

# PSC

Relazione Geologica

PSC/RG

Approvato con delibera di Consiglio n. \_\_\_\_ del \_\_\_\_

**Il Sindaco**

Irene Priolo

**Il Vice Sindaco**

Onofrio Dell'Orto

**Il Segretario Comunale**

Dott.ssa Beatrice Bonaccorso

**Progettista**

Gabriele Tarabusi (Studio Tarabusi)

VARIANTE AL PSC

n. 1



## INDICE

1. Premessa.....	pag. 2
2. Assetto geomorfologico, geologico e idrogeologico.....	pag. 5
3. Inquadramento sismico.....	pag. 10
4. Modellazione geologica e sismica.....	pag. 16
5. Conclusioni e indicazioni.....	pag. 21
6. Bibliografia.....	pag. 23
7. Allegato - rapporti delle indagini.....	pag. 25

## 1. PREMESSA

La variante del PSC in oggetto interessa i due ambiti di possibile espansione residenziale (ARS.CA\_III e ARS.CA\_IV) posti a nord del Capoluogo.

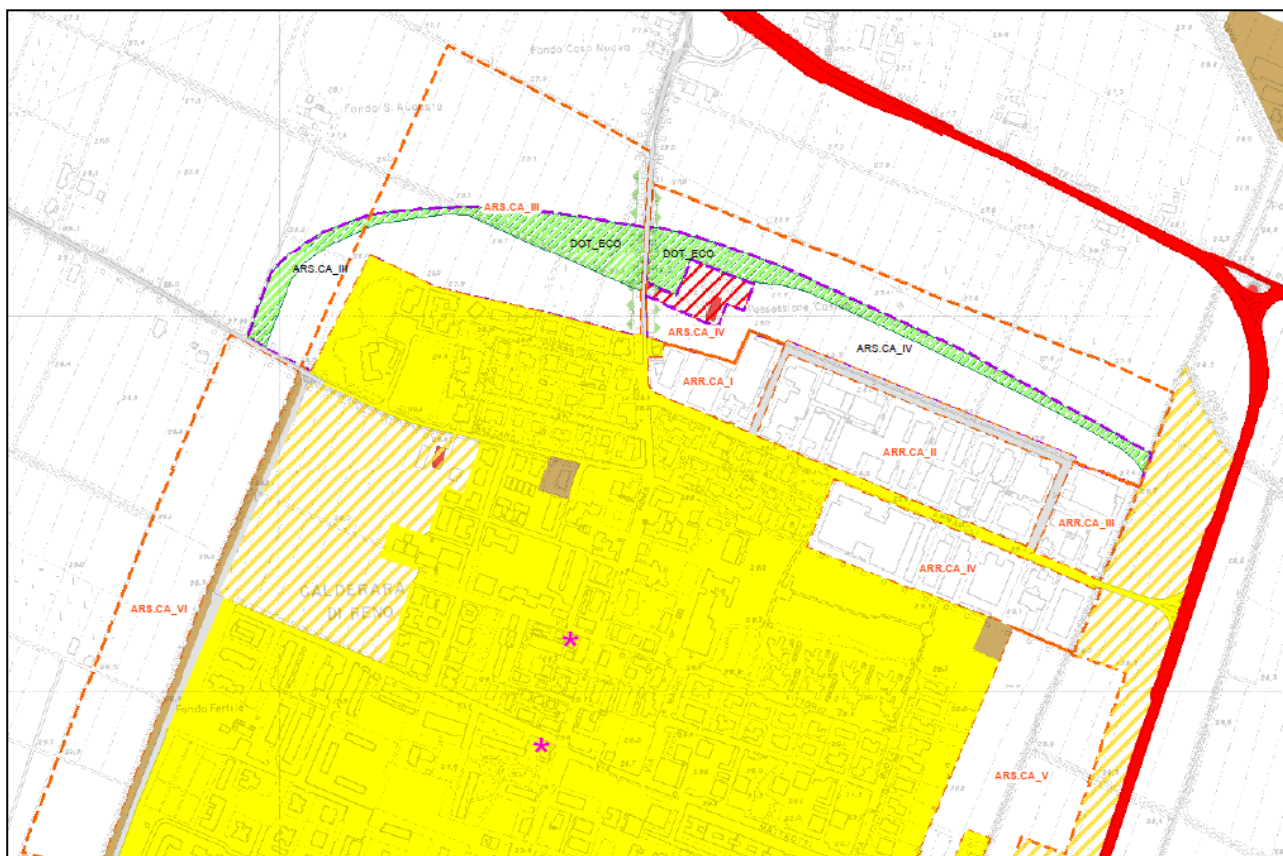
In figura1, il perimetro degli ARS vigenti è indicato in arancione, mentre il perimetro degli ARS proposto in variante è indicato in viola. La riduzione areale degli ambiti prevista è pari a circa il 40%.

Oltre alla riduzione delle aree, è stata prevista, nei nuovi ambiti, una fascia destinata a dotazioni ecologiche "DOT\_ECO" (in verde in figura1) in cui verranno realizzate le dotazioni a verde ed in particolare una pista ciclabile e pedonale.

Gli indici che le aree possono esprimere sono i seguenti:

- per le aree ARS un range che va da 0,10 mq/mq a 0,25 mq/mq (come da PSC vigente);
- per le aree DOT\_ECO un range che va da 0,01 mq/mq a 0,05 mq/mq

Gli ambiti ARS dovranno avere prevalentemente una destinazione residenziale, sono ammessi gli usi compatibili con la residenza come disciplinato dall'art. 32 del PSC.



**Figura 1.** Ambiti del PSC di Calderara di Reno con indicazione, in viola, delle varianti alle perimetrazioni previste (ARS.CA\_III e ARS.CA\_IV).

La variante prevede per l'ambito ARS\_CA.III, oltre alla riduzione e all'introduzione della

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA VARIANTE DEL PSC DEL COMUNE DI CALDERARA DI RENO

fascia DOT\_ECO, anche l'inserimento di un'area attualmente destinata a zona agricola. La scelta di trasformare questa zona in ambito di possibile trasformazione residenziale è data dalla possibilità di collegare l'ambito ARS\_CA.III con l'ambito delle Mimose (già inserito in attuazione nel Piano Operativo), dando una continuità al territorio urbanizzato del Capoluogo.

La presente relazione ha il compito di inquadrare, dal punto di vista geologico e della risposta sismica locale gli ambiti oggetto di variante, con riferimento alle possibili criticità che richiedano approfondimenti di indagine specifici e di indicare prescrizioni generali per la riduzione del rischio sismico per i successivi livelli di pianificazione (POC e PUA) e per la fase esecutiva.

In particolare, per gli aspetti connessi alla pericolosità sismica occorre fare riferimento alla Delibera Assemblea Legislativa (DAL) della Regione Emilia Romagna n.112/2007 ("Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica") che ha imposto l'elaborazione degli studi di microzonazione sismica nella pianificazione territoriale, definendo criteri di approfondimento differenziati ("livelli") a seconda delle fasi di programmazione affrontate e del contesto di pericolosità locale riscontrato.

La Provincia di Bologna ha approvato (con Delibera del Consiglio Provinciale n. 57 del 28/10/2013) la Variante al PTCP in materia di "rischio sismico" che, sulla base delle indicazioni della DAL n.112/2007 ha sviluppato il "primo livello" di approfondimento geologico sismico, dando disposizioni ai Comuni su come e dove effettuare i successivi livelli di approfondimento, che potranno integrare e meglio definire le informazioni elaborate alla scala provinciale. La Variante al PTCP ha prodotto una specifica cartografia della pericolosità sismica preliminare: la tavola 2C "Rischio Sismico – Carta degli Effetti Locali Attesi" alla scala 1:65.000 per la pianura e 1:25.000 per la collina e montagna; ha inoltre elaborato una nuova normativa finalizzata alla riduzione del rischio sismico, che definisce e chiarisce i ruoli e gli approfondimenti richiesti nei vari strumenti urbanistici comunali, il rapporto con la pianificazione sovraordinata e i tempi richiesti per il loro adeguamento alla variante stessa.

Il Comune di Calderara di Reno ha commissionato allo Studio scrivente uno studio di microzonazione sismica di "secondo livello", finanziato coi fondi del Dipartimento di Protezione Civile di cui all'OPCM 4007/2012, che è stato ultimato e consegnato nel maggio 2013 ed è, al momento della redazione della presente relazione, in attesa di ricevere il Certificato di Conformità da parte degli enti competenti (DPC e Regione Emilia Romagna). In ragione del finanziamento suddetto, tale studio è stato redatto sulla base delle indicazioni contenute nell'Allegato C della Delibera 1302/2012 (Regione Emilia-Romagna, 2012) della Giunta della Regione dell'Emilia-Romagna, dal titolo "Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica, di cui all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 4007/2012, e decreto del 16 marzo 2012 del capo del Dipartimento della Protezione Civile". Lo studio di microzonazione risulta in ogni caso conforme alla DAL n.112/2007.

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA VARIANTE DEL PSC DEL COMUNE DI CALDERARA DI RENO

La presente relazione si basa quindi sulle risultanze dello studio di microzonazione sismica di "secondo livello", che è stato realizzato a partire dai contenuti della Variante al PTCP in materia di "rischio sismico" ("primo livello"), redatta solo pochi mesi prima.

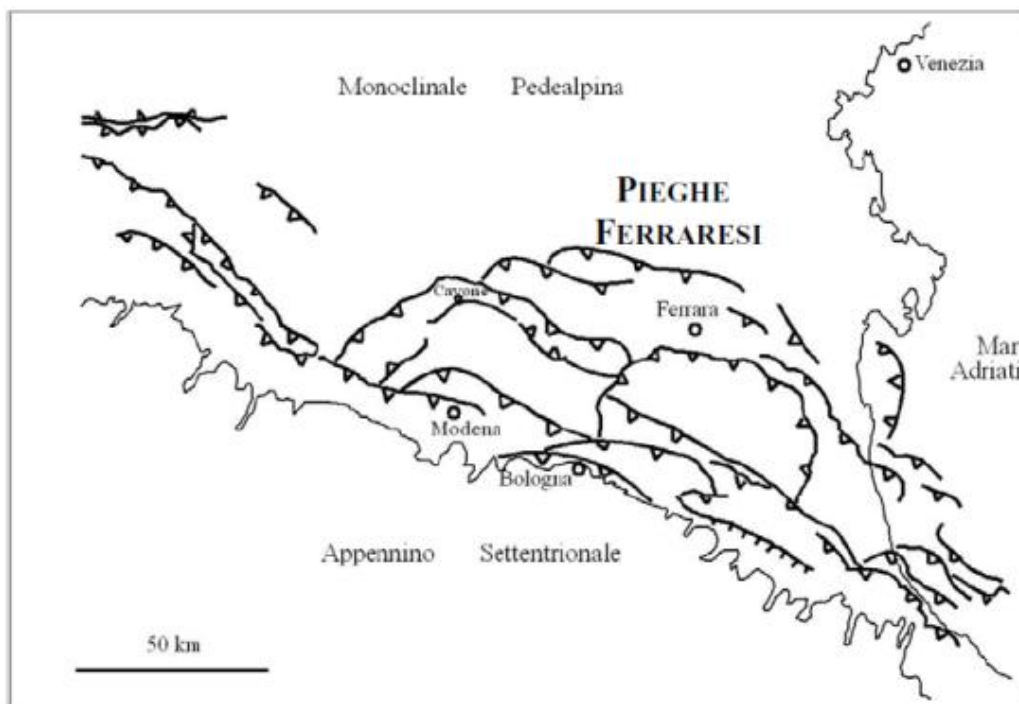
## 2. ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

### 2.1 Inquadramento geologico

Il territorio del comune di Calderara di Reno si posiziona nella parte centro-meridionale della Pianura Padana che costituisce, dal punto di vista geologico, un grande bacino subsidente plio-quadernario di tipo sedimentario.

Il contesto geologico di riferimento è pertanto quello del Bacino Padano che strutturalmente rappresenta un'area di avanfossa che si è originata per la subduzione della microplacca padano-adriatica al di sotto dell'orogene appenninico (Dondi & D'Andrea, 1986; Pieri & Groppi, 1981).

L'area in esame si trova al margine esterno del fronte emerso della catena appenninica settentrionale, strutturata nel Miocene superiore-Pliocene inferiore, nella fascia di alta pianura padana dove si rinvengono spessi depositi alluvionali e in cui le deformazioni, sepolte, sono prevalentemente del Pliocene superiore e Quaternario. Tali deformazioni sepolte, presenti a nord di Calderara di Reno, rappresentano il vero fronte appenninico che sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta secondo una serie di archi (figura 2) disposti a formare una fascia circa parallela al bordo appenninico (Pieri & Groppi, 1981).



**Figura 2.** Schema tettonico del settore emiliano e romagnolo-ferrarese, con la suddivisione in Pieghe Emiliane, Ferraresi, Romagnole ed Adriatiche (da Dondi et al., 1982). In particolare si evidenziano le strutture sepolte che interessano la pianura emiliana.

In particolare, questa porzione di alta pianura emiliana, in cui si colloca il comune di Calderara di Reno, è caratterizzata dalla presenza di due elementi tettonici significativi che

ne hanno condizionato e orientato i processi deposizionali e le dinamiche geomorfologiche dal Pliocene fino ad oggi:

- la "Zona delle pieghe pedeappenniniche", dal margine collinare alla Via Emilia, costituita da una successione di sinclinali ed anticlinali, con asse a vergenza appenninica, spesso fagliate e sovrascorse sul fianco Nord;
- la "Zona della Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia", dove i depositi quaternari raggiungono il loro massimo spessore di tutta la pianura Padana.

Questo settore del bacino padano è riempito da una spessa coltre di sedimenti clastici sin-tettonici, di età prevalentemente pliocenica e pleistocenica che sigillano le strutture deformative plicative sottostanti.

Con il Pleistocene si instaura un nuovo ciclo sedimentario (Qm, Ricci Lucchi et al., 1982), che porta al colmamento del Bacino Padano in un regime di subsidenza generalizzata. I sedimenti sabbiosi, limosi ed argillosi, che riempiono la parte più superficiale del bacino, sono stati deposti dal fiume Po e dagli altri fiumi tributari che provengono dalla catena Appenninica, compreso il fiume Reno (Dondi et al., 1982; Pieri, 1984; Dondi & D'Andrea, 1986; Ori, 1993; Vittori & Ventura, 1995; Amorosi et al., 1999).

Nel Pleistocene medio, quindi, la prosecuzione del sollevamento comporta il definitivo instaurarsi della deposizione continentale e inizia la sequenza deposizionale denominata Supersintema Emiliano Romagnolo;

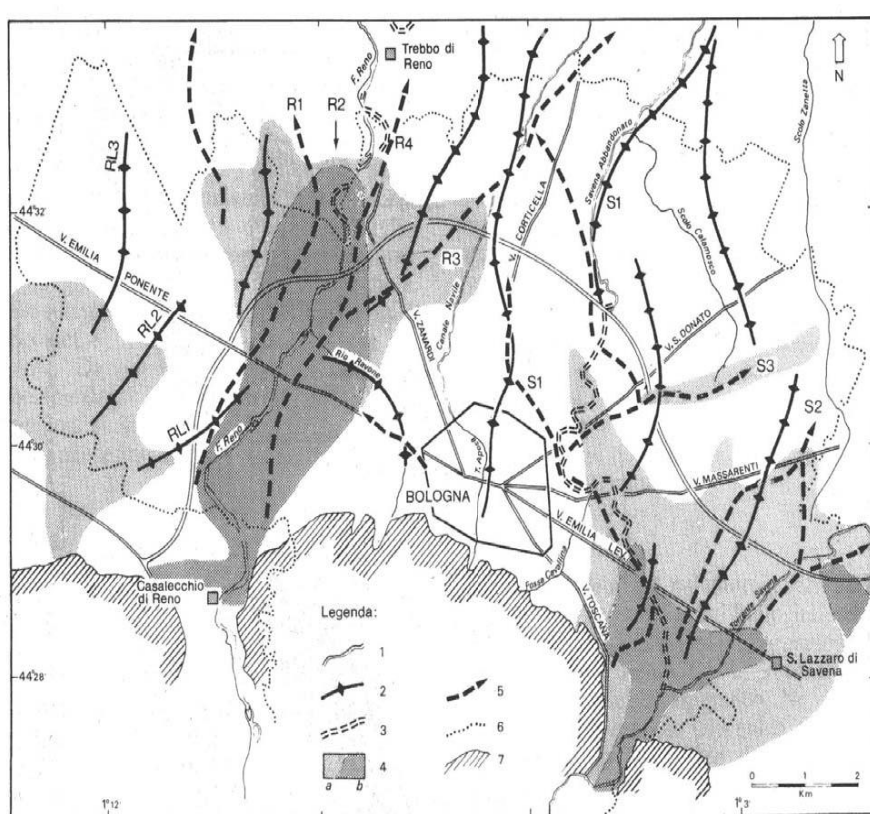
## **2.2 Paleogeografia e inquadramento geomorfologico e litologico**

Come riportato nella Relazione geologica a corredo del quadro conoscitivo per il PSC associato Terre d'acqua (Franchi, 2008) l'area di studio ha una complessa evoluzione paleogeografica, in particolare l'andamento dei paleoalvei e degli alvei attuali è stato fortemente condizionato dall'evoluzione strutturale profonda della Pianura Padana, da fenomeni climatici e da interventi antropici di deviazione, regimazione e bonifica (figura 3).

