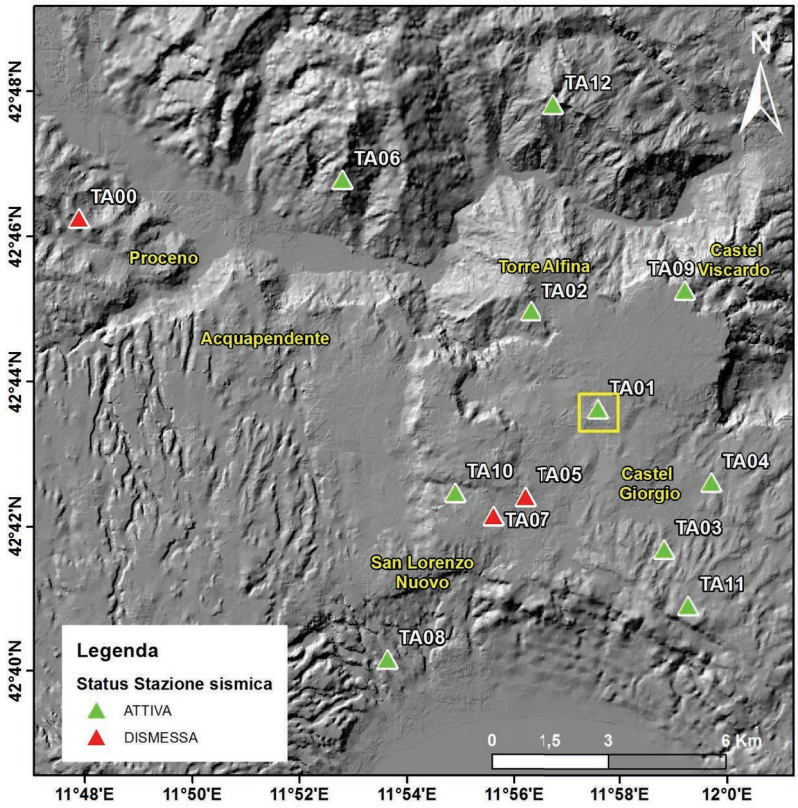
STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	LENNARTZ M-24
SENSORE	LENNARTZ 5S

CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	MEMORIA INTERNA
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1
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.

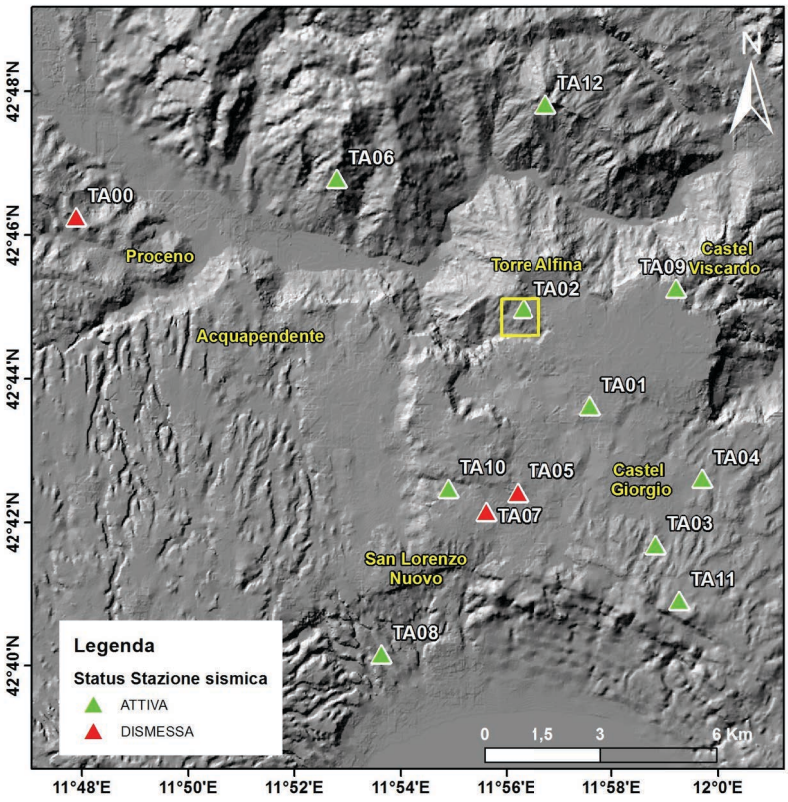
SCHEDA STAZIONE

TA02

POZZO A13

CARTA D'IDENTITÀ	
IN	25.07.2014
OUT	---
LAT.	N 42.75
LON.	E 11.94
ALT. (M) S.L.M.	540
STRUMENTAZIONE	
ACQUISITORE	SARA SL-06
SENSORE	SARA SS20-2Hz
CONFIGURAZIONE	
ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1
VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

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





Geologia del sito:

Flysch Tolfetano: alternanza di litotipi a componente dominante calcareo marnosa, subordinatamente argillitica. Cretacico superiore – Oligocene.

