

Accordo di Collaborazione Scientifica

Regione Toscana, INGV

Costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane

Responsabile di Progetto: Thomas Braun

Autori: T. Braun, M. Caciagli, M. Errico,

D. Famiani, A. Morelli, P. Zerbinato

Redazione: M. Errico



2021/1



In copertina: Foto (T. Braun). Centrale geotermica Bagnore 4 (Monte Amiata).

1. INTRODUZIONE	5
2. ATTIVITÀ DI CONSULENZA CMS	7
2.1. MONTENERO (GESTO ITALIA S.R.L.)	7
2.2. POGGIO MONTONE (SORGENIA S.R.L.)	7
2.3. LE CASCINELLE (SORGENIA S.R.L.)	9
2.4. RICHIESTE DA COMITATI DI CITTADINI	9
3. COMMENTI RELATIVI ALLA SISMO-TETTONICA DELLE AREE CON NUOVE CONCESSIONI	10
4. COMMENTI RELATIVI ALLA DEFINIZIONE DEI DOMINI DI MONITORAGGIO	16
5. AVANZAMENTO DELLA RETE SISMICA INTEGRATA	18
5.1. CENTRO DI ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI PRESSO INGV-BOLOGNA	18
5.1.1. Infrastruttura informatica	18
5.1.2. Acquisizione e archiviazione di dati sismici	20
5.1.3. Creazioni file metadati rete (station.xml)	20
5.1.4. Archiviazione dei dati	22
5.2. INTEGRAZIONE DI STAZIONI IV E TRASMISSIONE A CAD-BO	23
5.3. ESEMPIO ANALISI SC4 PER EVENTO SISMICO A LARDERELLO	25
5.4. RICERCA DEI SITI PER L'INSTALLAZIONE DI STAZIONI INTEGRATIVE	28
6. SIMULAZIONE DI CAPACITÀ DI DETEZIONE PER LA RETE IV	31
6.1. QUALITÀ DEL LIVELLO DI RUMORE DELLE STAZIONI IV INTEGRATE	31
6.2. AGGIORNAMENTO NPEVAL	32
7. CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	34
GLOSSARIO	36
BIBLIOGRAFIA	37
ELENCO DELLE FIGURE	39
ELENCO DELLE TABELLE	40

**Accordo di Collaborazione Scientifica tra
Regione Toscana e Istituto Nazionale di Geofisica e
Vulcanologia**

**Costituzione di un sistema di monitoraggio
sismico integrato delle aree geotermiche
toscane**

Prima Relazione tecnica annuale (Relazione n.3)

**Thomas Braun ^{1,2}, Marco Caciagli ^{1,3}, Maddalena Errico ³, Daniela Famiani ², Andrea
Morelli ³, Paolo Zerbinato ³**

¹ INGV, Osservatorio Sismologico Arezzo, Italia; ² INGV, Sezione di Roma 1, Italia;

³ INGV, Sezione di Bologna, Italia.

30/06/2021

1. Introduzione

In data 01/07/2020 ha avuto inizio un Accordo di Collaborazione Scientifica (ACS) tra la Regione Toscana (RT) e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) con il titolo "*Costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane*", che nasce dalle attività svolte nell'ambito del precedente accordo, con il titolo: "*Supporto scientifico per la valutazione del monitoraggio sismico operato dalle reti di Enel Green Power nelle aree geotermiche di Larderello-Travale ed Amiata*" (INGV, 2018-2021). L'art. 2, comma 2, del presente accordo prevede un Programma delle attività, suddiviso nei seguenti obiettivi:

- Attività propedeutiche alla costituzione della rete sismica (definizione dei domini di monitoraggio, schema di scenari di rete sismica integrata, simulazione di capacità di detezione, ricerca siti nelle aree geotermiche toscane di Larderello e del Monte Amiata);
- Definizione di protocolli omogenei di definizione e condivisione dei dati sismici provenienti dai differenti concessionari e relativa valutazione della qualità del dato;
- Acquisizione in tempo reale dei segnali sismici presso i laboratori del Centro di Monitoraggio Sismico dell'INGV di Bologna e condivisione con la Regione Toscana dei dati sismici;
- Monitoraggio e analisi dati: analisi dati sismici di dettaglio, monitoraggio secondo gli ILG (calcolo localizzazione PGV, ML), reperibilità, compilazione report scientifico in caso di evento significativo nelle aree monitorate;
- Coordinamento delle attività di installazione delle stazioni sismiche finanziate dai Concessionari ed eventuale installazione di postazioni sismiche integrative;
- Supporto tecnico-scientifico alla Regione Toscana, nell'ambito dei processi decisionali connessi con le attività di monitoraggio sismico.

In data 24/07/2020 l'INGV ha trasmesso alla RT il 1° rapporto, chiamato "*Relazione di Inizio Attività*" che illustra in dettaglio lo stato di fatto e il cronoprogramma delle attività (CMS, 2020a).

In data 30/11/2020 l'INGV ha trasmesso alla RT il 2° rapporto, chiamato "*Relazione Tecnica Intermedia*" relativa alla verifica sia della conclusione delle attività propedeutiche sia dello stato di avanzamento inerente la messa in funzione della rete di monitoraggio sismico (CMS, 2020b).

L'argomento principale del presente 3° rapporto, denominato "*Prima Relazione tecnica annuale*" è la descrizione dell'avanzamento delle attività riportate di cui sopra (ACS: art. 2, com. 2).

Dopo un riassunto sintetico dell'attività di consulenza svolta, anche in fase preparatoria del presente accordo, da parte del CMS per conto di RT (concessioni in area Amiatina: Montenero, Poggio Montone, Le Cascinelle), segue un capitolo con dei Commenti relativi alla sismo-tettonica delle aree con nuove concessioni. Il quarto paragrafo riporta la definizione dei Domini di Monitoraggio per le concessioni di EGP (LARD e AMIA), come proposta nella relazione finale del precedente ACS (INGV, 2021). Il quinto capitolo descrive l'avanzamento della rete sismica integrata. Viene descritta l'organizzazione del CAD-BO (Infrastruttura informatica, Acquisizione e archiviazione di dati), l'integrazione di stazioni IV e trasmissione a CAD-BO, i risultati preliminari della ricerca dei siti per installazione di stazioni integrative. Nel capitolo sei si tratta la capacità di detezione dell'attuale rete sismica operativa. L'ultimo paragrafo riporta le conclusioni e delle raccomandazioni.

2. Attività di consulenza CMS

L'attività di consulenza del CMS per conto della RT era già iniziata nel periodo prima dell'inizio formale dell'ACS a Luglio del 2020. Oggetto delle consulenze sono richieste di RT di redigere pareri di carattere tecnico-scientifico relativi alla presentazione da parte di nuovi operatori non-EGP (ENEL Green Power) di pratiche di VIA per delle concessioni di coltivazione geotermica adiacenti alle concessioni di EGP. Segue breve cronologia delle attività CMS per le concessioni degli operatori GESTO Italia s.r.l. (Montenero) e Sorgenia s.r.l. (Poggio Montone, Le Cascinelle).

2.1. Montenero (Gesto Italia s.r.l.)

17/09/2019: il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio del Mare (MATTM) comunica a GESTO (con copia a RT e INGV) che il "piano di monitoraggio microsismico" trasmesso da GESTO a MATTM in data 02/09/2019 "non appare corrispondere alla documentazione richiesta dalle prescrizioni medesime". MATTM chiede una validazione da parte di RT e INGV (CMS).

01/10/2019: CMS invia a GESTO (con copia a RT e MATTM) un parere qualitativo sugli aspetti formali del Piano di Monitoraggio, includendo alcuni suggerimenti di revisione.

27/10/2019: CMS esprime parere positivo sulla revisione del Piano di Monitoraggio, ritrasmissione da GESTO in data 11/10/2019 a RT e INGV.

2.2. Poggio Montone (Sorgenia s.r.l.)

19/12/2019: riunione presso sede RT a FI tra RT (Settore Servizi Pubblici Locali, Energia e Inquinamenti e Settore Miniere), Comune di Santa Fiora, Sorgenia e INGV: A seguito della rinuncia alla richiesta di sospensione delle attività di Sorgenia alla concessione Poggio Montone da parte dell'avvocatura regionale, vengono discusse le seguenti tematiche (per dettagli vedi verbale della riunione):

- Sorgenia informa, che l'installazione e la manutenzione della rete microsismica per il monitoraggio dell'area del Permesso "Poggio Montone" è stata realizzata da INGV, e propone la continuazione della manutenzione della propria rete da parte della SPM (INGV) designata da RT.
- RT informa dell'intenzione di realizzare il monitoraggio sismico delle aree geotermiche toscane secondo i criteri degli ILG e dell'imminente avvio di un accordo con INGV per la costruzione di una rete sismica integrata che unisce le stazioni sismiche di tutte le reti disponibili nell'area geotermica toscana.
- CMS dichiara di non avere ricevuto incarico e né risorse per poter realizzare la manutenzione delle reti sismiche per le quali il CMS copre il ruolo della SPM non

potendo inoltre intrattenere rapporti diretti con l'operatore per preservare il suo ruolo di terzietà.

- Sorgenia informa sui prossimi passi tecnici relativi al progetto esecutivo della centrale geotermica a Saragiolo e alle prove tecniche di reiniezione.
- Altre tematiche discusse riguardano: la definizione dei domini di monitoraggio, le soglie del sistema a semaforo, la necessità di costituire un organo esecutivo, chiamato "comitato", per le concessioni di geotermia di competenza regionale.

24/12/2020: Sorgenia trasmette a RT e INGV la documentazione relativa al monitoraggio effettuato per la fase precedente la coltivazione per la Concessione di coltivazione per risorse geotermiche denominata "Poggio Montone".

26/01/2021: INGV invia a RT i commenti in relazione ai documenti trasmessi da Sorgenia in data 24/12/2020, valutandoli generalmente idonei ai fini di una valutazione di impatto ambientale, inoltrati da RT a Sorgenia in data 01/02/2021.

02/02/2021: INGV informa Sorgenia sul ruolo del CMS come consulente della RT e dell'opportunità di contrarre nuove relazioni contrattuali con attori gli effetti delle cui operazioni INGV potrebbe dover monitorare.

04/03/2021: Riunione telematica tra RT (Settore Servizi Pubblici Locali, Energia e Inquinamenti e Settore Minerale), Comune di Santa Fiora, Sorgenia e INGV per validare le attività di monitoraggio svolte prima dell'inizio delle attività nel permesso Poggio Montone (verifica del bianco, almeno 12 mesi prima dell'inizio della produzione) e per stabilire le modalità di trasmissione dati nel futuro. Vengono inoltre discusse le seguenti tematiche:

- chiarimenti sulla definizione di sismicità indotta e naturale nell'area del M. Amiata;
- calendarizzazione delle prossime iniziative/azioni di Sorgenia a Poggio Montone (perforazioni, prove di produzione/reiniezione) concessione;
- impossibilità da parte di INGV a proseguire la gestione e la manutenzione della rete sismica tramite rapporto diretto con il Concessionario per preservare il ruolo di terzietà. Settore Sismico (RT) dichiara di voler verificare all'interno di RT, la fattibilità giuridica ed amministrativa per consentire una prosecuzione del monitoraggio sismico mediante atto ufficiale dell'Amministrazione regionale.

05/05/2021: RT informa Sorgenia, INGV, Comune di Santa Fiora dell'impossibilità giuridica e amministrativa di proseguire la gestione e la manutenzione della rete sismica mediante atto ufficiale dell'Amministrazione regionale e comunica al Concessionario la necessità di affidare la manutenzione delle reti ad altro soggetto.

2.3. Le Cascinelle (Sorgenia s.r.l.)

19/12/2019: Nella riunione di cui al punto 2.2. (Poggio Montone) Sorgenia informa che l'installazione e la manutenzione della rete microsismica per il monitoraggio dell'area del Permesso "Le Cascinelle" è stata realizzata da INGV.

17/03/2021: La RT chiede in maniera informale a CMS un parere tecnico-scientifico relativo al Rapporto di Sismicità Concessione Val di Paglia/Le Cascinelle (Allegato F - Ago 2019) trasmesso da Sorgenia a Regione Toscana (VDP.VIA.SIA.A.06.00.pdf).

26/03/2021: Il CMS trasmette a RT un breve parere, suggerendo alcuni punti per alcune precisazioni. Il documento del CMS conclude che non è preventivabile, ma non è da escludere che le attività produttive previste nell'area di Val di Paglia, caratterizzata da una significativa sismicità storica, possano portare a variazioni di pressione e temperature nel volume crostale interessato, capace di innescare sismicità su faglie attive presenti.

2.4. Richieste da comitati di cittadini

13/04/2021: Il Comitato Ambientalista "Storia di un Referendum" di Abbadia San Salvatore, chiede al CMS informazioni in merito alla costruzione della centrale geotermica de "Le Cascinelle" alle pendici del Monte Amiata.

29/04/2021: Risposta da parte di CMS al comitato Ambientalista, inerente a questioni sulla geologia dell'area, sismicità storica, dettagli tecnici di produzione geotermica, eventuali conseguenze delle attività geotermiche della futura concessione "Le Cascinelle" sulla sismicità in Val di Paglia.

3. Commenti relativi alla sismo-tettonica delle aree con nuove concessioni

Come accennato precedentemente (vedi §2) le concessioni dove prossimamente si inizierà la produzione geotermica si trovano tutte nei dintorni del M. Amiata (Figura 3.1):

1. Montenero, parte occidentale (Castel del Piano); competenza MATTM.
2. Poggio Montone, parte meridionale (Saragiolo); competenza RT.
3. Le Cascinelle, parte meridionale (Abbadia S. Salvatore/Val di Paglia); competenza RT.

