ISTITUTO NAZIONALE
DI OCEANOGRAFIA E DI GEOFISICA SPERIMENTALE

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DELL'INFRASTRUTTURA DI MONITORAGGIO SISMICO PER LA CONCESSIONE DI STOCCAGGIO DI GAS NATURALE "CORNEGLIANO STOCCAGGIO"



RELAZIONE CONCLUSIVA SULLA REALIZZAZIONE DELL'INFRASTRUTTURA

OGS - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale
Sezione Scientifica Centro di Ricerche Sismologiche (CRS)

Responsabile scientifico del progetto: *Dott. Enrico Priolo*

Autori: *Enrico Priolo, Marco Romanelli, Milton Plasencia Linares, Paolo Bernardi, Denis Sandron, Marco Garbin, Eduardo Diez Zaldivar, David Zuliani, Paolo Fabris*

Visto e approvato: il Vice-Direttore della Sezione Scientifica CRS
Dott. Enrico Priolo

Rel. OGS 2017/13 Sez. CRS 3 Sgonico, 6 febbraio 2017

Indice

	Pag.
Sommario	1
1. Inquadramento sismologico	3
2. Criteri generali di progettazione della rete di monitoraggio sismico	9
3. La Rete Sismica di Cornegliano Laudense	11
3.1 Geometria della rete e descrizione delle stazioni	11
3.2 Strumentazione	15
3.3 Sistema di trasmissione, acquisizione ed elaborazione dati	20
3.3.1 Trasmissione	20
3.3.2 Acquisizione ed elaborazione	21
3.4 Acquisizione del "bianco"	26
4. Stazione permanente GNSS per il monitoraggio della subsidenza	27
4.1 La stazione GNSS OL01	24
4.2 La strumentazione GNSS	31
4.3 Inquadramento geodetico	32
Bibliografia	34
Appendice A – Terremoti storici	37
Appendice B – Schede di stazione	45

Sommario

Questo documento descrive l'assetto finale della Rete di monitoraggio sismico di Cornegliano Laudense (di seguito denominata *Rete di Monitoraggio di Cornegliano Laudense – RMCL*) e rappresenta la relazione finale relativa alla fase di realizzazione della rete sismica finalizzata al rilevamento della sismicità naturale e della microsismicità indotta presso la concessione di stoccaggio gas naturale denominata "Cornegliano Stoccaggio", commissionato da Ital Gas Storage S.p.A. all'OGS con Contratto di Appalto Prot. n. 235, d.d. 19/01/2016.

Si precisa che le modalità con cui si prevede che il monitoraggio sismico sia attuato soddisfano i requisiti indicati negli "*Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche*" pubblicati il 24/11/2014 dalla Direzione generale per le risorse minerarie ed energetiche del Ministero dello Sviluppo Economico, di seguito riferiti come ILG.

La RMCL è stata formalmente completata il giorno 31/12/2016. Essa consiste di 9 stazioni sismiche e 1 stazione permanente GNSS, realizzate appositamente per lo scopo. Le stazioni sono indicate con la sigla OL01-OL09, in accordo al codice OL che è il codice internazionale di registrazione della RMCL. Tutte le stazioni sono collegate con il centro di acquisizione della Sezione Scientifica Centro di Ricerche Sismologiche dell'OGS, situato presso la sede di Trieste. La RMCL è poi integrata dai dati di alcune stazioni appartenenti alla rete nazionale e alle reti regionali, gestite rispettivamente dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e dall'OGS stesso. Tra queste, è di particolare importanza la stazione CTL8, di proprietà dell'INGV, che completa il perimetro esterno della RMCL in direzione Est.

Nonostante l'inizio formale di operatività della RMCL sia il 1/1/2017, va sottolineato che parte della RMCL è operativa da alcuni mesi prima. Infatti, a fine luglio/inizio agosto 2016 erano già installate 7 stazioni temporanee; a fine settembre 2016 queste 7 stazioni erano equipaggiate con la strumentazione definitiva e trasmettevano i dati al centro di acquisizione. Sono dunque disponibili per le analisi i dati a partire da agosto 2016, seppure con diverso grado di qualità.

Durante il 2017, primo anno di esercizio della rete, sarà svolta l'attività di acquisizione e analisi del cosiddetto "bianco". Tale attività ha lo scopo di rilevare per almeno un anno la sismicità di fondo, ovvero la sismicità di origine naturale prima dell'inizio delle attività di stoccaggio, e dovrà essere completata prima

dell'avvio dell'impianto di stoccaggio del gas, previsto per il 2018. Considerando che presso molti dei siti della RMCL erano state installate delle stazioni temporanee in acquisizione continua prima del completamento dei siti stessi, si ritiene che tale analisi sarà estesa anche ad un periodo superiore all'anno richiesto dagli ILG. Inoltre, durante il 2017 saranno svolte alcune attività atte a: 1) verificare e calibrare il corretto funzionamento delle apparecchiature sismologiche e dei sistemi di comunicazione e acquisizione, 2) migliorare alcuni dettagli costruttivi o di rifinitura dei siti, 3) calibrare e ottimizzare le prestazioni complessive del sistema di elaborazione dei dati e rilevazione dei terremoti.

Questo rapporto raccoglie in un unico documento i dati informativi più recenti e aggiornati e una serie di elementi già presentati in precedenti relazioni. Le relazioni e le comunicazioni già presentate o inviate nell'ambito delle fasi di progettazione e realizzazione della rete sono elencati in un apposito paragrafo inserito alla fine della relazione.

1. Inquadramento sismologico

La Pianura Padana può essere definita come un bacino di avanfossa, formatosi a partire dal Cretaceo per subduzione della microplacca padano-adriatica, dovuta alla progressiva migrazione della placca africana verso quella europea (Channell et al., 1979; Pieri & Groppi, 1981; Dercourt et al., 1986). Essa è caratterizzata da una spessa coltre di sedimenti alluvionali, che nei punti più profondi arriva a circa 8 km, deposti dal Fiume Po e dai suoi affluenti provenienti dal versante meridionale alpino e da quello settentrionale appenninico. A causa della diversa provenienza di questi depositi i due lati della valle, rispettivamente settentrionale e meridionale, sono caratterizzati da una diversa composizione dei sedimenti.

La base della Pianura Padana è una zona di contatto tra i *thrust* delle Alpi Meridionali, collocati a N e vergenti verso S, e quelli dell'Appennino Settentrionale, collocati a S e vergenti verso N. La **Figura 1** ne mostra l'assetto strutturale semplificato, come descritto e illustrato da Vannoli et al. (2014).

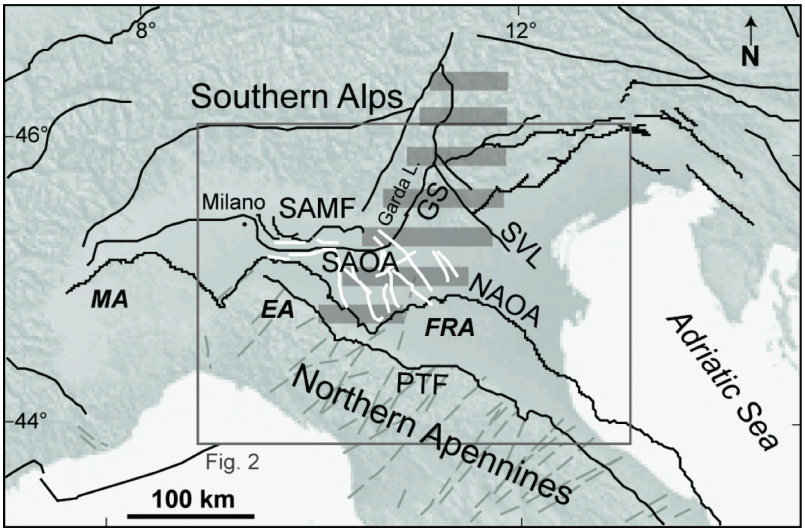


Figura 1 *- Mappa strutturale semplificata della Pianura Padana (modificata da Vannoli et al., 2014). Linee nere: principali elementi tettonici; linee bianche: faglie ereditate; ombreggiature grigie orizzontali: Piattaforma di Trento. SAMF: fronte montuoso delle Alpi Meridionali; SAOA: arco esterno delle Alpi Meridionali; GS: Sistema delle Giudicarie; SVL: Schio-Vicenza; NAOA: arco esterno dell'Appennino Settentrionale; PTF: fronte pedeappenninico; MA: arco del Monferrato; EA: arco Emiliano; FRA: arco Ferrarese-Romagnolo.*

A causa del progressivo moto di avvicinamento della Placca Africana e della Placca Europea il fronte alpino meridionale e quello appenninico settentrionale convergono l'uno verso l'altro in direzione circa N-S con una velocità media stimata in 1-3 mm/anno, provocando il raccorciamento della Pianura Padana. In profondità questo raccorciamento si traduce in uno sforzo compressivo che agisce su faglie inverse localizzate sia al piede delle Alpi Meridionali, sia al piede dell'Appennino Settentrionale (Vannoli et al., 2014). Al di sotto dei sedimenti della Pianura Padana esistono quindi strutture tettoniche attive e capaci di generare terremoti, come testimoniano sia l'occorrenza nell'area di importanti terremoti storici sia la sismicità strumentale. Nella quasi totalità dei casi, le faglie al di sotto della Pianura Padana sono cieche, cioè non affiorano in superficie, e quindi non sono rilevabili da rilevamenti geologici-geomorfologici di superficie.

In base al Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane (DISS; Basili et al., 2008; DISS Working Group, 2015) nessuna delle sorgenti sismogenetiche finora riconosciute, né individuali (ISS) né composite (CSS), interessa direttamente l'area del lodigiano (**Figura 2**).

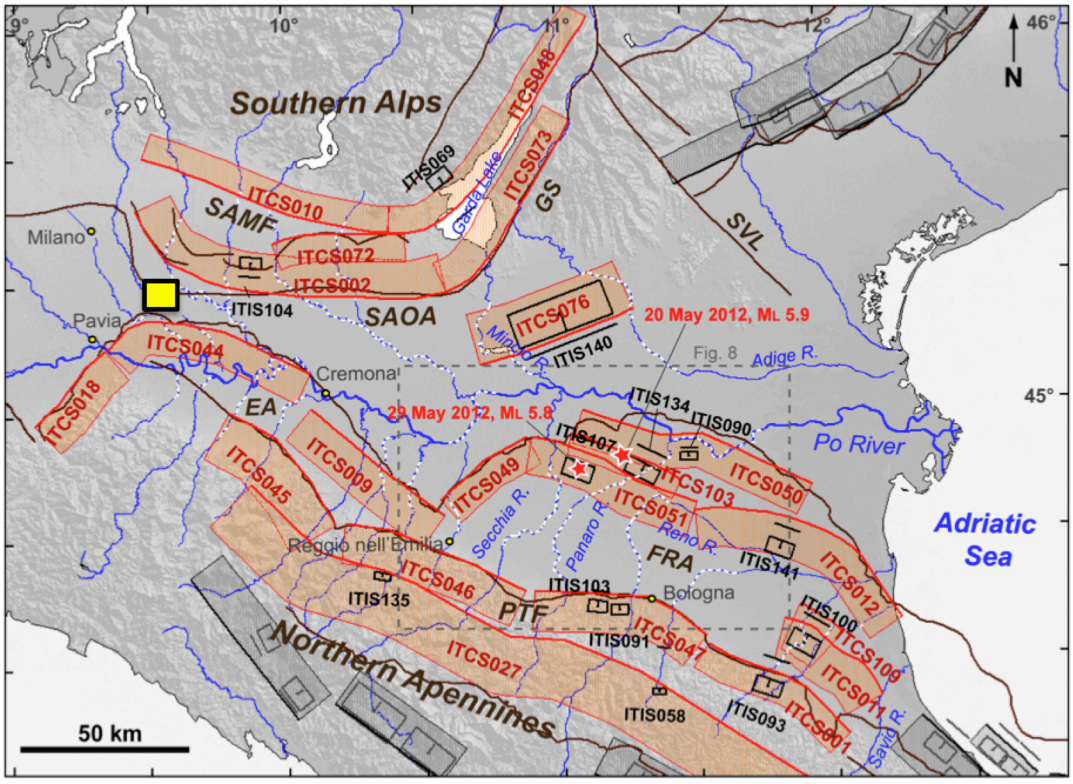


Figura 2 *– Sorgenti Sismogenetiche Individuali (ISS) e Sorgenti Sismogenetiche Composite (CSS) della Pianura Padana (rappresentate rispettivamente con rettangoli neri e fasce rosse; per le definizioni si vedano Basili et al., 2008; DISS v. 3.2). Il rettangolo giallo indica l'area di interesse per il presente progetto. SAMF: fronte montuoso delle Alpi Meridionali; SAOA: arco esterno delle Alpi Meridionali; GS: Sistema delle Giudicarie; SVL: Schio-Vicenza; PTF: fronte pedeappenninico; EA: arco Emiliano; FRA: arco Ferrarese-Romagnolo. Immagine tratta da Vannoli et al. (2014).*

Tuttavia, entro una distanza di circa 10 km dall'area studio si trovano a NE la sorgente composita ITCS002, appartenente all'arco esterno delle Alpi Meridionali (SAOA), e a S la sorgente composita ITCS044, appartenente all'arco Emiliano (**Figura 2**).

L'area è caratterizzata da una sismicità debole-moderata. La **Tabella 1** ne riassume i principali terremoti storico-strumentali riportati dal Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Locati et al., 2016), con parametri sismologici derivati dal catalogo CPT15 (Rovida et al., 2016). In **Appendice A** sono riportate le mappe del campo macrosismico rilevato per gli eventi elencati nella tabella. A parte il terremoto del 15/5/1951 del Lodigiano, di cui si parlerà più avanti, tutti i terremoti sono avvenuti a distanza di almeno qualche decina di chilometri dall'area d'interesse per questo progetto. L'evento più forte è quello del 12/5/1802 della Valle dell'Oglio, che viene associato alla faglia ITIS004 (**Figura 2**) e che si trova a più di 30 km di distanza. Si noti che i campi macrosismici degli eventi avvenuti prima del 1800 sono definiti da pochi punti; pertanto sia le localizzazioni che le magnitudo stimate sono poco accurate.

L'unico terremoto di vero interesse per l'area del lodigiano è quello del 15/5/1951, noto anche come "terremoto di Caviaga". Fino a pochissimi anni fa, si riteneva che questo evento fosse stato provocato dalle attività di estrazione del gas praticate nell'area (Caloi et al., 1956). Tuttavia, studi più recenti ne ricollocano l'ipocentro a profondità di circa 32 km (Caciagli et al., 2015), in una posizione compatibile con quella di una faglia ereditata nel basamento (Vannoli et al., 2014). Ciò giustificherebbe l'ampia estensione del risentimento macrosismico osservato (**Appendice A**, **Figura A6**). Pertanto oggi a questo terremoto viene attribuita una origine tettonica.

Data e ora	Località	Np	Imax	Mw
29/7/1276 18:30	Monferrato	9	5-6	4.8
13/6/1642	Pianura lombarda	8	6-7	4.9
10/9/1781 11:30	Pianura lombarda	11	6-7	4.9
7/4/1786 00:15	Pianura lombarda	10	7-8	5.2
12/5/1802 09:30	Valle dell'Oglio	94	8-9	5.6
15/5/1951 22:54	Lodigiano	179	6-7	5.2
9/11/1983 16:29	Parmense	850	7	5.0

Tabella 1 *– Terremoti riportati dal database DBMI15 (Locati et al., 2016) e documentati dal catalogo CPT15 (Rovida et al., 2016) per l'area studio. Gli ultimi tre parametri rappresentano, rispettivamente: Np il numero di punti del campo macrosismico utilizzato per definire l'evento; Imax l'intensità macrosismica massima stimata; Mw la magnitudo momento stimata.*

Dagli esempi riportati si evince che la Pianura Padana è interessata da terremoti sia superficiali sia relativamente profondi. A tal proposito si ricorda che, a parità di magnitudo, un terremoto superficiale tende a provocare effetti significativi concentrati nello spazio, mentre uno profondo sarà risentito più debolmente ma su un'area molto più ampia.

Per quanto riguarda la normativa sismica, in base alla MPS04 la zona di Lodi è caratterizzata da valori convenzionali di accelerazione di picco (corrispondente al 10% di probabilità di superamento in 50 anni) compresi nell'intervallo 0.05-0.075 g (**Figura 3**), e quindi da bassa pericolosità sismica. L'Ordinanza PCM n. 3274/03 del 20/3/2003, recepita integralmente dalla Regione Lombardia con DGR n. 14964 del 7 novembre 2003 (BURL n. 48 del 24/11/2003), classificava tutti i Comuni della Provincia di Lodi in Zona 4 (**Figura 4**). Dopo il terremoto dell'Emilia del 2012, tuttavia, la Regione decise di innalzare il livello di controllo, portando in Zona 3 gran parte dei Comuni che prima erano in Zona 4 (**Figura 5**). Considerando che la normativa NTC08 obbliga a utilizzare per la progettazione i valori di moto del suolo atteso contenuti nella mappa di pericolosità nazionale MPS04, l'aggravamento del livello di Zona da 4 a 3 non ha alcuna conseguenza a fini progettuali, ma obbliga le amministrazioni a effettuare un diverso e più accurato percorso procedurale per il controllo dei progetti.

