

Rapporto tecnico finale delle attività di ricerca

“Monitoraggio sismico per la determinazione della sismicità di background”

--

Committente: Sotacarbo S.p.A

A cura di:

Mario Anselmi, Mauro Buttinelli, Gianfranco Colasanti,

Claudio Chiarabba

Indice

- I. Introduzione
- II. Inquadramento geologico-strutturale dell'area del Sulcis
- III. Descrizione della rete di monitoraggio installata
 - III.1. Installazione della stazione SU27
 - III.2. Installazione della stazione SUBH
- IV. Determinazione della baseline di sismicità naturale dell'area di studio
- V. Precedenti esperienze di monitoraggio nel Sud-Ovest della Sardegna

I. Introduzione

Nell'ambito delle attività di ricerca previste dall'accordo tra l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e la società Sotacarbo S.p.A. e in continuità con gli anni precedenti, è stata svolta l'attività di monitoraggio microsismico dell'area del permesso di ricerca denominato "Monte Ulmus". L'attività è stata svolta utilizzando i dati in continuo registrati da una rete sismica temporanea, composta da 5 stazioni, recentemente aumentate a 6, disposta secondo una geometria tale da coprire per intero il bacino di Matzacara, in modo da caratterizzare sismicamente la faglia omonima e la zona della futura re-iniezione di fluidi. L'obiettivo del progetto di monitoraggio nell'area ristretta del bacino è quello di provare a registrare segnali di minor magnitudo possibile nella zona. I dati acquisiti, sebbene l'esperimento sia ancora in svolgimento e siano state apportate alcune modifiche alla geometria della rete sismica, non mostrano al momento eventi sismici di alcun genere all'interno del bacino oggetto di studio.

II. Inquadramento geologico-strutturale dell'area del Sulcis

Il Bacino Carbonifero del Sulcis occupa un'area della Sardegna Sud-Occidentale che si sviluppa con andamento pressoché meridiano fra l'insenatura di Fontanamare a Nord ed il Golfo di Palmas a Sud; verso Est il limite del Bacino è dato dagli affioramenti Paleozoici, mentre ad Ovest è costituito dalla linea di costa (Figura II.1).

Nell'area del Sulcis sono presenti (seppur non affioranti) le seguenti unità litologiche principali (dal basso verso l'alto, Figura II.2):

- basamento paleozoico scistoso in trasgressione;
- puddinga basale di 1.5÷2 metri fortemente cementata con ciottoli di calcare mesozoico, quarzo, scisto;
- calcari a milioliti con potenza da 4 a 25 m;
- formazione carbonifera (formata da alternanze di Calcari, Calcari marnosi e Marne, Argille, Scisti e Carbone) con potenze complessive da 15 a 140 m;
- arenarie intercalate ad argille, talora inferiormente tendenti a resti vegetali, dette "Arenarie Produttive", e superiormente senza fossili dette "Arenarie Sterili";
- alternanze di Conglomerati e Argille con potenze di 25÷30 m;
- vulcaniti del Complesso Trachitico.

Dal punto di vista strutturale, l'area del Sulcis risulta interessata da una serie di fratture a carattere regionale con direzione prevalente NO-SE, NE-SO e subordinatamente E-O (Cocozza et, 1966)

ricollegabili agli eventi tettonici che hanno interessato la Sardegna meridionale a partire dal Miocene e fino al Quaternario.

Tali linee strutturali, possono rappresentare delle zone di debolezza che potrebbero dare luogo a fenomeni di infiltrazione, risalita e/o migrazione di fluidi.

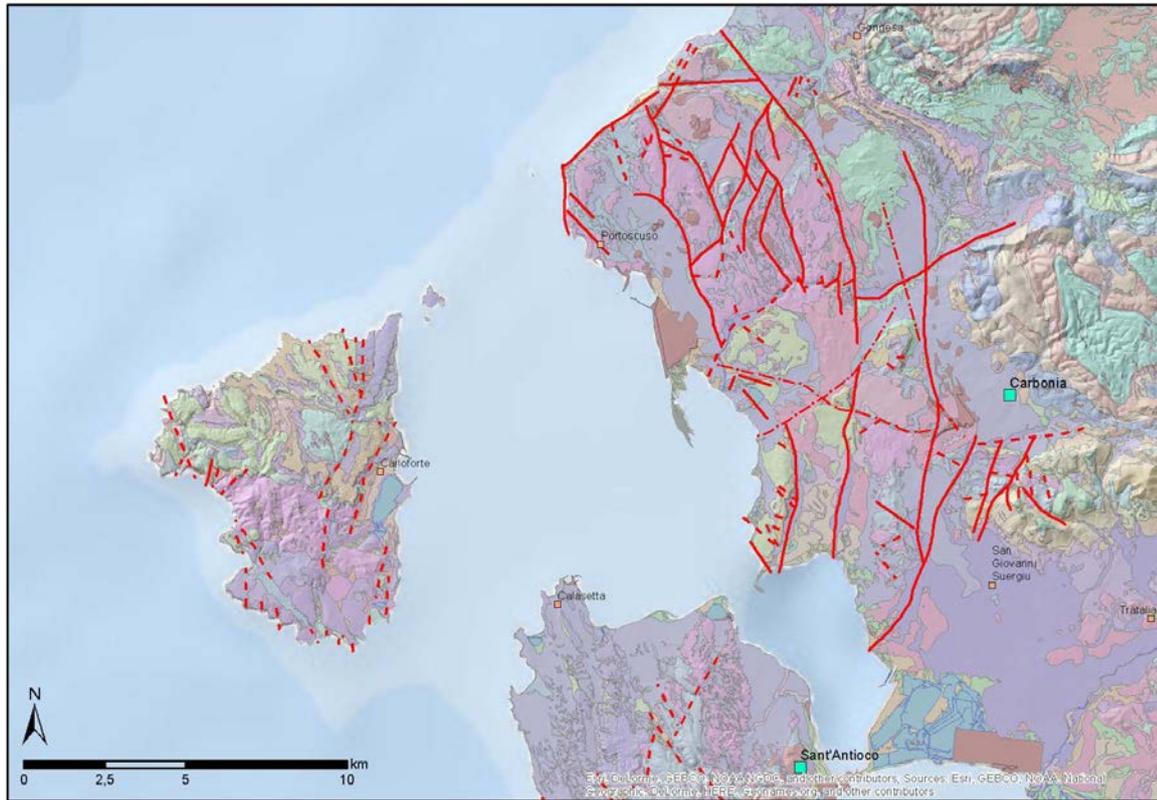
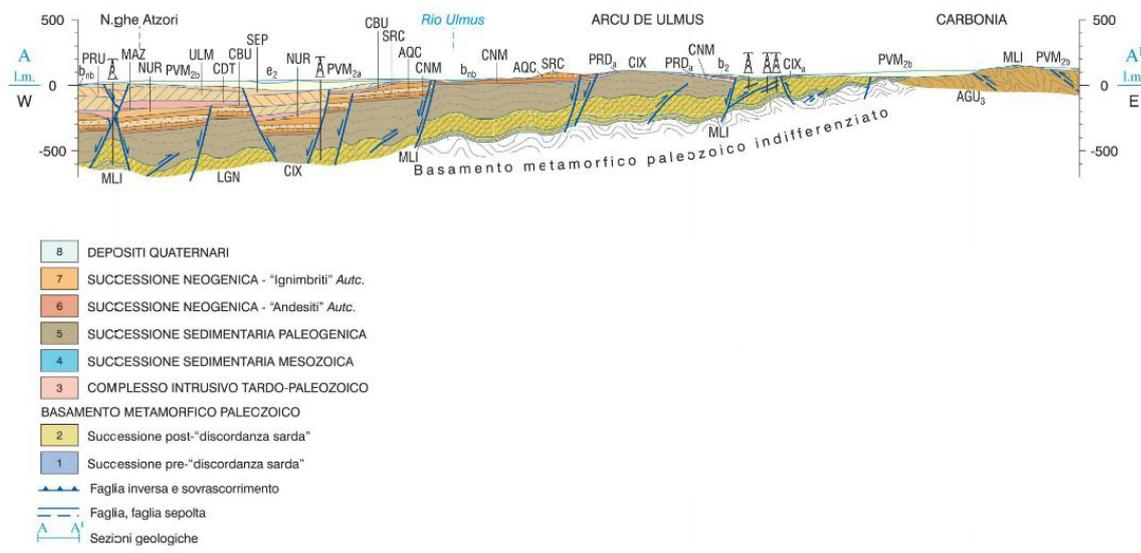


Figura II.1. Carta geologica dell'area del Sulcis (da Progetto C.A.R.G. dell'IS.P.R.A. http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/564_CARBONIA/Foglio.html)