In particolare si evidenzia la presenza di paleo alvei del fiume Reno e del torrente Lavino anche nel territorio del comune di Calderara di Reno che trova conferma nella presenza di dorsali morfologiche e dalle litostratigrafie sia delle indagini eseguite sia di quelle recuperate nell'archivio comunale.



RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA VARIANTE DEL PSC DEL COMUNE DI CALDERARA DI RENO



**Figura 3.** Reticolo idrografico attuale e ricostruzione del reticolo idrografico antico del fiume Reno. Legenda: 1) Alvei attuali; 2) Posizioni di paleoalvei dedotti dalla presenza di dorsali morfologiche; 3) percorsi storici individuati in base a documenti o indicazioni storiche; 4) lobi sabbiosi (a) o ghiaiosi (b) della litologia superficiale; 5) assi di dorsali o di lobi ghiaiosi profondi; 6,7) limiti Comunali e del rilievo collinare (Elmi et al., 1984).

In sintesi, considerando l'evoluzione strutturale e geomorfologica deposizionale, si evidenzia che la litologia di superficie della zona di alta pianura è costituita in prevalenza da depositi fluviali continentali a matrice sabbioso-ghiaiosa con alvei e canali frequenti e con tendenza allo sviluppo di meandri; nell'ambito deposizionale del conoide del fiume Reno tali depositi grossolani nei primi 30 metri di profondità si spingono dal margine appenninico verso la pianura per una fascia di circa 15 km interessando pertanto anche l'area in esame.

Sinteticamente nel territorio del comune di Calderara di Reno si evidenzia la presenza di 10-20 metri di depositi coesivi (argillosi e limosi), con locali livelli metrici sabbiosi e limo-sabbiosi, al di sotto dei quali si incontrano le ghiaie e le sabbie costituenti le strutture sepolte (dossi) relative ai conoidi del Reno e del Lavino.

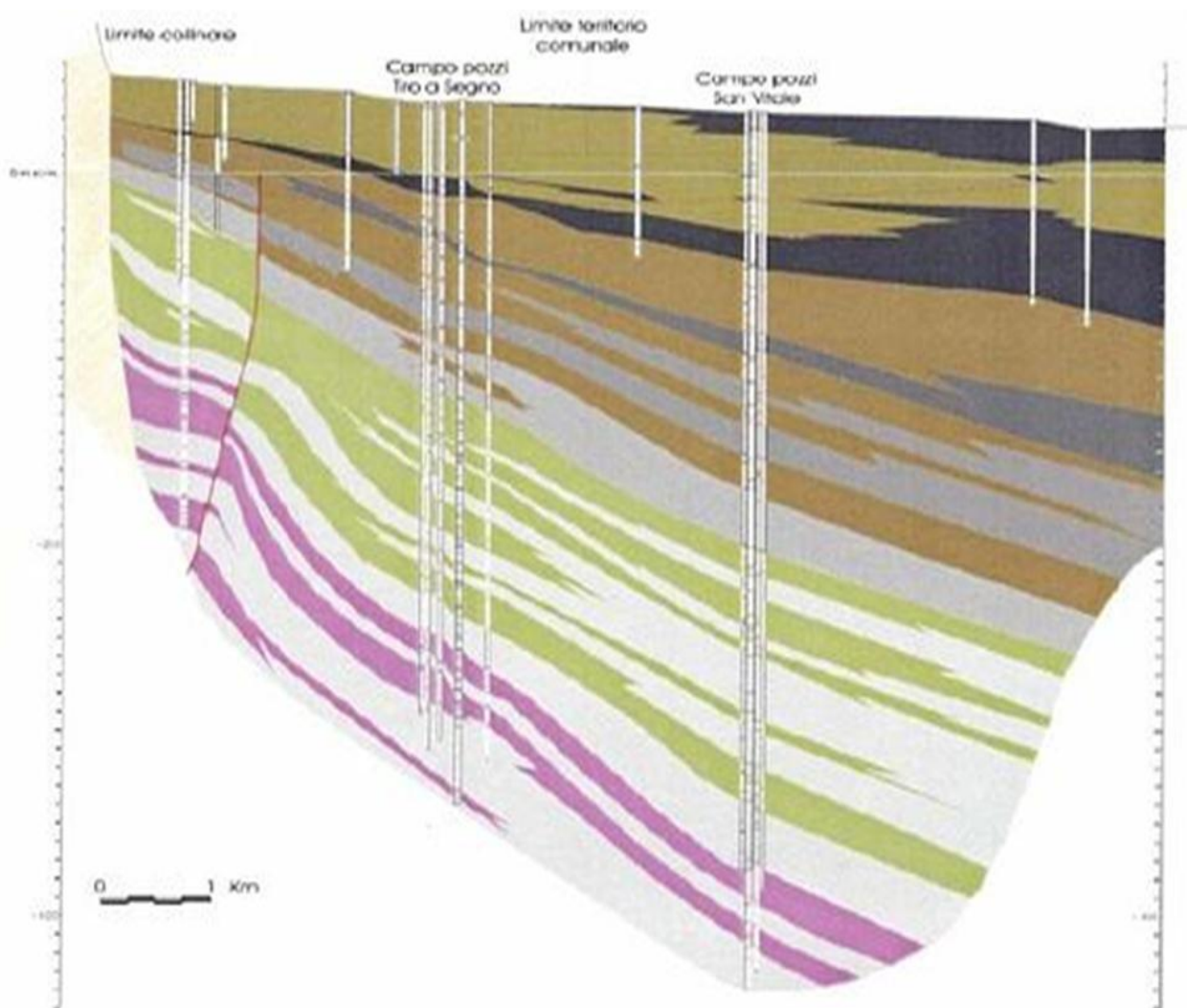
### 2.3 Idrogeologia



RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA VARIANTE DEL PSC DEL COMUNE DI CALDERARA DI RENO

I rilievi piezometrici eseguiti nell'area per lo studio di microzonazione sismica di "secondo livello" e i numerosi dati estratti dalle relazioni geologiche consultate presso l'archivio comunale, indicano l'esistenza di un acquifero multifalda costituito da un complesso di falde superficiali ed un complesso di falde profonde (figura 4).

In particolare, relativamente alla piezometria della falda acquifera superficiale i dati desunti dal Quadro Conoscitivo del PSC di Calderara di Reno indicano una soggiacenza abbastanza regolare, con valori mediamente compresi tra 1,00 m e 3,00 m di profondità dal piano di campagna ed una alimentazione che avviene tramite l'infiltrazione delle acque meteoriche dalla superficie (Tav. 9a/b/c del Quadro conoscitivo del PSC associato. Franchi, 2008).



**Figura 4.** Sezione idrogeologica dell'area oggetto di studio nella quale si evidenzia la presenza di un acquifero multifalda e dei campi pozzi acquedottistici di Tiro a Segno e di San Vitale che influenzano fortemente le peizometrie dell'area di coniode (Franchi, 2008).

Per quanto riguarda l'acquifero più profondo, si rileva un livello statico che si attesta a profondità variabili mediamente comprese tra 15,00 m ed i 30,00 m dal piano campagna.

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA VARIANTE DEL PSC DEL COMUNE DI CALDERARA DI RENO

I dati piezometrici rilevati negli anni evidenziano una profonda depressione nel conoide del Reno, dovuta agli intensi prelievi dei campi pozzi acquedottistici presenti (Borgo Panigale, Tiro a Segno e San Vitale), che giunge anche a  $-55$  m dal piano campagna; in particolare il campo pozzi di San Vitale presente nel territorio del comune di Calderara di Reno dispone di una batteria di dodici pozzi profondi da 400 m a 450 m che intercettano diversi livelli dell'acquifero della conoide del fiume Reno a partire da circa 95 m di profondità (Franchi, 2008).

Il richiamo causato dall'emungimento dei pozzi profondi si trasmette anche negli acquiferi più superficiali; infatti sono documentati fenomeni di drenanza fino a circa 200 metri di profondità, pur verificandosi con particolare evidenza tra il piano campagna e i 70 metri di profondità dove la differenza tra le quote piezometriche dei diversi acquiferi è pari a circa 20-30 m.

Sebbene l'evoluzione piezometrica nella conoide del Fiume Reno negli ultimi 30 anni, indica come a partire dal 1985 si assista ad una stabilizzazione delle quote con indizi di risalita, la piezometria della porzione sud-est del territorio comunale è ancora fortemente depressa e influenzata dal cono di emungimento presente, come testimoniato anche dai dati freaticometrici rilevati e acquisiti.

### 3. INQUADRAMENTO SISMICO

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al suo contesto tettonico-strutturale, dunque alla presenza di strutture geologicamente “attive”. Alla base di ogni stima della pericolosità sismica di un territorio vi è quindi l’indispensabile conoscenza della sua storia sismica (cioè di tutte le informazioni sui terremoti avvenuti nel passato) e della geologia strutturale locale, fattori strettamente connessi tra loro.

Per realizzare l’inquadramento sismotettonico della presente relazione sono stati utilizzati database pubblici sviluppati da diversi enti e gruppi di ricerca:

- il CPTI11 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani versione 2011 (Rovida et al., 2011; <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>), che raccoglie i parametri dei terremoti avvenuti in Italia fino al 2011;
- il DBMI11 - Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI11 (Locati et al., 2011 <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>) e la sua precedente versione DBMI04 (Stucchi et al., 2007);
- il CFTI4Med - Catalogo dei Forti Terremoti in Italia e in area mediterranea (Guidoboni et al., 2007; <http://storing.ingv.it/cfti4med/>), che riporta per numerose località i risentimenti di circa 300 tra i terremoti storici più forti avvenuti sul territorio italiano, e fornisce anche informazioni sul contesto storico, sociale e demografico in cui gli eventi si sono prodotti, sui parametri epicentrali, sugli effetti dei terremoti sull’ambiente fisico (fagliazione superficiale, frane sismo-indotte, maremoti, ecc.), sul danneggiamento dei centri storici e di beni monumentali;
- la Mappa di Pericolosità Sismica Nazionale (INGV, 2004; <http://esse1.mi.ingv.it/>) che definisce una “pericolosità di base” su un reticolo di punti di riferimento. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima del suolo) e dei principali “parametri spettrali” riferiti all’accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell’azione sismica.
- la Zonazione Sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004; <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), che individua sul territorio italiano 42 macrozone-sorgente e ha rappresentato il riferimento per i calcoli di pericolosità sismica nel territorio nazionale di cui al punto precedente;
- il Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane DISS versione 3.1.1 (DISS Working Group, 2010 e Basili et al., 2008; <http://diss.rm.ingv.it>), che contiene sorgenti individuali e composite di terremoti, intese come una rappresentazione georeferenziata semplificata e in 3D di faglie (sorgenti individuali) o regioni contenenti faglie (sorgenti composite) in grado di generare terremoti di M 5.5 o superiore;

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA VARIANTE DEL PSC DEL COMUNE DI CALDERARA DI RENO

- il Catalogo della Sismicità Italiana (Castello et al., 2006; <http://csi.rm.ingv.it/>) che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 1981 al 2002;
- il Database ISIDe (ISIDe Working Group 2010; <http://iside.rm.ingv.it>), che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 2003 ad oggi.

### 3.1 Sismicità storica

Il DBMI11 (Locati et al., 2011), consente la consultazione online solo per le località a cui sono associate almeno 3 osservazioni e Calderara di Reno e le sue frazioni non risultano presenti in tale elenco. Lo stesso database attualmente non permette il download dell'intero dataset, per cui non è possibile verificare la presenza di risentimenti associati alle singole località. La consultazione della precedente versione, il DMBIO4 (Stucchi et al., 2007), che al contrario fornisce all'utente i dati completi, ha permesso di accertare che non sono presenti risentimenti per tutto il territorio comunale. Tale assenza di dati è chiaramente imputabile alla mancanza o al non reperimento di fonti storiche relative all'area di Calderara di Reno. In ogni caso, per un quadro di riferimento degli effetti dei terremoti storici è possibile riferirsi alle osservazioni relative alle località più vicine all'area comunale, a cui risultano associate intensità massime comprese tra il grado V e il grado VIII della scala MCS.

Il terremoto più forte e più prossimo all'area in esame, secondo quanto riportato nel CPTI11, che cita come fonte il CFTI4Med (Guidoboni et al., 2007), risulta essere quello del 3 gennaio 1505, il secondo di una sequenza con 3 scosse principali, con intensità epicentrale valutata del grado VIII della scala MCS e magnitudo equivalente pari a 5.6. In figura 5 è rappresentata la mappa degli effetti del terremoto dai dati CFTI4Med in rapporto al perimetro comunale di Calderara di Reno, che si colloca in un'area con effetti compresi tra i gradi VII e VIII della scala MCS.

Per la sequenza sismica del 1504-1505, il catalogo CFTI4Med riporta la seguente sintesi degli effetti principali:

*Questa sequenza sismica cominciò il 31 dicembre 1504 e si protrasse per quasi cinque mesi, fino a oltre la metà di maggio 1505. Interessò soprattutto Bologna e la vicina area pedeappenninica dove i danni furono rilevanti.*

*Le scosse più forti furono tre: la prima avvenne il 31 dicembre 1504 alle ore 4:00 GMT circa (le 11 e mezza in orario "all'italiana"). A Bologna la scossa fece cadere numerosi comignoli e causò lesioni nelle volte di vari edifici, fra cui la chiesa di S.Francesco; la chiesa di S.Giacomo subì danni anche alla facciata. A Modena fu molto forte e fece cadere qualche comignolo.*

*La scossa più forte della sequenza avvenne il 3 gennaio 1505 alle ore 2:00 GMT circa (le 9 e mezza in orario "all'italiana"). A Bologna ci furono gravi danni alle abitazioni e agli edifici pubblici, civili e religiosi. Le case crollate totalmente furono poche, ma molte abitazioni subirono danni diffusi. La parte dell'area urbana più colpita fu quella verso la pianura, compresa tra porta S.Donato e porta S.Isaia. Risultarono danneggiati*



RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA VARIANTE DEL PSC DEL COMUNE DI CALDERARA DI RENO

soprattutto gli edifici "a volta" (come le chiese e i palazzi), e la parte più alta di numerose torri, tanto che alcune dovettero essere abbattute o abbassate per evitarne il crollo sugli edifici vicini. Nel palazzo Bentivoglio, uno dei più danneggiati, crollarono la facciata, la sala grande, cinque volte del portico e il "torresino" della vicina torre collegata al palazzo; varie stanze risultarono inoltre lesionate e tutto l'edificio sconnesso e indebolito. Più in ombra, dal punto di vista degli effetti, rimane l'area extraurbana, a cui le fonti dedicano scarsa attenzione: a Confortino, Bentivoglio e Rigosa subirono gravi danni gli edifici di proprietà della famiglia Bentivoglio; a San Lorenzo in Collina e Zola Predosa il terremoto causò lesioni nelle case e il crollo di colombaie. Ci furono danni leggeri a Ferrara, Modena, Reggio nell'Emilia. La scossa fu sentita a Firenze, Forlì, Venezia, Verona, Vicenza, e in molte altre località.

Un'altra scossa molto forte avvenne il 20 gennaio, alle ore 23:50 GMT circa (le 7 della notte in orario "all'italiana"). A Bologna si aggravarono i danni alle volte di alcuni edifici, fra cui la cattedrale di S.Pietro, le chiese di S.Petronio e S.Martino, la torre del palazzo del Podestà e l'ospedale di S.Maria della Vita. Questa scossa fu sentita in un'area estesa da Forlì e Faenza, a Venezia e Verona.