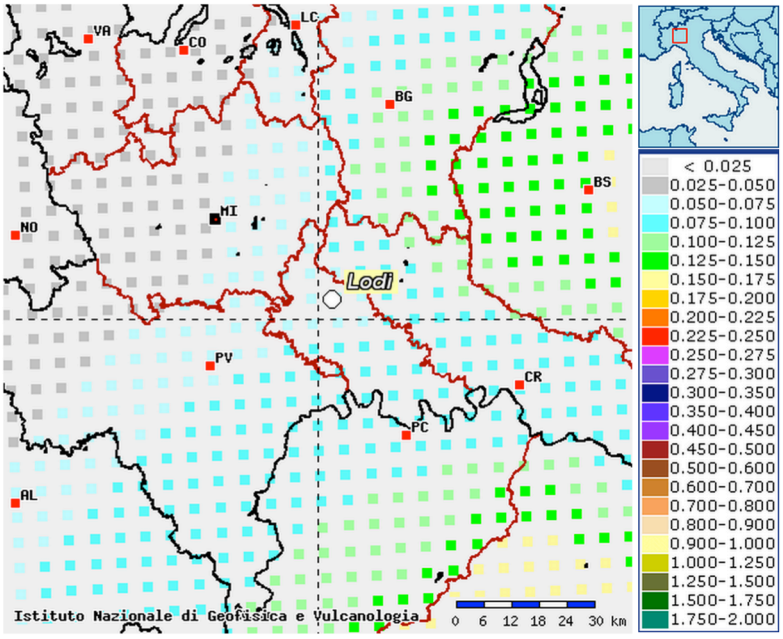
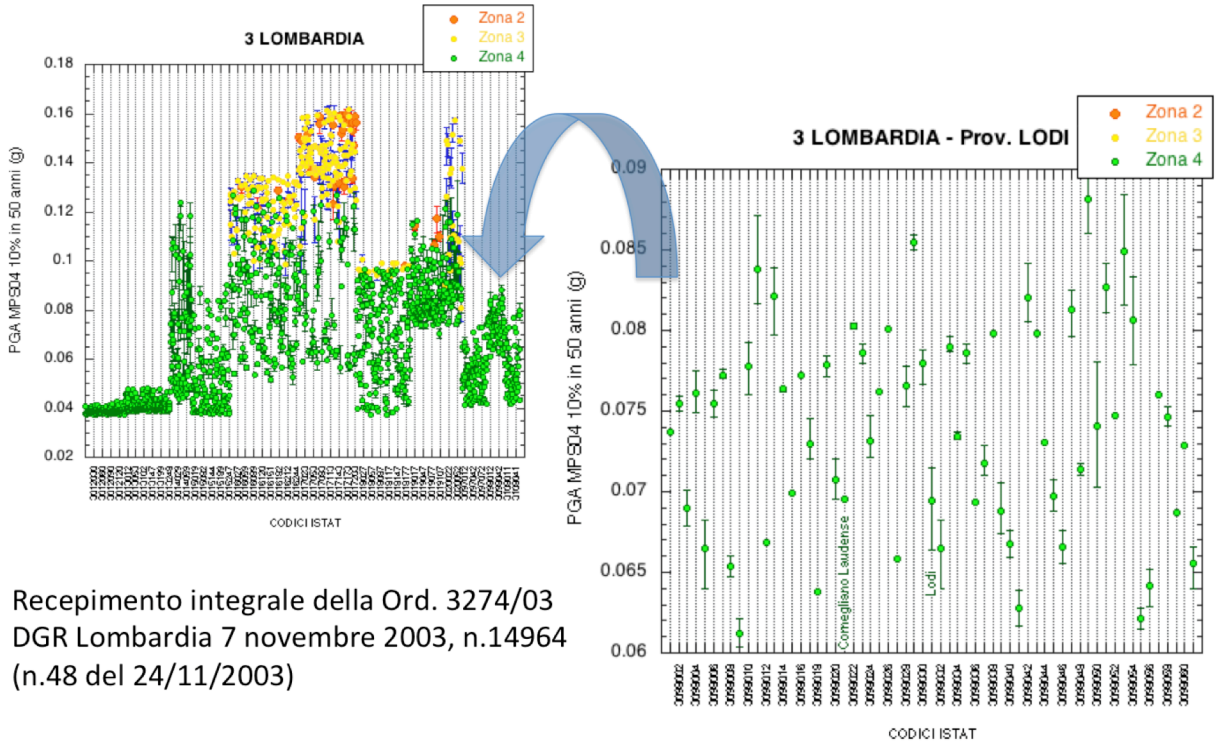


Figura 3 *– Pericolosità sismica dell'area studio (da MPS04). Il colore dei quadretti rappresenta il valore puntuale di accelerazione convenzionale di picco corrispondente al 10% di probabilità di superamento in 50 anni.*



Recepimento integrale della Ord. 3274/03
DGR Lombardia 7 novembre 2003, n.14964
(n.48 del 24/11/2003)

Figura 4 *– Classificazione sismica dei Comuni della Regione Lombardia vigente dal 2003 al 2012. A sinistra: valori di accelerazione convenzionale di picco (in ordinata) e corrispondente classificazione sismica (in colore; classi indicate in legenda) dei Comuni della Regione Lombardia. In ascissa sono riportati i codici ISTAT dei singoli Comuni. A destra: ingrandimento del grafico di sinistra che raffigura solo i Comuni della Provincia di Lodi.*

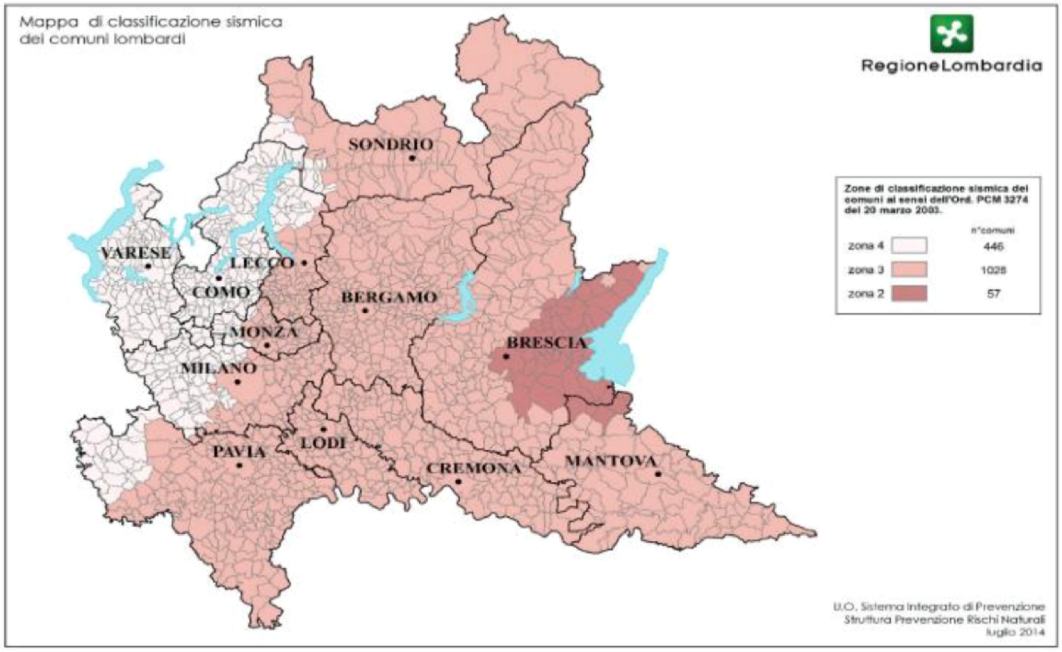


Figura 5 *– Classificazione sismica dei Comuni della Regione Lombardia in vigore dal 2012, a seguito del terremoto dell'Emilia.*

2. Criteri generali di progettazione della rete di monitoraggio sismico

La RMCL è stata progettata con lo scopo di poter svolgere un'attività di controllo e studio sia della micro-sismicità indotta dalle attività di stoccaggio sul serbatoio naturale, sia della sismicità naturale nell'area circostante il serbatoio. La rete combina caratteristiche strumentali di alta dinamica, adatte a garantire la registrazione di terremoti medio-forti associati a sorgenti sismogenetiche (note o ipotizzate) nell'area, con le prerogative di elevata sensibilità richieste a una rete di monitoraggio micro-sismico che deve garantire il migliore potere risolutivo alle profondità e lungo le geometrie degli orizzonti permeabili caratteristici del serbatoio naturale. La rete realizzata ha una geometria che si concentra sull'area corrispondente al serbatoio, dove la spaziatura tra le stazioni è ridotta a 4-5 km, e si allarga via via a distanza da esso permettendo un collegamento armonico con le reti di rilevamento sismico regionali gestite dall'OGS e la rete Sismica Nazionale gestita dall'INGV. Inoltre, la rete è dotata di un numero di stazioni adeguato a garantire il monitoraggio anche nel caso di temporanei malfunzionamenti di qualche strumento o delle reti di comunicazione. La rete è stata progettata in modo da consentire la rilevazione degli eventi deboli ($M \leq 1.0$, o anche meno) all'interno del serbatoio e nelle immediate vicinanze, nonché la registrazione completa di eventi medio-forti ($M \geq 4.5$) in tutta l'area studio. Essa fornirà dati di elevata qualità tali da poter effettuare, in prospettiva, localizzazioni e stime di magnitudo di precisione, studi di sorgente per collegare le caratteristiche del rilascio di energia con lo stato di pressione interno al serbatoio, analisi tomografiche per la definizione delle strutture di velocità esistenti nel sottosuolo, della variazione dei parametri elastici locali nel tempo e il loro eventuale rapporto con l'attività sismica delle strutture sismogenetiche vicine.

Inserendosi nel più ampio contesto del monitoraggio sismico del territorio nazionale e regionale, la RMCL è stata disegnata in modo da beneficiare dei dati acquisiti da eventuali stazioni già esistenti e restituire in cambio a dette reti dati utili per le loro finalità. Per completare il perimetro esterno della RMCL in direzione Est è stata scelta la stazione sismometrica della Rete Sismica Nazionale Centralizzata (RSNC) CTL8, sita a Castelleone in provincia di Cremona, che si trova a una distanza di circa 20 km dal serbatoio e ha una dotazione strumentale idonea. Detta stazione è di proprietà dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Attraverso

un accordo siglato tra i centri di coordinamento delle reti di monitoraggio dell'OGS e dell'INGV, i dati di CTL8 sono acquisiti in continuo dall'OGS in cambio dei dati di una stazione della RMCL, che vengono inviati in continuo al Centro Nazionale Terremoti dell'INGV.

Il campo di Cornegliano Laudense si trova nella Pianura Padana a circa 30 km a Sud-Est di Milano. Secondo i dati forniti da IGS, il serbatoio consiste in una struttura ad anticlinale composta da una successione di formazioni sabbiose porose, che costituiscono la roccia serbatoio, coperte da una spesso strato di argille impermeabili. I livelli produttivi del serbatoio sono collocati a una profondità compresa tra 1300 m e 1700 m circa, e si estende per un'area pari a circa 5-6 km x 2-3 km (**Figura 6**).



Figura 6 *– Mappa della rete di monitoraggio sismico per la concessione di stoccaggio "Cornegliano Laudense". Dettaglio del nucleo interno della rete. I simboli quadrati bianchi rappresentano le stazioni della rete (sigla OL). Il poligono bianco rappresenta approssimativamente l'area corrispondente al giacimento.*

3. La Rete di Monitoraggio di Cornegliano Laudense

3.1 Geometria della rete e descrizione delle stazioni

La Rete di Monitoraggio di Cornegliano Laudense (RMCL) è composta da nove stazioni sismometriche e una stazione geodetica GNSS[1] permanente. La rete si compone di due gruppi di stazioni:

- un nucleo interno, costituito da 6 stazioni (OL01-OL06, **Figura 6**) disposte a pentagono con una stazione al centro, in modo da comprendere l'area del serbatoio per la quale si intende rilevare la micro-sismicità eventualmente indotta dalle attività dell'impianto;
- un gruppo esterno, costituito da 4 stazioni (OL07-OL09 più CTL8, **Figura 7**) disposte a quadrilatero con assi orientati E-O/N-S, ad una distanza variabile tra 10 e 20 km dal nucleo centrale, in modo da comprendere l'area per la quale si vuole rilevare in dettagliato la sismicità naturale.

Tutte le stazioni sono dotate di sismometro in pozzo, posto a profondità di 75 m, e di accelerometro in superficie. L'installazione dei sismometri in pozzo è necessaria per mitigare gli effetti del rumore antropico e dell'amplificazione del rumore sismico dovuto alla presenza di suoli con caratteristiche meccaniche scadenti. D'altro canto, l'installazione di accelerometri in superficie nelle aree maggiormente antropizzate è indispensabile per misurare il moto del suolo corrispondente a quello percepito dall'uomo, nonché per disporre di un segnale non saturato nel caso di terremoti più forti, siano essi naturali o indotti.

Le stazioni sono costituite di norma dai seguenti elementi:

- una recinzione con rete metallica e cancello di accesso;
- un pozzo, dotato di pozzetto superficiale di accesso, che ospita i sensori;
- un armadio che contiene la strumentazione elettrica ed elettronica;
- un pannello fotovoltaico per l'alimentazione;
- cavidotti interrati per il collegamento tra le varie parti.

[1] GNSS sta per *Global Navigation Satellite System* e comprende i più noti sistemi di posizionamento tra cui GPS, GLONASS e GALILEO.



Figura 7 *– Mappa della rete di monitoraggio sismico per la concessione di stoccaggio "Cornegliano Laudense". Visione complessiva. La rete è costituita dalle nove stazioni raffigurate con simboli quadrati bianchi integrate con la stazione CTL8 di INGV, rappresentata con il triangolo verde. Il circolo giallo rappresenta la distanza di 10 km dalla stazione centrale OL01.*

Ogni stazione ha un apparato di tele-trasmissione del dato e antenna GPS per la sincronizzazione precisa del tempo. L'alimentazione viene garantita da un impianto fotovoltaico ad isola opportunamente dimensionato, e costituito dai seguenti elementi: un modulo fotovoltaico da 60 celle, un regolatore di tensione MPPT, che gestisce la corrente di ricarica e di utilizzo, e un sistema di accumulo di energia a batterie AGM, sigillate a ricombinazione di gas.L'armadio ospita le varie apparecchiature (acquisitori sismologici, modem/router, apparati di alimentazione, batteria, interruttori, …) e le antenne di teletrasmissione e posizionamento.

In accordo agli standard sismologici internazionali, i siti delle stazioni sono nominati con un codice a 4 caratteri del tipo OL##, dove ## rappresenta un numero a due cifre da 01 a 09. La rete è stata registrata con codice OL all'interno dell'organismo mondiale che gestisce le informazioni delle reti sismiche digitali, ovvero il *Federation of Digital Broad-Band Seismograph Networks (FDSN)* appartenente al consorzio mondiale *Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS)*, cui l'OGS è associato.

Tutte le informazioni riguardanti i siti e la strumentazione installata sono caricate nel database che gestisce i dati sismologici strumentali dell'OGS, chiamato OASIS, di cui parleremo nella prossima Sezione 3.3. Il sito web di consultazione, oasis.crs.inogs.it, è aperto al pubblico e fornisce anche il servizio di accesso ai dati di forme d'onda continue acquisiti dalla RMCL con un giorno di ritardo, rispetto all'acquisizione in tempo reale.

La **Tabella 1** indica le informazioni principali e le date di inizio funzionamento delle stazioni della RMCL con la configurazione definitiva. La data d'inizio ufficiale di operatività dell'intera rete è il 1/1/2017.

La Tabella 2 indica invece il periodo di funzionamento delle stazioni ma con un assetto della strumentazione installata ancora non definitivo, per esempio con acquisitori temporanei o sensori installati in superficie. Si può notare che un primo nucleo della rete era già operativo da fine luglio 2016 e che a fine settembre erano operative 7 stazioni su un totale di 9.