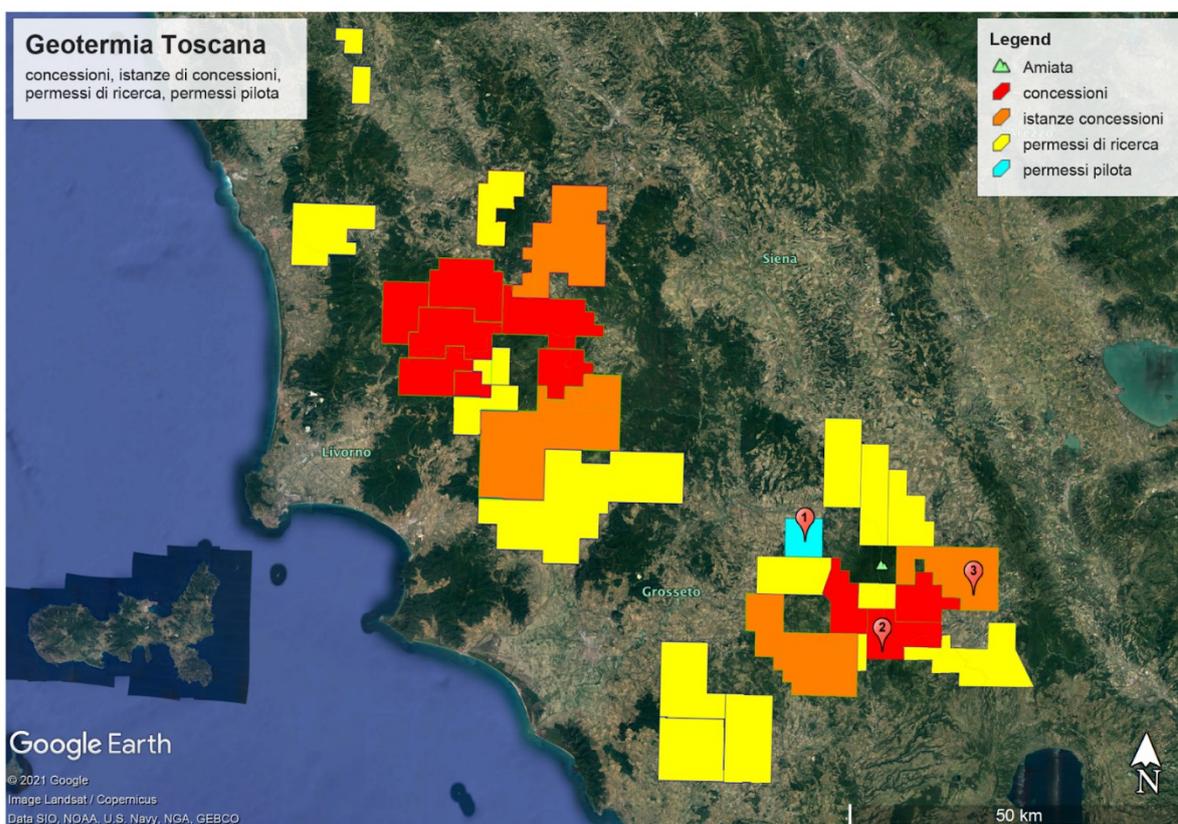


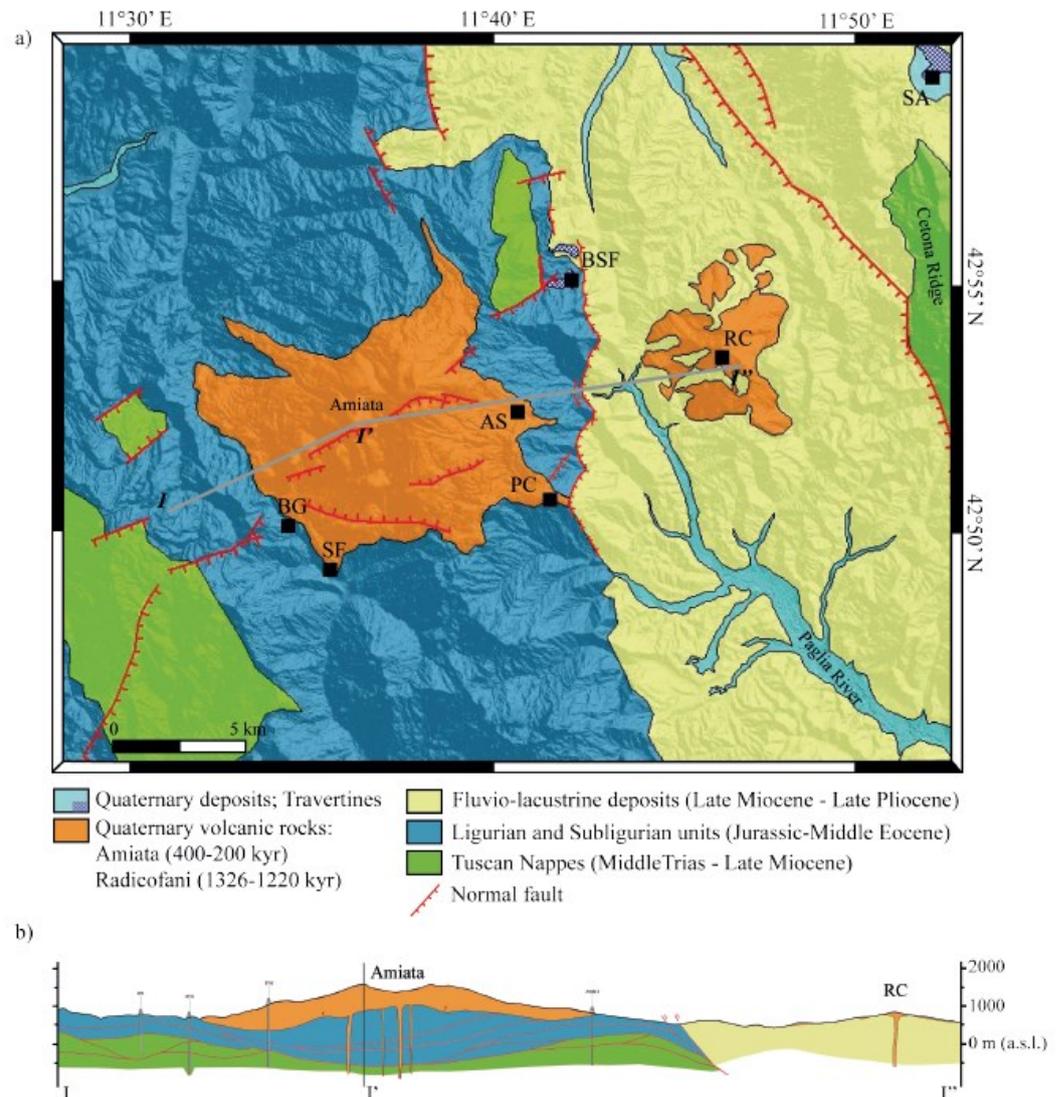
Figura 3.1. Concessioni, Istanze di Concessioni, Permessi di Ricerca e Permessi Pilota per le aree geotermiche toscane. I simboli numerati indicano futuri siti di produzione per le quali il CMS ha svolto attività di consulenza per conto di RT: 1) Montenero, 2) Poggio Montone, 3) Le Cascinelle.

Le aree delle concessioni sono piccole rispetto all'intera area del Monte Amiata. La sismicità storica, che è uno degli indicatori delle faglie attive, risulta meno importante nel settore meridionale del M. Amiata rispetto alla parte orientale (Val di Paglia).

Il M. Amiata (Figura 3.2), è un edificio vulcanico che si è strutturato tra 400000 e 200000 anni fa lungo una debolezza crostale (*shear zone*) orientata circa NE-SW, come testimoniato dall'allineamento dei centri effusivi riconosciuti nell'area (Principe et al. 2017).

Lungo il margine orientale del M. Amiata, una faglia distensiva separa le unità geologiche meso-cenozoiche (Tuscan nappes e Unità Liguri e Subliguri) dai depositi fluvio-lacustri e marini di età pliocenico-quadernaria, che colmano il cosiddetto "Graben di Radicofani" (Figura 3.2b). La Val di Paglia infatti, geologicamente ricade all'interno del "Graben di Radicofani" che, per definizione, è una depressione tettonica allungata, generata dall'attività distensiva di faglie che lo delimitano ai bordi. Nel caso di Radicofani, il Graben omonimo è legato alla strutturazione della catena appenninica, iniziata circa 40 milioni di anni fa, il cui fronte è migrato, e migra ancora, da Ovest verso Est ed è attualmente presente al largo della costa adriatica.

Figura 3.2. a) Schema geologico dell'area amiatina nelle quali ricadono le concessioni oggetto di consulenza del CMS per RT. b) Profilo geologico lungo la traccia I-I" (da Braun et al., 2021). AS= Abbadia San Salvatore; BSF=Bagni San Filippo; PC=Piancastagnaio; SF= Santa Fiora; BG= Bagnore; RC=Radicofani; SA= Sarteano.



Nel corso della sua evoluzione, alle spalle del fronte della catena, si strutturano dei bacini distensivi che migrano, spazialmente e nel tempo, da Ovest verso Est seguendo l'avanzamento della catena stessa. Per rimanere in Toscana, il bacino distensivo più recente è rappresentato dalla Val Tiberina. Il Bacino di Radicofani ha cominciato la sua strutturazione circa 6 milioni di anni fa, in risposta ad un contesto geodinamico che vedeva il fronte della catena in una posizione più occidentale rispetto ad oggi.

La sismicità attualmente presente in quest'area risponde quindi, dal punto di vista geodinamico, a condizioni di stress tettonico minori rispetto a quelli presenti nei bacini intramontani appenninici (i.e. Mugello, Val Tiberina, Colfiorito, Norcia...) ma pur sempre presente.

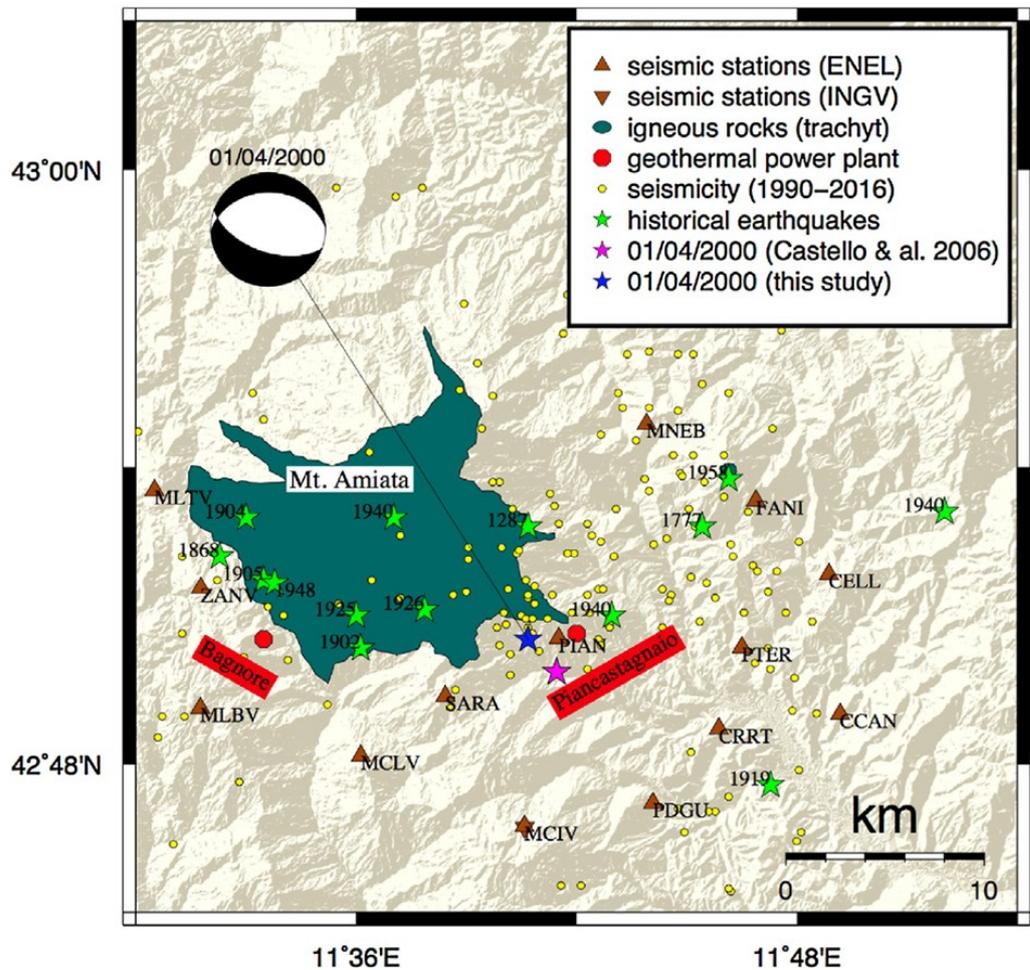
La Tabella 3.1 riporta l'estrazione della sismicità storica come riportata nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI 15, Rovida et al., 2021):

N.	anno	mese	giorno	ora	min.	sec.	Area epicentrale	Lat (°)	Lon (°)	Prof.	I_0	M_e
56	1287						Monte Amiata	42.880	11.678		6-7	4.86
261	1509	12	24	21			Val d'Orcia	42.896	11.769		7-8	4.63
324	1545	11	27	2			Val d'Orcia	43.067	11.643		7-8	5.33
325	1545	11	28				Val d'Orcia	43.076	11.679		5	4.16
326	1545	11	29				Val d'Orcia	43.076	11.679		5	4.16
587	1700	2	5				Val d'Orcia	42.871	11.668		6-7	4.86
836	1774	5	15				Monte Amiata	42.831	11.586		6	4.63
847	1777	10	5	15	45		Val di Paglia	42.880	11.757		7	5.14
877	1781	1	6	15			Crete Senesi	43.058	11.606		5	4.16
970	1798	9	8	16	45		Val d'Orcia	43.077	11.651		6-7	4.86
1031	1815	1	11	23	30		Monte Amiata	42.865	11.683		6-7	4.86
1326	1868	6	17	1	50		Monte Amiata	42.870	11.538		5-6	4.4