SCHEDA STAZIONE

TA03

MONTIOLO

CARTA D'IDENTITÀ

IN	25.07.2014
OUT	---
LAT.	N 42.69
LON.	E 11.98
ALT. (M) S.L.M.	586

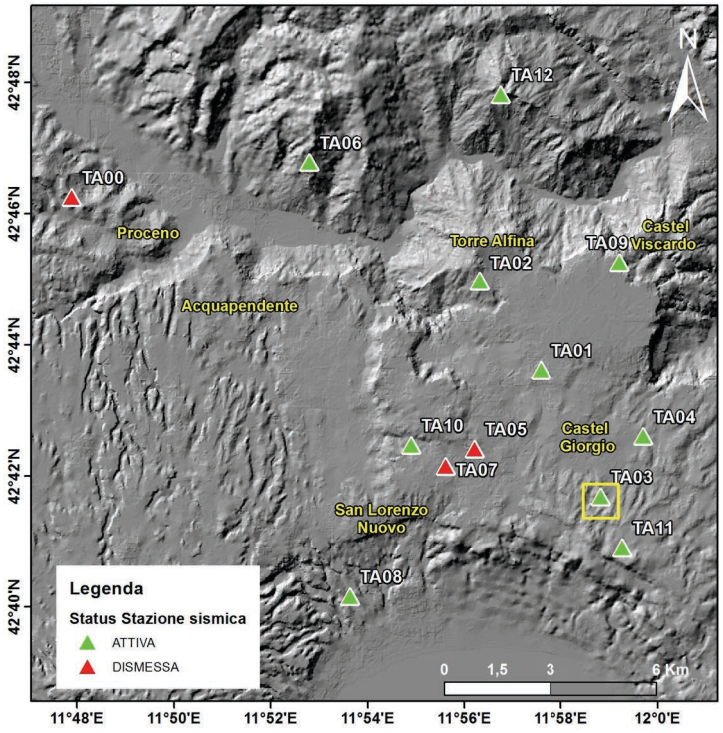
STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	SARA SL-06
SENSORE	SARA SS20-2Hz

CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1
VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica "Montiolo" (rettangolo giallo). La stazione sismica TA03 è stata installata all'interno di un locale a pian terreno 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 prodotti di composizione da leucite a tefrite. Quaternario.