Schema stratigrafico del Bacino carbonifero del Sulcis

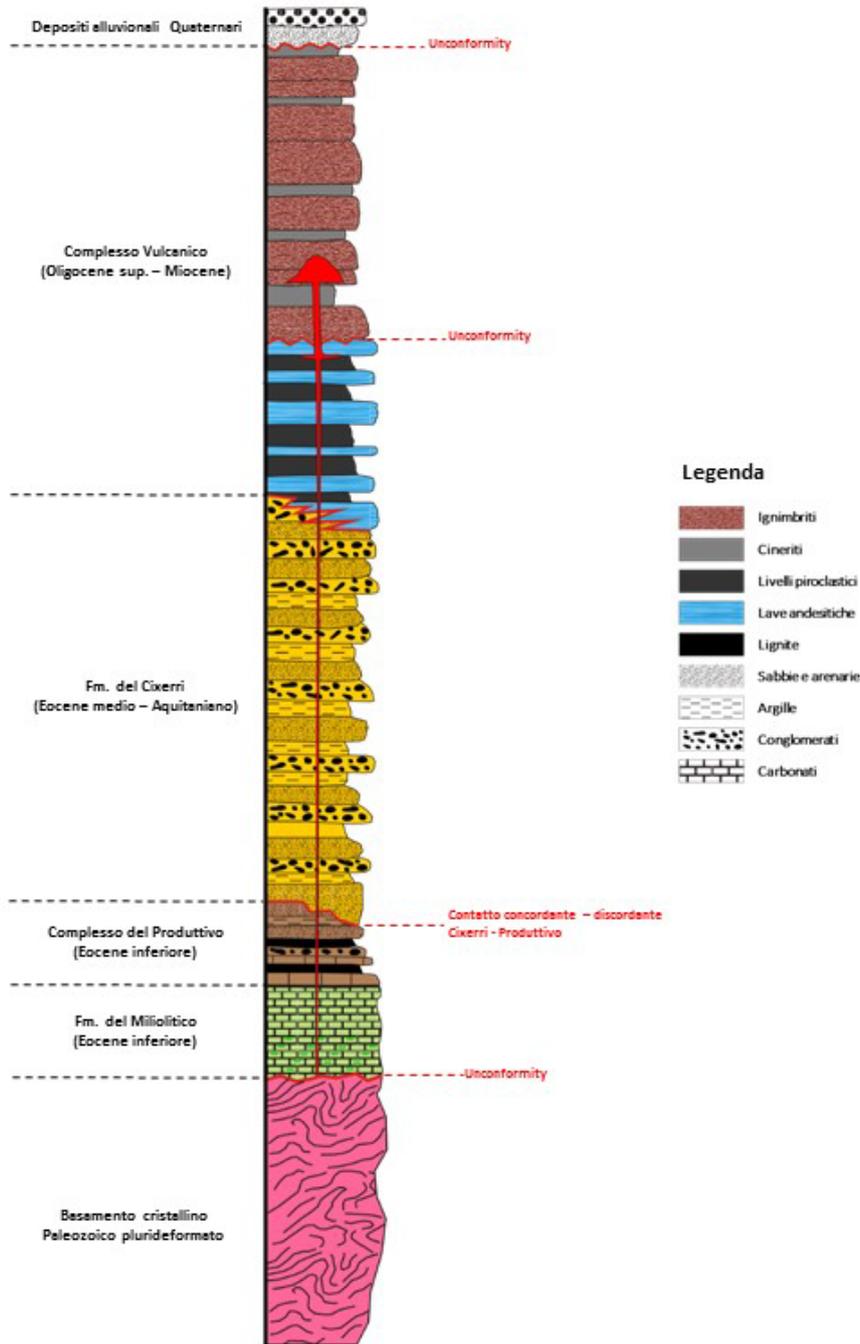


Figura II.2. Stratigrafia sintetica del Bacino Carbonifero del Sulcis

Grazie alla presenza di importanti giacimenti minerali nella parte continentale della regione (miniere di carbone e manganese) è stato possibile ricostruire, a partire dal Paleozoico, la sequenza stratigrafica completa dell'area (Barca e Costamagna, 1997; 2000 e riferimenti in esse contenuti):

- ***Formazioni Paleozoiche;***
- ***Formazioni Mesozoiche;***
- ***Formazioni Cenozoiche sedimentarie;***
- ***Vulcanismo calcalkalino tardo Eocenico-medio Miocenico della regione del Sulcis;***
- ***Vulcanismo alcalino Tardo Miocenico-Quaternario;***
- ***Depositi sedimentari Quaternari.***

Nella Figura II.2 è rappresentata una stratigrafia sintetica dell'area del Bacino del Sulcis che funge da riferimento, anche se non è dettagliata in tutte le formazioni come descriveremo nel seguito.

Le Formazioni Paleozoiche sono costituite da metamorfiti di bassissimo grado, spesso fossilifere, di età compresa fra il pre-Cambriano ed il Siluriano. Questi prodotti rappresentano le rocce di ambiente più profondo tra quelle affioranti nelle regioni del Sulcis e dell'Iglesiente. La "Formazione Bithia" è costituita da metasedimenti di età sconosciuta, stratigraficamente poste a letto delle sequenze metasedimentarie dell'Iglesiente. Gli gneiss del Monte Filau derivano da un granitoide Ordoviciano intruso nei micasciti del Monte Settiballas. I Micascisti del Monte Settiballas sono rappresentati da depositi lentiformi interni agli gneiss, interpretati come facenti parte del basamento Precambriano [Ribecai et al., 2005] e riferimenti in esso contenuti).

Le sequenze mesozoiche della regione del Sulcis affiorano esclusivamente nelle aree di Porto Pino e sull'Isola di S. Antioco [Barca e Costamagna, 1997]. Esse sono rappresentate da due unità tettoniche principali, chiamate rispettivamente "Unità Cala Su Trigu" e "Unità Guardia Sa Perda".

La sequenza Mesozoica dell'Unità "Cala Su Trigu" (Triassico superiore-Dogger inferiore) è costituita, dal basso verso l'alto, da due formazioni: a) Formazione delle "dolomie Scollieddu", dolomie stratificate grigio-nere-rosate ricche in fossili; b) Formazione "Medau Mereu" (Dogger inferiore) costituita da calcari e marne ricche in fossili.

La sequenza Mesozoica dell'Unità Guardia Sa Perda (Trias medio-superiore) consiste di tre formazioni principali: a) Formazione "Punta Tonnara", calcari laminati grigio-bluastri, localmente evaporatici; b) Formazione "Monte Zari", dolomie nere-biancastre con livelli di marne policrome; c) Formazione di "Guardia Sa Barraca", costituita da una successione calcarea del Liassico medio-inferiore e da calcari a ooliti e bioclasti del Liassico superiore.

I sedimenti Cenozoici, di età compresa tra il Paleocene e l'Oligocene, affiorano esclusivamente lungo il graben di Giba e nella Fossa del Cixerri. La base è rappresentata dai depositi dell'Unità di Monte Margiani (Barca e Costamagna, 1997; 2000), caratterizzata da arenarie e conglomerati poligenici di età compresa tra il Paleocene superiore e l'Eocene inferiore.

Al di sopra dell'Unità di Monte Margiani poggiano, in maniera trasgressiva e discordante, le litologie appartenenti alla "Serie Lignitifera", tradizionalmente suddivisa in due unità litostratigrafiche: a) Il

“Miliolitico”, di età Ilerdiana, costituito da calcari localmente ricchi di micro e macrofossili (Barca e Costamagna, 2000); b) Il “Lignifero”, di età compresa tra il Cuisiano ed il Luteziano, costituito da alternanze ben stratificate di calcari marnosi, marne, marne arenacee, arenarie, conglomerati poligenici e strati di lignite (Barca e Costamagna, 2000).

Al di sopra della “Serie Lignifera” poggiano in discordanza le litologie appartenenti alla “Formazione del Cixerri”, di età compresa tra il Luteziano e l’Oligocene inferiore (Barca e Costamagna, 1997). Questa formazione è costituita da conglomerati poligenici, arenarie e siltiti rossastre e rappresenta l’ultima formazione sedimentaria del Cenozoico in Sardegna.

III. Descrizione delle reti di monitoraggio installata

La rete sismica temporanea installata è costituita da 6 stazioni e ricopre completamente l’area di studio. Essa copre complessivamente un’area leggermente più estesa rispetto alla precedente, di circa 12 km², con una distanza media tra le stazioni di circa 2 km (Figura III.1). Ciascuna stazione è costituita da strumentazione ad alta dinamica e sensibilità, con sensori a tre componenti (N (Nord), E (Est-Ovest) e la componente Z (verticale) che definiscono il moto del suolo nelle tre dimensioni.