CODICE	LAT	LON	QUOTA (m s.l.m.)	DATA ACCENSIONE	NOME
OL01	45.291133	9.464850	72	02/09/2016	**Cornegliano Laudense (Cluster A)**
OL02	45.266917	9.485002	71	15/09/2016	**Massalengo**
OL03	45.266723	9.453194	70	14/09/2016	**Cascina Castagna**
OL04	45.290477	9.435672	78	29/09/2016	**Cascina Taietta**
OL05	45.293630	9.526859	75	14/09/2016	**Cascina Cavrigo**
OL06	45.309150	9.464777	77	29/09/2016	**Cascina Bracca**
OL07	45.291950	9.325655	77	15/09/2016	**Gugnano**
OL08	45.362184	9.539288	75	30/12/2016	**Dovera**
OL09	45.170908	9.438682	70	30/12/2016	**Miradolo**

Tabella 1 *– Sommario delle stazioni installate in configurazione definitiva. Informazioni dettagliate sono riportate nelle singole schede di stazione riportate Appendice B.*

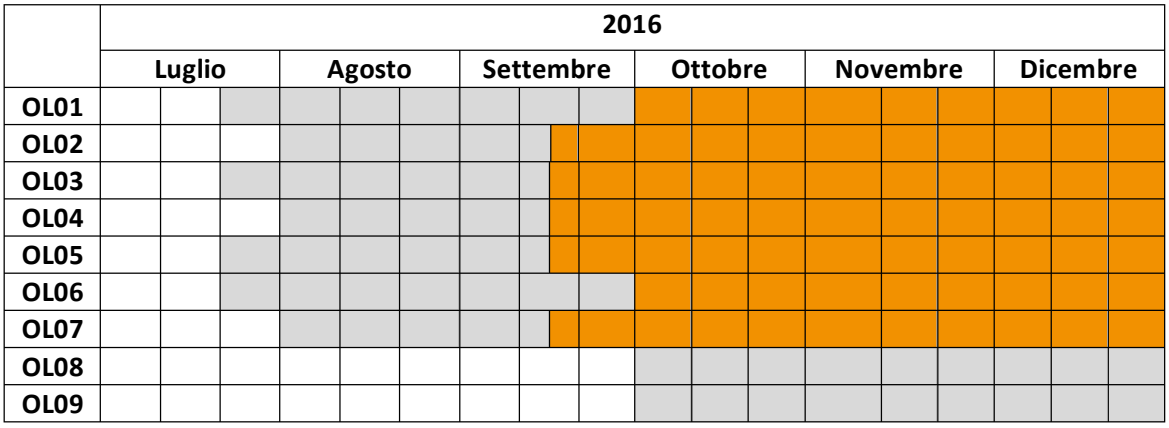


Tabella 2 *– Sommario delle stazioni installate prima della data di completamento della RMCL. In grigio: stazioni temporanee. In arancio: stazioni definitive. Altri dettagli in Tabella 1.*

IMPORTANTE –Il sito di Miradolo che nel progetto era indicato con la sigla OL08 è ora denominato OL09, e quello di Dovera che nel progetto era indicato con la sigla OL09 è diventato OL08.

L'ubicazione dei siti è stata definita attraverso uno studio preliminare (Priolo et al., 2015b) in cui sono state valutate le posizioni rispetto alla geometria complessiva della rete, le condizioni locali di sito e i livelli di rumore antropico. Un contributo importante in questa fase d'indagine è stato quello fornito dal geom. Danilo Granata, che è stato incaricato da IGS, per assistere i tecnici dell'OGS nella ricerca dei siti e per l'espletamento delle pratiche amministrative. Rispetto a quest'ultimo punto, si rammenta che era compito di IGS definire opportuni accordi per la locazione dei siti in prossimità delle aree individuate per ospitare le stazioni.

Va sottolineato che tutta l'area è affetta da elevato rumore antropico e i suoli sono tutti di pessima qualità. Queste sono purtroppo caratteristiche intrinseche all'area che influiscono negativamente sulla qualità dei dati che possono essere acquisiti. Si sono inoltre incontrate notevoli difficoltà per avere la disponibilità di soggetti privati a concedere in locazione l'area su cui realizzare le stazioni. Per questi motivi, alcuni siti sono stati spostati rispetto alla posizione iniziale e in alcuni casi si sono allungati molto i tempi necessari per il perfezionamento dei contratti di locazione.

Due casi eclatanti in tal senso sono stati quelli delle stazioni OL08 e OL09, per le quali le difficoltà incontrate hanno fatto ritardare di molti mesi la loro realizzazione, portandola a ridosso della data di scadenza del contratto. E' opportuno riassumere quanto successo in questi due casi.

La stazione OL09 era inizialmente collocata sulle alture di San Colombano (MI), che sono sottoposte a vincolo ambientale. Il sito era stato scelto in virtù delle ottime caratteristiche litologiche locali, caso unico nella Pianura Padana. Sono stati impiegati mesi sia per cercare di ottenere l'autorizzazione a realizzare la stazione con il minimo impatto all'interno dell'area posta sotto vincolo, sia, successivamente, per trovare un sito nelle vicinanze al di fuori dell'area sottoposta a vincolo in cui fosse possibile realizzare la stazione.

Anche per la stazione OL08, per la quale era stata scelta l'area del paese di Dovera (CR), i vincoli ambientali hanno causato ripetuti spostamenti (da una cascina nei pressi del paese a un'area di pertinenza del cimitero e, infine, entro l'area ecologica del Comune) ed enormi ritardi. In questo caso i vincoli ambientali derivavano dalla classificazione del territorio come "zona agricola", e dunque inadeguata ad ospitare un impianto "non prettamente agricolo" e dalla presenza dei cosiddetti fontanili, numerosi presso tutta l'area e motivo di fragilità dell'ecosistema. Per il sito definitivo poi, si è sostenuta un'estenuante azione di pressione per ottenere l'autorizzazione in tempi utili per rispettare quanto previsto dal contratto.

Tutti i siti sono stati attrezzati con sismometro in pozzo a una profondità di riferimento di 75 m, con lo scopo di ridurre i disturbi di carattere antropico e il rumore sismico che si propaga principalmente nello strato superficiale di suolo nei

primi 15-20 m. I pozzi sono tubati in acciaio e cementati all'esterno. La finitura superficiale è costituita da una base rettangolare di cemento di circa 2 m x 1 m, che contiene ad una estremità un pozzetto che ospita e protegge la testa del pozzo, e costituisce la base dell'armadio della strumentazione e del modulo FV.

Per la realizzazione dei pozzi e il completamento del sito in superficie è stata indetta una gara pubblica mediante procedura negoziata con il criterio del prezzo più basso, cui sono state invitate 5 ditte. Gli inviti sono stati inviati il giorno 18/3/2016, e le comunicazioni di aggiudicazione sono state inviate il giorno 8/4/2016. Al termine della gara, l'esecuzione dei lavori è stata affidata alla ditta Tecnosuolo s.r.l. di Casatisma (PV). I lavori sono iniziati il 22/7/2016 e si sono protratti fino a dicembre 2016. In pratica, per quanto riguarda i lavori, 7 siti (OL01-OL07) erano pronti all'8/8/2016, mentre gli ultimi 2 siti (OL08-OL09) sono stati completati a metà dicembre 2016.

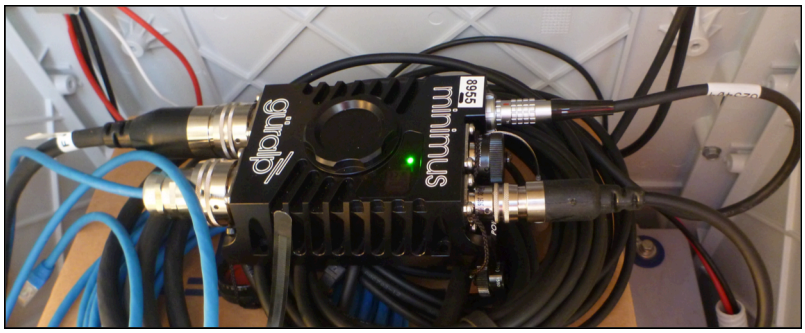
3.2 Strumentazione

La ***strumentazione sismologica*** è stata acquistata attraverso una procedura aperta sotto soglia comunitaria per la fornitura di quanto ritenuto necessario (Atto del Direttore Generale dell'OGS n. 036/2016 del 04/02/2016). Il bando di gara relativo a detta procedura è stato pubblicato il 17/02/2016 sulla Gazzetta Ufficiale V Serie Speciale - Contratti Pubblici numero 9 con codice redazionale T-16BFG1668 al termine di una selezione pubblica alla quale sono stati invitati a partecipare i principali costruttori di strumenti. Le offerte sono state valutate in seduta pubblica il 7/3/2016. La gara è stata vinta dalla ditta Misure Meccaniche s.r.l. che ha offerto strumentazione della ditta Guralp Systems Ltd. (http://www.guralp.com). La comunicazione di aggiudicazione alla ditta vincitrice della gara è stata comunicata in data 22/3/2016. La strumentazione è stata consegnata il 25/7/2016 ed è stata verificata e configurata dai tecnici dell'OGS insieme a due ingegneri di Guralp nei giorni immediatamente successivi. La **Tabella 3** descrive la strumentazione sismologica acquistata, mentre la **Figura 8** mostra alcune fasi di verifica e di configurazione degli strumenti stessi.

Acquisitore: Guralp-Minimus Caratteristiche: 6 canali, 24 bit Numero pezzi acquistati: 10 Numeri di Serie: MIN-8E55, MIN-8955, MIN-8B55, MIN-8D55, MIN-8C55, MIN-8555, MIN-9755, MIN-7755, MIN-8A55, MIN-9855	
Sismometro da pozzo: Guralp-Radian Componenti: 3 Sensibilità: 2000 V/m/s Banda: 0.00833-200 Hz (120-0.05 s) Numero pezzi acquistati: 10 Numeri di Serie: RA0FAB, RA0FAD, RA0FAA, RA0FA5, RA0FA3, RA0FAE, RA0FA4, RA0FA8, RA0FA6, RA0FB0	
Accelerometro: Guralp-Fortis Componenti: 3 Fondo scala: ±2.0 g Banda: DC-200 Hz Numero pezzi acquistati: 10 Numeri di Serie: da TF051 a TF060	

Tabella 3 *– Sommario dei principali componenti della strumentazione sismologica acquistata (marca Guralp System Ltd.). La strumentazione acquistata comprende un'unità da usare come ricambio in caso di malfunzionamento.*

Prima di mettere in opera gli strumenti, tutta l'apparecchiatura è stata configurata per gli specifici siti. In particolare i sensori da pozzo sono stati equipaggiati con un sistema di accoppiamento che è stato progettato dall'OGS e costruito da un artigiano carpentiere. Il sistema, (**Figura 8c**) consiste in una lama di acciaio posta in tensionamento da due flange solidali con il sensore. Il tensionamento della lama viene regolato in modo che il sensore, addizionato di un opportuno peso, possa scorrere lungo il tubo per la discesa (**Figura 9**). Una volta arrivato al fondo del pozzo, il peso viene poi rimosso dall'alto.



a)

b)

c)

Figura 8 *– Fase di test della strumentazione. a) Guralp Minimus, acquisitore digitale a 6 canali; b) Guralp Fortis, accelerometro per la misurazione del moto forte del suolo; c) Guralp Radian, sismometro digitale da pozzo a banda larga. Nella parte centrale del sismometro si nota molla usata per accoppiare il sensore alle pareti del pozzo.*



Figura 9 *– Fase d'inserimento del sismometro in pozzo. In basso si vede la bocca del pozzo. E' evidenziato il sistema di accoppiamento sensore-pozzo: si riconoscono sulla sinistra le slitte laterali poste agli estremi della lunghezza del sensore e, sulla destra, la lama elastica pre-tensionata. Nella foto, il tecnico sta regolando la vite di pre-tensionamento, in modo tale da garantire un buon accoppiamento con la parete ma anche la possibilità che il sensore scivoli, opportunamente addizionato di peso, all'interno del pozzo.*



Figura 10 *– Fase d'inserimento del sismometro in pozzo. E' evidenziato il sistema di verricelli usato per il cavo-segnale e per la fune che serve a recuperare il peso che viene aggiunto per facilitare la discesa nel pozzo.*

L'installazione dei primi strumenti nei siti è iniziata a fine luglio 2016. La fase più delicata d'installazione è stata sicuramente quella di calo del sismometro all'interno del pozzo. Il sensore viene calato nel pozzo per mezzo di verricelli allestiti in modo da permettere ai cavi di entrare verticalmente dentro l'imbocco del pozzo evitando attriti e sfregature sul metallo o sul cemento (**Figura 10**). I verricelli servono anche per gestire il notevole peso dello strumento che, considerando il sensore, il grave aggiuntivo e il cavo, è di numerose decine di kg.

La **Figura 11** mostra un esempio di stazione completata. Si nota la recinzione "ecologica" a ridotto impatto ambientale che protegge il sito e la strumentazione. La **Figura 12**, infine, mostra il contenuto e la disposizione all'interno del pozzetto: si riconoscono la testa del pozzo, sigillata in superficie e l'accelerometro ancorato alla basetta di cemento all'angolo. Il pozzetto è inglobato nella piattaforma di cemento e si eleva di circa 20 cm rispetto al piano campagna, per evitare l'ingresso di acqua in caso di forti piogge. All'interno la testa del pozzo sporge di circa 50-80 cm rispetto al fondo del pozzetto, per evitare anche in questo caso, che eventuali accumuli d'acqua possano penetrare all'interno del pozzo dalla testa.



Figura 11 *– Esempio di stazione completata. La fotografia si riferisce alla stazione OL02. Si riconoscono: la basetta di cemento; il traliccio d'acciaio che regge il pannello fotovoltaico, con, sotto, l'armadio che contiene tutta la strumentazione, eccettuati i sensori, e le batterie di alimentazione; davanti all'armadio, il coperchio del pozzetto all'interno del quale si trova il pozzo.*



Figura 12 *– Esempio dell'interno di un pozzetto. La fotografia si riferisce alla stazione OL08. Al centro, leggermente in basso, si riconosce la testa del pozzo, tappata, da cui esce il cavo del sismometro. In alto a destra si vede la basetta triangolare su cui è ancorato l'accelerometro. Sulla sinistra si riconosce l'imbocco del cavidotto che permette di portare i cavi all'interno dell'armadietto.*

3.3 Sistema di trasmissione, acquisizione ed elaborazione dati

3.3.1 Trasmissione

Tutte le stazioni della Rete Sismica di Cornegliano Laudense sono dotate di un sistema di trasmissione dati basato su router con interfaccia 3G UMTS/HSPA+ (Conel UR5i; **Figura 13**), che si distingue per bilanciare in modo ottimale prestazioni, affidabilità e basso consumo energetico. La comunicazione è appoggiata alla rete di telefonia mobile, con un contratto specifico per la trasmissione di dati, attraverso protocollo tcp/ip. Su tutti i siti della rete sono stati sono stati effettuati test prima e durante l'installazione, nell'ottica di verificare la stabilità di connessione, qualità del segnale e l'adeguata larghezza di banda.

Grazie a questa apparecchiatura, i dati delle stazioni vengono inviati al centro di acquisizione presso l'OGS di Trieste e di Udine, permettendo anche il monitoraggio dei parametri di funzionamento ed effettuare quando necessario operazioni di manutenzione. Lo schema di trasmissione dati realizzato per la rete di Cornegliano Laudense è mostrato in **Figura 14**.

