

PROVINCIA DI RAVENNA

COMUNE DI MASSA LOMBARDA

*"INDAGINE GEOGNOSTICA SUL TERRENO DI FONDAZIONE DEL PROGETTO
DELLE OPERE DI RIQUALIFICAZIONE VIABILITA' E PARCHEGGIO IN
PROSSIMITA' DEGLI IMPIANTI SPORTIVI DI VIA FORNACE DI SOPRA E
REALIZZAZIONE DI N°2 CAMPI TENNIS COPERTI"*

RELAZIONE GEOLOGICA-RELAZIONE SISMICA

*-INTEGRAZIONI -AGGIORNAMENTO AL DECRETO DELLA GIUNTA DELLA
REGIONE EMILIA ROMAGNA N. 2193/2015*

COMMITTENTE:



COMUNE DI MASSA LOMBARDA

AREA TECNICA

PIAZZA MATTEOTTI, 16

48024 MASSA LOMBARDA

REDATTO:

Dott. Geol. Oberdan Drapelli

N°938 ORDINE DEI GEOLOGI DELL'EMILIA ROMAGNA

REV.	0	EMISSIONE OTTOBRE 2017		
	1			

**DRAPELLI DR. OBERDAN –GEOLOGO-
STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE
48100 RAVENNA, VIA CERCHIO, 57
CELL. 338 8439633
E-MAIL oberdandrapelli@alice.it
C.F. DRP BDN 68T22 H199Z P.IVA 01442260392**

INDICE:

1: GENERALITA'	2
1.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI.....	4
2 MODELLO GEOLOGICO	4
3 SISMICITA' DELL'AREA	7
3.1 MISURE DIGITALI DEL RUMORE SISMICO ESEGUITE CON IL "TROMINO" – SASW-MASW.....	8
3.3 STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	14
3.4 CEDIMENTI POST SISMICI	16

1: GENERALITA'

Su incarico della committenza, si è redatta la presente relazione a corredo degli adempimenti amministrativi per il progetto di variante urbanistica in Massa Lombarda. Il presente studio inteso a verificare l'idoneità dell'area da un punto di vista geologico agli usi proposti, è basato sull'analisi estesa ad un adeguato intorno degli aspetti geomorfologici, litologici, e idrologici in modo da caratterizzare l'area nel suo insieme in quanto rivestono particolare importanza ai fini della futura edificazione. Una volta definiti gli obiettivi dell'indagine, si è proceduto alla raccolta dei dati esistenti in bibliografia ed ai sopralluoghi di campagna. Nel 2017 lo scrivente sempre per lo stesso committente ha eseguito una indagine geognostica con conseguente relazione. Per la realizzazione della relazione, si è proceduto alla realizzazione di due prove penetrometriche statiche spinte ad una profondità di 15.00metri. Inoltre per la definizione della Vs 30 si è eseguita una indagine geofisica mediante tecnica Masw e mediante Tromino digitale (effettuata dal dott. geol. Strocchi).

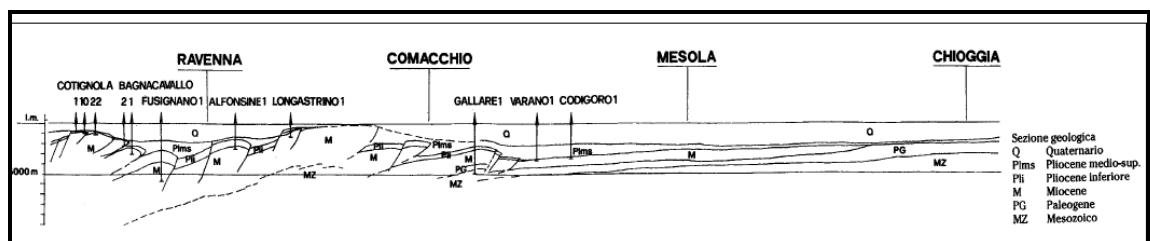
La presente ad integrazione delle precedenti viene realizzata in quanto prima della presentazione del progetto è entrata in vigore il Decreto della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 2193/2015, che cambiava sostanzialmente alcune indicazioni in materia di normativa sismica regionale. Pertanto la presente risulta essere semplicemente un adeguamento della relazione già presentata e revisionata come integrazioni alla allora legge vigente nel 2015, e non sono state effettuate indagini in sito aggiuntive. Si pertanto provveduto alla realizzazione di una prova cpt spinta fino a 30 metri ad integrare quelle già effettuate.

1.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI

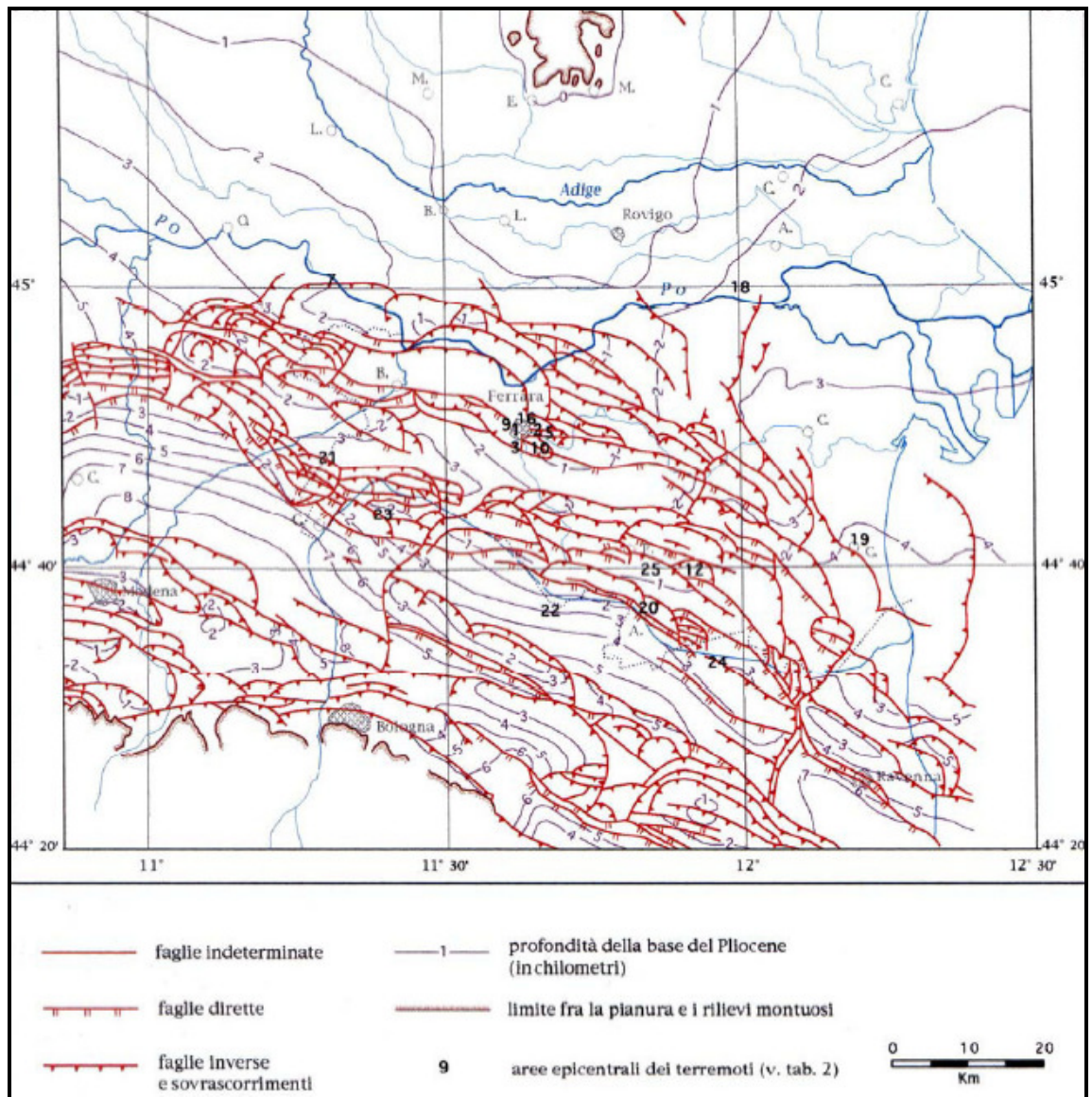
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”, pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, suppl. ord. n. 30, che entrano in vigore il 6 marzo 2008.
- •Circolare Applicativa n° 617 del 02/02/2009 alle NTC/2008. •Delibera Assemblea Legislativa n°112/2007 della Regione Emilia Romagna “Atto di Indirizzo e coordinamento tecnico” per gli studi di microzonizzazione sismica.
- •Decreto della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 2193/2015 "Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'assemblea legislativa 2 Maggio 2007, N. 112.
- •A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (giugno 1977). •A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)“Raccomandazioni sui pali di fondazione (dicembre 1984)”. •A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)“Aspetti geotecnici nella progettazione in zona sismica (Edizione Provvisoria, marzo 2005)”.
- •C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- •Eurocode EC7: Geotechnics, design – dicembre 1987.
- •Eurocode EC8: Design provisions for earthquake resistance of structures – ottobre 1994.