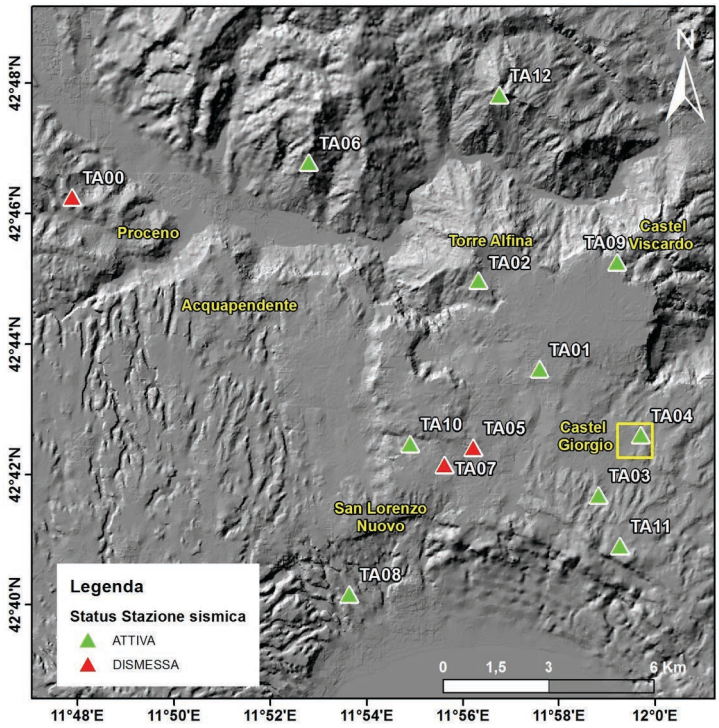
SCHEDA STAZIONE

TA04

CASA PISANA

CARTA D'IDENTITÀ	
IN	20.11.2014
OUT	---
LAT.	N 42.70
LON.	E 12.00
ALT. (M) S.L.M.	539
STRUMENTAZIONE	
ACQUISITORE	SARA SL-06
SENSORE	SARA SS20-2Hz
CONFIGURAZIONE	
ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1
VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica "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 (TR).







Geologia del sito:

Supersintema dei Monti Vulsini. Unità Podere Sambuco. Successione piroclastica stratificata con alternanza di tuff fini e lapilli tuff costituiti da pomici o scorie. Quaternario.

SCHEDA STAZIONE

TA05

CASTEL VERDE

CARTA D'IDENTITÀ

IN	25.07.2014
OUT	29.07.2015
LAT.	N 42.70
LON.	E 11.94
ALT. (M) S.L.M.	569

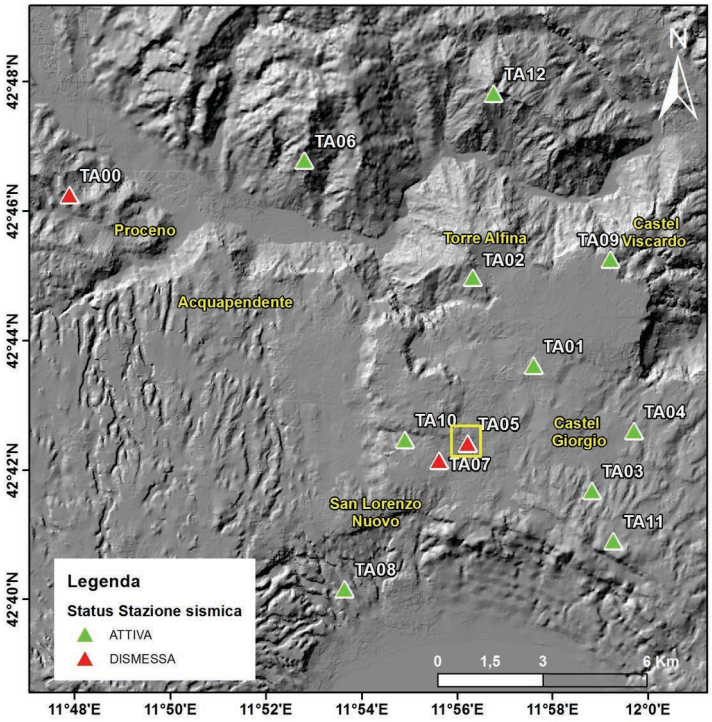
STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	SARA SL-06
SENSORE	SARA SS20-2Hz

CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1
VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica "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 tenuta nella zona compresa tra Castel Giorgio (TR) e San Lorenzo Nuovo (VT). La stazione è stata rimossa per indisponibilità dei proprietari.







Geologia del sito:

Supersintema dei Monti Vulsini. Colate di Castel Giorgio: colate laviche debolmente porfiriche con fenocristalli di leucite e feldspati, intercalate all'unità di Podere Sambuco presso Castel Giorgio. La composizione varia da leucitica a tefritico-fonolitica. Quaternario.