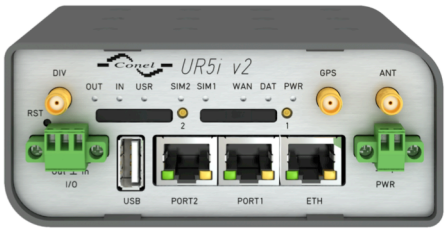


Figura 13 *– Router (modello Conel UR5i) utilizzato per la trasmissione dati installati presso le stazioni della rete di Cornegliano Laudense.*

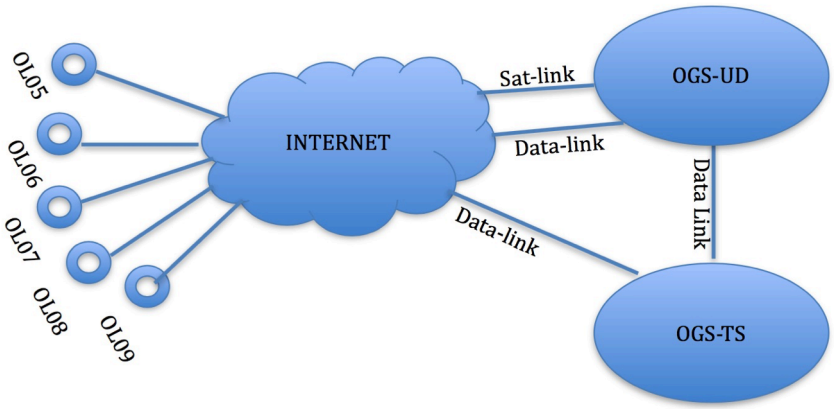


Figura 14 *– Schema della rete di comunicazione realizzato per la rete di Cornegliano Laudense.*

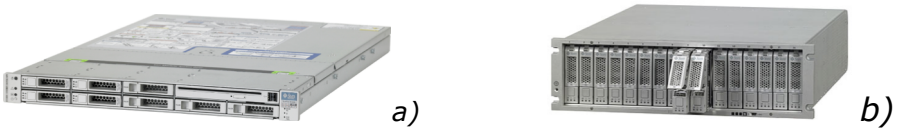
3.3.2 Acquisizione ed elaborazione

Hardware - Presso il la sede di Trieste dell'OGS è installato il sistema di acquisizione principale della RMCL. Il sistema consiste in un gruppo di computer (**Figura 15**) con le seguenti funzioni: a) un computer (Mac Mini) dedicato all'acquisizione dei dati dalle stazioni; b) un computer (Mac Mini) dedicato alla elaborazione dei dati con funzioni di "master". Questo secondo computer è sincronizzato in continuo su un secondo computer con le funzioni di "mirror", da attivare in sostituzione nel caso di avaria del "master".



a) b)

Figura 15 *– Computer utilizzati per l'acquisizione dei dati della RMCL e l'elaborazione presso l'OGS. A) Computer di acquisizione dati (modello Mac Mini); b) computers tra loro sincronizzati per l'elaborazione dei dati.*



a) b)

Figura 16 *– I server, rispettivamente di (a) gestione e (b) storage, del sistema di archiviazione OASIS dell'OGS.*

Una volta acquisiti, i dati grezzi delle stazioni di monitoraggio vengono convertiti nel formato *miniseed* per essere poi elaborati e analizzati. Lo spazio di archiviazione locale interno al server è utilizzato come *buffer* locale di memorizzazione per il sistema di acquisizione.

I dati acquisiti vengono archiviati in tempo reale in formato *mseed* su un sistema di archiviazione di rete (NAS di marca QNAP) con capacità complessiva di circa 20 TB che è montato direttamente come file system dai sistemi di acquisizione ed elaborazione. La rete RMCL accumula approssimativamente 1.2 GB di dati al giorno, quindi circa 0.5 TB all'anno.

L'ultima fase della catena di operazioni è l'archiviazione stabile a cadenza giornaliera, dove il dato convertito viene copiato all'interno dell'infrastruttura centrale di dipartimento utilizzata per l'accesso e l'archiviazione delle forme d'onda. Da questo momento il dato verrà conservato in modo permanente e sicuro, e sarà accessibile via web. Questo sistema di archiviazione si chiama OASIS ed è una struttura permanente della Sezione CRS dell'OGS. Esso consiste di due sistemi di

elaborazione/archiviazione ad alta capacità replicati, per sicurezza, nelle due sedi OGS di Udine (sistema *master*) e di Trieste (sistema *slave*) (**Figura 16**).

La pagina web di OASIS (http://oasis.crs.inogs.it/) da accesso libero al pubblico sia alle informazioni riguardanti i siti sia alle forme d'onda registrate in continuo dalla RMCL, con un giorno di ritardo. La **Figura 17** mostra la pagina di accesso ad OASIS.



Figura 17 *– Pagina web di accesso ad OASIS, infrastruttura di archiviazione dei dati sismologici strumentali dell'OGS.*

Software - Passiamo ora alla descrizione della configurazione del sistema di acquisizione. Le stazioni sono configurate per registrare i dati in forma continua con il formato proprietario *Guralp Compress Format* (GCF) e simultaneamente scrivere in formato MiniSEED. I formati SEED e MiniSEED sono i formati sviluppati per lo *United State Geological Survey* (USGS) e rappresentano uno standard internazionale per lo scambio di dati sismologici digitali. Questi formati sono stati adottati come standard dalla *FDSN - Federation of Digital Seismometric Networks*. Il formato SEED contiene tutte le informazioni (metadati) necessarie per identificare la stazione, gli strumenti e per correggere i dati dalle risposte strumentali. Il formato MiniSEED è una forma ridotta del formato SEED, e contiene solo i dati di forma d'onda. E' un formato molto adatto per dati continui e per archiviare una grande mole di dati.

Gli acquisitori sono stati configurati in modo da campionare il segnale a 200 Hz, frequenza che si ritiene adatta per monitorare la microsismicità naturale e indotta. Si rammenta che le reti sismologiche usualmente campionano il segnale a circa 100 Hz.

Il server di acquisizione della RMCL è un computer adatto a gestire tutto il carico di lavoro di acquisizione e prima elaborazione in real-time dei dati. Esso gestisce l'acquisizione e il sistema di elaborazione di primo livello (**Figura 19**). Per il collegamento e l'archiviazione dei dati in tempo reale si utilizza il protocollo *SeedLink*, che permette di stabilire una comunicazione robusta tra il server di acquisizione e le stazioni. La parte principale del sistema è un server virtuale, chiamato *RingServer,* che permette di inserire i dati in arrivo all'interno di una memoria "circolare" (*ring buffer*), recuperare e correggere dati eventualmente mancanti e di controllare che tutte le operazioni di dialogo tra server e clients avvengano in modo rapido e corretto. Una volta entrati nel *ring buffer* e validati, i dati vengono archiviati sul disco rigido del server in files MiniSEED con lunghezza voluta (es. giornalieri).

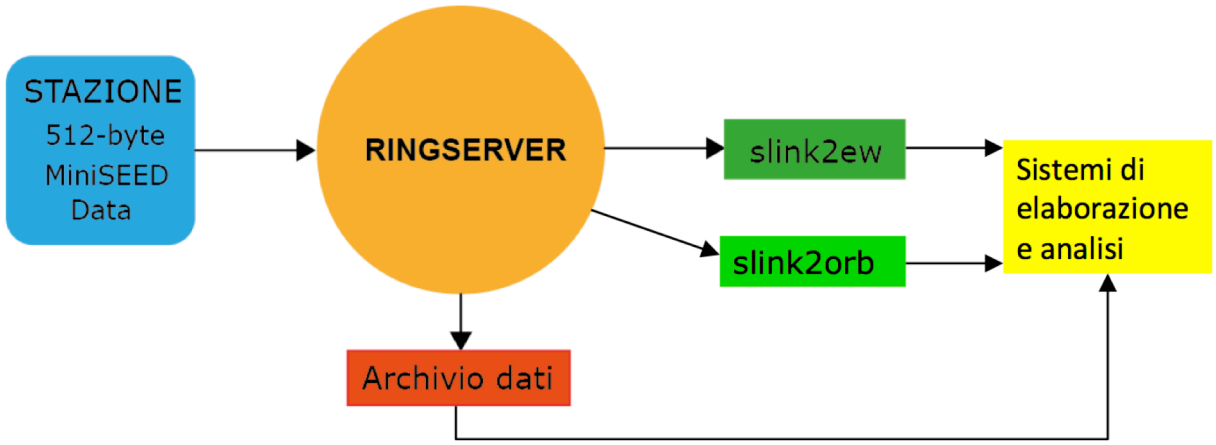


Figura 19 *– Schema del sistema di acquisizione dei dati della RMCL.*

Due programmi si occupano del trasferimento in tempo reale dei dati dal RingServer ai sistemi di elaborazione più avanzati (secondo livello). Questi sono rispettivamente *slink2ew* che trasmette i dati al sistema *EarthWorm*, e *slink2orb* che trasmette i dati al sistema *BRTT Antelope*. Questi due sistemi concorrono a svolgere le funzioni di elaborazione e analisi in tempo reale, che comprendono il riconoscimento e la localizzazione automatica dei terremoti e la notifica degli eventuali avvisi al personale di reperibilità, e saranno descritti in un rapporto successivo. Si noti, in **Figura 19**, anche il ramo di collegamento inferiore, che indica il flusso di operazioni condotte *off-line*, che comprendono la rielaborazione con controllo manuale di tutti i dati, con cadenza mensile o in caso di evento locale.

In **Figura 20** è mostrata un'immagine della sala di controllo sismico, dedicata a questo tipo di reti di monitoraggio. Tra i monitor più piccoli, accostati, ci sono quelli dei computer che hanno in carico l'elaborazione e l'analisi in tempo reale (uno con ruolo di *master* e l'altro con ruolo di *slave*) nonché quelli usato per l'elaborazione *offline*. Sulla destra si vede invece un grande video su cui sono mostrati in tempo reale i segnali acquisiti dalla rete, anche con lo scopo di favorire il controllo visivo continuo da parte del personale.



Figura 20 *– La sala di monitoraggio presso i locali della Sezione CRS nella sede dell'OGS a Sgonico (Trieste).*

La **Figura 21** mostra infine alcuni esempi di registrazioni della RMCL. La prima coppia di figure (a-b) si riferisce alle registrazioni degli eventi M>5 avvenuti in Italia Centrale il giorno 18 gennaio 2017. Si nota chiaramente come, a distanza di circa 300-400 km le basse frequenze (a) siano molto meno attenuate delle alte frequenze (b). I pannelli al centro mostrano la registrazione di un tele-sisma (Mw7.9 del giorno 22/1/2017 con ipocentro nell'Oceano Pacifico) presso la stazione OL04. Anche in questo caso, si apprezza l'ampia banda dei sensori installati in pozzo. In basso, infine, sono riportati due esempi di registrazione in tempo reale. L'esempio si riferisce alla stazione OL09 e al giorno 30/1/2017 ore 10:07:34 GMT.

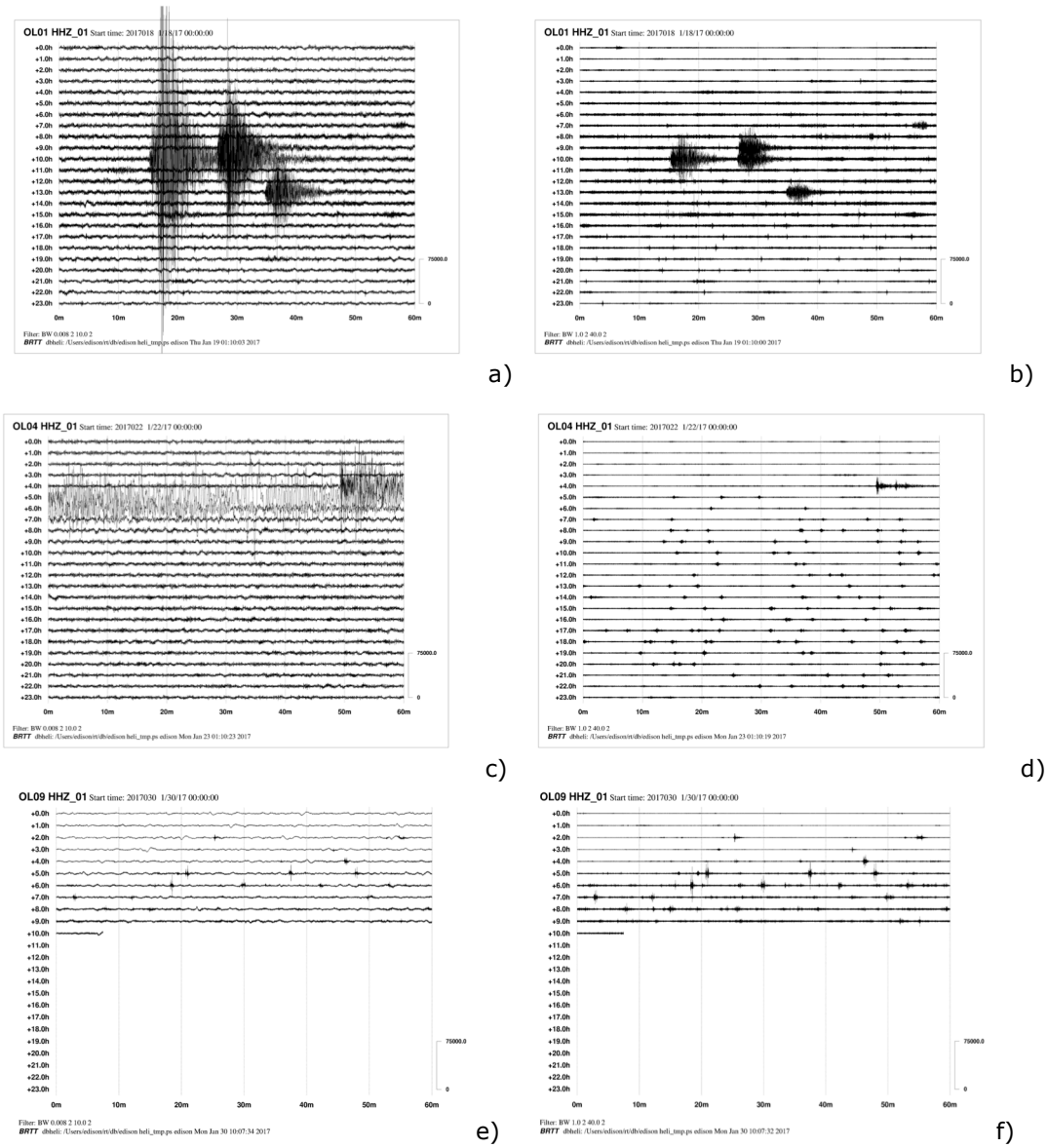


Figura 21 *– Esempi di registrazioni della RMCL. Ogni pannello rappresenta la registrazione di un giorno, e ogni riga è un'ora di registrazione. In alto: registrazione presso stazione OL01 del giorno 18/1/2017, sottoposte rispettivamente a filtraggio (a) passa-basso e (b) passa-alto; si riconoscono le scosse M>5 avvenute in Italia Centrale. In centro: registrazione presso la stazione OL04 del giorno 22/1/2017, sottoposte rispettivamente a filtraggio (c) passa-basso e (d) passa-alto; si riconosce il tele-sisma Mw7.9 avvenuto nell'Oceano Pacifico alle ore 04:302:23.8 GMT (fonte EMSC-CSEM). In basso: registrazione in tempo reale presso la stazione OL09 del giorno 30/1/2017 ore 10:07:34 GMT.*

3.4 Acquisizione del bianco

In accordo a quanto specificato nelle Linee Guida, si prevede l'acquisizione del "bianco" ovvero della sismicità di fondo per un periodo di almeno un anno dalla data di messa in esercizio della rete. Durante il periodo di acquisizione del bianco, saranno effettuate le analisi atte a mirare il riconoscimento della sismicità e microsismicità *off-line*. Il sistema in *real-time* sarà attivato a uso interno per la verifica del funzionamento e la calibrazione dei parametri.

Al termine del periodo di acquisizione sarà redatto un rapporto contenente l'analisi della sismicità rilevata attraverso la RMCL e un confronto con la sismicità strumentale rilevata in precedenza dalla Rete Sismica Nazionale. Questo farà da riferimento per le successive rilevazioni della sismicità durante l'attività di stoccaggio del gas.

Ricordiamo qui che potranno essere analizzati anche i dati acquisiti dalle stazioni temporanee, sebbene non sia possibile prevedere in questa fase la loro qualità e l'efficacia del loro utilizzo.

4. Stazione permanente GNSS per il monitoraggio della subsidenza

4.1 La stazione GNSS OL01

La stazione OL01, ubicata vicino al 'Cluster A' dell'impianto di Cornegliano Laudense, ospita sia la stazione sismometrica sia la stazione GNSS. La strumentazione GNSS ha lo scopo di monitorare la deformazione del terreno in superficie ed eventualmente indicare potenziali fenomeni anomali. L'installazione della stazione GNSS è terminata il 27/10/2016. La stazione è in grado di ricevere i segnali dei seguenti sistemi satellitari di navigazione: GPS, GLONASS, GALILEO, QZSS, SBAS e BeiDou. La **Figura 22** mostra lo schema di costruzione adottato.

