



Istituto Nazionale di Oceanografia e
di Geofisica Sperimentale - OGS
Centro di Ricerche Sismologiche - CRS

Accordo istituzionale di collaborazione ai sensi dell'art. 15 L. 241/1990 tra Regione Veneto e OGS stipulato il 20 aprile 2020 per l'attuazione dell'Azione 5.3.1 del POR FESR 2014-2019 "Integrazione e sviluppo di sistemi di prevenzione multirischio, anche attraverso reti digitali interoperabili di coordinamento operativo precoce" (D.G.R. n. 624 del 14 maggio 2019).

Project Action Plan

Il Direttore del CRS, Prof. Stefano Parolai

Udine, 13 luglio 2020

Sommario

Introduzione	3
WP0. Gestione del progetto	5
WP1. Monitoraggio di fenomeni transienti di deformazione: legame con il ciclo sismico e relazione con contenuto e movimenti di fluidi	5
WP2. Caratterizzazione della risposta sismica locale per le porzioni di territorio a più alto rischio sismico	7
WP3. Disposizione di un sistema di sensori in tempo reale per la stima del moto del suolo in campo libero e/o in scenario urbano per la stima di danni all'interno di edifici strategici e rilevanti per accelerare la risposta del sistema di protezione civile in condizioni di emergenza a seguito di eventi sismici	11
WP4. Comunicazione	18
Calendario delle attività e deliverables	20
Budget	21
Scheda di approfondimento 1 – Criteri di sviluppo della rete GNSS	23
<i>Riferimenti bibliografici</i>	<i>27</i>
Scheda di approfondimento 2 – Criteri di scelta dei siti accelerometrici	29
<i>Riferimenti bibliografici</i>	<i>30</i>
Scheda di approfondimento 3 – Descrizione e specifiche della “Tavola Vibrante” adibita alla calibrazione di sismometri e accelerometri	35
<i>Riferimenti bibliografici</i>	<i>38</i>

Introduzione

In base all'Accordo di Collaborazione stipulato con la Regione Veneto il 20 aprile 2020, l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS (di seguito OGS) si impegna a collaborare con la Regione del Veneto al fine di perseguire gli obiettivi dell'Azione 5.3.1 del POR FESR 2014-2020 "Integrazione e sviluppo di sistemi di prevenzione multirischio, anche attraverso reti digitali interoperabili di coordinamento operativo precoce". In particolare, in base all'art. 3 dell'Accordo, l'OGS è tenuto a:

a) predisporre la proposta progettuale (Project Action Plan) di cui all'art. 7, che definisce puntualmente le tempistiche e le modalità di realizzazione delle attività di cui alle successive lettere da b) ad h);

b) realizzare l'infrastruttura di acquisizione dati geofisici per gli scopi del progetto e l'interconnessione con le infrastrutture già esistenti;

c) curare l'installazione e la gestione operativa delle reti di sensori mantenendo in efficienza tutte le apparecchiature, effettuando il controllo e l'elaborazione dei dati acquisiti e il loro inserimento nei database strutturati appositamente dedicati;

d) curare l'archiviazione dei dati stessi e delle informazioni rilevanti derivate inviandole alle strutture della Regione del Veneto interessate agli scopi del progetto;

e) fornire assistenza tecnico-scientifica, mettendo a disposizione il proprio personale tecnico;

f) effettuare con continuità l'analisi approfondita dei dati di monitoraggio, realizzando report specifici in occasione di eventi significativi e report annuali di sintesi dei principali dati ed eventi registrati dalle reti di monitoraggio;

g) assolvere i compiti e le funzioni definite nel presente Accordo nel rispetto delle norme comunitarie, nazionali e regionali applicabili per l'intero periodo di attuazione;

h) raccogliere e trasmettere tramite il Sistema Informativo Unificato della Programmazione Unitaria (SIU) i dati relativi all'attuazione degli interventi necessari alla gestione finanziaria, alla sorveglianza, alle verifiche, agli audit, nonché alla valutazione e alimentazione periodica del sistema informatizzato previsto dalla Regione.

Il presente documento costituisce la proposta progettuale (Project Action Plan) prevista dagli articoli 3 e 7 dell'Accordo. Qui di seguito verranno descritte fasi e modalità di realizzazione di tutte le attività, definendo cronoprogramma e deliverables del progetto, evidenziando la divisione di compiti e responsabilità. Il Project Action Plan è esplicitato in

cinque “Work Package” (WP nel seguito) suddivisi in Task. Vi sono 3 WP relativi alla parte implementativa del progetto più un WP riguardante la comunicazione, e il WP0 di gestione del progetto. Il presente documento include due tabelle: una cronologica, riassuntiva sull’evoluzione del progetto (Calendario delle attività), e una relativa alla suddivisione del budget per WP. Vi sono inoltre tre Schede di Approfondimento che trattano in dettaglio alcuni aspetti tecnico/scientifici alla base dei WP 1 e 3.

WP0. Gestione del progetto

OGS si occuperà della gestione del progetto e in particolare, in questo work package, verranno definiti e formalizzati tutti gli accordi necessari per garantire lo svolgimento del progetto come previsto dalla tabella di marcia. Verranno redatti tutti i bandi necessari al reclutamento di personale, quando necessario, e all'acquisto della strumentazione e del materiale del progetto. Il WP0 si occuperà di monitorare lo stato di avanzamento del lavoro degli appaltatori e faciliterà la cooperazione tra OGS e gli stessi. Infine, la gestione del progetto curerà la rendicontazione secondo le regole previste dal Manuale Procedurale Programma Operativo Regionale Si.Ge.Co. Allegato B al Decreto n. 98 del 30/07/2019.

WP1. Monitoraggio di fenomeni transienti di deformazione: legame con il ciclo sismico e relazione con contenuto e movimenti di fluidi

Le misure geodetiche, come quelle provenienti da reti di sensori permanenti GNSS (Global Navigation Satellite Systems) in aree sismicamente attive possono fornire preziose informazioni sia sulle modalità di accumulo che di rilascio della deformazione e dello sforzo nelle fasi intersismiche e cosismiche, contribuendo quindi al miglioramento delle stime di pericolosità dell'area in esame. Tuttavia, soprattutto per mettere in luce eventuali deformazioni transienti di origine tettonica nelle fasi intersismiche, è necessario distinguere i contributi di diversa origine, non ultimi quelli legati al carico idrologico, soggetto a variazioni stagionali e multiannuali. Inoltre, recenti studi hanno evidenziato una stretta correlazione tra sismicità ed il carico superficiale idraulico indotto dalle precipitazioni atmosferiche, sia nel breve periodo (ultimi anni) che nel lungo termine (forti terremoti dell'ultimo millennio). Si utilizzeranno tecniche di analisi multivariata e frattale per evidenziare possibili fenomeni transienti nei dati sismometrici, geodetici e idrologici a disposizione, caratterizzarli e mapparne l'eventuale migrazione nel tempo. In aree come quella Veneta, caratterizzata dalla presenza di diverse strutture potenzialmente sismogenetiche di dimensioni relativamente piccole, è importante che la rete di monitoraggio sia non solo efficiente, ma anche sufficientemente fitta. Nella regione e nel suo intorno sono operanti diverse reti, tra le quali è generalmente attivo un fattivo scambio di dati. Nell'ambito del progetto si prevede di migliorare la copertura della rete GNSS di OGS "FReDNet" in Veneto installando almeno 2 nuove stazioni permanenti e aggiornando la strumentazione di altre tre stazioni OGS già operanti nella regione, situate ad Alpe Faloria (Cortina d'Ampezzo), Noventa di Piave e

Susegana. Tutti i dettagli sullo stato attuale e sui criteri di sviluppo della rete GNSS sono forniti nella Scheda di Approfondimento 1 del presente documento.

Per quanto concerne l'attività sismica si utilizzeranno i dati della Rete Sismometrica del Veneto gestita da OGS sempre in collaborazione con la Regione Veneto.

Nell'ambito del progetto si intendono approfondire gli studi sulle relazioni tra fenomeni idrogeologici, deformazioni e sismicità, utilizzando anche dati meteorologici e, se possibile, quelli relativi a variazioni del livello piezometrico. Inoltre, per consentire uno studio ancora più approfondito dei meccanismi legati alla fisica dei terremoti, ed incrementare il monitoraggio multiparametrico dell'area selezionata, si prevede di potenziare l'acquisizione di dati geochimici che consente in tal modo di rafforzare la già esistente cooperazione con ARPA Veneto.

--- **tempistica:** l'attività verrà distribuita sui due anni del progetto. Il primo anno verrà dedicato alla verifica dei dati disponibili per gli obiettivi del progetto e per progettare l'installazione delle nuove stazioni di monitoraggio (Task 1.1). Il secondo anno verrà dedicato essenzialmente all'analisi dei dati, definendo alcuni standard di elaborazione da utilizzare per gli anni successivi al progetto (Task 1.2), nonché all'installazione delle nuove stazioni (Task 1.3).

--- **deliverables:** alla fine del primo anno, l'elenco ragionato dei dati disponibili e il piano di installazione delle stazioni di monitoraggio geodetico ed eventualmente sismico (D1.1). Alla fine del secondo anno, la relazione finale con i risultati delle analisi effettuate (D1.2).

WP2. Caratterizzazione della risposta sismica locale per le porzioni di territorio a più alto rischio sismico

La caratterizzazione della risposta sismica locale è uno degli aspetti fondamentali della ricerca sismologica e delle sue applicazioni. Gli studi di dettaglio ai fini della pianificazione territoriale e delle costruzioni sono previsti dalla normativa vigente e vengono svolti dai professionisti del settore. Nell'ambito del presente progetto ci si concentrerà pertanto sulla componente necessaria a fornire stime di scuotimento il più possibile affidabili alla scala comunale ed intercomunale, quale dato di input per una valutazione rapida del possibile danneggiamento, principalmente in termini statistici (percentuale di edifici danneggiati in una data area tenendo conto delle diverse tipologie costruttive). La caratterizzazione della risposta sismica locale verrà effettuata per i siti di installazione dei sensori accelerometrici previsti dal WP3. Qui si procederà a una caratterizzazione della geologia di superficie, e, se possibile, ad una stima della frequenza fondamentale del sito (f_0). E' inoltre necessaria una misura della velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m del sottosuolo (definita convenzionalmente V_{s30}).

A tale riguardo, si prevede la realizzazione di misure di sismica attiva o passiva atte a definire un protocollo per una caratterizzazione robusta ed efficiente dei siti. Le misure verranno effettuate in corrispondenza di almeno 100 siti considerati caratteristici, sia in termini di rischio sismico e di geologia di superficie che per posizione (in prossimità di strutture strategiche o di particolare rilevanza) di cui al successivo WP3. Durante questa fase, i risultati di tecniche ormai consolidate verranno confrontati con quelli di metodologie innovative e sperimentali. In tali siti, qualora si acquisirà un profilo di velocità sufficientemente dettagliato, verrà anche stimata numericamente la risposta 1D. La Fig. 1 mostra schematicamente come i parametri sopra indicati possano essere stimati e utilizzati per un'efficace classificazione del sito di installazione e per la stima della risposta 1D.