2 MODELLO GEOLOGICO

Nella FIGURA 3 si riporta la sezione geologica passante per Cotignola, Bagnacavallo, Ravenna, Comacchio, Codigoro, Mesola, Chioggia in cui si possono apprezzare gli spessori dei sedimenti del Quaternario sopra i pliocenici, che coincide con il passaggio dai sedimenti sciolti a quelli litificati o pseudolitificati.



Nella FIGURA 3 si riporta uno stralcio della Carta Strutturale della Pianura Padana, con le Pieghe Ferraresi dell'Appennino sepolto (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992) con visibili le varie strutture sepolte e le faglie e sistemi trascorrenti attivi e non attivi, che sono all'origine della nuova attribuzione alla Zona sismica 3, in cui Ravenna è stato inserito nella OPCM 3274/2003.



Carta strutturale della Pianura Padana (Pieri e Groppi, 1992)

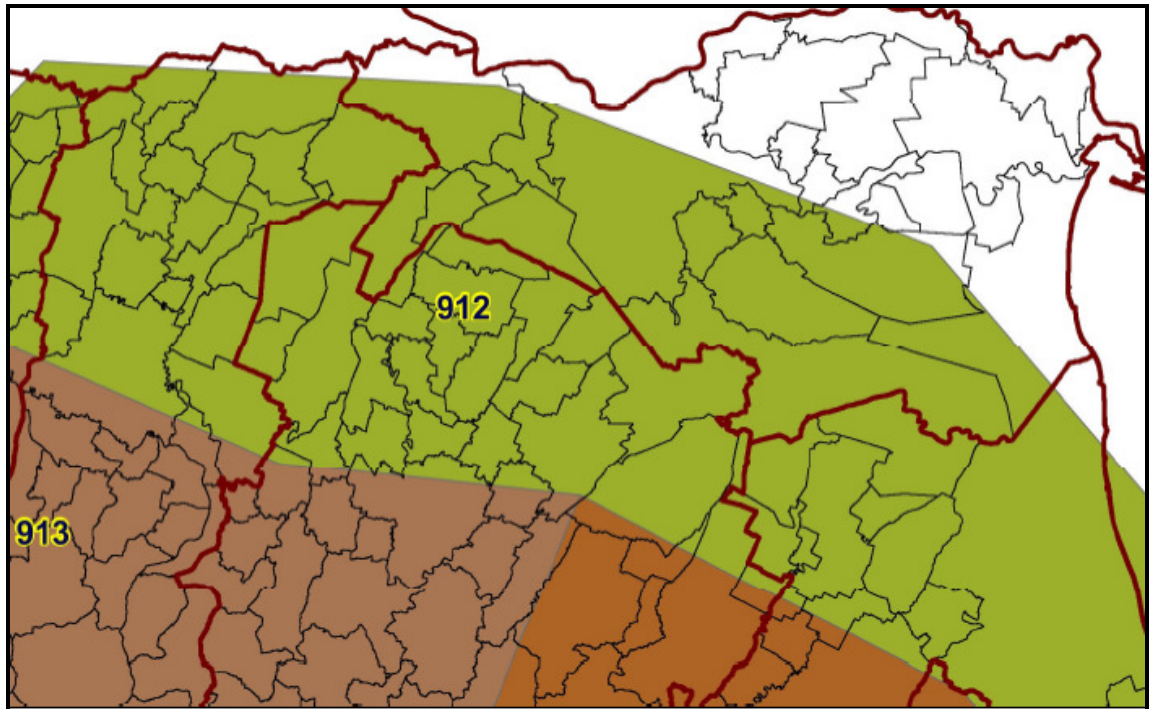
Questo territorio della pianura, dista circa 30 chilometri dal margine collinare, dove affiorano le successioni sedimentarie marine che nella zona di Lugo si trovano a grandissima profondità (circa un migliaio di metri) sotto la superficie topografica. Dalla parte opposta troviamo il mare ad una distanza di circa 20-25 chilometri, dall'attuale

linea di costa. Nel sottosuolo i sedimenti Pliocenici e Quaternari ricoprono un substrato di età Miocenica, il quale risulta essere fortemente ripiegato e tettonizzato con strutture e successioni stratigrafiche molto simili a quelle rinvenibili nell'Appennino; il territorio comunale a tal proposito è situato sul fianco SO della "sinclinale romagnola", la quale è delimitata a SO dalla sinclinale di Cotignola e a NE dalla sinclinale di Alfonsine-Ravenna. Il substrato Miocenico è caratterizzato da una successione di pieghe anticlinali e sinclinali con vergenza NE ed andamento appenninico; è situato a profondità crescenti da un minimo di 1500 m ad un massimo di 4000 m. Al substrato miocenico si sovrappongono in giacitura trasgressiva e discordante le argille del Pliocene inferiore con intercalati frequenti livelli di sabbia. Questi terreni hanno spessore molto variabile essendo ridotti od addirittura mancanti al culmine delle anticlinali, mentre sono di spessore notevole nelle sinclinali. Ciò è conseguenza sia di emersione ed erosione nelle zone di anticlinale alla fine del Miocene e nel Pliocene inferiore, sia della subsidenza differenziata fra zone di anticlinali e di sinclinali. Gli strati del Pliocene inferiore sono ed interessati da fenomeni disgiuntivi simili a quelli che interessano il substrato miocenico, ma di minore intensità. Le formazioni più recenti, a partire dal Pliocene medio superiore, sono caratterizzate da deformazioni meno intense. I sedimenti del Pliocene medio superiore (argille marnose con intercalazioni di sabbie) sono trasgressivi sul Pliocene inferiore; lo spessore di questi sedimenti è condizionato dalla tettonica con uno spessore modesto (circa 100 m) sulle anticlinali ed uno spessore più rilevante nelle sinclinali (anche e oltre 1000 m).. L'influenza della tettonica si riduce e si attenua nel Quaternario; ai sedimenti del Pliocene superiore seguono con una certa continuità di sedimentazione le argille e argille limoso sabbiose tipiche del Calabriano, a sua volta seguite da sedimenti di ambiente marino litorale e salmastro consistenti in intercalazione di sabbie e di argille con banchi ricchi di macrofossili attribuibili al periodo post Calabriano (Emiliano, Siciliano e Milazziano). Seguono terreni prevalentemente di ambiente continentale (alluvioni argilloso limose con lenti sabbioso limose) a cui si intercalano livelli marini con depositi di ambiente litorale (sabbie di spiaggia e duna) legate alle fasi interglaciali pleistoceniche, terminate le quali ha inizio il depositarsi di sedimenti continentali depositate durante la glaciazione Wurmiana. Il territorio del Comune, è stato raggiunto dal mare durante la trasgressione dell'Olocene; la linea di massima avanzata del mare, databile a circa 5000 anni fa, coincide circa con la S.S16

Adriatica che collega Ravenna a Ferrara. I sedimenti Olocenici nel territorio, sono rappresentati superficialmente da alluvioni argilloso limose con lenti sabbioso limose a cui si intercalano episodi lagunari argilloso limosi molli (circa normalconsolidati), a cui seguono strati sabbiosi, che rappresentano depositi di spiaggia o duna, alternati a livelli argilloso limosi molli fino a oltre i 20 metri di profondità. Nell'area in esame le quote rispetto al livello medio del mare, sono di circa 4-5 metri più alti rispetto a questo livello (dati dedotti dalla ctr). Il livello della falda nella zona è superficiale ed in certi periodi dell'anno può essere prossimo alla superficie topografica.

3 SISMICITA' DELL'AREA

L'attribuzione alla Zona sismica 2, in cui MASSA LOMBARDA è stato inserito nella OPCM 3274/2003, in cui l'area comunale è entrata a far parte delle aree definite a "rischio sismico" ed inserita in zona 3; la nuova classificazione sismica mette il territorio del comune di Massa Lombarda in zona sismica 2 con accelerazione pari **a 0.25 g secondo la normativa nazionale**. La Regione Emilia Romagna ha emanato "L'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L. R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". In queste linee di indirizzo si danno i valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T = 0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}), per ogni comune della regione. **Per Massa Lombarda si è data una accelerazione di 0.183**. Si fa inoltre presente che tutto il territorio comunale di Massa Lombarda ricade all'esterno della zona sismogenetica 912 infatti si può affermare che l'area in esame è fuori dalla Dorsale Ferrarese, e dunque non è sede epicentrale di eventi sismici. Di conseguenza in questa zona è previsto che si verifichino sismi con energie piuttosto limitate, di Magnitudo non superiori a 6,0.