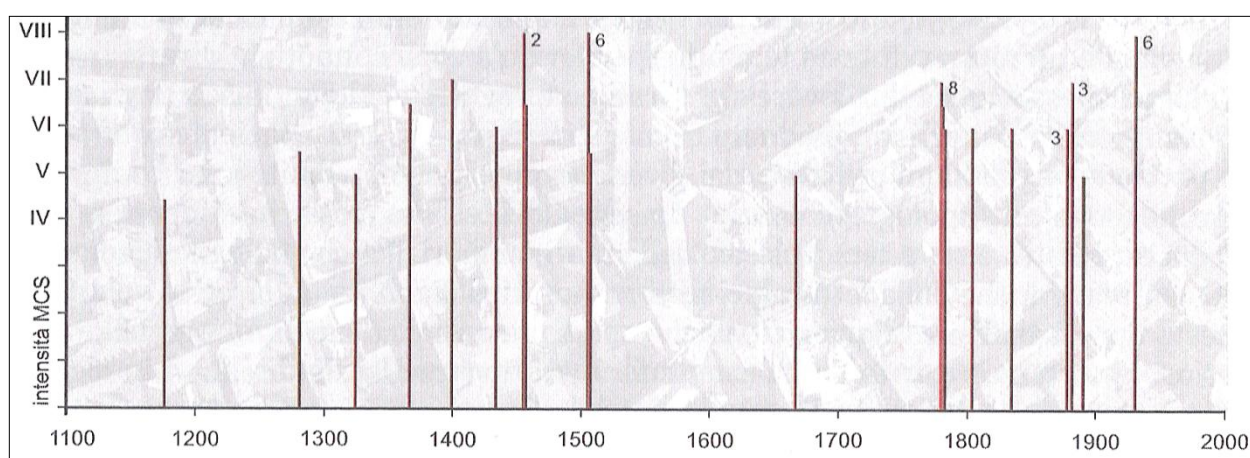
**Figura 5.** Effetti della scossa del 3 gennaio 1505 da dati CFTI4Med. Con la linea rossa è rappresentato il perimetro del comune di Calderara di Reno.

In generale, per uno studio approfondito degli effetti degli eventi sismici nel territorio

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA VARIANTE DEL PSC DEL COMUNE DI CALDERARA DI RENO

bolognese è opportuno riferirsi al volume *I terremoti a Bologna e nel suo territorio dal XII al XX secolo* (Boschi e Guidoboni, 2003), dal cui studio sono stati in seguito sintetizzati i dati del CFTI4Med, che a loro volta costituiscono il riferimento del CPTI11 per questa area. In figura 6 è riportato il grafico della cronologia dei terremoti noti con effetti di danno nell'area di Bologna.

Oltre al già citato evento del gennaio 1505, altri due terremoti hanno prodotto effetti pari al grado VIII della scala MCS in area Bolognese e sono la scossa del 6 febbraio 1455 (localizzata in modo assai incerto nella Media Valle del Reno, all'altezza di Marzabotto) e quella del 20 aprile 1929, localizzata tra i comuni di Monteveglio e Monte San Pietro, una decina di chilometri a sud-ovest del comune di Calderara di Reno.



**Figura 6.** Cronologia e intensità epicentrale dei 38 terremoti noti per l'area di Bologna tra il XII e il XX secolo con effetti locali superiori o uguali al grado V-VI MCS (da Boschi e Guidoboni, 2003).

Viene di seguito riportato un estratto della sintesi degli effetti principali proposta dal catalogo CFTI4Med per la sequenza sismica del 1929:

*La sequenza sismica del 1929, caratterizzata da quasi 100 scosse, cominciò il 10 aprile 1929 e si protrasse fino all'ottobre successivo. Gli eventi di maggiore intensità furono sei e avvennero nell'intervallo di un mese: il 10 aprile (ore 5:43:12 GMT), il 19 aprile (4:15:22 GMT), il 20 aprile (1:09:46 GMT), il 22 aprile (8:25:33 GMT), il 29 aprile (18:35:59 GMT) e l'11 maggio (19:22:48 GMT).*

[...]

*La terza scossa, avvenuta il 20 aprile, fu la più forte di tutta la sequenza: causò danni in oltre 600 siti su un'area di 680 kmq del pedeappennino fra i fiumi Reno e Samoggia e fu sentita in tutta l'Italia centro-settentrionale fino alla Toscana e alle Marche, su un'area di circa 150.000 kmq. I danni maggiori, consistenti in crolli parziali e gravi dissesti strutturali, colpirono alcune località dei comuni di Monte San Pietro e Zola Predosa. Negli altri siti le tipologie di danno più diffuse furono: strapiombi di muri, lesioni più o meno gravi ai muri e agli architravi di porte e finestre, dissesti ai tetti e ai pavimenti, caduta di comignoli. [...]*

Alla luce dei dati storici, una caratteristica ricorrente della sismicità dell'area in esame pare essere quella di manifestarsi in sequenze della durata di diversi mesi, in cui la scossa più



forte non è necessariamente la prima che si verifica e in cui sono diverse le scosse con magnitudo maggiore di 5. Quanto alla frequenza e ai tempi di ritorno dei singoli eventi, la finestra di osservazione disponibile pare troppo limitata per trarre conclusioni.

### 3.2 La sequenza del maggio 2012

Relativamente agli effetti delle due scosse principali, del 20 e del 29 maggio, della sequenza sismica emiliana di un anno fa, i rapporti dei rilievi macrosismici eseguiti (Galli et al., 2012a e 2012b) citano, per la provincia di Bologna, solo le località più settentrionali e non è quindi attribuito alcun valore di intensità al sito nel comune di Calderara di Reno. In ogni caso, poiché ai paesi di Argelato, Bentivoglio e San Giovanni in Persiceto è attribuita una intensità pari al grado V MCS, sulla base delle informazioni raccolte si può stimare anche per l'area in oggetto un analogo valore di intensità.

### 3.3 Sorgenti sismogenetiche

Il database DISS (DISS Working Group, 2010) indica la presenza, poco a sud dell'area in esame (figura 7), di due sorgenti sismogenetiche individuali, ITIS091 e ITIS103, associate rispettivamente alla scossa del 3 gennaio 1505 e a quella del 20 aprile 1929. Entrambe rientrano nella fascia delimitata dalla sorgente composita ITCS047, lungo la quale paiono essersi concentrati i maggiori eventi dell'area bolognese. Si tratta di una porzione del fronte compressivo pedeappenninico, un sistema di faglie con vergenza nord-est, a cui è associata una magnitudo massima pari a 5.6, in analogia con quella presunta del massimo terremoto storico dell'area (3 gennaio 1505). La profondità è indicata tra 2 e 8 km, mentre lo slip-rate è compreso tra 0.1 e 0.5 mm/anno.

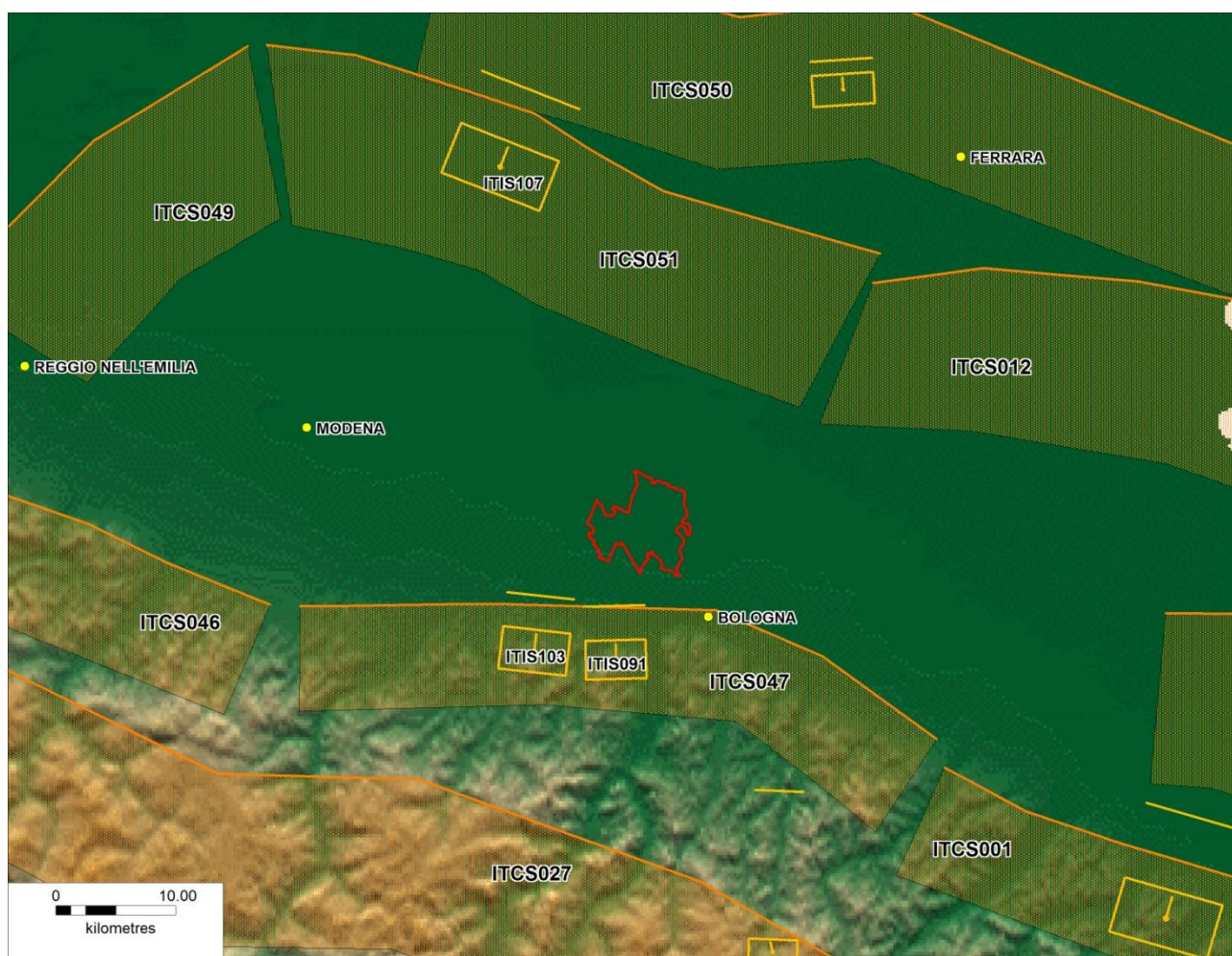
Le più importanti questioni aperte citate nel database DISS, a cui è difficile dare una risposta allo stato attuale delle conoscenze, riguardano i tempi di ritorno dei terremoti associati alle sorgenti individuali e la magnitudo massima associabile all'area sottesa dalla sorgente composita. Non si può infatti stabilire se in questa porzione del fronte compressivo pedeappenninico possono verificarsi solo eventi relativamente frequenti di magnitudo attorno a 5.6, o se sono anche possibili terremoti, più rari, di magnitudo superiore.

Bisogna inoltre tenere conto che l'area di Calderara di Reno può anche risentire degli eventi associati a strutture sismogenetiche più distanti rispetto a quelle appena citate (figura 7), come i terremoti del maggio 2012, originati delle sorgenti composite ITCS050 e ITCS051.

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004), che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, l'area in esame ricade entro la Zona 912, caratterizzata da un valore di  $M_{w_{max}}$  pari a 6.14.



RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA VARIANTE DEL PSC DEL COMUNE DI CALDERARA DI RENO



**Figura 7.** Le sorgenti sismogenetiche del database DISS 3.1.1, nell'intorno dell'area di studio. In rosso è riportata l'area comunale di Calderara di Reno.



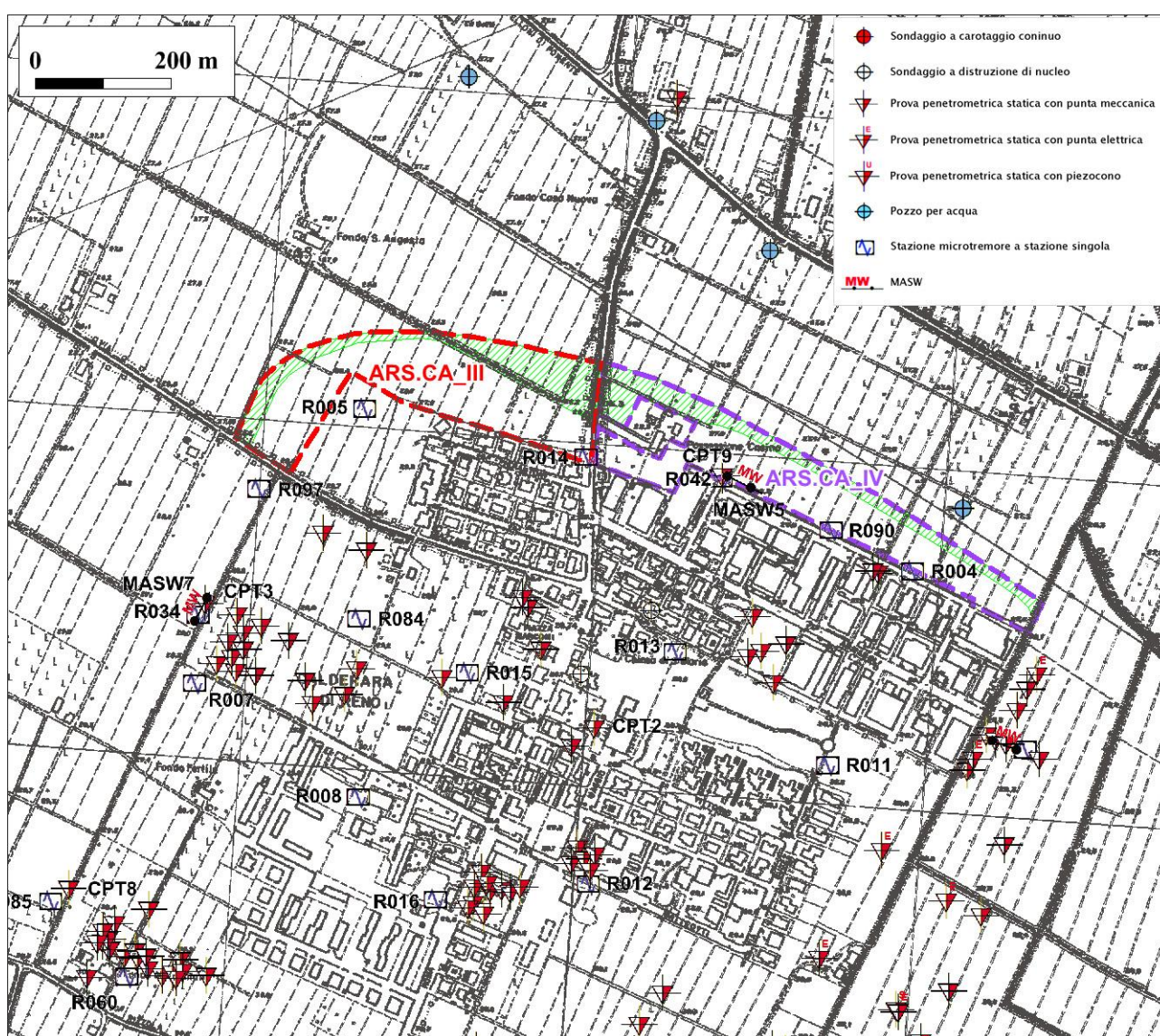
#### 4. MODELLAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Gli approfondimenti di indagine realizzati per lo studio di microzonazione sismica di "secondo livello" hanno interessato anche le aree in oggetto o quelle immediatamente adiacenti. In particolare (figura 8) per la caratterizzazione dei due ambiti è possibile riferirsi alle seguenti indagini:

ARS.CA-IV: una prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT9), una indagine geofisica con tecnica Masw (MASW5), quattro misure di microtremore a stazione singola (R004, R090, R042 e R014).

ARS.CA-III: tre misure di microtremore a stazione singola (R014, R005 e R097).

I rapporti di prova di suddette indagini sono riportati in allegato al capitolo 7.



**Figura 8.** Ambiti del PSC di Calderara di Reno oggetto di variante (ARS.CA\_III, perimetrata in rosso, e ARS.CA\_IV, perimetrata in viola) e indagini geognostiche e geofisiche eseguite per la microzonazione sismica di "secondo livello" (denominate con le etichette) e pregresse (senza etichette). Scala 1:10.000.

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA VARIANTE DEL PSC DEL COMUNE DI CALDERARA DI RENO

Per la modellazione discussa nel paragrafo 4.2 sono state inoltre valutate le diverse indagini geognostiche, pregresse e di nuova realizzazione, presenti nella banca dati comunale ed eseguite nelle vicinanze (prove penetrometriche statiche e pozzi per acqua). Nel loro complesso le indagini disponibili appaiono sufficienti per la modellazione geologica e geofisica richiesta in questa fase di pianificazione.