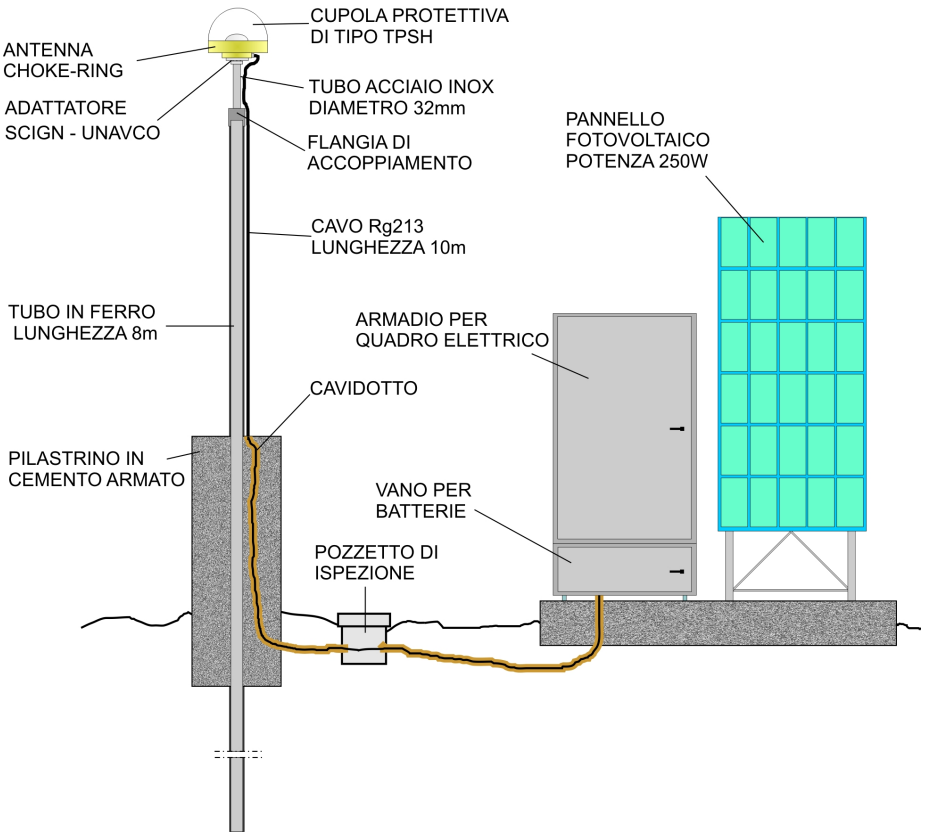


Figura 22 *– Schema costruttivo della stazione GNSS OL01.*

La **Figura 23** mostra una fase della realizzazione della stazione GNSS preso il sito OL01. Ricordiamo che presso questo sito, la stazione GNSS è accoppiata alla stazione sismometrica/accelerometrica. La **Figura 24** mostra la stazione OL01 completata.



Figura 23 *- Fasi di realizzazione della monumentazione GNSS presso il sito OL01. Sullo sfondo a sinistra il tubo in ferro a cui è stata collegata una flangia con il terminale in acciaio inox, che sosterrà l'antenna GNSS. In primo piano: la cassamatta che servirà per il getto della piattaforma di cemento, con il pozzetto che contiene la bocca del pozzo in cui sarà installato il sismometro.*

La monumentazione della stazione GNSS OL01 è costituita da:

a) Un tubo in ferro del diametro di circa 89mm è cementato nell'intercapedine tubo-terreno, dunque il pilastrino, la cui base si trova circa 30 cm sotto il terreno, risulta essere in continuità con il micropalo in cemento/ferro di 6 m sottostante. Il tubo di ferro è accoppiato con un terminale costituito da una flangia e un tubo in acciaio inox del diametro di 32 mm e di lunghezza complessiva pari a circa 350 mm (**Figura 25a**);

b) al terminale in acciao inox, tramite l'adattatore SCIGN Mount (come da direttive installazione GNSS dettate dal protocollo UNAVCO) è accoppiata l'antenna GNSS (Topcon TPSCR.G5 TPSH) in grado di ricevere il segnale delle varie costellazioni GPS, GLONASS, etc. (**Figura 25b**);

c) l'antenna è collegata al ricevitore GNSS Topcon NET-G5 (**Figura 25c**) che registrata tutte le informazioni ricevute dall'antenna GNSS;

d) il ricevitore è alloggiato all'interno di un armadio dove trova posto il quadro elettrico (**Figura 26**) che svolge le seguenti funzioni:

   a. alimentazione attraverso il regolatore di tensione (WRM-15 MPPT charge regulator) collegato a un pannello fotovoltaico da 250watt e due batterie da 100Ah;

   b. trasmissione del dato tramite router UMTS (UR5i v2);

   c. il monitoraggio e ripristino della stazione GNSS e della strumentazione contenuta all'interno del quadro elettrico (LAN controller 2.0 (Soft. Version 3.11);

All'interno del quadro elettrico vi sono inoltre uno *switch ethernet* e un temporizzatore. Tutti i dispositivi elencati sono visibili in **Figura 26.**

I dati rilevati (file RINEX) sono inviati, attraverso il router UMTS e per una successiva fase di elaborazione, al server frednet dell'OGS situato presso il Centro di Ricerche Sismologiche di Udine.



Figura 24 - *Il sito OL01 al termine dell'installazione della stazione GNSS. Il sito è protetto da un recinto in pali e rete. Si accede all'interno da un cancello in ferro. Sulla struttura metallica è poggiato il pannello fotovoltaico da 250W.*


(a)


(b)

(c)

Figura 25 *– Dettagli della stazione GNSS OL01. a) Tubo in ferro pronto per essere ancorato al pilastro in cemento e pozzetto di ispezione per passaggio cavi. b) Flangia fissata al tubo e terminale in acciaio inox che fungono da sostegno all'antenna. All'estremità, tramite adattatore SCIGN, è stata installata l'antenna GNSS munita di cupola protettiva di tipo TPSH. c) Interno dell'armadio con quadro elettrico; sul ripiano, in giallo, il ricevitore GNSS TOPCON NET-G5.*

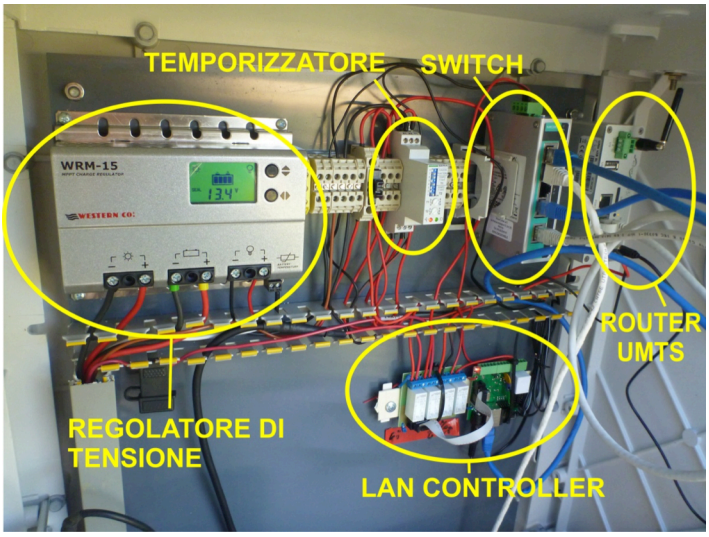


Figura 26 *- Visione d'insieme del quadro elettrico quadro elettrico durante l'installazione.*

4.2 La strumentazione GNSS

La strumentazione GNSS è costituita principalmente dal ricevitore (***Tabella***) e dall'antenna (***Tabella***) a esso collegata con 10m di cavo di tipo RG213 e connettori coassiali a morsetto di tipo "N".



RICEVITORE	Topcon NET-G5
COSTELLAZIONE SATELLITARE	GPS: GLONASS, QZSS, SBAS, Galileo, L-Band, BeiDou
NUMERO DI SERIE	1294-10726
FIRMWARE VERSION	5.1 Jul,07,2016 b8
ANGOLO DI CUT OFF	0°
CAMPIONAMENTO	Fino a 100Hz
FORMATO OUTPUT	TPS, RTCM 2.x e 3.x, CMR, CMR+, BINEX, RINEX

Tabella 4 *- Specifiche del ricevitore GNSS utilizzato.*



ANTENNA	Topcon CR-G5
FREQUENZE SUPPORTATE	1230±70 MHz (L5, E5B, E3, L2, G2, E4, E6) 1565±50 MHz (E2, L1, E1, G1, OmniStar, SBAS, CDGPS)
NUMERO DI SERIE	762-12085
RADOME	TPSH

Tabella 5 *- Specifiche dell'antenna GNSS utilizzata.*

4.3 Inquadramento geodetico

Al fine di ottenere una prima stima esatta della coordinata della stazione OL01, essa è stata inquadrata utilizzando stazioni permanenti GNSS che si trovano sul territorio limitrofo e gestite da SPIN GNSS (Servizio di Posizionamento Interregionale GNSS di Regione Piemonte e Regione Lombardia) che mette a disposizione i dati RINEX delle stazioni permanenti che compongono la rete stessa oltre che a fornire servizi di posizionamento in tempo reale a fini catastali.

Per inquadrare il sito OL01 sono state scelte le seguenti stazioni:

- CREA (Crema), *baseline* pari a 18.6km;
- CREM (Cremona), *baseline* pari a 45.1km;
- MILA (Milano), *baseline* pari a 27.9km;
- PAVI (Pavia), *baseline* pari a 27.6km;

Le stazioni sono a loro volta inquadrate nel sistema ETRF2000(2008.0) con le coordinate fornite da SPIN GNSS secondo l'inquadramento della Rete Dinamica Nazionale gestita dall'Istituto Geografico Militare.

Per l'elaborazione è stato utilizzato il software Topcon Tools (v8.2) e sono state utilizzate sessioni di lunghezza pari a 8 ore con campionamento a 1 secondo. Il giorno di riferimento è il DOY (giorno dell'anno) 302/2016 (28/10/2016), come indicato in ***Tabella*** . Nella ***Tabella*** 7 le coordinate ottenute per la stazione OL01.

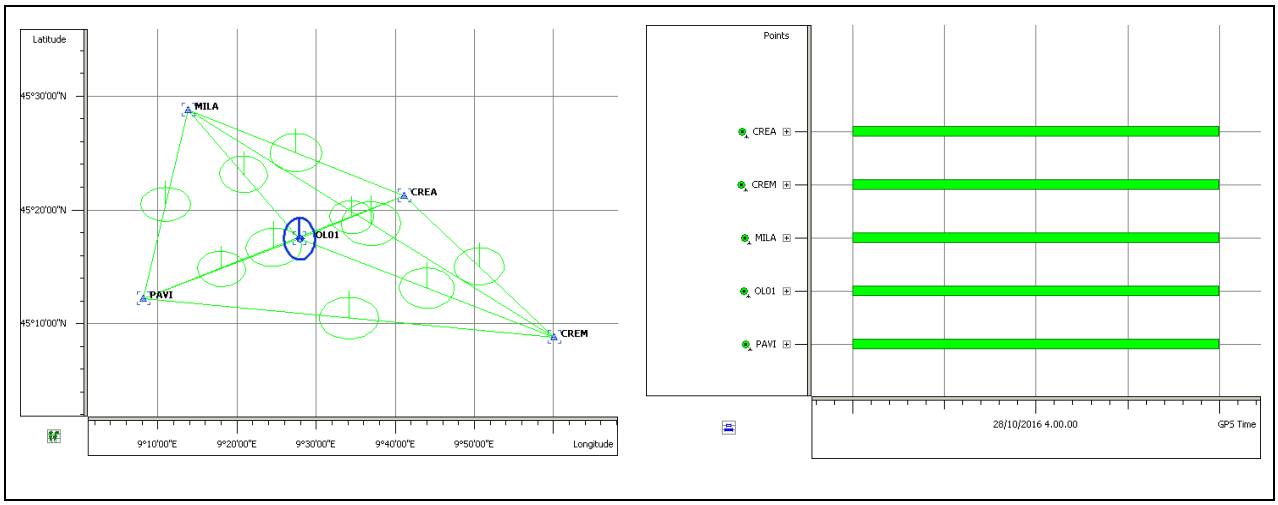


Tabella 6 *- Schema grafico dell'inquadramento con i siti utilizzati (PAVI; MILA; CREM e CREA) e lunghezza della sessione utilizzata per l'inquadramento.*

SITE CODE	LOCALITA'	RICEVITORE	ANTENNA	LAT LON	QUOTA [m]
PAVI	Pavia	TPS NET-G5 (GPS+GLO)	TPSCR3_GGD CONE	45°12'10,73212"N 9°08'10,10393"E	143,636
MILA	Milano	TPS NET-G3 (GPS+GLO)	TPSCR3_GGD CONE	45°28'47,94818"N 9°13'45,62699"E	187,275
CREM	Cremona	TPS ODYSSEY_E (GPS+GLO)	TPSCR3_GGD CONE	45°08'47,92729"N 10°00'07,02572"E	102,736
CREA	Crema	TPS ODYSSEY_E (GPS+GLO)	TPSCR3_GGD CONE	45°21'15,59235"N 9°41'07,09675"E	129,818
OL01	**Cornegliano Laudense**	**TPS NET-G5 (GPS+GLO)**	**CR-G5 (TPSH)**	**45°17'28,17435"N 9°27'53,47318"E**	**121,254**

Tabella 7 *- Coordinate ETRF2000(2008.0) delle stazioni PAVI, MILA, CREM e CREA utilizzate per la georeferenzazione del sito OL01.*

Bibliografia

Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, and E. Boschi (2008). The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014

Caciagli M., R. Camassi, S. Danesi, S. Pondrelli, and S. Salimbeni (2015). Can We Consider the 1951 Caviaga (Northern Italy) Earthquakes as Noninduced Events? *Seismol. Res.* Let., 86 (5), Early Edition, doi: 10.1785/0220150001

Caloi P., M. De Panfilis, D. Di Filippo, L. Marcelli, and M. C. Spadea (1956). Terremoti della Val Padana del 15-16 maggio 1951*, Ann. Geofis.* 9, 1, 63-105.

Channell J.E.T., B. D' Argenio, and F. Horvath (1979). Adria, the African promontory, in Mesozoic Mediterranean paleogeography. *Earth Sciences Reviews*, v.15, pp. 213-292.

Dercourt J., L. P. Zonenshain, L. E. Ricou, and B. Vrielynck (1986). Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias. *Tectonophysics*, 123, 241–315.

DISS Working Group (2015). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma, Italy, http://diss.rm.ingv.it/diss

Locati M., R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. *DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano.* Milano, Bologna, http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11, DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15

Pieri M. & Groppi G. (1981). Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy. *CNR, Prog. Final. Geodinamica,* pubbl. n. 414, Napoli.

Priolo E. (Resp. Scient.) (2015a). *Progetto per la realizzazione dell'infrastruttura di monitoraggio sismico per la concessione di stoccaggio di gas naturale "Cornegliano Stoccaggio" presso Cornegliano Laudense (LO*). Allegato a Offerta Prot. n. 3494/2015 dd. 11 giugno 2015, OGS, Sgonico.

Priolo E. (Resp. Scient.) (2015b). *Progetto per la realizzazione dell'infrastruttura di monitoraggio sismico per la concessione di stoccaggio di gas naturale "Cornegliano Stoccaggio" presso Cornegliano Laudense (LO*). Relazione sull'attività di scouting per l'individuazione dei siti. OGS, Sgonico, 11 settembre 2015. Rel. OGS 2015/68 Sez. CRS 23.

Rovida A., R. Camassi, P. Gasperini and M. Stucchi (eds.) (2011). *CPT11, the 2011 version of the Parametric catalogue of Italian Earthquakes.* Milano, Bologna, http://emidius.mi.ingv.it/CPTI.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15

UNMIG (2014). Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche, 38 pp. Disponibile presso: http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/agenda/upload/85_238.pdf

Vannoli P., P. Burrato, and G. Valensise (2014). The seismotectonic of the Po Plain (northern Italy): tectonic diversity in a blind faulting domain. *Pure and Applied Geophysics*, 172 (5), 1105-1142, doi: 10.1007/s00024-014-0873-0.

Recapito

Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS)
Sezione Scientifica Centro di Ricerche Sismologiche
Borgo Grotta Gigante 42/c, 34010 Sgonico (Trieste)

Dott. Enrico Priolo
Tel.: 040 2140351; Cell.: 320 4324734
e-mail: epriolo@inogs.it
skype: epriolo

Il Responsabile Scientifico del Progetto
Dott. Enrico Priolo

Appendice A – Terremoti storici

In quest'Appendice sono riportate le mappe dei campi macrosismici stimati per i terremoti storici avvenuti nell'area del lodigiano ed elencati in **Tabella 1**. Fonte DBMI15 (Locati et al., 2016); i parametri dei terremoti sono presi dal catalogo CPT15 (Rovida et al., 2016).