La Regione Emilia Romagna non è esente da attività sismotettonica. La sua sismicità può però essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IXX grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sudorientale, in particolare nell'Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5) sono il margine appenninicopadano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico" (Note illustrative, Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, 2004).

3.1 MISURE DIGITALI DEL RUMORE SISMICO ESEGUITE CON IL "TROMINO" – SASW-MASW

Dall'integrazione delle misure sismiche passive (Tromino) e attive (Masw) è possibile giungere alla valutazione dell'amplificazione sismica di risonanza del substrato di interesse e della Vs30, Il Tromino è uno strumento in grado di misurare i microtremeri. Il tremore sismico, comunemente definito "rumore sismico", esiste ovunque sulla superficie della terra. Esso è principalmente costituito da onde superficiali, ovvero da onde elastiche prodotte dall'interferenza costruttiva di onde P ed S che si propagano negli strati superficiali. Il rumore sismico è prodotto essenzialmente dal vento o dalle onde marine. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le

sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione della velocità di queste ultime. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo da rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoschi e Igaraschi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo. Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato. Considerando lo schema della figura sottostante in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizioni di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a:

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4 \times H}$$

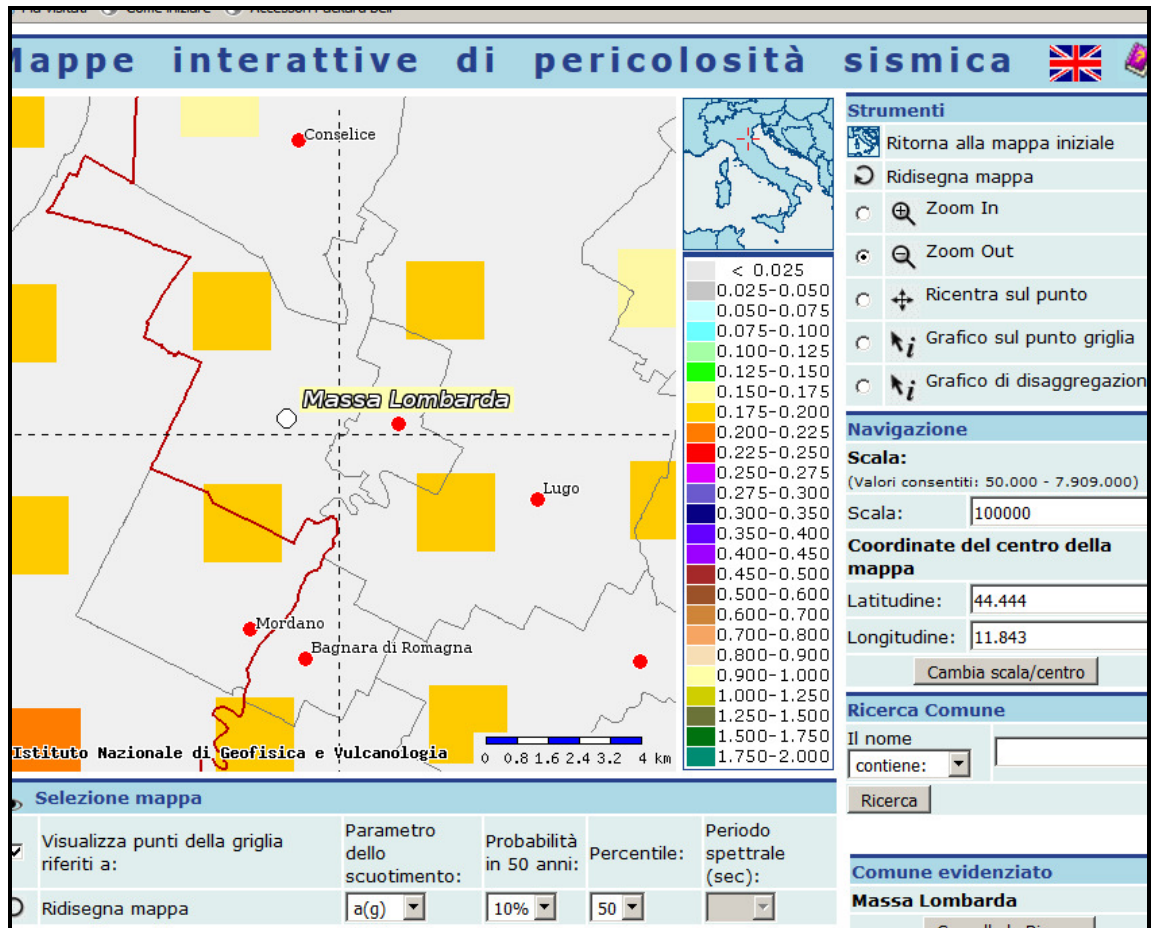
Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi dello spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando la sopra riportata equazione. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) in contenuto di frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. Un aspetto assai importante è che il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione per la risonanza del sottosuolo e degli edifici più o meno come una luce bianca diffusa illumina gli oggetti eccitando le

lunghezze d'onda tipiche di ciascun oggetto e dandogli il suo tipico colore. Questo risulta molto importante a livello ingegneristico perché se un edificio ha frequenze proprie di vibrazione uguali a quelle del substrato su cui è fondato, durante un sisma, si assiste al fenomeno dell'accoppiamento delle vibrazioni. Questo effetto di amplificazione sismica produrrà un grande aumento della sollecitazione sugli edifici. La misurazione attiva delle SASW/MASW, permettono la misurazione della velocità delle onde di Rayleigh, comparabili con la velocità delle onde Vs, attraverso l'esecuzione di sismica attiva. Si utilizza il Tromino come acquisitore e a distanza prefissata lungo uno stendimento lineare si posiziona un Trigger e si energizza il punto. Nel caso specifico è stato realizzato stendimento secondo uno schema X-X con campionature ogni 3 m. Stendimento X (m)= 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 33 36 39 42 45 48 51 La calibrazione delle misure dei microtremori e delle misure Masw è stata eseguita in base alle indagini geognostiche eseguite sul sito di indagine. La prova eseguita impiegando la suddetta metodologia dei microtremori ha evidenziato, combinata con la MASW, utilizzando l'inversione H/V con il metodo proposto da Nakamura, secondo la teoria descritta da Aki (1964) e Ben-Menahem & Sing (1981), correlata ed integrata con le misure attive MASW, una Vs30= 211 m/s. Nel caso specifico è possibile individuare, in prima analisi, la sottostante frequenza fondamentale per il deposito esaminato, anche se non ben evidenziata dalla curva H/V.

La progettazione e le verifiche del modello sismico delle opere in progetto potranno essere utilmente confrontate con la frequenza fondamentale del sito indagato.

Anche se lo spettro nei ns terreni risulta alquanto complesso da identificare in quanto non è presente un picco ben definibile, dalla esperienza si è potuto notare che la frequenza caratteristica del deposito risulta essere (almeno nelle ns pianure) attorno a circa 0.9/1.0 hz.

Frequenza fondamentale di vibrazione del deposito	
Frequenza f (hz)	Periodo T(sec)
0.90	1.11



Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 44,4444073308902

longitudine: 11,8207260972621

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 17181 Lat: 44,4230 Lon: 11,8107 Distanza: 2513,894

Sito 2 ID: 17182 Lat: 44,4240 Lon: 11,8806 Distanza: 5270,868

Sito 3 ID: 16960 Lat: 44,4739 Lon: 11,8793 Distanza: 5689,685

Sito 4 ID: 16959 Lat: 44,4730 Lon: 11,8093 Distanza: 3304,044

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1
 Operatività (SLO):
 Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 30 [anni]
 ag: 0,056 g
 Fo: 2,452
 Tc*: 0,260 [s]

Danno (SLD):
 Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 50 [anni]
 ag: 0,071 g
 Fo: 2,437
 Tc*: 0,273 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):
 Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 475 [anni]
 ag: 0,184 g
 Fo: 2,410
 Tc*: 0,305 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):
 Probabilità di superamento: 5 %
 Tr: 975 [anni]
 ag: 0,238 g
 Fo: 2,425
 Tc*: 0,310 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:
 Ss: 1,500
 Cc: 1,640
 St: 1,000
 Kh: 0,017

Kv: 0,008

Amax: 0,827

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500

Cc: 1,610

St: 1,000

Kh: 0,021

Kv: 0,011

Amax: 1,047

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,430

Cc: 1,550

St: 1,000

Kh: 0,063

Kv: 0,031

Amax: 2,574

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,350

Cc: 1,550

St: 1,000

Kh: 0,090

Kv: 0,045

Amax: 3,147

Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

[Geostru software - www.geostru.com](http://www.geostru.com).