#### 4.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

La prova CPT9 è stata eseguita con un penetrometro statico da 20 t montato su cingolato Pagani Tg63, con punta conica (punta meccanica tipo *Begemann*) con apertura di 60° e superficie di 10 cm<sup>2</sup> per la misurazione della resistenza di punta (Qc) e manicotto di frizione (*friction jacket*), con superficie di 150 cm<sup>2</sup> per la misurazione dell'attrito laterale locale (Fs). L'acquisizione dei dati avviene ogni 20 cm di avanzamento e la prova è stata spinta al rifiuto dello strumento (con Rp > 450 kg/cm<sup>2</sup>).

Viene di seguito riportata la stratigrafia schematica elaborata sulla base dei dati penetrometrici per mezzo di consolidate correlazioni a partire dai valori di resistenza alla punta e attrito laterale, trascurando i valori di picco isolati.

CPT9	Data: 29/03/2013	Località: Calderara Via Armaroli		Falda da p.c.: 1.2 m	
	Intervallo (m)	Litologia prevalente	Rp min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Rp med. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Rp max. (Kg/cm <sup>2</sup> )
0 - 0,8	Terreno vegetale sovracconsolidato	7	11	15	15
0,8 - 9	Argilla limosa mediamente consistente	8	13	18	12-33
9 - 11,6	Argilla da poco consistente a plastica	7	9	14	10-24
11,6 - 18,2	Limo argilloso consistente	12	14	17	11-25
18,2 - 21,2	Argilla limosa compatta	13	19	23	10-21
21,2 - 22	Ghiaia e sabbia molto addensata	110	300	480	14-59

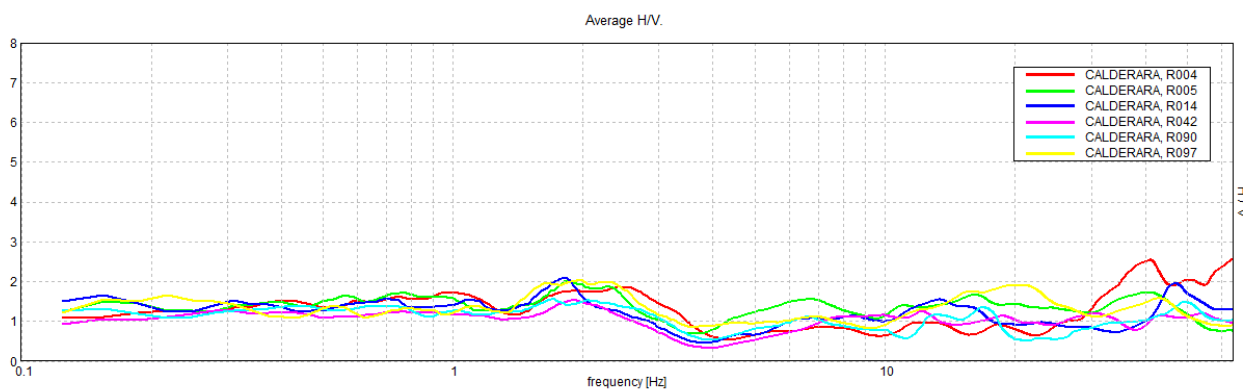
La MASW5 è stata eseguita (compreso il punto di shot) con la seguente geometria:

- Numero geofoni 24
- Spaziatura geofoni 1,5 m
- Lunghezza stendimento geofonico 34,5 m
- Distanza punto di shot da ultimo geofono 15 m
- Lunghezza complessiva 49,5 m

L'indagine ha consentito di rilevare una velocità delle onde S nei primi 30 metri dal piano di campagna pari a 239 m/s.

Per quanto concerne le misure di microtremore a stazione singola, l'analisi dell'andamento del rapporto spettrale alle diverse frequenze ha permesso di individuare i picchi di H/V per ciascuna misura. Il valore di  $f_0$  del picco significativo a più bassa frequenza, corrisponde alla frequenza di risonanza fondamentale del sito. Le frequenze fondamentali individuate nelle quattro misure eseguite vanno da 1.7 hz per R090 a 2.4 Hz per R004. Tutti i picchi risultano di ampiezza inferiore a 2, eccetto quelli registrati da R014 e R097 che superano di poco tale valore.

Tutte le curve, come riportato in figura 9, evidenziano la discesa del rapporto H/V sotto 1 per la probabile presenza di un'inversione di velocità alla frequenza di circa 4 hz, dato riscontrabile in un'ampia area del Comune di Calderara e che nell'area in esame potrebbe essere ragionevolmente correlato con il livello argilloso poco consistente individuato dalla CPT9 tra i 9 e gli 11,6 metri. L'innalzamento del valore del rapporto di H/V su tutte le curve tra 2 e 2.5 Hz è correlabile con la profondità del tetto del livello di ghiaie, individuata nell'area nord dell'abitato di Calderara, da dati geognostici pregressi, tra i 20 e i 25 metri. Tale dato risulta confermato dalla prova penetrometrica CPT9, che ha rilevato ghiaie in matrice sabbiosa tra 21 e 22 metri.



**Figura 9.** Confronto dell'andamento delle curve del rapporto H/V per tutte le verticali di indagine considerate.

## 4.2 RISULTATI E MODELLAZIONE

La microzonazione di "secondo livello" ha permesso di definire la porzione di territorio in cui ricadono le aree in oggetto come stabile e suscettibile di amplificazione locale, eccetto la porzione sud-occidentale dell'ASC.CS\_III, che rientra in una zona instabile per la possibile presenza di terreni suscettibili di liquefazione in caso di sisma (figura 10).

I fattori di amplificazione per l'intera area, definiti utilizzando l'abaco "PIANURA 1" (per aree con substrato poco profondo) della DAL 112/2007, per aree caratterizzate da  $VS_{30}$  di



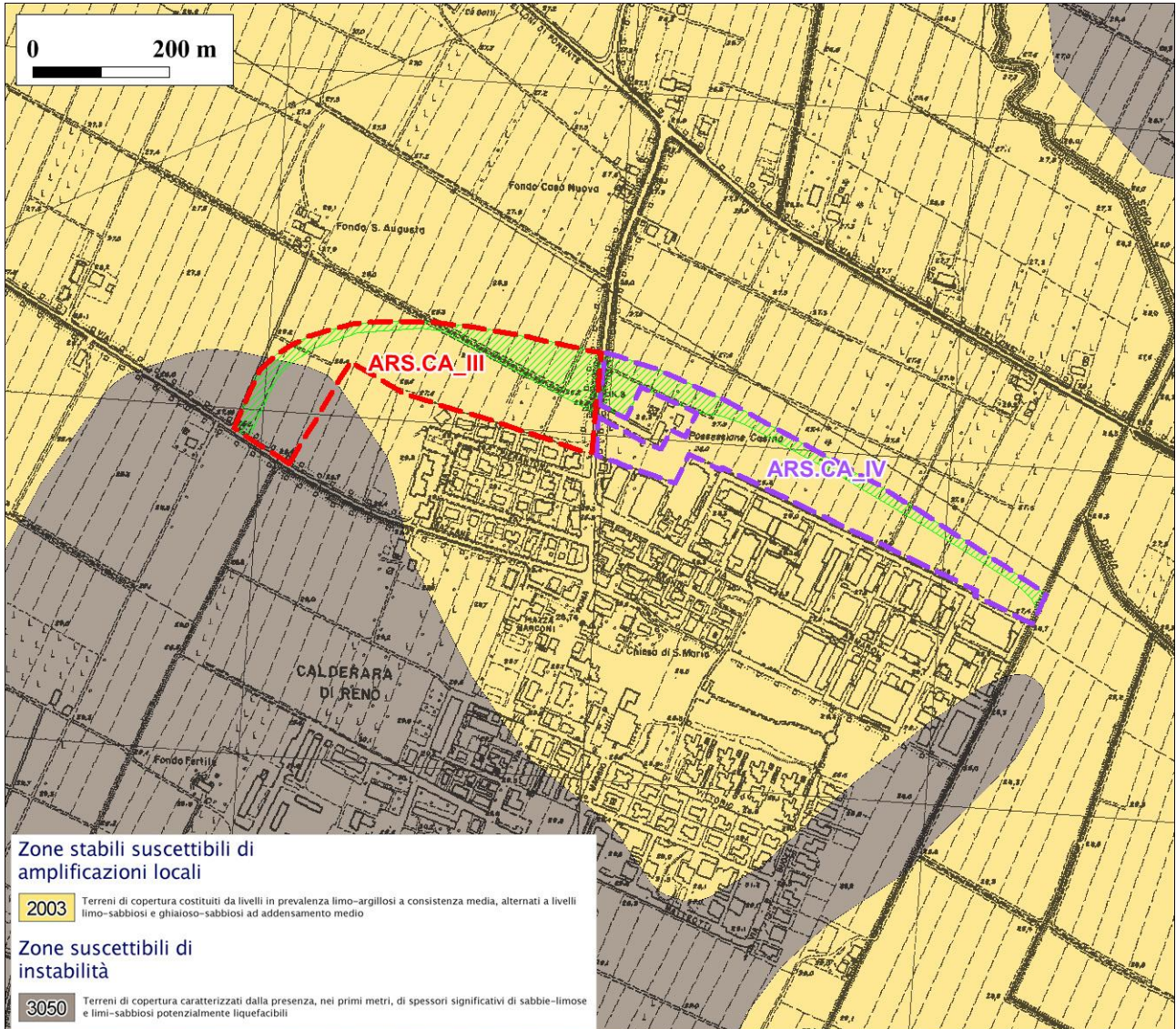
RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA VARIANTE DEL PSC DEL COMUNE DI CALDERARA DI RENO

circa 250 m/s, sono i seguenti:

F.A. PGA = 1.7

F.A. SI (0.1s ÷ 0.5s) = 1.9

F.A. SI (0.5s ÷ 1) = 2.5



**Figura 10.** Localizzazione degli ambiti del PSC di Calderara di Reno oggetto di variante (ARS.CA\_III, perimetrata in rosso, e ARS.CA\_IV, perimetrata in viola) e estratto della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, realizzata per la microzonazione sismica di "secondo livello". Scala 1:10.000.

Sulla base dei dati ottenuti dalla prova penetrometrica statica CPT9 è stata eseguita una verifica alla liquefazione con il metodo di Idriss & Boulanger (2008). Utilizzando i parametri di input di Magnitudo, pari a 6.14,  $M_{w_{max}}$  della zona 912 di ZS9, e  $A_g$  pari a 0.28, prodotto di 0.165 ( $a_{refg}$  per il Comune di Calderara indicato nella DAL 112/2007) per 1.7 (F.A. PGA calcolato come sopra), risulta un indice del potenziale di liquefazione pari a 0. Come detto, la porzione sud-occidentale dell'ASC.CS\_III, rientra in una zona instabile per la possibile presenza di terreni suscettibili di liquefazione. Tale risultanza è dovuta all'analisi delle

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA VARIANTE DEL PSC DEL COMUNE DI CALDERARA DI RENO

stratigrafie delle prove penetrometriche pregresse eseguite nell'area urbanizzata prossima all'area di studio e alla verifica dell'indice del potenziale di liquefazione condotta sulla verticale della prova CPT3, realizzata 200 metri più a sud-ovest dell'area in oggetto, per lo studio di microzonazione sismica di "secondo livello" (figura 8). Tale verifica ha restituito un valore di IL pari a 1,66, che, sebbene indichi un rischio basso, richiede in ogni caso un approfondimento di indagine per la presenza di orizzonti sabbiosi, tra 8 e 13 metri di profondità, .

I livelli argillosi e limosi più superficiali indagati con la prova CPT9, presentano valori di consistenza medi, eccetto per l'intervallo tra 9 e 11,6 metri, dove i valori di resistenza alla punta si abbassano ( $R_p$  medio pari a  $9 \text{ Kg/cm}^2$ ). In ogni caso, come per la gran parte del territorio del comune di Calderara di Reno, non sono presenti spessori significativi di terreni coesivi poco consistenti che possano essere soggetti a fenomeni di cedimento e compattazione rilevanti a seguito di un sisma.

## 5 CONCLUSIONI E INDICAZIONI

Sulla base delle evidenze riscontrate e riportate al capitolo precedente, si indicano di seguito, per ciascun ambito, una sintesi delle criticità fin qui emerse e le analisi e gli approfondimenti richiesti per la riduzione del rischio sismico, con le specifiche relative alle indagini da realizzarsi nelle successive fasi di pianificazione (POC/PUA) e in fase esecutiva. Tali indicazioni potranno essere recepite nelle norme del PSC.

### 5.1 AMBITO ARS.CA- III

#### Fattori di amplificazione:

F.A. PGA= 1.7; F.A. SI (0.1s ÷ 0.5s) = 1.9; F.A. SI (0.5s ÷ 1) = 2.5

#### Liquefazione:

La porzione sud-occidentale dell'ambito, rientra in una zona instabile per la possibile presenza di terreni suscettibili di liquefazione (figura 10).

#### Analisi e approfondimenti richiesti

Poiché lo studio di microzonazione di "secondo livello" ha evidenziato su parte dell'ambito la presenza di aree instabili per possibili effetti di liquefazione, in fase di elaborazione dei Piani Operativi Comunali (e delle eventuali varianti) e/o dei Piani Urbanistici Attuativi (PUA), dovranno essere eseguiti nell'area in oggetto specifici approfondimenti volti ad accertare l'effettiva presenza di orizzonti liquefacibili, attraverso una adeguata campagna di prove penetrometriche con punta elettrica, preferibilmente con piezocono. Dovrà quindi essere calcolato, su ogni verticale di indagine, l'indice del potenziale di liquefazione (IL). Se  $IL < 2$  si può ritenere la probabilità di liquefazione molto bassa, nel caso invece  $IL \geq 2$ , dovranno essere condotti approfondimenti di terzo livello con la valutazione dei potenziali cedimenti, mentre per opere di particolare interesse pubblico o strategico si raccomandano interventi di mitigazione del rischio di liquefazione.

### 5.2 - ARS.CA-IV

#### Fattori di amplificazione:

F.A. PGA= 1.7; F.A. SI (0.1s ÷ 0.5s) = 1.9; F.A. SI (0.5s ÷ 1) = 2.5

#### Liquefazione:

L'area non rientra nelle zone instabili per la possibile presenza di terreni suscettibili di liquefazione (figura 10).

#### Analisi e approfondimenti richiesti

Sebbene lo studio di microzonazione sismica di "secondo livello" non abbia identificato nella zona la presenza di aree instabili, in fase di elaborazione dei Piani Operativi Comunali (e delle eventuali varianti) e/o dei Piani Urbanistici Attuativi (PUA), dovrà



comunque essere eseguita nell'area in oggetto una adeguata caratterizzazione attraverso una campagna di indagine con prove penetrometriche con punta elettrica, preferibilmente con piezocono. Se tali indagini rivelassero la presenza di livelli sabbiosi o limo-sabbiosi saturi dovrà quindi essere calcolato, su ogni verticale di indagine, l'indice del potenziale di liquefazione (IL). Se  $IL < 2$  si può ritenere la probabilità di liquefazione molto bassa, nel caso di  $IL \geq 2$ , dovranno essere condotti approfondimenti di terzo livello con la valutazione dei potenziali cedimenti, mentre per opere di particolare interesse pubblico o strategico si raccomandano interventi di mitigazione del rischio di liquefazione.

### **5.3 - INDICAZIONI PER LA FASE DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA**

In fase esecutiva è comunque richiesto un approfondimento geologico, geotecnico e sismico, conforme al DM 14 gennaio 2008, corredato da ulteriori indagini geognostiche, con lo scopo di definire in dettaglio il modello geologico di sottosuolo e le caratteristiche geomeccaniche dei terreni interessati dai singoli interventi.

Si dovrà definire la quota della falda nel primo sottosuolo dell'intera area, la sua escursione stagionale e il suo valore medio annuale rappresentativo con particolare riferimento alle possibili interferenze con la previsione di eventuali strutture o manufatti interrati.

Le strutture di fondazione non dovranno appoggiare su terreni con caratteristiche geomeccaniche non omogenee, o su riporto, così come non si dovranno adottare strutture di tipo misto (es. edificio con fondazioni in parte superficiali e in parte profonde), al fine di evitare che si possano originare effetti differenziali, sia riguardo all'amplificazione sismica che ai cedimenti.

in fase progettuale definitiva ed esecutiva si dovrà tenere conto dei valori di frequenza fondamentale dei terreni di fondazione (anche a seguito di ulteriori misure HVSR) e, qualora si riscontrassero picchi H/V particolarmente significativi, si dovrà evitare la realizzazione di strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno.