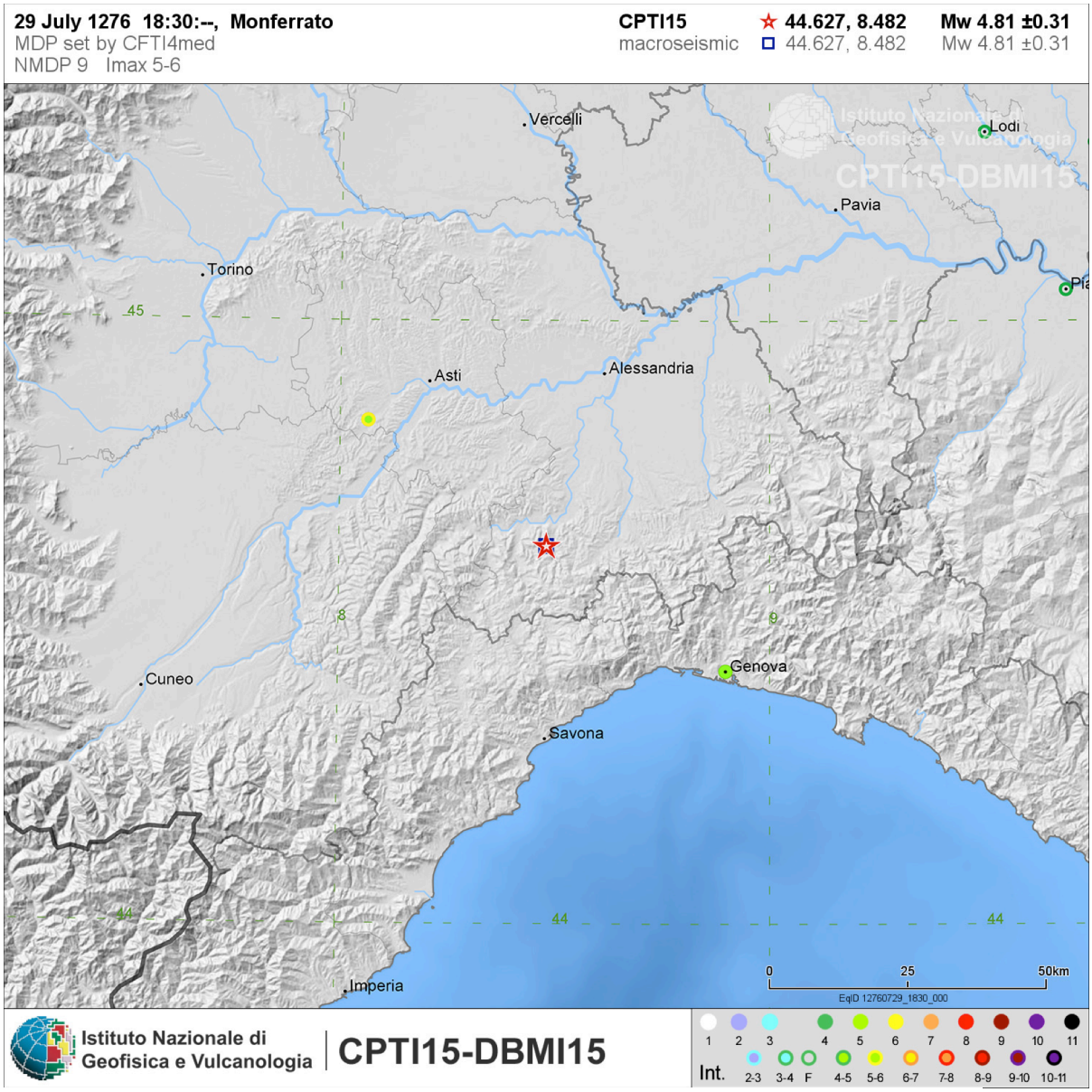


Figura A1 *– Campo macrosismico del terremoto del 29/7/1276 del Monferrato.*

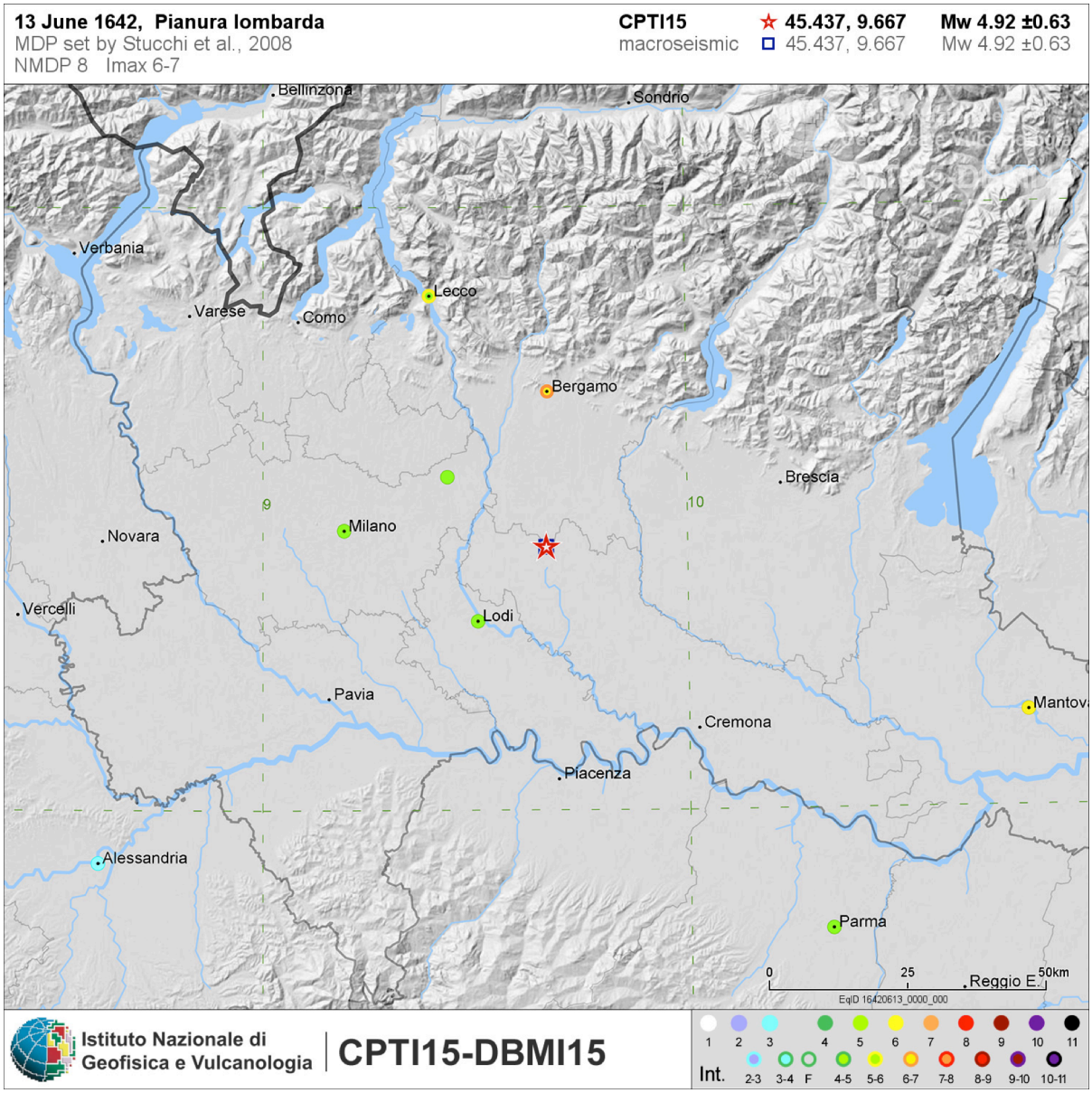


Figura A2 *– Campo macrosismico del terremoto del 13/6/1642 della Pianura lombarda.*

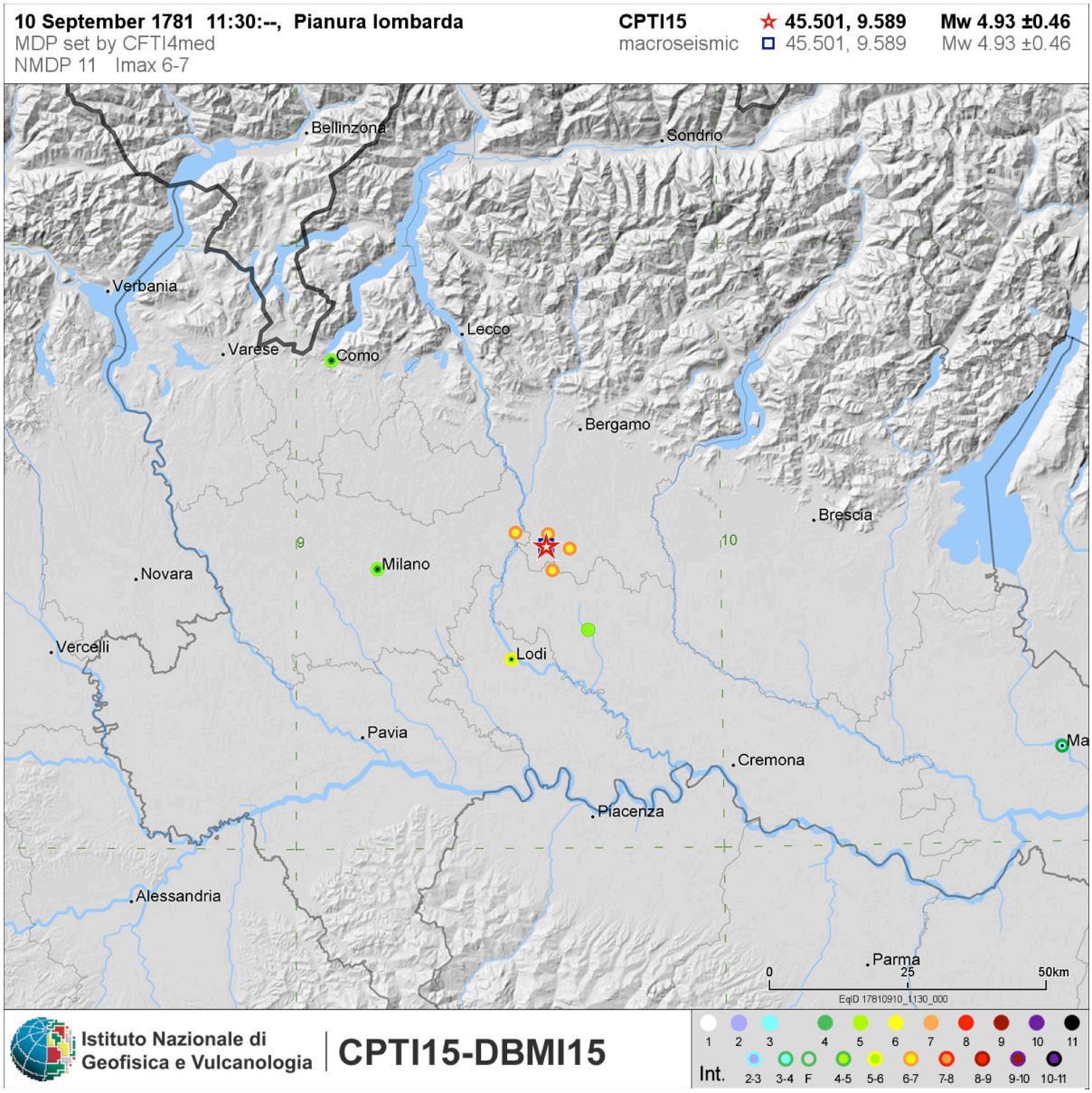


Figura A3 *– Campo macrosismico del terremoto del 10/9/1781 della Pianura lombarda.*

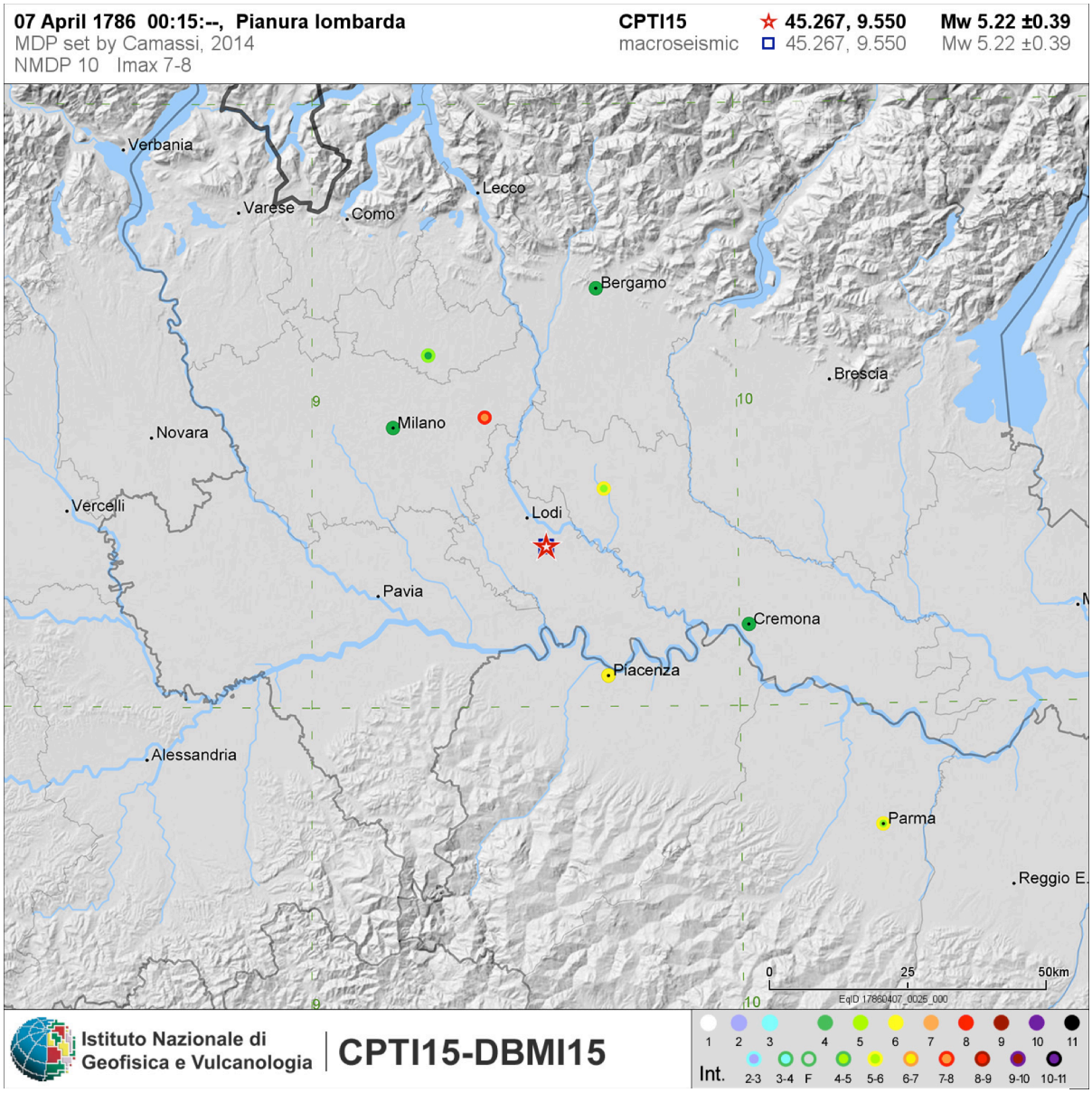


Figura A4 *– Campo macrosismico del terremoto del 7/4/1786 della Pianura lombarda.*

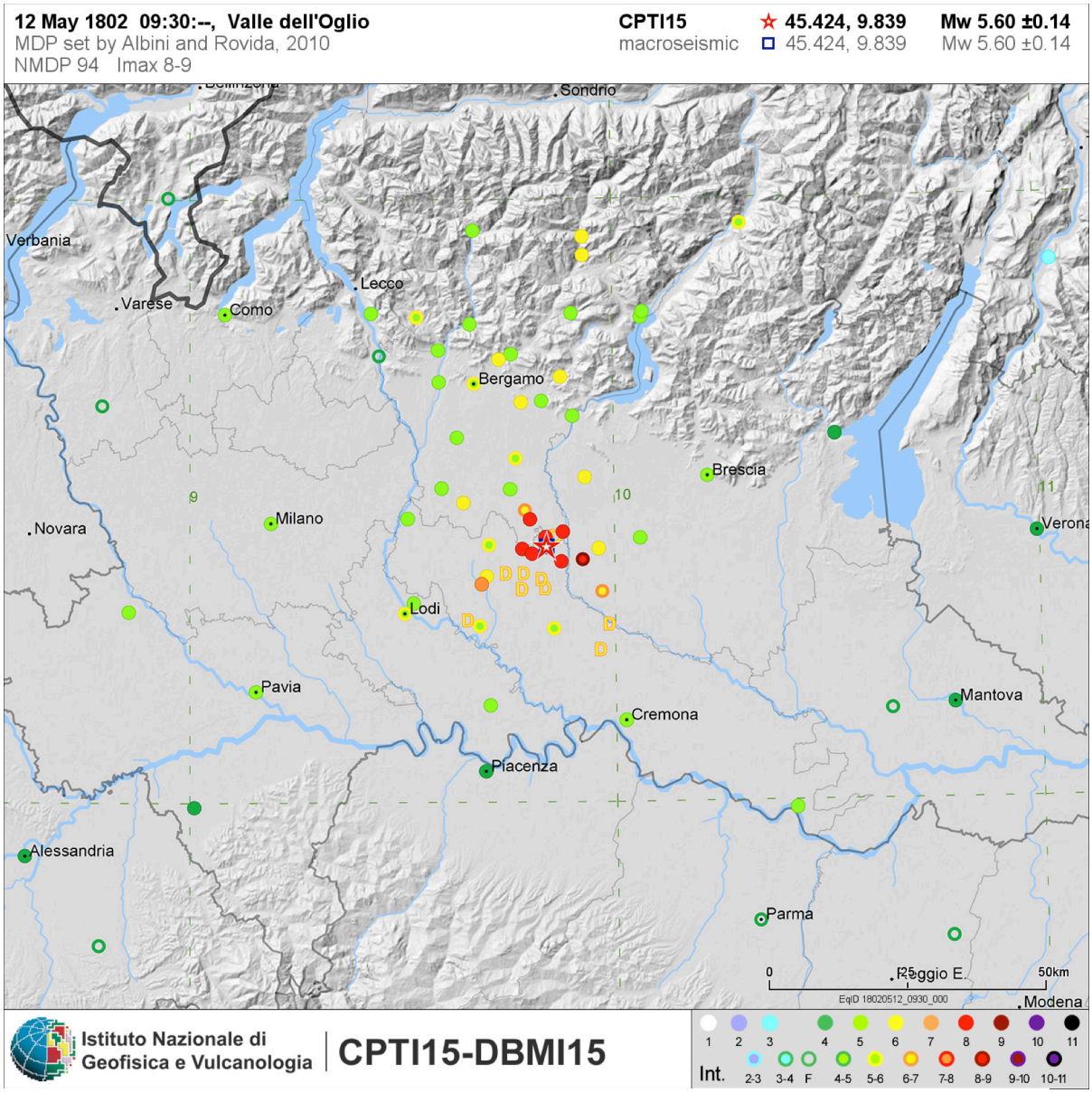


Figura A5 *– Campo macrosismico del terremoto del 12/5/1802 della Valle dell'Oglio.*