3.3 STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Per liquefazione di un terreno si intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. Il fenomeno della liquefazione si può manifestare preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda, in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua. Durante un terremoto il terreno può essere visto come sottoposto da una serie di cicli di carico variabili in intensità e numero in funzione della magnitudo del sisma stesso. In terremoti di elevata magnitudo è sufficiente un numero ridotto di cicli di carico per produrre la liquefazione del deposito, poiché ad ogni ciclo è associata una sollecitazione dinamica di maggiore intensità. In terremoti di minore magnitudo lo stesso effetto lo si ottiene con un numero superiore di cicli di carico. In definitiva, un'elevata magnitudo del sisma e una lunga durata dello stesso rendono più probabile l'iniziarsi della liquefazione in un deposito a prevalenza sabbiosa. Dall'analisi dei fattori che predispongono un terreno alla liquefazione, tra i quali la granulometria, la profondità del livello potenzialmente liquefacibile, il grado di addensamento dei depositi, in linea generale si possono ritenere potenzialmente liquefacibili quei depositi sciolti costituiti da sabbie da fini a medie con contenuto in fine variabile dallo 0 al 25%, si trovano sotto falda, sono da poco a mediamente addensati e si trovano a profondità relativamente basse (di solito inferiori a 15 metri). Per la presenza di depositi granulari/incoerenti con spessori > 1,00 m e saturi d'acqua, si ritiene necessario eseguire la verifica a liquefazione. Come indicato nella DAL n. 112/2007, tra i metodi semplificati sono raccomandati quelli basati su prove CPT e tra questi in particolare il metodo di Idriss & Boulanger, 2004-2008. Per il presente studio sono state quindi realizzate le verifiche della propensione alla liquefazione e dei cedimenti potenziali indotti da sisma sulle verticali delle prove penetrometriche statiche eseguite. Per i calcoli è stato utilizzato il programma "Cliq 1.7" della Geologismiki Geotechnical Software, sviluppato in collaborazione con il Prof. Peter Robertson. L'algoritmo di calcolo utilizzato si basa sul metodo di Idriss & Boulanger, 2004-2007. Le analisi eseguite seguono le procedure di riferimento dettate dall'NCEER. Lo stesso software esegue il calcolo dei cedimenti attesi secondo il metodo proposto da Zhang ed al. (2002), calcolando per tutti i livelli che hanno un fattore di sicurezza inferiore a 2. Il potenziale di liquefazione si ottiene eseguendo il calcolo del fattore di sicurezza FSL,

definito dal rapporto CRR su CSR. La metodologia utilizzata permette di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso il confronto tra le caratteristiche granulometriche e di addensamento del deposito, espresse dai valori della resistenza penetrometrica q_c normalizzati con lo sforzo tagliante indotto dal sisma (CRR e CSR). Il fattore di sicurezza alla liquefazione FSL è definito dal rapporto: $FSL = CRR \cdot MSF/CSR$ (dove MSF è il coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma).

- $FS_L > 1,2$ **liquefazione assente**

Secondo la normativa i livelli di sabbia presenti alla varie profondità potrebbero avere problematica secondo questa problematica ma tale livello risulta essere troppo sottile per poter essere preso in considerazione per tale pericolo. E' necessario considerare che, secondo alcuni autori (Sherif-Ishibashi, 1978), occorre che i depositi siano costituiti da sabbie o sabbie limose con frazione fine inferiore al 25% che si trovino sotto il livello statico di falda e che siano sovrastati da livelli non liquefacibili con spessore inferiore a 3 metri. I valori dei fattori di sicurezza ottenuti dalle verifiche, comunque superiori all'unità, uniti alla presenza di depositi coesivi dello spessore di almeno 10 metri al di sopra degli strati sabbiosi potenzialmente liquefacibili portano a concludere che i rischi in tal senso nell'area interessata dall'intervento edilizio si possono considerare estremamente ridotti. Si segnala comunque che, nel caso specifico, alcuni livelli degli strati considerati presentano fattori di sicurezza inferiore a 1; pertanto, per maggiore dettaglio, si è proceduto alla Valutazione dell'indice del potenziale di liquefazione I_L secondo quanto riportato nell'Allegato A3 della Delibera dell'Assemblea legislativa n. 112 – Oggetto n. 2131 del 2 Maggio 2007, modificato dalla DGR 2193-2015 allegato A3, il rischio di liquefazione in base ai valori di tale indice risulta essere:

$I_L =$	→	NON LIQUEFACIBILE ($FI > 1.2$)
$0 < I_L \leq 2$	→	RISCHIO DI LIQUEFAZIONE "BASSO"
$2 < I_L \leq 5$	→	RISCHIO DI LIQUEFAZIONE "MODERATO"
$5 < I_L \leq 15$	→	RISCHIO DI LIQUEFAZIONE "ALTO"
$I_L > 15$	→	RISCHIO DI LIQUEFAZIONE "MOLTO ALTO"

L'indice del potenziale di liquefazione, I_L è definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

in cui z è la profondità dal piano campagna in metri e $w(z) = 10 - 0.5z$; ad una data quota z il fattore $F(z) = F$ vale:

$$F = 1 - FL \text{ se } FL \leq 1.0$$

$$F = 0 \text{ se } FL > 1.0$$

dove FL è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata.

Dallo sviluppo dei calcoli attraverso il software CLIQ, si ottiene un valore di $I_L = 1.29$ consente, nel caso specifico, di attribuire al sito in questione un **rischio di liquefazione basso**.

3.4 CEDIMENTI POST SISMICI

In condizioni di sisma vi possono essere effetti di "riordino" dei sedimenti, con possibilità di cedimenti significativi e che possono coinvolgere sia i depositi granulari poco addensati e recenti (olocenici), sia i sedimenti fini poco coesivi. Nell'ultimo decennio sono state elaborate procedure di stima delle potenziali deformazioni post-sisma anche nei sedimenti fini (limi e argille a comportamento "non drenato"), provocate da perdite di resistenza. Quest'ultimo fenomeno è noto con il termine "cyclic softening" (Idriss & Boulanger, 2004-2007). Per la stima dei cedimenti post sisma, si è proceduto alla verifica basata sulla classificazione di comportamento di tutti i terreni proposta da Robertson (1990; 2009). La figura propone il diagramma (Qtn-F) di classificazione nel quale si distinguono le zone di potenziale liquefazione e/o di "cyclic softening". Le zone A1 e A2 corrispondono ai sedimenti di bassa coesione attribuibili a comportamento granulare e suscettibili di liquefazione ciclica, in particolare i sedimenti che ricadono nella zona A2 risultano più suscettibili a perdite anche significative di resistenza in caso di sisma; le Zone B e C ($I_c > 2,6$) corrispondono invece ai terreni coesivi a comportamento argilloso ed entrambi sensibili a "cyclic softening", in particolare i sedimenti che ricadono nella zona C risultano più suscettibili a perdite di resistenza post-sisma. Limi non plastici saturi spesso cadono nella zona C, tuttavia, il loro CRR è fortemente controllato dalla coesione non drenata c_u .