### **5.4 - EDIFICI DI INTERESSE STRATEGICO**

Nella D.G.R. 1661/2009 vengono indicate in appositi elenchi le "categorie di edifici di interesse strategico e opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile" e le "categorie di edifici e opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso". A questo proposito si ricorda che, per l'eventuale realizzazione di edifici che rientrassero, per tipologia o destinazione d'uso, in tali elenchi, si dovrà comunque effettuare uno specifico approfondimento di terzo livello (risposta sismica locale con metodi numerici) e non è consentito l'utilizzo dell'approccio semplificato (categorie di sottosuolo).

## 6. BIBLIOGRAFIA

Amorosi A., Colalongo M. L., Pasini G. e Preti D. (1999) - Sedimentary response to Late Quaternary sea-level changes in the Romagna coastal plain (northern Italy). *Sedimentology*, 46, 99-121.

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

Boschi E. e Guidoboni E. 2003, I terremoti a Bologna e nel suo territorio dal XII al XX secolo, INGV-SGA, Roma-Bologna.

Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C. e Amato A., (2006) - CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, versione 1.1. INGV-CNT, Roma

<http://csi.rm.ingv.it/>

DISS Working Group (2010) - Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © INGV 2010 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.1.1

Dondi L. e D'Andrea M. G. (1986) - La Pianura Padana e Veneta dall'Oligocene superiore al Pleistocene. *Giornale di Geologia*, ser3°, 48/1-2, 197-225.

Dondi L., Mostardini F. e Rizzini A. (1982) - Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nella Pianura Padana. In: Guida alla geologia del margine appenninico padano (a cura di: Cremonini G. e Ricci Lucchi F.), Guida Geol. Reg., S. G. I., 47-58.

Franchi V. (2008) - Relazione geologica del quadro conoscitivo per il PSC associato "Terre d'acqua".

Galli P., Castenetto S., Peronace E. (2012a) - Terremoti dell'Emilia - Maggio 2012. Rilievo macrosismico MCS speditivo. Rapporto finale. 15 giugno 2012.

<http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/TerremotoEmiliaMCS.pdf>

Galli P., Castenetto S., Peronace E. (2012b) - The MCS macroseismic survey of the Emilia 2012 earthquakes. *Annals of Geophysics* Vol. 55, No 4.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. e Valensise G., INGV-SGA (2007) - CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500). <http://storing.ingv.it/cfti4med/>

Idriss, I.M. e Boulanger, R.W. (2008) - Soil liquefaction during earthquakes. Monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA.

ISIDe Working Group (2010), Italian Seismological Instrumental and parametric database. <http://iside.rm.ingv.it>

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2004) - I dati online della pericolosità sismica in Italia.

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA VARIANTE DEL PSC DEL COMUNE DI CALDERARA DI RENO

<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

Locati M., Camassi R. e Stucchi M. (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

Meletti C. e Valensise G. (a cura di) (2004) - Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto conclusivo. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3274/2003), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Pieri M. e Groppi G. (1981) - Subsurface geological structure of the Po Plain (Italy). Progetto Finalizzato Geodinamica, publ.n° 414, C.N.R., 23.

Provincia di Bologna (2013) - Variante al PTCP in materia di rischio sismico, Bologna.

Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, ENI - AGIP (1998) - Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000, Bologna.

Regione Emilia-Romagna - Delibera Regionale n. 112/2007 - Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della LR 20/2000 Disciplina generale sulla tutela del territorio, in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica".

Regione Emilia-Romagna - Delibera Regionale n. 1302/2012 - Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 4007/2012 a favore degli enti locali.

Ricci Lucchi F., Colalongo M. L., Cremonini G., Gasperi G., Iaccarino S., Papani G., Raffi I. e Rio D. (1982) - Evoluzione sedimentaria e paleogeografia del margine appenninico. In: "Guida alla geologia del margine appenninico-padano" a cura di Cremonini G. e Ricci Lucchi F., Guide Geologiche Regionali, Soc. Geol. Ital., 17-46.

Rovida A., Camassi R., Gasperini P. e Stucchi M. (a cura di) (2011) - CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>.

Serva L. (1990) - Il ruolo delle scienze della terra nelle analisi di sicurezza di un sito per alcune tipologie di impianti industriali: il terremoto di riferimento per il sito di Viadana (MN). Boll. Soc. Geol. It., 109, 375-411.

Stucchi M., Camassi R., Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti C., Migliavacca P., Bernardini F. e Azzaro R. (2007) - DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp.38. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>

Vittori E. e Ventura G. (1995) - Grain size of fluvial deposits and late Quaternary climate: A case study in the Po River valley (Italy). Geology, 23(8), 735-738.

Zoetemeijer R. (1993) - Tectonic Modelling of Foreland Basins, thin skinned thrusting, syntectonic sedimentation and lithospheric flexure. PhD Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam.

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA VARIANTE DEL PSC DEL COMUNE DI CALDERARA DI RENO

## **7. ALLEGATO – RAPPORTI DELLE INDAGINI**

<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI</b>	<b>CPT</b>	<b>9</b>
	riferimento	<b>28-03-13</b>

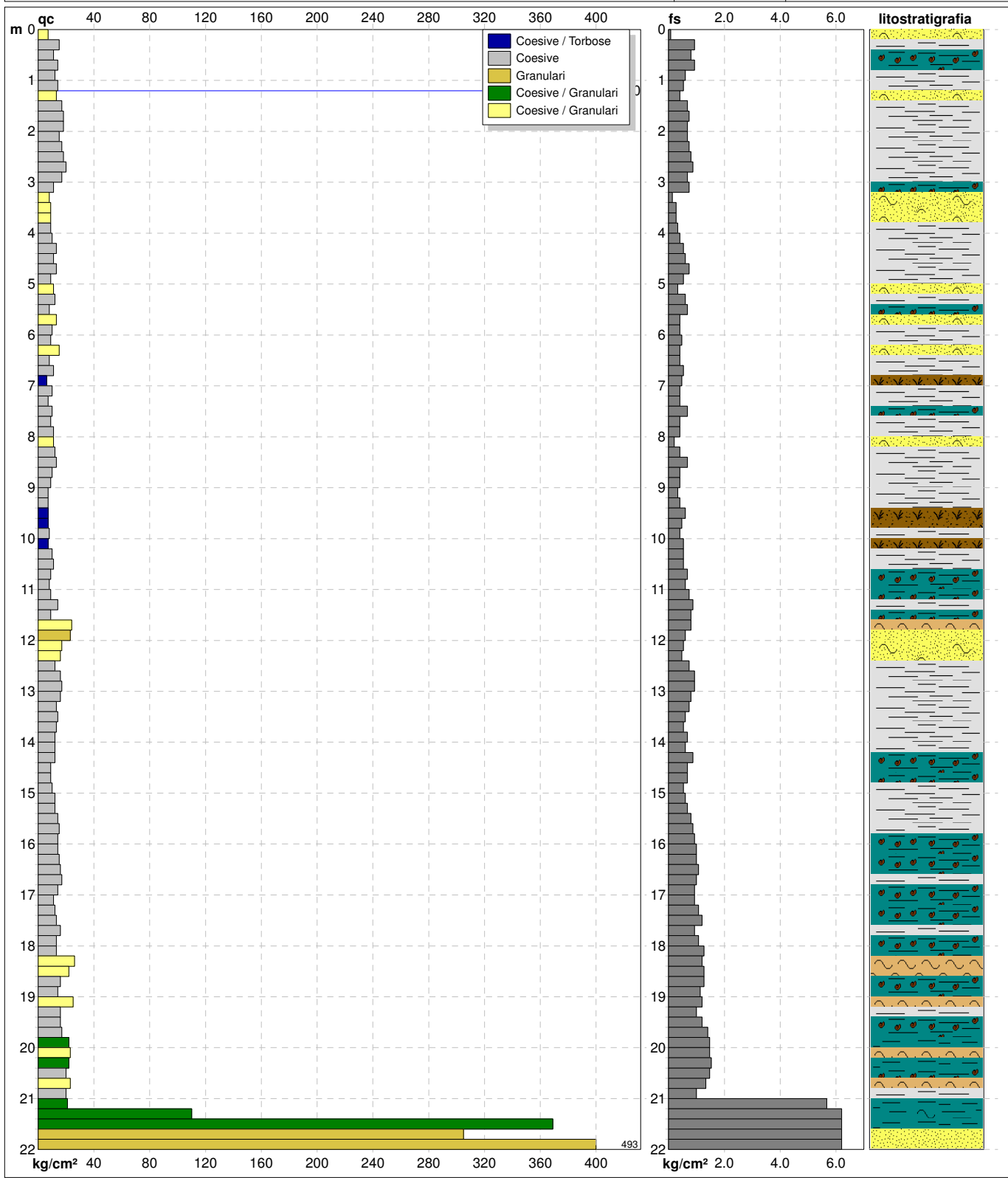
Committente: <b>Comune di Calderara di Reno</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esec.: <b>29/03/2013</b>
Cantiere: <b>Microzonazione sismica</b>	Pagina: <b>1</b>	
Località: <b>ARS - Via Armaroli</b>	Elaborato:	Falda: <b>-1.20 m da p.c.</b>

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %
0.20	7.0	10.0	-	7	0.07	100	1.0	15.20	12.0	20.0	-	12	0.60	20	5.0
0.40	15.0	16.0	-	15	0.93	16	6.2	15.40	12.0	21.0	-	12	0.67	18	5.6
0.60	11.0	25.0	-	11	0.80	14	7.3	15.60	14.0	24.0	-	14	0.80	18	5.7
0.80	14.0	26.0	-	14	0.93	15	6.6	15.80	15.0	27.0	-	15	0.87	17	5.8
<b>1.00</b>	12.0	26.0	-	12	0.60	20	5.0	<b>16.00</b>	14.0	27.0	-	14	0.93	15	6.6
1.20	14.0	23.0	-	14	0.53	26	3.8	16.20	14.0	28.0	-	14	1.00	14	7.1
1.40	13.0	21.0	-	13	0.40	33	3.1	16.40	15.0	30.0	-	15	1.00	15	6.7
1.60	17.0	23.0	-	17	0.67	25	3.9	16.60	16.0	31.0	-	16	1.07	15	6.7
1.80	18.0	28.0	-	18	0.73	25	4.1	16.80	17.0	33.0	-	17	1.00	17	5.9
<b>2.00</b>	18.0	29.0	-	18	0.67	27	3.7	<b>17.00</b>	14.0	29.0	-	14	0.93	15	6.6
2.20	15.0	25.0	-	15	0.67	22	4.5	17.20	11.0	25.0	-	11	0.93	12	8.5
2.40	17.0	27.0	-	17	0.73	23	4.3	17.40	12.0	26.0	-	12	1.07	11	8.9
2.60	18.0	29.0	-	18	0.80	23	4.4	17.60	13.0	29.0	-	13	1.20	11	9.2
2.80	20.0	32.0	-	20	0.87	23	4.4	17.80	16.0	34.0	-	16	0.93	17	5.8
<b>3.00</b>	17.0	30.0	-	17	0.67	25	3.9	<b>18.00</b>	13.0	27.0	-	13	1.07	12	8.2
3.20	11.0	21.0	-	11	0.73	15	6.6	18.20	13.0	29.0	-	13	1.27	10	9.8
3.40	8.0	19.0	-	8	0.13	62	1.6	18.40	26.0	45.0	-	26	1.20	22	4.6
3.60	9.0	11.0	-	9	0.27	33	3.0	18.60	22.0	40.0	-	22	1.27	17	5.8
3.80	9.0	13.0	-	9	0.27	33	3.0	18.80	16.0	35.0	-	16	1.27	13	7.9
<b>4.00</b>	9.0	13.0	-	9	0.33	27	3.7	<b>19.00</b>	14.0	33.0	-	14	1.13	12	8.1
4.20	10.0	15.0	-	10	0.40	25	4.0	19.20	25.0	42.0	-	25	1.20	21	4.8
4.40	13.0	19.0	-	13	0.53	25	4.1	19.40	16.0	34.0	-	16	1.00	16	6.3
4.60	11.0	19.0	-	11	0.60	18	5.5	19.60	16.0	31.0	-	16	1.20	13	7.5
4.80	13.0	22.0	-	13	0.73	18	5.6	19.80	17.0	35.0	-	17	1.40	12	8.2
<b>5.00</b>	9.0	20.0	-	9	0.53	17	5.9	<b>20.00</b>	22.0	43.0	-	22	1.47	15	6.7
5.20	11.0	19.0	-	11	0.33	33	3.0	20.20	23.0	45.0	-	23	1.47	16	6.4
5.40	12.0	17.0	-	12	0.60	20	5.0	20.40	22.0	44.0	-	22	1.53	14	7.0
5.60	8.0	17.0	-	8	0.67	12	8.4	20.60	20.0	43.0	-	20	1.47	14	7.4
5.80	13.0	23.0	-	13	0.40	33	3.1	20.80	23.0	45.0	-	23	1.33	17	5.8
<b>6.00</b>	10.0	16.0	-	10	0.40	25	4.0	<b>21.00</b>	20.0	40.0	-	20	1.00	20	5.0
6.20	9.0	15.0	-	9	0.47	19	5.2	21.20	21.0	36.0	-	21	5.67	4	27.0
6.40	15.0	22.0	-	15	0.40	38	2.7	21.40	110.0	195.0	-	110	7.73	14	7.0
6.60	8.0	14.0	-	8	0.40	20	5.0	21.60	369.0	485.0	-	369	25.40	15	6.9
6.80	11.0	17.0	-	11	0.53	21	4.8	21.80	305.0	686.0	-	305	8.40	36	2.8
<b>7.00</b>	6.0	14.0	-	6	0.47	13	7.8	<b>22.00</b>	493.0	619.0	-	493	8.40	59	1.7
7.20	10.0	17.0	-	10	0.40	25	4.0				-				
7.40	7.0	13.0	-	7	0.40	18	5.7				-				
7.60	10.0	16.0	-	10	0.67	15	6.7				-				
7.80	9.0	19.0	-	9	0.40	23	4.4				-				
<b>8.00</b>	11.0	17.0	-	11	0.40	28	3.6				-				
8.20	11.0	17.0	-	11	0.20	55	1.8				-				
8.40	12.0	15.0	-	12	0.40	30	3.3				-				
8.60	13.0	19.0	-	13	0.67	19	5.2				-				
8.80	10.0	20.0	-	10	0.40	25	4.0				-				
<b>9.00</b>	9.0	15.0	-	9	0.40	23	4.4				-				
9.20	7.0	13.0	-	7	0.33	21	4.7				-				
9.40	7.0	12.0	-	7	0.40	18	5.7				-				
9.60	7.0	13.0	-	7	0.60	12	8.6				-				
9.80	7.0	16.0	-	7	0.47	15	6.7				-				
<b>10.00</b>	8.0	15.0	-	8	0.40	20	5.0				-				
10.20	7.0	13.0	-	7	0.53	13	7.6				-				
10.40	10.0	18.0	-	10	0.53	19	5.3				-				
10.60	11.0	19.0	-	11	0.53	21	4.8				-				
10.80	9.0	17.0	-	9	0.67	13	7.4				-				
<b>11.00</b>	8.0	18.0	-	8	0.60	13	7.5				-				
11.20	9.0	18.0	-	9	0.73	12	8.1				-				
11.40	14.0	25.0	-	14	0.87	16	6.2				-				
11.60	9.0	22.0	-	9	0.80	11	8.9				-				
11.80	24.0	36.0	-	24	0.80	30	3.3				-				
<b>12.00</b>	23.0	35.0	-	23	0.60	38	2.6				-				
12.20	17.0	26.0	-	17	0.53	32	3.1				-				
12.40	16.0	24.0	-	16	0.47	34	2.9				-				
12.60	12.0	19.0	-	12	0.73	16	6.1				-				
12.80	16.0	27.0	-	16	0.93	17	5.8				-				
<b>13.00</b>	17.0	31.0	-	17	0.93	18	5.5				-				
13.20	16.0	30.0	-	16	0.80	20	5.0				-				
13.40	13.0	25.0	-	13	0.73	18	5.6				-				
13.60	14.0	25.0	-	14	0.60	23	4.3				-				
13.80	13.0	22.0	-	13	0.53	25	4.1				-				
<b>14.00</b>	12.0	20.0	-	12	0.67	18	5.6				-				
14.20	12.0	22.0	-	12	0.60	20	5.0				-				
14.40	12.0	21.0	-	12	0.87	14	7.3				-				
14.60	9.0	22.0	-	9	0.67	13	7.4				-				
14.80	9.0	19.0	-	9	0.67	13	7.4				-				
<b>15.00</b>	10.0	20.0	-	10	0.53	19	5.3				-				