Negli ultimi mesi la rete ha subito delle leggere variazioni della sua geometria in seguito allo spostamento di una stazione, oggetto di furti e vandalismo, e dell’aggiunta di una nuova stazione al centro dell’area di monitoraggio. Tuttavia la sua sensibilità iniziale risulta sicuramente la stessa della precedente, con un miglioramento nella parte centrale della zona di monitoraggio.

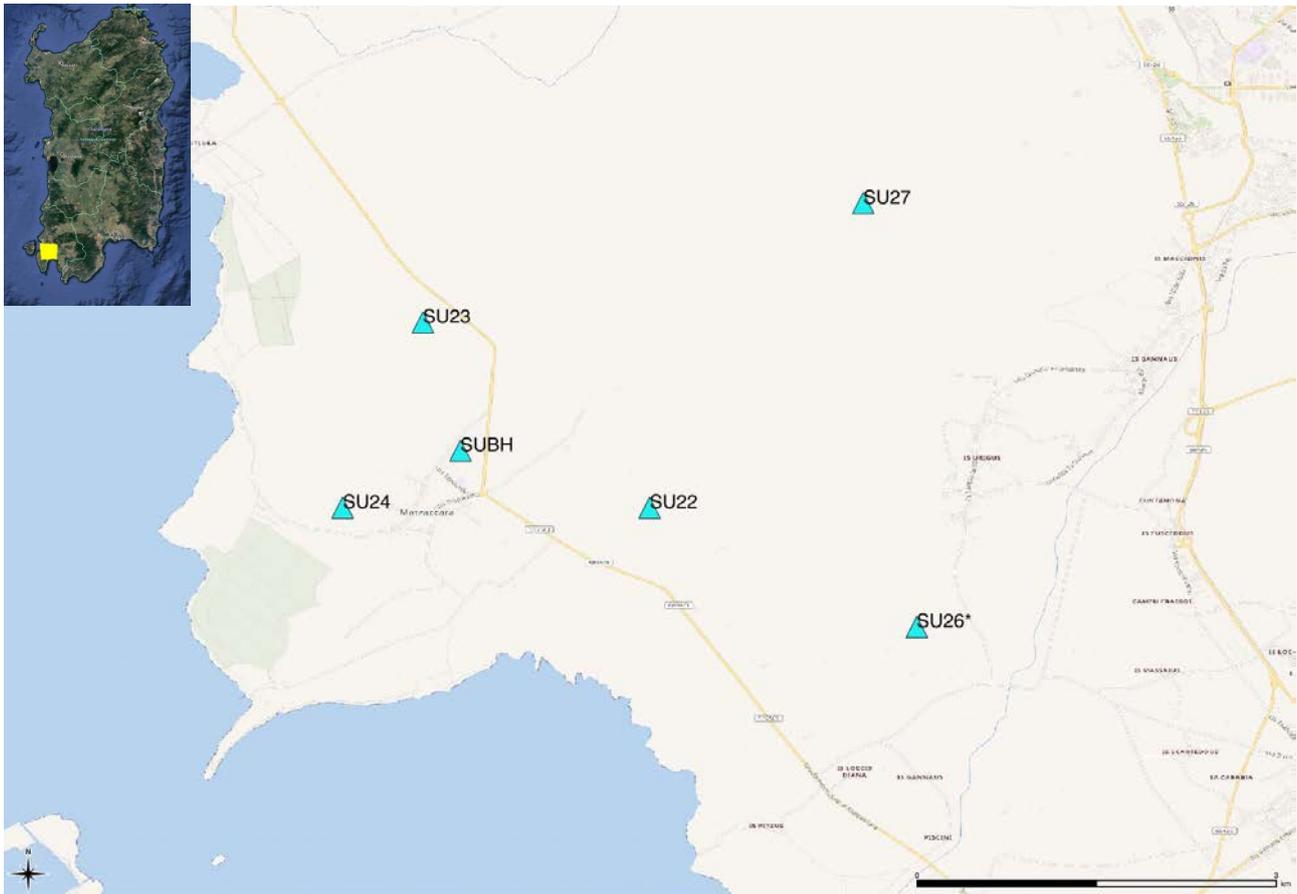


Figura III.1. Mappa delle stazioni del progetto installate nell'area del permesso minerario denominato "Monte Ulmus" tra il 2016 e il 2018. I triangoli in celeste rappresentano la posizione delle stazioni temporanee

La sigla di ciascuna stazione è definita in maniera univoca secondo un protocollo europeo di condivisione e scambio dati dettato dal consorzio Orfeus-EIDA (<http://www.orfeus-eu.org/eida/eida.html>); essa è descritta da 4 caratteri alfanumerici, di cui i primi due sono comuni per la rete, il terzo rappresenta il numero dell'esperimento e il quarto rappresenta la numerazione di ciascuna stazione all'interno della rete stessa. Ad esempio la sigla della stazione "SU22" è costituita da "SU" (sigla della rete Sulcis), da "2" ovvero l'esperimento n°2 e "2" ovvero la prima stazione della rete del progetto nell'area di Monte Ulmus.

Le stazioni installate sono attualmente 6 (SU22, SU23, SU24, SU26, SU27, SUBH in Figura III.1). La stazione SU27 è stata installata al posto della dismessa SU21, vandalizzata tra la fine di Aprile e gli inizi di Maggio 2018. La stazione SU27 ha la stessa strumentazione della SU21 ed è attualmente situata all'interno di un terreno di proprietà privata, a maggior riparo da furti ed episodi di vandalismo. Le stazioni SU22-SU27 sono equipaggiate con digitalizzatori di tipo Reftek-130, 24 bit e alta dinamica e sensore tipo Sara SSXX 0.2 Hz.

Le stazioni SU26 e SUBH hanno un equipaggiamento diverso: la prima ha un digitalizzatore Reftek-130 con sensore tipo Trillium 120 s compact (Figura III.2); la seconda ha un digitalizzatore di tipo Lunitek-Atlas, 24 bit ad alta dinamica e sensore tipo Lunitek Tellus 1 Hz. (Figura III.2.2).

La registrazione dei dati avviene in continuo su supporti removibili posti all'interno dell'acquisitore, senza trasmissione dati ad un centro di raccolta. Fanno eccezione, per due motivi diversi, le stazioni SU26 e SUBH: la prima (equipaggiata con la strumentazione descritta in Figura III.2), oltre che la registrazione in locale dal mese di marzo del 2017 prevede la trasmissione dei dati anche in *real-time* alla sala di monitoraggio sismico dell'INGV di Roma poiché inserita, in misura sperimentale, all'interno delle reti temporanee di supporto alla Rete Sismica Nazionale (RSN); la seconda registra invece i dati acquisiti all'interno di un supporto interno, in modalità "ring buffer", non removibile (Figura III.3).

La stazione SU26 è tutt'ora in servizio per il contributo alla localizzazione dei terremoti mediterranei (<http://cnt.rm.ingv.it/instruments/station/SU26>, Figura III.4).



Figura III.2. Acquisitore/digitalizzatore 24 bit di tipo Reftek-130_1 (a sinistra) e velocimetro a larga banda di tipo Trillium compact 120 s (a destra). I due strumenti costituiscono la stazione SU26 descritta nella Figura III.4. Le immagini dei due oggetti non sono in scala tra loro.

Stazione Sismica SU26 Carbonia Iglesias, Loc. Su Bruncu (CI)

Reti: TV
Data Inizio: 2017-03-06T17:50:00
Data Fine: --
Latitudine: 39.122956
Longitudine: 8.490392
Altitudine: 66
Download StationXML



Figura III.4. Immagine della pagina web del Centro Nazionale Terremoti dedicata alle informazioni della stazione SU26.

III.1. Installazione della stazione SU27

Durante la prima decade di agosto 2018 la stazione SU27 è stata installata in località Guttu Nieddu (a nord di Matzacara), all'interno di una riserva di caccia di cinghiali, recintata e controllata giornalmente (Figura III.1.1).



Figura III.1.1. In alto: l'acquisitore/digitalizzatore 24 bit di tipo Reftek-130_1 (a sinistra) e velocimetro a medio periodo di tipo Sara SSXX 0.2 Hz (a destra). Le immagini dei due oggetti non sono in scala tra loro. In basso: immagine del sito di installazione della stazione SU27

E' stata fatta un'analisi del segnale registrato nei primi giorni di registrazione al nuovo sito.