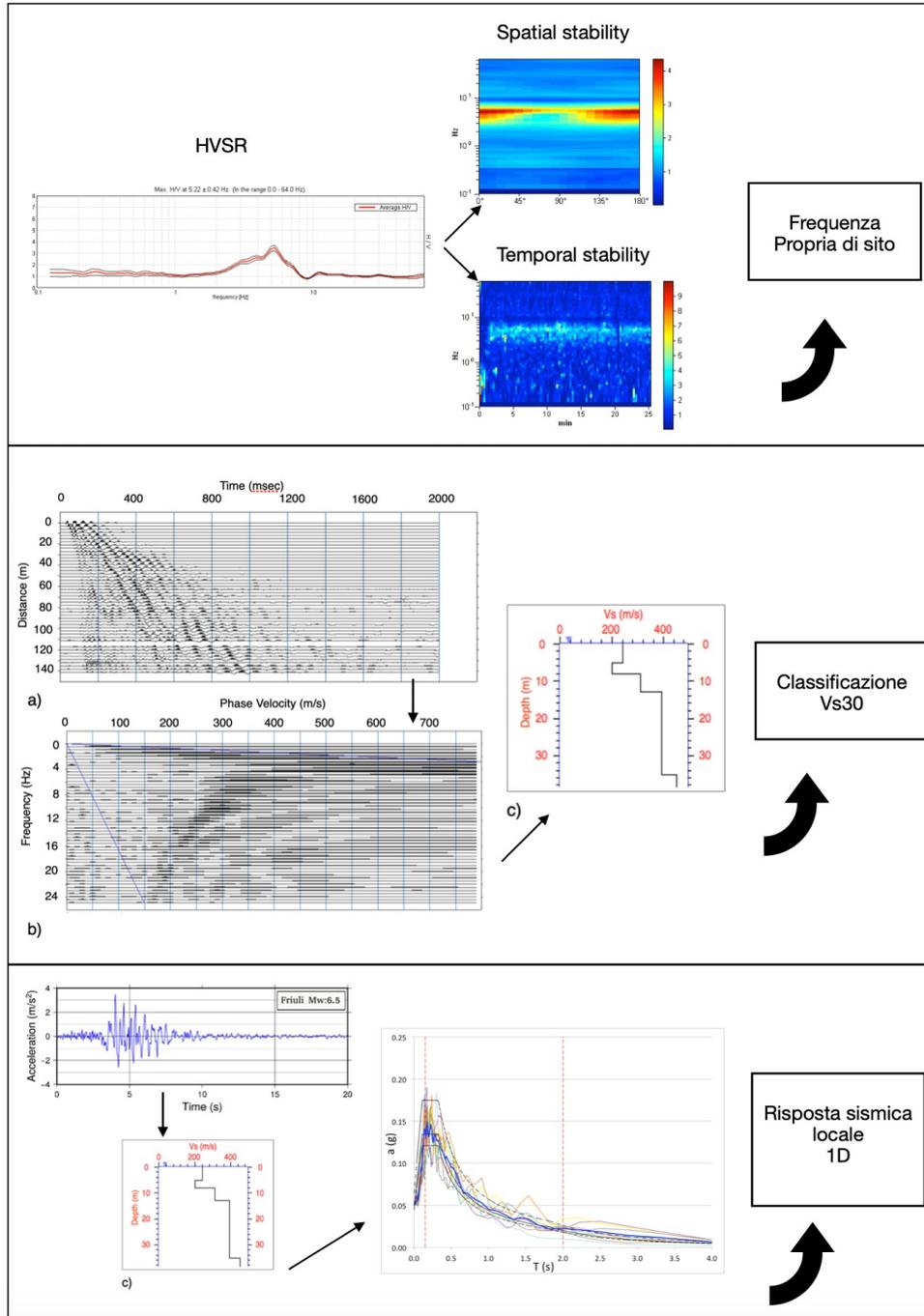


Figura 1. Schema tipo di analisi per la caratterizzazione sismica di sito e relativa risposta sismica locale.

Si prevede inoltre, di utilizzare tale data set di informazioni su un subset di stazioni per la calibrazione e la validazione di approcci statistici che consentano di stimare la classe di appartenenza dei rimanenti siti di installazione. Tali approcci, come indicato, serviranno solo a fornire una preliminare classificazione del sito di installazione.

Le informazioni, verranno inserite in schede simili a quelle riportate in Fig. 2, in cui, oltre alle informazioni riguardanti la posizione del sito di installazione, verranno indicate: la

descrizione della infrastruttura in cui il sito è localizzato, la caratterizzazione del sito in termini di Eurocode 8 (EC8), il valore della Vs30 e della f0 stimate, le tecniche geofisiche utilizzate, le caratteristiche della geologia di superficie a scala 1:25.000. Nel caso di siti in cui la classificazione sia effettuata su base di correlazione statistica, questo verrà chiaramente indicato nella scheda. Inoltre si valuterà la possibilità di stimare la risposta di sito delle stazioni più significative dal punto di vista del rischio sismico, utilizzando quelle, quando disponibili, calcolate da OGS empiricamente su stazioni della rete dell'Italia Nord Orientale, attraverso l'utilizzo di metodologie di clustering e correlazione.

Homepage	Waveforms	Stations	Events	REXELite	
Station Detail					
Station Name	ARGENTA			Station Code	ARG
Network	IT - Italian Strong Motion Network (RAN) [DPC]				
Type	Permanent				
Lat	44.63053	Long	11.82516	Projection	GEOWGS84
Elev [m.a.s.l.]	42	Install. Date	2007-11-19	Removal date	
Macros. records					
Location					
Address	Via Gregorio Ricci Curbastro, 6A, 44011 Argenta FE, Italy				
Nation	Italy				
Region	Emilia-Romagna				
Province	Provincia di Ferrara				
Municipality	Argenta				
Housing					
Sensor Id	Housing type	Location	Installation		
00	Fiberglass box	Free-field	Pillar		
Notes	Zona industriale. Incrocio fra via Nervi e via G. Ricci Cubastro				
Site Class					
EC8 Code	D				
Vs30 m/sec	170.0	Ref	S4_2007-2009_RU8-GFZ Ⓞ		
Estimation	FK and ESAC	Quality	good		
Morphology					
Morphology	Plain				
Topography	T1 - Flat surface, isolated slopes and cliffs with average slope angle $i \leq 15^\circ$				
Map	IGM sheet 88, sector I, orientation NE	Scale	1:25000		
GEOTECHNICAL LOGS					
Id	Reference	Latitude	Longitude		
1	S4_2007-2009_RU8-GFZ Ⓞ				
Search Again		Station Records		Monography	

Figura 2 Esempio di scheda descrittiva delle caratteristiche del sito di installazione (sorgente <https://esm.mi.ingv.it/>).

Infine, è prevista la stima a campione della frequenza (o delle frequenze) di risonanza degli edifici all'interno o in prossimità dei quali verrà installato il sensore accelerometrico, mediante l'utilizzo di misure speditive, quali, in particolare, l'acquisizione di rumore sismico su singola stazione. Tale informazione verrà inserita nella scheda di caratterizzazione del sito.

Considerando la cooperazione in atto e l'esperienza in questo campo si prevede lo svolgimento di questo WP in collaborazione con l'Università degli Studi di Padova.

--- **tempistica:** L'attività (acquisizione dati, elaborazione, classificazione dei siti) verrà distribuita su tutti i due anni del progetto. In particolare l'attività di campagna (Task 2.1) verrà effettuata principalmente nei primi 18 mesi, eseguendo le misure sui siti selezionati, laddove necessario anche prima dell'installazione dei sensori della rete accelerometrica. L'attività di analisi statistica (Task 2.2) si svolgerà principalmente negli ultimi sei mesi del progetto.

--- **deliverables:** verranno fornite le schede relative alla classificazione delle stazioni inclusive (laddove disponibili) delle curve di dispersione utilizzate per derivare il profilo di velocità, le curve H/V calcolate attraverso l'analisi di rumore sismico, e le risposte 1D. I risultati saranno disponibili sia in forma grafica che in forma digitale (D2.1).

WP3. Disposizione di un sistema di sensori in tempo reale per la stima del moto del suolo in campo libero e/o in scenario urbano per la stima di danni all'interno di edifici strategici e rilevanti per accelerare la risposta del sistema di protezione civile in condizioni di emergenza a seguito di eventi sismici

Negli ultimi vent'anni OGS ha realizzato e gestito la Rete Sismometrica del Veneto nell'ambito di una serie di convenzioni stipulate con la Protezione Civile regionale. Tale rete, costituita da stazioni di alta qualità installate principalmente su roccia in siti a basso rumore antropico, permette di localizzare con accuratezza gli eventi sismici e monitorare l'andamento della sismicità rilevando anche gli eventi più deboli.

In caso di evento sismico di magnitudo moderata o forte l'interesse della Protezione Civile è quello di ottenere una stima in tempo quasi-reale della distribuzione del danno all'edificato, sia per edifici residenziali che per strutture strategiche. Come noto, il livello di danno prodotto è proporzionale all'intensità dello scuotimento del moto del suolo, ma è ulteriormente vincolato dalla tipologia e distribuzione sul territorio dell'edificato stesso, queste ultime quantificabili in termini di vulnerabilità ed esposizione. L'entità dello scuotimento del suolo ad un sito dipende da molti fattori, quali le caratteristiche della sorgente sismica e del mezzo di propagazione, nonché dalla risposta sismica locale, a sua volta funzione delle caratteristiche geologiche/morfologiche del sito, come discusso in relazione al precedente WP2.

Una stima preliminare dello scuotimento viene già effettuato da OGS in maniera automatica in caso di evento sismico rilevante ($\sim M > 3$). Ciò avviene in termini di mappe (*shakemap*) prodotte nei minuti immediatamente successivi alla localizzazione del terremoto, utilizzando valori stimati attraverso relazioni empiriche integrate con i dati registrati dalla rete di monitoraggio. Grazie alla rapida evoluzione tecnologica che mette a disposizione sensori accelerometrici e dispositivi di acquisizione sempre più compatti, e che consente la trasmissione dati in continuo a costi sostenibili, vi è ora la possibilità di aumentare in modo sensibile il numero dei punti di misura dello scuotimento del suolo. L'evoluzione delle reti di monitoraggio sismico sta procedendo ovunque in tal senso, ovvero verso un incremento della copertura spaziale dei sensori. In particolare, OGS e Regione Veneto sono tra i partner del progetto ARMONIA (Interreg V-A Italia-Austria), che ha fra gli scopi l'armonizzazione delle reti accelerometriche transfrontaliere, e lo scambio dei dati (e dei risultati ottenuti dalla loro

analisi) disponibili in tempo reale e in formati fruibili dalle sale operative delle Protezioni Civili. E' inoltre in essere un accordo di collaborazione tra OGS, Università di Padova (Dipartimento di Geoscienze) ed Expin (spin-off dell'Università di Padova) finalizzato alla verifica di nuove tecnologie MEMS, con un progetto pilota in corso di svolgimento presso edifici selezionati nell'area del Montello. Queste iniziative hanno avuto carattere esplorativo permettendo di verificare la fattibilità di alcune soluzioni tecniche nel caso di poche installazioni pilota. Sfruttando queste esperienze OGS è ora in grado di proporre un sistema denso e su vasta scala per il monitoraggio dello scuotimento del suolo in modo da soddisfare quanto richiesto dell'Accordo di Collaborazione siglato il 20 aprile 2020, destinando una parte considerevole del budget all'acquisto e l'installazione di sensori accelerometrici.

Si ricorda che all'interno del progetto ARMONIA si sono identificate più tipologie di installazione di sensori accelerometrici MEMS che si ritiene vadano implementate anche in questo progetto:

1) sensori installati alla base di edifici selezionati che vanno a infittire la rete dei sensori in *free field* già esistenti, in modo da avere una migliore definizione spaziale delle mappe di scuotimento sostituendo le stime con misure reali in più punti possibili;

2) sensori posti all'interno di alcuni edifici per stimare la risposta delle strutture alle sollecitazioni sismiche. In seguito descriveremo brevemente le due tipologie previste di installazione.

Accelerometri installati alla base degli edifici (tipo 1)

Verranno installati a cura di OGS circa 300 sensori del tipo 1) presso strutture ed edifici concordati con la Regione Veneto. La selezione dei siti verrà effettuata dopo aver considerato anche le stime esistenti di pericolosità sismica e la classificazione sismica dei comuni (si veda al riguardo la Scheda di Approfondimento 2 in questo stesso documento).