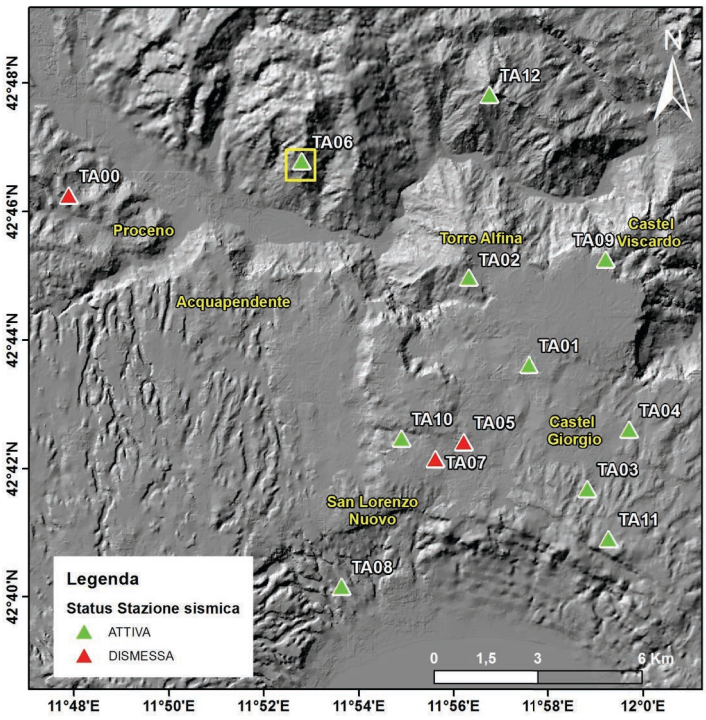
SCHEDA STAZIONE

TA06

MONTE RUFENO

CARTA D'IDENTITÀ	
IN	18.03.2015
OUT	---
LAT.	N 42.78
LON.	E 11.89
ALT. (M) S.L.M.	533
STRUMENTAZIONE	
ACQUISITORE	REFTEK-130
SENSORE	GURALP CMG-40T
CONFIGURAZIONE	
ACQUISIZIONE	COMPACT FLASH
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1
VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica "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 in passato da Enel per lo stesso scopo.





Geologia del sito:

Flysch Tolfetano: alternanza di litotipi a componente dominante calcareo marnosa, subordinatamente argillitica. Cretacico superiore – Oligocene.

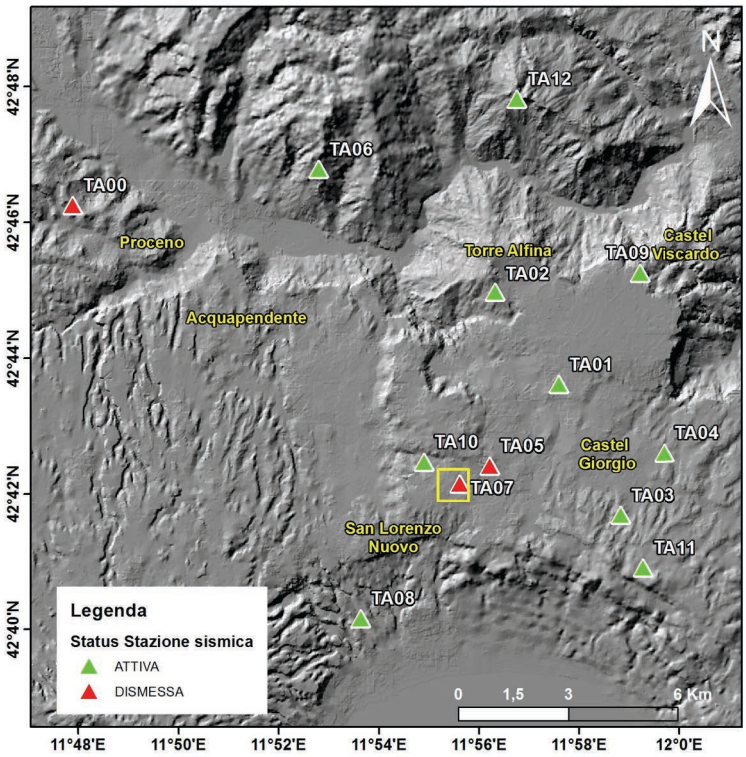
SCHEDA STAZIONE

TA07

CASEIFICIO

CARTA D'IDENTITÀ	
IN	03.08.2015
OUT	18.02.2016
LAT.	N 42.70
LON.	E 11.93
ALT. (M) S.L.M.	540
STRUMENTAZIONE	
ACQUISITORE	REFTEK-130
SENSORE	LENNARTZ 1S
CONFIGURAZIONE	
ACQUISIZIONE	COMPACT FLASH
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1
VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

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



Geologia del sito:

Depositi post-orogenesi. Tufi stratificati, tufiti e tufi terrosi. Pleistocene.