Sono state calcolate le densità di potenza spettrale (PSD), ottenute dalla media delle trasformate di Fourier calcolate su 10 finestre consecutive di lunghezza 30s, sovrapposte del 50% della loro lunghezza. Le stime di PSD sono poi state ripetute su intervalli successivi di 5 gg di registrazione continua, portando ad un totale di circa 2600 stime spettrali indipendenti (523 PSD/giorno x 5 giorni). I risultati sono rappresentati dalle densità di probabilità (PDF) della potenza spettrale in funzione della frequenza [McNamara and Buland, 2004; McNamara and Boaz, 2005], e comparate con i modelli di rumore sismico terrestre NLNM e NHNM (New Low- e High-Noise Model, rispettivamente) definite secondo Peterson (1993).

Prima del calcolo delle PSD, le serie temporali sono state corrette per la funzione di trasferimento dello strumento, regolarizzando la deconvoluzione mediante filtraggio passa-banda nell'intervallo 0.1-50 Hz per il sensore Sara SSXX.

Nella Figura III.1.2 viene riportata l'immagine della PDF della stazione SU27.

Inoltre è stato analizzato e discusso anche il rapporto spettrale tra le componenti orizzontali del sensore (E e N) rispetto alla componente verticale (Z). Questo tipo di analisi, seguendo il principio di Nakamura (1989) sullo studio del rapporto H/V, ci permette di studiare, per ogni valore di frequenza, l'amplificazione (o risonanza) del segnale sismico generata dalle caratteristiche geologiche locali del sito (Figura III.1.3).

In ognuno dei siti si può vedere come le caratteristiche geologiche di ciascun sito non abbiano effetti di amplificazione particolarmente spiccati nel range di frequenze interessato (1 – 25 Hz), mantenendo un H/V ~ 1:1,5.

Dai dati analizzati al momento è possibile affermare, sia per esperienza diretta che per analogia con altri esperimenti dello stesso tipo effettuati sul territorio nazionale, che l'area compresa all'interno della rete sismica installata ha una soglia di rilevazione della magnitudo pari o al di sotto di 1.0 M_L (Magnitudo Locale).

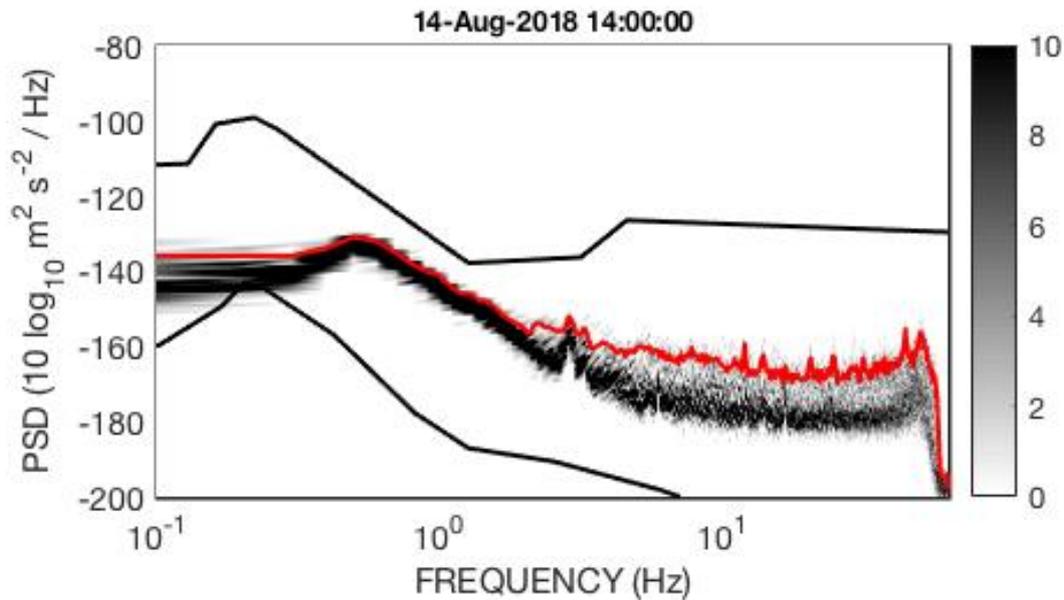


Figura III.1.2. PDF delle potenze spettrali per la stazione SU27. Le distribuzioni si riferiscono a 5 giorni di registrazione continua del moto del suolo. Il grafico è relativo alla componente del moto del suolo Z. La linea rossa indica il 95% percentile della potenza spettrale. La densità di probabilità (in %) è indicata dai vari toni di grigio, secondo la scala cromatica alla destra. Le linee nere continue indicano i modelli superiore (NHNM) ed inferiore (NLNM) di rumore sismico terrestre secondo Peterson (1993).

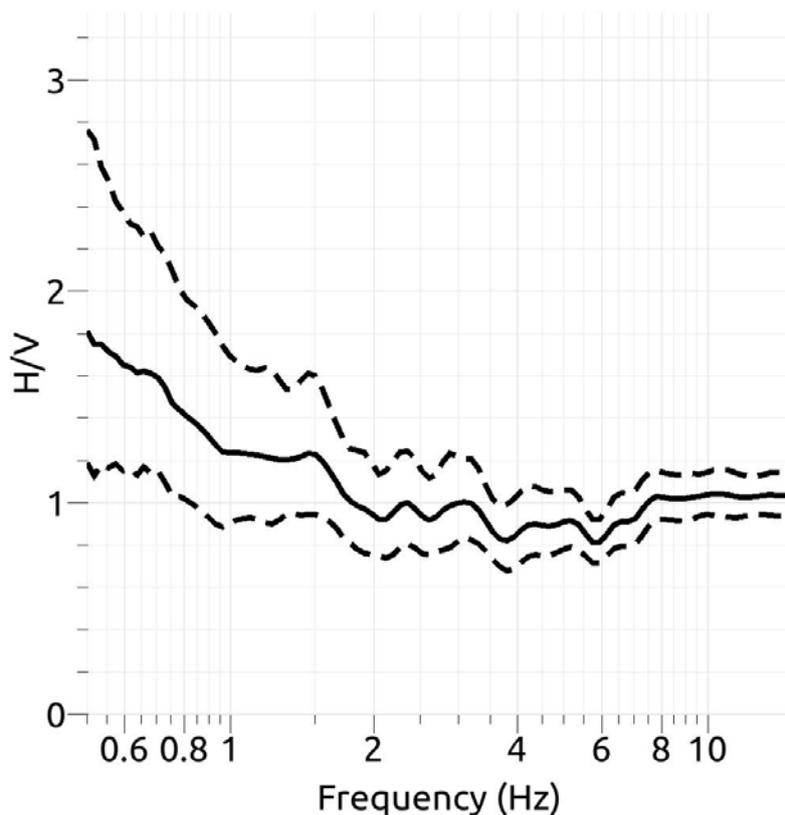


Figura III.1.3. Rapporto H/V (Nakamura, 1989) tra le componenti spettrali orizzontali e verticali del rumore di fondo registrato a ciascuna stazione della rete. Le linee tratteggiate definiscono il +/- 3 σ di errore, mentre la linea continua rappresenta il valore del rapporto H/V.

III.2. Installazione della stazione SUBH

Durante la seconda decade di settembre 2018 la stazione SUBH è stata installata nei pressi di Matzaccara, in un terreno di proprietà della società Sotacarbo S.p.A. a ridosso dell'area nella quale saranno realizzati i pozzi per i test di iniezione (Figura III.2.1). La parte di sigla "BH" è stata utilizzata, al posto della normale numerazione che caratterizza le altre stazioni, per evidenziare il fatto che il sensore è stato installato in un pozzetto (Bore Hole) di circa 1 metro di profondità dal piano campagna, che verrà sostituito prossimamente da un vero e proprio pozzo di circa 20 metri di profondità.