1820	1902	12	17	5	21		Monte Amiata	42.839	11.602		6-7	4.83
1871	1905	2	12	8	28		Monte Amiata	42.862	11.558		6	4.55
2237	1919	9	10	16	57		Val di Paglia	42.793	11.788		7-8	5.36
2337	1925	9	3	18	55		Monte Amiata	42.867	11.602		5	4.16
2345	1926	1	8	9	14		Monte Amiata	42.852	11.631		7	4.9
2377	1928	4	21	13	56		Val d'Orcia	43.026	11.503		5-6	4.4
2564	1940	6	19	14	10		Monte Amiata	42.850	11.716		6	4.64
2568	1940	10	16	13	17		Val di Paglia	42.885	11.867		7-8	5.29
2639	1948	11	3	11	40		Monte Amiata	42.861	11.563		6	4.82
2785	1958	5	30	6	26		Val di Paglia	42.896	11.769		5	4.05
3111	1975	4	16	21	23		Monte Amiata	42.850	11.688		5	4.16
3733	1994	2	9	21	49	13	Val di Paglia	42.804	11.927	0.1	4-5	3.55
3831	1997	3	21	16	46	20	Monte Amiata	42.860	11.696	21		4.04
4014	2000	4	1	18	8	3.7	Monte Amiata	42.831	11.691	1.6	6	4.52

Tabella 3.1. Elenco degli eventi estratti dal CPT115_v3.0 per l'area del M. Amiata (vedi Figura 3.3). Prof. = profondità ipocentrale (km), I_0 = intensità ipocentrale, M_e = magnitudo equivalente.

Figura 3.3. Terremoti storici per l'area del M. Amiata (da Braun et al., 2018b, CPT115, Rovida et al., 2021).



Gli eventi più forti ricadono nell'area della Val di Paglia, dove sono avvenuti almeno 3 terremoti (1777, 1919, 1940) con intensità macrosismiche $Io \geq VII$, che corrispondono a Magnitudo macrosismiche equivalenti (M_e) comprese tra $M_e=5$ e $M_e=5.4$. In Val d'Orcia sono almeno 2 gli eventi di simile intensità macrosismica ($Io=VII-VIII$) accaduti entrambi nel XVI° secolo (1509, 1545) mentre nell'area Amiatina l'evento più significativo è quello accaduto nel 1926 ($Io=VII$).

Per quanto riguarda la stima della magnitudo per terremoti storici, è bene ricordare che i valori riportati nei bollettini non si basano quasi mai su dati sismografici e le coordinate dell'epicentro e la profondità sono stimate in base alla distribuzione delle informazioni sul danneggiamento conosciuto (Intensità macrosismica). Di conseguenza, per gli eventi storici l'incertezza nella stima della magnitudo, così come delle localizzazioni epicentrali, può assumere valori molto significativi. In generale comunque, l'attività sismica recente, nella quale si ricordano gli eventi sismici di $M=4.3$ nell'area di Castel Giorgio/Torre Alfina (Braun et al., 2018a; Lisi et al., 2019) e $M=4.0$ a Piancastagnaio del 01/04/2000 (Braun et al., 2018b), danno testimonianza della continua e naturale attività sismotettonica dell'area. Molte delle faglie mappate sia sul M. Amiata che nell'area circostante (Figura 3.2a) sono considerate, infatti,

potenzialmente attive da numerosi Autori (es. Brogi and Fabbrini, 2009; Brogi et al., 2015; Piccardi et al., 2017).

4. Commenti relativi alla definizione dei Domini di Monitoraggio

Le seguenti considerazioni fanno riferimento ad alcune delle conclusioni espresse nell'ambito della relazione finale del precedente ACS tra RT e INGV (INGV, 2021).

Per la definizione del Dominio di Rilevazione gli ILG [UNMIG 2014, 2016] individuano due casi (vedi anche §2):

- 1) *qualora siano disponibili i dettagli del volume perturbato ottenibili dal modello geomeccanico di serbatoio realizzato per ciascun sito, considerata anche l'estrema variabilità delle caratteristiche geologiche dello stesso, si ritiene come **Dominio Interno di rilevazione** per gli impianti pilota un volume che si estende fino alla superficie, coincidente con il volume perturbato (come definito dallo studio geologico preliminare) ampliato di un'ulteriore fascia che si estende ai lati e sotto **fino ad una distanza di 5 km dal bordo dello stesso (fino a un massimo di 8 km di profondità)**.*
- 2) *nel caso in cui, il titolare non abbia fornito informazioni per la definizione dell'estensione del volume perturbato, si ritiene come **Dominio Interno di rilevazione** un volume che si estende per 2 km intorno al pozzo stesso (valore convenzionale e cautelativo), ampliato di un'ulteriore fascia di 5 km da tale volume, sia lateralmente che in profondità, che tenga conto dell'incertezza generale sul volume perturbato. Entrambi i valori dovranno essere calcolati da fondo pozzo. Il Dominio Interno di rilevazione, in quest'ultimo caso, sarà costituito dall'involuppo di tutti i volumi dei pozzi del campo e si intende esteso fino alla superficie. In entrambi i casi, sempre in via cautelativa, si ritiene comunque che **l'area interessata dal monitoraggio debba corrispondere quanto meno all'estensione del Permesso**.*

Per un futuro scenario di una rete sismica integrata, che include il monitoraggio di tutte le concessioni di produzione geotermica nelle aree tra Larderello-Travale e Monte Amiata (RT 2020), sarà necessario definire dei Domini Interni di Rilevazione (DIR) individuali sulla base della posizione geografica dei pozzi di reiniezione per ogni concessione attiva.

In caso di concessioni adiacenti, gestite da operatori differenti, sarà inevitabile che i DIR si sovrappongano. In tal caso necessitano di particolare attenzione gli eventi sismici che si verificano nelle zone di sovrapposizione per approfondire eventuali nessi tra operazioni industriali e sismicità.

In tal senso, il CMS, in veste di SPM per le concessioni di produzione di idrocarburi in Basilicata (Val d'Agri e Gorgoglione), ha recentemente realizzato una rete integrata, composta dalla rete INGV, altre reti pubbliche e dalle reti sismiche dei concessionari,

che trasmettono i propri dati al Centro Acquisizione Dati del CMS a Bologna acquisendo esperienza positiva.

Come concluso nella relazione finale del precedente ACS tra RT e INGV (INGV, 2021), per le concessioni di EGP (LARD e AMIA), INGV propone come DIR le aree comprese nella fascia di colore viola (vedi Figura 4.1 e Figura 4.2), definite dall'involuppo delle singole sfere con un raggio di 8 km intorno ai pozzi di reiniezione (PRI).

Figura 4.1. Dominio Interno di Rilevazione per l'area geotermica di LARD, calcolato sulla posizione geografica dei PRI. L'area arancione indica la proiezione in mappa del volume di 2 km di raggio intorno ai PRI, il suo ampliamento di 5 km (area rossa) e l'involuppo delle sfere ideali con raggio di 8 km intorno ai PRI (area viola), vedi rapporto finale del precedente Accordo (INGV, 2021).

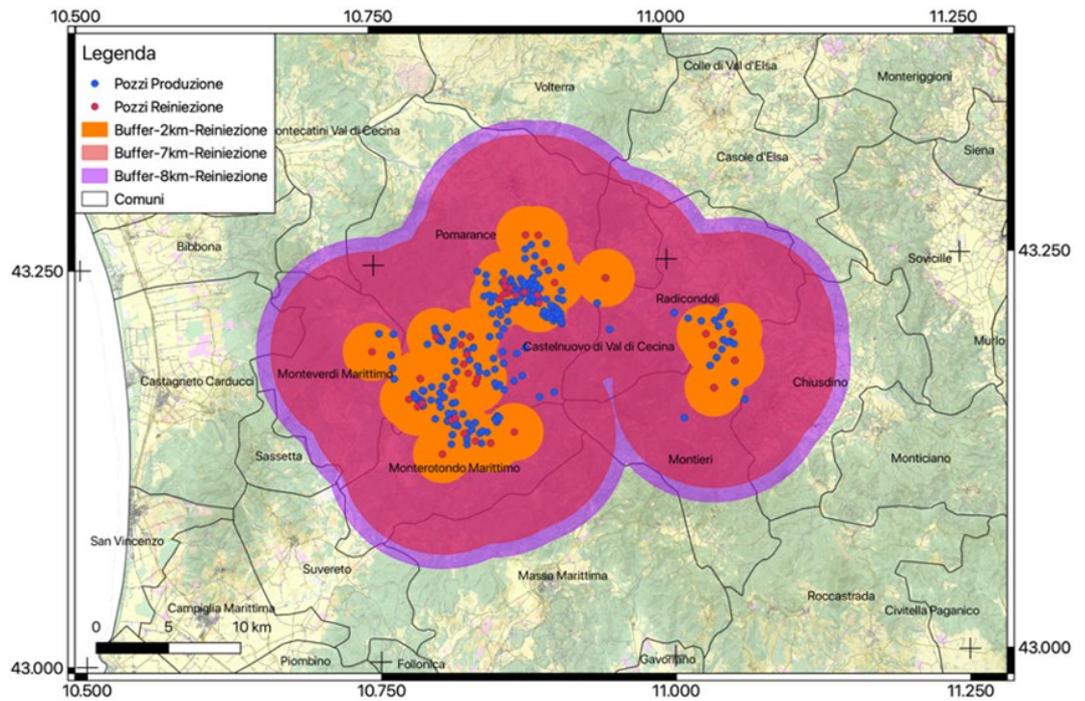
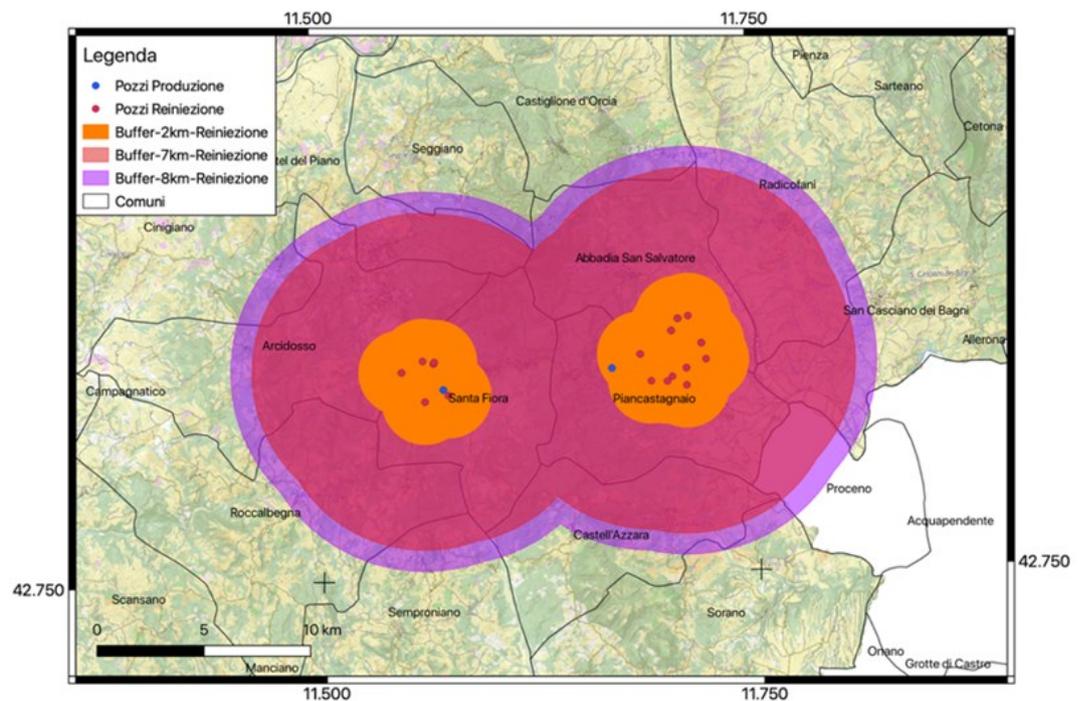


Figura 4.2. Dominio Interno di Rilevazione per l'area geotermica di AMIA, calcolato sulla posizione geografica dei PRI. L'area arancione indica in mappa il volume di 2 km intorno ai PRI, il suo ampliamento di 5 km (area rossa) e l'involuppo delle sfere ideali con raggio di 8 km intorno ai PRI (area viola), come proposto nel rapporto finale del precedente Accordo RT-INGV (INGV, 2021).



5. Avanzamento della rete sismica integrata

A causa della situazione pandemica (COVID19) non è stato possibile svolgere tutte le attività originariamente programmate (CMS, 2020a). Alla data della consegna della presente relazione non si sono ancora concluse le trattative con i vari concessionari (EGP e Sorgenia) per la definizione delle stazioni sismiche da condividere con il CMS ai fini dell'acquisizione in tempo reale dei dati sismici dal Centro di Acquisizione Dati del CMS presso la sede INGV di Bologna (CAD-BO).

Per avanzare con l'integrazione delle stazioni INGV, il CMS ha iniziato ad acquisire i *datastream* delle stazioni sismiche della rete IV operative nelle aree geotermiche (§5.1), e come descritto nel §5.2, ha cominciato ad effettuare dei sopralluoghi in campagna per cercare dei siti idonei all'installazione di nuove stazioni nell'area scoperta tra le aree di Larderello e Monte Amiata.