SCHEDA STAZIONE

TA08

CAMPOLUNGO

CARTA D'IDENTITÀ

IN	23.12.2015
OUT	---
LAT.	N 42.67
LON.	E 11.90
ALT. (M) S.L.M.	359

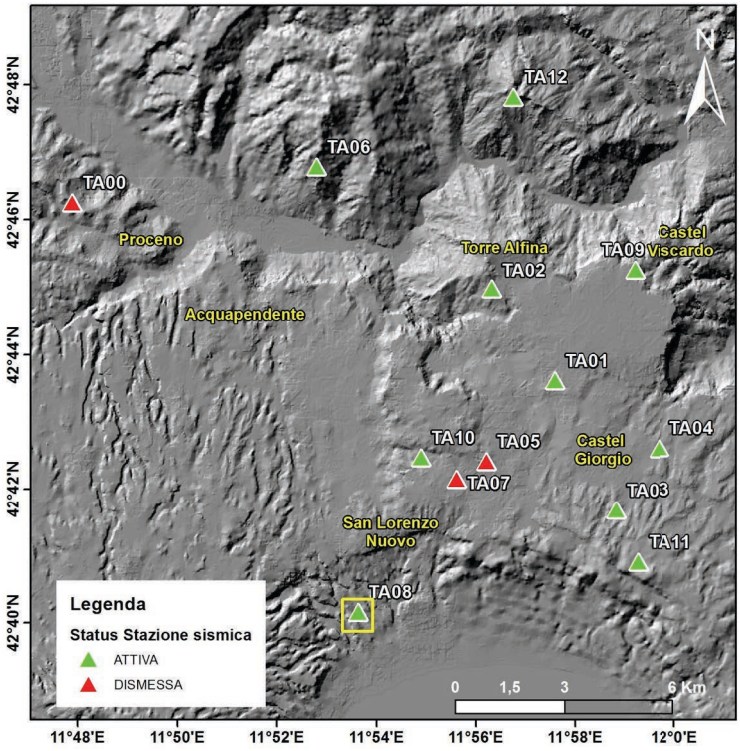
STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	SARA SL-06
SENSORE	SARA SS20-2Hz

CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1
VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica "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 (VT).





Geologia del sito:

Alluvioni ghiaiose, sabbiose, argillose attuali e recenti anche terrazzate e coperture colluviali ed eluviali. Olocene.

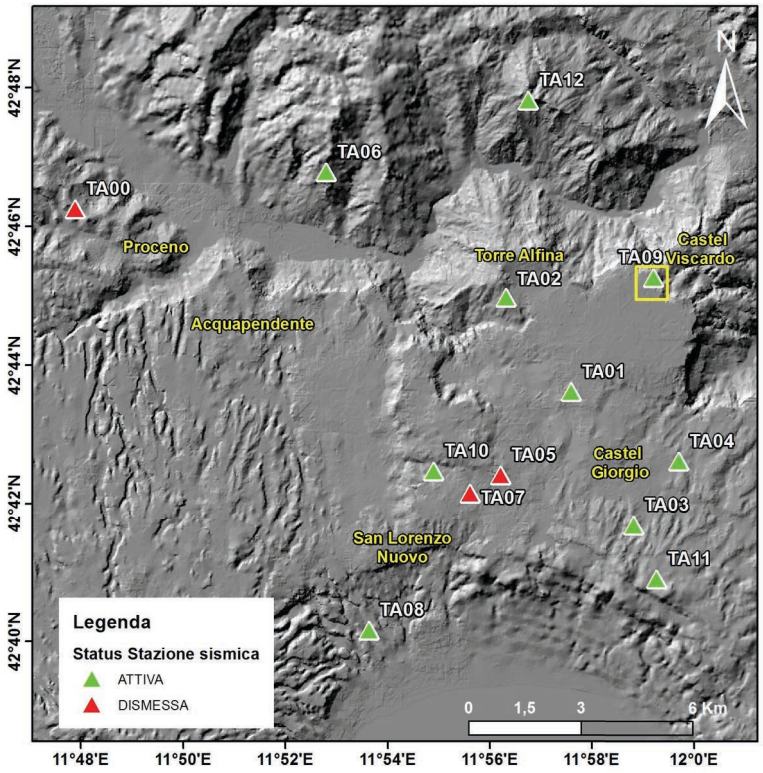
SCHEDA STAZIONE

TA09

CASTEL VISCARDO

CARTA D'IDENTITÀ	
IN	09.10.2015
OUT	---
LAT.	N 42.70
LON.	E 11.94
ALT. (M) S.L.M.	556
STRUMENTAZIONE	
ACQUISITORE	LENNARTZ M-24
SENSORE	LENNARTZ 5S
CONFIGURAZIONE	
ACQUISIZIONE	MEMORIA INTERNA
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1
VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica "Castel Viscardo" (rettangolo giallo). La stazione sismica TA09 è stata installata all'interno di una cappella cimiteriale, a pian terreno, a Castel Viscardo (TR).