Figura III.2.1. Immagine del sito di installazione della stazione SUBH

La stazione è equipaggiata, come descritto in precedenza, con un digitalizzatore di tipo Lunitek Atlas ed un sensore Lunitek Tellus 1s (Figura III.2.2)

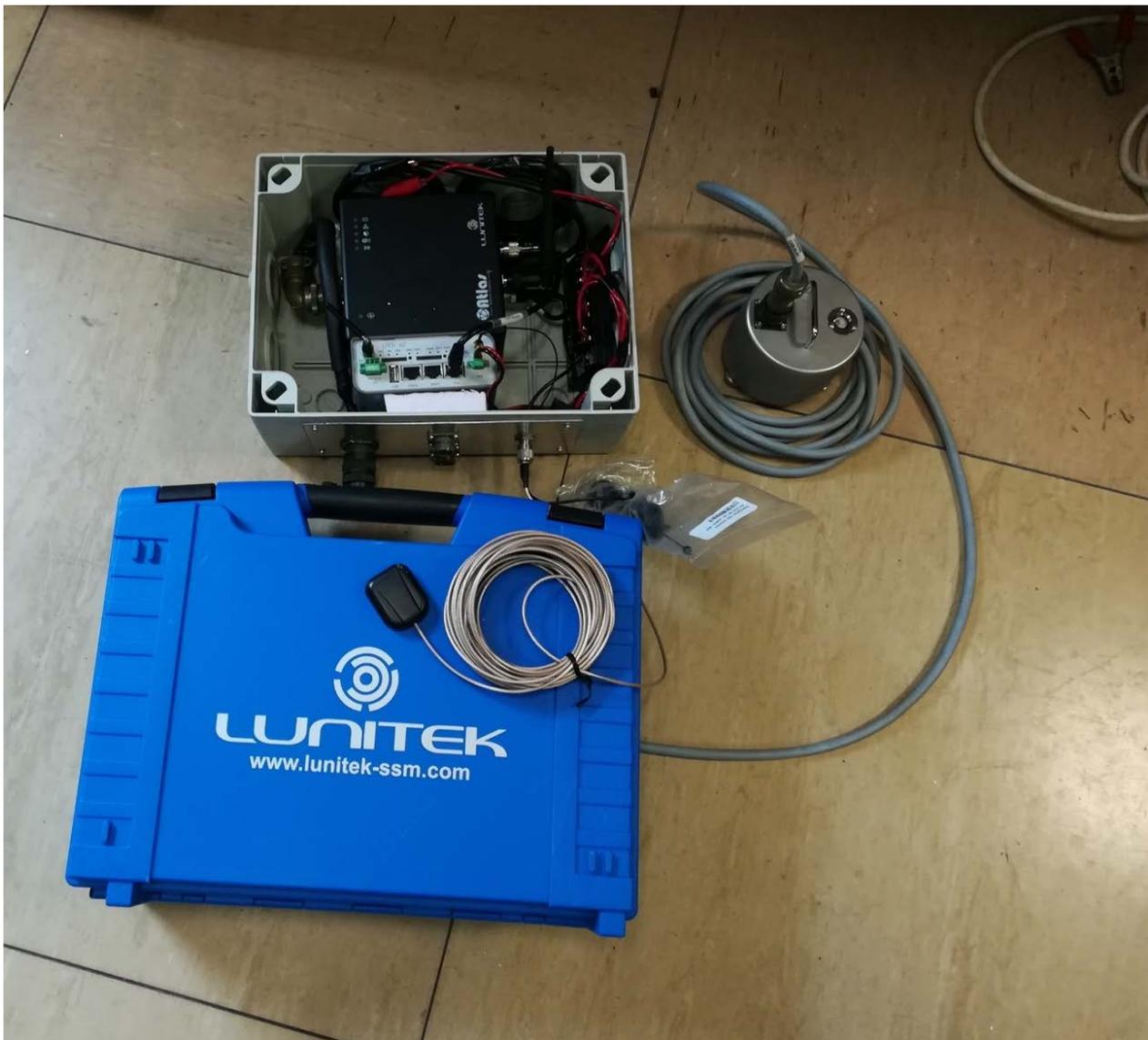


Figura III.2.2. Acquisitore/digitalizzatore 24 bit di tipo Lunitek-Atlas (in alto, all'interno della scatola) e velocimetro di tipo Lunitek Tellus1 s (a destra della scatola). I due strumenti costituiscono la stazione SUBH descritta nel testo.

È stata fatta un'analisi del segnale registrato nei primi giorni di registrazione al nuovo sito. Sono state calcolate le densità di potenza spettrale (PSD), ottenute dalla media delle trasformate di Fourier calcolate su 10 finestre consecutive di lunghezza 30s, sovrapposte del 50% della loro lunghezza. Le stime di PSD sono poi state ripetute su intervalli successivi di 2 gg di registrazione continua, portando ad un totale di circa 1050 stime spettrali indipendenti (523 PSD/giorno x 2 giorni).

I risultati sono rappresentati dalle densità di probabilità (PDF) della potenza spettrale in funzione della frequenza [McNamara and Buland, 2004; McNamara and Boaz, 2005], e comparate con i modelli di rumore sismico terrestre NLNM e NHNM (New Low- e High-Noise Model, rispettivamente) definite secondo Peterson (1993).

Prima del calcolo delle PSD, le serie temporali sono state corrette per la funzione di trasferimento dello strumento, regolarizzando la deconvoluzione mediante filtraggio passa-banda nell'intervallo 0.1-50 Hz.

Nella Figura III.2.3 viene riportata l'immagine della PDF della stazione SUBH, equipaggiata con Lunitek Tellus 1s.

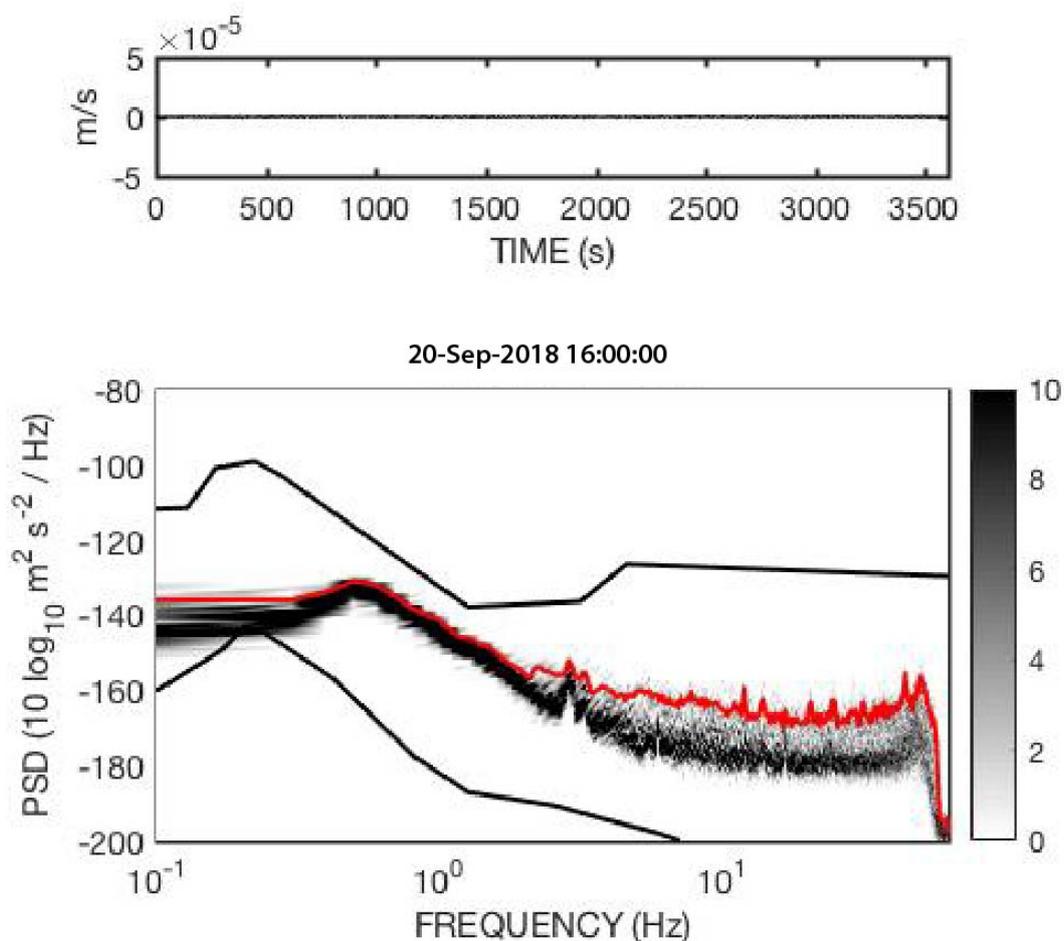


Figura III.2.3. PDF delle potenze spettrali per la stazione SUBH. Le distribuzioni si riferiscono a 2 giorni di registrazione continua del moto del suolo. Il grafico è relativo alla componente del moto del suolo Z. La linea rossa indica il 95% percentile della potenza spettrale. La densità di probabilità (in %) è indicata dai vari toni di grigio, secondo la scala cromatica alla destra. Le linee nere continue indicano i modelli superiore (NHNM) ed inferiore (NLNM) di rumore sismico terrestre secondo Peterson (1993).

Inoltre viene analizzato e discusso anche il rapporto spettrale tra le componenti orizzontali del sensore (E e N) rispetto alla componente verticale (Z). Questo tipo di analisi, seguendo il principio di Nakamura (1989) sullo studio del rapporto H/V, ci permette di studiare, per ogni valore di frequenza, l'amplificazione (o risonanza) del segnale sismico generata dalle caratteristiche geologiche locali del sito (Figura III.2.4).