5.1. Centro di acquisizione ed Elaborazione Dati presso INGV-Bologna

5.1.1. Infrastruttura informatica

La sede INGV di Bologna ospita il Centro di Acquisizione e elaborazione Dati (CAD-BO) per tutte le reti sismiche operative ai fini del monitoraggio sismico delle concessioni per le quali è stato assegnato al CMS il ruolo della SPM

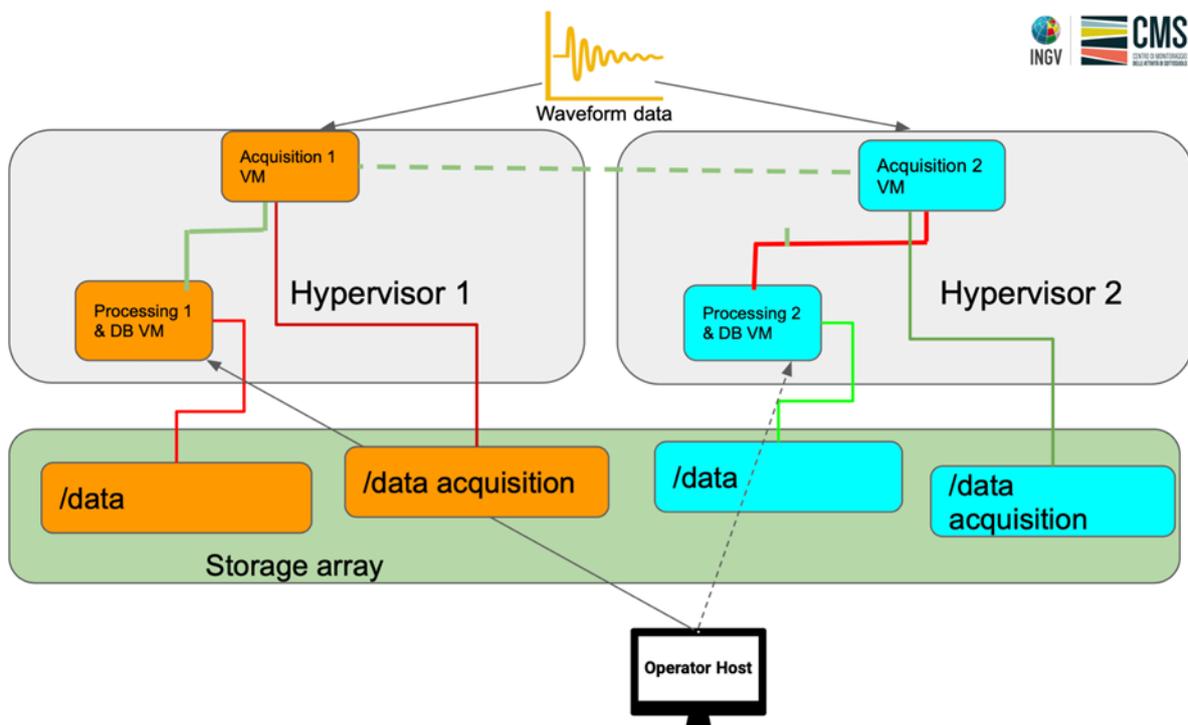


Figura 5.1. Architettura del Centro Acquisizione Dati (CAD-BO) presso l'INGV di Bologna.

L'infrastruttura informatica è stata realizzata con l'obiettivo di fornire una continuità operativa 24h/7d. Il sistema di acquisizione ed elaborazione dei dati di monitoraggio risponde ai criteri di sicurezza (dei dati e delle infrastrutture), ridondanza, robustezza e resilienza all'interruzione della funzionalità, innanzitutto nell'ottica della gestione di dati industriali confidenziali provenienti da *competitor* differenti.

Il CAD-BO è organizzato nel seguente modo (vedi Figura 5.1).

E' stato scelto di utilizzare due *server* fisici gemelli, ciascuno ospita due macchine virtuali in configurazione attiva-attivo, che ricevono il medesimo dato contemporaneamente. In ogni coppia, una macchina virtuale è dedicata all'acquisizione vera e propria, mentre l'altra si occupa dei compiti di analisi. La struttura modulare risponde a scopi di *fault tolerance*. Questa configurazione inoltre ha lo scopo di permettere una manutenzione scalata e consente di apportare modifiche al sistema, senza interruzione del servizio.

Le apparecchiature impiegate sono due *server* fisici con cpu Intel Xeon a 40 core in *hypertrading*, e 4 TB di RAM ciascuno. Le 4 macchine virtuali sono equipaggiate con, 8 core, 20 GB di ram, ospitano il sistema operativo Centos 8 e acquisiscono e processano i dati mediante *software* SeisComp4 con gestore del dato sismologico Caps.

Una lista dei componenti utilizzati è indicata di seguito:

Hardware: server collegato ad un sistema di archiviazione dati (*mass storage*):

- Sistema modulare ed espandibile;
 - n. 2 Server multiblade Supermicro;
 - Continuità Operativa (*Disaster Recovery*, Assistenza 5dx8h);
 - Ridondanza;
 - Green Computing (sostenibilità ambientale, efficienza energetica, costo di smaltimento e riciclaggio);
 - Compatibilità Free/Libre e Open Source Software;
- Storage Array SCv3000 Dell;
 - #2 controller;
 - #2 power supplies;
 - #2 10GBASE-T con connettività RJ45 per controller;
 - #16 hhd da 8TB;

Software: SeisComP4 (SC4):

- Sistema operativo Centos 8;
- Licenze binarie per SeisComP4 + moduli aggiuntivi con supporto da remoto;
- Caratteristiche SC4;
 - acquisizione *datastream* dei segnali sismici in tempo reale;
 - analisi automatica di dati (parametri ipocentrali, Magnitudo) in tempo quasi reale;
 - rielaborazione manuale (revisione parametri, calcolo meccanismo focale, PGV, PGA);
 - Reportistica;
 - WEB.

5.1.2 Acquisizione e archiviazione di dati sismici

A INGV è stato assegnato il ruolo di SPM per il monitoraggio (ai sensi degli ILG) di concessioni adiacenti di molteplici operatori, come per esempio in Basilicata (ENI-Val d'Agri e TOTAL-Gorgoglione), e con l'apertura del mercato di geotermica, anche in Toscana.

Essendo per definizione garantita la terzietà dell'INGV gli operatori di concessioni concorrenti hanno comunque accettato di trasmettere i dati sensibili di loro proprietà ad un'unica SPM. Dopo l'esempio in Basilicata per le concessioni di produzione di idrocarburi da parte di ENI e TOTAL, la Regione Toscana ha scelto l'INGV come unica SPM per tutte le concessioni di produzione geotermica.

Questa realtà rappresenta una grande opportunità per migliorare il monitoraggio, in quanto offre la possibilità di estendere l'acquisizione dati ad altre reti sismiche private e pubbliche per costituire una rete integrata, come richiesto dagli ILG al punto §5.3, comma 4.

La proposta di INGV è di far confluire in tempo reale i flussi di dati registrati dalle reti sismiche dei vari operatori e dell'INGV al CAD-BO dove in seguito avviene l'archiviazione dei *datastream* in formato *miniseed*. Il CMS effettua il controllo della qualità dei dati ricevuti e calcola i parametri utili ai fini del monitoraggio sismico (localizzazione ipocentrale, magnitudo, PGA, PGV).

5.1.3 Creazioni file metadati rete (station.xml)

Per tenere traccia della cronistoria dei metadati associati ad ogni singola stazione della rete sismica, da alcuni anni è diventato prassi salvare tali informazioni in un file

chiamato station.xml. Più nello specifico, i metadati vengono utilizzati dal sistema di acquisizione per riconoscere correttamente il flusso di dati ricevuto ed organizzarlo in funzione dei seguenti parametri relativi alla rete in generale e alle singole stazioni:

- Data di creazione della rete.
- Data di installazione delle diverse stazioni.
- Coordinate spaziali (espresse in gradi decimali) e quota delle stazioni con denominazione della località.
- Caratteristiche specifiche dell'acquisitore e del/dei sensori di ogni stazione e loro eventuali variazioni nel tempo (dovute a manutenzione per malfunzionamenti o sostituzione).
- Codice numerico distintivo Location (in caso esistano più sensori installati nello stesso sito, es. velocimetro + accelerometro).
- Codice dei singoli canali che varia in base alle caratteristiche del sensore e al passo di campionamento (sps) dei dati acquisiti (espresso in Hz - numero di campioni ogni secondo). La seguente tabella riporta la sintesi dei vari codici e il loro significato.

Tenere traccia di queste informazioni è molto importante per operare la dovuta correzione dei valori di ampiezza, pre-processing fondamentale per la stima della Magnitudo di un evento. La correzione delle ampiezze è inoltre utile per verificare la qualità della registrazione in funzione del rumore ambientale presente al sito di installazione (vedi §5.3).

codice	banda/tipo strumentazione	periodo (s)	campionamento (Hz)
SH	sismometro a breve periodo	< 10	$10 \leq \text{sps} < 80$
EH	sismometro a breve periodo banda estesa	< 10	$80 \leq \text{sps} < 250$
HH	High-Gain sismometro a larga banda	≥ 10	$80 \leq \text{sps} < 250$
HN	High-Gain accelerometro	≥ 10	$80 \leq \text{sps} < 250$

Tabella 5.1. Estratto da Seed Manual (2012).

5.1.4. Archiviazione dei dati

Come sistema di acquisizione e archiviazione dei dati sismici è stato scelto il programma SeisComP4 (SC4). I dati trasmessi dai server delle singole reti arrivano in formato *miniseed*. Presso il CAD-BO tali dati vengono ri-acquisiti avvalendosi di un protocollo di acquisizione commerciale (licenza acquistata da GEMPA), chiamato *Common Acquisition Protocol Server* (CAPS).

La differenza tra il formato di archiviazione CAPS e il formato di *miniseed* originale sta nell'aggiunta di un *header* (<https://gempa.de/products/caps/>), in maniera tale che

$$\text{CAPS-format} = \text{SID-chunk} + \text{HEAD-chunk} + \text{miniSEED records}$$

I vantaggi del formato CAPS sono:

- la possibilità di acquisire in parallelo e con un unico protocollo di acquisizione dati provenienti da sensori multiparametrici e risultanti flussi di dati con un passo di campionamento differente (di interesse nel caso che in un sito siano collocati sensori accelerometrici, velocimetrici, CGPS, temperatura, videocamera ecc.);
- variare (aggiungere o togliere) il numero di stazioni sismiche operative, senza dover interrompere l'acquisizione;
- *backfill option*: la possibilità, in caso di interruzione dell'acquisizione, o riavvio del server, di recuperare via ritrasmissione i *data-packages* persi e sincronizzarli automaticamente nell'archivio;
- controllo dell'accesso ai dati via autenticazione (*login/passwd*), nessun accesso pubblico ai dati;
- CAPS supporta servizi, come *Winston Wave Server*, *FDSN Wave Server*.

5.2. Integrazione di stazioni IV e trasmissione a CAD-BO

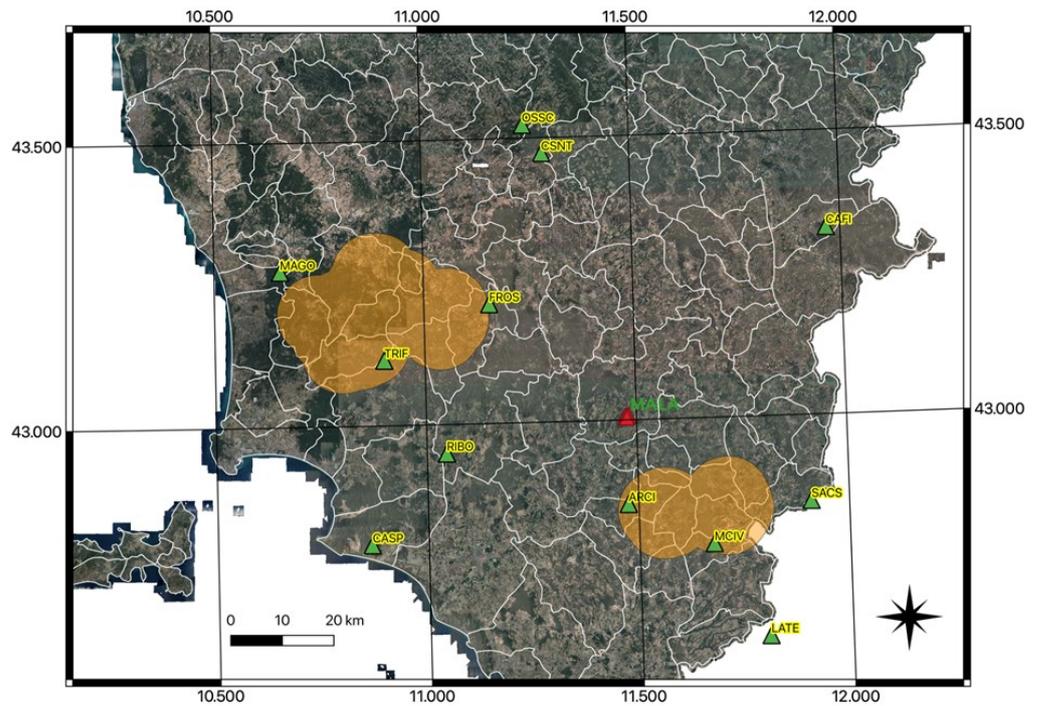
Il sistema di monitoraggio del CMS acquisisce in tempo reale le stazioni della rete sismica nazionale dell'INGV (ONT) operative nell'area di interesse.