La scelta degli edifici dovrà tener conto anche delle difficoltà logistiche ed amministrative che si incontreranno per riuscire a installare un numero così alto di stazioni nel breve tempo del progetto. Per questo è necessario considerare soluzioni di partenariato che consentano di avere a disposizione un grande numero di edifici minimizzando i tempi necessari allo svolgimento delle attività propedeutiche all'installazione, in particolare all'ottenimento dei permessi. Oltre agli edifici nelle disponibilità della Regione stessa, verranno presi in considerazione:

1) edifici messi a disposizione da Enti o società (sia pubbliche che private) con

presenza capillare sul territorio, prevalentemente in ambiente urbano, come ad esempio grandi operatori di servizi o fornitori di utility;

2) edifici presso i quali hanno sede le organizzazioni di volontariato di protezione civile iscritte all'Albo regionale di protezione civile.

Le due strade verranno esplorate in parallelo e verrà presa una decisione in merito dopo le prime risposte sul campo.

Accelerometri per misure di risposta dinamica degli edifici (tipo 2)

In una parte dei siti selezionati per l'installazione, di cui al precedente punto, oltre all'accelerometro per la misura dello scuotimento in prossimità dell'edificio, verranno anche installati uno o più strumenti all'interno della struttura al fine di stimarne la risposta dinamica. Ciò consentirà in futuro anche la validazione e, se necessario, la ricalibrazione dei modelli utilizzati per stimare l'impatto dell'evento a partire dalle registrazioni dell'evento alla base della struttura. Questi edifici verranno scelti tenendo in considerazione la rilevanza dell'edificio stesso, la rappresentatività rispetto all'edificato circostante, la copertura spaziale degli edifici monitorati. Negli edifici scelti si effettueranno misure di rumore sismico per stimarne le caratteristiche dinamiche principali (frequenze di risonanza) e per ottimizzare la scelta del posizionamento dei sensori(e) permanenti all'interno della struttura. Nella configurazione base verrà installata una terna accelerometrica al top dell'edificio, possibilmente sulla verticale del sensore posizionato nell'interrato. Tale disposizione può consentire di eseguire una stima preliminare e di primo livello dell'impatto dell'evento sismico sulla struttura, la verifica della bontà della previsione modellistica effettuata, sia in tempo reale che in fase post evento.

Riguardo la strumentazione da installare, si prevede di monitorare l'evoluzione del mercato dei sensori accelerometrici con caratteristiche di costo e qualità compatibili con le finalità del progetto. Inoltre, per un'accurata verifica della funzionalità di detti sensori sia in fase di scelta della fornitura che in fase di manutenzione, l'OGS provvederà a potenziare e migliorare hardware e software del proprio sistema di taratura denominato "Tavola Vibrante". Le caratteristiche della Tavola Vibrante e la sua utilità ai fini del progetto sono illustrate nella Scheda di Approfondimento 3 del presente documento.

I sensori verranno posti in acquisizione continua con trasmissione dati in tempo reale.

L'OGS si farà carico della trasmissione dati per mezzo di schede SIM, che, per norma, saranno quelle fornite tramite convenzione CONSIP.

Gli acquisti degli apparati e della strumentazione verranno eseguiti considerando la necessità di garantire una scorta disponibile rapidamente durante la fase di installazione (in modo che la stessa possa essere completata senza subire rallentamenti dovuti a guasti e malfunzionamenti), nonché la continuità di funzionamento della rete nei cinque anni successivi alla fine del progetto, nel rispetto di quanto previsto dall'art. 71 sulla "Stabilità delle operazioni" del Regolamento UE 1303/2013. Indicativamente, si prevede l'acquisto di un numero di stazioni equivalente a quello dei punti di misura maggiorato del 20%, considerato ragionevole sulla base dell'esperienza maturata da OGS. Per i cinque anni post-progetto il mantenimento della rete sarà garantito facendo confluire questa attività nella già citata convenzione di collaborazione tra OGS e Protezione Civile regionale, senza costi aggiuntivi per quest'ultima.

I dati verranno integrati con quelli raccolti dalle stazioni installate dal progetto ARMONIA e le stazioni accelerometriche della Rete Sismometrica dell'Italia Nordorientale gestita da OGS ed utilizzati nel sistema di stima del moto del suolo atteso. Le misure di risposta sismica locale di cui al WP2 consentiranno di migliorare le stime di scuotimento a livello urbano. Sulla base delle misure di scuotimento, e di dati statistici sulla distribuzione e la tipologia degli edifici, verranno fornite indicazioni rapide e preliminari sull'entità del danneggiamento nell'area epicentrale, in continuità con il lavoro già iniziato in fase sperimentale con la Protezione Civile del Veneto. In caso di terremoto, OGS attualmente notifica i dati di evento (principalmente localizzazione e magnitudo) alla Protezione Civile tramite email ed sms. Le informazioni riguardanti uno scenario del possibile impatto richiedono pochi minuti di elaborazione dopo l'emissione dell'allerta.

Attualmente, le stime di danneggiamento si basano sui dati di esposizione forniti dall'Istat (Censimento degli edifici e delle abitazioni, 2011) per gli edifici residenziali. Ad ogni tipologia edilizia identificata sul territorio viene poi associata una famiglia di curve di fragilità tra quelle proposte in letteratura per edifici simili. Nell'ambito del presente progetto, si vorrebbero integrare i dati di esposizione già disponibili per gli edifici residenziali con altri collezionati per strutture caratteristiche del territorio veneto, consentendo di indirizzare in maniera più mirata le operazioni di protezione civile.

Si propone l'uso delle schede di verifica sismica di Livello 0, che saranno fornite dalla Regione Veneto sotto forma di database editabile, per arricchire l'esposizione con dati sugli

edifici strategici. Tali dati permetteranno di identificare le caratteristiche comuni per una data tipologia e scegliere le curve di fragilità più adatte. Questo processo verrà effettuato su base statistica per le tipologie rappresentative del Veneto per le quali sono disponibili dati sufficienti. Infine, si intende usufruire ove possibile dei dati raccolti dalla regione e dagli organismi competenti su edifici (p.es. dati Istat raccolti dopo il 2011, catasto) e sul territorio (p.es., microzonazioni disponibili, inventario di frane e dissesti idrogeologici) con l'obiettivo di completare l'analisi con i dati aggiornati disponibili sul territorio.

Inoltre, in aggiunta all'approccio puramente statistico indicato sopra, si possono utilizzare le schede di verifica sismica di livello 1-2 dei manufatti strategici e rilevanti, ove disponibili, nelle quali vengono indicate soglie che identificano uno specifico stato di danneggiamento dell'edificio. Quindi, sulla base delle soglie definite per ogni singolo edificio censito, è possibile segnalare, in occorrenza di evento sismico, la condizione nella quale lo stesso si trova in relazione agli Stati Limite definiti (Collasso, Salvaguardia della vita, Danno, Operatività). Inoltre, le soglie potranno essere estrapolate ed utilizzate per tipologie edilizie di particolare interesse, in modo da estendere ulteriormente la valutazione di impatto. Anche in tal caso si prevede una collaborazione con il team dell'Università di Padova.

Le schede necessarie per questa analisi, saranno messe a disposizione, ove disponibili, ad OGS dalla Regione Veneto, per ogni edificio strategico e rilevante censito, ai fini della loro integrazione nel software per la stima rapida del danneggiamento utilizzato da OGS. La Regione, nel caso non avesse a disposizione tutti i dati, sosterrà OGS nell'acquisizione degli stessi presso altri Enti. I dati saranno forniti mediante trasmissione degli elaborati tecnici di verifica e della corrispondente scheda di sintesi della verifica sismica di edifici strategici ai fini della protezione civile o rilevanti in caso di collasso a seguito di evento sismico (*Ordinanza n. 3274/2003 – Articolo 2, commi 3 e 4, DM 14/01/2008, in Fig. 3 un estratto della scheda di sintesi DPC*).

Nell'immediato post-evento i risultati delle analisi saranno resi fruibili alla Protezione Civile regionale tramite software di visualizzazione dei dati e mediante trasmissione di dati in formato elettronico compatibile con gli strumenti già in uso presso la Protezione Civile stessa (p.es. sistemi GIS). Specifici incontri di formazione verranno organizzati nel corso del progetto per i potenziali fruitori (personale della Protezione Civile e operatori del Centro Funzionale Decentrato)..



PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE
UFFICIO SERVIZIO SISMICO NAZIONALE

ALLEGATO 1

**SCHEMA DI SINTESI DELLA VERIFICA SISMICA DI EDIFICI STRATEGICI AI FINI DELLA
PROTEZIONE CIVILE O RILEVANTI IN CASO DI COLLASSO A SEGUITO DI EVENTO SISMICO**

(Ordinanza n. 3274/2003 – Articolo 2, commi 3 e 4, DM 14/01/2008)

Stato limite		Rapporto fra le accelerazioni		Rapporto fra i periodi di ritorno elevato ad a	
B	di collasso (α_{cl})	$= (PGA_{CLC} / PGA_{DLC})$		$= (TR_{CLC} / TR_{DLC})^a$	
C	per la vita (α_{LV})	$= (PGA_{CLV} / PGA_{DLV})$		$= (TR_{CLV} / TR_{DLV})^a$	
D	di inagibilità (α_{IG})	$= (PGA_{CLD} / PGA_{DLD})$		$= (TR_{CLD} / TR_{DLD})^a$	
E	per l'operatività (α_{OP})	$= (PGA_{CLO} / PGA_{DLO})$		$= (TR_{CLO} / TR_{DLO})^a$	

29) Previsione di massima di possibili interventi di miglioramento					
A	Criticità che condizionano maggiormente la capacità	1 <input type="checkbox"/> fondazioni	4 <input type="checkbox"/> setti	7 <input type="checkbox"/> coperture	
		2 <input type="checkbox"/> travi	5 <input type="checkbox"/> murature	8 <input type="checkbox"/> scale	
		3 <input type="checkbox"/> pilastri	6 <input type="checkbox"/> solai	9 <input type="checkbox"/> altro	
B	Interventi migliorativi prevedibili	1 <input type="checkbox"/> interventi in fondazione	4 <input type="checkbox"/> aumento resistenza muri	7 <input type="checkbox"/> eliminazione spinte	
		2 <input type="checkbox"/> aumento resist./dutt. sezioni	5 <input type="checkbox"/> tiranti, cordoli, catene	8 <input type="checkbox"/> altro	
		3 <input type="checkbox"/> nodi/collegamenti telai	6 <input type="checkbox"/> solai o coperture	9 <input type="checkbox"/> altro	
C	Stima dell'estensione degli interventi in relazione alla volumetria totale della struttura	Codice intervento 1	% percentuale volumetrica dell'edificio interessata dall'intervento		
		Codice intervento 2	% percentuale volumetrica dell'edificio interessata dall'intervento		
		Codice intervento 3	% percentuale volumetrica dell'edificio interessata dall'intervento		
D	Stima dell'incremento di capacità conseguibile con gli interventi	1 <input type="checkbox"/> SLC	Codice intervento 1	PGA1 g	approssimazione \pm g
		2 <input type="checkbox"/> SLV	Codice intervento 2	PGA2 g	approssimazione \pm g
		3 <input type="checkbox"/> SLD	Codice intervento 3	PGA3 g	approssimazione \pm g

Figura 3. Estratto della scheda di sintesi della verifica sismica di edifici strategici ai fini della protezione civile o rilevanti in caso di collasso a seguito di evento sismico (Ordinanza n. 3274/2003 – Articolo 2, commi 3 e 4, DM 14/01/2008).

--- tempistica:

una prima fase preparatoria di 6 mesi (Task 3.1) in cui si effettueranno le seguenti attività:

- individuazione dei comuni dove è prioritaria l'installazione di stazioni accelerometriche integrando i dati di pericolosità, esposizione e copertura da parte delle reti preesistenti (vedi Scheda di Approfondimento 2);
- analisi e decisione su quale tra le opzioni evidenziate per la stesura della rete di tipo 1 (operatore unitario o associazioni di protezione civile) verrà scelta;
- definizione degli accordi e contratti necessari per i permessi;
- stesura degli accordi scientifici ex. art. 15 previsti;
- selezione dei siti per le prime installazioni e decisione riguardo alle procedure di installazione (probabilmente le stesse di ARMONIA);
- definizione delle caratteristiche tecniche della strumentazione in preparazione delle procedure di acquisto (rete tipo 1);
- stesura dei bandi di selezione di nuovo personale tecnico per le squadre che procederanno alle installazioni;

- individuazione di una base di appoggio operativa in Veneto preparazione dell'infrastruttura informatica per la gestione e elaborazione del dato;
- predisposizione dei piani di monitoraggio delle strutture (vedi punto precedente) e degli accordi/contratti necessari alla loro realizzazione.