SUBH

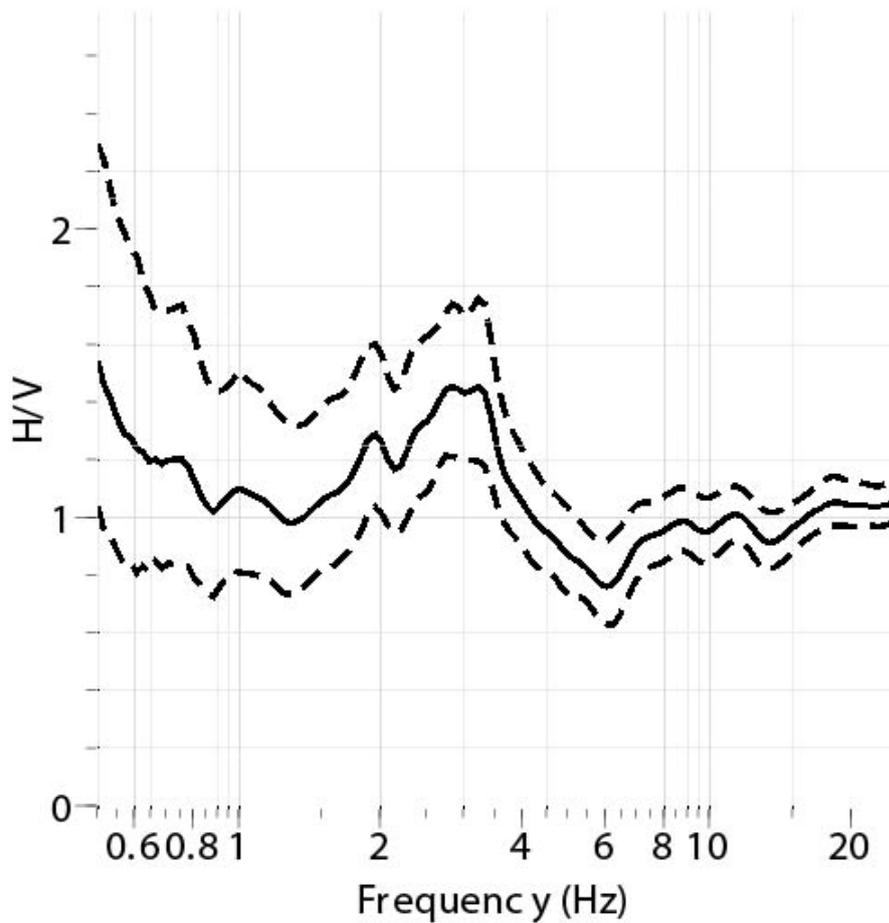


Figura III.2.4. Rapporto H/V (Nakamura, 1989) tra le componenti spettrali orizzontali e verticali del rumore di fondo registrato a ciascuna stazione della rete. Le linee tratteggiate definiscono il $\pm 3\sigma$ di errore, mentre la linea continua rappresenta il valore del rapporto H/V.

Dai dati analizzati al momento è possibile affermare, sia per esperienza diretta che per analogia con altri esperimenti dello stesso tipo effettuati sul territorio nazionale, che l'area compresa all'interno della rete sismica installata ha una soglia di rilevazione della magnitudo pari o al di sotto di 1.0 M_L (Magnitudo Locale).

IV. Determinazione della baseline di sismicità naturale dell'area di studio

L'obiettivo principale del progetto è quello di individuare, all'interno delle registrazioni continue collezionate dalla rete sismica temporanea, la presenza di eventuali terremoti che caratterizzano l'attività sismica naturale dell'area oggetto di studio ed in particolare della faglia di Matzaccara.

Le operazioni di elaborazione dei dati raccolti durante l'esperimento sono rappresentate dalle analisi sismologiche standard utilizzate per il trattamento di grandi quantità di dati.

In prima analisi le procedure automatiche utilizzate si riferiscono alla rilevazione (o triggering) associata ad altre procedure, sempre automatiche, di coincidenza del trigger a più stazioni della rete. Le comuni procedure di triggering si fondano su algoritmi basati su STA/LTA (short term average /long term average) eseguiti su delle serie temporali delle componenti acquisite dalle stazioni sismiche.

I termini STA e LTA sono riferiti a valori di ampiezza del segnale sismico, mediati lungo finestre molto piccole (2-4 secondi per STA) e finestre lunghe (30-40 secondi per LTA) di segnale.

L'algoritmo sviluppato è in grado di processare un flusso continuo di dati a tre componenti (N-S, E-W, Z), in due diversi passaggi successivi. Nella prima fase esso corregge le tracce sismiche acquisite in funzione della risposta delle coppie di strumenti (sismometro/acquisitore); alle tracce viene applicato un filtro capace di esaltare le frequenze tipiche degli eventi sismici (tipicamente 3-25 Hz) e di ridurre il rumore sismico ambientale. Nella seconda fase la procedura calcola la sommatoria della diagonale della matrice di covarianza su porzioni di 1 secondo di segnale, esaltando il segnale coerente sulle tre componenti. Questa procedura è necessaria per l'individuazione di segnali coincidenti a più stazioni.

Una volta eseguite queste fasi, si ottiene una serie di "eventi sismici potenziali" che devono essere verificati, uno ad uno dal sismologo, per verificare che il dato corrisponda veramente ad un terremoto e non ad una associazione di rumori casuali avvenuti in coincidenza alle stazioni.

In questo report abbiamo preso in analisi i dati del periodo che va dal 26 gennaio al 15 settembre 2018. Il sistema di trigger prevede una coincidenza minima a 3 stazioni della rete.

Nel periodo gli eventi "potenziali" usciti dall'algoritmo di trigger sono stati circa 6500. Tuttavia di questi eventi potenziali nemmeno uno, all'interno della rete e nelle immediate vicinanze, è da considerarsi un terremoto reale. La quasi totalità degli eventi potenziali rappresenta coincidenze di rumori casuali, peraltro abbastanza cicliche durante il corso della giornata alle stesse stazioni (cave,

coltivazioni, pompe, moto ondoso, natanti, etc.). Per il resto si tratta di qualche evento abbondantemente fuori rete e di qualche evento regionale.

Sebbene l'analisi dei segnali sia in parte ancora in corso per il periodo più prossimo, le faglie del bacino di Matzaccara non sembrano essere caratterizzate da alcun tipo di sismicità rilevabile dagli strumenti.

I dati utilizzati in questo studio derivano dalle registrazioni in continuo delle 5 stazioni sismiche le cui caratteristiche sono riassunte in Tabella 1. La stazione SUBH non è compresa nello studio perché installata successivamente.

Codice stazione	Lat(°)	Lon(°)	Quota (m s.l.m.)	Acquisitore	Sensore e periodo proprio (s)	Frequenza di campionamento (Hz)
SU22	39.132	8.470	11	Reftek 130	Sara SSXX 3D-5s	125
SU23	39.146	8.453	10	Reftek 130	Sara SSXX 3D-5s	125
SU24	39.132	8.447	10	Reftek 130	Sara SSXX 3D-5s	125
SU26*	39.123	8.490	8	Reftek 130	Nanometrics TR-120s	125
SU27	39.155	8.486	8	Reftek 130	Sara SSXX 3D-5s	125
SUBH	39.136	8.456	12	Lunitek Atlas	Lunitek Tellus 1s	200

* Stazione trasmessa in tempo reale

Tabella 1 – Caratteristiche della strumentazione utilizzata per ogni stazione della rete

V. Precedenti esperienze di monitoraggio nel Sud-Ovest della Sardegna

L'esperimento di monitoraggio sismico descritto nei precedenti paragrafi è attualmente ancora in corso. Precedentemente ad esso, già a partire dal luglio 2014, nell'area del Sulcis e della Sardegna Sud-Occidentale era già presente un'attività di monitoraggio sismico passivo, sempre a cura di INGV, volta alla conoscenza di un territorio abbastanza inesplorato dal punto di vista della sismicità strumentale.

Il primo esperimento di monitoraggio (2014-2015) è stato realizzato con l'installazione di una rete temporanea costituita da 10 stazioni che interessavano l'area del Sulcis, delle isole di Sant'Antioco e San Pietro ad ovest, di Teulada ad Est e fino al medio campidano a Nord (Figura V.1).