Le stazioni elencate in Tabella 5.2 e illustrate in Figura 5.2 sono state integrate nel sistema di acquisizione del CMS e sono state applicate le correzioni della risposta in frequenza a ciascuna stazione per correggere le ampiezze delle forme d'onda e consentire una stima idonea delle magnitudo degli eventi localizzati.

Sigla	Rete	Lat (°) N	Long (°) E	Alt (m)	Località	Provincia
ARCI	IV	42.851900	11.475400	1080	Arcidosso	GR
CAFI	IV	43.329200	11.966300	547	Castiglion Fiorentino	AR
CASP	IV	42.790800	10.865200	390	Castiglion della Pescaia	GR
CSNT	IV	43.473110	11.290170	636	Castellina in Chianti	SI
FROS	IV/EL	43.209720	11.156220	432	Frosini	SI
LATE	IV	42.613700	11.804000	610	Latera	VT
MAGO	IV/EL	43.273245	10.657926	280	Magona	LI
MCIV	IV/EL	42.778610	11.676500	790	Monte Civitella	GR
OSSC	IV	43.523580	11.245790	452	Osservatorio del Chianti	FI
RIBO	IV	42.949000	11.046500	50	Ribolla	GR
SACS	IV	42.849060	11.909670	845	San Casciano dei Bagni	SI
TRIF	IV/EL	43.114780	10.902650	596	Trifonti	GR
MALA	prova	43.000000	11.475000	400	Montalcino S. Angelo Colle	SI

Tabella 5.2. Elenco delle stazioni sismiche della rete IV operative nelle aree geotermiche toscane. Le stazioni elencate con font blu sono in condivisione con la rete sismica EL di EGP. La stazione MALA rappresenta un sito test per una stazione da installare nell'ambito del presente accordo.

Figura 5.2. Mappa delle stazioni sismiche della rete IV operative nelle aree geotermiche tra Larderello e Amiata (vedi Tabella 5.2) La stazione MALA (font verde) rappresenta il primo sito test per una nuova stazione IV da installare nell'ambito del presente accordo.



Con l'obiettivo di integrare la rete IV per aumentarne la capacità di detezione nell'area geotermica toscana, sono stati svolti una serie di sopralluoghi nei settori compresi tra il M. Amiata e Larderello. Per le caratteristiche geologiche idonee (presenza di substrato litoide affiorante) e per l'ubicazione favorevole, è stata scelta un'area compresa tra Montalcino (SI) e Sant'Angelo in Colle dove effettuare una serie di test di rumore per definire la risposta sismica dei luoghi indagati (Figura 5.3).

Figura 5.3. Site Test nei pressi di Sant'Angelo in Colle (MI01 - Lat 43.002 - Long. 11.478; si veda §5.4)



In quest'area (Figura 5.4), oltre alle unità prevalentemente argillose plio-pleistoceniche, affiorano nelle depressioni sabbie cementate e conglomerati del Pliocene inferiore (PI in Figura 5.4) mentre i rilievi sono modellati su litologie appartenenti alla Formazione della Pietraforte (Pf in Figura 5.4, membro torbiditico silicoclastico dell'Unità Tettonica di S. Fiora), alla Formazione delle Argilliti Mangesifere (Amf in Figura 5.4, appartenenti all'Unità Tettonica di S. Fiora) e alla formazione del Macigno (Mg in Figura 5.4), che chiude al tetto la falda Toscana, costituita da unità torbiditiche arenacee, per lo più gradate, con spessori medi degli strati di circa 1 m, alternate a livelli pelitici, talora marnosi, con spessori mai superiori a 20 cm (Figura 5.4; Pandeli et al., 2017).

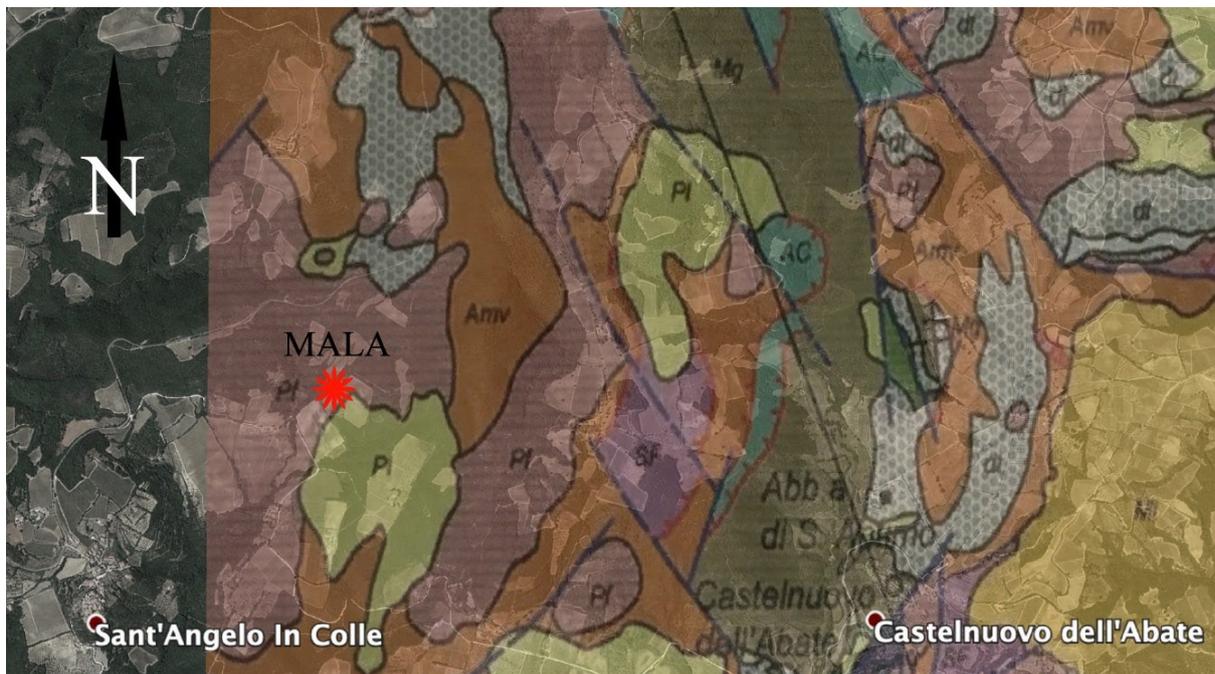


Figura 5.4. Stralcio della carta geologica (Pandeli et al. 2017). L'asterisco rosso (MALA) indica la zona interessata dai test site per l'ubicazione della nuova stazione (si veda anche §5.4).

5.3. Esempio analisi SC4 per evento sismico a Larderello

Nel presente capitolo viene mostrato un evento sismico con epicentro a 3 km da Chiusdino (SI) e registrato dalle stazioni della rete nazionale (IV) che il CMS ha integrato all'interno della propria rete e localizzato. In Figura 5.5 vengono mostrate le tracce sismiche registrate alle suddette stazioni toscane della rete IV selezionate in funzione della loro posizione rispetto alle concessioni oggetto del monitoraggio (si veda Figura 5.6). Per analizzare i dati sismici acquisiti è stato utilizzato il modulo SCOLV (*SeisComp Origin Locator Viewer*) del software SeisComp4 in cui vengono visualizzate le tracce sismiche delle stazioni che hanno registrato l'evento sismico e i cui segnali hanno contribuito alla localizzazione dell'evento in oggetto. In questa fase preliminare, l'evento è stato identificato e piccato dall'operatore manualmente (*picks*

verdi delle fasi P ed S); per la sua localizzazione ed è stato applicato un modello di velocità 1D compatibile con l'area in esame (Tabella 5.2) utilizzando un classico localizzatore iterativo linearizzato (Hypo71 - Lee and Lahr, 1972, 1975).

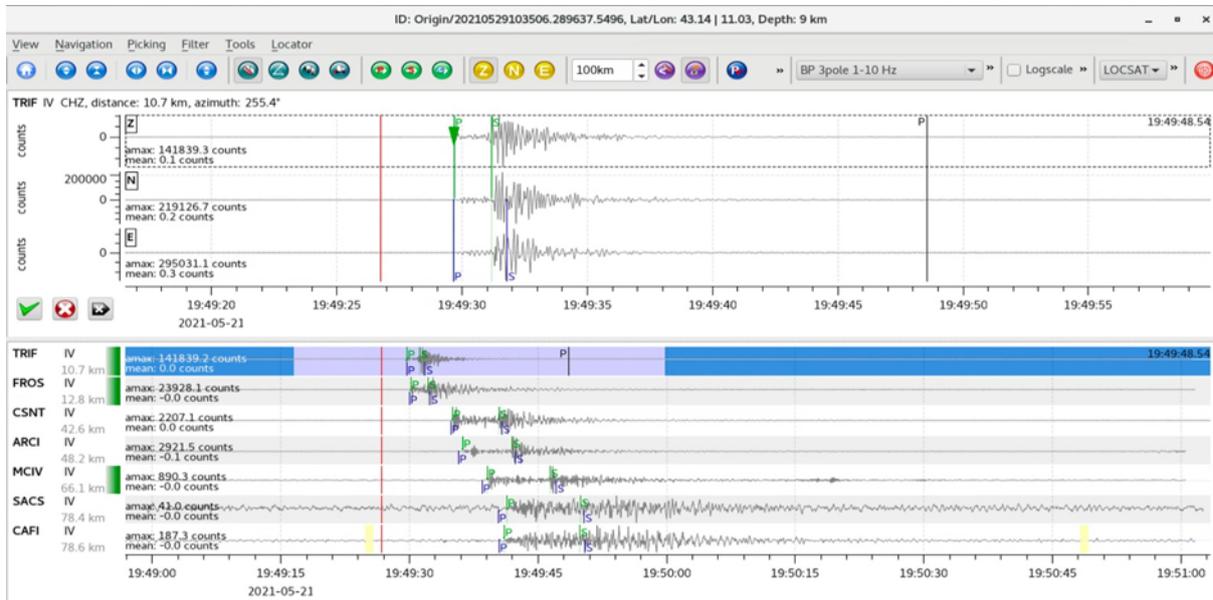


Figura 5.5. SCOLV - esempio analisi SC4 per evento sismico ML 2.1 del 21-05-2021 di Chiusdino (SI).

Gli errori associati alla localizzazione sono inferiori a 1 km per le coordinate in mappa e inferiori a 2 km per la stima della profondità ipocentrale. Oltre all'identificazione degli arrivi P ed S, sono state associate le polarità dei primi arrivi per calcolare il meccanismo focale dell'evento (Figura 5.6 sulla destra in alto).

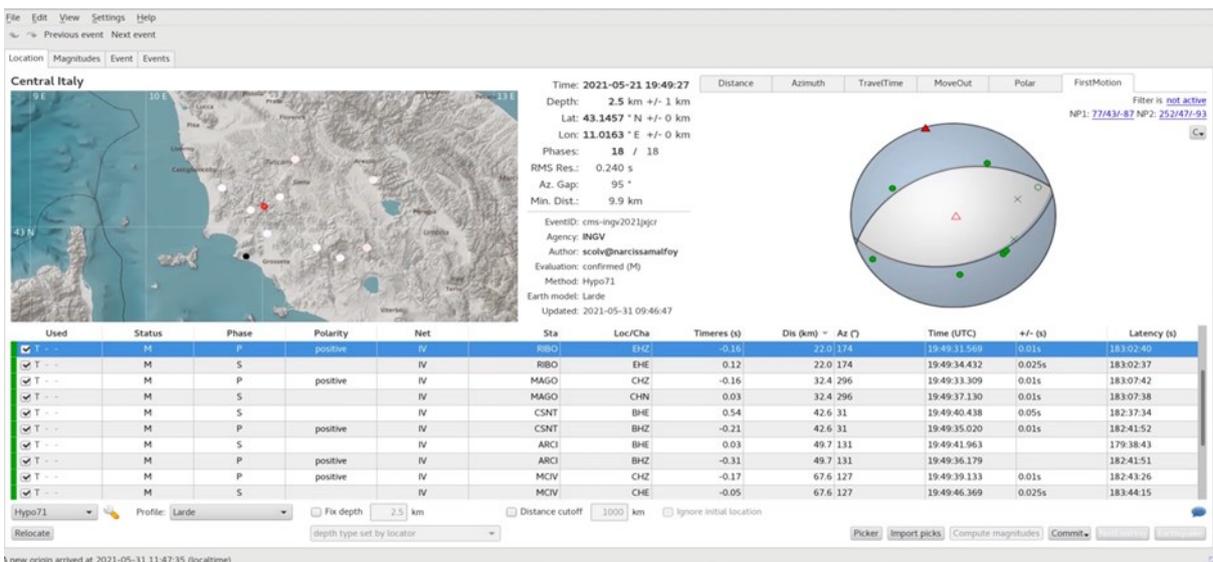


Figura 5.6. SCOLV - esempio analisi SC4 per evento sismico ML 2.1 del 21-05-2021 di Chiusdino (SI). A sinistra la mappa con le stazioni utilizzate per la localizzazione (cerchi bianchi) dell'evento (cerchio rosso).

Tabella 5.3. Modello di velocità utilizzato per localizzare l'evento sismico ML 2.1 del 21-05-2021 di Chiusdino (SI). Valori di $V_p/V_s = 1.6$ (comunicazione personale ENEL-EGP).

Profondità (km)	V_p (km/s)	V_s (km/s)
0.000	3.000	1.765
0.450	5.100	3.000
4.200	6.200	3.647
10.00	6.200	3.647
10.00	6.400	3.764
24.00	6.400	3.764
24.00	7.800	4.590

Per migliorare la capacità del sistema di acquisizione di identificare automaticamente gli eventi che interessano le aree di Larderello e Monte Amiata, si procederà al miglioramento dei parametri di *picking* e di localizzazione automatica in relazione alle caratteristiche dei siti dove sono installate le stazioni sismiche e del rumore antropico presente nei siti stessi.