Una seconda fase realizzativa vera e propria per i restanti 18 mesi (Task 3.2):

- preparazione e calibrazione della strumentazione;
- campagna di installazione comprendente lo scouting, le misure di rumore in sito, la installazione vera e propria compresa l'individuazione degli edifici in cui fare il monitoraggio del tipo 2;
- acquisizione dei dati e test continuo del software durante lo sviluppo della rete;
- messa a punto del software di visualizzazione e di supporto alla valutazione delle situazioni di emergenza con relativo corso di formazione all'utilizzo per il personale di Protezione Civile.

In parallelo verranno portati a termine progetto e realizzazione degli aggiornamenti del sistema di calibrazione dei sensori (rispettivamente Task 3.3 il primo anno e Task 3.4 il secondo), con l'applicazione dello stesso agli accelerometri scelti per il WP3 (Task 3.5, secondo anno).

--- **deliverables:** a fine progetto verranno forniti: una relazione relativa alle installazioni effettuate (D3.1), il sistema di acquisizione dati (D3.2); il software di visualizzazione e di supporto alla valutazione delle situazioni di emergenza con relativi corsi di formazione per il personale di Protezione Civile (D3.3). Entro il primo anno verranno forniti i progetti per l'aggiornamento della Tavola Vibrante che renda speditivo il suo uso (D3.4). A fine progetto verranno fornite relazioni che descrivono i dispositivi realizzati (D3.5) e i fogli di calibrazione dei sensori adottati per il WP 3 (D3.6)

WP4. Comunicazione

La comunicazione verso la popolazione generale, come anche verso la comunità scientifica stessa, è una delle attività cruciali del progetto. Questa deve essere svolta rispettando quanto previsto dal Regolamento (UE) n. 1303/2013 (Allegato XII, punto 2.2) e dal Regolamento (UE) n. 821/2014 (art. 4-5, Allegato II). La sismicità del territorio nazionale e in particolare dell'Italia nord-orientale rende necessario lo sviluppo di attività di informazione e di sensibilizzazione della popolazione riguardo al rischio sismico, contribuendo così allo sviluppo di una cultura e di consapevolezza necessarie alla riduzione il rischio sismico.

OGS da anni è impegnato in attività di divulgazione di vario tipo per attivare e mantenere un dialogo con la società e i cittadini, per consolidare l'opinione pubblica sui benefici derivanti dalla ricerca scientifica, ma anche per diffondere la conoscenza dei rischi legati al sistema Terra, per sviluppare nella popolazione una cultura di prevenzione e un approccio proattivo della comunità alla gestione dei rischi naturali.

Nell'ambito del Progetto OGS si occuperà dell'organizzazione di eventi pubblici. faciliterà la partecipazione dei suoi ricercatori ad eventi pubblici e scientifici per consentire la divulgazione dei risultati del progetto. OGS si occuperà della comunicazione dei risultati attraverso media e social media.

--- **tempistica**: nei primi 6 mesi del progetto verranno definite le attività di comunicazione (Task 4.1) che verranno realizzate nei 18 mesi successivi (Task 4.2).

--- **deliverables** (cumulativamente D4.1)

- almeno 2 eventi per il pubblico: nel corso del progetto verranno organizzati incontri pubblici informali, come *Caffè delle scienze*, "*a Pint of Science*", per parlare di sismicità ma anche di sviluppo di infrastrutture. I ricercatori e i collaboratori al progetto parteciperanno ad eventi pubblici quali *open day* e *Notte dei ricercatori* ove possibile, pubblicizzando il progetto;
- 1 conferenza/workshop scientifica: negli ultimi sei mesi del progetto verrà organizzata una conferenza scientifica per presentare i principali risultati e, grazie alla partecipazione anche di relatori esterni al partenariato, approfondire i principali temi e gli sviluppi futuri della rete di monitoraggio;
- tutte le attività e i risultati del progetto verranno inoltre diffusi alla popolazione attraverso i canali di comunicazione del coordinatore, sia attraverso i social media sia grazie all'attività dell'ufficio stampa che faciliterà i contatti con i media regionali;

- realizzazione di materiali promozionali/di comunicazione: brochure e/o video da diffondere online e a gruppi target specifici;
- qualora possibile, verso la fine del progetto, si potranno programmare anche visite di scolaresche a uno o due siti ritenuti particolarmente significativi per la divulgazione;
- pagina web del progetto, aggiornata con i passi principali del progetto ed i risultati principali.

Calendario delle attività e deliverables

	MESI																								
WORKPACKAGES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
WP0 - Gestione progetto																									
TASK 0.1																									
WP1 - Monitoraggio di fenomeni transienti di deformazione: legame con il ciclo sismico e relazione con contenuto e movimenti di fluidi																									
TASK 1.1																									
TASK 1.2																									
TASK 1.3																									
WP2 - Caratterizzazione della risposta sismica locale per le porzioni di territorio a più alto rischio sismico																									
TASK 2.1																									
TASK 2.2																									
WP3 - Disposizione di un sistema di sensori in tempo reale per la stima del moto del suolo in campo libero e/o in scenario urbano per la stima di danni all'interno di edifici strategici e rilevanti per accelerare la risposta del sistema di protezione civile in condizioni di emergenza a seguito di eventi sismici																									
TASK 3.1																									
TASK 3.2																									
TASK 3.3																									
TASK 3.4																									
TASK 3.5																									
WP4 - Comunicazione																									
TASK 4.1																									
TASK 4.2																									
DELIVERABLES			D01										D1.1 D3.4												D1.2 D2.1 D3.1 D3.2 D3.3 D3.5 D3.6 D4.1

- D0.1 Project Action Plan
- D1.1 elenco ragionato dati; piano nuove stazioni
- D1.2 relazione finale
- D2.1 schede relative alla classificazione delle stazioni
- D3.1 relazione relativa alle installazioni effettuate
- D3.2 sistema di acquisizione dati
- D3.3 software di visualizzazione e di supporto alla valutazione delle situazioni di emergenza
- D3.4 progetto per l'aggiornamento della Tavola Vibrante
- D3.5 relazione sull'aggiornamento della Tavola Vibrante
- D3.6 fogli di calibrazione dei sensori adottati per il WP 3
- D4.1 attività varie di comunicazione

Budget

Viene proposto qui di seguito il piano di spesa suddiviso per Task (righe) e relativamente alle tipologie di spesa previste dall'art. 9 dell'Accordo di Collaborazione del 20 aprile (colonne). In particolare, sono stati rispettati i vincoli:

20% per

- a) PROGETTAZIONE

70% cumulativo per

- b) SPESE PER L'IMPLEMENTAZIONE DEL PROGETTO
- c) LAVORI PER POSA IN OPERA
- d) ACQUISTO DI STRUMENTAZIONE
- e) ACQUISTO DI LICENZE E/O SVILUPPO SOFTWARE

10% per

- f) SPESE GENERALI D'UFFICIO E AMINISTRATIVE

VOCI DI SPESA ---->	A) PROGETTAZIONE	B) SPESE PER L'IMPLEMENTAZIONE DEL PROGETTO	C) LAVORI PER POSA IN OPERA	D) ACQUISTO DI STRUMENTAZIONE	E) ACQUISTO DI LICENZE E/O SVILUPPO SOFTWARE	F) SPESE GENERALI D'UFFICIO E AMMINISTRATIVE
Task						
WP0. progetto						
OGS coordinamento		64.000,00				
project plan	24.000,00					
spese generali						200.000,00
logistica Veneto		24.500,00			8.800,00	
WP1. monitoraggio di fenomeni transienti di deformazione legati allo sviluppo del ciclo sismico;						
transienti HW - GNSS				59.500,00	6.000,00	
transienti monitoraggio geochimico/geofisico	7.500,00			32.500,00		
transienti - pianificazione del monitoraggio e analisi dei dati	22.500,00	31.500,00				
installazione			11.000,00			
WP2. caratterizzazione della risposta sismica locale per le porzioni di territorio a più alto rischio sismico;						
misure geofisiche e caratterizzazione risposta di sito nei pressi dei sensori della rete e delle strutture monitorate - Consulenza specialistica /spese vive misure geofisiche/ strumenti geofisici / studi geofisici / personale ad hoc /divulgazione	100.000,00	108.600,00				
WP3. disposizione di un sistema di sensori in tempo reale per la stima del moto del suolo in campo libero e/o in scenario urbano per la stima di danni all'interno di edifici strategici e rilevanti per accelerare la risposta del sistema di protezione civile in condizioni di emergenza a seguito di eventi sismici;						
HW rete				510.000,00		
manutenzione		92.600,00	4.000,00		3.400,00	
HW edifici				80.000,00		
costo trasmissione					30.600,00	
scouting	75.000,00					
installazione		5.000,00	40.000,00			
monitoraggio strutture: Consulenza setup sensori/software integrato/omogeneizzazione dato di ingresso/ caratterizzazione e monitoraggi edifici/approfondimento ingegneristico degli aspetti della risposta sismica	112.000,00	41.000,00			9.000,00	
monitoraggio in tempo reale: strutture informatiche/ definizione e implementazione modelli e algoritmi per il monitoraggio e stima del danno	59.000,00	32.800,00			2.200,00	
HW spare parts				118.000,00		
laboratorio calibrazione strumenti			25.000,00			
sviluppo software per laboratorio calibrazione					20.000,00	
test di sensoristica			20.000,00			
WP4. Comunicazione						
attività varie di comunicazione					20.000,00	
TOTALE	400.000,00	400.000,00	100.000,00	800.000,00	100.000,00	200.000,00

Scheda di approfondimento 1 – Criteri di sviluppo della rete GNSS

Le misure geodetiche, come quelle provenienti da reti di sensori permanenti GNSS (Global Navigation Satellite Systems), in aree sismicamente attive possono fornire preziose informazioni sia sulle modalità di accumulo che di rilascio della deformazione e dello sforzo nelle fasi intersismiche e cosismiche, contribuendo quindi al miglioramento delle stime di pericolosità dell'area in esame.

In aree come quella Veneta, caratterizzata dalla presenza di diverse strutture potenzialmente sismogenetiche, di dimensioni relativamente piccole, è importante che la rete di monitoraggio sia non solo efficiente, ma anche sufficientemente fitta. Nella regione e nel suo intorno sono operanti diverse reti (ad esempio la rete della Regione Veneto o la rete FReDNet dell'OGS, come rappresentato in Fig. 4), tra le quali è generalmente attivo un fattivo scambio di dati.