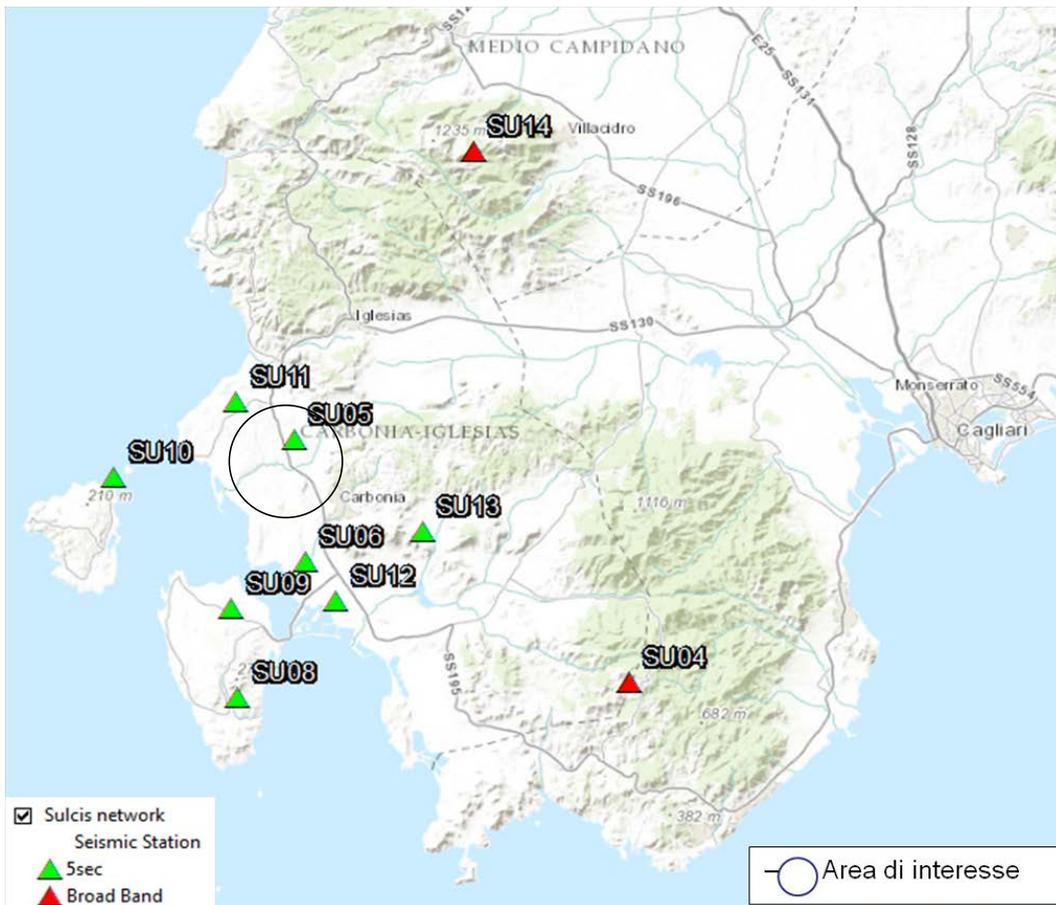


Figura V.1 – Mappa della rete sismica temporanea installata nel 2014-2015. I triangoli verdi rappresentano le stazioni equipaggiate con sensore a periodo intermedio, mentre i triangoli rossi rappresentano le stazioni con sensore broadband.

Nel corso dell'esperimento furono registrati circa 80 terremoti, con magnitudo M_L massima pari 1,4 (Figura V.2, Tabella 3). La loro localizzazione, seppur con elevati errori per la maggior parte dei terremoti (pallini in blu di Figura V.2), si trova in mare verso le isole di Sant'Antioco e San Pietro, nella parte a nord-est di Carbonia, verso il medio Campidano e nella parte intorno ai rilievi di Teulada, mentre nel bacino del Sulcis non sembra esservi alcun tipo di sismicità.

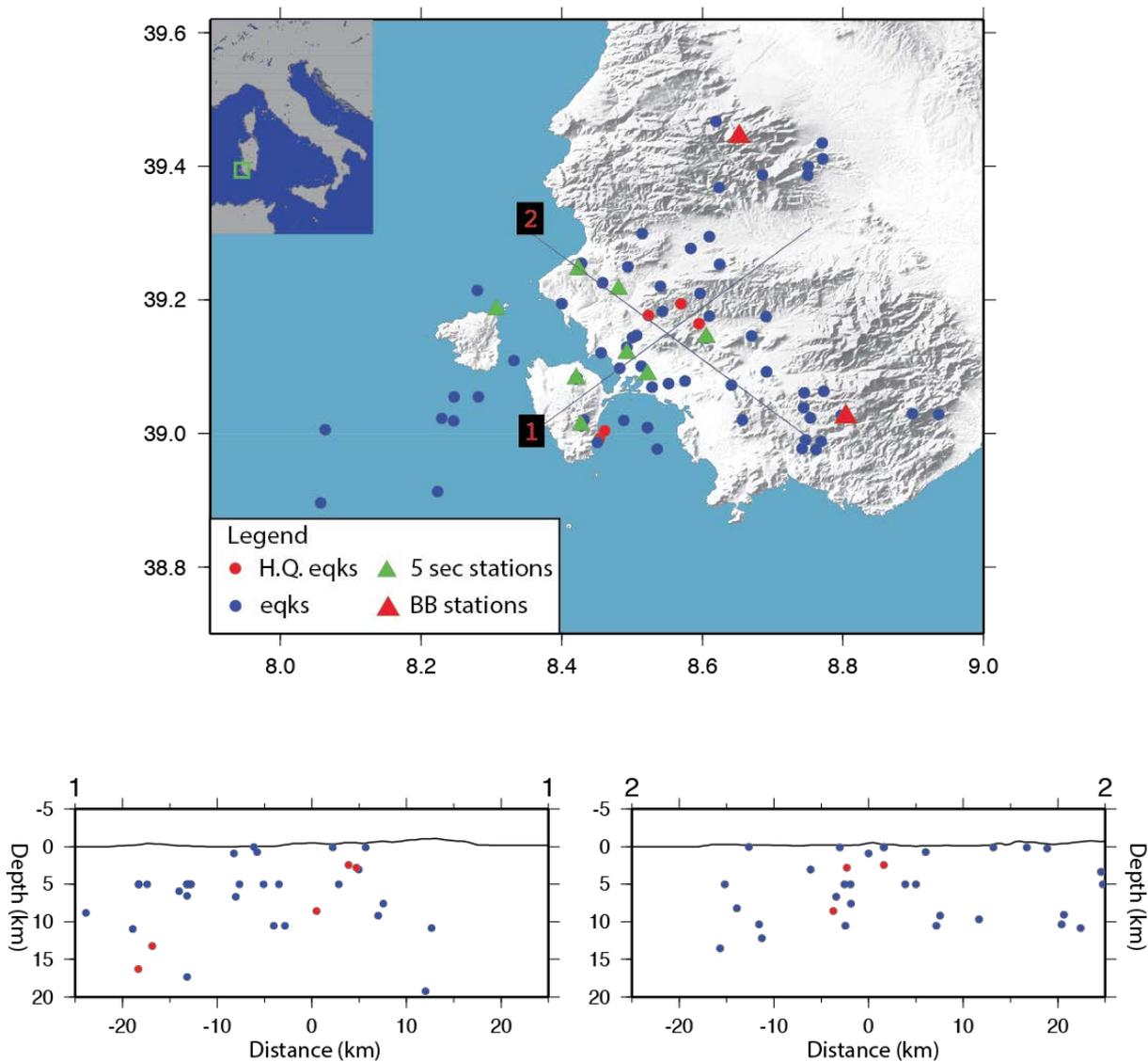


Figura V.2 – Mappa della sismicità registrata nel periodo 2014-2015 (in alto) e sezioni verticali di sismicità, centrate nell'area del Sulcis (in basso). I pallini azzurri rappresentano i 77 eventi aventi errori superiori a 4 km, sia sulla componente orizzontale che verticale. I pallini rossi rappresentano i 5 terremoti che hanno localizzazione di maggior qualità e di cui è stata calcolata anche la M_L (mostrata in Tabella 2).

Gli eventi con localizzazione di buona qualità (con errori minori di 4 km, pallini rossi in Figura V.2, Tabella 2) sono localizzati sotto la parte sud-est dell'isola di Sant'Antioco e nell'area delle colline situate a Nord-Est di Carbonia.

L'esperimento successivo, partito nel 2016 e composto da 5 stazioni temporanee (Figura V.3) sembra aver confermato questa assenza di sismicità nell'area del Sulcis ed in particolare nel bacino di Matzaccara, non registrando alcun tipo di sismicità in oltre 18 mesi di registrazione.