5.4. Ricerca dei siti per l'installazione di stazioni integrative

In una fase preparatoria alla scelta dei siti in cui installare delle stazioni integrative per la localizzazione di eventi che interessano le aree di Larderello-Travale e Monte Amiata, si è proceduto alla realizzazione di sopralluoghi nell'area di Montalcino (SI) Figura 5.2, Figura 5.3, Figura 5.4 ,Figura 5.7). Tali sopralluoghi sono stati finalizzati alla valutazione della logistica di alcuni siti e contestualmente l'esecuzione di prove geofisiche per l'acquisizione di rumore sismico ambientale a stazione singola (più di 2 ore ciascuna) per la verifica della risposta in frequenza di tali siti in funzione delle caratteristiche geologiche, soprattutto legate agli strati più superficiali (si veda §5.2).

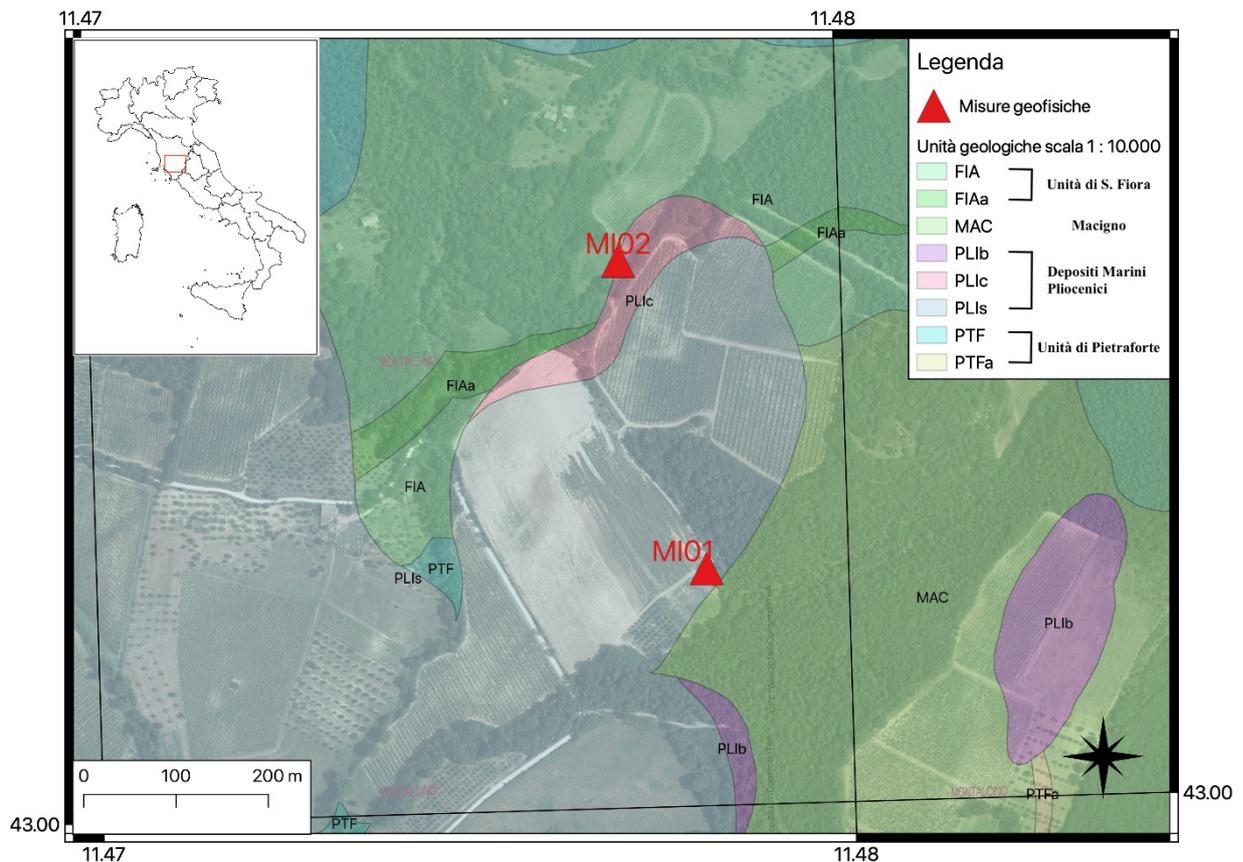


Figura 5.7. Mappa con limiti geologici secondo la carta della Regione Toscana in scala 1 : 10.000 con la posizione delle indagini di rumore sismico ambientale (triangoli rossi) preliminari all' installazione delle stazioni integrative.

Le misure geofisiche effettuate (Figura 5.8) sono state analizzate con la tecnica dei rapporti spettrali (pubblicamente nota come metodo di Nakamura - Nakamura 1989). I rapporti spettrali sono stati calcolati nell'intervallo di frequenze per le quali ci si aspetta il contenuto energetico della microsismicità locale obiettivo del nostro monitoraggio.



Figura 5.8. Esempio di acquisizione di rumore sismico ambientale effettuato nell'area di Montalcino (SI). I rettangoli colorati corrispondono alle finestre di segnale selezionato per l'analisi dei rapporti spettrali.

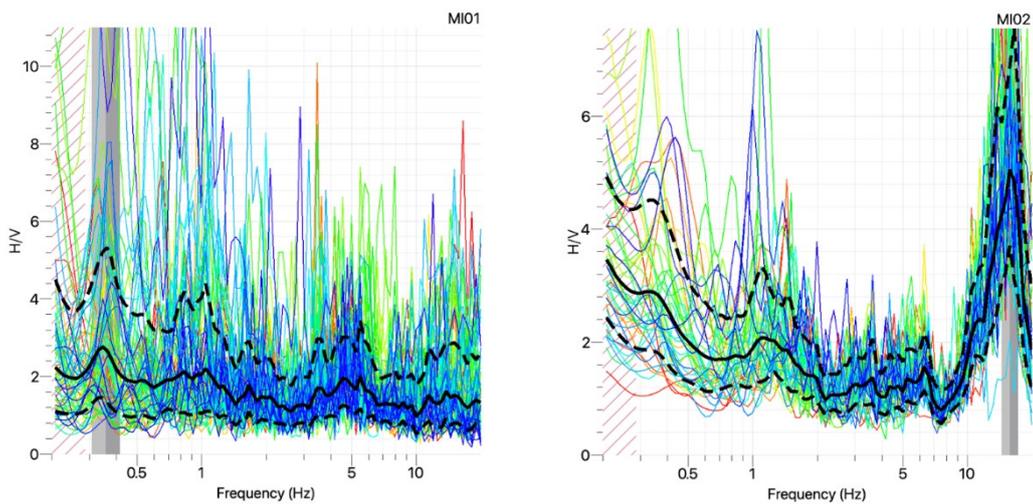


Figura 5.9. Rapporti spettrali calcolati nell'area di Montalcino (SI) per i siti MI01 e MI02.

Come si evince dai grafici in Figura 5.9, i risultati dei rapporti spettrali mettono in evidenza, per il sito MI02, un picco molto pronunciato a frequenze di 15 Hz interpretabile come una coltre sottile (tra 5 e 10 metri) di depositi sciolti superficiali eluvio-colluviali al di sopra del substrato rappresentato dalla Formazione di Pietraforte (si veda paragrafo 5.2). Cosa che invece non si osserva entro una distanza inferiore di 500 metri per la misura MI01 che invece è posizionata in un sito dove si sono osservati in affioramento strati geologici consolidati (PI - Sabbie debolmente cementate e conglomerati; si veda paragrafo 5.2).

6. Simulazione di capacità di detezione per la rete IV

6.1. Qualità del livello di rumore delle stazioni IV integrate

Per valutare il livello assoluto dell'energia sismica per unità di tempo sono stati calcolati gli spettri di potenza (PSD - *Power Spectral Density*) alle singole stazioni sismiche. La Figura 6.1 riporta i plot degli spettri di potenza determinati per una settimana di rumore sismico registrato dalle tre componenti (BHZ-verticale, BHN, BHE) di alcune stazioni della rete IV, operative nelle aree geotermiche toscane. Le curve in grigio rappresentano rispettivamente il massimo (NHNM - *New High Noise Model*) e minimo (NLNM - *New Low Noise Model*) livello di ampiezza di riferimento proposto da Peterson (1993). Si possono osservare delle fluttuazioni delle diverse curve al di sotto di 1 s di periodo che dimostrano la variazione giornaliera del livello di energia del segnale, soprattutto ad alcune stazioni.

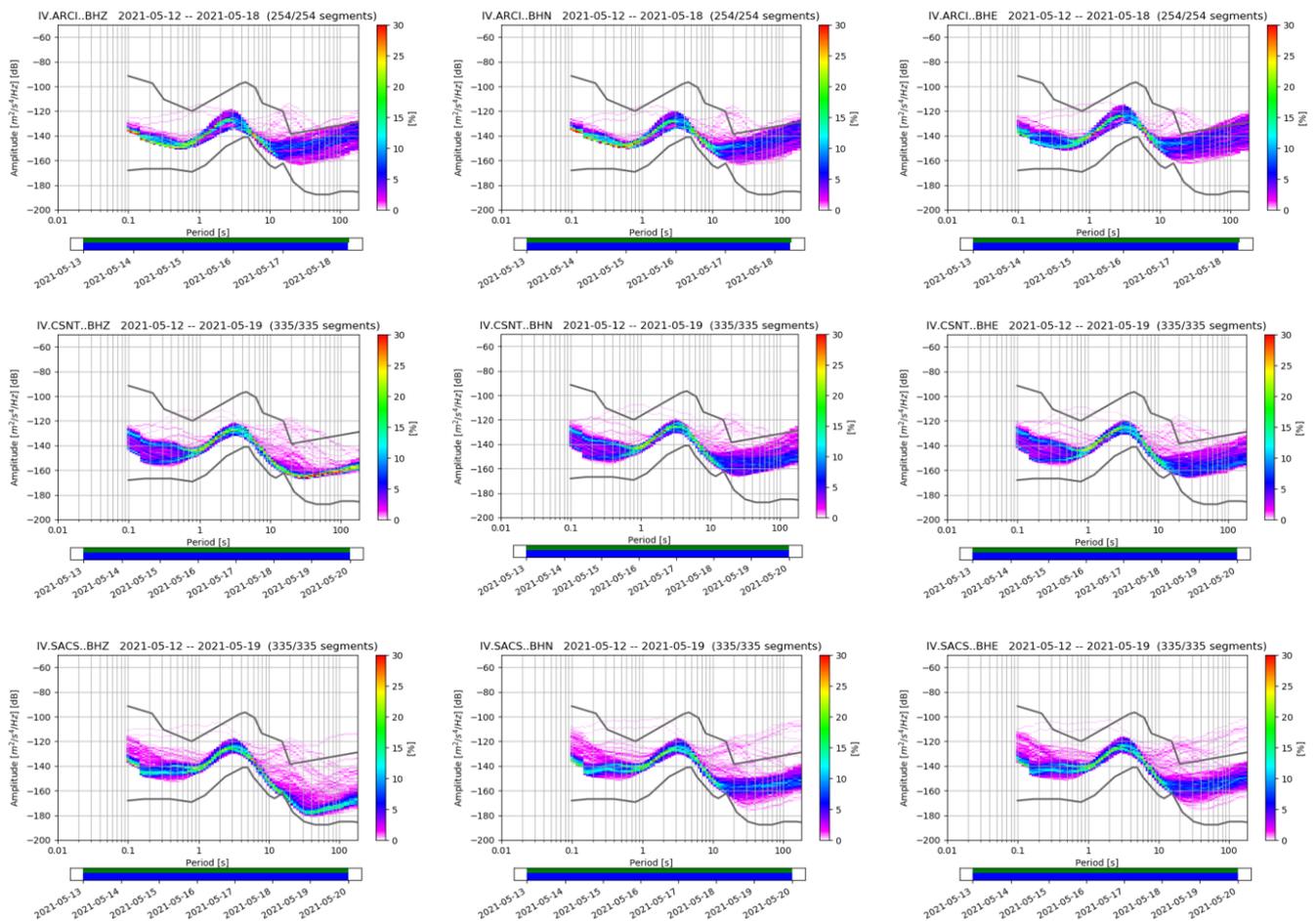


Figura 6.1. PSD di alcune stazioni della rete IV, ARCI, CSNT e SACS, calcolati per la settimana dal 12 al 19 maggio 2021.

6.2. Aggiornamento NPEVAL

La capacità di detezone descrive le caratteristiche di prestazione di un sistema di misurazione, nel caso specifico di una rete sismica è l'informazione riguardo alla capacità di registrare eventi sismici.

In una rete sismica locale, come questa, realizzata con lo scopo di registrare eventi anche di bassa magnitudo, la scelta della distribuzione spaziale delle stazioni e delle caratteristiche degli strumenti deve essere appropriata, propendendo per la scelta di una fitta rete di stazioni e di strumenti sensibili. Come detto nel report precedente, la capacità di detezone di una rete sismica è infatti determinata da diversi parametri legati sia alla geometria che alle caratteristiche tecniche della rete e degli strumenti, sia alle caratteristiche dell'area che a fattori esterni quali il rumore sismico ambientale e il rumore di natura antropica.

In Figura 6.2 è presentata una prima simulazione della magnitudo di detezone per le reti LARD e AMIA, al fine di valutare la *performance* delle attuali reti sismiche EGP, analogamente alla relazione precedente (CMS, 2020b §6). Tale simulazione considera esclusivamente l'influenza della geometria della rete (distribuzione spaziale delle stazioni), senza tener conto del livello di rumore sismico, delle caratteristiche tecniche delle stazioni ecc..