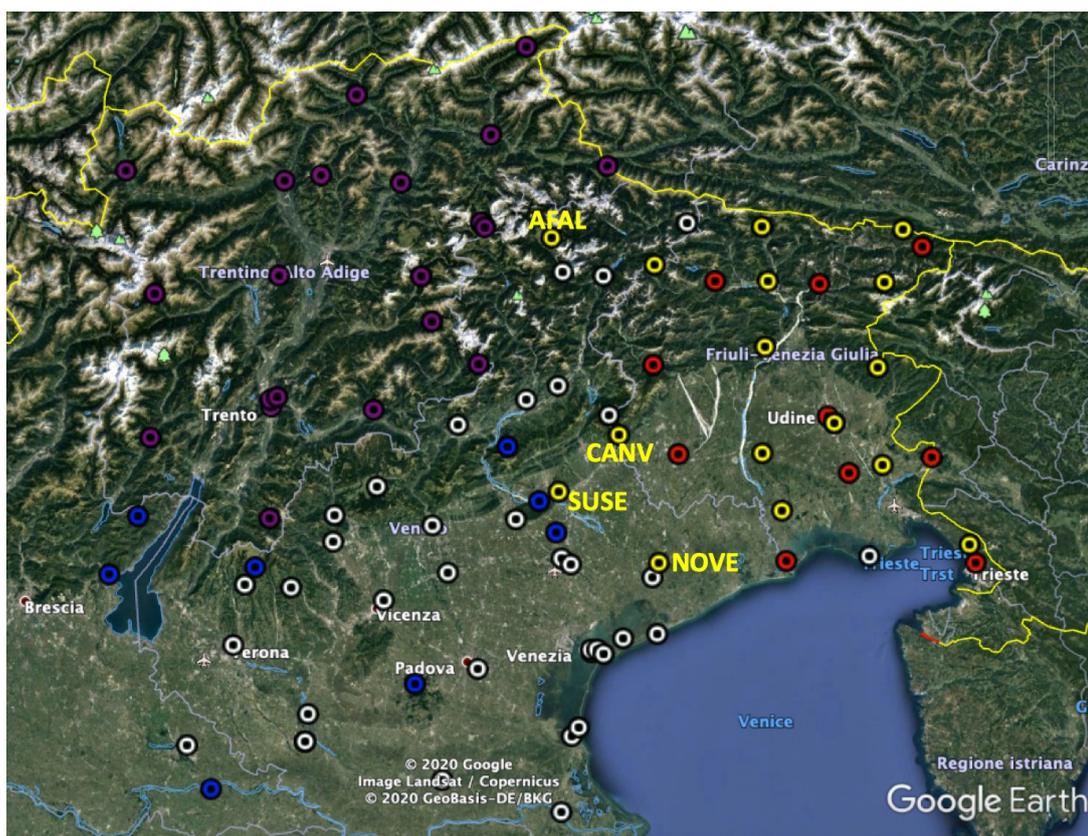


Figura 4. Mappa delle stazioni permanenti GNSS presenti nella regione Veneto: rete GNSS del Veneto, coordinata dal centro CISAS dell'Università di Padova (bianco); Rete TPOS della provincia Autonoma di Trento (viola); rete FReDNet dell'OGS (giallo); rete A. MARUSSI della Regione Friuli Venezia Giulia (rosso); rete RING dell'INGV (blu). Sono visibili i nomi delle tre stazioni AFAL (in Veneto), CANV (in Friuli) e SUSE (in Veneto) che identificano la porzione di territorio dove verranno installate due nuove stazioni. NOVE, anch'essa in Veneto, è una delle stazioni che necessita di aggiornamenti assieme a SUSE e AFAL.

Dal 2002, la rete GNSS FReDNet dell'OGS ha fornito alla comunità di ricerca diversi prodotti tra cui: le serie temporali degli spostamenti di ciascuna stazione di monitoraggio, i dati RINEX relativi alle registrazioni e le velocità di deformazione crostale. Nel 2006 l'infrastruttura è stata potenziata: tutti i ricevitori sono stati aggiornati al fine di tracciare le costellazioni GPS e GLONASS e la struttura è stata abilitata per la distribuzione di servizi in tempo reale in modalità RTK (Real-Time Kinematic positioning) (Zuliani et al., 2018). I dati di FReDNet sono utili sia per le applicazioni scientifiche e il monitoraggio geodetico (p.es., Caporali et al., 2013; 2018; Devoti et al., 2015; Rossi et al., 2016; 2017; 2018), sia per la localizzazione di precisione resa disponibile agli operatori pubblici e privati che lavorano nel settore geomatico (geometri, architetti, ingegneri, uffici del catasto, uffici della cartografia) e sfruttano tali informazioni per georeferenziare i propri rilievi.

Tra le stazioni di FReDNet (Fig. 4 e 5), tre si trovano in territorio veneto: AFAL (Alpe Faloria), su pilastro in cemento, operativa dal giugno 2003; NOVE (Noventa di Piave) su tripode, con monumentazione progettata per installazioni su terreni soffici (tecnica importata dalla Ohio State University, si veda Fig. 6), operativa da marzo 2009; SUSE (Susegana), su pilastro in cemento, operativa da febbraio 2011.



Figura 5. Le stazioni GNSS della rete OGS FReDNet operanti in Veneto: da sinistra, AFAL, NOVE e SUSE.

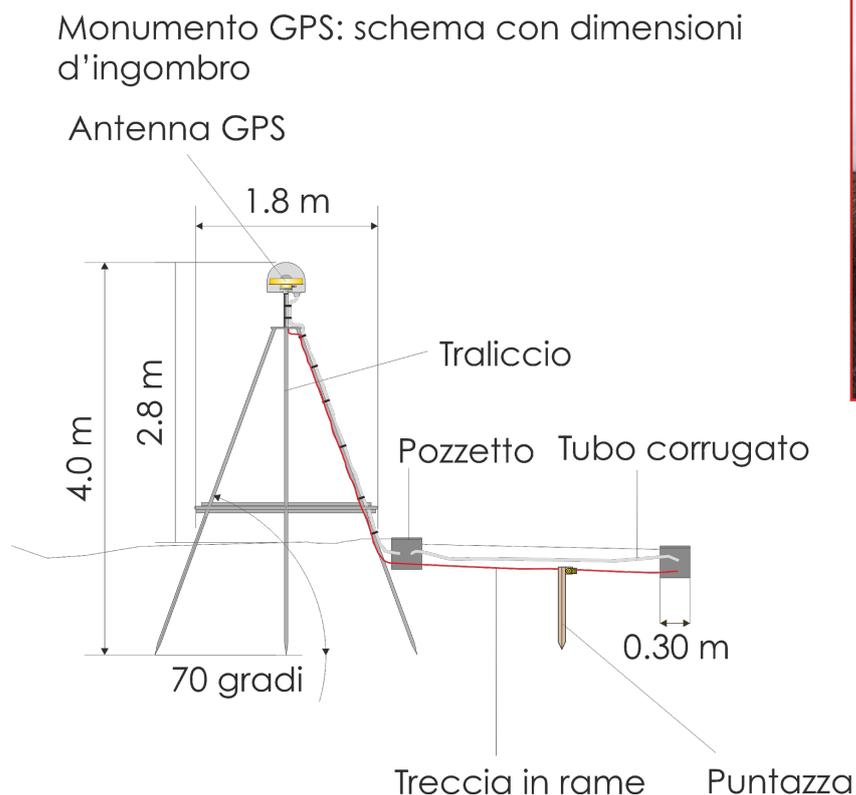


Figura 6. Schema di monumentazione secondo le tecniche importate dall'Ohio State University con misure d'ingombro e una foto di una stazione realizzata con questa metodologia.

Nell'ambito del progetto si prevede di migliorare la copertura e la qualità dei servizi e prodotti generati dalla rete OGS FRedNet in Veneto e già resi disponibili anche per l'utilizzo da parte della rete GNSS Veneto stessa. La proposta prevede l'aggiunta di almeno due nuove stazioni, e l'aggiornamento della strumentazione di AFAL, NOVE e SUSE. In tempi recenti, infatti, l'ingresso in operatività di nuovi sistemi di navigazione satellitare (Beidou cinese e Galileo europeo), che affiancano il più noto sistema statunitense GPS e il suo equivalente russo GLONASS, hanno aperto una serie di nuove opportunità che migliorano la qualità dei risultati. Gli strumenti GNSS più recenti quindi permettono di fare riferimento a più di una costellazione per garantire una maggiore precisione, robustezza ed affidabilità del posizionamento.

L'upgrade delle stazioni, in questo senso, garantirà una migliore copertura della regione con strumentazione GNSS moderna e capace di utilizzare sistemi multicostellazione (GPS, GLONASS, Galileo, Beidou) e multifrequenza (ad esempio L1, L2, L5 per il GPS ed E1, E5a, E5b, E6 per il Galileo) per una stima più robusta e precisa dei campi di deformazione.

Nella scelta dei nuovi siti di installazione si vuole privilegiare l'area compresa tra le stazioni AFAL, CANV (presso Caneva in provincia di Pordenone) e SUSE. Dal punto di vista tettonico geodinamico comprende infatti l'area che ha visto il terremoto di Belluno del 1549 e quelli dell'Alpago-Cansiglio del 1873 e 1936, rappresentata in Fig. 7, e dove quindi ci si può aspettare dell'attività sismica di intensità da moderata a forte. Inoltre i massicci carsici come l'altipiano del Cansiglio sono sede di movimenti importanti indotti dagli acquiferi carsici, importanti per comprendere il legame tra acque sotterranee, deformazione, ed attività sismica (Devoti et al., 2015; Grillo et al., 2018).

Un raffittimento spaziale delle misure geodetiche può essere quindi cruciale per il riconoscimento e la mappatura di fenomeni transienti tettonici che interessino il campo di deformazione, e per la distinzione tra quelli legati in vario modo a fenomeni idrologici e quelli tettonici (p.es., Rossi et al., 2018).

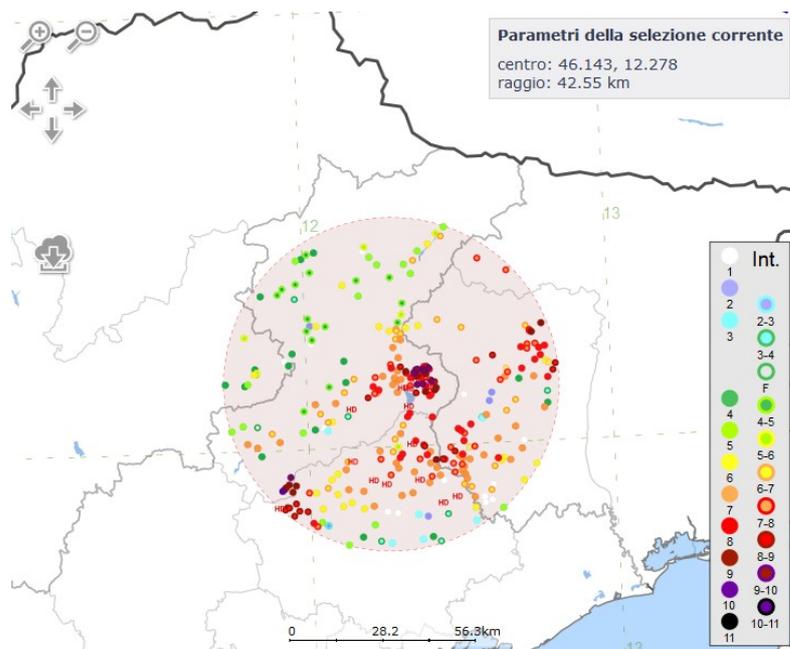


Figura 7. Sismicità storica dell'area scelta per l'installazione di nuove stazioni GNSS (dal catalogo CPTI, Rovida et al., 2019; 2020).

La scelta del sito sarà guidata dalle caratteristiche di visibilità dei satelliti, possibilità di posizionamento su affioramento roccioso, ove possibile, e caratteristiche di accessibilità.

I dati delle nuove stazioni saranno resi pubblicamente disponibili, nei formati proprietari grezzi e standard RINEX, fin dalla prima ora dell'installazione di ogni nuova stazione. Il portale di distribuzione sarà quello della rete FReDNet, dove sono già presenti i dati delle stazioni OGS operanti nel territorio della Regione Veneto. Per tutti gli utenti finali

(enti, università, aziende e professionisti del posizionamento georeferenziato) la densificazione della rete porta il vantaggio di un miglioramento dei servizi GNSS RTK forniti dalla rete OGS, e quindi misure più speditive, robuste ed in tempo reale in modalità RTK. La rete GNSS Veneto, parallelamente, potrà usufruire liberamente degli stream RTK aggiuntivi e potenziare i propri servizi di posizionamento in tempo reale arricchendo l'offerta per gli utenti che operano nella regione Veneto.

Riferimenti bibliografici

Caporali A., Neubauer F., Ostini L., Stangl G. and Zuliani D. (2013). Modeling surface GPS velocities in the Southern and Eastern Alps by finite dislocations at crustal depths, *Tectonophysics*, 590:136-150. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.01.016>.