Questa caratteristica non sembra essere cambiata nemmeno nel periodo del luglio 2017 quando, per una serie di esperimenti temporanei volti alla registrazione di rumore sismico ambientale, sono state

aggiunte nell'area almeno 4 stazioni, oltre alle 5 stazioni dell'esperimento 2016-2018, per un periodo di circa 30 giorni. Gli eventi elencati in Tabella 4 sono terremoti registrati dalla rete ma localizzati ampiamente al di fuori dell'area di studio (Figura V.3)

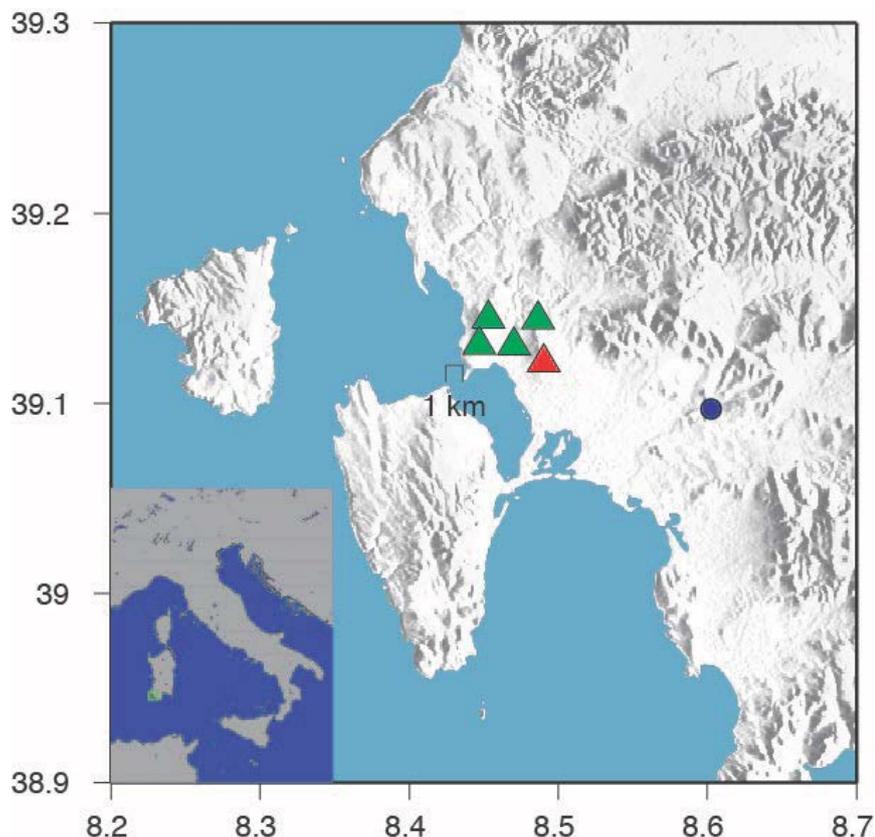


Figura V.3- Mappa della rete sismica temporanea installata nel bacino del Sulcis nel 2016 ed ancora in attività, anche se con leggere variazioni della geometria. I triangoli verdi rappresentano le stazioni a periodo intermedio, mentre il triangolo rosso rappresenta la stazione con sensore broadband.

YYMMGGHHMMSS.SS	LAT	LON	DEPTH	ML	ML Error
150311164443.18	38N58.47	8E27.01	17.41	1.07	+/- 0.27
150326104928.76	39N10.38	8E32.41	2.87	1.03	+/- 0.26
150428033416.79	39N03.81	8E46.38	10.31	1.24	+/- 0.17
150506112435.81	39N10.06	8E35.47	2.41	0.42	+/- 0.26
150506113707.84	39N11.67	8E34.18	2.81	1.29	+/-0.32

Tabella 2 – Tabella dei 5 terremoti con errori di localizzazione, sia in orizzontale che in verticale, minori di 5 km. Per questi 5 terremoti è stata calcolata la Magnitudo locale (M_L)

LON	LAT	DEPTH	DATE
8,6532	39,0735	8,53	1411151945
8,6895	39,0933	3,07	1411162049
8,2847	39,0175	8	1411251119
8,2513	38,9497	15,56	1411272211
8,5037	39,1037	0,01	1412152355
0,6435	40,2962	8	1412271221
8,943	38,978	8	1411 41114
8,6007	39,3467	7,88	1411 5 956
8,4212	39,0822	6,47	141115 112
8,5728	39,262	15,97	1412 7 516
8,522	39,0088	8	1412 8 648
8,4277	39,0123	8	1412 9 228
8,5898	39,2152	6,67	141214 312
8,4925	39,1297	8	141216 012
8,522	39,0088	8	14121611 1
8,6087	39,1747	0,03	141230 044
8,4277	39,0123	8	15 1212319
8,4212	39,0822	8	15 122 242
8,549	39,0718	8	15 2 7 557
8,4237	39,2455	8	15 2 81658

8,4988	39,0987	3	15 2101154
8,4212	39,0822	8	15 225 030
8,456	39,1212	6,46	15 225 920
8,8042	39,025	8	15 2261119
8,316	39,1075	15,3	15 3 5 2 6
4,5443	39,5417	8	15 3 5 347
8,4602	39,0058	14,03	15 3 613 8
8,4212	39,0822	15,1	15 3101035
8,5545	39,0837	3,55	15 3101036
8,5197	38,9837	5,69	15 311 012
8,4277	39,0123	8	15 31111 3
8,4573	39,0055	12,66	15 3111644
8,4537	38,9867	10,12	15 3122045
8,07	39,0083	13,3	15 31313 7
8,5333	39,182	2,61	15 3132138
8,5042	39,1507	8	15 3132143
8,32	39,2205	1,75	15 3151123
8,4212	39,0822	8	15 3161114
8,8042	39,025	8	15 3261049
8,623	39,2438	6,14	15 327 126
8,6753	39,0208	5,89	15 3271324

8,399	39,19	0,06	15 32813 7
8,766	39,0635	6,58	15 3291834
8,6712	39,3792	5,99	15 3311024
8,9593	39,0298	8	15 3311650
8,5952	39,1437	0,9	15 416 830
8,5808	39,1577	1,2	15 428 334
8,1243	38,9302	29,56	15 5 51023
8,6813	39,1752	9,8	15 5 6 946
8,5255	39,1187	4,7	15 5 61124
1,0607	37,1408	8	15 5 61137
8,2588	39,046	2,95	15 5 8 549
8,2662	39,0133	7,64	15 51614 1
8,6487	39,4835	49,93	15 518 134
8,218	39,0383	2,32	15 518 135
8,7662	39,0178	9,86	15 524 521
8,598	39,0658	12,23	15 524 521
9,6465	40,3482	13,8	15 5241010
8,8205	39,0472	6,85	15 5241010
8,7872	38,9927	6,43	15 5241033
8,8038	38,9873	6,92	15 5241056
8,8042	39,025	8	15 526 327

8,6092	39,2928	19,57	15 529 712
8,6053	39,1435	8	15 5312138
0,8057	38,3725	8	15 6 21916
8,7575	39,4165	0,81	15 6 310 4
8,738	39,4143	3,43	15 6 310 4
8,7973	38,985	7,67	15 6 4 018
8,5377	39,2162	0,79	15 6 91044
8,4777	39,0062	7,18	15 613 636
8,4972	39,2882	6,48	15 614 545
8,5013	39,254	9,21	15 6171743
8,7458	39,061	0,04	15 618 9 5
8,3493	38,8603	8	15 625 911
8,5445	39,183	0,06	15 626 834
8,7855	39,0332	10,14	15 626 852
8,7218	39,3585	20,71	15 7 610 2
8,689	39,1725	19,78	15 7 610 2
8,7673	38,9758	5,33	15 7 8 2 4
8,4143	39,2453	11,79	15 710 759
8,7922	39,4447	1,31	15 7101016
8,4585	39,2328	8,72	15 7102046

Tabella 3 – Sismicità totale registrata nel periodo 2014-2015.

LON	LAT	DEPTH	ERRH	ERRZ	GAP	RMS	DATE
8,6193	39,1442	7,15	99	99	358	0,6484	17 4 61117
8,9474	39,0968	0,34	4,1	99	348	0,2345	17 4 71130

Tabella 4 – Sismicità localizzata nell'esperimento del 2016-2018.

Bibliografia essenziale

McNamara, D.E. and R.I. Boaz, (2005). Seismic Noise Analysis System Using Power Spectral Density Probability Density Functions: A Stand-Alone Software Package. USGS Open-File Report 2005-1438

McNamara, D.E. and R.P. Buland, (2004). Ambient Noise Levels in the Continental United States. Bull. Seism. Soc. Am., 94, 4, 1517-1527.

Nakamura, Y., (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Q. Rep. Railw. Tech. Res. Inst., 30, 25–30.

Peterson, J. (1993). Observation and modeling of seismic background noise. U.S. Geol. Surv. Tech. Rept.,93-322, 1-95, 1993.