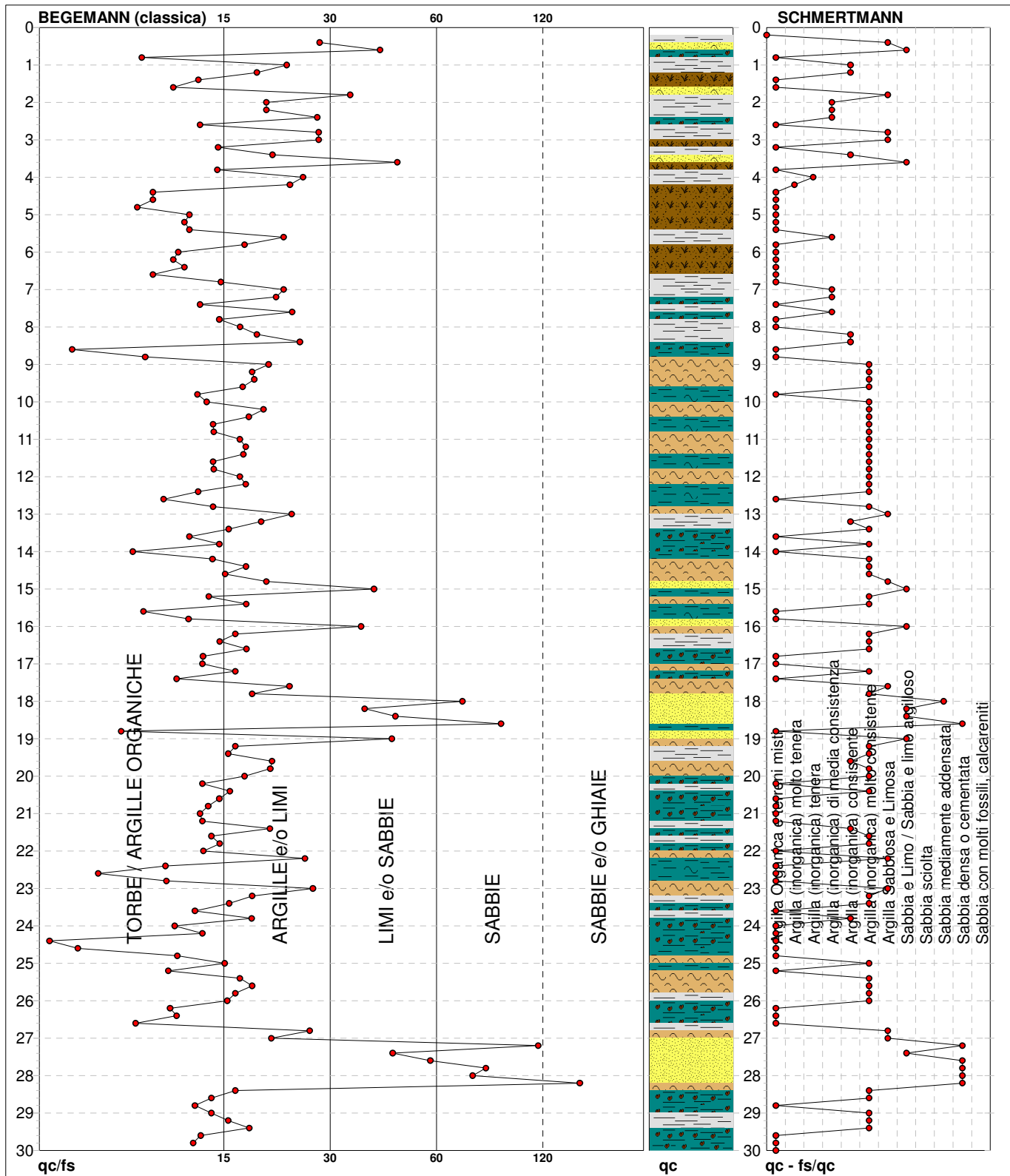
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	03
riferimento	012-2017
certificato n°	03-012-17

Committente: **COMUNE DI MASSA LOMBARDA**
 Cantiere: **VARIANTE URBANISTICA PER REALIZZAZIONE CAMPI TENNIS**
 Località: **MASSA LOMBARDA-VIA FORNACE DI SOPRA**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: 26/09/2017
 Scala: 1:150 Data certificato: 02/10/2017
 Pagina: 1
 Elaborato: Falda: -1.85



Torbe / Argille org. :	66 punti, 44.30%	Argilla Organica e terreni misti:	55 punti, 36.91%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	11 punti, 7.38%
Argille e/o Limi :	67 punti, 44.97%	Argilla (inorganica) molto tenera:	1 punti, 0.67%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	8 punti, 5.37%
Limi e/o Sabbie :	10 punti, 6.71%	Argilla (inorganica) tenera:	1 punti, 0.67%	Sabbia mediamente addensata:	1 punti, 0.67%
Sabbie:	5 punti, 3.36%	Argilla (inorganica) media consist.:	7 punti, 4.70%	Sabbia densa o cementata:	6 punti, 4.03%
Sabbie e/o Ghiaie :	1 punti, 0.67%	Argilla (inorganica) consistente:	9 punti, 6.04%		
		Argilla (inorganica) molto consist.:	49 punti, 32.89%		

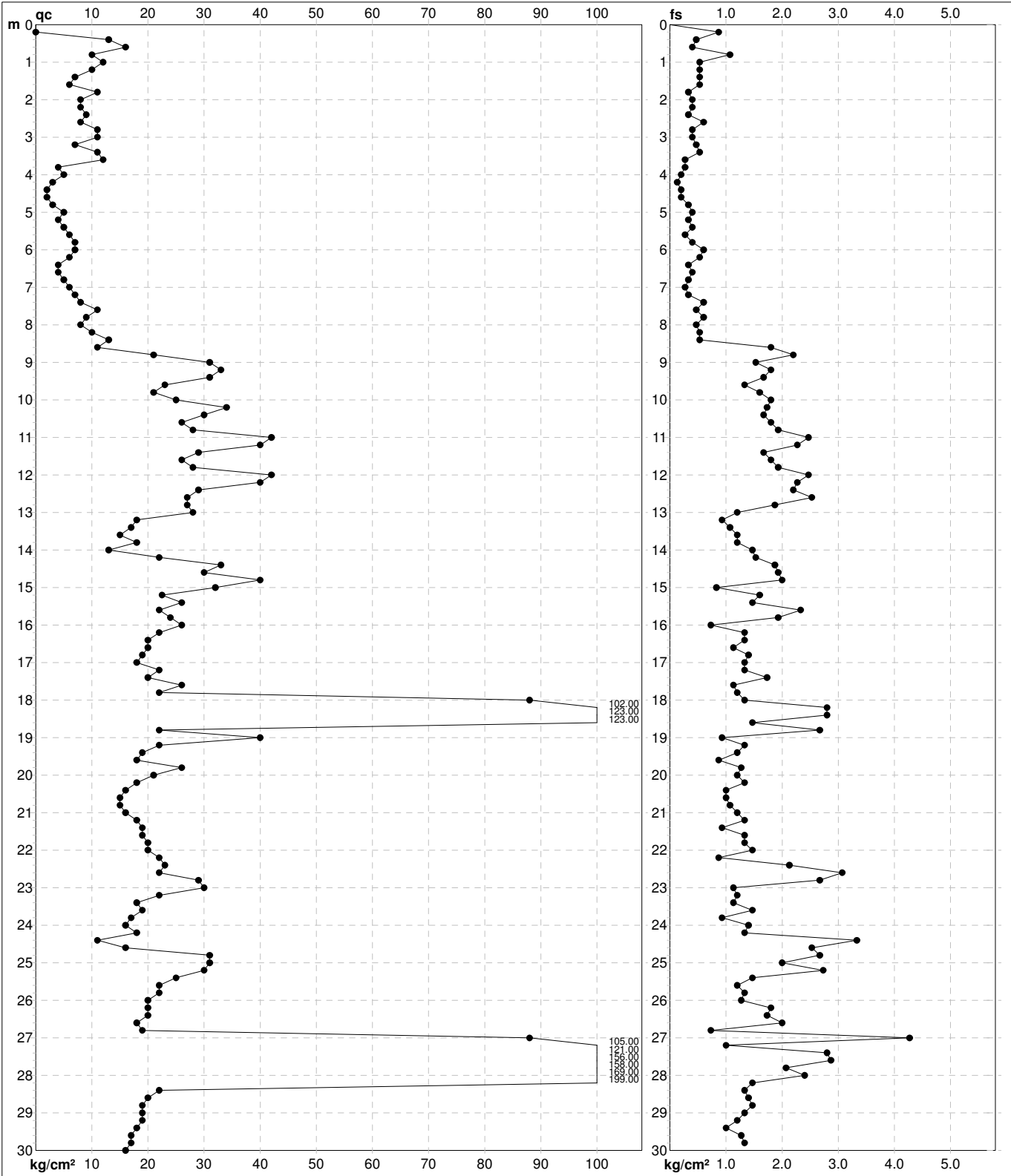
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT	03
riferimento	012-2017
certificato n°	03-012-17

Committente: **COMUNE DI MASSA LOMBARDA**
 Cantiere: **VARIANTE URBANISTICA PER REALIZZAZIONE CAMPI TENNIS**
 Località: **MASSA LOMBARDA-VIA FORNACE DI SOPRA**

U.M.: **kg/cm²** Data esec.: 26/09/2017
 Scala: 1:150 Data certificato: 02/10/2017
 Pagina: 1 Quota inizio:
 Elaborato: Falda: -1.85



Penetrometro: TG63-200	Preforo: -0.80 m
Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Assistente:	Cod. punta:

Dott. Geol. Stefano Strocchi
Via della Melica 29, S. Romualdo di Ravenna
Cell. 3409372344
e-mail: stefanostrocchi@libero.it
C.F. STRSFN69D23H199E
P.IVA: 02380010393



PROVINCIA DI RAVENNA

COMUNE DI MASSA LOMBARDA

PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI CAMPI DA
TENNIS IN VIA FORNACE DI SOPRA A MASSA
LOMBARDA (RA)

RELAZIONE GEOFISICA

INDAGINE HVSR PER LA STIMA DEL PARAMETRO VS30

(ai sensi D.M. 14 Gennaio 2008 – D.P.R. 5 Giugno 2001, n. 328)

Committente: **GEOLOG s.r.l.** Via della Lirica 15 - 48100 Ravenna

Febbraio 2017

Dr. Geol. Stefano Strocchi



INDICE

1 - PREMESSA.....	Pag. 2
2 - REFERIMENTI NORMATIVI.....	Pag. 2
3 - STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA UTILIZZATA.....	Pag. 3
3.1 Premessa.....	Pag. 3
3.2 Misura a stazione singola del microtremore sismico.....	Pag. 3
4 - INTERPRETAZIONI DELLE MISURE ESEGUITE.....	Pag. 6
5 - CONCLUSIONI.....	Pag. 9
ALLEGATI.....	Pag. 10

1. PREMESSA

La presente relazione geofisica finalizzata alla stima del parametro V_{S30} è stata redatta su incarico della Società Geolog s.r.l. a supporto del progetto di realizzazione di campi da tennis in Via Fornace di Sopra, nel territorio comunale di Massa Lombarda (RA).

Lo studio è stato condotto nel rispetto delle normative vigenti in materia, D.M. 14.01.2008 e relativa circolare esplicativa del C.S.LL.PP. n° 617/2009.

Per la definizione della pericolosità sismica di base del sito, ai sensi del § 3.2 N.T.C. e § C3.2 della Circolare, è stata eseguita un'indagine geofisica basata sulla misura del rumore sismico (microtremore) del sottosuolo, mediante l'utilizzo di strumentazione tomografica portatile, finalizzata alla stima delle frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo e alla definizione della V_{S30} e dell'amplificazione sismica del sito mediante il rapporto HVSr.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

La realizzazione del presente studio è stata eseguita in ottemperanza alle indicazioni fornite dalla normativa vigente con particolare riferimento alle seguenti norme:

DECRETO MINISTERIALE 14 GENNAIO 2008

“Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.

Punto 7.11.3 – Risposta sismica e stabilità del sito

CIRCOLARE 2 FEBBRAIO 2009, N. 617

“Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.

CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI

“Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale”.

D.P.R. 5 GIUGNO 2001, N. 328

Articolo 41 – Attività professionali

“punto c) le indagini geognostiche e l'esplorazione del sottosuolo anche con metodi geofisici; le indagini e consulenze geologiche ai fini della relazione geologica per le opere di ingegneria civile mediante la costruzione del modello geologico-tecnico; la programmazione e progettazione degli interventi geologici e la direzione dei lavori relativi, finalizzati alla redazione della relazione geologica...;”.

ASSEMBLEA LEGISLATIVA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA DAL D.A.L. 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 ed uso del territorio”, in merito a “indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica”

3. STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA UTILIZZATA

3.1 Premessa

Ai fini del presente studio sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche;

- **n. 1 analisi del microtremore passiva con TROMINO** al fine di valutare l'intervallo all'interno del quale risuona il terreno fornendo un intervallo di frequenza di risonanza (f_r), l'andamento delle velocità V_s con la profondità; il tipo di stratigrafia si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*.

Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

3.2 Misura a stazione singola del microtremore sismico

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Verticale Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **velocità media delle onde di taglio V_s** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. E' necessario, per affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia e riconoscibile nella curva H/V. E' possibile calcolare la V_{s30} e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme tecniche per le Costruzioni del 14 Gennaio 2008;
- la **stratigrafia del sottosuolo** con un range di indagine compreso tra 0,5 e 700 metri di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri.

Il principio su cui si basa la presente tecnica in termini di stratigrafia del sottosuolo è rappresentato dalla definizione di *strato* inteso come una unità distinta da quella sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ;
2. dal percorso dell'onda sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
3. dalla risposta dello strumento.

Il rumore sismico ambientale è generato da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello *Tromino* che rappresenta la nuova generazione di strumenti leggeri e compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni.

Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz.

I dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico.

I dati ottenuti sono stati convertiti in file ASCII mediante software "*Grilla*", fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

In fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

1. il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (circa 20 minuti);
2. la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno;
3. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;
4. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali tra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;
5. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che:

1. i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato;
2. gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti";
3. la misura non contenga errori sistematici (per esempio dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e

Ben-Menahem e Singh (1981).

Il codice può elaborare modelli con qualsiasi numero di strati, in qualsiasi intervallo di frequenze e in qualsiasi numero di modi (fondamentale e superiori).

Operativamente si costruisce un modello teorico HVSR avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita; successivamente, tramite specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale.

In questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde VS.

Il metodo HVSR consiste nello studio del rapporto spettrale tra la componente orizzontale del rumore e quella verticale (H/V spectrum). Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza (velocità delle onde e densità del materiale).

Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale H/V) con quello effettivamente misurato in superficie.

Considerando due strati con differente impedenza acustica, la **frequenza di risonanza (fr)** è legata allo spessore e alla velocità delle onde di taglio Vs del primo strato dalla seguente relazione:

$$fr = V_{s1} / 4 h_1$$

V_{s1} = velocità delle onde S del primo strato;

h_1 = spessore primo strato.

Nakamura (1989) ha inoltre dimostrato che i massimi dei rapporti spettrali H/V consentono di individuare correttamente la frequenza e quindi il periodo fondamentale di risonanza per le onde S.

Negli ultimi anni un progetto europeo denominato SESAME (Site Effects Assessment using Ambient Excitations) si è occupato di stabilire delle linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e array.

Esso ha anche fornito dei criteri per valutare la bontà delle curve HVSR e la significatività dei picchi H/V eventualmente trovati.

La registrazione è avvenuta impostando i seguenti parametri strumentali:

- Frequenza di campionamento 128 Hz;
- Durata 16 minuti;
- Orientamento strumento nord-sud.

Allo scopo di ottenere i dati necessari al calcolo del parametro Vs30 è stato utilizzato un tromografo digitale, "TROMINO ENGY" (Micromed S.p.A.) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ~1.5 mm/s); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz.

4. INTERPRETAZIONE DELLE MISURE ESEGUITE

L'inversione della curva H/V sperimentale per ottenere un profilo delle onde di taglio S è stata vincolata sulla base di una prova CPT fornita dalla Committenza.

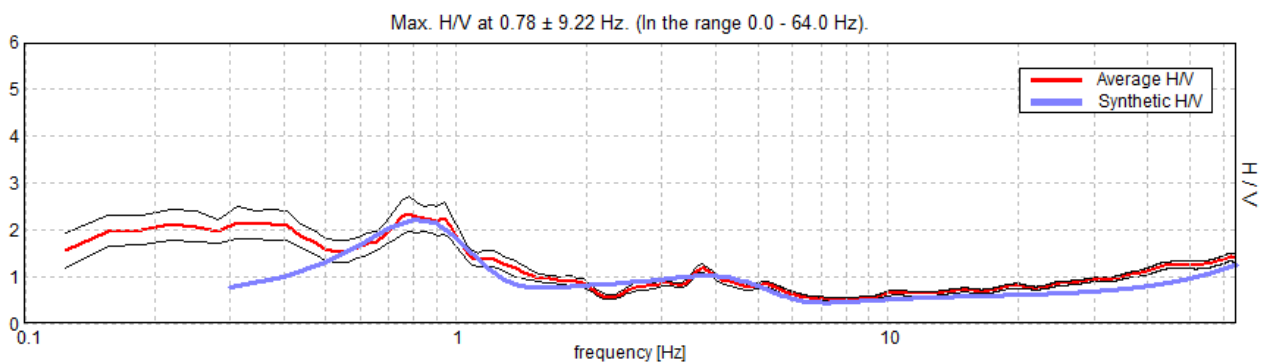
L'interpretazione dei dati ottenuti dal rilievo del rumore sismico consente sia di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato litoide inteso come bedrock sismico sia di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del moto fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si può ricavare il valore della frequenza caratteristica del sito.

Sapendo che ad ogni picco di frequenza corrisponde una profondità (metri) dell'orizzonte che genera il contrasto di impedenza si è potuto estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo. L'ampio range di frequenze acquisite dallo strumento utilizzato (0.1 ÷ 128 Hz) non ha evidenziato contrasti di impedenza attribuibili alla presenza di rifrattori sismici.

Il fit della curva H/V ha permesso di ricostruire in modo approssimato il profilo di Vs fino alla profondità di circa 88 metri corrispondente al riflettore individuato dal picco a circa 0,78 Hz con valore del rapporto H/V pari a circa 2,3 indicante un contrasto di impedenza medio basso; esso rappresenta la frequenza fondamentale del terreno.

Si ritiene importante, vista l'ampiezza e la frequenza dei picchi spettrali registrati, considerare l'intervallo frequenziale di circa 0,70÷1,00 Hz come range di possibili valori di vibrazione del terreno in caso di evento sismico di magnitudo rilevante poiché d'interesse ingegneristico – strutturale.



La curva sperimentale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo.

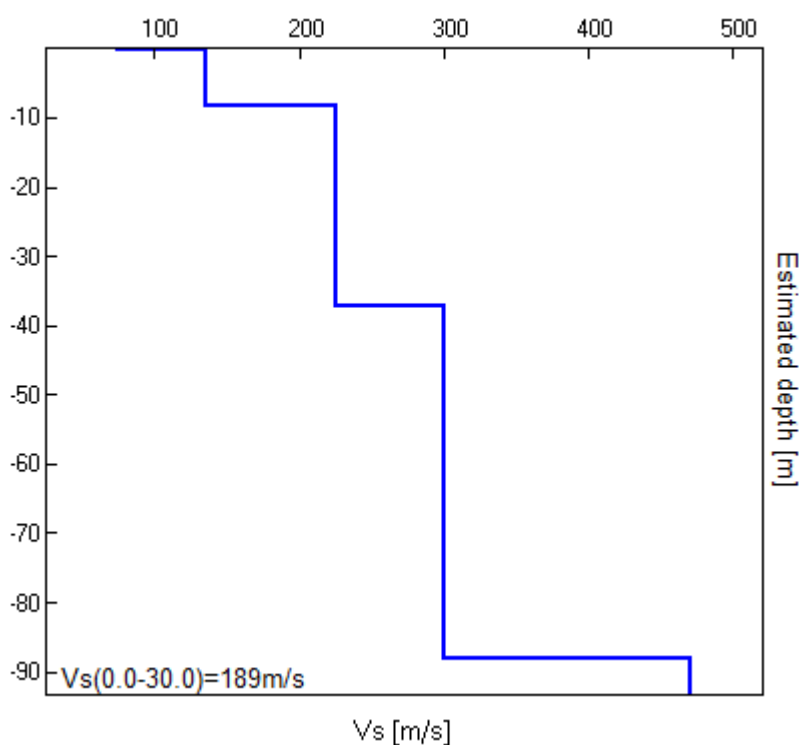
Dal punto di vista analitico, la vibrazione di un edificio è governata soprattutto dalla sua altezza ed esiste una relazione empirica che lega la frequenza di vibrazione di un edificio e la sua altezza ($f = 10-12/n$. piani); pertanto, la frequenza individuata potrebbe indurre effetti di “doppia risonanza” in edifici con oltre 10-12 piani.

La ricostruzione del modello sismostratigrafico, finalizzato alla stima della V_{s30} , evidenzia una crescita di velocità di propagazione delle onde sismiche correlabile ad un aumento della rigidità del sottosuolo.

MODELLO DI INVERSIONE

Profondità (bottom layer) [m]	Spessore sismostrati [m]	Vs [m/s]	Interpretazione stratigrafica
0.20	0.20	75	Suolo soffice
8.20	8.00	135	Copertura soffice
37.20	29.00	225	Copertura soffice
88.20	51.00	300	Copertura mediamente rigida
>88.00	/	470	Copertura rigida

La ricostruzione dei profili sismo-stratigrafici ha evidenziato la presenza di materiali poco consistenti nei primi 37 metri circa di profondità, caratterizzati da una velocità di propagazione delle onde S compresa tra 135 m/s e 225 m/s, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità del sottosuolo diventa gradualmente elevato, con valori di Vs compresi tra 300 e 470 m/s circa.



La stima del parametro V_{s30} è stata effettuata, come esplicitamente richiesto dalle N.T.C. del 14 Gennaio 2008. Per l'assegnazione della categoria di sottosuolo. Dall'indagine sismica effettuata e dai modelli sismici ricavati è stato possibile calcolare la velocità di propagazione delle onde di taglio fino a 30 metri dal piano campagna. E' stato quindi possibile stimare, tramite la relazione

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum h_i / V_{si}}$$

in cui h_i e V_{si} indicano lo spessore espresso in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori, al di sotto del piano di imposta delle strutture di fondazione, la velocità delle onde V_s a 30 metri dal piano campagna (V_{s30}) come esplicitamente richiesto dalla normativa vigente:

$$V_{s30} (0.00 \div 30.00) = 189 \text{ m/s.}$$

CLASSIFICAZIONE DEL TIPO DI SUOLO SECONDO LA NUOVA NORMATIVA SISMICA ITALIANA O.P.C.M. N. 3274/2003 – NTC 14/01/2008		
Suolo	Descrizione geotecnica	Vs30(m/s)
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5m	>800
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360÷800
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri	180÷360
D	Depositi granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti	<180
E	Strati superficiali allentati (5 – 20 m) tipo C e D soprastanti substrato tipo A	
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (IP>40) e contenuto d'acqua	<100
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti	

Classificazione della categoria di sottosuolo secondo quanto previsto nella tabella 3.2.II delle NTC:

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, secondo la classificazione indicata nelle nuove norme tecniche per le costruzioni (D.M 14/01/2008), in base ai risultati dell'indagine geofisica HVSR il suolo di fondazione va classificato all'interno della seguente categoria di sottosuolo:

categoria C:

“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).”

5. CONCLUSIONI

Si riepiloga quanto esposto nella presente relazione riguardante le indagini geofisiche per la definizione del modello sismico del sottosuolo a supporto del progetto di realizzazione di campi da tennis in Via Fornace di Sopra, nel territorio comunale di Massa Lombarda (RA).

Dal punto di vista della risposta sismica, il rilievo dei microtremori con il metodo di Nakamura ha posto in luce, nell'intero sito, la presenza di un intervallo frequenziale di circa $0,70 \div 1,00$ Hz (periodo $1,00 \div 1,43$ secondi), d'interesse ingegneristico – strutturale, nel quale è possibile l'insorgere di fenomeni di doppia risonanza struttura-terreno.

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal seguente studio, si ritiene opportuno inserire il sito in oggetto di studio nella **Categoria C**: *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).”*.

Si sottolinea che il suolo, se alla verifica alla liquefazione o per notizie storiche, dovesse risultare liquefacibile, passerebbe dalla categoria C alla categoria S2. L'indicazione della categoria di suolo si riferisce al solo valore di $V_s 30$ misurata e la classificazione è valida una volta che si sia esclusa l'appartenenza a suoli di tipo S2.

Infine, il geologo incaricato, sulla base della conoscenza stratigrafica dell'area derivata dalla sua esperienza professionale e dalle indagini geognostiche condotte nel sito in oggetto, nonché considerando le caratteristiche dell'opera in progetto e la tipologia di fondazioni, è tenuto a validare l'attribuzione alla suddetta categoria o considerare, ai sensi del DM 14/01/2008, un approfondimento mediante uno studio di risposta sismica locale.

GEOLOGO

STEFANO STROCCHI



ALLEGATI

Ubicazione indagini in sito



INDAGINE GEOFISICA PASSIVA HVSr



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA: UBICAZIONE INDAGINE HVSr

ALLEGATI

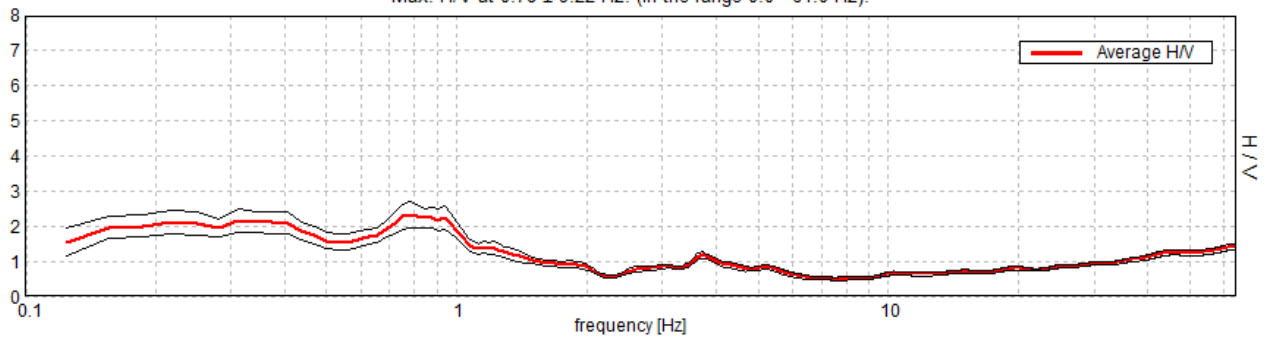
Report Indagine Geofisica mediante Rilievo dei Microtremori

MASSA LOMBARDA, VIA FORNACE DI SOPRA - INDAGINE HVSR

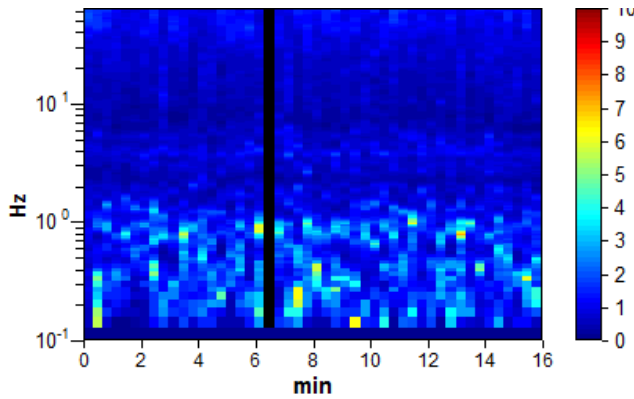
Strumento: TE3-0085/01-14
Formato dati: 32 byte
Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 31/01/17 12:38:17 Fine registrazione: 31/01/17 12:54:18
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; sync sync
Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

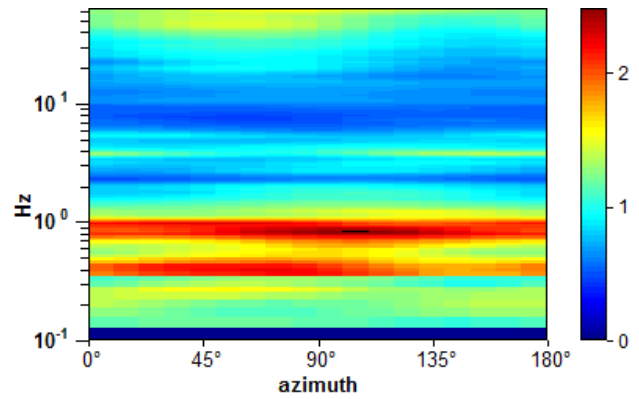
Max. H/V at 0.78 ± 9.22 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



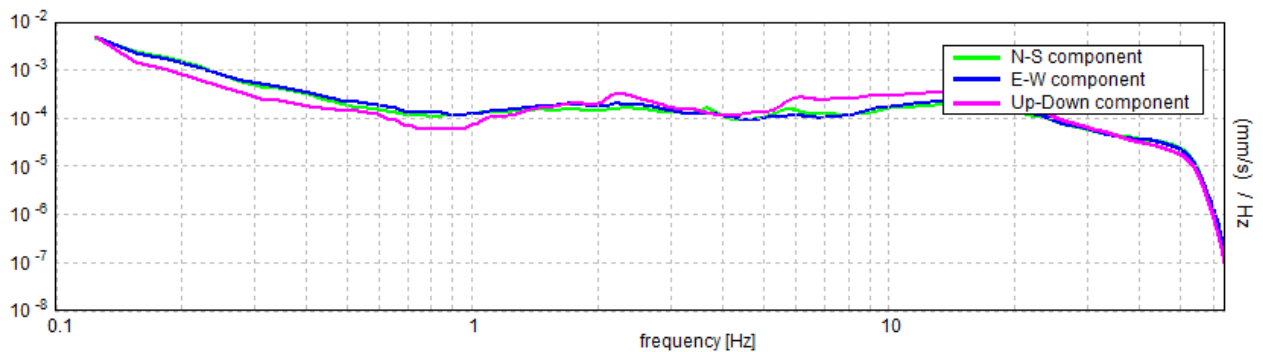
SERIE TEMPORALE H/V



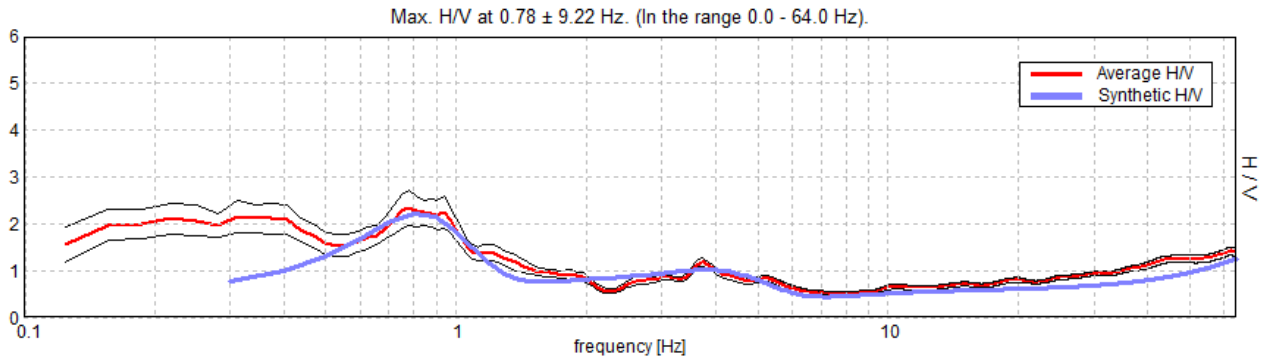
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

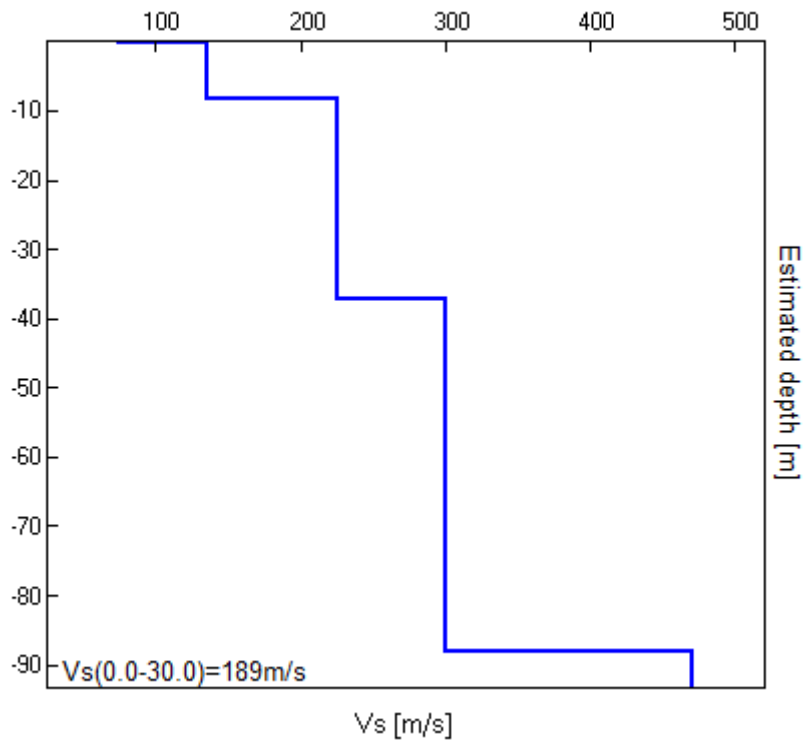


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.20	0.20	75	0.42
8.20	8.00	135	0.40
37.20	29.00	225	0.40
88.20	51.00	300	0.40
inf.	inf.	470	0.40

Vs(0.0-30.0)=189m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 0.78 ± 9.22 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	0.78 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	734.4 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 38	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.34 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 11.8009 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	9.21946 < 0.11719		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3722 < 2.0	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

post-cicliche e calcola i cedimenti sulla base dell'entità del fattore di sicurezza alla liquefazione FL calcolato (se $<1,25$) e sulla base degli esiti di densità relativa D_r desunti dalle resistenze di punta $(q_{c1N})_{cs}$, in accordo con le correlazioni per le stime dei cedimenti di post-liquefazione nelle sabbie sature da prove CPT proposte da Zhang et Al. (2007). I risultati cumulativi dei cedimenti indotti da sisma sono anch'essi stati calcolati attraverso il software Cliq v. 1.7.5.27 della Geologismiki Geotechnical Software e riportati graficamente in allegato: in sintesi, si sono ottenuti valori di cedimento pari a **1.89 cm**.

Per quanto riguarda l'ubicazione dell'area in esame e delle indagini svolte si rimanda alla Relazione Geologica inerente al progetto edilizio e relativi allegati e integrazioni a corredo.