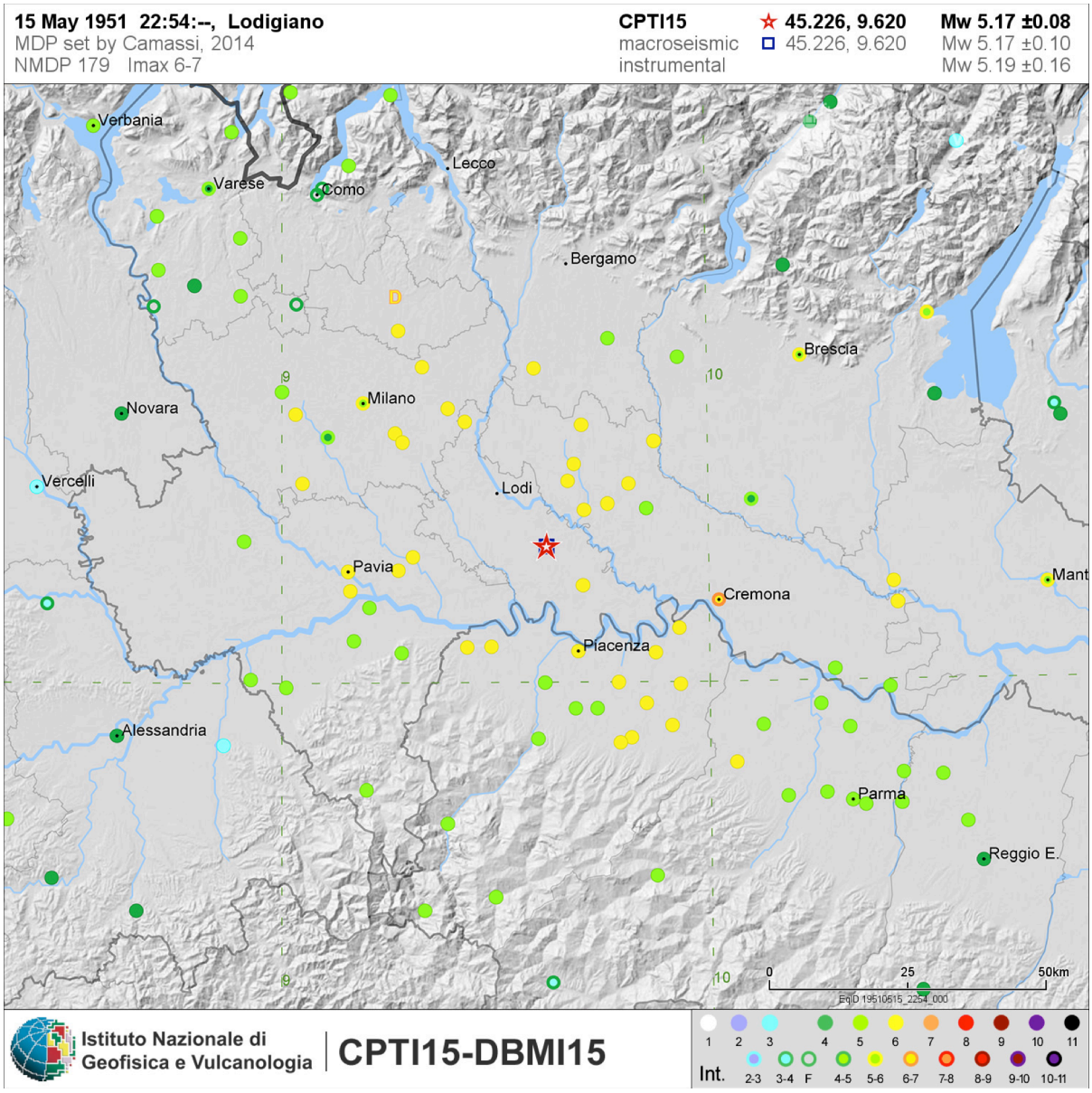


Figura A6 *– Campo macrosismico del terremoto del 19/5/1951 del Lodigiano, noto anche come terremoto di Caviaga.*

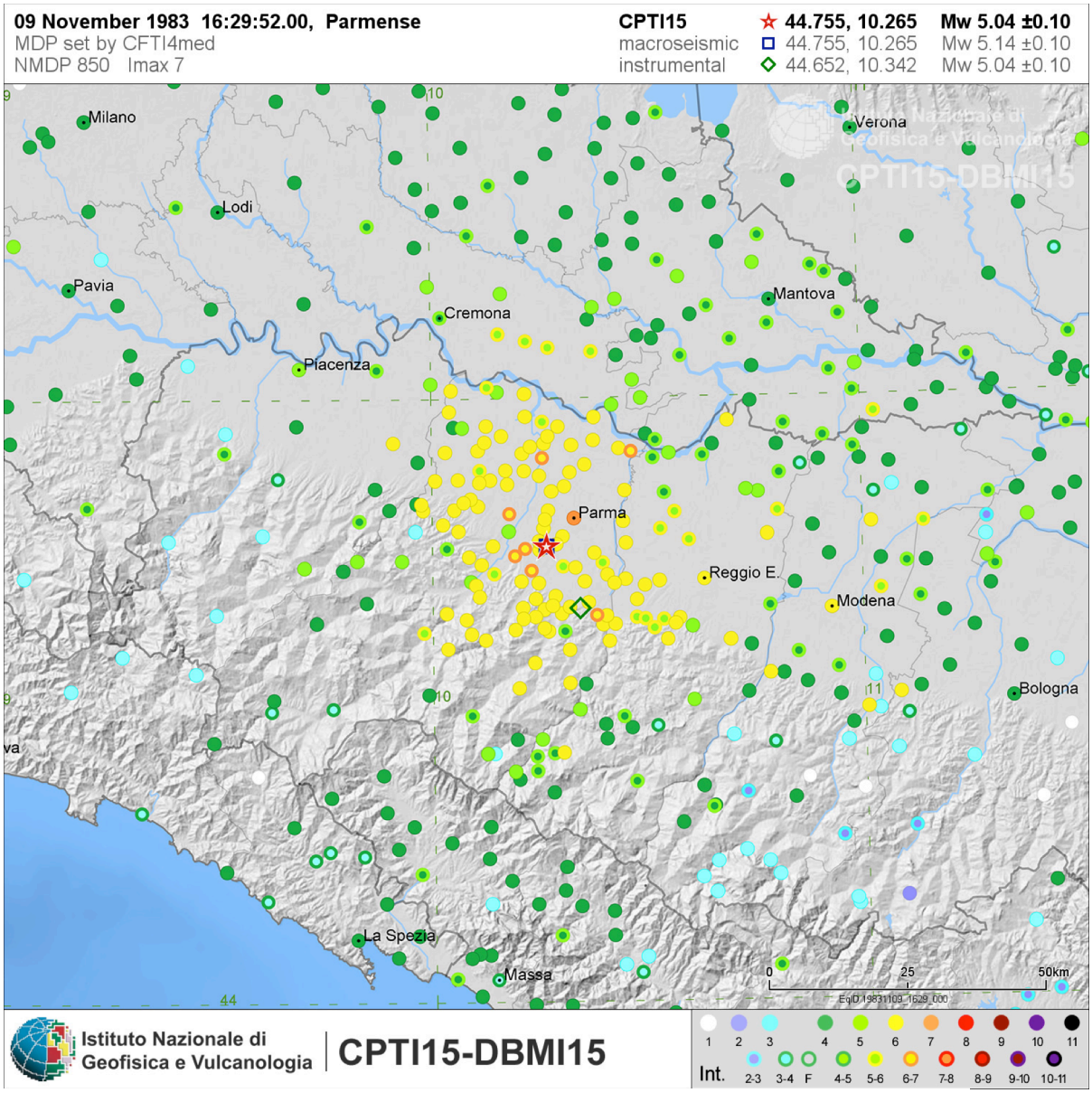
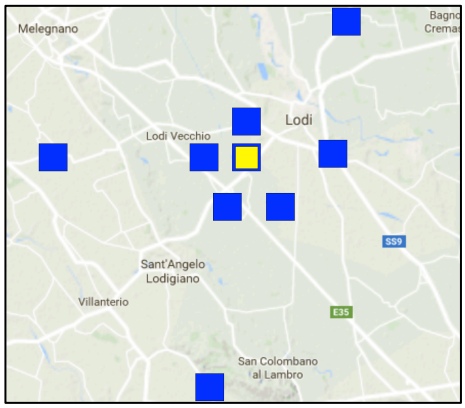
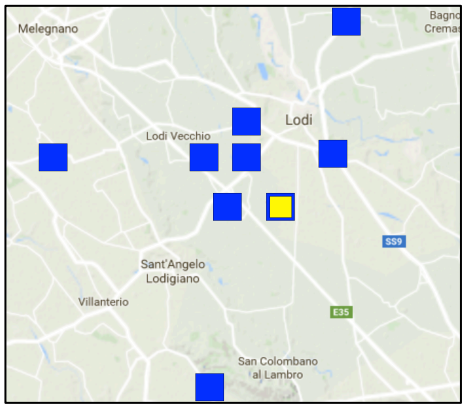


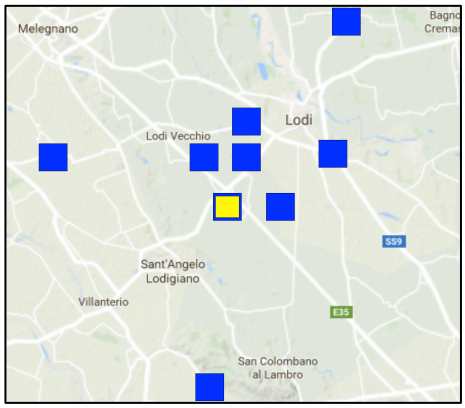
Figura A7 *– Campo macrosismico del terremoto del 9/11/1983 del parmense.*

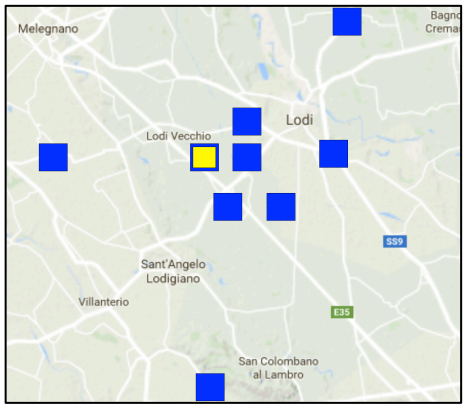
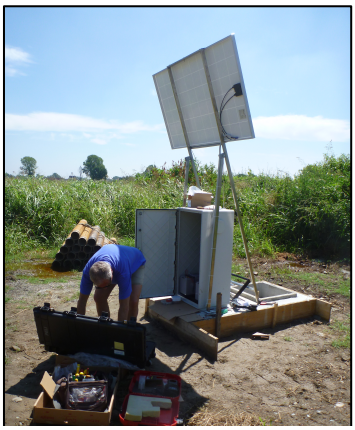
Appendice B - Schede di stazione

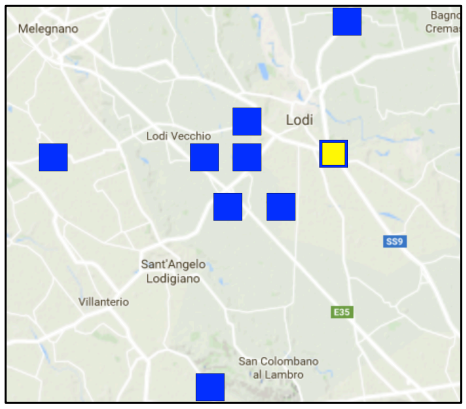
Nel seguito sono riportate, per ogni stazione, delle schede sintetiche contenenti le informazioni riguardanti i siti e la strumentazione installata. Le schede sono complessivamente 10, di cui 9 per le stazioni OL## della RMCL e una per la stazione CTL8 di INGV che integra la RMCL in direzione Est.

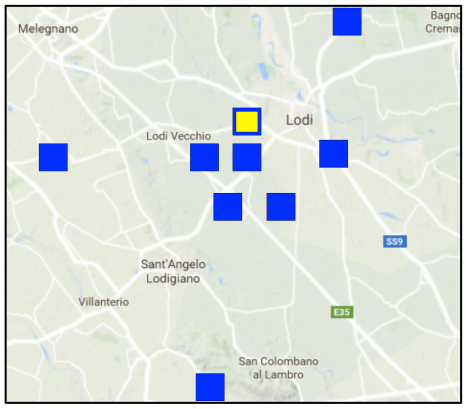
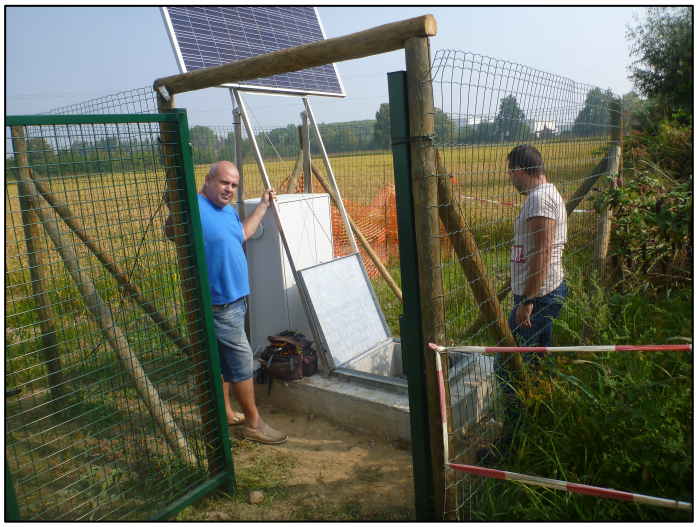
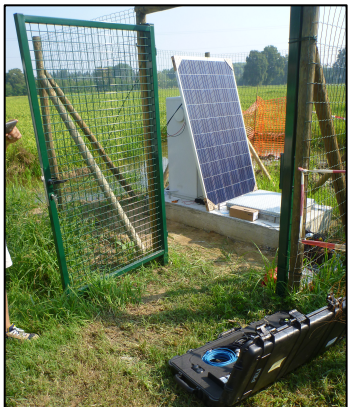
Codice Stazione: OL01	**Nome:** Cornegliano Laudense – Cluster A –
Tipo di stazione: Stazione sismometrica con sismometro compatto e accelerometro	
 	  
Località	Cornegliano Laudense, prossimità del Cluster A
Indirizzo	
Quota (m s.l.m.)	72 m
Coord (WGS84)	Lat, Lon = 45.291133, 9.464850
Coord (Gaus-Boaga, Roma 1940)	Fuso Ovest: Lat, Lon = 5015417.166; 1536478.365 Fuso Est: Lat, Lon = 5030233.919; 2085966.803
Monumentazione:	Pozzo: prof. 75m, Ø = 108 mm, sensore fondo pozzo
Acquisitore:	Guralp–Minimus MIN-8E55 in acquisizione continua con campionamento a 200 Hz
Sensore 1:	Accelerometro Guralp - Fortis
Sensore 2:	Sismometro compatto Guralp - Radian T44 (RA0FAB) (T = 120 s, fmax = 200 Hz); Profondità 75 m
Trasmissione dati	Modem-router 3G UMTS/HSPA Conel mod. UR5i v2
Data di prima installazione:	16/09/2016