Geologia del sito:

Supersintema dei Monti Vulsini. Colate di Castel Giorgio: colate laviche debolmente porfiriche con fenocristalli di leucite e feldspati, intercalate all'unità di Podere Sambuco presso Castel Giorgio. La composizione varia da leucitica a tefritico-fonolitica. Quaternario.

SCHEDA STAZIONE

TA10

LA CANALA

CARTA D'IDENTITÀ

IN	16.10.2015
OUT	---
LAT.	42.70
LON.	11.92
ALT. (M) S.L.M	529

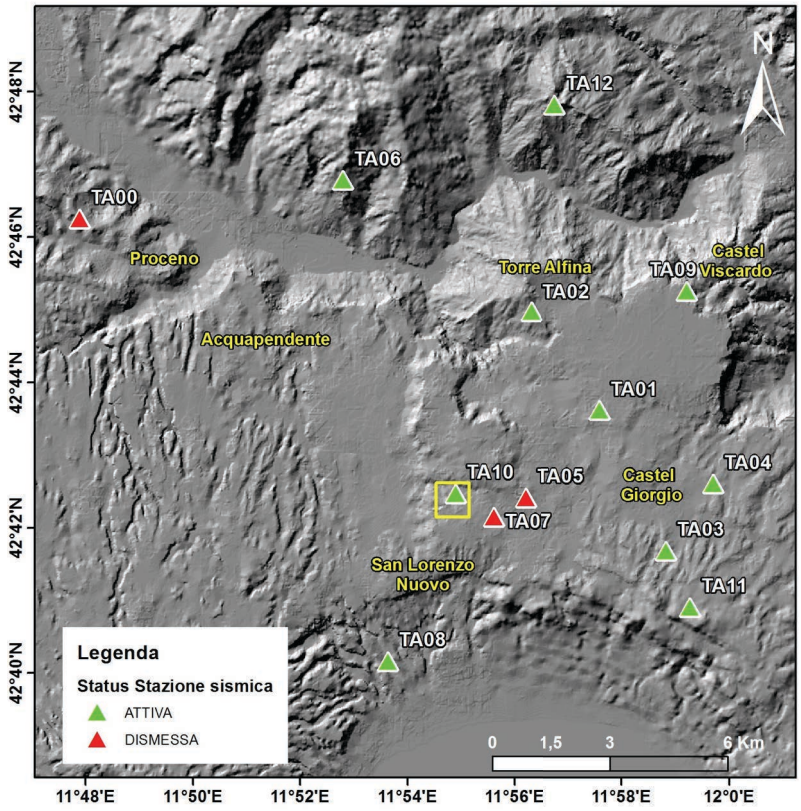
STRUMENTAZIONE

ACQUISITORE	SARA SL-06
SENSORE	SARA SS20-2Hz

CONFIGURAZIONE

ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1
VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

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





Geologia del sito:

Depositi post-orogenesi. Tufi stratificati, tufiti e tufi terrosi. Pleistocene.