Caporali A., Braitenberg C., Montone P., Rossi G., Valensise G., Viganò A. and Zurutuza J. (2018). A quantitative approach to the loading rate of seismogenic sources in Italy, *Geophysical Journal International*, 213(3):2096-2111. <https://doi.org/10.1093/gji/ggy112>

Devoti, R., Zuliani D., Braitenberg C., Fabris P., Grillo B., 2015. Hydrologically induced slope deformations detected by GPS and clinometric surveys in the Cansiglio Plateau, southern Alps, *Earth and Planetary Science Letters*, 419, 134-142, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.03.023>.

Grillo B., Braitenberg C., Nagy I., Devoti R., Zuliani D. and Fabris P. (2018). Cansiglio Karst Plateau: 10 Years of Geodetic-Hydrological Observations in Seismically Active Northeast Italy. *Pure Appl. Geophys.* 175:1765-1781. <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1860-7>

Rossi G., Zuliani D. and Fabris P. (2016) Long-term GNSS measurements through Northern Adria microplate reveal fault-induced fluid mobilization, *Tectonophysics*, 690:142-159, doi: 10.1016/j.tecto.2016.04.031.

Rossi G., Zuliani D. and Fabris P. (2017). Corrigendum to: Long-term GNSS measurements through Northern Adria microplate reveal fault-induced fluid mobilization. *Tectonophysics*, 694:486-487, doi: 10.1016/j.tecto.2016.10.035.

Rossi G., Fabris P. and Zuliani D. (2018). Overpressure and fluid diffusion causing non-hydrological transient GNSS displacements, *Pure and Applied Geophysics*, 175:1869-1888, doi: 10.1007/s00024-017-1712-x.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B. and Gasperini P. (2019). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>

Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli B. and Gasperini P. (2020). The Italian earthquake catalogue CPTI15. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(7):2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>

Zuliani D., Fabris P. and Rossi G. (2018.) FReDNet: evolution of permanent GNSS receiver system. In: "New Advanced GNSS and 3D Spatial Techniques Applications to Civil and Environmental Engineering, Geophysics, Architecture, Archeology and Cultural Heritage", "Lecture notes in Geoinformation and Cartography", Cefalo R., Zieliński J., Barbarella, M (Eds), Springer, pp. 123-137, doi:10.1007/978-3-319-56218-6_10.

Scheda di approfondimento 2 – Criteri di scelta dei siti accelerometrici

Uno degli scopi del progetto è quello di fornire, in caso di terremoto, una stima rapida dello scuotimento in area epicentrale, al fine di pervenire a valutazioni del danneggiamento in termini statistici, ossia di percentuale di edifici gravemente lesionati. Allo scopo è prevista la realizzazione di una densa rete di rilevamento costituita da 300 accelerometri dislocati sul territorio. Il numero è stato determinato sulla base del budget del progetto e tenuto conto del costo della strumentazione attualmente disponibile sul mercato. La scelta dei punti di misura costituisce un elemento critico per il progetto, stante l'ampiezza dell'area potenzialmente interessata dai terremoti e l'estrema variabilità dello scuotimento, anche a livello locale, per effetto della morfologia e della geologia di superficie. E' pertanto necessario operare un'ottimizzazione che tenga conto della distribuzione della sismicità in relazione ai siti di interesse. Al proposito, una panoramica delle conoscenze sismologiche per la regione è data dal volume "Distretti sismici del Veneto" (Sugan e Peruzza, 2011). Il Veneto è caratterizzato da una sismicità intermedia a livello Italiano, con faglie sismogenetiche distribuite prevalentemente lungo la fascia pedemontana in grado di generare terremoti con magnitudo massima intorno a 6.5 (Fig. 8). La presenza di queste sorgenti sismiche, riconosciute sulla base dei terremoti storici e di indagini geologiche e geofisiche, trova riscontro nella distribuzione della sismicità rilevata strumentalmente dal 1977 (Fig. 9), dapprima con le stazioni della Rete Sismometrica del Friuli Venezia Giulia e successivamente, a partire dal 1990, dalle stazioni della Rete Sismometrica del Veneto, gestita dall'OGS in collaborazione con la Protezione Civile regionale (Fig. 10). Le conoscenze sismologiche relative al Veneto e alle altre regioni sono confluite nella redazione della Mappa di Pericolosità Sismica italiana (Gruppo di Lavoro MPS, 2004). Questa fornisce un valore di accelerazione orizzontale (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni in corrispondenza ad una densa griglia di punti che copre l'intero territorio nazionale (in Fig. 11 la porzione della mappa relativa al Veneto). Adottata ufficialmente con OPCM 3519 del 2006, essa costituisce il riferimento per le norme sulle costruzioni. Accanto alla mappa, esiste una suddivisione dei comuni italiani in 4 classi di pericolosità (numerata da 1, massima pericolosità, a 4, minima pericolosità) utilizzata per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti. La classificazione è basata su soglie di a_g desunte dalla mappa di pericolosità. La classificazione sismica dei comuni del Veneto è stata adottata dalla Regione con DCR 67 del

2003 (è quindi antecedente all'ultima revisione della mappa di pericolosità sismica nazionale). I 563 comuni del Veneto rientrano nelle classi di pericolosità da 2 a 4 (Fig. 12) e sono così ripartiti:

- 81 comuni in classe 2 (in rosso in Fig. 12)
- 319 comuni in classe 3 (in giallo in Fig. 12)
- 163 comuni in classe 4 (in verde in Fig. 12)

In alcuni atti amministrativi della Regione Veneto si è fatto riferimento a ulteriori classificazioni dei comuni basate su valori di ag della più recente mappa di pericolosità di Fig. 11. Per esempio, nell'attribuzione di fondi per studi di microzonazione e il miglioramento di edifici pubblici (DGR 1389 del 2018) sono stati presi in considerazione tutti i comuni per i quali la mappa di pericolosità sismica riporta $ag > 0.125g$: si tratta di 321 comuni evidenziati con tratteggio in Fig. 12. Questo numero è molto prossimo a quello dei 300 siti previsti dal progetto. Si ritiene pertanto di utilizzare questo insieme di comuni come base di partenza per l'ulteriore selezione, da effettuarsi secondo un criterio di pericolosità decrescente, oppure tenendo conto di estensione e popolazione dei comuni oltre che di vincoli di natura logistica (per esempio disponibilità di un edificio adeguato). Da notare che la suddetta selezione per soglia di ag lascia scoperta l'area meridionale del Veneto (comuni in classe 3 della provincia di Rovigo) danneggiata dai terremoti dell'Emilia del 2012. Un adeguato numero di sensori dovrà essere dislocato anche in questa zona, così come, per omogeneità di copertura, in alcuni comuni della classe 4. Si terrà inoltre conto della disposizione di stazioni accelerometriche già presenti sul territorio e gestite da varie istituzioni (Fig. 13). Essendo interessati all'effetto dei terremoti sull'edificato, i sensori dovranno essere installati in aree urbanizzate. In questo, la realizzazione di una stazione accelerometrica segue un criterio opposto a quello di una stazione sismometrica, che privilegia luoghi isolati a basso rumore antropico.

Riferimenti bibliografici

Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M. and Boschi E. (2008). The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, *Tectonophysics*, 453:20-43.

DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 Marzo 2003. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano-Roma, Italy, 65 pp. + 5 app.

Sugan M. and Peruzza L. (2011). Distretti Sismici del Veneto. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, 52:s3-s90.

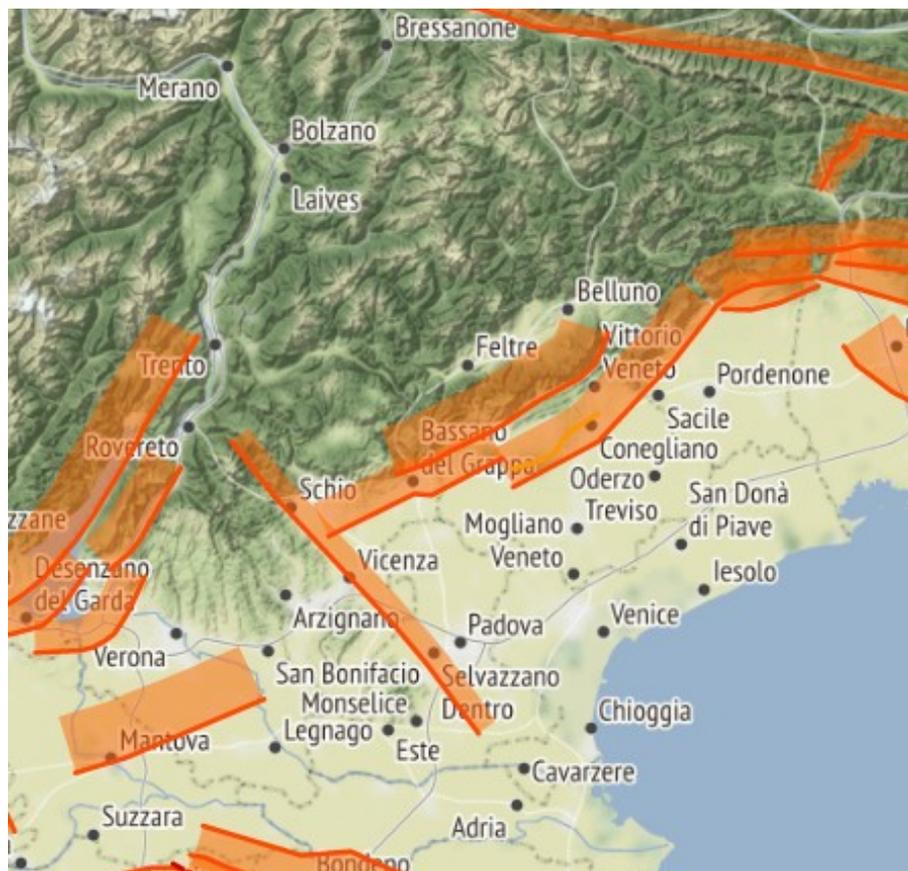


Figura 8. Sorgenti sismogenetiche in Veneto e aree contermini tratte dal “Database of Individual Seismogenic Sources” (DISS, Basili et al., 2008), versione 3.2.1 (DISS Working Group, 2018).

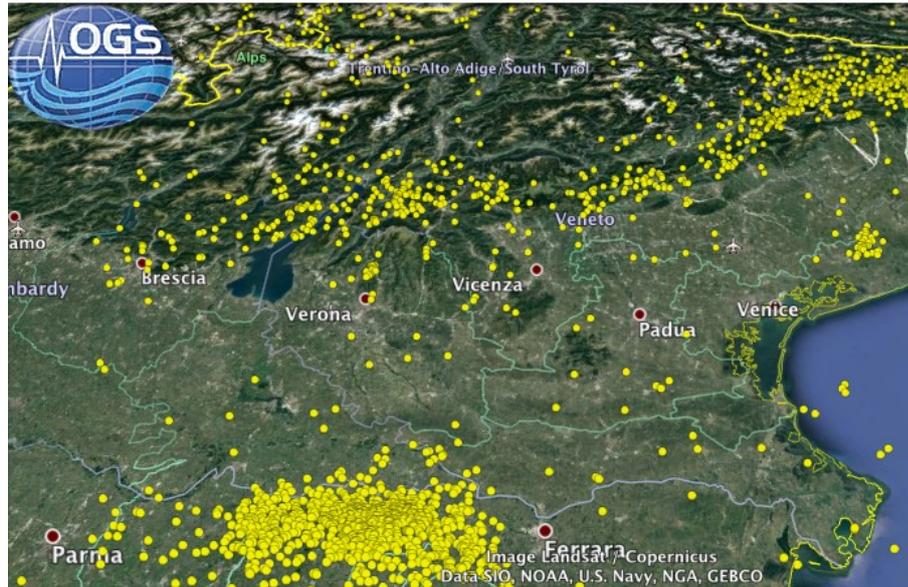


Figura 9. Terremoti di magnitudo M_d superiore a 2.5 registrati in Veneto e nelle zone limitrofe a partire dal 1977 (dati dal sito OGS relativo al monitoraggio sismico nell'Italia nord-orientale, <http://rts.crs.inogs.it>).

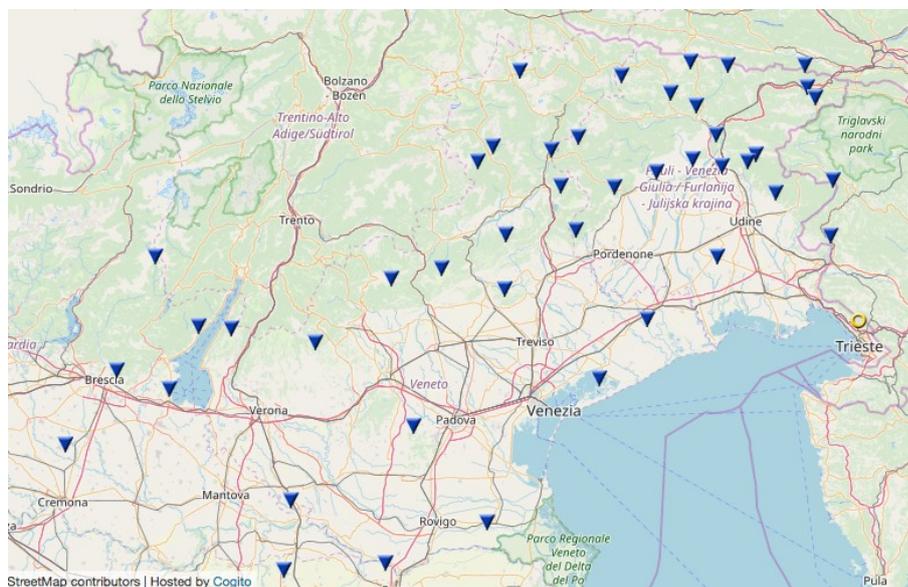


Figura 10. Stazioni sismometriche gestite da OGS (figura tratta dal sito OGS relativo al monitoraggio sismico nell'Italia nord-orientale, <http://rts.crs.inogs.it>).

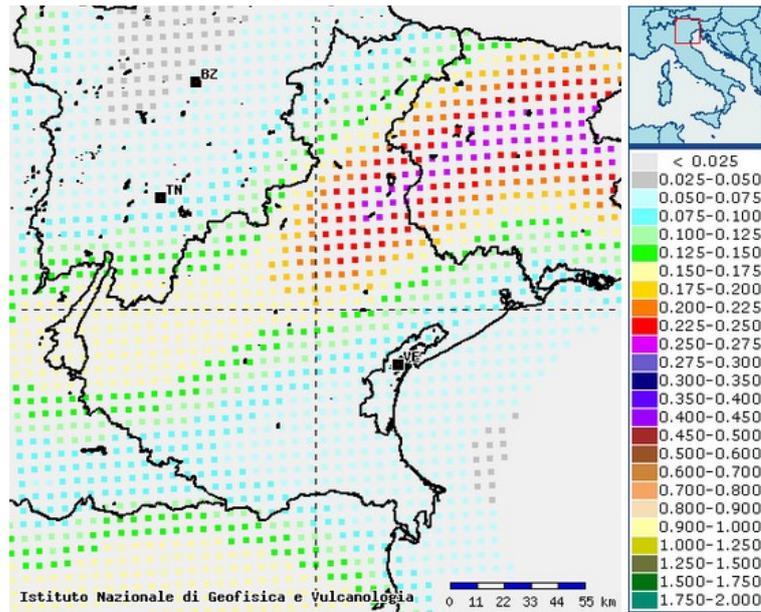


Figura 11. Mappa di pericolosità sismica (Gruppo di Lavoro MPS, 2004 entrata in vigore con OPCM 3519/2006) con dettaglio riferito al Veneto. La scala cromatica rappresenta valori di accelerazione orizzontale di picco (espressi in g, g accelerazione di gravità) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni per sito su roccia (valore indicato con a_g nella normativa).

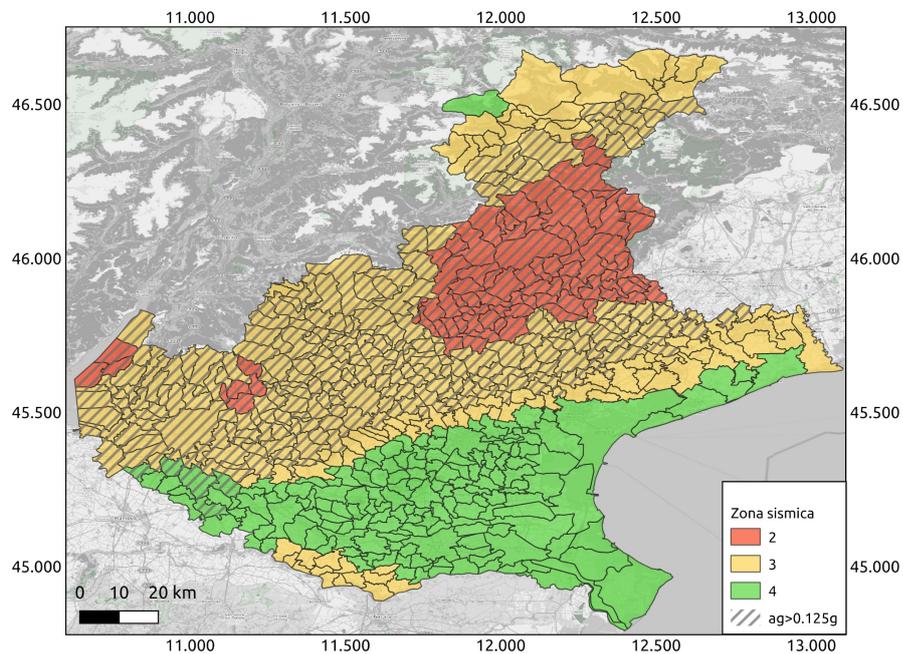


Figura 12. Classificazione sismica dei comuni del Veneto come da DCR 67/2007 (aree colorate) e comuni con $a_g > 0.125g$ (tratteggio).

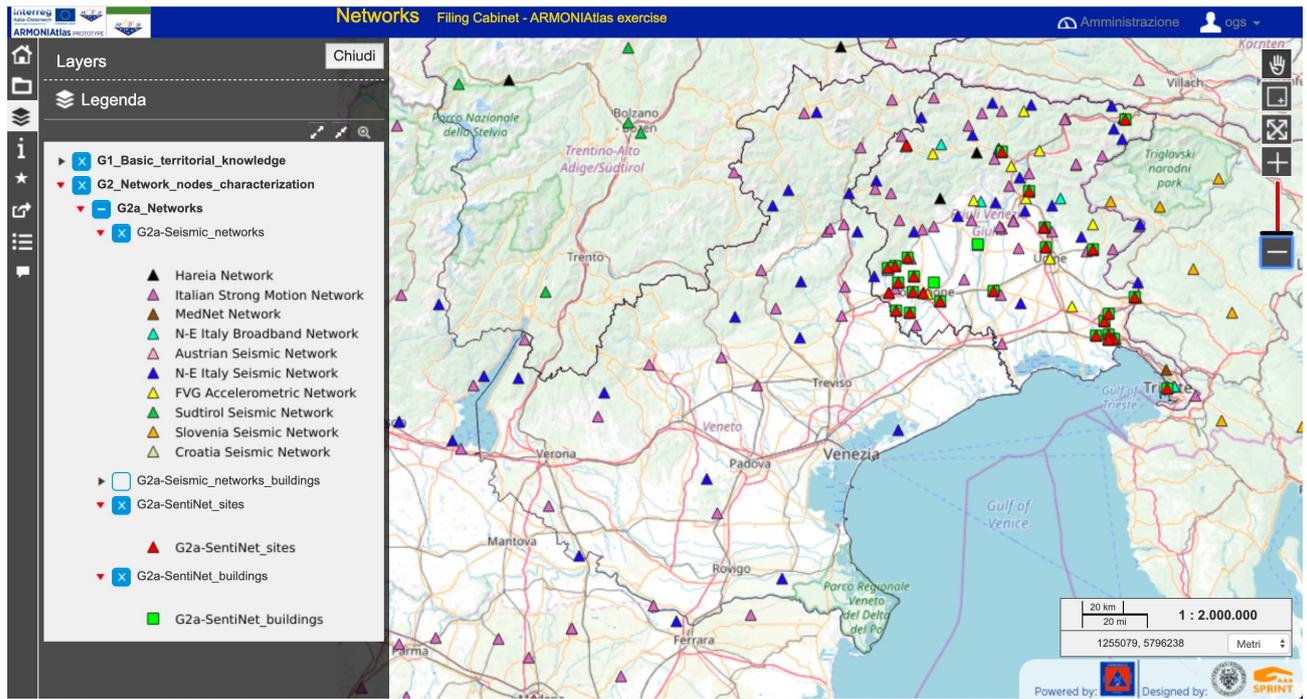


Figura 13. Stazioni sismometriche e accelrometriche attualmente presenti sul territorio.

Scheda di approfondimento 3 – Descrizione e specifiche della “Tavola Vibrante” adibita alla calibrazione di sismometri e accelerometri

La determinazione della risposta strumentale dei sensori ad uso sismologico, velocimetri e accelerometri, è fondamentale per la corretta ricostruzione dei segnali registrati. Per questo motivo, il Centro di Ricerche Sismologiche dell’OGS ha sviluppato una procedura di calibrazione per la determinazione della curva di risposta di sismometri e accelerometri nella gamma di frequenze 0.03 --- 100 Hz.

La calibrazione avviene tramite un sistema hardware chiamata “Tavola Vibrante” (Fig. 14) e realizzata dallo staff tecnico del dipartimento (Di Bartolomeo et al. 2005, Ponton et al. 2005, Ponton et al. 2002) e ispirata uno dei diversi metodi di calibrazione diretti descritti in Wielandt et al 2009.

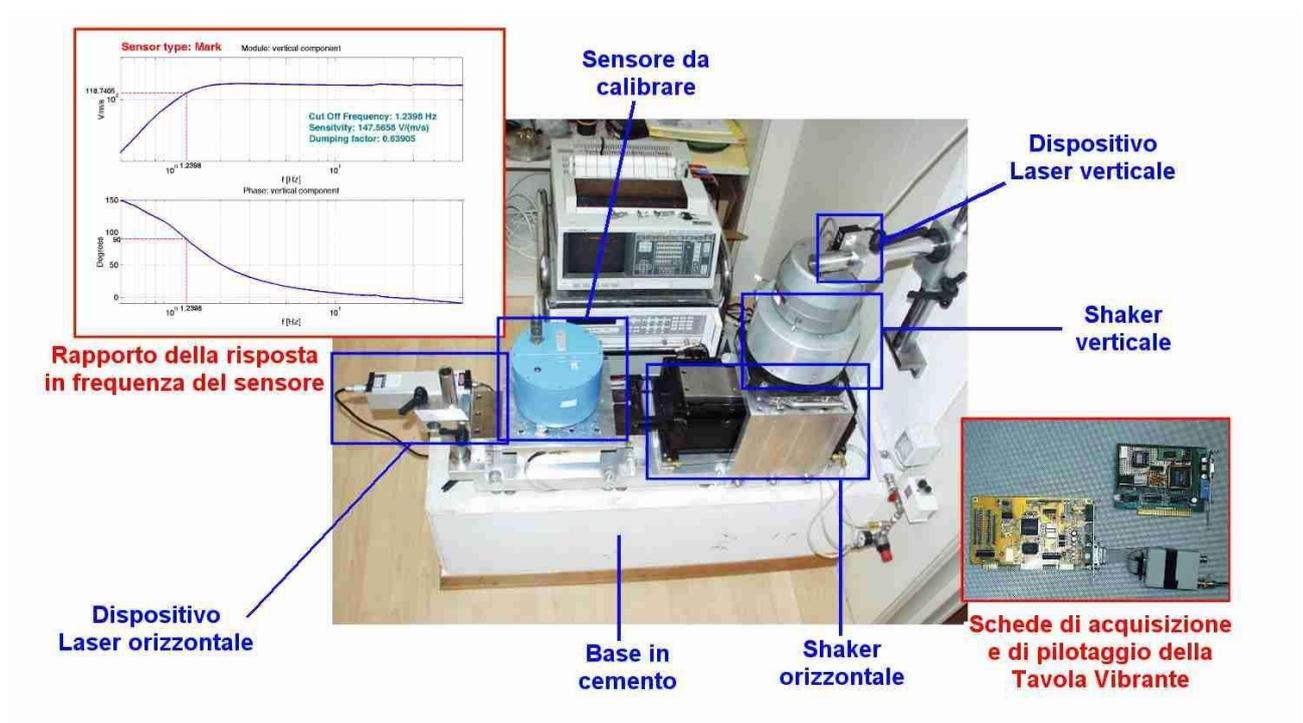


Figura 14. Tavola vibrante

La “Tavola Vibrante” è costituita dai seguenti elementi:

