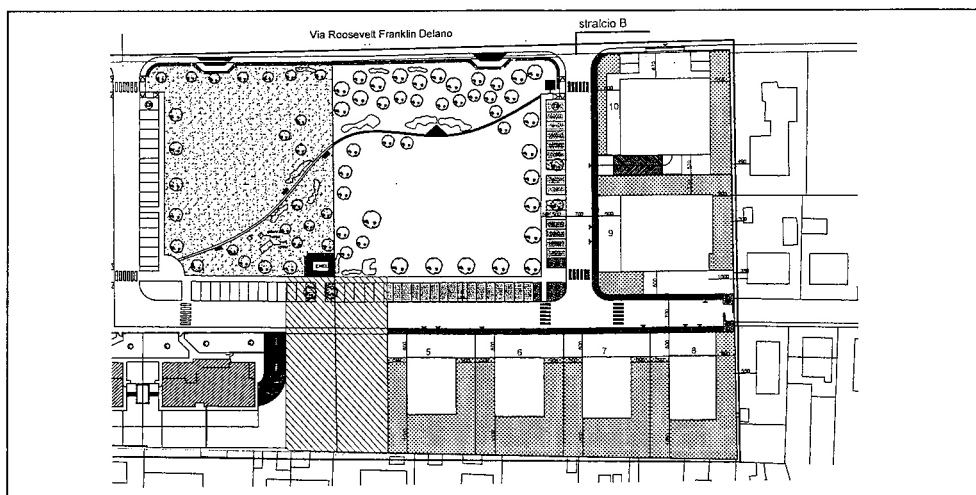


# **- COMUNE DI CARPI -**

PROVINCIA DI MODENA

VARIANTE AL PIANO PARTICOLAREGGIATO DI  
INIZIATIVA PRIVATA DENOMINATO B17

## **- RELAZIONE GEOLOGICA - - E SISMICA -**



**PROGETTISTA : Arch. Dodi Maurizio – D.S. Projects s.r.l.**  
*Piazza Martiri n° 50 – 41012 Carpi (MO)*

**COMMITTENTE : Sig.ri Remondi Massimo e Remondi Andrea**  
*Via F.D. Roosevelt n° 186 – 41012 Carpi (MO)*

**STUDIO TECNICO AMBIENTALE**

**GEOTECH**

**di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi**

Via Martinelli, 51A - 41012 Fossoli di Carpi (MO) - Tel/Fax. 059/66.06.43

P.I. 02275070361 - C.F. MLV LNZ 67D10 B819M

lorenzomalvezzi@studiogeotech.com

lorenzomalvezzi@pec.studiogeotech.com

www.studiogeotech.com

GEOTECNICA - GEOCHIMICA - IDROGEOLOGIA - RICERCHE MINERARIE  
GEOLOGIA AMBIENTALE - PROSPEZIONI GEOFISICHE - SONDAGGI PENETROMETRICI  
GEOLOGIA APPLICATA

*Giugno 2013*

**Studio Tecnico Ambientale**

# **GEOTECH**

di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi

Via Martinelli n.51A

41012 - Fossoli di Carpi (MO)

Tel/Fax Ufficio 059/660643

P. I.V.A. 02275070361

C.F. MLV LNZ 67D10 B819M

lorenzomalvezzi@studiogeotech.com

[www.studiogeotech.com](http://www.studiogeotech.com)



## **Relazione geologica e sismica relativa alla variante al P.P.I.P. denominato “B17” ubicato in Via F.D. Roosevelt n.186 a Cibeno nel Comune di Carpi (MO).**

### **1. PREMESSA.**

Su incarico del **Sig.ri Remondi Massimo e Remondi Andrea** di Carpi (MO) e d'intesa con l'**Arch. Dodi Maurizio**, si è provveduto alla stesura della presente relazione geologica e sismica relativa alla variante al P.P.I.P. denominato “B17” ubicato in Via F.D. Roosevelt n°186 a Cibeno nel Comune di Carpi (MO).

A tale scopo il giorno 07 Giugno 2013 si è eseguito un sopralluogo sull'area in oggetto, durante il quale oltre all'analisi dello stato di fatto dei luoghi, è stata effettuata un'indagine geognostica al fine di determinare le caratteristiche geomeccaniche dei terreni, mediante l'esecuzione di n. 3 prove penetrometriche statiche spinte sino ad una profondità massima di - 20 m da p.d.c. attuale, per formulare il giudizio di fattibilità geologica ai fini edificatori.

Nello stesso giorno si è provveduto ad effettuare una prospezione sismica di superficie attraverso onde Reyleight per la determinazione in modo diretto delle onde Vs30 con lo scopo di determinare la categoria di suolo del sito in esame.

Pertanto si è proceduto alla compilazione della presente relazione, riferita al progetto in oggetto, in ottemperanza di quanto esplicitato nella D.A.L. 112/2007 e nel D.M. 14/01/2008 e successive integrazioni.

### **2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.**

L'area in esame si estende nella parte a Nord dell'abitato del Comune di Carpi più precisamente al centro della frazione di Cibeno e posta ad una quota media di 23.8 m s.l.m.m..

Cartograficamente l'area è compresa nella tavola in scala 1:25.000 della C.T.R. n. 201 N-E denominata “Carpi” (Allegato n. 1) e nella sezione, sempre

della C.T.R., in scala 1:10.000 n. 201030 denominata "Carpi" (Allegato n. 2) e nel rispettivo Elemento in scala 1:5.000 n. 201031 denominato "Carpi Est" (Allegato n. 3).

Più precisamente, entrando nel dettaglio l'area d'intervento risulta ubicata sul lato Est di Via F.D. Roosevelt al civico n° 186 dove attualmente risiede il "Vivaio Ivo Remondi".

### **3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE.**

La zona in esame si colloca nella parte centro-meridionale del bacino subsidente Plio-Quaternario della Pianura Padana costituito da un'ampia depressione a stile compressivo formata, negli orizzonti più recenti da depositi Pliocenico Quaternari.

Da una sedimentazione di tipo marino che caratterizza il Pliocene e parte del Pleistocene, si passa ad una di tipo continentale, con il colmamento del golfo padano che si trasforma progressivamente in pianura alluvionale, attraverso l'accumulo di sedimenti fluviali e fluvio-glaciali derivanti dal rapido smantellamento e modellamento delle catene montuose circostanti.

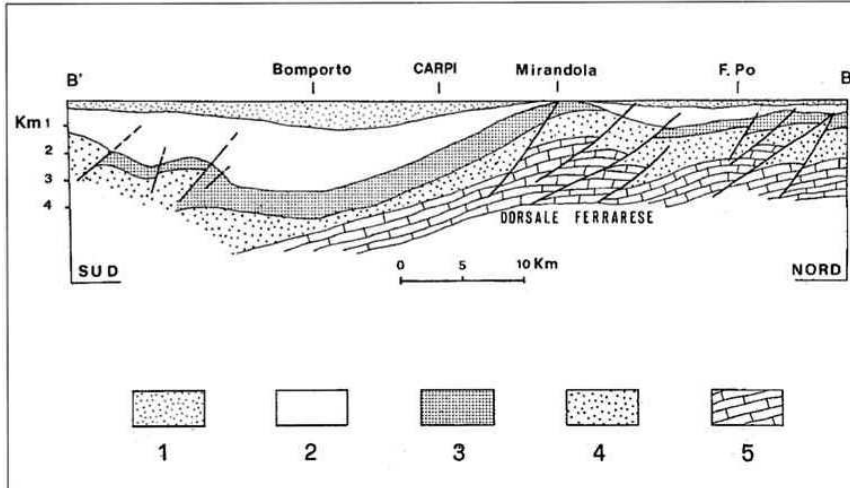


Fig. 4 - Sezione geologica schematica, indicativa della situazione strutturale profonda della bassa Pianura modenese ridisegnata adattandola alla situazione di Mirandola (rif. Fig. 3) (Fonte: PIERI, 1980).  
Legenda: 1) depositi alluvionali; 2) sedimenti marini del Pliocene superiore e Quaternario; 3) sedimenti marini del Pliocene inferiore; 4) idem del Paleogene-Miocene; 5) formazioni calcaree marine del Mesozoico

In particolare, in base ai dati AGIP MINERARIA (1959), sono suddivisi, a loro volta, in formazioni del Quaternario Continentale nei primi 350/400 m del sottosuolo e del Quaternario Marino da 400 a 1050/1200 m.

I terreni Olocenici, d'origine alluvionale, poggiano sul sottostante Pleistocene continentale e/o marino, strutturalmente caratterizzato da elementi sufficientemente definiti.

In modo schematico possiamo definire tre zone:

a) zona delle pieghe pedeappenniniche, dal margine collinare alla Via Emilia, costituita da una successione di sinclinali ed anticlinali, con asse e vergenza appenninica spesso fagliate e sovrascorse sul fianco Nord;

b) zona della sinclinale Bologna-Bomporto-Reggio Emilia, dove i depositi Quaternari raggiungono il loro massimo spessore per tutta la pianura padana;

c) zona della Dorsale Ferrarese, alto strutturale costituito da una serie di pieghe associate a faglie, dove, in talune culminazioni, lo spessore del Quaternario si riduce a poche decine di metri.

L'andamento della "Dorsale Ferrarese" è complessivamente E-SE/O-NO ma in corrispondenza di Novi di Modena e Correggio subisce una decisa inflessione verso Sud assumendo un orientamento NE-SO.

Tale anomalia sarebbe imputabile alla presenza di una serie di faglie con direttrice NE-SO a rigetto orizzontale.

Detta struttura è quindi contraddistinta, nel suo complesso, da un'intensa tettonizzazione subita anche in tempi recenti (Cremaschi e Papani, 1975; Ist. Geol. Mo., 1978).

Si configura quindi un bacino sedimentario che ha subito una notevole azione di subsidenza, controllata dai movimenti tettonici della struttura esaminata; tali movimenti sono stati accertati nel pre-Wurm, pre-Riss ed ipotizzati anche nel pre-Mindel.

Movimenti analoghi sarebbero stati segnalati anche in epoca storica, e traducibili con un progressivo "sfuggire", da parte della rete idrografica superficiale, alla Dorsale Ferrarese: il Po verso Nord, il Crostolo verso Ovest ed il Secchia verso Est (Veggiani, 1974).

A tale riguardo occorre ricordare che il Po all'inizio del Neolitico passava di poco a Nord dell'allineamento S. Martino in Rio, Soliera, Bomporto, Ravarino e Cento, mentre nella prima metà del secondo millennio a.C. attraversava le aree attualmente occupate da Carpi, S. Marino, S. Prospero e Finale Emilia.

Negli ultimi secoli a.C., infine, sarebbe passato per Novellara, Cavezzo, Medolla, Massa Finalese e Bondeno.

Il substrato marino pre-Olocenico, oltre a controllare quindi gli spessori dei depositi alluvionali, sembra essere dominante sull'idrografia stessa e quindi sulla morfologia, dando origine ad una piana morfologica, tipica della pianura alluvionale medio-bassa, con pendenze estremamente modeste e litologia di superficie generalmente fine.

La base dei terreni Pliocenici si trova in zona a circa 4.000-5.000 m mentre quelle del Quaternario a circa 2.000-2.500 m (?); per quanto riguarda il passaggio fra i terreni continentali (Olocenici) e marini (Pleistocenici), pur rimarcando la sua variabilissima gradualità, lo si può individuare a circa 400-500 m dal piano di campagna circostante.

L'andamento della superficie di separazione fra le acque "dolci" e quelle "salate" è paragonabile all'andamento della base del Pliocene con profondità pari a circa 500 m in corrispondenza di Carpi, 600 m di Soliera ed in netta risalita verso Nord fino a 50 m in corrispondenza di Novi di Modena.

I depositi alluvionali che formano i primi 400/500 m del sottosuolo sono costituiti da ripetitive sequenze di livelli sostanzialmente argilloso - limosi ai quali

s'intercalano lenti sabbiose di modesto spessore contraddistinte da una spiccata lenticolarità ed una sensibile discontinuità laterale.

La variabilità litologica del territorio comunale di Carpi è dovuta alle divagazioni dei corsi d'acqua della zona est ed in particolare modo dal fiume Secchia che attualmente scorre pochi chilometri ad Est di Carpi.

Dette caratteristiche attribuiscono la successione descritta all'Unità Idrogeologica della Media Pianura Padana Appenninica formata dagli apporti distali dei fiumi.

L'area d'indagine rientra quindi all'interno del dominio deposizionale del fiume Secchia, corresponsabile del colmamento dell'ampio bacino subsidente di età Pliocenico-Quaternaria della Pianura Padana; nella parte di medio-alta pianura, che a partire dai rilievi collinari si estende sino all'altezza di Campogalliano, il corso d'acqua si trova a scorrere al di sopra di un ampio ventaglio di depositi grossolani (ghiaie e sabbie), alimentando, attraverso l'infiltrazione in sub-alveo, le falde freatiche.

La zona in esame invece, immediatamente antistante le conoidi, è quella della piana alluvionale propriamente detta, che si estende sino al Po e nella quale il fiume Secchia, si trova a scorrere, per buona parte del proprio percorso, pensile rispetto alla pianura circostante.

I depositi della pianura alluvionale sono prevalentemente fini e finissimi (limi ed argille), deposti per accrescimento verticale e subordinatamente sabbiosi, legati a barre di accrescimento laterale, ad argini naturali e ventagli di rotta; generalmente i depositi sabbiosi sono disposti in fasce parallele al corso d'acqua, mentre i depositi fini hanno una distribuzione del tutto irregolare.

Le sabbie, e comunque i depositi in genere più grossolani, sono disposti in fasce parallele ai corsi d'acqua attuali o corrispondenti ad antichi tracciati (paleoalvei), mentre i depositi più fini hanno una distribuzione del tutto irregolare.

Si evidenziano quindi numerosi paleoalvei di tale fiume sia ad Est sia ad Ovest di Carpi.

La diminuzione di pendenza che avviene al passaggio tra alta e media pianura ha reso necessario, fin da tempi antichi, la realizzazione di opere di difesa di sponda come gli argini, che accompagnano il corso dei fiumi principali fino allo sbocco in Po, allo scopo di impedire le frequenti esondazioni dei fiumi stessi.

In corrispondenza dell'inizio dei tratti arginati si chiude di conseguenza il vero e proprio bacino di alimentazione dei corsi d'acqua principali.

La realizzazione delle arginature nel medio e basso corso dei fiumi ha avuto l'effetto di arrestare la naturale evoluzione degli stessi.

Non bisogna infatti dimenticare che lo stesso colmamento della pianura è avvenuto a seguito delle divagazioni dei corsi d'acqua; questi ultimi dopo avere stazionato per un certo periodo in una porzione, divengono pensili a seguito dei continui apporti sedimentari che costituiscono veri e propri argini naturali.

Successivamente tali argini, in corrispondenza di eventi di piena eccezionali, vengono rotti ed il fiume si trasferisce in un'area più depressa.

La realizzazione delle opere di difesa, che va visto come un ampliamento e potenziamento degli argini naturali del fiume, ha di fatto determinato il blocco dell'evoluzione morfologica nella pianura esterna alle aree golenali del fiume,

impedendo allo stesso, oltre che di invadere le aree circostanti (salvo eventi particolarmente calamitosi), di modificare il proprio tracciato a seconda dell'assetto plano-altimetrico del territorio circostante.

In questo modo la "pensilità" dei corsi d'acqua è aumentata tanto che attualmente il livello di piena ordinaria supera costantemente la quota delle campagne circostanti per gran parte del loro corso di media e bassa pianura.

La distribuzione in superficie dei terreni appartenenti alle varie classi granulometriche identificate, è testimonianza delle principali fasi deposizionali recenti succedutesi sul territorio in esame; si evidenzia chiaramente la stretta connessione tra litologia di superficie ed evoluzioni idrografiche del fiume Secchia, responsabile, oltre che delle caratteristiche litostratigrafiche di quest'area del territorio, anche delle forme morfologiche presenti.

Si osserva quindi che i materiali sabbiosi si localizzano sostanzialmente in corrispondenza dei corsi d'acqua odierni ed in prossimità dei dossi topografici, generati da tracimazioni e/o divagazioni del fiume Secchia o costituenti generalmente antichi paleoalvei dello stesso fiume, i depositi limosi, ampiamente diffusi in zona, sono da ricollegarsi ad acque con bassa energia deposizionale e risultano prevalentemente collocati nelle zone circostanti i corsi d'acqua minori e nelle fasce più esterne di quelli principali, mentre quelli argillosi contraddistinguono le aree vallive, rappresentando i depositi delle zone topograficamente più basse, in seguito all'esaurimento dell'energia di trasporto delle acque di esondazione.

Attualmente la zona in esame è caratterizzata da una morfologia di tipo pianeggiante blandamente ondulata in senso Ovest-Est con pendenze dell'ordine dell'1-2 ‰; comunque le modifiche che subirà il territorio in seguito all'inserimento delle strutture in progetto, non influiranno sulla morfologia generale della zona.

#### **4. IDROGEOLOGIA.**

Per quanto riguarda l'idrogeologia il sottosuolo dell'area in esame è caratterizzato dalla presenza di due falde: una falda superficiale impostata nei livelli granulometricamente più grossolani ed alimentata direttamente per infiltrazione superficiale ed un'altra differenziabile a sua volta in falda intermedia e profonda.

Quest'ultima è impostata nei livelli limo-sabbiosi profondi, ed alimentata dai corsi d'acqua principali ed è collegata alle circolazioni idriche sotterranee a scala regionale.

Poiché le falde profonde sono protette dall'infiltrazione da potenti strati permeabilità bassissima, prenderemo in esame soltanto la "falda" più superficiale la quale è talmente influenzata dai locali prelievi che diviene difficile stabilire il suo andamento naturale.

I livelli statici della falda superficiale si stabilizzano nell'area in esame su quote di circa - 2.00/2.10 m dal p.d.c. con escursione stagionale che determina un aumento del livello statico del primo acquifero a Maggio rispetto Dicembre.

Comunque si evidenzia una situazione conservativa nel tempo dei caratteri idrogeologici freatici per la porzione di area considerata.

## **5. IDROLOGIA SUPERFICIALE.**

Il sistema drenante superficiale della parte Nord dell'abitato di Carpi ha un orientamento di scorrimento preferenziale verso SSO/NNE, dovuto ad una complessa riorganizzazione dei canali di bonifica succedutasi in varie epoche sul reticolo naturale.

Tale operazione ha portato ad una netta divisione del territorio in rete scolante delle acque alte e delle acque basse.

Questi corsi d'acqua ricadono nel comprensorio del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale che ne stabilisce, a seconda delle esigenze stagionali, la regimazione idraulica.

L'idrografia superficiale risulta composta da fossi e canali di scolo con andamento prevalente da NNE a SSO, che complessivamente creano buone condizioni di deflusso delle acque superficiali; tendendo singolarmente a confluire in aste fluviali di ordine superiore.

Uno dei principali cavi presenti nell'intorno è il Cavo Lama il quale scorre ad 2,5 Km ad Est dell'area, in considerazione del quale si ritiene non sussistano pericoli di esondabilità, in virtù anche della sua buona tenuta durante i periodi di massima portata.

## **6. INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE.**

### ***6.1 - Prove penetrometriche statiche CPT.***

In data 07 Giugno 2013 si è provveduto ad eseguire un'indagine geognostica sull'area in oggetto, al fine di valutare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni presenti all'interno del Comparto in esame.

L'indagine è stata sviluppata mediante esecuzione di n. 3 prove penetrometriche che in relazione alle presumibili caratteristiche granulometriche dei terreni del primo sottosuolo, sono state effettuate con infissione statica utilizzando un penetrometro statico di tipo PAGANI TG 63-100 KN, autoancorante, dotato di cella di pressione idraulica a lettura digitale con caratteristiche conformi allo standard europeo (cfr. Indicazioni AGI-ISSMFE).

Il penetrometro risulta attrezzato sulla prima asta di punta *Begemann* (Friction Sleeve Cone), la quale possiede un cono con un'area di 10 cm<sup>2</sup> ed un angolo di conicità pari a 60° e di un manicotto al di sopra del cono di 150 cm<sup>2</sup>.

Le operazioni d'infissione si sono svolte nel seguente modo: durante l'affondamento della punta venivano riportate le pressioni lette a lettura digitale ogni 20 cm d'avanzamento ottenendo una resistenza penetrometrica alla punta

(Rp), espressa in Kg/cm<sup>2</sup>, così anche per i valori di resistenza laterale locale (RI), espressa sempre in Kg/cm<sup>2</sup>, secondo le norme internazionali standard.

Il numero e l'ubicazione delle prove sono state valutate dallo scrivente in relazione alla forma e alle dimensioni delle aree potenzialmente edificabili in progetto, rispettando il principio del massimo ricoprimento dell'area, il risultato viene riportato nella planimetria in Allegato n. 4.

I sondaggi penetrometrici (Allegato n. 6), sono stati spinti sino alla profondità di - 20 m dal piano campagna attuale, profondità sufficiente ai fini della modellazione geologica del sito, rilevando inoltre un livello statico medio all'interno dei fori di sondaggio pari:

**Prova P1 I.s. = - 1.50 m da p.d.c.**

**Prova P2 I.s. = - 1.00 m da p.d.c.**

**Prova P2 I.s. = - 1.10 m da p.d.c.**

Tale valore si ritiene comunque soggetto ad escursioni di notevoli entità in funzione alle condizioni climatiche cioè legate alla piovosità ed alla temperatura.

Da un punto di vista litologico i terreni presenti sono costituiti da un'alternanza tra litotipi argillosi e limosi con dei rari livelli decimetrici di limi sabbiosi.

Complessivamente si rilevano medie caratteristiche geomeccaniche dei terreni indagati, si può quindi affermare che non vi sono particolari impedimenti all'edificazione in tale sito.

Dalle prove eseguite, in base al rapporto di Begemann che indica la componente litologica dei terreni, si è riconosciuta la seguente successione litostratigrafica, descritta dall'alto verso il basso rispetto al piano di campagna.

### **PROVA CPT N 1**

Nella prova n. 1 è stato individuato un primo strato da 0.40 m a 5.80 m caratterizzato litologicamente da delle argille e da argille torbose al tetto con intercalati dei livelli decimetrici di limi a media consistenza e con medie caratteristiche geotecniche, con valori medi di Rp, resistenza alla punta in termini statici, pari a 1.18 MPa.

Andando in profondità, da - 5.80 m a - 10.80 m si assiste ad un aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille e argille limose alternate a dei livelli di limi e limi sabbiosi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.03 MPa.

Subito sotto, da - 10.80 m a - 12.80 m abbiamo una lieve diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo delle argille e argille limose a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.77 MPa.

Andando in profondità, da - 12.80 m a - 14.60 m si denota un locale aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle



argille e argille limose e un livello decimetrico di limi sabbiosi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.65 MPa.

Proseguendo, da - 14.60 m a - 16.60 m si assiste ad una diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo delle argille e argille limose con livelli decimetrici di limi a media consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.55 MPa.

Subito sotto, da - 16.60 m a - 18.80 m di profondità abbiamo un locale aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille con dei livelli decimetrici di limi e limi sabbiosi a buona compattezza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.06 MPa.

In profondità, da - 18.80 m a - 20.00 m abbiamo una diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo delle argille alternate a dei livelli decimetrici di limi a media consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.46 MPa.

**- CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA -**

da m.	a m.	Qc	g	ld	f	Su	M	OCR	Go	Vs	Cc	Litotipo
0,4	5,8	1,18	18,4			31,7	5,8	7,9	7,2	146,5	0,103	argille limi
5,8	10,8	2,03	18,8	9,2	12		9,8		14,6	206,8	0	limi argille
10,8	12,8	1,77	18,2			52,1	6,8	3,6	4,9	189,9	0,117	argille arglim
12,8	14,6	2,65	18,5			75,2	9,4	4,6	7,3	243,3	0,11	argille limsabb
14,6	16,6	1,55	18,3			38,8	7,1	2,1	7,2	174,6	0,106	argille limi
16,6	18,8	2,06	16,9			56,8	8,7	2,7	9,7	201	0,101	argille limi
18,8	20	1,46	18,5			25,7	8,1	1,1	11,7	168,3	0,084	argille limi

Qc = resistenza alla punta (MPa)
g = peso di volume (kN/mc)
ld = indice di densità (%)
f = angolo d'attrito (°)
Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)
M = modulo confinato (MPa)
OCR = grado di sovraconsolidamento (-)
Go = modulo di taglio (MPa)
Vs = velocità onde di taglio (m/s)
Cc = indice di compressibilità (-)

## - Litologia CPT 1 -



## PROVA CPT N 2

Nella prova n. 2 è stato individuato un primo strato da 0.40 m a 4.00 m caratterizzato litologicamente da dei limi e limi argillosi con al tetto delle argille torbose a media consistenza e con medie caratteristiche geotecniche, con valori medi di  $R_p$ , resistenza alla punta in termini statici, pari a 1.00 MPa.

Andando in profondità, da - 4.00 m a - 6.00 m si assiste ad un lieve aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille e argille limose e un livello decimetrico di limi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.48 MPa.

Subito sotto, da - 6.00 m a - 8.00 m abbiamo un aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo un'alternanza tra dei limi e delle argille a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.31 MPa.

Andando in profondità, da - 8.00 m a - 13.20 m si denota una diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille e argille limose con dei livelli decimetrici di limi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.74 MPa.

Proseguendo, da - 13.20 m a - 14.60 m si assiste ad un locale aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo delle

argille e argille limose a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.40 MPa.

Ancora oltre, da - 14.60 m a - 17.60 m abbiamo una diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo dei limi alternati a delle argille a media consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.57 MPa.

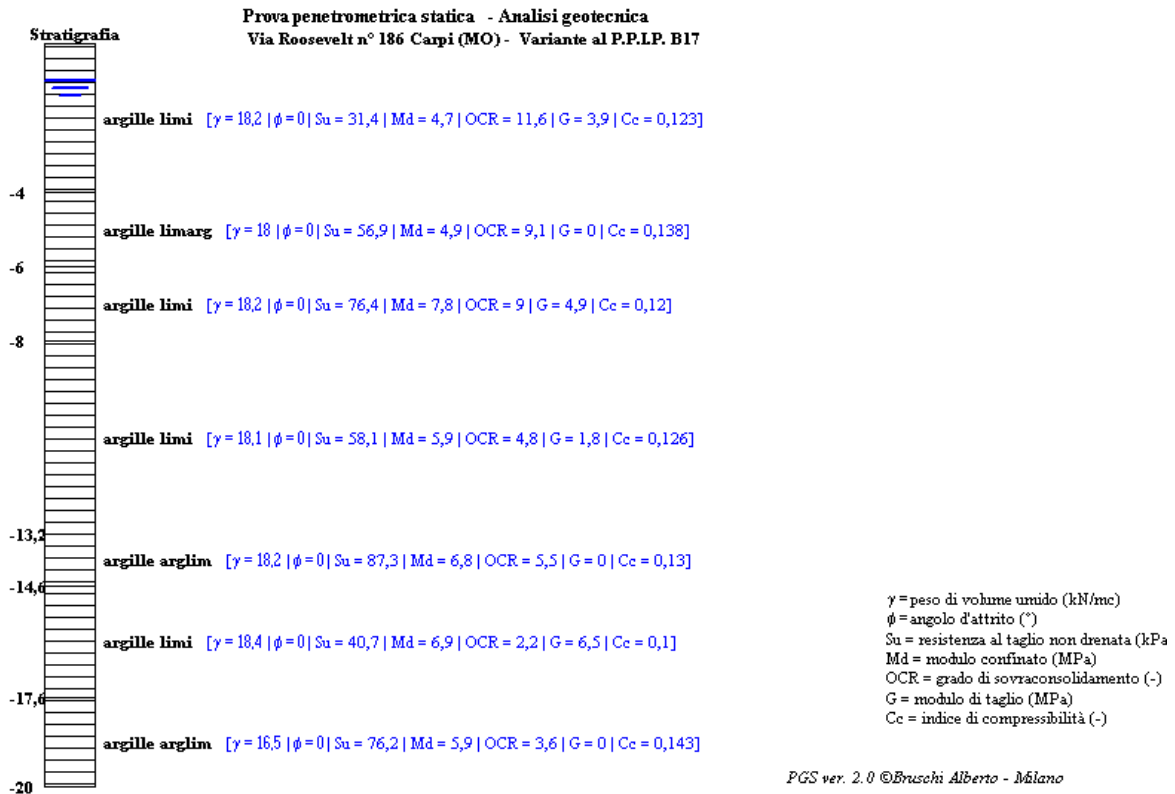
In profondità, da - 17.60 m a - 20.00 m si denota un aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo delle argille e argille limose a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.05 MPa.

**- CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA -**

da m.	a m.	Qc	g	ld	f	Su	M	OCR	Go	Vs	Cc	Litotipo
0,4	4,0	1	18,2			31,4	4,7	11,6	3,9	132	0,123	argille limi
4,0	6,0	1,48	18			56,9	4,9	9,1	0	169,4	0,138	argille limarg
6,0	8,0	2,31	18,2			76,4	7,8	9	4,9	223,3	0,12	argille limi
8,0	13,2	1,74	18,1			58,1	5,9	4,8	1,8	187,4	0,126	argille limi
13,2	14,6	2,4	18,2			87,3	6,8	5,5	0	229,1	0,13	argille arglim
14,6	17,6	1,57	18,4			40,7	6,9	2,2	6,5	176,1	0,1	argille limi
17,6	20,0	2,05	16,5			76,2	5,9	3,6	0	201	0,143	argille arglim

Qc = resistenza alla punta (MPa)  
g = peso di volume (kN/mc)  
ld = indice di densità (%)  
f = angolo d'attrito (°)  
Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)  
M = modulo confinato (MPa)  
OCR = grado di sovraconsolidamento (-)  
Go = modulo di taglio (MPa)  
Vs = velocità onde di taglio (m/s)  
Cc = indice di compressibilità (-)

## - Litologia CPT 2 -



## PROVA CPT N 3

Nella prova n. 3 è stato individuato un primo strato da 0.40 m a 4.00 m caratterizzato litologicamente da un'alternanza tra dei limi limi argillosi e argille a media consistenza e con medie caratteristiche geotecniche, con valori medi di  $R_p$ , resistenza alla punta in termini statici, pari a 1.07 MPa.

Andando in profondità, da - 4.00 m a - 6.40 m si assiste ad un lieve aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille e argille limose con dei livelli decimetrici di limi e limi argillosi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.46 MPa.

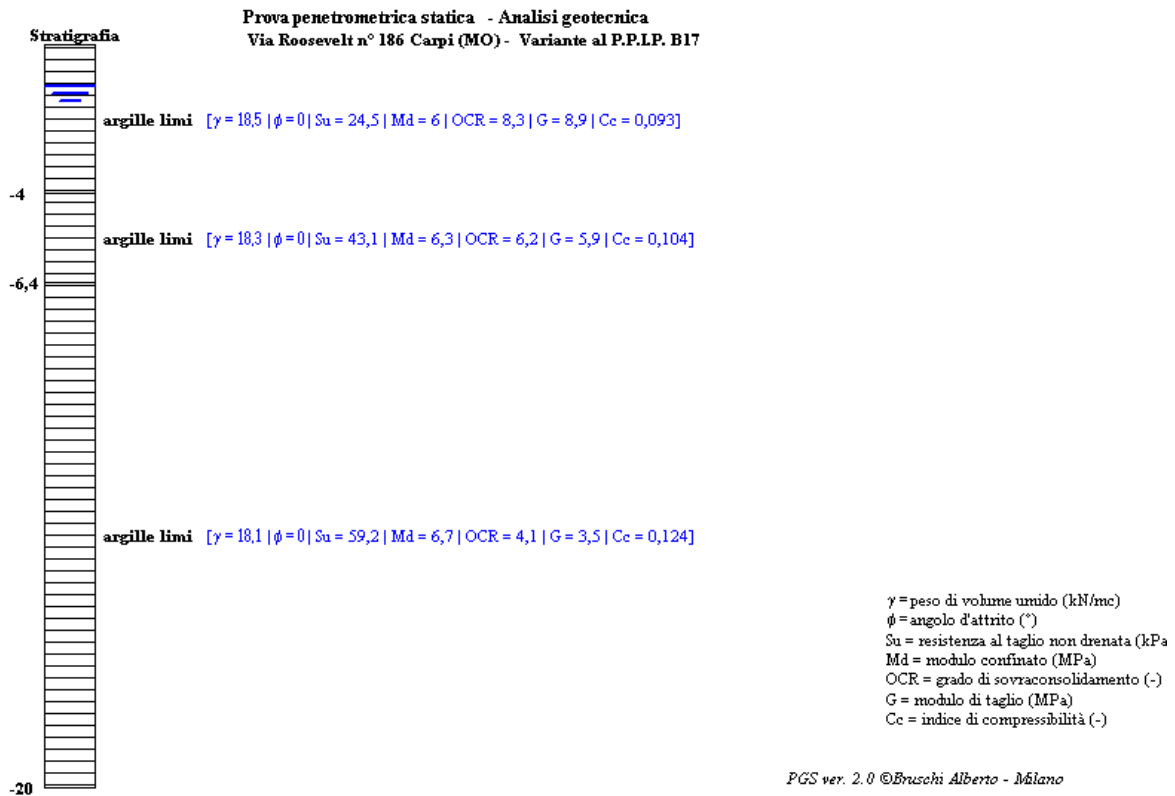
Subito sotto, da - 6.40 m a - 20.00 m abbiamo un lieve aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo delle argille e argille limose con intercalati dei livelli decimetrici di limi e limi argillosi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.89 MPa.

**- CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA -**

da m.	a m.	Qc	g	ld	f	Su	M	OCR	Go	Vs	Cc	Litotipo
0,4	4,0	1,07	18,5			24,5	6	8,3	8,9	138	0,093	argille limi
4,0	6,4	1,46	18,3			43,1	6,3	6,2	5,9	168	0,104	argille limi
6,4	20	1,89	18,1			59,2	6,7	4,1	3,5	197,4	0,124	argille limi

Qc = resistenza alla punta (MPa)  
g = peso di volume (kN/mc)  
ld = indice di densità (%)  
f = angolo d'attrito (°)  
Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)  
M = modulo confinato (MPa)  
OCR = grado di sovraconsolidamento (-)  
Go = modulo di taglio (MPa)  
Vs = velocità onde di taglio (m/s)  
Cc = indice di compressibilità (-)

**- Litologia CPT 3 -**



Si è proceduto inoltre ad eseguire un'elaborazione di ogni singola prova per ogni 20 cm di sondaggio ottenendo i principali parametri geotecnici come indicato in Allegato n. 7.

## **6.2 - Indagine geofisica MASW.**

Lo scopo di un'indagine sismica di tipo MASW appositamente eseguita, nel sito d'intervento, consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in esame e da queste si ottiene una corretta caratterizzazione della categoria sismica, del sottosuolo dell'area in oggetto.

L'indagine sismica adottata, Masw (in sismica attiva) è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere misure di onde Sh in metodi a rifrazione tradizionali (come ad es. difficoltà di generazione di onde polarizzate Sh o inversioni di velocità identificabili con difficoltà o valutabili con costosi lunghi ed impegnativi - costosi metodi sismici in foro Cross-Hole e/o Down-Hole).

La tecnica sismica (Masw) non invasiva di superficie, è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di vs per caratterizzazione sismica del sito (*NTC-08 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009*) e risulta migliore per la caratterizzazione del primo sottosuolo; tecniche basate su utilizzo di registrazioni di microtremori di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) possono caratterizzare infatti il sottosuolo più in profondità, diverse decine sino alle volte anche a centinaia di metri (*Lai et alii - IUSS Press Eucentre 2009*) ma con minor risoluzione per la zona prossima alla superficie che invece più ci interessa.

Inoltre diversi autori (*Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008*) per terreni alluvionali quali quelli in oggetto, segnalano che sistemi d'acquisizione in sismica passiva, sono poco idonei, in quanto l'utilizzo di tecniche passive, è possibile o consigliabile nel caso di:

- intenso "rumore antropico" (che impedisce o maschera l'acquisizione dei dati in sismica attiva)
- discreto contrasto di impedenza sismica (>2,5-3) fra il substrato (sismico) ed il materasso alluvionale sovrastante
- è importante l'interramento del sensore sismico passivo (per migliorare l'accoppiamento sensore-terreno), quindi altri autori (*Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002*) consigliano di evitare terreni caratterizzati da: erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche, parquet ecc.

La Base Masw eseguita, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta (Compreso il punto di shot) la con geometria come sotto indicato:

➤ Numero geofoni	24
➤ Spaziatura geofoni	1,5 m
➤ Lunghezza stendimento geofonico	34,5 m

- **Distanza punto di shot da ultimo geofono**     **5 m**
- **Lunghezza complessiva**                             **39,5 m**

Con la tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo, basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh, oggi realizzata mediante approcci multi stazioni, che risultano robusti ed efficienti (Foti, 2000; Lai e Wilmanski, 2005) rispetto ai primi approcci del metodo, che si basavano essenzialmente su 2 ricevitori (Prova Sasw - Stoke et al., 1994).

Queste prove (masw-sasw) sfruttano la proprietà della dispersione geometrica, che rende la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) dipendente dalla frequenza di eccitazione in mezzi verticalmente eterogenei.

L'onda di R. costituisce un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione  $V_R \approx 0,9 \div 0,96 V_s$  (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO)

L'onda di Rayleigh si trasmette infatti sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione (piccolo sisma) e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo di  $V_s$  viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione ( $V_R$  in funzione della frequenza).

In un mezzo reale stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione della velocità di propagazione, con la frequenza, che varia in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato.

### Caratteristiche attrezzatura

La prospezione geofisica per le stese sismiche multicanale di superficie, è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della P.A.S.I. mod. 16SG24, utilizzando un sistema di energizzazione come sotto descritto:

*sismica di superficie*: energizzatore sismico di superficie con utilizzo di mazza da 5 Kg su piastra in acciaio ad innesco manuale.

#### Le specifiche tecniche dello strumento sono:

-processore:	Pentium 200 MMx Intel,
-Trattamento dati:	Floating Point 32-Bit,
-Ambiente operativo:	Windows 3.11,
-Canali:	24
-Display:	VGA colori LCD_TFT 10,4"
-Supporto memorizz.:	Hard Disk 2,1 Gb

-Risoluzione acquisizione:	6/24 bit
-Sonde ambiente interne:	temperatura, umidità relativa
-Formato dati:	Pasi (.osv) e SEG-2 (.dat),
-Durata acquisizioni:	Rifrazione, 32÷2048 ms    Riflessione, 32÷16384 ms,
-Tempi campionamento:	da 16 µs a 2 ms
-Filtri digitali:	Passa alto (25÷400 Hz)    Passa Basso (100÷250 Hz) Notch (50÷180 Hz)
-Attivazione filtri:	in acquisizione o manualmente
-Trigger:	inibizione impulsi dovuti a rimbalzi

- Ricevitori – 24 geofoni da 4,5 Hz collegati in serie da due cavi con lunghezza 33 m l'uno.
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra metallica 15x15 cm su cui battere, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori

Importanti funzioni dello strumento sono:

- possibilità di sommatoria, con/senza previsualizzazione totale/parziale
- marker fisso o dinamico
- Auto Gain Control
- Delay Time
- Pre e post trigger
- Noise monitor
- Trace size automatica o manuale per ogni canale

Successivamente, dopo aver computerizzato i dati con un programma specifico, è stato possibile rivedere i segnali e quindi eventualmente filtrarli od amplificarli per una più corretta acquisizione dei tempi d'arrivo.

La velocità di propagazione delle perturbazioni, indotte energizzando il suolo con i sistemi suddetti, dipende dalle caratteristiche meccaniche di un determinato litotipo ed in particolare dai moduli elastici di: Young, Poisson, d'incompressibilità, di rigidità e dalla densità.

#### **Metodologia d'indagine**

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione, e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate (Figura 1).

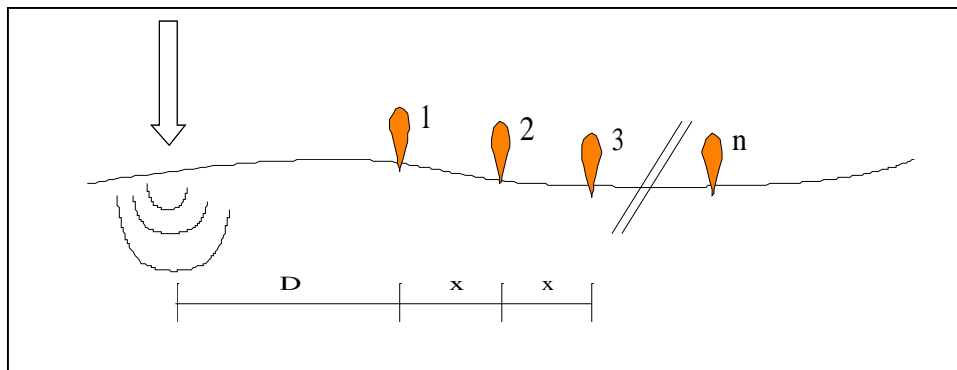


Figura 1 - Schema acquisizione multicanale.



Con tale tecnica si ottiene una modellazione del sottosuolo, tramite l'analisi delle onde di Rayleigh che costituiscono un particolare tipo di onde di superficie, che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza e della combinazione di onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

In un mezzo stratificato si verifica una dispersione delle onde prodotte cioè una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione di propagazione di velocità, con la frequenza.

Le componenti a frequenza minore penetrano quindi più in profondità con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti a frequenza maggiore.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh è visualizzato tramite grafici  $V$  (fase) / frequenza, e convertito tramite calcoli e programmi appropriati in profili  $V_s$  / profondità.

Si ottiene quindi una dettagliata ricostruzione della distribuzione nel sottosuolo, della velocità delle onde S, anche se sono possibili leggere incertezze nella determinazione (<10÷20%), in particolare quando la stratigrafia è completamente sconosciuta.

L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW traggono spunto dalle prime tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente di impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz) con spaziatura da 1 sino a 500 m.

Tale tecnica risultava però poco significativa in ambienti rumorosi o nel caso di treni d'onda di pressione molto energetici che quindi coprono gli arrivi delle onde di Rayleigh.

A tale scopo Park et Alii (1999) hanno sviluppato il metodo MASW, per sopperire in parte alle difficoltà di applicazione della tecnica Sasw in alcune situazioni.

La differenza principale è l'utilizzo simultaneo di 24 geofoni (sismometri polarizzati verticalmente con frequenza di 4 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità  $V_s$ , ricavati dallo studio delle velocità di fase delle onde di Rayleigh.

I geofoni sono spazati in genere da 0,5 a 10 m e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su 2 geofoni).

Le tracce dei sismogrammi, possono essere salvate nel dominio temporale, permettendo quindi di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale (circa il 60% dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).

Si può così costruire un grafico ampiezza/frequenza, che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.

Successivamente eseguendo una particolare "analisi spettrale" si produce un grafico "Velocità di fase/frequenza" da cui è possibile distinguere ed estrarre la curva di dispersione (teorica e di calcolo) ed il profilo iniziale delle  $V_s$ , sottoposti ad inversione 1-D, consentendo quindi di minimizzare le imprecisioni (risultati random) ed elevando l'attendibilità del risultato finale.

I dati della prospezione Masw, con riferimento ai principali grafici di riferimento, sopra descritti, ed in particolare alla stratificazione della velocità sismica Vs con la profondità, sono contenuti nella allegata scheda: Prospezione Sismica di Superficie – Metodologia MASW Allegato n. 9.

Nella scheda sono riportati:

- Spettro - Frequenza (Hz) / Numero d'onda (rad/m)
- Curva di dispersione e curva teorica - Frequenza (Hz) / Velocità di Fase (m/s)
- Modello della velocità – Velocità (m/s) / Profondità (m)

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14/01/2008) sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezione sismiche di superficie, in particolare quelli della prospezione MASW, che permette di individuare la categoria di sottosuolo di riferimento, basandosi sulla misura diretta dei valori della velocità media delle onde di taglio Vs.

Da tale analisi (vedi Metodo Masw sopra indicata) si sono ottenuti i relativi valori di velocità delle onde Vs, per i vari strati individuati, di seguito riassunti:

<b>1° strato: velocità media onde Vs 99 m/sec</b>	spessore 1,09 m
<b>2° strato: velocità media onde Vs 138 m/sec</b>	spessore 1,47 m
<b>3° strato: velocità media onde Vs 153 m/sec</b>	spessore 1,20 m
<b>4° strato: velocità media onde Vs 186 m/sec</b>	spessore 4,05 m
<b>5° strato: velocità media onde Vs 201 m/sec</b>	spessore 2,07 m
<b>6° strato: velocità media onde Vs 223 m/sec</b>	spessore 5,42 m
<b>7° strato: velocità media onde Vs 255 m/sec</b>	spessore 7,10 m
<b>8° strato: velocità media onde Vs 321 m/sec</b>	spessore 7,60 m

In base a quanto sopra, la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 2 (cfr. Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14/01/2008), ai vari strati sismostratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità Vs direttamente misurate, consentendo di ottenere la Vs30, cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

dove

hi = spessore dello strato i-esimo

V<sub>si</sub> = velocità onde S nello stato i-esimo

N = numero strati considerati

Dove  $h_i$  e  $v_i$  indicano lo spessore 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 metri superiori.

Ottenendo in base ai dati sopra esposti i seguenti risultati in ragione di edifici con (- 3,80 m da p.d.c.) e senza interrati (- 1,20 m da p.d.c.):

$V_{s30} = 232 \text{ m/sec}$ se calcolata tra -1,20 e - 31,20
---

$V_{s30} = 251 \text{ m/sec}$ se calcolata tra -3,80 e - 33,80
---

***In accordo con le norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento degli edifici contenute nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) a cui si farà sempre riferimento nel seguito, paragrafo 3.2.2, al terreno di fondazione è possibile associare una Categoria del suolo di fondazione di tipo "C" "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti"***

C	<i>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 <math>V_{s30}</math> compresi tra 180 e 360 m/s (<math>15 &lt; N_{SPT} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_u &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
---	---

## **7. VALUTAZIONE DELLA FREQUENZA FONDAMENTALE DI VIBRAZIONE DEI TERRENI MEDIANTE IL METODO DELLA SISMICA PASSIVA**

**- Indagine geofisica di tipo passivo a stazione singola HVSR (Tromino®) introduzione e basi teoriche.**

Per l'acquisizione dei dati di microtremore sismico, è stato utilizzato uno degli strumenti più diffusi per l'acquisizione di dati in sismica passiva a stazione singola, denominato "TROMINO"®, certificato e coperto da brevetto internazionale.

Al fine di determinare le eventuali frequenze fondamentali di vibrazione dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame è stata eseguita, in data 17/06/2013, una registrazione di microtremori mediante tromografo digitale nella posizione riportata in fig. 2.

Tale strumentazione appositamente progettata e costruita da Micromed S.p.A., rappresenta la nuova generazione di strumenti digitali per la misura al alta risoluzione del rumore sismico



ambientale ed anche per la misura di vibrazioni antropiche, indotte su strutture (norma DIN 4150 e UNI 9916).

Tecnicamente è un sismografo appositamente studiato per il rilievo del microtremore sismico, nell'intervallo di frequenze fra 0,1 e 512 Hz, mediante l'impiego di masse strumentali molto ridotte, con una struttura rigida non risonante e costruita con materiali non diffrangenti.

Il rumore, convenzionalmente suddiviso in microsisma (frequenze < 1Hz, sorgenti naturali lontane) e microtremore (frequenze > 1Hz, sorgenti antropiche locali) è costituito sia da onde di volume (onde P e onde S) sia da onde superficiali in proporzione variabile.

Il microsisma è prevalentemente costituito da onde di Rayleigh mentre il microtremore oltre alle onde di volume contiene sia onde di Love sia onde di Rayleigh.

I metodi che si basano sull'acquisizione del rumore sismico si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio nella sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente “s” al sito “x” le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamento per fenomeni di guida d’onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato.

Questo significa che se da un lato l’informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di “ray tracing”, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

Questa informazione è però “sepolta” all’interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

La tecnica maggiormente sfruttata per lo studio dei microtremori è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale e conosciuta come HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

Praticamente si tratta di installare solidalmente il Tromino al suolo (nel caso di misure per la frequenza del sottosuolo) o di appoggiarlo, eventualmente mediante l’uso di piedini regolabili (nel caso di misure di frequenza su strutture con pavimentazioni non perfettamente orizzontali) e di misurare il tremore sismico, con durata di registrazione adeguata alla frequenza minima di interesse per il sito e/o la tipologia d’indagine in analisi.

Per le misure sul terreno naturale, si ipotizza di misurare la frequenza della coltre sedimentaria, di copertura del bedrock sismico (rocce che presentano  $V_S > 700-800$  m/sec), quindi nel nostro caso delle strutture geologiche sepolte dalla coltre alluvionale della Pianura Padana, (quindi con spessore max ipotizzato non superiore a 300 m), da ciò ne deriva una stima (in prima approssimazione) della frequenza dell’ordine di circa 0.5 Hz, che equivale ad un periodo  $T = 2$  sec.

Pertanto per poter “osservare” e registrare con Tromino® queste frequenze, si tratta di mantenere in acquisizione lo strumento per una durata minima teorica di almeno 2 sec.

Poiché poi il metodo si basa su tecniche di risoluzione spettrale elevata, il segnale viene acquisito su finestre temporali di almeno 10 volte più lunghe.

E’ opportuna, ed indispensabile, anche una ridondanza statistica (30-40 ripetizioni), che consente di mediare opportunamente le registrazioni, per evitare di interpretare rumori “locali” random.

In sintesi, per ottenere un’acquisizione di rumore sismico (microtremore) a scopi stratigrafici anche profondi, si devono quindi analizzare dati con durata di acquisizione minime di 15 minuti per il terreno.

Tale strumento è in grado di acquisire il rumore sismico, presente ovunque sulla superficie terrestre, e che risulta generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall’attività antropica oltre che, ovviamente, dall’attività dinamica terrestre.

In breve la metodologia dei rapporti spettrali H/V permette di valutare la variazione di ellitticità dell’onda di Rayleigh in funzione della frequenza, permettendo così di ricavare la frequenza fondamentale di un sito.

Tale parametro risulta essere legato alla presenza di una superficie di discontinuità con un sufficiente contrasto di impedenza sismica.

Il valore del picco rilevabile dalla curva H/V risulta essere inversamente proporzionale alla profondità dell'interfaccia e direttamente proporzionale alla velocità di propagazione delle onde S dei materiali sovrastanti l'interfaccia mediante la relazione:

$$f_0 = \frac{V_s}{4H}$$

Questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati.

Questo, insieme ad una stima delle velocità che è solitamente disponibile almeno a livello di massima, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati.

Il risultato della acquisizione eseguita nel sito in esame è quindi analizzato mediante il codice di calcolo "Grilla" (appositamente sviluppato da Micromed), che consente di archiviare, analizzare e permettere la revisione del segnale misurato in sito.

Tale software consente di realizzare approfondite analisi spettrali di base e procedure per analisi HVSR secondo procedure codificate dal progetto di ricerca SESAME (2005).

I passi principali sono:

- uso di strumentazione certificata e/o verificata da opportune commissioni (tecnico - scientifiche).
- analisi dettagliata dello spettro di Fourier delle componenti verticali del segnale per individuare ed eliminare componenti "monocromatiche" (possibile rumore antropico).
- eliminare (in genere la sequenza completa è di suddividere l'acquisizione in sottofinestre di 20 sec) le sottofinestre con contenuti TRANSIENTI, cioè le porzioni di segnale contenenti transienti legati a sorgenti vicine al sensore (cioè passi o passaggi di autoveicoli).

calcolo H/V per ogni sottofinestra selezionata mediante:

- eliminazione segnale di eventuali offset
- calcolo spettri di Fourier
- Smoothing degli spettri Fourier per minimizzare effetti d'instabilità numerica del computo dei rapporti, ottimizzando caso x caso la % di smoothing, per evitare di alterare le caratteristiche dello spettro intrinseco e quindi della curva H/V che ne deriva.
- Calcolo delle curve H/V in componente N-S - E-O – verticale
- Stima del valore medio dei rapporti spettrali per ciascuna sottofinestra e definizione deviazione standard
- Identificazione curve H/V dei picchi statisticamente più significativi e stima indice di affidabilità da opportuni test statistici che permettono di definire l'affidabilità della curva H/V ed identificare il picco più significativo su criteri quantitativi.
- Se l'acquisizione viene eseguita in diverse condizioni l'acquisizione: es. esecuzione in diverse ore del giorno, diverso processing dei dati, diverse

condizioni atmosferiche ecc., i risultati della curva H/V devono risultare paragonabili.

Importante è comunque sottolineare che quando si considerano eccitazioni intense (come in caso di sisma) e si voglia tenere conto in maniera realistica del comportamento non lineare del terreno, i valori max della funzione di amplificazione e le frequenze di risonanza, possono risultare frequentemente anche notevolmente inferiori a quelle determinate in base alle supposizioni semplicistiche che tengono conto di ipotesi di comportamento lineare, poiché l'energia di eccitazione del suolo viene in parte spesa in attrito interno e in deformazioni permanenti.

#### **- Strumentazione impiegata.**

Le registrazioni del rumore sismico ambientale sono state effettuate mediante tromografo digitale della Micromed S.p.A. "Tromino", il quale permette sia l'acquisizione digitale in alta risoluzione in modo passivo e non intrusivo sia il pre-processing dei dati.

È costituito da tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ortogonali (N-S, E-W e in senso verticale) con autobloccaggio in fase di non acquisizione.

Considerando il suolo come un corpo visco-elastico risulta possibile effettuare la misurazione delle frequenze proprie di oscillazione, riconosciute come funzioni delle proprietà meccaniche dei materiali e della morfologia attorno al sito in esame.

Le principali note tecniche di questo tromografo digitale sono di seguito esposte:

#### **NOTE TECNICHE**

<b>Alimentazione:</b> 2 batterie alcaline x 1.5 VDC AA
<b>Voltaggio interno:</b> +3.3 V, +3.6 V per la sezione analogica
<b>Consumi:</b> 75 mW (GPS disattivato), 450 mW (GPS attivo)
<b>Durata delle batterie:</b> 80 h di misura continua con GPS disattivato
<b>Numero di canali:</b> 3+1 analogici
<b>Amplificatori:</b> tutti canali con input differenziali
<b>Rumore:</b> < 0.5 $\mu$ V r.m.s. @128 Hz sampling
<b>Impedenza dell'input:</b> 10 <sup>6</sup> Ohm
<b>Range di frequenze:</b> DC - 360 Hz
<b>Frequenza di campionamento:</b> 16384 Hz per canale
<b>Frequenze di sovracampionamento:</b> 32x, 64x, 128x
<b>Conversione A/D:</b> equivalente a 24 bit
<b>Massimo input analogico:</b> 51.2 mV (781 nV/digit)
<b>Display grafico:</b> 128 x 64 pixel, retroilluminato
<b>Tastiera:</b> 4 tasti a membrana
<b>Orologio:</b> interno, permanente con datario e allarme, può essere visualizzato anche durante l'acquisizione
<b>Livella:</b> a bolla d'aria, elevata precisione orizzontale, sensibilità 5' d'arco (0.083°)
<b>Connessioni:</b> porta USB, tipo B
<b>Registrazione dati:</b> memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb
<b>Dimensione e peso:</b> 10 x 14 x 7.7 (altezza) cm, peso 1.1 kg, contenitore di alluminio
<b>Accoppiamento col terreno:</b> su punte e cuscinetto reologico

<b>Condizioni operative:</b> temperatura - 10 / +70°C, umidità 0-90% senza condensa
<b>Impermeabilità</b> indice di protezione IP = 65 (resistente alla polvere, resistente agli spruzzi)
<b>Sensori:</b> 3 velocimetri elettrodinamici ortogonali ad alta risoluzione autobloccaggio quando non in acquisizione

I risultati dell'analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti col software Grilla in dotazione a TROMINO.

In sintesi, il segnale dei velocimetri è acquisito in ciascun sito per un tempo t (20 min), e digitalizzato a 24 bit.

Il software Grilla, per ciascuna delle 3 componenti del moto:

1. divide il tracciato acquisito in finestre di lunghezza L (in questo lavoro generalmente 30 s),
2. elimina il trend da ciascuna finestra,
3. ne fa il "taper" con una finestra Bartlett,
4. fa il "pad" di ciascuna finestra con degli zero,
5. calcola la trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra,
6. calcola lo spettro di ampiezza per ciascuna finestra,
7. liscia lo spettro di ogni finestra secondo la funzione di lisciamiento f, e calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza, per ciascuna finestra.

La funzione HVSR finale è data dalle media degli HVSR di ciascuna finestra.

Per produrre l'HVSR finale le componenti orizzontali sono mediate tra loro con la media quadratica e vengono poi divise per la componente verticale.

Tutti i grafici presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con lisciamiento secondo finestre triangolari con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale.

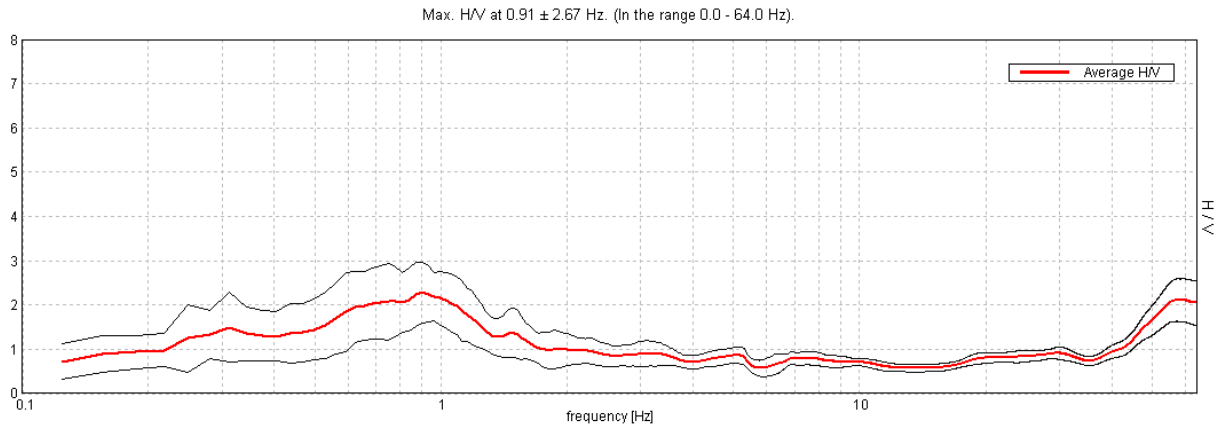
#### **- Interpretazione dei risultati e conclusioni.**

Il risultato dell'elaborazione è il grafico del "Rapporto spettrale orizzontale su verticale" che mette in evidenza (se presenti) picchi di amplificazione del segnale ( $HVSR \gg 1$ ) dovuti alla presenza nel sottosuolo di contrasti di impedenza sismica fra gli strati che inneschino amplificazioni del segnale sismico.

Il valore finale del HVSR in funzione della frequenza espresso nel grafico è indicato da una linea rossa che indica la media RMS delle componenti orizzontali rispetto alle verticali, mentre l'intervallo di confidenza (95%) relativo all'ampiezza HVSR è dato dalle linee nere sottili.

In figura 3 è riportato l'andamento del rapporto H/V ottenuto su tutto l'intervallo di frequenze analizzate (0-64 Hz).





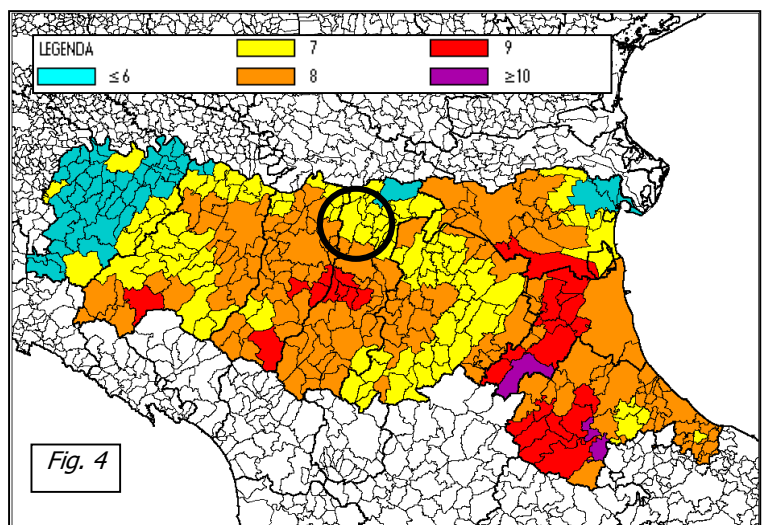
L'elaborazione ha permesso l'individuazione di un **picco principale di risonanza collocato alla frequenza di 0.91 Hz** che risulta essere associabile a un contrasto di impedenza sismica presente a profondità superiore a 100 m in corrispondenza di una discontinuità stratigrafica, che secondo le ultime analisi effettuate dalla R.E.R. potrebbe coincidere con la base del sistema AES6.

Procedendo verso le frequenze più alte il rapporto H/V si mantiene quasi costantemente pari a 1, ad eccezione del tratto tra 3 e 10 Hz in cui è presente una inversione delle velocità, mostrando pertanto un aumento graduale delle velocità sismiche con la profondità e non evidenziando comunque picchi secondari di natura stratigrafica.

In allegato 11 viene riportata la scheda della registrazione.

## 8. SISMICITA' DEL TERRITORIO.

Per quanto concerne gli aspetti sismici in termini macrosismici, il catalogo DOM4.1, database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, è stato utilizzato, su incarico della Protezione Civile, da Molin et al. (1996) in combinazione con i dati di CFTI (Catalogo dei forti terremoti italiani di ING/SGA - Boschi et al., 1995) per la compilazione della "Mappa delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani", di cui in Fig. 4 viene riportato un estratto con la



situazione della regione Emilia-Romagna.

Da tale figura si desume che il territorio Comunale di Novi di Modena è caratterizzato da un'intensità macrosismica pari a 7.

Basandosi sul CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI Edizione 2004 denominato CPTI04 e sulla ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9 (2004), sono stati individuati e riportati nella tabella seguente i risentimenti storici che hanno direttamente interessato la zona sismogenetica n°912 all'interno della quale ricade il Comune di Carpi di Modena.

N	Tr	Anno	Me	Gi	AE	Np	Imx	Io	T	Lat	Lon	T	Ma	Daw	Mas	Das	Msp	Dsp	T	Ncft	Nnt	Ncp
18	DI	725			Classe-Ravenna	2	85	80		44,400	12,220	A	5,57	0,19	5,40	0,28	5,55	0,28	G	77		18
51	DI	1234	3	20	FERRARA	5	70	70		44,836	11,618	A	5,17	0,30	4,80	0,45	4,99	0,42	G		860	51
53	DI	1249	9	0	Modena	4	75	65	M	44,650	10,930	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G	115	595	53
66	DI	1285	12	13	FERRARA	2	70	65		44,836	11,618	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G		861	66
90	DI	1345	1	31	CASTELNUOVO	1	55	55		44,810	10,564	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	A		596	90
93	DI	1346	2	22	Ferrara	14	75	75		44,920	11,020	A	5,81	0,24	5,75	0,35	5,75	0,35	G	149	862	93
131	DI	1410	5	9	FERRARA	3	65	65		44,836	11,618	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G		863	131
139	CP	1425	8	10	FERRARA SUD			60		44,833	11,667		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		864	139
171	DI	1474	3	11	MODENA	12	60	60		44,647	10,925	A	4,89	0,17	4,39	0,26	4,61	0,24	G		601	171
178	DI	1483	3	3	FERRARA	1	55	55		44,836	11,618	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G		865	178
179	DI	1483	8	11	Romagna meridionale	14	85	80		44,170	12,230	A	5,67	0,13	5,54	0,20	5,54	0,20	G	197	888	179
207	CP	1508	10	18	FERRARA SUD			60		44,833	11,667		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		866	207
257	DI	1561	11	24	Ferrara	5	65	55	M	44,780	11,450	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G	229	867	257
262	DI	1570	11	17	Ferrara	60	80	75		44,820	11,630	A	5,48	0,11	5,27	0,17	5,43	0,16	G	231	868	262
266	DI	1574	3	17	FINALE EMILIA	4	70	70		44,833	11,294	A	5,12	0,22	4,73	0,33	4,92	0,31	G		869	266
282	DI	1591	7	10	FORLI'	6	65	65		44,400	12,038	A	5,24	0,22	4,91	0,32	5,09	0,30	G		832	282
323	DI	1624	3	18	Argenta	17	85	75		44,650	11,850	A	5,43	0,22	5,19	0,32	5,35	0,30	G	243	870	323
362	DI	1660			MODENA	1	55	55		44,647	10,925	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G		609	362
374	DI	1671	6	20	RUBIERA	13	70	70		44,709	10,814	A	5,34	0,15	5,06	0,22	5,23	0,20	G		610	374
393	DI	1688	4	11	ROMAGNA	36	90	90		44,390	11,942	A	5,88	0,12	5,85	0,18	5,85	0,18	G	266	834	393
395	CP	1688	8	18	FUSIGNANO			70		44,417	12,000		5,17	0,30	4,80	0,45	4,99	0,42	G		835	395
397	CP	1689	3	15	FUSIGNANO			60		44,417	12,000		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		836	397
416	DI	1695	2	28	FERRARA	1	55	55		44,836	11,618	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G		871	416
521	DI	1743	5	29	FERRARA	1	65	65		44,836	11,618	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G		872	521
609	DI	1780	2	6	Bolognese	7	65	55	M	44,620	11,320	A	4,85	0,11	4,32	0,16	4,54	0,15	G	323	766	609
612	DI	1780	5	25	RAVENNA	5	65	65		44,417	12,198	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G		890	612
654	DI	1787	7	16	Ferrara	3	65	55	M	44,830	11,620	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G	339	873	654
683	DI	1796	10	22	Emilia orientale	26	70	70		44,620	11,670	A	5,63	0,15	5,48	0,23	5,62	0,23	G	352	874	683
703	DI	1806	2	12	NOVELLARA	28	70	70		44,862	10,671	A	5,26	0,16	4,93	0,24	5,11	0,22	A		875	703
717	DI	1810	12	25	NOVELLARA	33	70	70		44,898	10,712	A	5,28	0,10	4,97	0,15	5,15	0,14	A		876	717
791	DI	1831	9	11	Reggiano	24	75	75		44,750	10,550	A	5,48	0,13	5,27	0,19	5,43	0,18	G	378	616	791
803	DI	1834	10	4	Bologna	10	60	55	M	44,600	11,370	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G	384	768	803
871	DI	1850	9	18	MODENA	7	60	60		44,614	10,965	A	4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		618	871
1174	CP	1891	8	1	LUGO			60		44,417	11,933		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		853	1174
1225	DI	1895	3	23	COMACCHIO	37	65	60		44,684	11,987	A	4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		877	1225
1233	CP	1895	7	3	COMACCHIO			60		44,700	12,183		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	A		878	1233
1287	DI	1898	1	16	Romagna settent.	73	70	65		44,650	11,770	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G	452	879	1287
1482	CP	1908	6	28	FINALE EMILIA SUD			60		44,800	11,300		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		881	1482
1499	DI	1909	1	13	BASSA PADANA	799	65	65		44,579	11,688	A	5,53	0,05	5,33	0,08	5,48	0,07	G		882	1499
1729	DI	1922	5	24	CENTO	6	45	35		44,862	11,517	A	4,50	0,14	3,81	0,21	4,07	0,19	G		883	1729
1808	DI	1928	6	13	CARPI	35	70	65		44,797	10,872	A	4,85	0,09	4,32	0,13	4,54	0,12	G		884	1808
2047	DI	1950	5	6	REGGIANO	4	40	40		44,731	10,670	A	4,46	0,14	3,74	0,21	4,01	0,19	G		635	2047
2220	CP	1965	12	18	RUSSI			55		44,400	12,000		4,95	0,09	4,47	0,13	4,68	0,12	G		857	2220
2230	CP	1967	4	3	CORREGGIO			55		44,800	10,750		4,71	0,08	4,12	0,12	4,36	0,11	G		886	2230
2243	DI	1967	12	30	BASSA PADANA	40	60	60		44,604	11,997	A	5,36	0,08	5,09	0,12	5,26	0,11	G		887	2243
2245	CP	1968	1	11	RUSSI			50		44,400	12,000		4,58	0,20	3,92	0,29	4,17	0,27	G		858	2245
2263	CP	1969	1	10	RUSSI			55		44,383	12,000		4,63	0,09	4,00	0,13	4,25	0,12	G		859	2263
2389	CP	1978	12	5	RAVENNA S.O.					44,383	12,117		4,76	0,13	4,20	0,19	4,43	0,18	G		901	2389
2455	DI	1986	12	6	BONDENO	604	60	60		44,879	11,334	A	4,56	0,09	4,30	0,13	4,53	0,12	G		901	2455
2456	DI	1987	5	2	REGGIANO	803	60	60		44,797	10,697	A	5,05	0,07	4,79	0,08	4,98	0,08	G		902	2456
2509	DI	1996	10	15	CORREGGIO	135	70	70		44,782	10,683	A	5,44	0,18	5,09	0,04	5,26	0,04	G			
2534	CP	2000	6	18	REGGIANO					44,786	10,746		4,46	0,18	4,17	0,18	4,41	0,16	G			

Legenda: N = Numero di record

AE = Denominazione dell'area dei massimi effetti

Imx = Intensità massima x 10 (scala MCS)

TI = Codice di determinazione di Io

Lat/Lon = Coordinate epicentrali in gradi sessagesimali-decimali

Tr = Tipo di record

Np = Numero dei dati puntuali di intensità disponibili

Io = Intensità epicentrale x 10 (scala MCS)

Anno;Me;Gi = Tempo di origine

TL = Codice di localizzazione

Daw = Errore associato alla stima di Maw

Das = Errore associato alla stima di Mas

Msp = Magnitudo da utilizzare in combinazione con la relazione di Sabetta e Pugliese (1996)

Dsp = Errore associato alla stima di Msp

Ncft = Numero progressivo dei record nel catalogo CFTI2

NT4.1.1

Ncpt = Numero d'ordine dei record nel catalogo CPTI99

Maw = Magnitudo momento

Mas = Magnitudo calcolata sulle onde di superficie

TZ = Codice di assegnazione alla zona sorgente

Nnt = Numero d'ordine dei record nel catalogo

Nell'alta pianura modenese, come si può vedere nel tabulato, si sono verificati sismi anche di considerevole intensità (IX° della scala Mercalli – Cancani - Sieberg) collegati alla attività tettonica delle strutture del margine appenninico e delle faglie dell'alta pianura.

In riferimento all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, n. 3274

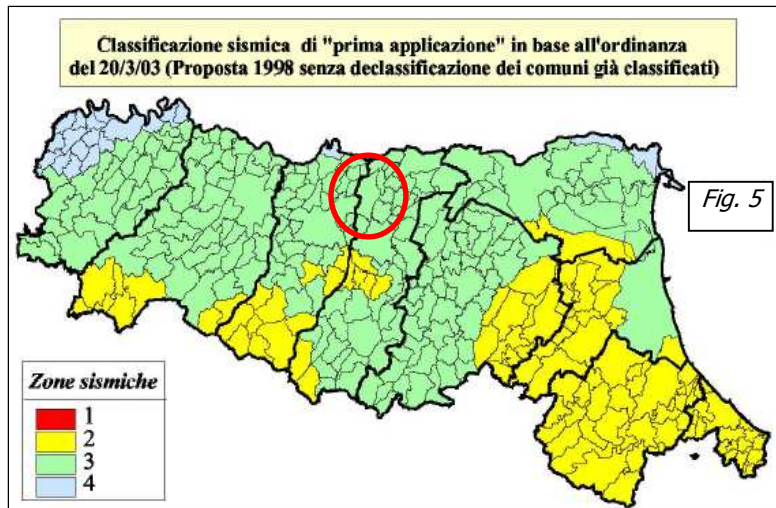


Fig. 5

pubblicata sul Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n° 105 del 08/05/2003 (Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica), il Comune di Carpi di Modena viene classificato appartenente alla zona sismica 3 (vedi figura 5).

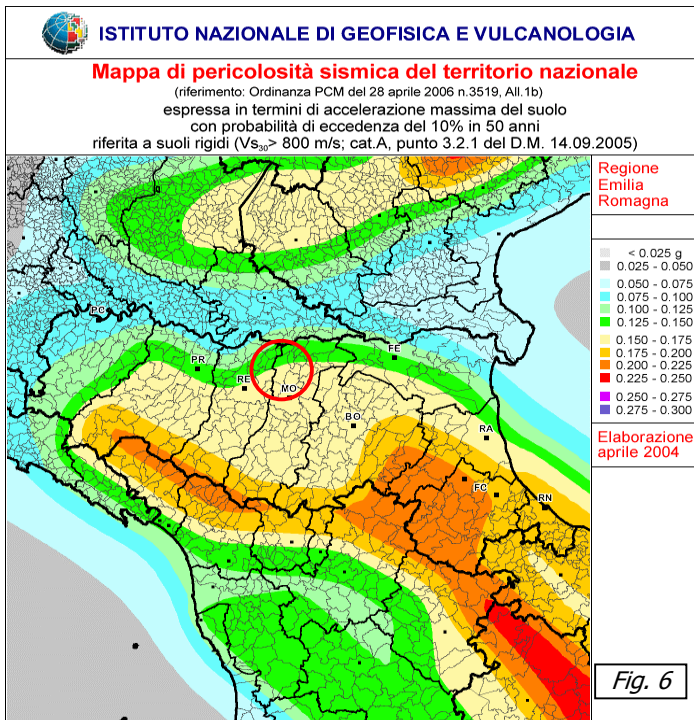


Fig. 6

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006, n. 3519 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n°108 del 11/05/2006 (Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone), individua i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e la nuova mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale, di cui si riporta in figura 6 un estratto relativo alla Regione Emilia Romagna, che mette in evidenza come per il comune di Carpi di Modena sia prevista una accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in