H = profondità	qc = resistenza di punta
L1 = prima lettura (punta)	fs = resistenza laterale calcolata
L2 = seconda lettura (punta + laterale)	alla stessa quota di qc
Lt = terza lettura (totale)	F = rapporto Begemann (qc / fs)
CT =10.00 costante di trasformazione	Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

<h2 style="margin: 0;">PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</h2> <h3 style="margin: 0;">DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA</h3>	CPT	9
	riferimento	28-03-13

Committente: <b>Comune di Calderara di Reno</b> Cantiere: <b>Microzonazione sismica</b> Località: <b>ARS - Via Armaroli</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b> Scala: 1:110 Pagina: 1 Elaborato:	Data esec.: 29/03/2013 Quota inizio: Falda: -1.20 m da p.c.
---	---	---



	Litologia: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone Penetrometro: TG63-200 Responsabile: Assistente:	Preforo: m Corr.astine: kg/ml Cod. punta:
--	---	---

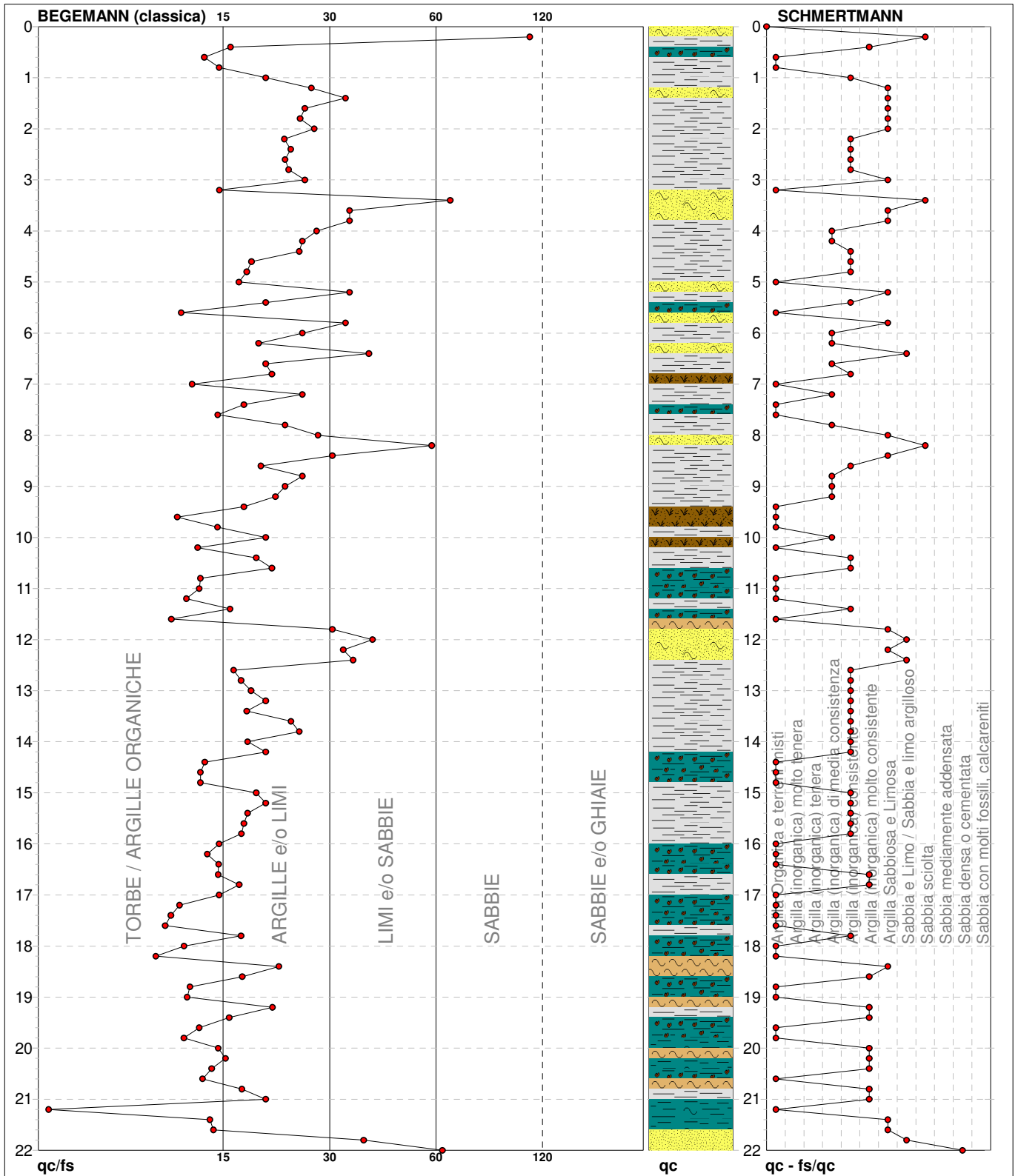
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>9</b>
riferimento	<b>28-03-13</b>

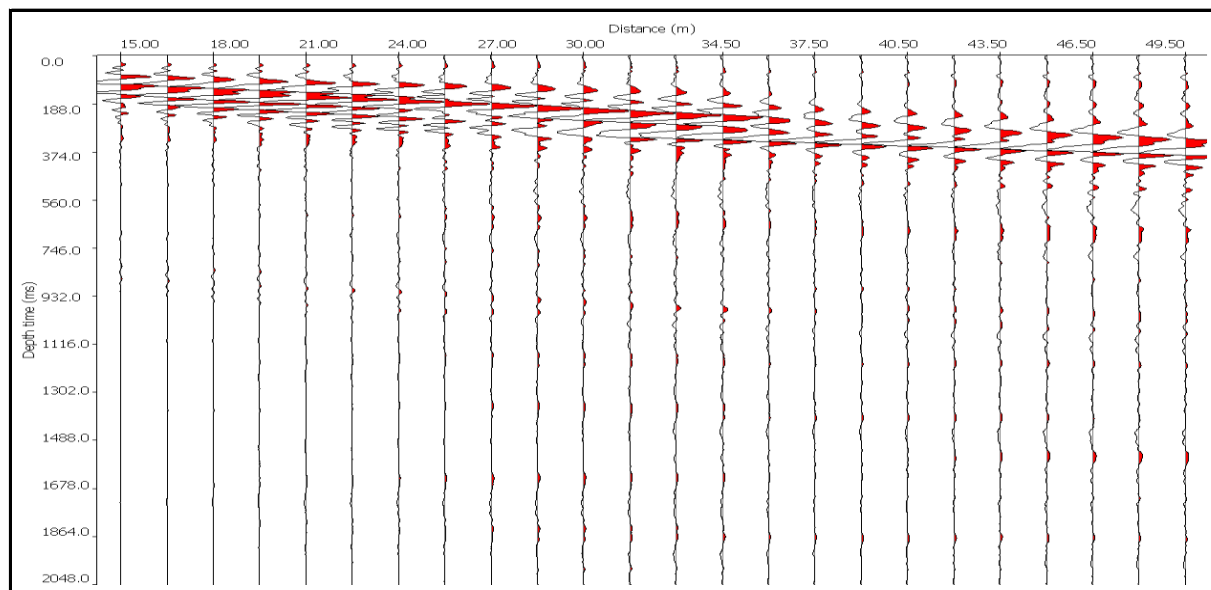
Committente: **Comune di Calderara di Reno**  
 Cantiere: **Microzonazione sismica**  
 Località: **ARS - Via Armaroli**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data esec.: **29/03/2013**  
 Scala: **1:110**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato: **Falda: -1.20 m da p.c.**

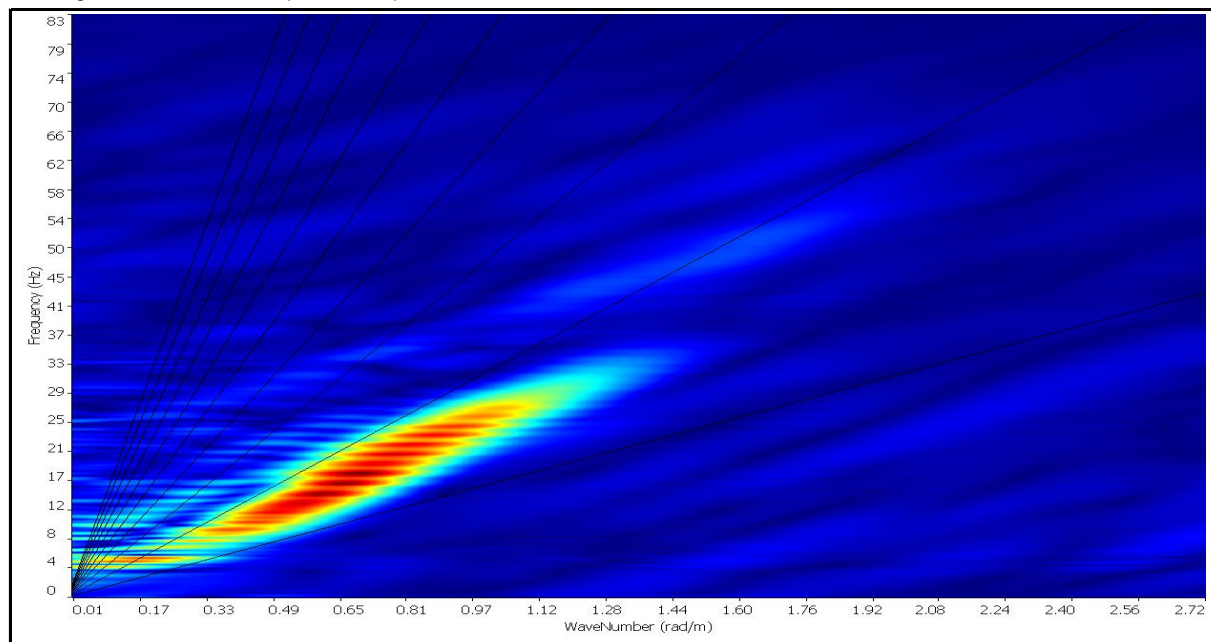


Torbe / Argille org. :	32 punti, 29.36%	Argilla Organica e terreni misti:	34 punti, 31.19%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	17 punti, 15.60%
Argille e/o Limi :	64 punti, 58.72%	Argilla (inorganica) media consist.:	11 punti, 10.09%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	4 punti, 3.67%
Limi e/o Sabbie :	12 punti, 11.01%	Argilla (inorganica) consistente:	29 punti, 26.61%	Sabbia sciolta:	3 punti, 2.75%
Sabbie:	2 punti, 1.83%	Argilla (inorganica) molto consist.:	11 punti, 10.09%	Sabbia densa o cementata:	1 punti, 0.92%

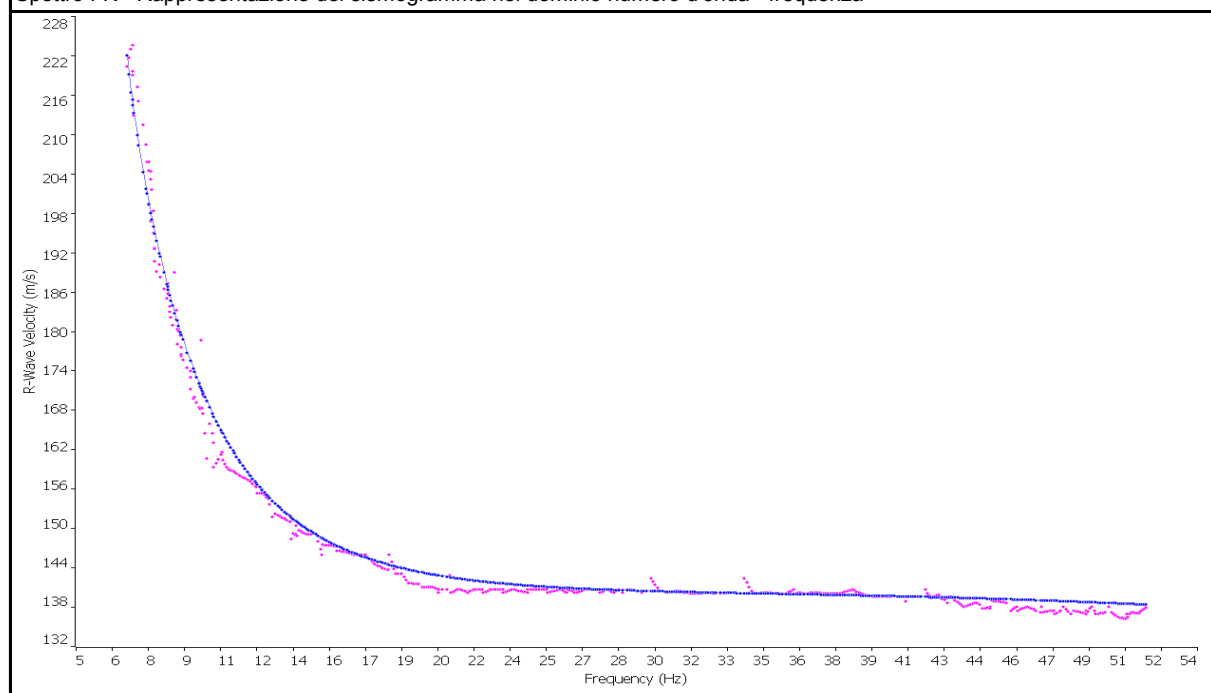




Sismogramma nel dominio spazio - tempo



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata / curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

$V_{S30}$  calcolata in base al art. 3.2.2. del NTC08

Prof. posa fondazione in m da pc= 0

$$V_{S_{0/30}} = 239 \text{ m/sec}$$

PROFONDITA' FONDAZIONE COMUNICATA DAL PROGETTISTA/COMMITTENTE

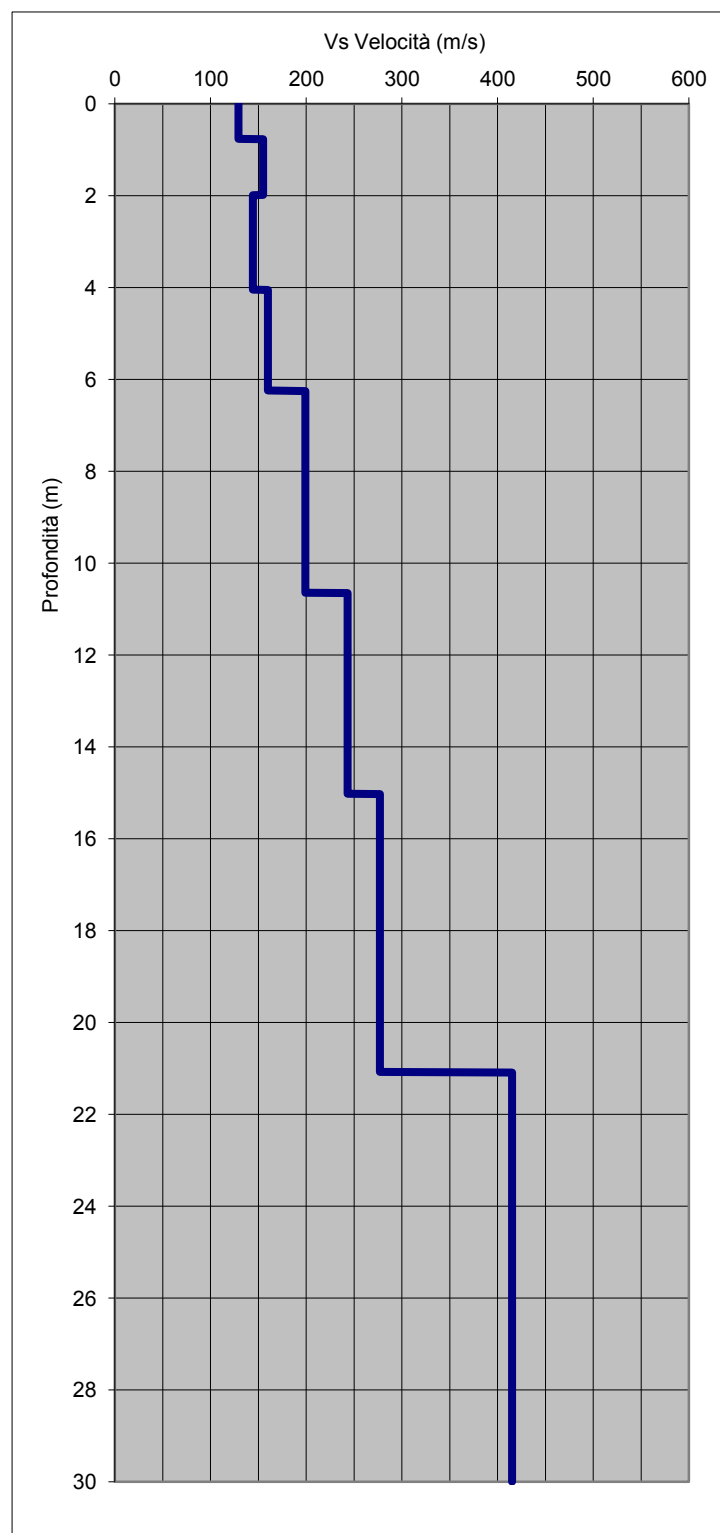


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

**Risultati elaborazione**

Strato	Profondità	Spessore	Vel
	da	a	m
Strato1	0.00	0.76	129
Strato2	0.76	1.98	155
Strato3	1.98	4.04	144
Strato4	4.04	6.24	160
Strato5	6.24	10.64	199
Strato6	10.64	15.02	243
Strato7	15.02	21.08	277
Strato8	21.08	30.00	415

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

$$V_{S_{30}} = 239 \text{ m/sec}$$

velocità calcolata dal p.c. naturale

Si ricorda che in base all'art 3.2.2 del DM 14 gennaio 2008 la  $V_{S_{30}}$  di progetto è riferita al piano di imposta delle fondazioni superficiali o alla testa dei pali in caso di fondazioni profonde od opere di sostegno di terreni naturali.

**Caratteristiche Indagine**

Ubicazione indagine

Sismografo	PASI SG24
Geofoni	Geospace
N° geofoni a 4,5Hz	24
Spaziatura geofoni	1,5 m
Lunghezza stendimento geofonico	34,5 m
Energizzazione	15 m
Lunghezza totale stendimento	49,5 m

**PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE  
METODOLOGIA MASW**

**COMMITTENTE:**

Studio di geologia Tarabusi  
Viale Oriani, 42 - Bologna

**LOCALITA':**

ARS - Via Armaroli  
Calderara di Reno (BO)

**CANTIERE:**

Microzonazione sismica del comune di  
Calderara di Reno (BO)

DATA: Marzo 2013

FILE: MASW5

Dir. Lavori:

Dr. Geol. Gabriele Tarabusi

Rif. 081\_13

**TECNOGEOFISICA snc**

Via Cattania, 1/a - 41012 Carpi (MO)

info@tecnogeo fisica.com

www.tecnogeo fisica.com

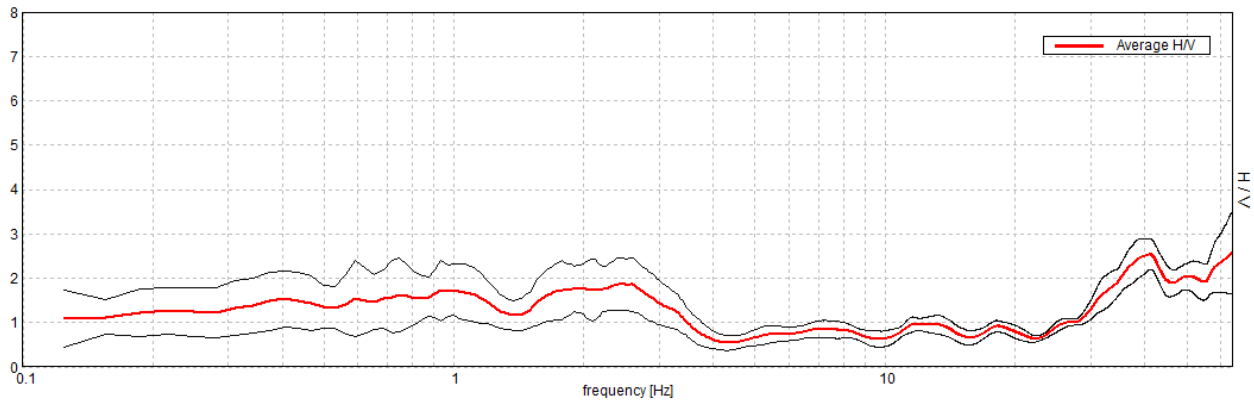
## CALDERARA, R004

Inizio registrazione: 19/03/13 11:05:21 Fine registrazione: 19/03/13 11:19:22  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

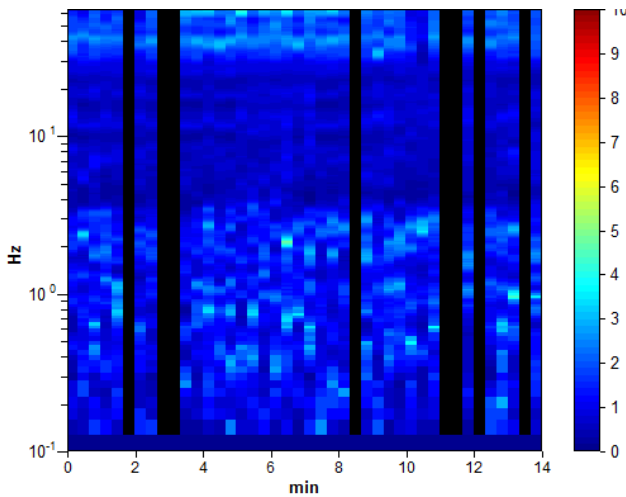
Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 81% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

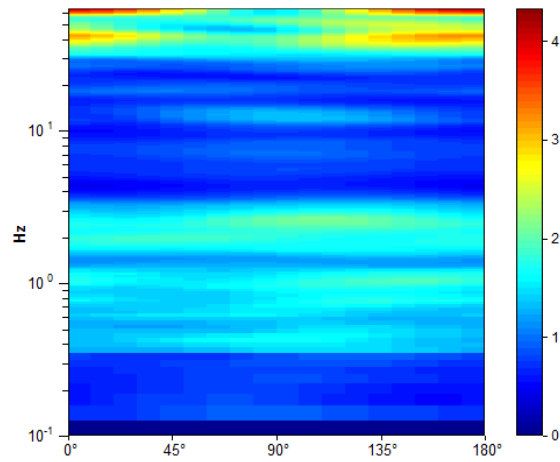
Max. H/V at  $2.41 \pm 0.26$  Hz. (In the range 0.0 - 32.0 Hz).



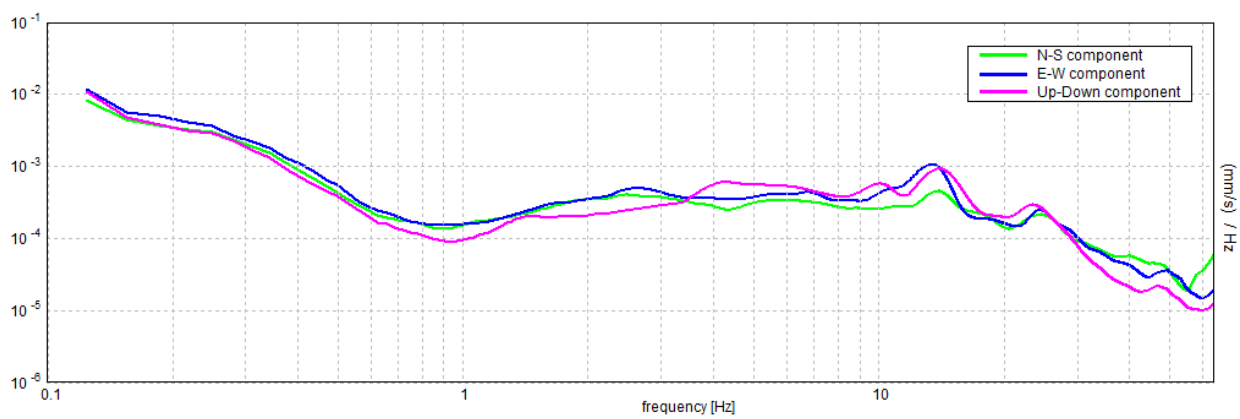
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



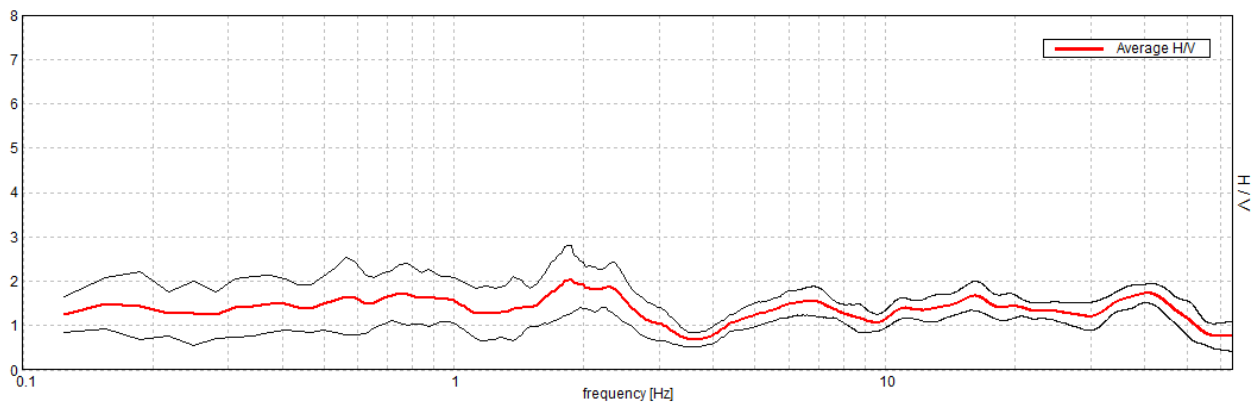
## CALDERARA, R005

Inizio registrazione: 19/03/13 11:28:19 Fine registrazione: 19/03/13 11:42:20  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

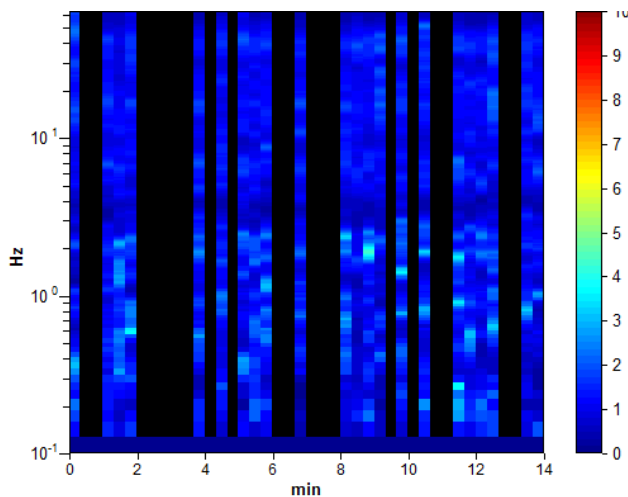
Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 52% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

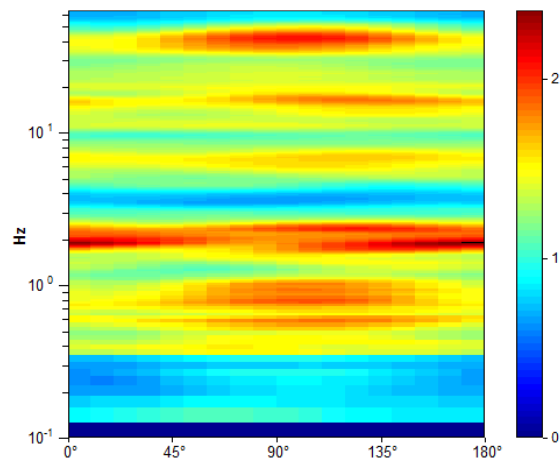
Picco H/V a  $1.88 \pm 0.3$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



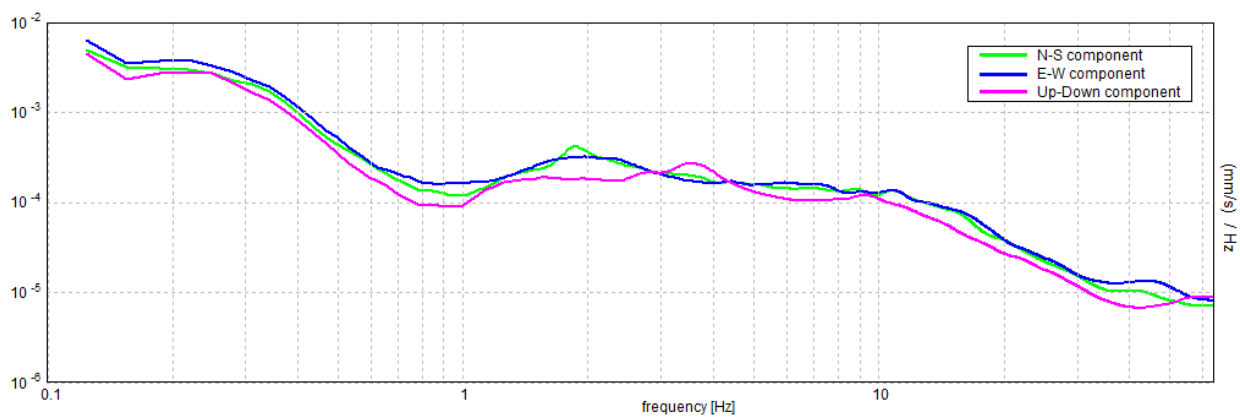
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA





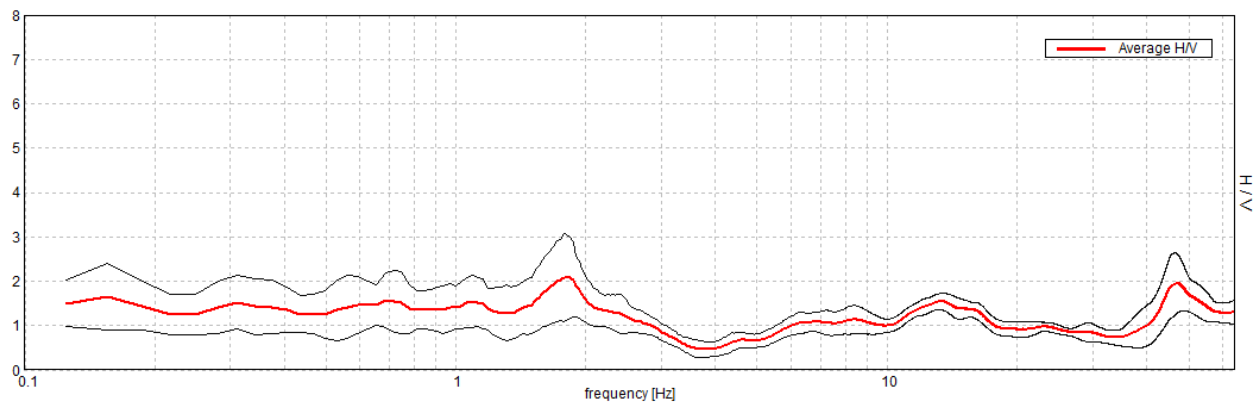
## CALDERARA, R014

Inizio registrazione: 19/03/13 15:24:19 Fine registrazione: 19/03/13 15:38:20  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

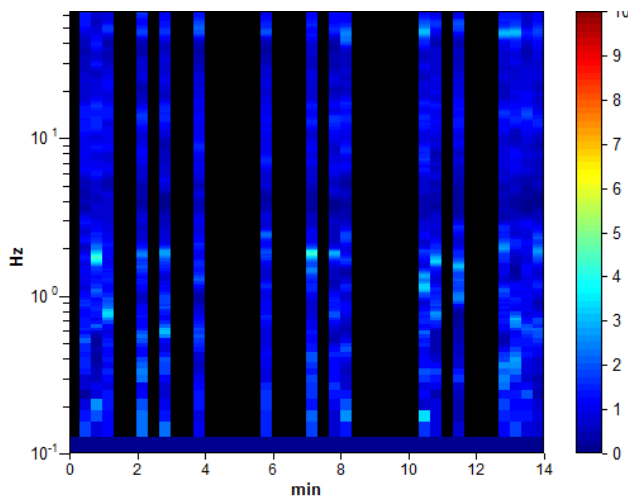
Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 40% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

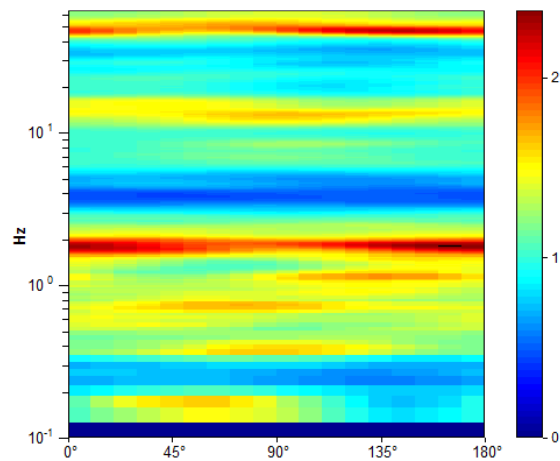
Picco H/V a  $1.81 \pm 0.17$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