1. una base di cemento di circa 500Kg saldamente connessa alla struttura dell’edificio in cui è ospitata;
2. due shaker, uno (APS ELECTRO-SEIS Model 113-AB) per sollecitare i sensori su un piano orizzontale (due componenti con escursione massima di +/-60mm, 120mm p-p) ed uno (APS PERMA-DYNE Model 120S) verticale (terza componente con escursione massima di +/-2.5mm, 5.1mm p-p). Gli shaker sono fissati alla base in cemento. Lo

shaker orizzontale è collegato ad un carrello (o tavola) che può scorrere lungo un'unica direzione sul piano orizzontale. Gli attriti del carrello sono ridotti al minimo grazie ad un cuscinetto d'aria che tiene sospesa la tavola durante la fase di taratura;

3. due dispositivi laser: uno (Optodyne L-109) utilizzato generalmente per misurare gli spostamenti del sensore in tempo reale sulle componenti orizzontali (precisione 2.5nm) e l'altro (NAIS LM 300) per la valutazione degli spostamenti del sensore lungo la componente verticale (precisione di circa 200nm);
4. un'interfaccia per l'acquisizione dei dati dai sensori laser. L'interfaccia è stata sviluppata al CRS con l'implementazione di un contatore digitale tramite una logica FPGA (Field Programmable Gate Array) da 128 macro-celle;
5. un dispositivo di acquisizione a 24 bit (modello Lennartz M24) che raccoglie e registra i segnali prodotti dal sensore durante la fase di calibrazione;
6. un amplificatore di potenza per il pilotaggio (APS Dynamics Model 124) degli shaker;
7. un PC dotato di scheda D/A (Sigma - Delta Crystal CS4231) per il pilotaggio dell'amplificatore di potenza. Il PC, inoltre, raccoglie i dati del test dell'acquisitore M24 e dalla scheda di interfaccia del dispositivo laser.

Il software per la gestione del sistema, pilotaggio della "*Tavola Vibrante*" e acquisizione dei segnali, e gli script di elaborazione dei dati sono realizzati in ambiente Matlab. Il codice realizzato è costituito da diversi script (***filtro_uni.m***, ***sweepDiscrete.m***, ***vibrotool.m***, ***vibrocal.m***) è descritto più in dettaglio in Zuliani et al. 2007 e Zuliani et al. 2006.

Attualmente si utilizza una procedura che elabora in automatico la curva di risposta, in modulo e fase, del sensore in base ai dati del test. Il sistema funziona a "*Catena aperta*" e il segnale di pilotaggio della "*Tavola Vibrante*" è predeterminato e coincide con un rumore gaussiano opportunamente filtrato.

Tramite la Tavola Vibrante sono state finora calibrate decine di sensori di diversa marca (ad esempio: Lennartz 3DLite, Guralp CMG40, Trillium Nanometrics) e tipologia (sia velocimetri che accelerometri) appartenenti a diverse aziende private ed enti pubblici (diversi esempi sono riportati in Zuliani et al. 2008, 2012, 2011, e Diez et al. 2006) o anche sperimentali (Vesnaver et al. 2013). Il risultato prodotto per ogni calibrazione consiste in un foglio tecnico che contiene la risposta in frequenza, in modulo e fase, del sensore considerato (Fig. 15).

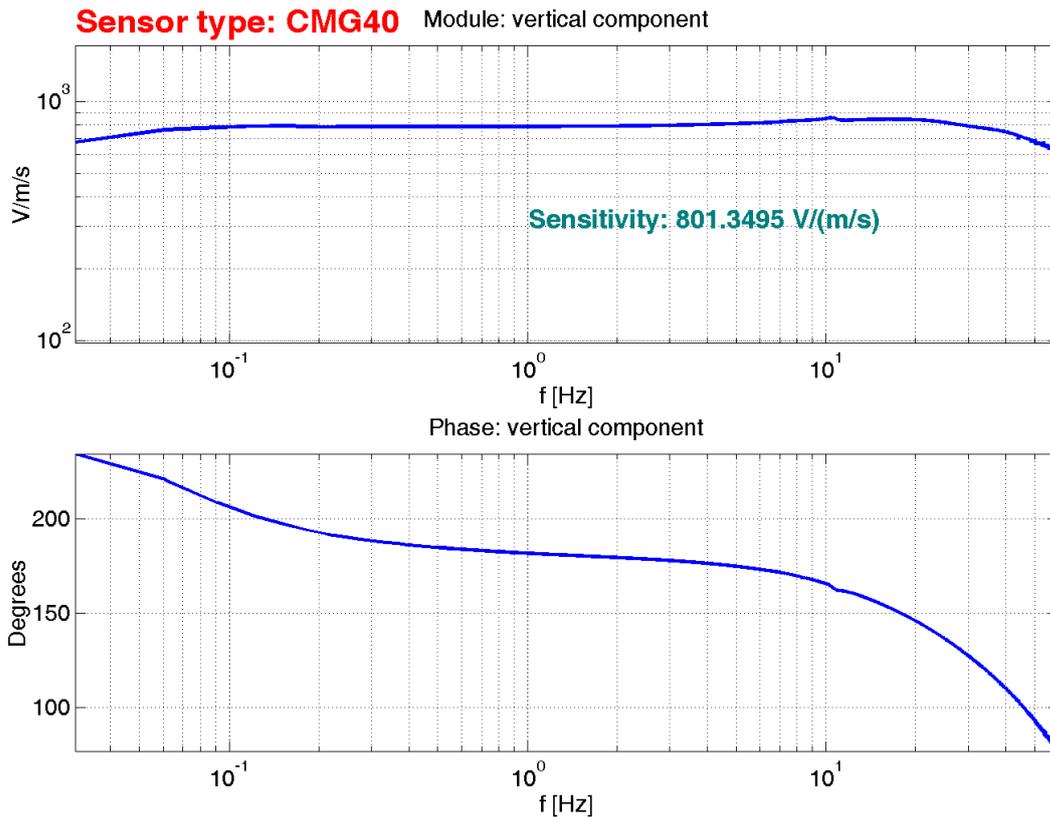


Figura 15. Risposta in frequenza della componente verticale di un velocimetro Guralp CMG40

Tale documento è fondamentale in diversi ambiti:

- per valutare le differenze rispetto le caratteristiche dichiarate dal costruttore;
- per definire le caratteristiche di un nuovo strumento (prototipi, o strumenti di recente costruzione);
- per stimare eventuali differenze tra il sensore calibrato e il modello matematico medio che lo definisce. Le differenze rilevate sono imputabili all'invecchiamento del sensore o a guasti non rilevabili da una semplice valutazione visiva delle tracce registrate.

Per la calibrazione del sensore è necessario che i segnali registrati possano essere resi disponibili, per l'elaborazione con il codice matlab, nei formati più idonei, ad esempio: mseed (Ahern et al. 2009; Ringler et al. 2015,), sac (IRIS 2014) o direttamente nel formato testo realizzato per il software vibrocalc.m (Zuliani et al. 2006, 2007). Per una corretta calibrazione è inoltre fondamentale l'adeguato accoppiamento meccanico ed elettrico tra la tavola vibrante e il sensore da calibrare. Per questi motivi è necessario definire in maniera preventiva una serie di standard e protocolli che devono essere rispettati per la compatibilità di misura con la

Tavola Vibrante. Si ricorda che l'infrastruttura è stata ideata inizialmente per la calibrazione di velocimetri e in secondariamente per l'impiego anche con strumentazione accelerometrica. In questo senso, il personale che cura lo sviluppo e l'utilizzo della Tavola Vibrante, ritiene che i margini di miglioramento, necessari per la calibrazione dei sensori accelerometrici, sono subordinati all'upgrade della strumentazione e in specifico al sistema di acquisizione Laser e al sistema di controllo della tavola.

Riferimenti bibliografici

Ahern T., Casey R., Barnes D., Benson, R, Knight T. and Trabant C.. (2009). SEED Reference Manual, version 2.4, http://www.fdsn.org/pdf/SEEDManual_V2.4.pdf.

Di Bartolomeo P., Ponton F., Urban C. and Zuliani d. (2005). Relazione tecnica relativa al metodo diretto di calibrazione di sensori sismometrici tramite tavola vibrante, Rel. OGS-11/2005/CRS-3 20 luglio, 2005, DOI: 10.13140/RG.2.1.4828.5848

Diez Zaldivar E.R., Zuliani D. and Ponton F. (2006) Cuban Seismic Network Short Period Seismometer Calibration, IC/IR/2006/006 Internal Report for "The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics - ICTP", dec 2006, DOI: 10.13140/RG.2.1.3825.0649

IRIS (2014). Seismic analysis code user manual, version 101.6a. 516 pp, https://ds.iris.edu/files/sac-manual/sac_manual.pdf

Ponton F., Di Bartolomeo P., Zuliani D. and Diez E. (2005). Shaking Table, Centro di Ricerche Sismologiche - Department of Seismology, Annual Report, 2005, pp 38-40.

Ponton F., Di Bartolomeo P., Govoni A. and D. Zuliani (2002). Seismometer calibration at OGS, XXVII General Assembly of the European Seismological Commission, University of Genova, poster, September 2-8 2002, DOI: 10.13140/RG.2.1.3749.9285

Ringler A.T. and Evans J.R. (2015). A Quick SEED Tutorial. *Seismological Research Letters* ; 86 (6): 1717-1725. doi: <https://doi.org/10.1785/0220150043>

Vesnaver A., Poggiagliolmi E., Brunetti F. and Zuliani D. (2013). Calibration of a new uncoupled acoustic sensor for ground motion detection, (presentation) 32° Congresso Nazionale GNGTS - Trieste Stazione Marittima, 19-21 nov. 2013 DOI: 10.13140/RG.2.2.24617.83041

Zuliani D. (2011). "TAVOLA VIBRANTE: Sviluppo e utilizzo di un banco di taratura per sismometri", Assemblea CRS@2010: un anno di ricerche, CRS Udine, 19 Jan. 2011, DOI: 10.13140/RG.2.2.32781.97766

Zuliani D. and Diez E. (2006). VIBROCALC Relazione tecnica: Seismic sensor frequency response elaboration software, Rel. OGS-076/2006/CRS-017 29 agosto 2006, DOI:10.13140/RG.2.1.4566.4408

Zuliani D. and Diez E. (2012). Taratura anno 2011 dei sismometri short-period della Rete Sismometrica del Friuli-Venezia Giulia, 2012/7 CRS 2 INTA, dd. 23/2/2012, DOI: 10.13140/RG.2.1.4910.5044

Zuliani D. and Ponton F. (2008). Taratura di sismometri modello LE-3D/5S dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV, Rel. OGS-038/2008/CRS-003 13 marzo 2008.

Zuliani D., Diez Zaldivar E.R. and Ponton F. (2007). VIBROCALC, seismometer frequency response elaboration software, IC/IR/2007/004 Internal Report, for "The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics - ICTP", dec. 2007, DOI: 10.13140/RG.2.1.2514.3444.

Wielandt E. (2009): Seismic Sensors and their Calibration. --- In: Bormann, P. (Ed.), New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP), Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, 1-46. DOI: 10.2312/GFZ.NMSOP_r1_ch5.