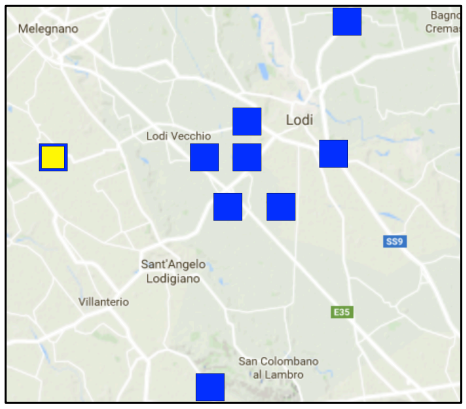
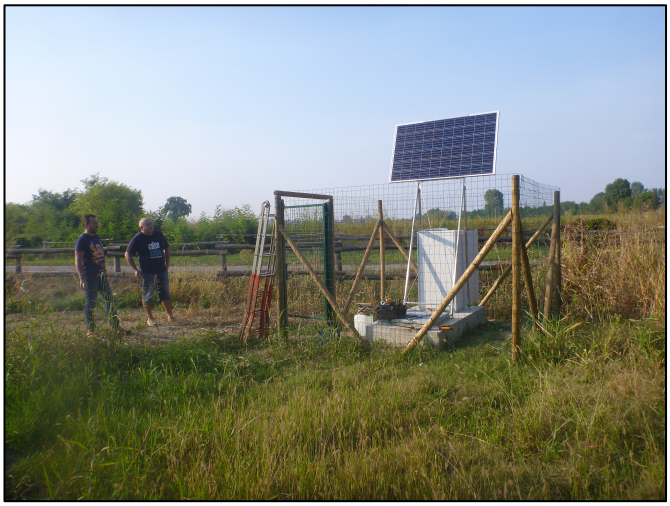
Codice Stazione: OL02	**Nome:** Massalengo
Tipo di stazione: Stazione sismometrica con sismometro compatto e accelerometro	
 	 
Località	Massalengo (LO)
Indirizzo	Strada Comunale, c/o Sigg. N. Mazzi e M. Comizzoli
Quota (m s.l.m.)	71 m
Coord (WGS84)	Lat, Lon = 45.266917, 9.485002
Coord (Gaus-Boaga, Roma 1940)	Fuso Ovest: Lat, Lon = 5012736.222; 1538074.866 Fuso Est: Lat, Lon = 5027435.160; 2087362.487
Monumentazione:	Pozzo: prof. 75 m, Ø = 108 mm, sensore fondo pozzo
Acquisitore:	Guralp–Minimus MIN-8955 in acquisizione continua con campionamento a 200 Hz
Sensore 1:	Accelerometro Guralp - Fortis
Sensore 2:	Sismometro compatto Guralp - Radian T36 (RA0FAD) (T = 120 s, fmax = 200 Hz); Profondità 75 m
Trasmissione dati	Modem-router 3G UMTS/HSPA Conel mod. UR5i v2
Data di prima installazione:	16/09/2016

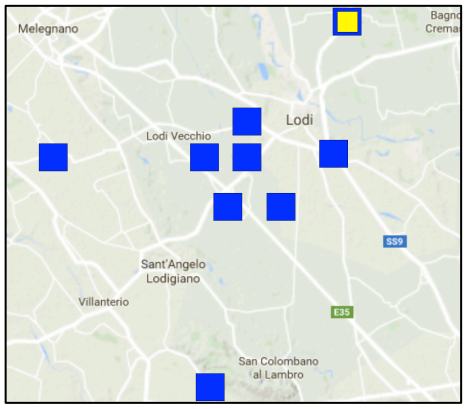
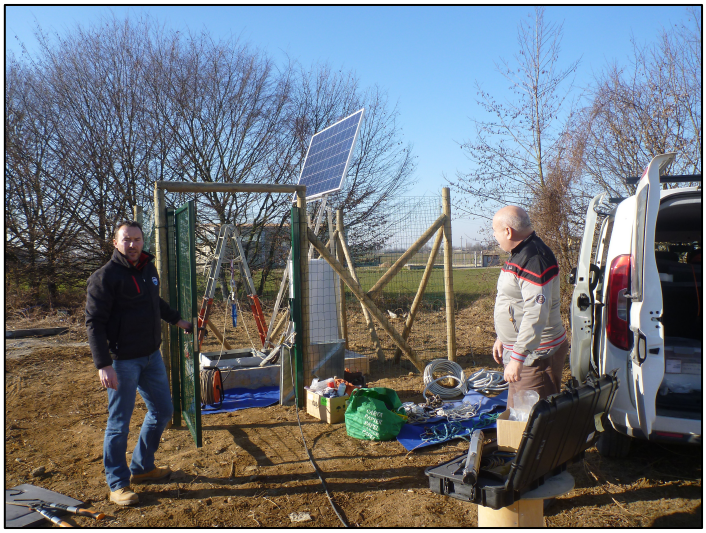
Codice Stazione: OL03	**Nome:** Pieve Fissiraga – Loc. Castagna -
Tipo di stazione: Stazione sismometrica con sismometro compatto e accelerometro	
 	  
Località	Pieve Fissiraga (LO)
Indirizzo	Cascina Castagna, c/o sigg. Toninelli
Quota (m s.l.m.)	70 m
Coord (WGS84)	Lat, Lon = 45.266723, 9.453194
Coord (Gaus-Boaga, Roma 1940)	Fuso Ovest: Lat, Lon = 5012700.145; 1535579.639 Fuso Est: Lat, Lon = 5027585.245; 2084865.767
Monumentazione:	Pozzo: prof. = 75 m, Ø = 108 mm, sensore fondo pozzo
Acquisitore:	Guralp–Minimus MIN-8B55 in acquisizione continua con campionamento a 200 Hz
Sensore 1:	Accelerometro Guralp - Fortis
Sensore 2:	Sismometro compatto Guralp - Radian T45 (RA0FAA) (T = 120 s, fmax = 200 Hz); Profondità 75 m
Trasmissione dati	Modem-router 3G UMTS/HSPA Conel mod. UR5i v2
Data di prima installazione:	16/09/2016

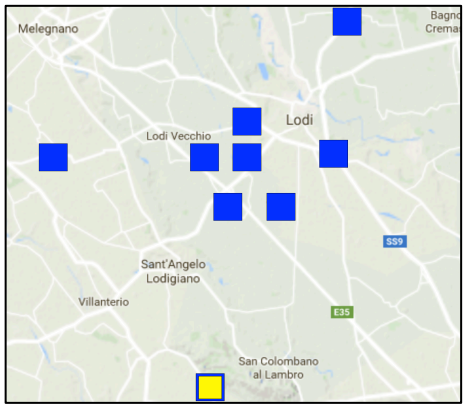
Codice Stazione: OL04	**Nome:** Lodivecchio –Loc. Comasina -
Tipo di stazione: Stazione sismometrica con sismometro compatto e accelerometro	
 	  
Località	Comasina (comune di Lodivecchio, LO)
Indirizzo	Cascina Taietta, c/o sig. C. Secondi
Quota (m s.l.m.)	78 m
Coord (WGS84)	Lat, Lon = 45.290477, 9.435672
Coord (Gaus-Boaga, Roma 1940)	Fuso Ovest: Lat, Lon = 5015331.494; 1534190.735 Fuso Est: Lat, Lon = 5030319.020; 2083673.849
Monumentazione:	Pozzo: prof. = 73 m, Ø = 108 mm, sensore fondo pozzo
Acquisitore:	Guralp–Minimus MIN-8D55 in acquisizione continua con campionamento a 200 Hz
Sensore 1:	Accelerometro Guralp - Fortis
Sensore 2:	Sismometro compatto Guralp - Radian T43 (RA0) (T = 120 s, fmax = 200 Hz); Profondità 73 m
Trasmissione dati	Modem-router 3G UMTS/HSPA Conel mod. UR5i v2
Data di prima installazione:	16/09/2016

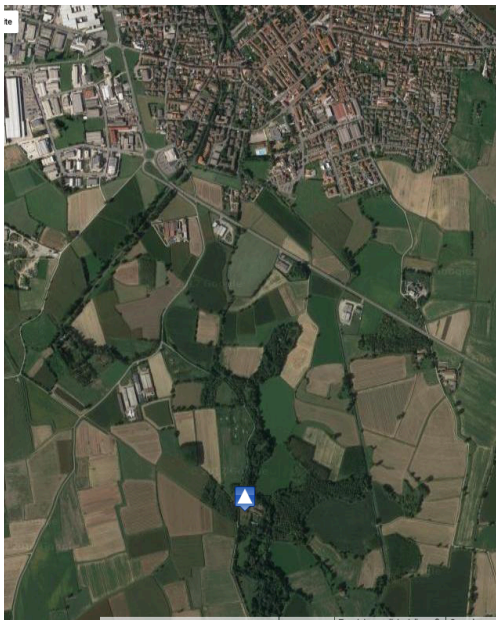
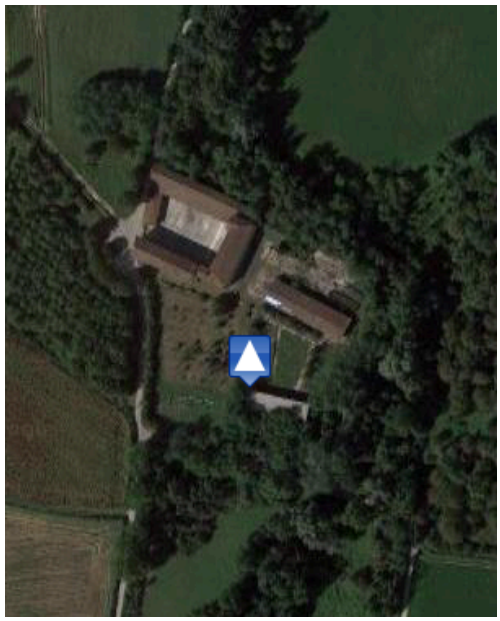
Codice Stazione: OL05	**Nome:** Lodi –Loc. Cavrigo -
Tipo di stazione: Stazione sismometrica con sismometro compatto e accelerometro	
 	  
Località	Lodi (LO)
Indirizzo	Cascina Cavrigo, c/o sig. G. Molinari
Quota (m s.l.m.)	75 m
Coord (WGS84)	Lat, Lon = 45.293630, 9.526859
Coord (Gaus-Boaga, Roma 1940)	Fuso Ovest: Lat, Lon = 5015724.490; 1541339.124 Fuso Est: Lat, Lon = 5030178.330; 2090848.022
Monumentazione:	Pozzo prof. = 75 m, Ø = 108 mm, sensore fondo pozzo
Acquisitore:	Guralp–Minimus MIN-8C55 in acquisizione continua con campionamento a 200 Hz
Sensore 1:	Accelerometro Guralp - Fortis
Sensore 2:	Sismometro compatto Guralp - Radian T37 (RA0FA3) (T = 120 s, fmax = 200 Hz); Profondità 75 m
Trasmissione dati	Modem-router 3G UMTS/HSPA Conel mod. UR5i v2
Data di prima installazione:	16/09/2016

Codice Stazione: OL06	**Nome:** Lodi –Loc. Bracca -
Tipo di stazione: Stazione sismometrica con sismometro compatto e accelerometro	
 	  
Località	Lodi (LO)
Indirizzo	Cascina Bracca, c/o S.E.G.I. srl
Quota (m s.l.m.)	77 m
Coord (WGS84)	Lat, Lon = 45.309150, 9.464777
Coord (Gaus-Boaga, Roma 1940)	Fuso Ovest: Lat, Lon = 5017418.727; 1536461.054 Fuso Est: Lat, Lon = 5032235.806; 2086098.903
Monumentazione:	Pozzo prof. = 75 m, Ø = 108 mm, sensore fondo pozzo
Acquisitore:	Guralp–Minimus MIN-8555 in acquisizione continua con campionamento a 200 Hz
Sensore 1:	Accelerometro Guralp – Fortis
Sensore 2:	Sismometro compatto Guralp – Radian T40 (RA0FAE) (T = 120 s, fmax = 200 Hz); Profondità 75 m
Trasmissione dati	Modem-router 3G UMTS/HSPA Conel mod. UR5i v2
Data di prima installazione:	16/09/2016

Codice Stazione: OL07	**Nome:** Gugnano
Tipo di stazione: Stazione sismometrica con sismometro compatto e accelerometro	
 	  
Località	Gugnano (commune di Casaletto Lodigiano, LO)
Indirizzo	via Mulino, c/o sigg. E. Farini, A. Faini e R. Frigoli
Quota (m s.l.m.)	77 m
Coord (WGS84)	Lat, Lon = 45.291950, 9.325655
Coord (Gaus-Boaga, Roma 1940)	Fuso Ovest: Lat, Lon = 5015454.319; 1525562.963 Fuso Est: Lat, Lon = 5031085.794; 2075058.741
Monumentazione:	Pozzo prof. = 75 m, Ø = 108 mm, sensore fondo pozzo
Acquisitore:	Guralp–Minimus MIN-9755 in acquisizione continua con campionamento a 200 Hz
Sensore 1:	Accelerometro Guralp - Fortis
Sensore 2:	Sismometro compatto Guralp – Radian T39 (RA0FA4) (T = 120 s, fmax = 200 Hz); Profondità 75 m
Trasmissione dati	Modem-router 3G UMTS/HSPA Conel mod. UR5i v2
Data di prima installazione:	16/09/2016

Codice Stazione: OL08	**Nome:** Dovera
Tipo di stazione: Stazione sismometrica con sismometro compatto e accelerometro	
 	  
Località	Dovera (CR)
Indirizzo	Via Cristoforo Colombo, c/o isola ecologica
Quota (m s.l.m.)	75 m
Coord (WGS84)	Lat, Lon = 45.362184, 9.539288
Coord (Gaus-Boaga, Roma 1940)	Fuso Ovest: Lat, Lon = 5023346.926; 1542262.669 Fuso Est: Lat, Lon = 5037727.620; 2092340.230
Monumentazione:	Pozzo prof. = 75 m, Ø = 108 mm, sensore fondo pozzo
Acquisitore:	Guralp–Minimus MIN-8°55 in acquisizione continua con campionamento a 200 Hz
Sensore 1:	Accelerometro Guralp – Fortis
Sensore 2:	Sismometro compatto Guralp – Radian T38 (RA0FA8) (T = 120 s, fmax = 200 Hz); Profondità 75 m
Trasmissione dati	Modem-router 3G UMTS/HSPA Conel mod. UR5i v2
Data di prima installazione:	Dovera (CR)

Codice Stazione: OL09	**Nome:** Miradolo
Tipo di stazione: Stazione sismometrica con sismometro compatto e accelerometro	
 	  
Località	Miradolo Terme (PV)
Indirizzo	Strada degli Spinedi, c/o cimitero
Quota (m s.l.m.)	70 m
Coord (WGS84)	Lat, Lon = 45.170908, 9.438682
Coord (Gaus-Boaga, Roma 1940)	Fuso Ovest: Lat, Lon = 5002049.430; 1534499.270 Fuso Est: Lat, Lon = 5017019.867; 2082991.963
Monumentazione:	Pozzo prof. = 75 m, Ø = 108 mm, sensore fondo pozzo
Acquisitore:	Guralp–Minimus MIN-7755 in acquisizione continua con campionamento a 200 Hz
Sensore 1:	Accelerometro Guralp - Fortis
Sensore 2:	Sismometro compatto Guralp - Radian T42 (RA0FA6) (T = 120 s, fmax = 200 Hz); Profondità 75 m
Trasmissione dati	Modem-router 3G UMTS/HSPA Conel mod. UR5i v2
Data di prima installazione:	16/09/2016

Codice Stazione: CTL8	**Nome:** Castelleone
Tipo di stazione: Stazione sismometrica con accelerometro	
Proprietario: INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	
	
Località	Castelleone (CR)
Indirizzo	Villa Stella, 1, 26012
Quota (m s.l.m.)	66 m
Coord (WGS84)	Lat, Lon = 45.27550, 9.76210
Coord (Gaus-Boaga, Roma 1940)	Fuso Ovest: Lat, Lon = Fuso Est: Lat, Lon =
Monumentazione:	
Acquisitore:	GAIA2-FS-40-VPP (INGV-CNT-LABSIS) GAIA2-FS-2-VPP (INGV-CNT-LABSIS)
Sensore 1:	EPISENSOR-FBA-ES-T (KINEMETRICS)
Sensore 2:	MALIN (MALIN)
Trasmissione dati	UMT (Modem UMTS)
Data di prima installazione:	07/06/2006
Dati da: "Luzi L, Puglia R, Russo E & ORFEUS WG5 (2016). *Engineering Strong Motion Database, version 1.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Observatories & Research Facilities for European Seismology. doi: 10.13127/ESM"	