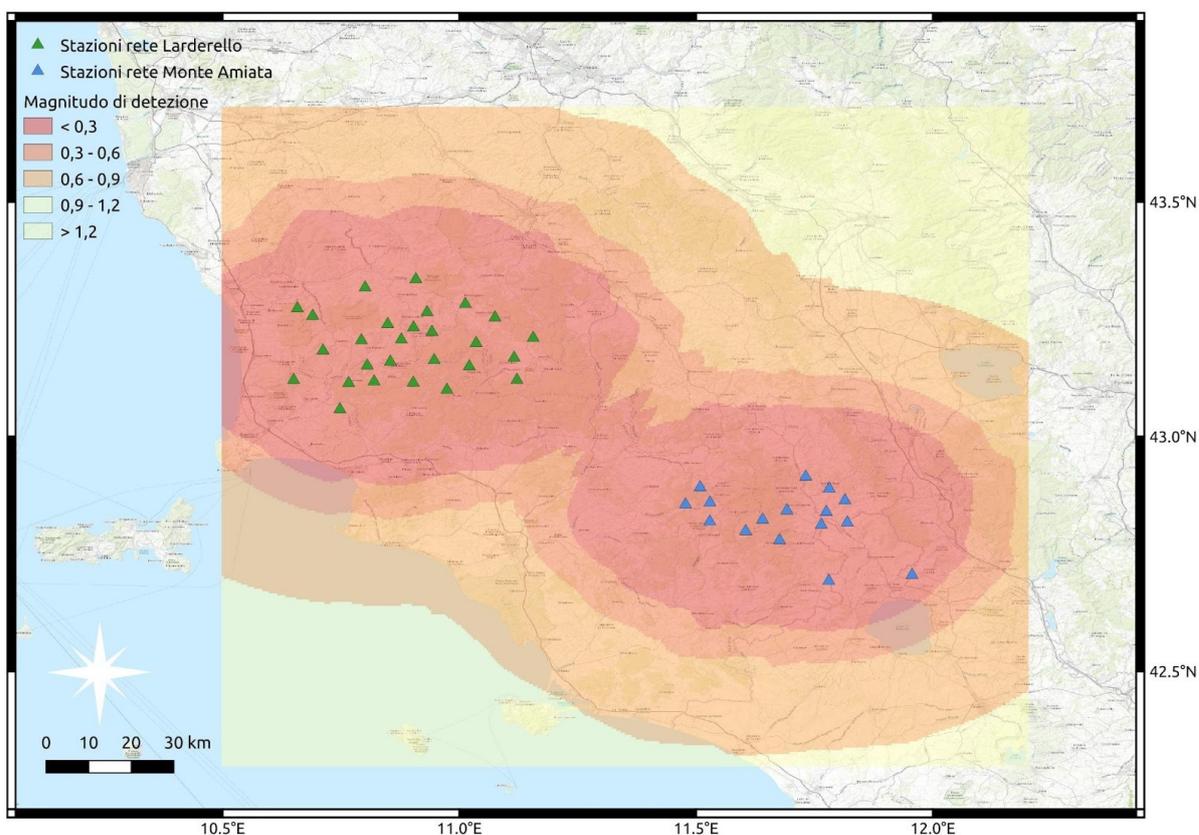


Figura 6.2. Risultato della simulazione della Magnitudo di detezone delle sulla base dell'attuale rete di monitoraggio sismica di EGP: LARD e AMIA.

Per valutare la *performance* della rete sismica in termini di capacità di detezione, è stato scelto di utilizzare il programma NPEVAL (Network Performance EVALuation) - un modulo del pacchetto software SeisComp4, programma di acquisizione e analisi dati installato presso il CAD-BO, assumendo parametri standard.

Recentemente è stato concordato con l'ONT l'utilizzo, ad integrazione della rete esistente, l'utilizzo dei dati di alcune stazioni della rete IV.

La Figura 6.3 appresenta il risultato dell'applicazione della stessa procedura numerica di cui sopra (per un *range* di Magnitudo tra $0 \leq M \leq 1.4$), considerando esclusivamente le stazioni della rete IV. Senza entrare nel merito delle singole soglie dei valori di magnitudo illustrate in mappa, la scarsa concentrazione areale della rete IV risulta in una disomogenea e non soddisfacente capacità di detezione nelle zone centrali delle aree geotermiche. Tale risultato sottolinea l'impellenza degli obiettivi formulati come oggetto principale del presente ACS, cioè, l'importanza di integrare i dati sismici di tutte le reti private e pubbliche per la costituzione di una rete virtuale, in grado di soddisfare le necessità di un monitoraggio microsismico adeguato al controllo delle aree geotermiche toscane esposte alla coltivazione di energia da parte di molteplici operatori.

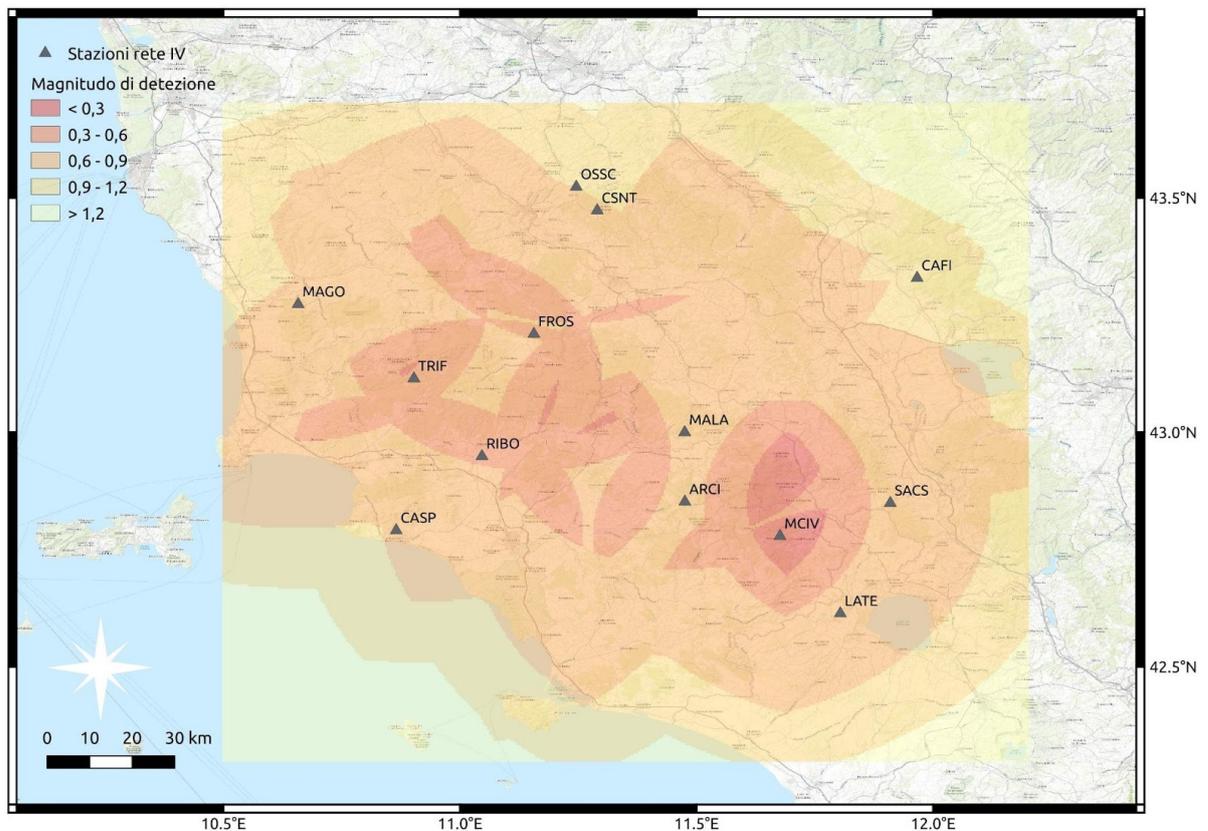


Figura 6.3. Risultato della simulazione della Magnitudo di detezione delle stazioni sismiche della rete IV operative nelle aree geotermiche tra Larderello e Amiata (Tabella 5.2).

7. Conclusioni e raccomandazioni

La decisione di promuovere una fonte di energia rispetto ad un'altra dipende dalle risorse del territorio ed è una decisione di carattere politico, che si basa sulla sostenibilità della fonte energetica e la valutazione del rischio connesso al suo sfruttamento.

Questo genere di decisione è stato preso in Toscana nel secolo scorso quando si è iniziato a produrre energia geotermica. La coltivazione della risorsa geotermica a Larderello e sul M. Amiata, ormai decennale, viene praticata da parte di ENEL-Green Power, con un monitoraggio sismico realizzato da parte del concessionario, finora senza possibilità di accesso pubblico ai dati.

L'iniziativa della RT di voler realizzare tra Larderello e Mt. Amiata una rete sismica integrata, con l'obiettivo di abbassare la magnitudo di rilevamento degli eventi sismici identificati e la pubblicazione in tempo quasi reale dei loro parametri chiave quali ipocentro, tempo origine, magnitudo, PGV, PGA (velocità/accelerazione di picco del moto del suolo), è un'iniziativa importante e di trasparenza verso la società, la prima iniziativa di questo genere proposta in Italia da un governo regionale.

Con la prevista prossima apertura del mercato dell'energia geotermica ad operatori con "Concessioni", "Istanze di Concessioni" o "Permessi di Ricerca" recentemente acquisiti, la RT si trova nella situazione di dover gestire in Toscana il monitoraggio di due aree di produzione geotermica estese (Monte Amiata e Larderello-Travale), dove molteplici operatori con concessioni adiacenti attingono allo stesso giacimento (*reservoir* geotermico), utilizzando comunque metodologie produttive differenti, secondo le temperature utili riscontrate nella porzione di giacimento coltivato.

Ad oggi in Italia non esistono esperienze pregresse di monitoraggio sismico nel campo della geotermia. Con eccezione di alcuni siti pilota, il monitoraggio di tali attività industriali è di competenza regionale (RT per le aree geotermiche toscane); quindi ad oggi gli "Indirizzi e Linee Guida per il Monitoraggio della sismicità delle deformazioni del Suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche" (ILG) proposte dal MiSE (UNMIG, 2014, 2016) non trovano ancora nessuna applicazione in campo geotermico.

Al fine di monitorare la micro-sismicità nelle aree LARD e AMIA da parte di diversi operatori per concessioni adiacenti, nell'ambito del presente accordo la RT ha deciso di assegnare un unico ruolo di Struttura Preposta al Monitoraggio al CMS dell'INGV (CMS, 2020a,b).

Oggetto di tale accordo è la realizzazione di una rete sismica integrata, che provveda alla trasmissione al CMS dei dati sismici delle singole stazioni di ogni concessionario operativo nelle aree geotermiche toscane, per la successiva analisi in tempo reale dei dati ricevuti. Tale sistema di monitoraggio, gestito da un'unica SPM, garante per la terzietà del trattamento dei dati sensibili, necessita della collaborazione dei singoli concessionari che, oltre ai dati sismici, dovranno mettere a disposizione le informazioni relative ai pozzi di produzione e reiniezione.

Come accennato precedentemente (vedi §4), la definizione per ogni concessione del proprio Dominio Interno di Rilevazione si basa sulla posizione geografica dei relativi pozzi compresi all'interno dell'area della concessione. Per concessioni adiacenti i rispettivi DIR si sovrappongono. In caso di evento sismico la definizione dei DIR è indispensabile per decidere quali concessioni vengono coinvolte in relazione alla localizzazione dell'evento stesso.

Le recenti esperienze del CMS-INGV, nel ruolo di SPM per le concessioni di produzione di idrocarburi in Val d'Agri e Gorgoglione, dimostrano che il concetto di realizzazione di una rete integrata da parte di un'unica SPM è la strategia giusta per il monitoraggio di situazioni di coltivazione di giacimenti da multipli concessionari.

In Toscana ci si troverà entro breve davanti ad una situazione dove i diversi operatori realizzeranno la coltivazione di energia geotermica attingendo allo stesso *reservoir*, utilizzando tecniche differenti. Non è da escludere che l'estensione delle attività di produzione ad aree "vergini", caratterizzate da una sismicità storica significativa (Val di Paglia o la Val d'Orcia) che finora non sono state oggetto di attività di estrazione e reiniezione di fluidi, come anche l'applicazione di tecnologie nuove (sistemi binari con reiniezione totale), possano introdurre delle variazioni significative nel volume crostale interessato portando ad un incremento della sismicità (vedi §3). In tal caso sarà inevitabile dover indagare su causa e effetto dei fenomeni osservati.

Per questo motivo, si auspica la massima collaborazione da parte di tutti i concessionari per la condivisione con RT e la SPM dei propri dati di produzione (volumi e pressioni di estrazione e reiniezione) e la trasmissione in tempo reale dei propri dati sismici ai fini della costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane ed una efficace applicazione degli ILG e del sistema a semaforo nell'ambito del presente accordo.

Glossario

ACS:	Accordo di Collaborazione Scientifica
CAD-BO:	Centro Acquisizione Dati - Bologna
CMS:	Centro di Monitoraggio per le attività di Sottosuolo
CPTI15:	Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (2015_v3, Rovida et al., 2021):
DIR:	Dominio Interno di Rilevamento
EGP:	Enel-Green Power
GB:	GigaByte
ILG:	Indirizzi e Linee Guida per il Monitoraggio della sismicità delle Deformazioni del Suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche
INGV:	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
IV:	Sigla rete RSN
MATTM:	Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio del Mare
MiSE:	Ministero dello Sviluppo Economico
ML:	Magnitudo locale
ONT:	Osservatorio Nazionale Terremoti
PGA:	<i>Peak Ground Acceleration</i> , picco di accelerazione massima del suolo.
PGV:	<i>Peak Ground Velocity</i> , picco di velocità massima del suolo.
PRI:	Pozzo di Reiniezione
RT:	Regione Toscana
RSN:	Rete Sismica Nazionale (INGV)
SC4:	SeisComP v.4.5
SPM:	Struttura Preposta al Monitoraggio
TB:	TeraByte

Bibliografia

Braun T., Dahm T., Krüger F. and Ohrnberger M.; 2016: Does geothermal exploitation trigger earthquakes in Tuscany? *Eos*, 97, doi: 10.1029/2016E0053197.

Braun T., Caciagli M., Carapezza M., Famiani D., Gattuso A., Lisi A., Marchetti A., Mele G., Pagliuca NM, Ranaldi M, Sortino F, Tarchini L, Kriegerowski M, Cesca S (2018a): The seismic sequence of 30th May - 9th June 2016 in the geothermal site of Torre Alfina (Central Italy) and related variations in soil gas emissions. *J Volcanol Geotherm Res* 359:21–36. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.06.005>

Braun T., Cesca S., Kuhn D., Martirosian-Janssen A., Dahm T. (2018b): Anthropogenic seismicity in Italy and its relation to tectonics: state of the art and perspectives. *Anthropocene* 21: 80–94. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2018.02.001>

Braun T., Famiani D., Caciagli M., Cesca S., Heimann S. & Dahm T. (2021): On the origin of micro-earthquakes in geothermal areas (OMEGA): first results from a seismic experiment at Mt. Amiata (Italy). *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 62 (2), pp. 231-242.

Brogi A. and Fabbrini L. (2009): Extensional and strike-slip tectonics across the Monte Amiata - Monte Cetona transect (northern Apennines, Italy) and seismotectonics implications. *Tectonophys.*, 476, 195-209.

Brogi A., Capezzuoli E., Liotta D. and Meccherini M. (2015): The Tuscan Nappe structures in the Monte Amiata geothermal area (central Italy): a review. *Ital. J. Geosci.*, 134, 219-236, doi: 10.3301/IJG.2014.55.

CMS (2020a): Costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane. T. Braun & A. Morelli: "Relazione di Inizio Attività"; 24/07/2020; 14 pp.

CMS (2020b): Costituzione di un sistema di monitoraggio sismico integrato delle aree geotermiche toscane. T. Braun, M. Errico, D. Famiani, A. Morelli: "Relazione Tecnica Intermedia"; 30/11/2020; 31 pp.

INGV (2018a): Supporto scientifico per la valutazione del monitoraggio sismico operato dalle reti ENEL - GREEN POWER nelle aree geotermiche di Larderello – Travale ed Amiata. T. Braun & D. Famiani: Prima relazione (7 Luglio 2018) nell'ambito della convenzione RT-INGV del 13 Giugno 2018; 6 pp.

INGV (2018b): Supporto scientifico per la valutazione del monitoraggio sismico operato dalle reti ENEL - GREEN POWER nelle aree geotermiche di Larderello – Travale. T. Braun & D. Famiani: Seconda relazione (28 Novembre 2018) nell'ambito della convenzione RT-INGV del 13 Giugno 2018; 14 pp.

INGV (2019): Supporto scientifico per la valutazione del monitoraggio sismico operato dalle reti ENEL - GREEN POWER nelle aree geotermiche di Larderello – Travale. T. Braun & D. Famiani: Terza Relazione (29 Novembre 2019) nell'ambito della convenzione RT-INGV del 13 Giugno 2018; 20 pp.

INGV (2021): Supporto scientifico per la valutazione del monitoraggio sismico operato dalle reti ENEL - GREEN POWER nelle aree geotermiche di Larderello – Travale. T. Braun & D. Famiani: relazione finale (14 Giugno 2021) nell'ambito della convenzione RT-INGV del 13 Giugno 2018; 25 pp

Lee, W. H. K., and J. C. Lahr (1972). HYP071: A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 72-224, doi: 10.3133/ofr72224.

Lee, W. H. K., and J. C. Lahr (1975). HYP071: A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, U.S. Geol. Surv. Open-File Report. 75-311, doi: 10.3133/ofr75311.

- Lisi A., Marchetti A., Frepoli A., Pagliuca N.M., Mele G., Carapezza M.L., Caciagli M., Famiani D., Gattuso A. & Braun T. (2019): Microseismicity analysis in the geothermal area of Torre Alfina, Central Italy. *J. Seismology*; <https://doi.org/10.1007/s10950-019-09865-8>
- Nakamura Y (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quart Rep RTR* 30(1): 25–33
- Pandeli E., Bertini G., Orti L. (2017): Inquadramento geologico regionale dell'area del Monte Amiata. p.21-48, in Principe C., Lavorini G. and Vezzoli M.L. (eds.) (2017): *Il Vulcano di Monte Amiata*. EDS Nola, 399.
- Peterson, J. R. (1993): Observations and modeling of seismic background noise. U.S. Geological Survey Open-File Report. 93-322. Doi: 10.3133/ofr93322
- Piccardi L., Vittori E., Blumetti A.M., Comerci V., Di Manna P., Guerrieri L., Baglione M. and D'Intinosante V. (2017): Mapping capable faulting hazard in a moderate-seismicity, high heat-flow environment: the Tuscia Province (southern Tuscany - northern Latium, Italy). *Quat. Int.*, 451, 11-36.
- Principe C., Lavorini G. and Vezzoli M.L. (eds.) (2017): *Il Vulcano di Monte Amiata*. EDS Nola, 399 pp. (<https://www.regione.toscana.it/documents/10180/14911521/Monte+Amiata+-+Volume.compressed.pdf/11386ccc-678d-4485-91d7-a157286d8bba> ultimo accesso 21/06/2021)
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (eds) (2021): *Italian Parametric Earthquake Catalogue (CPTI15)*, version 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3>
- Seed Manual (2012): Standard for the Exchange of Earthquake Data, SEED Format Version 2.4, August, 2012. Ahern and Dost (eds.). http://www.fdsn.org/pdf/SEEDManual_V2.4.pdf
- 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. https://unmig.mise.gov.it/images/docs/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. <https://unmig.mise.gov.it/images/docs/linee-guida-geotermia.pdf>

Elenco delle figure

FIGURA 3.1. CONCESSIONI, ISTANZE DI CONCESSIONI, PERMESSI DI RICERCA E PERMESSI PILOTA PER LE AREE GEOTERMICHE TOSCANE. I SIMBOLI NUMERATI INDICANO FUTURI SITI DI PRODUZIONE PER LE QUALI IL CMS HA SVOLTO ATTIVITÀ DI CONSULENZA PER CONTO DI RT: 1) MONTENERO, 2) POGGIO MONTONE, 3) LE CASCINELLE.	10
FIGURA 3.2. A) SCHEMA GEOLOGICO DELL'AREA AMIATINA NELLE QUALI RICADONO LE CONCESSIONI OGGETTO DI CONSULENZA DEL CMS PER RT. B) PROFILO GEOLOGICO LUNGO LA TRACCIA I-I'' (DA BRAUN ET AL., 2021). AS= ABBADIA SAN SALVATORE; BSF=BAGNI SAN FILIPPO; PC=PIANCASTAGNAIO; SF= SANTA FIORA; BG= BAGNORE; RC=RADICOFANI; SA= SARTEANO.	11
FIGURA 3.3. TERREMOTI STORICI PER L'AREA DEL M. AMIATA (DA BRAUN ET AL., 2018B, CPT115, ROVIDA ET AL., 2021).	14
FIGURA 4.1. DOMINIO INTERNO DI RILEVAZIONE PER L'AREA GEOTERMICA DI LARD, CALCOLATO SULLA POSIZIONE GEOGRAFICA DEI PRI. L'AREA ARANCIONE INDICA LA PROIEZIONE IN MAPPA DEL VOLUME DI 2 KM DI RAGGIO INTORNO AI PRI, IL SUO AMPLIAMENTO DI 5 KM (AREA ROSSA) E L'INVILUPPO DELLE SFERE IDEALI CON RAGGIO DI 8 KM INTORNO AI PRI (AREA VIOLA), VEDI RAPPORTO FINALE DEL PRECEDENTE ACCORDO (INGV, 2021).	17
FIGURA 4.2. DOMINIO INTERNO DI RILEVAZIONE PER L'AREA GEOTERMICA DI AMIA, CALCOLATO SULLA POSIZIONE GEOGRAFICA DEI PRI. L'AREA ARANCIONE INDICA IN MAPPA IL VOLUME DI 2 KM INTORNO AI PRI, IL SUO AMPLIAMENTO DI 5 KM (AREA ROSSA) E L'INVILUPPO DELLE SFERE IDEALI CON RAGGIO DI 8 KM INTORNO AI PRI (AREA VIOLA), COME PROPOSTO NEL RAPPORTO FINALE DEL PRECEDENTE ACCORDO RT-INGV (INGV, 2021).	17
FIGURA 5.1. ARCHITETTURA DEL CENTRO ACQUISIZIONE DATI (CAD-BO) PRESSO L'INGV DI BOLOGNA.	18
FIGURA 5.2. MAPPA DELLE STAZIONI SISMICHE DELLA RETE IV OPERATIVE NELLE AREE GEOTERMICHE TRA LARDERELLO E AMIATA (VEDI TABELLA 5.2) LA STAZIONE MALA (FONT VERDE) RAPPRESENTA IL PRIMO SITO TEST PER UNA NUOVA STAZIONE IV DA INSTALLARE NELL'AMBITO DEL PRESENTE ACCORDO.	24
FIGURA 5.3. SITE TEST NEI PRESSI DI SANT'ANGELO IN COLLE (ML01 - LAT 43.002 - LONG. 11.478; SI VEDA §5.4)	24
FIGURA 5.4. STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA (PANDELI ET AL. 2017). L'ASTERISCO ROSSO (MALA) INDICA LA ZONA INTERESSATA DAI TEST SITE PER L'UBICAZIONE DELLA NUOVA STAZIONE (SI VEDA ANCHE §5.4).	25
FIGURA 5.5. SCOLV - ESEMPIO ANALISI SC4 PER EVENTO SISMICO ML 2.1 DEL 21-05-2021 DI CHIUSDINO (SI).	26
FIGURA 5.6. SCOLV - ESEMPIO ANALISI SC4 PER EVENTO SISMICO ML 2.1 DEL 21-05-2021 DI CHIUSDINO (SI). A SINISTRA LA MAPPA CON LE STAZIONI UTILIZZATE PER LA LOCALIZZAZIONE (CERCHI BIANCHI) DELL'EVENTO (CERCHIO ROSSO).	26
FIGURA 5.7. MAPPA CON LIMITI GEOLOGICI SECONDO LA CARTA DELLA REGIONE TOSCANA IN SCALA 1 : 10.000 CON LA POSIZIONE DELLE INDAGINI DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE (TRIANGOLI ROSSI) PRELIMINARI ALL'INSTALLAZIONE DELLE STAZIONI INTEGRATIVE.	28
FIGURA 5.8. ESEMPIO DI ACQUISIZIONE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE EFFETTUATO NELL'AREA DI MONTALCINO (SI). I RETTANGOLI COLORATI CORRISPONDONO ALLE FINESTRE DI SEGNALE SELEZIONATO PER L'ANALISI DEI RAPPORTI SPETTRALI.	29
FIGURA 5.9. RAPPORTI SPETTRALI CALCOLATI NELL'AREA DI MONTALCINO (SI) PER I SITI MI01 E MI02.	29
FIGURA 6.1. PSD DI ALCUNE STAZIONI DELLA RETE IV, ARCI, CSNT E SACS, CALCOLATI PER LA SETTIMANA DAL 12 AL 19 MAGGIO 2021.	31
FIGURA 6.2. RISULTATO DELLA SIMULAZIONE DELLA MAGNITUDO DI DETEZIONE DELLE SULLA BASE DELL'ATTUALE RETE DI MONITORAGGIO SISMICA DI EGP: LARD E AMIA.	32

FIGURA 6.3. RISULTATO DELLA SIMULAZIONE DELLA MAGNITUDO DI DETEZIONE DELLE STAZIONI SISMICHE DELLA RETE IV OPERATIVE NELLE AREE GEOTERMICHE TRA LARDERELLO E AMIATA (TABELLA 5.2). 33

Elenco delle tabelle

TABELLA 3.1. ELENCO DEGLI EVENTI ESTRATTI DAL CPT115_v3.0 PER L'AREA DEL M. AMIATA (VEDI FIGURA 3.3). PROF.= PROFONDITÀ IPOCENTRALE (KM), IO = INTENSITÀ IPOCENTRALE, ME = MAGNITUDO EQUIVALENTE.	13
TABELLA 5.1. ESTRATTO DA SEED MANUAL (2012).	21
TABELLA 5.2. ELENCO DELLE STAZIONI SISMICHE DELLA RETE IV OPERATIVE NELLE AREE GEOTERMICHE TOSCANE. LE STAZIONI ELENcate CON FONT BLU SONO IN CONDIVISIONE CON LA RETE SISMICA EL DI EGP. LA STAZIONE MALA RAPPRESENTA UN SITO TEST PER UNA STAZIONE DA INSTALLARE NELL'AMBITO DEL PRESENTE ACCORDO.	23
TABELLA 5.3. MODELLO DI VELOCITÀ UTILIZZATO PER LOCALIZZARE L'EVENTO SISMICO ML 2.1 DEL 21-05-2021 DI CHIUSDINO (SI). VALORI DI VP/VS = 1.6 (COMUNICAZIONE PERSONALE ENEL-EGP).	27