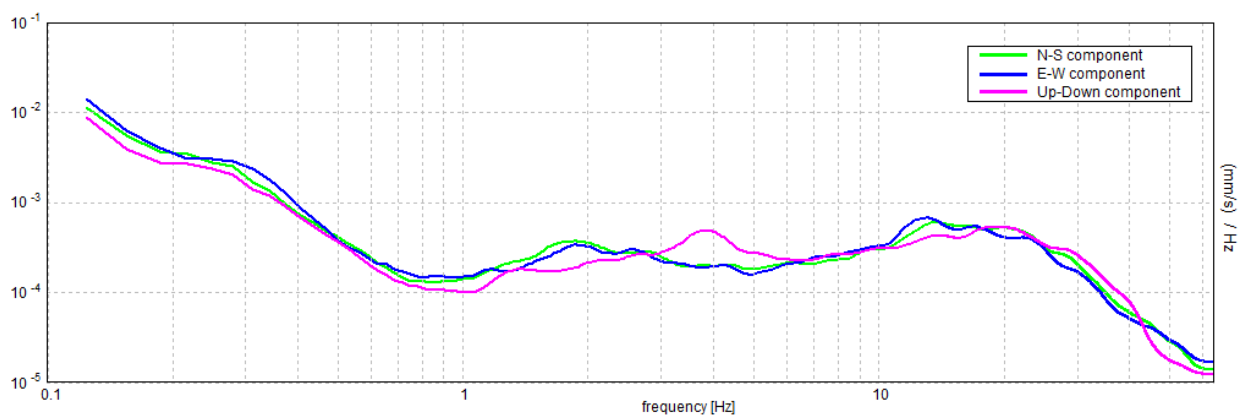
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



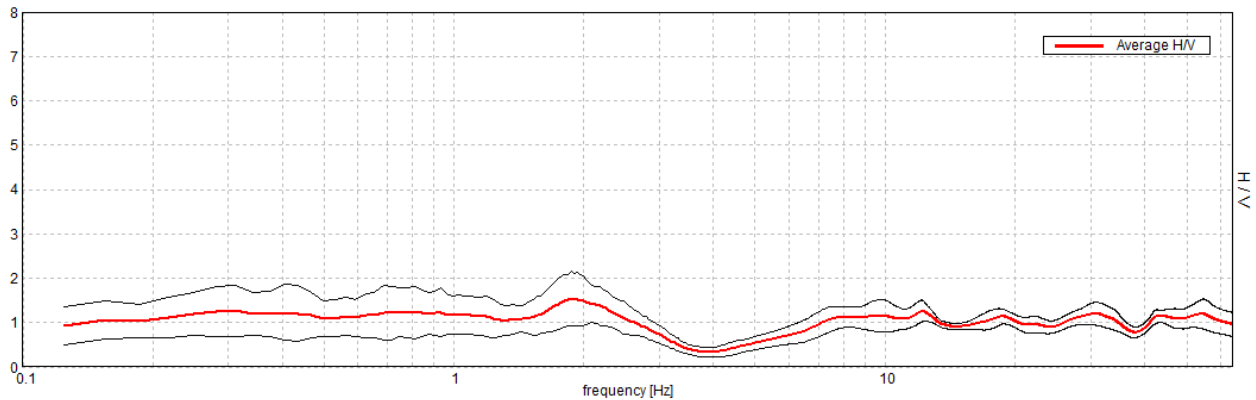
## CALDERARA, R042

Inizio registrazione: 28/03/13 14:58:51 Fine registrazione: 28/03/13 15:28:52  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

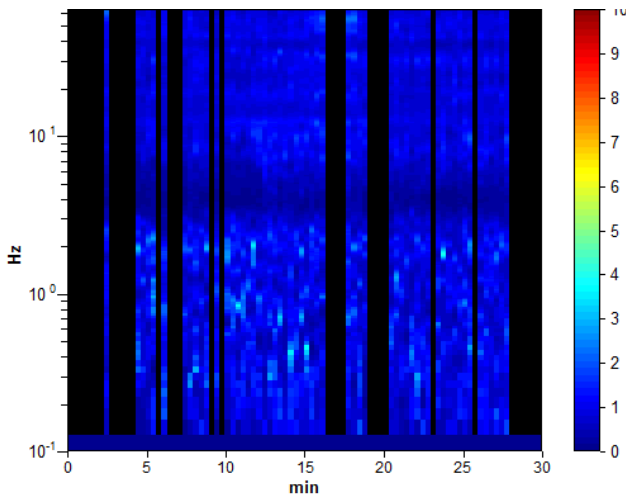
Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 62% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

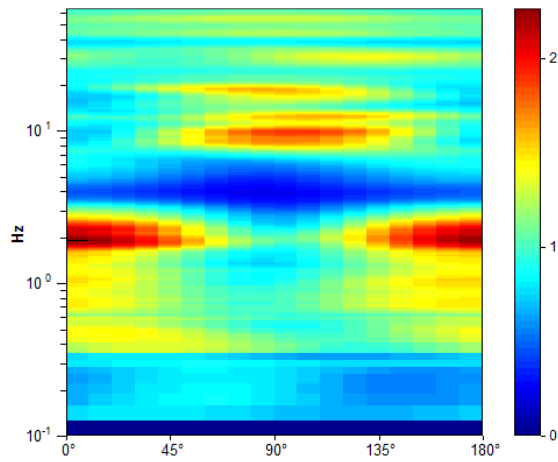
Picco H/V a  $1.88 \pm 2.24$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



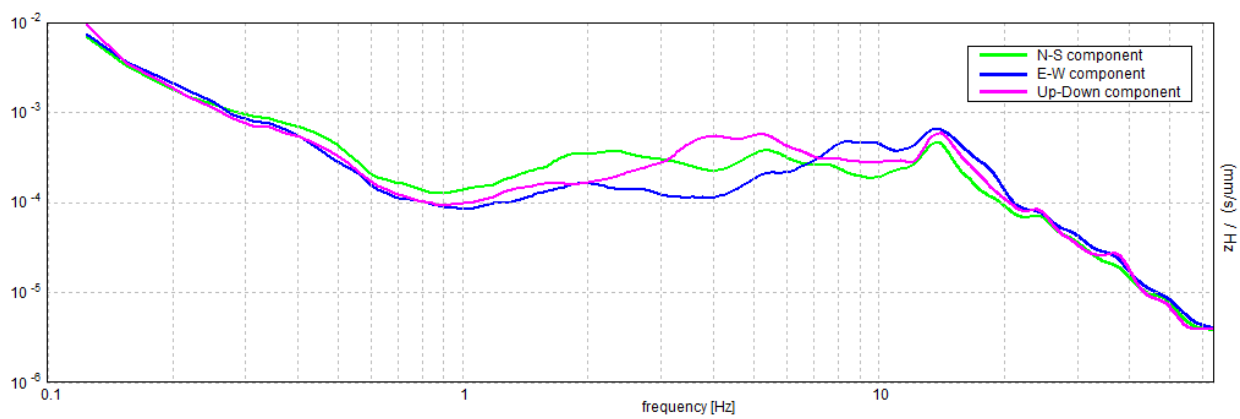
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



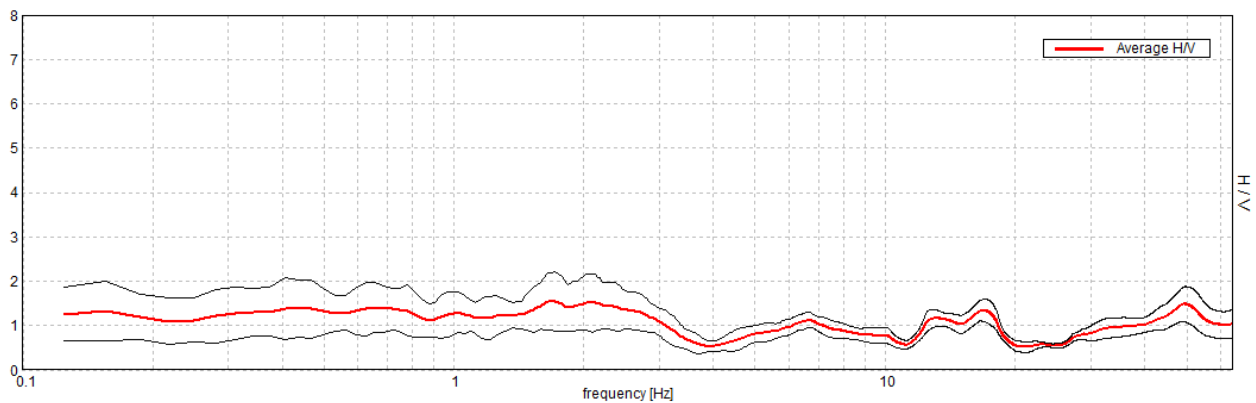
## CALDERARA, R090

Inizio registrazione: 21/04/13 09:45:36 Fine registrazione: 21/04/13 09:59:37  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

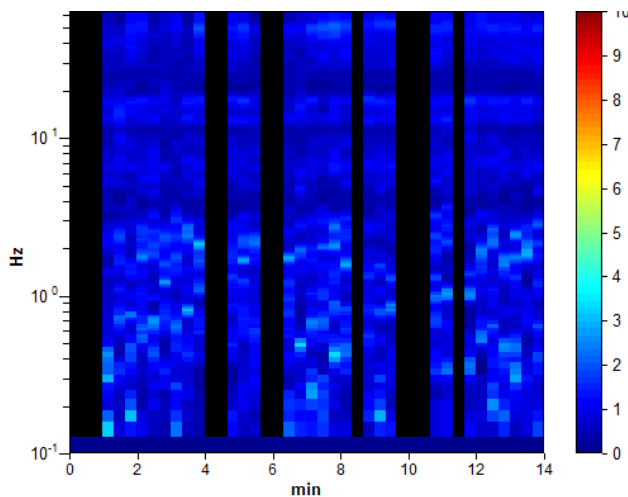
Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 71% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

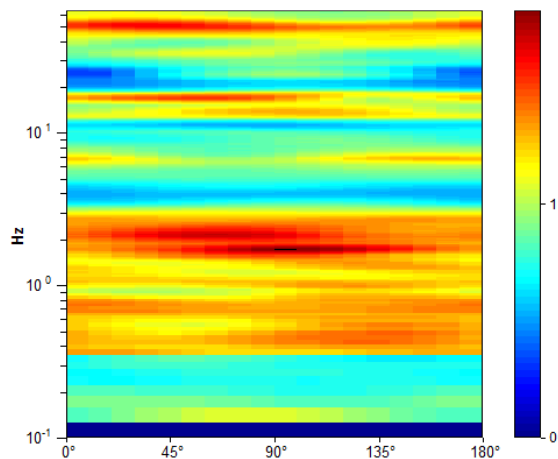
Picco H/V a  $1.69 \pm 3.34$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



### H/V TIME HISTORY

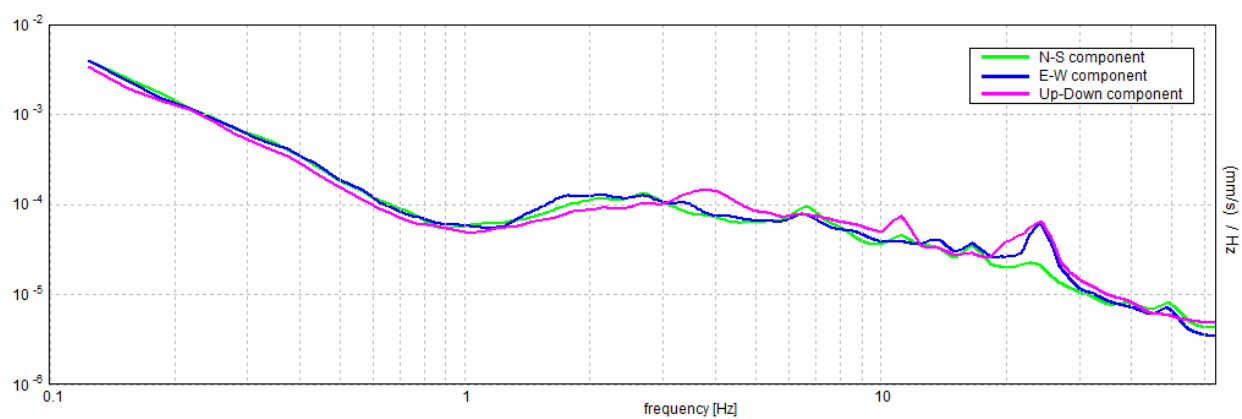


### DIRECTIONAL H/V





### SINGLE COMPONENT SPECTRA



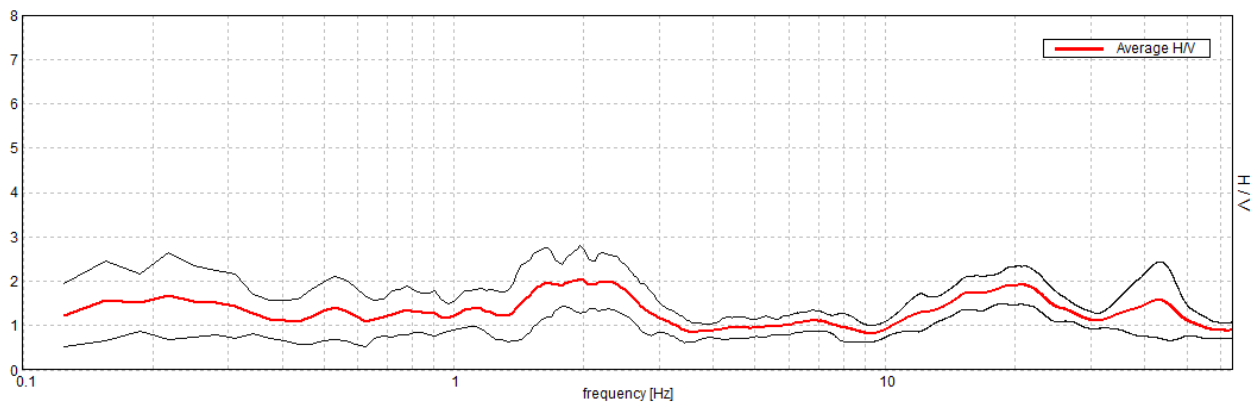
## CALDERARA, R097

Inizio registrazione: 21/04/13 09:48:12 Fine registrazione: 21/04/13 10:02:13  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

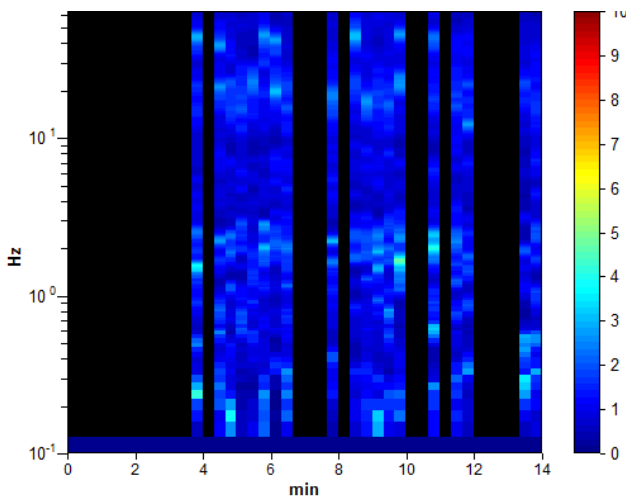
Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 45% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

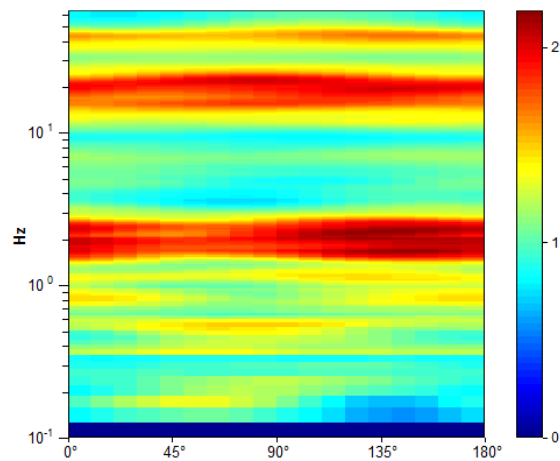
Max. H/V at  $1.97 \pm 5.93$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