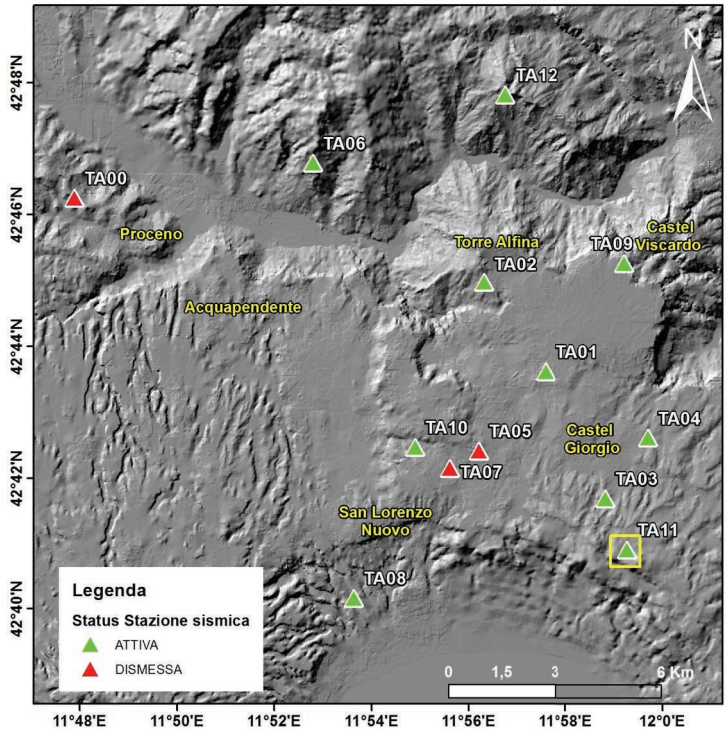
SCHEDA STAZIONE

TA11

CASTEL GIORGIO

CARTA D'IDENTITÀ	
IN	16.10.2015
OUT	---
LAT.	N 42.68
LON.	E 11.99
ALT. (M) S.L.M.	631
STRUMENTAZIONE	
ACQUISITORE	SARA SL-06
SENSORE	SARA SS20-2Hz
CONFIGURAZIONE	
ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1
VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica "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 prodotti di composizione da leucite a tefrite.

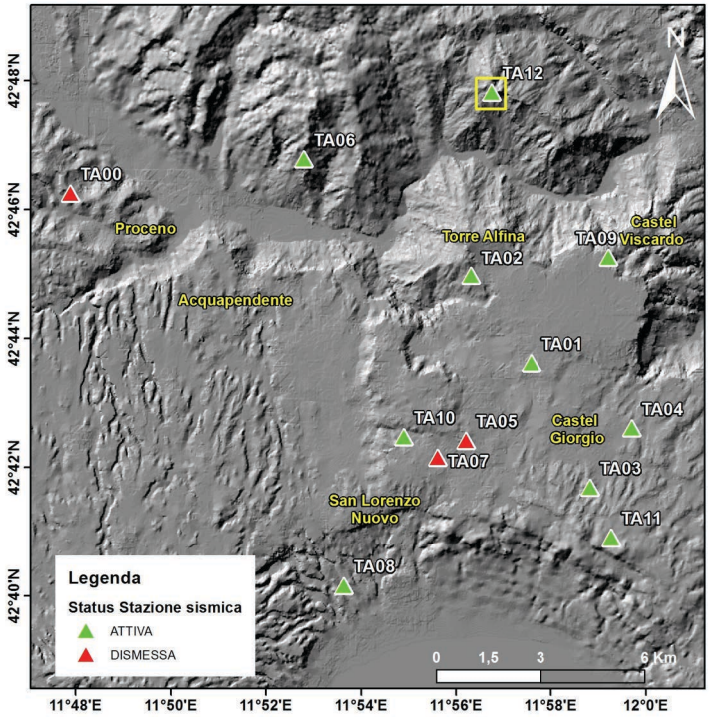
SCHEDA STAZIONE

TA12

ALLERONA

CARTA D'IDENTITÀ	
IN	16.10.2015
OUT	---
LAT.	N 42.79
LON.	N 11.95
ALT. (M) S.L.M.	627
STRUMENTAZIONE	
ACQUISITORE	REFTEK-130
SENSORE	LENNARTZ 5S
CONFIGURAZIONE	
ACQUISIZIONE	USB DEVICE
PASSO DI CAMPIONAMENTO	100 SPS
GAIN	1
VELOCIMETRO	SI
ACCELEROMETRO	NO

Ubicazione della stazione sismica "Allerona" (rettangolo giallo). La stazione sismica TA12 è stata installata all'interno di un locale seminterrato di proprietà del Corpo Forestale dello Stato, ubicato nel Comune di Allerona (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 torbiditi arenaceo-calcaree grigie. Cretacico Superiore.

ISSN 1590-2595

Quaderni di Geofisica

http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

ISSN 2039-7941

rapporti tecnici INGV

http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

ISSN 2039-6651

Miscellanea INGV

http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli ecc..

Coordinamento editoriale e impaginazione
Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale
Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2017 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605
00143 Roma
Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

http://www.ingv.it



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia