

STUDIO PANICIERI

Geologia Tecnica ed Ambientale

di Dott. Geol. Paolo Panicieri

Via Matteotti n° 9, 43035 FELINO (Parma)

PROVINCIA DI PARMA
COMUNE DI COLLECCHIO
Capoluogo

ACCORDO OPERATIVO

**EDIFICI RESIDENZIALI / BIFAMILIARI
PROSPICIENTI PARCO PUBBLICO DI VIALE
SARAGAT CON PROLUNGAMENTO DI
VIA BRUXELLES**

Proprietà:
IMIT S.r.l. – Sig. Paolo Casoli

**RELAZIONE
GEOLOGICO - SISMICA**

C.F.: PNC PLA 62E26 D526M - P. IVA: 02270360346

Tel.: 0521 831116 Fax: 0521 400051 Port.: 336 528528

E-mail: studio@panigeo.it

Iscritto O.G.E.R. n° 530 – Sez. A

INDICE

<i>Premessa</i>	<i>pag. 3</i>
<i>1. Inquadramento geografico</i>	<i>pag. 4</i>
<i>2. Geomorfologia ed idrografia di superficie</i>	<i>pag. 5</i>
<i>3. Inquadramento geologico</i>	<i>pag. 6</i>
<i>4. Riclassificazione sismica del territorio nazionale</i>	<i>pag. 6</i>
<i>5. Macrozonazione sismica regionale</i>	<i>pag. 8</i>
<i>5.1 Inquadramento geologico regionale</i>	<i>pag. 8</i>
<i>5.2 Strutture attive dell'Emilia - Romagna</i>	<i>pag. 10</i>
<i>5.3 Sismicità regionale</i>	<i>pag. 12</i>
<i>5.4 Classificazione dei Comuni dell'Emilia – Romagna e sismicità storica</i>	<i>pag. 13</i>
<i>6. Indagine geognostica</i>	<i>pag. 18</i>
<i>6.1 Prova penetrometrica statica CPT</i>	<i>pag. 18</i>
<i>6.2 Prova penetrometrica dinamica DPSH</i>	<i>pag. 19</i>
<i>6.3 Acquisizione MASW</i>	<i>pag. 19</i>
<i>6.4 Acquisizione a stazione singola in sismica passiva</i>	<i>pag. 20</i>
<i>7. Assetto litostratigrafico</i>	<i>pag. 26</i>
<i>8. Modello geologico</i>	<i>pag. 26</i>
<i>9. Risposta sismica locale</i>	<i>pag. 30</i>
<i>10. Conclusioni</i>	<i>pag. 33</i>

Allegati

Premessa

Per incarico della Proprietà IMIT S.r.l. e Sig. Paolo Casoli, in conformità alla normativa di seguito riportata

- Circolare Regionale n. 5555 del 02/11/72 integrata dalla Circolare n. 3891 del 21/03/74;
- Circolare Regionale Protocollo n. 1288;
- L.R. 07 dicembre 1978 n. 47 "Tutela ed uso del territorio" e s.m.i.;
- Circolare Regionale 11 febbraio 1983 n. 1288 "Indicazioni metodologiche sulle indagini geologiche da produrre a corredo dei piani urbanistici comunali";
- L.R. 24 marzo 2000 n. 20 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio";
- Ordinanza P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- Ordinanza P.C.M. 28 aprile 2006 n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone";
- D.M. 14.01.2008 "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni" e ss.mm.ii.;
- L.R. 30 ottobre 2008 n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico";
- Legge Regionale n. 6 del 2009 "Governo e riqualificazione solidale del territorio";
- Circolare Regione Emilia – Romagna Reg. PG/2010/23900 del 01/02/2010 "Indicazioni illustrative delle innovazioni in materia di governo del territorio introdotte dai Titoli I e II della L.R. n. 6 del 2009";
- D.G.R. 21 Dicembre 2015 n. 2193 "Art. 16, comma 1 della L.R. 20/2000 – 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;
- L.R. 21 dicembre 2017, n. 24 "Disciplina regionale sulla tutela e l'uso del territorio";
- D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle *Norme Tecniche per le Costruzioni*";

- D.G.R. 29 Aprile 2019 n. 630 “*Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. n. 24/20017)*”

sono stati effettuati uno studio geolitologico ed idromorfologico dell'areale interessato dall'attuazione dell'**Accordo Operativo** nonché una caratterizzazione sismica dei terreni in esso presenti.

Dopo una prima fase di analisi tendente a definire l'inquadramento geologico e la situazione idromorfologica ed idrogeologica della zona comprendente l'area in esame, lo studio è stato sviluppato in modo da pervenire alla valutazione delle caratteristiche litostratigrafiche dei terreni in esso presenti.

Per quanto concerne la pericolosità sismica che caratterizza l'area oggetto di studio, la valutazione dei possibili effetti attesi e, quindi, di eventuali fenomeni locali di amplificazione sismica è stata effettuata facendo riferimento alla D.G.R. 29 Aprile 2019 n. 630 “*Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. n. 24/20017)*” ed allo Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Collecchio, 2° e 3° livello.

Per la definizione della stratigrafia dei terreni ci si è avvalsi sia delle risultanze di una specifica campagna di indagine geognostica consistita nella realizzazione di n. 2 prove penetrometriche che di dati stratigrafici acquisiti mediante indagini geognostiche effettuate, sotto la direzione dello scrivente e dello Studio Panicieri – Vergiati, nella zona comprendente l'areale in esami.

Per quanto riguarda la caratterizzazione sismica sito – specifica dei suoli, sono stati presi in considerazione i dati ottenuti con una prova MASW ed un'acquisizione a stazione singola in sismica passiva (rilievo HVSR), realizzate sempre sotto la direzione dello scrivente.

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'areale oggetto di studio, ubicato nella zona nord – orientale dell'abitato di Collecchio, circa 230 metri a NE dell'intersezione fra Strada Nazionale Est e Via A. Moro, immediatamente a Sud del parco pubblico di Via Saragat e ad Est e Sud – Est dell'attuale limite orientale di Via Bruxelles, è inserito, dal punto di vista geografico, nella Sezione 199030 “Collecchio” della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 (Allegato 1).

In allegato 2 viene riportata la planimetria generale di progetto dell'areale interessato dall'Accordo Operativo.

2. GEOMORFOLOGIA ED IDROGRAFIA DI SUPERFICIE

La zona comprendente l'areale oggetto di studio, essendo inserita nella fascia di alta pianura compresa fra il T. Baganza, ad Est, ed il F. Taro, ad Ovest, è caratterizzata da morfologia pianeggiante, con quote degradanti con debolissimo gradiente in direzione NE, e da ottime condizioni di stabilità; l'unico elemento morfologico di rilievo in essa presente è rappresentato dall'arginatura fonoassorbente posta in fregio al lato Sud della tangenziale di Collecchio.

Nello specifico, la morfologia dei terreni in esame, attualmente destinati ad area verde, è del tutto pianeggiante ad eccezione della zona parco pubblico laddove sono presenti lievi ondulazioni conseguenti ad operazioni di rimodellamento morfologico; la quota media dei medesimi è pari a m. 111.5 s.l.m..

I corpi idrici principali della zona sono rappresentati dai già citati T. Baganza e F. Taro che scorrono, nell'ordine, oltre 4.0 km ad Est e circa 3.5 km ad Ovest dei terreni oggetto di studio senza interferire negativamente, dal punto di vista idraulico, con i medesimi come documentato dalla Tav. C.1.6 "Tutela ambientale, paesistica e storico – culturale" del P.T.C.P. e dalla Tav. PSC_2 aggiornamento 2017 del Piano Strutturale Comunale di Collecchio le quali evidenziano, inoltre, l'inserimento degli stessi in "zona di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei"; l'assenza di rischio idraulico a carico dell'area interessata dall'Accordo Operativo è evidenziata anche nella Tav. C.4.1 "Carta del rischio ambientale e dei principali interventi di difesa" del P.T.C.P.

L'idrografia minore della zona è costituita dal Rio Manubiola, classificato quale "corso d'acqua meritevole di tutela" e quale "corso d'acqua pubblico" rispettivamente nella tavola del P.T.C.P ed in quella del P.S.C. in precedenza citate, che scorre in fregio al lato Sud di Strada Nazionale Est e dalle opere idrauliche di urbanizzazione.

A completamento di quanto in precedenza esposto in merito al rischio idraulico si precisa che all'areale in esame non sono attribuiti scenari di pericolosità nella Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti 199NE Parma Sud - Ovest in scala 1:25.000 del P.G.R.A. Distretto Padano della R.E.R. (Direttiva Alluvioni 2019) riferita sia all'Ambito: reticolo naturale principale e secondario (RP) che all'Ambito: reticolo secondario di pianura (RSP – corsi

d'acqua secondari di pianura gestiti da Consorzi di bonifica e irrigui nella medio – bassa pianura padana).

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Secondo quanto riportato nella Cartografia Geologica della Regione Emilia – Romagna, della quale si allega stralcio ridisegnato in scala 1:5.000 in allegato 3, i terreni presenti in corrispondenza dell'areale oggetto di studio appartengono al Subsistema di Ravenna (Pleistocene Sup. – Olocene) localmente rappresentato da depositi alluvionali terrazzati litologicamente costituiti da ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi.

Lo spessore massimo dell'Unità è inferiore a 20.0 metri ed il suo tetto è rappresentato dalla superficie deposizionale, in gran parte relitta, corrispondente con il piano topografico.

4. RICLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO NAZIONALE

Le mappe riportate nelle seguenti figure 1 e 2 di cui all'OPCM n° 3274, mostrano

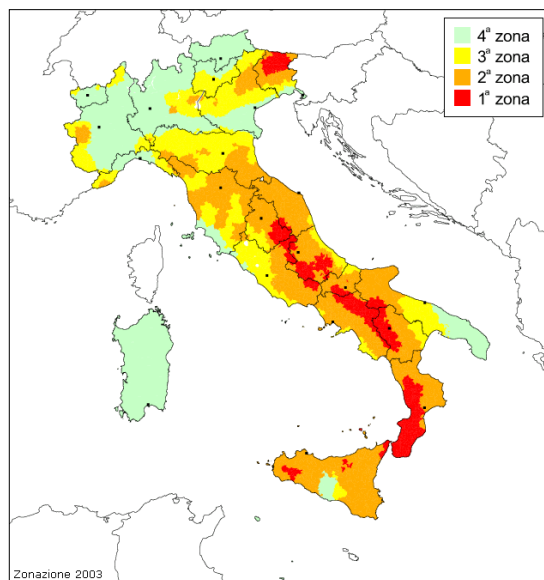


Fig. 1: mappa delle zone sismiche

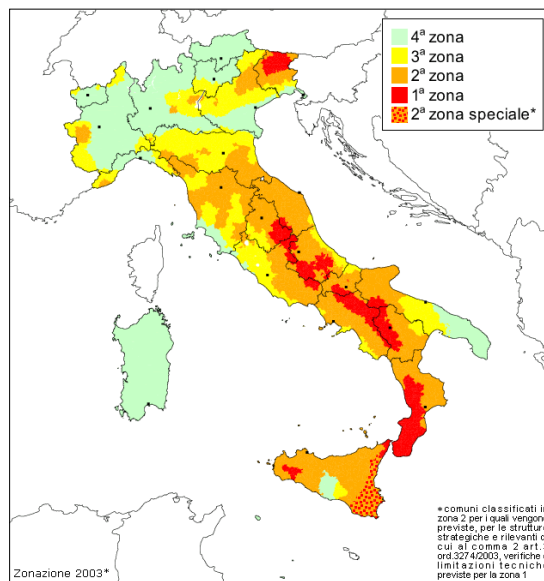


Fig. 2: zone sismiche del territorio italiano con recepimento delle variazioni operate dalle singole Regioni (fino a Marzo 2004)

come il territorio nazionale sia stato suddiviso in quattro “**zone sismiche**” ciascuna individuata da una specifica classe di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni secondo lo schema seguente:

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni (Ag/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Ag/g)
1	$Ag/g > 0,25$	0,35
2	$0,15 < Ag/g \leq 0,25$	0,25
3	$0,05 < Ag/g \leq 0,15$	0,15
4	$< 0,05$	0,05

In figura 3 è riportata la distribuzione sul territorio nazionale del parametro a_{max} con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

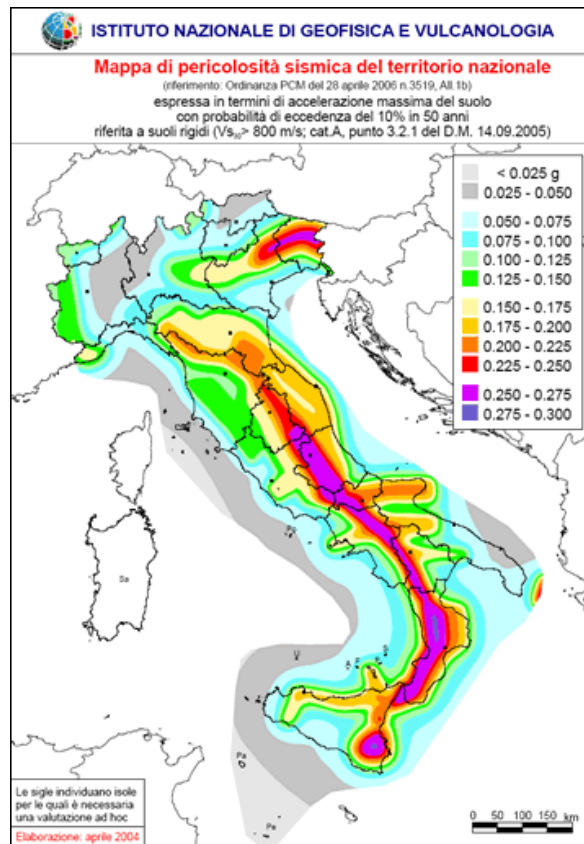


Fig. 3: mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

Come da bibliografia esistente, la superficie di territorio nazionale attribuibile alla **Zona 4** ($a_{\max} < 0.050g$) è pari al **15% circa** (Sardegna compresa); tale percentuale può raggiungere, al massimo, il 28% circa con il pieno utilizzo della fascia di tolleranza $0.050g - 0.075g$.

Viene associato alla **Zona 1** ($a_{\max} > 0.250g$) il **7% circa** della superficie di territorio nazionale che può arrivare al 12% circa con il pieno utilizzo della fascia di tolleranza $0.225g - 0.255g$; il rimanente **60%** del territorio è suddiviso fra le **Zone 2 e 3**.

5. MACROZONAZIONE SISMICA REGIONALE

5.1 Inquadramento geologico regionale

Il territorio regionale è formato dal versante padano dell'Appennino settentrionale e dalla Pianura Padana a Sud del fiume Po.

Pur essendo due ambienti geomorfologici ben distinti, l'Appennino settentrionale e la Pianura Padana sono strettamente correlati; il fronte della catena appenninica, infatti, non coincide con il limite morfologico catena – pianura (margine appenninico – padano) ma con gli archi esterni delle pieghe emiliane e ferraresi sottostanti i sedimenti Quaternari padani (si veda la seguente figura 4).

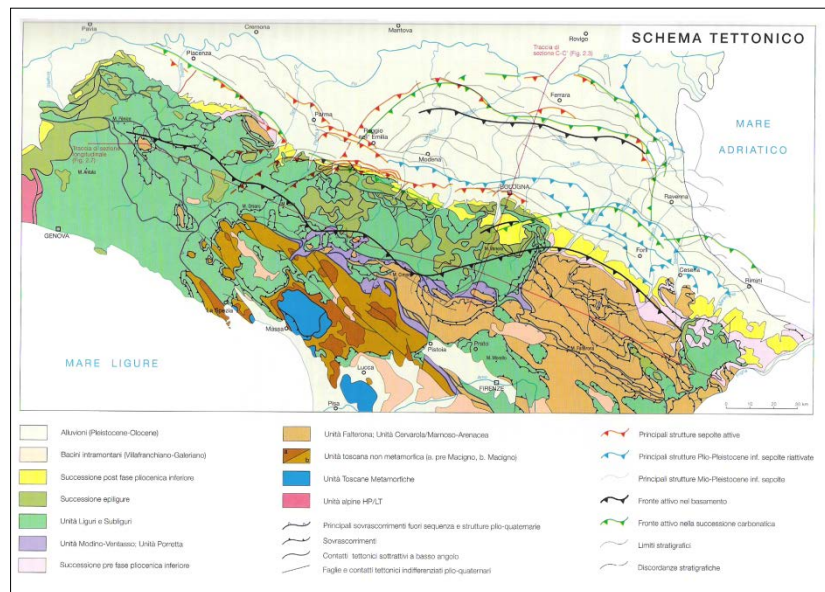


Fig. 4: schema tettonico

Il vero fronte appenninico, quindi, circa all'altezza del fiume Po, sovrascorre verso Nord sulla piattaforma padano –veneta; è possibile, pertanto, asserire che l'evoluzione del territorio dell'Emilia – Romagna coincide con quella del settore esterno della catena nord - appenninica, catena a thrusts facente parte del sistema alpino, formatosi, perlopiù, a spese della placca adriatica per effetto dell'interazione fra la placca Africana e la Placca Euroasiatica.

Si tratta di un edificio costituito da una serie di Unità Tettoniche riferibili a due principali Domini:

- **Dominio Ligure**, i cui sedimenti si sono originariamente depositi su crosta oceanica;
- **Dominio Tosco – Umbro – Marchigiano**, rappresentato da successioni del margine continentale dell'Adria.

APPENNINO EMILIANO ROMAGNOLO

Tale settore appenninico può essere suddiviso in due zone principali:

- **zona assiale;**
- **zona del margine appenninico – padano.**

Zona assiale

Si tratta della parte morfologicamente più elevata della catena esterna che costituisce l'edificio le cui principali strutturazioni arrivano fino al Pliocene Inferiore e le cui Unità Tettoniche sono rappresentate dalle Unità Liguri e Subliguri con la sovrastante Successione Epiligure e dalle Unità Oligo – Mioceniche Toscane nonché dall'Unità Umbro – Marchigiano – Romagnola.

Margine appenninico – padano

Si tratta della zona posta a cavallo del limite morfologico Appennino – Pianura Padana formata dalle colline del basso appennino e dalla fascia pedemontana della pianura padana.

I terreni che affiorano nella zona collinare appartengono, essenzialmente, alla successione post – evaporitica, litologicamente costituita da peliti prevalenti sedimentate sul margine interno dell'avanfossa padano – adriatica (Formazione di Tetto, Formazione a Colombacci, Argille Azzurre) e delimitata da due *unconformities* di importanza regionale; alla base, infatti, essa poggia sulle evaporiti messiniane (Formazione Gessoso - Solfifera) mentre, al tetto, sono presenti i depositi continentali della Pianura Padana.

Localmente, le evaporiti messiniane hanno subito fenomeni di erosione e processi di risedimentazione; in questi casi alla discordanza basale è associata anche una lacuna erosiva ed il substrato della successione post – evaporitica è rappresentato, nell'Appennino Romagnolo, dalle peliti di chiusura dell'avanfossa romagnola o, nell'Appennino Emiliano e nel Montefeltro, dalle peliti sommitali della Successione Epiligure (Marne del Termina, Argille di Casa i Gessi) o dalle Unità Liguri.

5.2 Strutture attive dell'Emilia – Romagna

La convergenza tra le Placche Europea ed Africana è associata, nell'Appennino Settentrionale, ad un pattern deformativo e ad un'attività sismica complessi; il settore tirrenico della catena è, infatti, interessato da un prevalente campo deformativo estensionale mentre nel settore adriatico della medesima prevale una compressione attiva.

In quest'ultimo settore, in cui rientra l'Emilia – Romagna, l'attività tettonica è da ricondursi alla presenza di strutture compressive, quali sovrascorrimenti e piegamenti; nello specifico, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno origine agli archi di Piacenza – Parma, Reggio Emilia e Ferrara.

A tali strutture, in particolare alla Dorsale Ferrarese, possono essere associate le fagliezioni superficiali osservabili in alcune aree della Pianura Padana, nelle Province di Reggio Emilia e Modena.

Lungo il margine, è attivo il thrust pede – appenninico tra Bologna e Parma mentre blind thrust attivi caratterizzano il settore a Sud – Est di Bologna.

Le principali strutture attive in Emilia – Romagna sono sintetizzate nella sottostante figura 5.

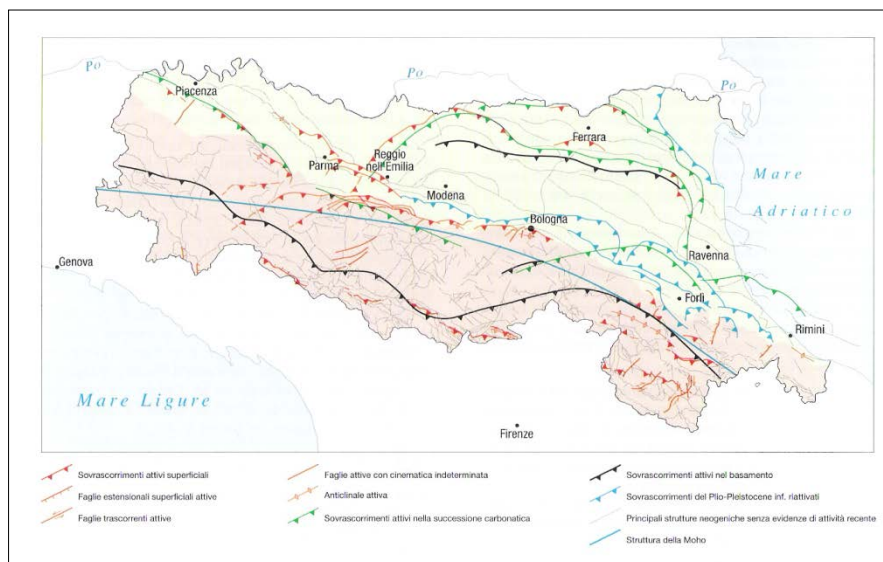


Fig. 5: principali strutture attive in Emilia – Romagna

L'esame di tale rappresentazione cartografica consente di riscontrare come le strutture attive nell'ambito del territorio regionale possano essere raggruppate in tre differenti settori:

- allineamento pressoché continuo in corrispondenza del crinale appenninico, all'incirca coincidente con il fronte di accavallamento delle Unità Tettoniche Cervarola e Falterona sulle Liguridi, in Emilia, e sulla Marnoso – Arenacea, in Romagna;
- allineamento coincidente con gran parte del margine appenninico – padano, a sua volta suddivisibile, procedendo da NW verso SE, in tre ulteriori settori:
settore ad Ovest della Val Taro;

settore compreso tra le valli del Taro e dell'Idice (ad Est di Bologna);
settore ad Est della Valle dell'Idice, corrispondente con il margine romagnolo;

- allineamento coincidente con l'alto delle Pieghe Ferraresi e delle Pieghe Emiliane.

5.3 Sismicità regionale

La Regione Emilia – Romagna è interessata da una sismicità media in rapporto alla sismicità nazionale, con terremoti storici di Magnitudo massima compresa fra 5.5 e 6.0 della scala Richter ed intensità del IX – X grado della scala MCS.

I più intensi terremoti (Magnitudo > 5.5) si sono verificati nel settore sud – orientale, in particolare nell'Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese; altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minor energia (Magnitudo < 5.5) sono il margine appenninico – padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese ed il crinale appenninico.

Quest'ultimo risente della sismicità di due importanti aree sismogenetiche della Toscana, il Mugello e la Garfagnana dove, nell'ordine, nel 1919 e nel 1920, si sono verificati terremoti di Magnitudo superiore a 6.0.

La sismicità legata alle strutture superficiali, con ipocentri mediamente ad una profondità inferiore a 15 km, è molto diffusa in catena e più localizzata in pianura, soprattutto in corrispondenza della dorsale ferrarese.

I meccanismi focali calcolati risultano compressivi e trascorrenti indicando direzioni di compressione sia NE – SW che NW – SE; i meccanismi focali distensivi sono nettamente secondari.

Ne consegue che la cinematica delle principali strutture attive superficiali è di tipo transpressivo.

La sismicità crostale, con ipocentri mediamente compresi fra 15 e 35 km, ha una distribuzione simile a quella più superficiale ma è caratterizzata da una minore densità.

I meccanismi focali sono, anche in questo caso, compressivi e trascorrenti con direzione di compressione sia NW – SE che NE – SW; i meccanismi focali distensivi sono rari e ben localizzati.

La sismicità più profonda, essenzialmente a bassa Magnitudo con ipocentri da 35 km di profondità fin oltre i 50 km, interessa, perlopiù, il settore di catena ed il margine appenninico – padano e, solo raramente, la pianura.

Ne risulta un modello geodinamico attivo in cui le strutture superficiali della copertura, quelle crostali e quelle del mantello, sebbene tra loro distinte, sono tutte

coerenti ed inquadrabili in un sistema transpressivo che rispetto alle zone esterne dell'avampaese padano, relativamente stabili, assume il significato di un sistema di ordine inferiore all'interno di una zona di trascorrenza destra.

5.4 Classificazione dei comuni dell'Emilia - Romagna e sismicità storica

In riferimento alla Nuova classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia - Romagna, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 Marzo 2003 n° 3274 (Allegato 1, punto 3, della medesima Ordinanza), **105 Comuni del territorio regionale sono stati inseriti in Zona 2, 214 in Zona 3 e 22 in Zona 4.**

Rientrano in Zona 2, ovvero nell'area a maggior sismicità regionale, l'intero territorio delle Province di Forlì, Cesena e Rimini, quasi tutta la Provincia di Ravenna, ad esclusione del Comune Capoluogo classificato in Zona 3, la parte orientale della Provincia di Bologna, il Comune di Argenta (Ferrara), quasi tutti i Comuni dell'alto Appennino Modenese, Reggiano e Parmense, i Comuni del Margine Appenninico Padano a Sud di Reggio Emilia e Modena.

Sono classificati in Zona 4, cioè nella zona a minor sismicità, le estremità Nord – Ovest e Nord – Est della Regione, ovvero, rispettivamente la parte nord – occidentale della Provincia di Piacenza e la parte nord – orientale della Provincia di Ferrara.

I rimanenti Comuni, tra i quali quello di Collecchio, sono stati classificati in Zona 3, vale a dire nella zona a sismicità medio – bassa (Figura 6).

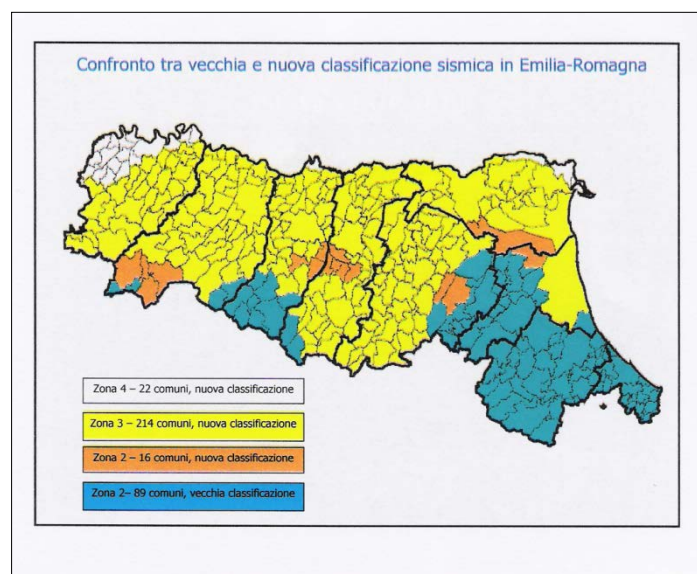


Fig. 6: nuova classificazione sismica regionale

La succitata riclassificazione sismica dei Comuni della R.E.R., secondo la quale il territorio comunale del **Comune di Collecchio** (Codice ISTAT **8034009**) rientra in **Zona 3**, è stata recepita dal Decreto 14.01.2008 del Ministero delle Infrastrutture recante “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” pubblicato sulla G.U. n. 29 del 04.02.2008.

Con la Deliberazione della Giunta Regionale 23 Luglio 2018 n. 1164 è stato approvato un aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell’Emilia – Romagna, disposta con propria D.G.R. n. 1435 del 2003 (prime disposizioni di attuazione dell’Ordinanza del P.C.M. n. 3274/2003), con riferimento al passaggio di 20 Comuni dalla zona 4 alla zona 3 (sismicità medio – bassa), al passaggio dei 7 Comuni dell’Alta Val Marecchia dalla Regione Marche (Provincia di Pesaro – Urbino) alla Regione Emilia – Romagna (Provincia di Rimini) ed all’aggiornamento dei nuovi Comuni ottenuti per fusione di più Comuni così come elencati nell’allegato A alla D.G.R. n. 1164 del 23/07/2018 (Codice Istat Comune di Collecchio: **34009**) e come rappresentati nella cartografia di cui all’allegato B della succitata deliberazione, riportata nella seguente figura 7.

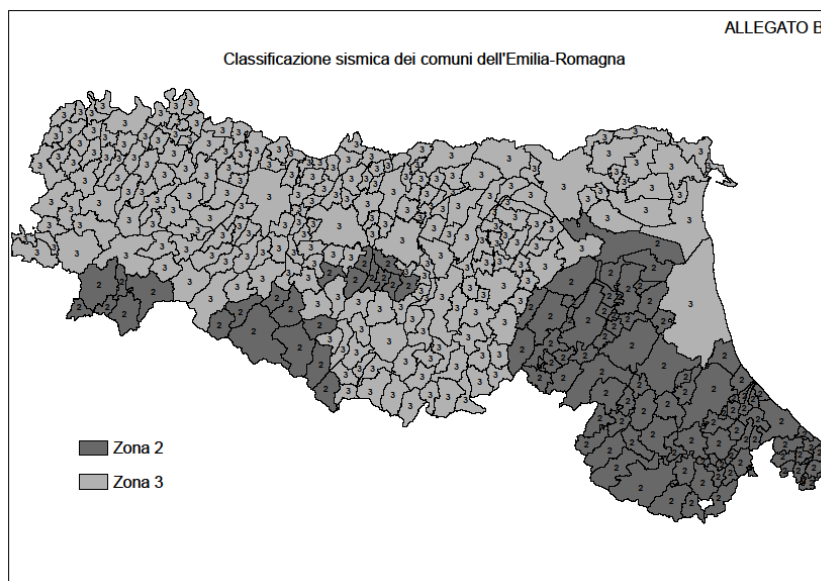


Fig. 7: classificazione sismica regionale dei comuni - Allegato B D.G.R. n. 1164 2 del 23/07/2018

La consultazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 Release v1.5 (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) ha consentito la ricostruzione della seguente casistica storica relativamente ai sismi più significativi per il territorio della

provincia parmense nella finestra temporale 1800 - 2014 (terremoti con intensità massima o epicentrale maggiore o pari a 5 e con magnitudo strumentale equivalente, secondo i metodi e le conversioni descritte nel succitato catalogo, a Mw 4.0 o superiore):

Giorno – Mese - Anno	Ora – Minuto - Secondo	Area epicentrale	n. MDP (Macroseismic Data Point)	Intensità epicentrale Io	Magnitudo Momento Mw
12.02.1806		Reggiano	28	7	5.21
25.12.1810	00.45	Pianura emiliana	33	6	5.06
15.07.1811	22.44	Modenese - reggiano	19	6 - 7	5.13
09.12.1818	18.55	Parmense	26	7	5.24
11.09.1831	18.15	Pianura emiliana	25	7 - 8	5.48
11.03.1832	06.45	Carpi	14	5	4.51
13.03.1832	03.30	Reggiano	97	7 - 8	5.51
04.10.1834	19	Bolognese	12	6	4.71
20.04.1835	03	Val di Taro	1	5	4.16
25.04.1835	02.45	Val di Taro	6	5 - 6	4.77
11.04.1837	17.00	Lunigiana	60	9	5.94
28.11.1849	18	Val di Taro	7	6	4.63
01.02.1857		Parmense - Reggiano	22	6 - 7	5.11
16.05.1873	19.35	Reggiano	15	6 - 7	5.01
24.01.1881	16.14	Bolognese	38	7	5.22
25.01.1881	07.06	Bolognese	18	5	4.59
14.02.1881	09.00.30	Appennino bolognese	21	6	4.77
26.02.1885	20.48	Pianura padana	78	6	5.01
15.10.1886	02.20	Collecchio	44	6	4.70
08.03.1889	02.57.04	Bologna	38	5	4.53
20.10.1893	20.20.15	Appennino parmense	25	4 - 5	4.04
07.08.1895	19.49.32	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67
04.03.1898	21.05	Parmense	313	7 - 8	5.37
25.08.1906	03.11	Parmense	31	5	4.25
10.11.1906	17.55	Alta Val di Taro	43	5	4.22
13.01.1909	00.45	Emilia – Romagna orientale	867	6 - 7	5.36
25.11.1913	20.55	Appennino parmense	73	4 - 5	4.65
27.10.1914	09.22	Lucchesia	660	7	5.63
10.10.1915	23.10	Reggiano	30	6	4.87
06.05.1918	08.05	Reggiano	8	5 - 6	4.41
29.06.1919	15.06.13	Mugello	565	10	6.38
07.09.1920	05.55.40	Garfagnana	750	10	6.53
29.11.1921	12.04	Val di Taro	10	4	4.15
28.06.1923	15.12	Modenese	22	6	5.04
13.06.1928	08	Carpi	35	6	4.67
20.07.1928	19.53	Alta Val di taro	13	6	4.39
10.04.1929	05.55	Bolognese	87	6	5.05
19.04.1929	04.16	Bolognese	82	6 – 7	5.13
20.04.1929	01.10	Bolognese	109	7	5.36
22.04.1929	08.26	Bolognese	41	6 - 7	5.10
22.04.1929	14.19	Bolognese	12	5 - 6	4.61
29.04.1929	18.36	Bolognese	45	6	5.20
11.05.1929	19.23	Bolognese	64	6 - 7	5.29
24.05.1930	22.02	Appennino tosco - emiliano	43	5	4.91
10.06.1931	17.02	Modenese	14	4	4.59
13.06.1934	09.06	Val di Taro - Lunigiana	29	6	5.14
17.09.1937	12.19.05	Parmense	34	7	4.77
10.12.1937	18.04	Frignano	28	6	5.30
15.10.1939	14.05	Garfagnana	62	6 - 7	4.96
01.05.1940	09.36.05	Parmense			5.06
12.03.1955	06.57.04	Parmense	15	5	4.15
25.10.1957	23.02.05	Appennino reggiano	79	5 - 6	4.27
26.01.1959	05.35.40	Alta Val di Taro	14	5	4.27
13.08.1961	22.34.18	Parmense	22	5 - 6	4.37
14.08.1961	01.03.02	Parmense	14	5 - 6	4.47
10.05.1965	05.01.54	Appennino reggiano	11	4 - 5	4.29
15.05.1967	10.03.34	Appennino reggiano	2	4	4.07
30.12.1967	04.19	Emilia – Romagna orientale	40	6	5.05
24.06.1969	13.25.18	Parmense	15	5	4.21
03.05.1970	04.17.41	Parmense	3	4	4.08

Giorno – Mese - Anno	Ora – Minuto - Secondo	Area epicentrale	n. MDP (Macroseismic Data Point)	Intensità epicentrale Io	Magnitudo Momento Mw
15.07.1971	01.33.23	Parmense	228	8	5.57
25.06.1972	17.10.47	Parmense			4.01
25.10.1972	21.56.11	Appennino settentrionale	198	5	4.87
15.05.1974	21.49.12	Alta Val di Taro	13	5	4.14
16.11.1975	13.04.25	Appennino piacentino	10	4 - 5	4.93
09.11.1983	16.29.52	Parmense	850	6 - 7	5.04
15.08.1985	18.58.03	Appennino parmense	7	7	4.51
01.10.1986	19.53.39	Lunigiana	68	5	4.46
10.02.1987	21.20	Lunigiana	54	5	4.09
02.05.1987	20.43.53	Reggiano	802	6	4.71
08.05.1987	11.10.27	Bassa modenese	24	6	4.44
15.03.1988	12.03.16	Reggiano	160	6	4.57
03.10.1989	09.41.32	Appennino parmense	91	4	4.04
31.10.1991	09.31.18	Emilia occidentale	134	5	4.33
03.03.1995	16.16.40	Lunigiana	43	5	4.20
10.10.1995	6.54.21	Lunigiana	341	7	4.82
31.12.1995	21.29.47	Appennino reggiano	96	4 - 5	4.51
15.10.1996	09.55.59	Pianura emiliana	135	7	5.38
16.12.1996	09.09.53	Pianura emiliana	115	5 - 6	4.06
07.07.1999	17.16.12	Frignano	32	5	4.67
18.06.2000	07.42.07	Pianura emiliana	304	5 - 6	4.40
09.05.2007	06.03.49	Pianura emiliana			4.21
30.07.2007	19.05.43	Pianura emiliana			4.45
28.12.2007	04.05.43	Appennino parmense			4.18
23.12.2008	15.24.21	Parmense	291	6 - 7	5.36
23.12.2008	21.58.26	Parmense			4.81
23.12.2008	23.37.06	Parmense			4.08
25.12.2008	03.08.29	Parmense			4.09
25.01.2012	08.06.37	Pianura emiliana	25	5 - 6	4.98
27.01.2012	14.53.12	Appennino parmense			5.05
20.05.2012	02.03.50	Pianura emiliana	53	7	6.09
20.05.2012	02.07.28	Pianura emiliana			5.17
20.05.2012	03.02.47	Pianura emiliana			5.04
20.05.2012	13.18.01	Pianura emiliana			5.16
29.05.2012	07.00.02	Pianura emiliana	87	7 - 8	5.90
29.05.2012	10.55.56	Pianura emiliana			5.50

Più in dettaglio, nelle seguenti Figure 8 e 9 viene riportata la “storia sismica” del Comune di Collecchio limitatamente ai terremoti con intensità massima ≥ 3 verificatisi tra il 1000 e il 2002 [DBMI15 Release v1.5; Azzaro R., D’Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016) DBMI15, The 2015 version of the Italian Macro seismic Database - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia]:

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6	1886	10	15	02	20		Collecchio	44	6	4.70
2-3	1893	10	20	20	15		Appennino parmense	25	4-5	4.04
F	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
6	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
5-6	1961	08	13	22	34	1	Parmense	22	5-6	4.37
6	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
NF	1974	04	15	21	49	1	Alta Val di Taro	13	5	4.14
6-7	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	1991	10	31	09	31	1	Emilia occidentale	134	5	4.33
3-4	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
4-5	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
2	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
NF	1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5	3.93
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21
4-5	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36

Fig. 8: storia sismica del comune di Collecchio

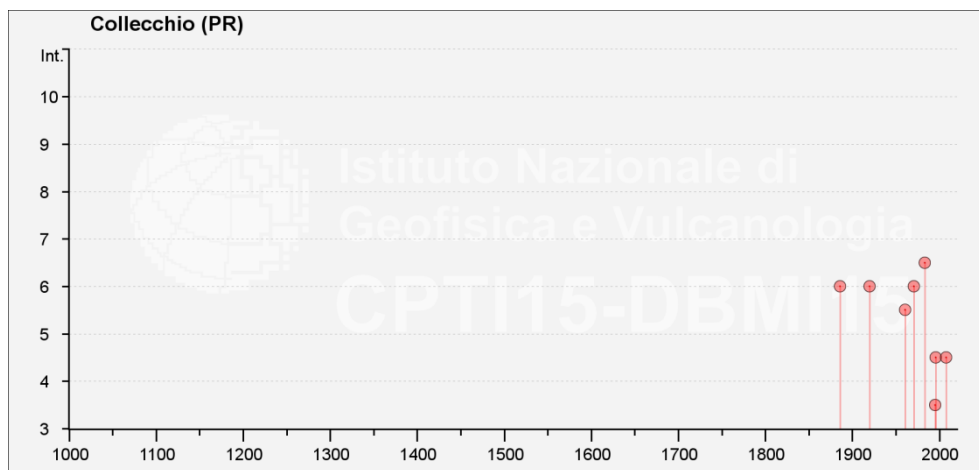


Fig. 9: rappresentazione grafica terremoti comune di Collecchio

6. INDAGINE GEOGNOSTICA

La ricostruzione dell'assetto litostratigrafico che caratterizza l'areale interessato dall'Accordo di Programma, è stata effettuata, come in precedenza esposto, avvalendosi delle risultanze di n. 2 prove penetrometriche, una ad infissione statica ed una ad infissione dinamica, spinte fino alla profondità massima di m. 4.00 da piano riferimento, rappresentato dal piano campagna; sono stati, inoltre, tenuti in considerazione dati stratigrafici acquisiti mediante indagini geognostiche svolte, sempre sotto la direzione dello scrivente e dello Studio Panicieri - Vergiati, nella zona comprendente l'area oggetto di studio.

Si precisa che l'ubicazione ed il numero delle penetrometrie sono state fortemente condizionati dall'impossibilità di accedere alla parte occidentale della zona edificabile dell'Accordo di Programma per la presenza sia di una recinzione continua che di una impenetrabile vegetazione arbustiva; l'ubicazione delle prove penetrometriche eseguite è riportata in allegato 4.

Per quanto concerne la definizione delle caratteristiche sismiche sito - specifiche dell'areale ci si è avvalsi di quanto emerso dall'indagine geofisica svolta, consistita nell'esecuzione, da parte della ditta TECNOGEOFISICA S.n.c. di Carpi (MO), di n. 1 prova MASW finalizzata alla valutazione del profilo delle Vs con la profondità e di n. 1 acquisizione a stazione singola in sismica passiva (rilievo HVSr) volta alla definizione della frequenza fondamentale del suolo.

6.1 Prova penetrometrica statica CPT

La prova penetrometrica statica, denominata CPT 2 ed arrestata alla profondità di m. 3.00 da piano riferimento, è stata eseguita dal Dott. Geol. Sergio Lasagna mediante l'impiego di un penetrometro statico/dinamico PAGANI installato su carro cingolato e dotato di attrezzatura di spinta tipo GOUDA da 100 kN con cella di carico elettrica e punta meccanica di Begemann fornita di manicotto (Friction Sleeve Cone) per la misura dell'attrito laterale locale.

Si precisa che la profondità di indagine è stata determinata dalla compattezza, dalla granulometria e dal grado di addensamento del deposito incoerente rinvenuto al di sotto della copertura coesiva, tali da impedire l'avanzamento della punta penetrometrica dopo breve tratto di penetrazione.

I dati acquisiti con la prova CPT realizzata sono riportati in allegato 5.

6.2 Prova penetrometrica dinamica DPSH

La penetrometria dinamica, denominata DPSH 1, è stata eseguita dal Dott. Geol Sergio Lasagna secondo lo standard DPSH utilizzando un penetrometro statico/dinamico PAGANI TG 63/100 installato su carro cingolato avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- peso massa battente: $M = 63.50 \text{ kg}$;
- altezza caduta libera $H = 0.75 \text{ m}$;
- diametro punta conica $\varnothing = 50.50 \text{ mm}$;
- area della punta $A_p = 20.00 \text{ cm}^2$;
- angolo apertura punta $\beta = 90^\circ$;
- diametro delle aste $\varnothing = 32 \text{ mm}$;
- peso asta per metro $M_a = 8 \text{ kg/m}$;
- passo infissione $\delta = 0.20 \text{ m}$.

Le risultanze della penetrometria DPSH effettuata, arrestata alla profondità di m. 4.00 da piano riferimento per il raggiungimento del rifiuto strumentale, sono illustrate in allegato 6.

6.3 Acquisizione MASW

La prova MASW è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale **Ras 24** con 24 canali attivi, prodotto dalla Abem-Seistronix, ed impiegando, come ricevitori, 24 geofoni da 4,5 Hz collegati in serie con un cavo di lunghezza pari a m. 65, e, come sorgente impulsiva, una mazza battente da 10 Kg con piastra metallica 15x15 cm su cui battere.

Le acquisizioni sono state realizzate adottando un interasse fra i geofoni pari a 2.0 metri che, con 24 ricevitori, ha consentito di coprire una lunghezza totale pari a 46.0 metri; avendo posto la sorgente di energizzazione ad una distanza di 6.0 metri, la lunghezza complessiva degli stendimenti sismici è risultata essere pari a m. 52.0 (punto di shot compreso).

Le modalità esecutive ed interpretative della prova MASW realizzata e gli esiti della prospezione sono descritti nell'allegato rapporto tecnico a cura della Ditta TECNOGEOFISICA S.n.c. nel quale è anche riportata l'orientazione dello stendimento sismico (Allegato 7).

Si precisa che l'acquisizione MASW eseguita sullo stendimento sismico realizzato ha consentito sia la ricostruzione del modello sismico monodimensionale del

sottosuolo attraverso la velocità delle onde superficiali di Rayleigh sia la valutazione del parametro $V_{s,30}$ al quale è possibile fare riferimento, secondo quanto riportato nel punto A2.1.2 dell'Allegato 2 della Delibera della Giunta Regionale della Regione Emilia – Romagna 29 Aprile 2019 n. 630 “*Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. n. 24/20017)*”, per la definizione dei fattori di amplificazione sismica F.A..

6.4 Acquisizione a stazione singola in sismica passiva

Indagine diretta per il calcolo del moto sismico in superficie

Nel caso semplificato di un terreno omogeneo di spessore H che poggia su di un substrato roccioso soggetto ad onde di taglio con direzione di propagazione verticale è possibile assumere che il terreno sovrastante il bedrock abbia un comportamento elastico lineare con densità (ρ), velocità delle onde di taglio (V_s) e fattore di smorzamento D indipendenti dal livello di deformazione; i rispettivi parametri, riferiti al basamento (bedrock o bedrock like), siano ρ_B e V_B e sia $D_B=0$ per semplicità.

Nel succitato caso, durante un'eccitazione sismica si generano onde di taglio sinusoidali con frequenza “f” differente a seconda che quest'ultima venga misurata al basamento o alla superficie del deposito e con accelerazione di ampiezza max differente se misurata al bedrock a_{MAXR} , oppure in superficie a_{MAXS} .

Il rapporto fra a_{MAXS} / a_{MAXR} prende il nome di fattore di amplificazione A e dipende dalla frequenza (f) dell'eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento del terreno e dal rapporto tra impedenza sismica del basamento ($\rho_B V_B$) ed impedenza sismica del deposito di copertura ($\rho_S V_S$).

La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione $A(f)$ del deposito.

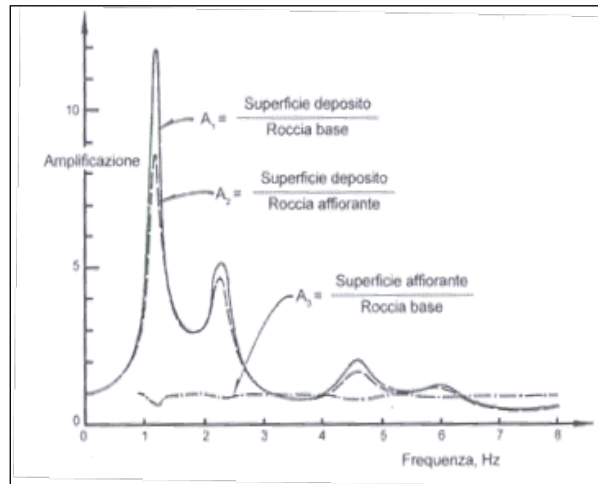


Fig. 10: diagramma amplificazione - frequenza

Come indicato nella sopra riportata figura 10, riferita ad un deposito ad 8 strati con spessore totale di circa 40 metri, il moto sismico può essere amplificato in corrispondenza di determinate frequenze che corrispondono alle frequenze naturali f_N (o dei periodi naturali T_N) di vibrazione del deposito in oggetto.

Nel già citato caso esemplificativo di uno strato omogeneo di spessore H poggiante sul substrato la frequenza naturale f può essere definita mediante la sottostante relazione:

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{V_s}{4H}$$

dove

f_1 = prima frequenza naturale di vibrazione del deposito denominata “frequenza fondamentale” e T_1 = primo periodo naturale di vibrazione del deposito o “periodo fondamentale”.

E' importante 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 di frequente 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 ed in deformazioni permanenti.

Alla luce di quanto sopra esposto è, quindi, consigliabile una misura diretta della frequenza fondamentale del deposito di copertura del substrato sismico (deposito con $V_s > 750-800$ m/sec) con tecniche di acquisizione in sismica passiva e metodo di interpretazione delle curve H/V (o metodo di Nakamura) le quali possono fornire

una più attendibile stima della funzione di amplificazione che, in prima approssimazione, può essere così definita:

$$A_{max}(f_1) = \frac{1}{\frac{1}{I} + \frac{\pi D}{2}}$$

dove

I= impedenza sismica e D= fattore di smorzamento definiti in precedenza.

Tecniche di acquisizione a stazione singola in sismica passiva

In occasione della scossa principale del terremoto abruzzese sia a L'Aquila città sia in numerosi centri minori della valle del F. Aterno nel 2009 ma anche in occasione delle scosse sismiche del Molise (S. Giuliano di Puglia, 2002) ed ancora, in precedenza, nel terremoto di Città del Messico (1985) si sono osservate sensibili disomogeneità nel danneggiamento di edifici posti anche a breve distanza.

Tale aspetto, di non secondaria importanza, ad oggi ancora molto studiato, è imputabile al verificarsi in alcune zone colpite dal sisma (caratterizzate ad es. da una stessa classe di categoria di suolo – A, B, C, D, E secondo NTC 2018) di fenomeni di amplificazione sismica locale dovuti a particolari condizioni geologiche e/o topografiche presenti nel sottosuolo del sito d'interesse e/o al verificarsi dei cosiddetti fenomeni di “doppia risonanza” ossia di una situazione particolare e molto pericolosa in cui la FREQUENZA FONDAMENTALE (f_1) propria di ogni deposito si avvicina o corrisponde al 1° modo di vibrare di ogni singolo edificio.

La Frequenza Fondamentale del suolo è definibile in base alle caratteristiche proprie (spessore degli strati e valore di V_s di ogni singolo strato sino al raggiungimento del bedrock sismico) e si misura mediante indagini sismiche con tecnica passiva (cioè senza energizzare il suolo) sfruttando il “rumore sismico” ambientale sempre presente in natura (onde oceaniche, onde di battaglia, vento - variazioni atmosferiche ed attività antropiche) che alle volte può disturbare le normali acquisizioni in sismica attiva (cioè quelle ove si energizza artificialmente il suolo nel punto di misura).

La misura diretta di f_1 può consentire, quindi, di rilevare eventuali picchi di frequenza propri del sottosuolo, cioè di individuare le frequenze cui può vibrare il suolo in caso di sisma consentendo così di valutare a priori (prima del verificarsi dell'evento sismico) se la struttura in progetto, dotata di una frequenza propria

legata alla sua geometria e morfologia, è caratterizzata da frequenze che sono vicine a quelle fondamentali del suolo.

In caso di edificio già esistente, se ne può verificare la frequenza mediante misure strutturali di frequenza dirette che comparate a quelle del suolo possono indicare se sono eventualmente possibili fenomeni di “doppia risonanza” i quali, in caso di sisma, possono determinare danni anche rilevanti alle strutture.

Fisicamente si misura l'amplificazione delle onde sismiche dovuta alla risonanza delle coltri sedimentarie.

Sono, comunque, sempre necessari studi integrativi ed aggiuntivi per consentire di valutare gli eventuali effetti topografici e/o di amplificazione di tipo bidimensionale.

La misura delle frequenze fondamentali del suolo si basa sul metodo codificato da Nakamura o dei rapporti spettrali H/V ed è, quindi, una tecnica di supporto ed a completamento delle altre tecniche “tradizionali” per la misura della propagazione delle onde S nel sottosuolo (masw, Down-hole, Re.Mi., ecc.) necessarie per la definizione delle categorie di suolo e per la conoscenza della stratificazione sismica del sottosuolo, come da NTC 2018.

Il metodo in sintesi si basa sull'analisi delle curve H/V.

All'approssimarsi del PERIODO FONDAMENTALE (di un deposito) per le onde S, la componente verticale (V) del moto si annulla facendo sì che il rapporto fra componente orizzontale e verticale del moto (H/V ratio) diventi molto grande (teoricamente tendente a ∞).

E', quindi, possibile desumere il PERIODO FONDAMENTALE del sottosuolo da misure di *rumore sismico* individuando il maggior rapporto H/V dai grafici di acquisizione in sismica passiva.

Acquisizione ed analisi dei dati

Per l'acquisizione del rumore sismico o microtremore sismico è stato utilizzato uno degli strumenti più diffusi e certificati per l'acquisizione di dati in sismica passiva a stazione singola, denominato “TROMINO”® coperto da brevetto internazionale.

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 delle vibrazioni su strutture (norma Din 4150 e UNI 9916).

Dal punto di vista tecnico, si tratta di un sismografo appositamente studiato per il rilievo del microtremore sismico, nell'intervallo di frequenze fra 0,1 e 200 Hz, mediante l'impiego di masse strumentali molto ridotte con una struttura rigida non risonante e costruita con materiali non diffragenti.

I sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore e dinamica ≥ 23 bit. Queste caratteristiche strumentali consentono un'elevata accuratezza nella misura dei dati, maggiore di 10^{-4} , sulle componenti spettrali maggiori/uguali a 0,1 Hz.

In pratica, occorre installare solidalmente al suolo il Tromino® e misurare il tremore sismico con durata di registrazione adeguata alla frequenza minima di interesse per il sito in analisi.

Per l'area di interesse si è ipotizzato di misurare la frequenza della coltre di copertura del bedrock sismico con spessore massimo comunque non superiore a 300 metri; da ciò è derivata una stima (in prima approssimazione) della frequenza dell'ordine di circa 0.5 Hz che equivale ad un periodo $T = 2$ sec.

Per poter "osservare" e registrare con Tromino® queste frequenze, è necessario mantenere in acquisizione lo strumento per una durata minima teorica di almeno 2 secondi; dal momento che il metodo si basa su tecniche di risoluzione spettrale elevata, il segnale viene acquisito su finestre temporali 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 analizzare dati con durata di acquisizione $> 15\div 20$ min.

Il risultato dell'acquisizione eseguita nel sito di interesse è stato analizzato mediante il codice di calcolo 'Grilla', appositamente sviluppato da Micromed, che consente di archiviare, analizzare e revisionare il segnale misurato in sito.

Tale software consente di realizzare approfondite analisi spettrali di base e procedure per analisi HVSR secondo metodi codificati dal progetto di ricerca SESAME (2004).

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);
- eliminazione delle sottofinestre con contenuti TRANSIENTI, cioè le porzioni di segnale contenenti transienti legati a sorgenti vicine al sensore, ossia passi o passaggi di autoveicoli (in genere la sequenza completa comporta la suddivisione dell'acquisizione in sottofinestre di 40 sec.);

- 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 per 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 verticale e E - O verticale;
- stima del valore medio dei rapporti spettrali per ciascuna sottofinestra e definizione della deviazione standard;
- identificazione nelle curve H/V dei picchi statisticamente più significativi e stima dell'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 d'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.

Il risultato dell'elaborazione è il grafico dei Rapporti spettrali del suolo relativo al sito di interesse (si veda figura 11) nella quale si identifica un picco principale con frequenza (f) pari a circa **22.19 ± 2.8 Hz** (nell'intervallo 0.0 – 64.0 Hz) che corrisponde ad un periodo di oscillazione caratteristico del sito pari a **T = 0,045 secondi.**

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

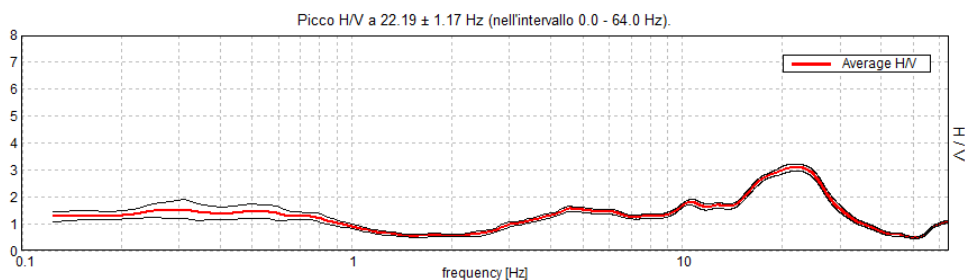


Fig. 11: diagramma dei rapporti spettrali relativo al sito in esame

Le modalità esecutive ed interpretative del rilievo HVSR realizzato, l'ubicazione e gli esiti dello stesso sono descritti nell'allegato rapporto tecnico a cura della Ditta TECNOGEOFISICA S.n.c. (Allegato 7).

7. ASSETTO LITOSTRATIMETRICO

L'esame delle risultanze delle indagini eseguite ha consentito la ricostruzione, per l'areale oggetto di studio, di un assetto litostratimetrico così schematizzabile:

Unità Litologica 1 da m. 0.00 a m. 0.40÷0.60 circa da piano riferimento terreno vegetale;

Unità Litologica 2 da m. 0.40÷0.60 a m. 2.80÷3.60 circa da p.r.
alternanze di argille, argille limose e limi argillosi;

Unità Litologica 3 da m. 2.80÷3.60 a m. 4.00 ed oltre da p.r.
deposito ghiaioso - ciottoloso in prevalente matrice argilloso – limosa e limoso - argillosa in percentuale variabile. Stratigrafie di pozzi idrici realizzati nella zona documentano la continuità di tale litozona incoerente grossolana fino alla profondità di almeno m. 15.0 da p.c..

Al momento dell'indagine, novembre 2020, non è stata rilevata la presenza di falda fino alla massima profondità investigata.

8. MODELLO GEOLOGICO

La zona comprendente l'areale oggetto di studio, essendo inserita nella fascia di alta pianura compresa fra il T. Baganza, ad Est, ed il F. Taro, ad Ovest, è caratterizzata da morfologia pianeggiante, con quote degradanti con debolissimo gradiente in direzione NE, e da ottime condizioni di stabilità; l'unico elemento morfologico di rilievo in essa presente è rappresentato dall'arginatura fonoassorbente posta in fregio al lato Sud della tangenziale di Collecchio.

Nello specifico, la morfologia dei terreni in esame, attualmente destinati ad area verde, è del tutto pianeggiante ad eccezione della zona parco pubblico laddove sono presenti lievi ondulazioni conseguenti ad operazioni di rimodellamento morfologico; la quota media dei medesimi è pari a m. 111.5 s.l.m..

I corpi idrici principali della zona sono rappresentati dai già citati T. Baganza e F. Taro che scorrono, nell'ordine, oltre 4.0 km ad Est e circa 3.5 km ad Ovest dei terreni oggetto di studio senza interferire negativamente, dal punto di vista idraulico, con i medesimi come documentato dalla Tav. C.1.6 "Tutela ambientale, paesistica e storico – culturale" del P.T.C.P. e dalla Tav. PSC_2 aggiornamento 2017 del Piano Strutturale Comunale di Collecchio le quali evidenziano, inoltre,

l'inserimento degli stessi in "zona di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei"; l'assenza di rischio idraulico a carico dell'area interessata dall'Accordo Operativo è evidenziata anche nella Tav. C.4.1 "Carta del rischio ambientale e dei principali interventi di difesa" del P.T.C.P.

L'idrografia minore della zona è costituita dal Rio Manubiola, classificato quale "corso d'acqua meritevole di tutela" e quale "corso d'acqua pubblico" rispettivamente nella tavola del P.T.C.P ed in quella del P.S.C. in precedenza citate, che scorre in fregio al lato Sud di Strada Nazionale Est e dalle opere idrauliche di urbanizzazione.

A completamento di quanto in precedenza esposto in merito al rischio idraulico si precisa che all'areale in esame non sono attribuiti scenari di pericolosità nella Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti 199NE Parma Sud - Ovest in scala 1:25.000 del P.G.R.A. Distretto Padano della R.E.R. (Direttiva Alluvioni 2019) riferita sia all'Ambito: reticolo naturale principale e secondario (RP) che all'Ambito: reticolo secondario di pianura (RSP – corsi d'acqua secondari di pianura gestiti da Consorzi di bonifica e irrigui nella medio – bassa pianura padana).

Secondo quanto riportato nella Cartografia Geologica della Regione Emilia – Romagna, i terreni presenti in corrispondenza dell'areale oggetto di studio appartengono al Subsistema di Ravenna (Pleistocene Sup. – Olocene) localmente rappresentato da depositi alluvionali terrazzati litologicamente costituiti da ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi.

Lo spessore massimo dell'Unità è inferiore a 20.0 metri ed il suo tetto è rappresentato dalla superficie deposizionale, in gran parte relitta, corrispondente con il piano topografico.

L'assetto litostratimetrico ricostruito per l'areale oggetto di studio può essere schematizzato secondo quanto di seguito riportato:

Unità Litologica 1 da m. 0.00 a m. 0.40÷0.60 circa da piano riferimento terreno vegetale;

Unità Litologica 2 da m. 0.40÷0.60 a m. 2.80÷3.60 circa da p.r.
alternanze di argille, argille limose e limi argillosi;

Unità Litologica 3 da m. 2.80÷3.60 a m. 4.00 ed oltre da p.r.
deposito ghiaioso - ciottoloso in prevalente matrice argilloso – limosa e limoso - argilloso in percentuale variabile. Stratigrafie di pozzi idrici realizzati nella zona documentano la continuità di tale litozona incoerente grossolana fino alla profondità di almeno m. 15.0 da p.c..

Al momento dell'indagine, novembre 2020, non è stata rilevata la presenza di falda fino alla massima profondità investigata.

Dal punto di vista idrogeologico, il sistema acquifero della pianura parmense (Bacino Idrografico della Pianura Padana Parmense) è, secondo il modello concettuale dell'acquifero fino ad oggi adottato a scala regionale e ben rappresentato nella specifica bibliografia, pressoché coincidente con l'intero edificio sedimentario alluvionale, costituito da corpi geologici a granulometria ghiaiosa e sabbiosa di età Quaternaria depositati, nell'area in questione, dai corsi d'acqua appenninici.

Il limite inferiore dell'acquifero è rappresentato dalla superficie di interfaccia acque dolci/acque salate la cui conformazione è controllata dai corrugamenti del substrato marino.

Localmente, lo spessore complessivo dei depositi quaternari continentali e transizionali è pari a m. 110÷120 circa.

L'edificio si compone di strutture perlopiù nastriformi e lentiformi interdigitate e giustapposte in modo disordinato, allungate in direzione Sud – Nord nel senso della corrente che le ha deposte, prevalentemente costituite da sedimenti di granulometria eterogenea, variabile da termini grossolani ghiaioso – ciottolosi a termini fini limoso – argillosi, tipici di una sedimentazione fluviale rapida e discontinua nello spazio e nel tempo.

Il sistema acquifero si configura come monostrato indifferenziato con falda libera (zona apicale – mediana di conoide) che, verso Nord, diviene compartimentato con falda confinata a partire dalla zona distale di conoide.

L'acquifero dell'alta e media pianura parmense deriva dalla giunzione e sovrapposizione dei conoidi alluvionali dei corsi d'acqua appenninici; i sedimenti alluvionali insistono, perlopiù, su depositi di facies transizionali formati prevalentemente da alternanze di sabbie, limi ed argille cui si intercalano ghiaie e conglomerati.

Nelle aree di alta pianura la ricarica dell'acquifero avviene, essenzialmente, ad opera delle dispersioni di subalveo dei corsi d'acqua e dell'infiltrazione delle piogge efficaci; in tali aree si configurano, pertanto, condizioni di falda libera.

All'altezza della Via Emilia (zona mediana delle conoidi alluvionali) la maggior estensione e continuità areale delle coperture a granulometria fine (limite superiore dell'acquifero) nonché di intercalazioni di livelli argillosi e/o limosi impermeabili o semipermeabili determinano condizioni di acquifero compartimentato con falda in pressione.

Nell'alta pianura possono ritrovarsi anche locali "falde sospese" impostate entro livelli permeabili o semipermeabili arealmente ridotti e discontinui.

Facendo riferimento allo schema proposto ed adottato dalla Regione Emilia Romagna, basato sui concetti di stratigrafia sismica e sequenziale, con definizione di Unità Idrostratigrafiche Sequenziali di diverso rango (UIS), ovvero unità stratigrafiche ad omogenee caratteristiche idrologiche, comprensive di un livello geologico basale, a ridotta permeabilità (aquitard) o pressoché impermeabile (aquiclude), arealmente continue e strettamente connesse alle Sequenze Deposizionali stesse, la zona comprendente l'area in esame è contraddistinta dalla presenza dei depositi del Sintema Emiliano Superiore (Pleistocene Medio - Olocene) corrispondenti al Gruppo Acquifero A, rappresentati da ghiaie e conglomerati, sabbie e peliti di terrazzo e conoide alluvionale, organizzati in strati lenticolari di spessore variabile, in contatto erosivo e discordante sulle unità più antiche.

Trattasi del Gruppo acquifero più superficiale rappresentante la primaria fonte di approvvigionamento idrico; esso affiora lungo il margine pedecollinare e presenta potenze variabili.

L'esame delle isopieze riportate nella Carta della Vulnerabilità all'Inquinamento dell'Acquifero Principale in scala 1:50.000, redatta da C.N.R., Amm.ne Prov.le di Parma – Assessorato Ambiente e Difesa del Suolo, A.S.C.A.A.P., Amm.ni Com.li di Colorno, Mezzani, Sissa, Sorbolo, Torrile e Trecasali ha consentito di verificare che, nella zona in esame, caratterizzata da un medio - alto grado di vulnerabilità, la falda presenta una soggiacenza media del livello statico pari a m. 22.00÷23.0 circa da piano campagna, dato in accordo con quanto emerso dalla consultazione di dati piezometrici a disposizione; tale carta ha permesso, altresì, di riscontrare che la zona comprendente l'area oggetto di studio presenta un assetto piezometrico con prevalente direzione di deflusso sotterraneo verso NW.

Si precisa, a tal proposito, che l'elaborato grafico del Quadro Conoscitivo del P.S.C. Tav. QC-GEO-03 "Carta idrogeologica e della vulnerabilità degli acquiferi" evidenzia, per contro, una soggiacenza della falda pari a m. 6.00÷7.00 circa da p.c.; esso mostra, inoltre, una prevalente direzione di deflusso sotterraneo verso Nord e l'appartenenza dell'area in esame ad una zona contraddistinta da vulnerabilità a sensibilità elevata.

A completamento di quanto sopra esposto relativamente alla vulnerabilità dell'areale oggetto di studio, si sottolinea che al medesimo sono attribuite una vulnerabilità a sensibilità attenuata nella "Nuova Carta della Vulnerabilità degli Acquiferi" in scala 1:100.000, redatta da Provincia di Parma, Assessorato

Ambiente e Difesa del Suolo – Assessorato Agricoltura, ed una vulnerabilità a sensibilità elevata sia nella carta “Indirizzi per la tutela delle acque” in scala 1:100.000, edita da Provincia di Parma – Assessorato Ambiente e Difesa del Suolo, che nella Tav. 6 “Carta degli indirizzi ed individuazione degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane, degli scarichi produttivi che recapitano in CIS, delle località che presentano scaricatori di piena e reti fognarie non trattate dalla pubblica depurazione” in scala 1:100.000 del P.P.T.A. (2007).

L'esame della Tav. 15 “Le aree di salvaguardia per la tutela delle acque potabili ed emergenze naturali” in scala 1:100.000 del P.P.T.A. (2007) ha permesso di riscontrare che i terreni interessati dall'Accordo Operativo appartengono alla Zona di protezione Settore A delle acque sotterranee, caratterizzata da ricarica diretta della falda; tale classificazione è riportata anche nella Tav. QC-GEO-HZ02 “Carta della pericolosità geoambientale” a corredo della relazione geologica del Quadro Conoscitivo del P.S.C..

9. RISPOSTA SISMICA LOCALE

Ai fini della definizione dei fattori di amplificazione sismica F.A., riferiti, come precisato al punto A2.1 dell'Allegato 2 D.G.R. 29 Aprile 2019 n. 630 “*Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. n. 24/20017)*”, al Suolo A di cui al D.M. 17.01.2018 “*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*” punto 3.2.2, sono stati presi a riferimento le risultanze dell'indagine geofisica descritta nel paragrafo 6.3 e quanto riportato nello specifico studio di Microzonazione Sismica del Comune di Collecchio – 2° e 3° livello di approfondimento.

Si precisa che la necessità di valutare i fattori di amplificazione F.A. è correlata all'inserimento dell'areale oggetto di studio nell'ambito di una zona interessata dalla presenza di prevalenti depositi alluvionali aventi potenza \geq m. 3.0 (si veda allegato A1 alla succitata Delibera).

L'elaborazione dell'acquisizione Masw eseguita sul sito in esame ha consentito la definizione del diagramma Shear – Wave Velocity (m/s) vs. Depth riportato in allegato 7 e la valutazione del parametro

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \quad (1)$$

da intendersi come **la velocità equivalente** di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 metri di sottosuolo; nella relazione (1) h_i e V_i indicano, nell'ordine, 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 primi 30.0 metri di profondità.

Il valore di $V_{s,30}$ determinato è pari a **380 m/sec**.

Per la stima dei F.A. della P.G.A. e dell'intensità spettrale sono state prese in considerazione le tabelle di cui al punto A2.1.2 della D.G.R. 29 Aprile 2019 n. 630 riferite all'ambito **Pianura Padana e Costa Adriatica** e, più in particolare, al **settore Margine di tipo A** caratterizzato dalla presenza di *"terreni fini o grossolani poco consolidati, di spessore non superiore a 30 metri, sovrastanti orizzonti prevalentemente grossolani a comportamento più rigido (indicativamente con valori di V_s media almeno doppio rispetto a quello dei sedimenti sovrastanti)."*

In considerazione del valore di $V_{s,H}$ determinato (paragrafo A2.1 della D.G.R. sopra menzionata), ossia **307 m/s** assumendo H pari a m. 16.0 circa, sono stati definiti i

Fattori di Amplificazione per l'areale oggetto di studio:

- **F.A. per P.G.A.** (accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T = 0$): **1.8**;
- **F.A. SA1 per l'intensità spettrale in accelerazione (con $0.1s \leq T \leq 0.5s$):** **1.9**;
- **F.A. SA2 per l'intensità spettrale in accelerazione (con $0.4s \leq T \leq 0.8s$):** **2.0**;
- **F.A. SA3 per l'intensità spettrale in accelerazione (con $0.7s \leq T \leq 1.1s$):** **1.9**;
- **F.A. SI1 per l'intensità spettrale in velocità (con $0.1s \leq T \leq 0.5s$):** **1.9**;
- **F.A. SI2 per l'intensità spettrale in velocità (con $0.5s \leq T \leq 1.0s$):** **2.0**.

Il valore locale di P.G.A. (accelerazione massima orizzontale su suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A), calcolato nel baricentro della zona edificabile dell'areale oggetto dell'Accordo Operativo e risultato pari a **0.157 g**, è stato determinato secondo quanto riportato nella D.G.R. n. 2193; nel dettaglio, è stata eseguita una media pesata dei valori di a_{refg} relativi ai punti della griglia con passo 0.05° più prossimi al sito, considerando la seguente formula

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

nella quale:

p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;

p_i è il valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;

d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.

I punti della succitata griglia regionale sono derivati da quelli della griglia delle mappe interattive della pericolosità sismica dell'I.N.G.V.; i valori di accelerazione massima orizzontale (a_{refg}) espressa in frazioni di g con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni corrispondente al periodo di ritorno $T_R = 475$ anni sono stati elaborati da I.N.G.V..

L'accelerazione massima orizzontale al suolo attesa sul sito in esame, considerando il fattore di amplificazione stratigrafica F.A. della P.G.A. determinato, risulta essere, pertanto, pari a:

$P.G.A. \times F.A. \times S_T = 0.157 \text{ g} \times 1.8 \times 1 = \mathbf{0.283 \text{ g}}$; il fattore S_T utilizzato è da intendersi come coefficiente di amplificazione topografica che, date le caratteristiche morfologiche del sito, deve essere considerato pari a 1 poiché, secondo quanto riportato nel paragrafo A2.2 dell'Allegato A.2 della D.G.R. n. 630 del 29.04.2019, gli effetti topografici possono essere trascurati

Si precisa che il valore del fattore di amplificazione F.A. sopra riportato è direttamente confrontabile con quanto definito nello studio di Microzonazione Sismica di 3° Livello del Comune di Collecchio nonostante quest'ultimo sia stato redatto seguendo i dettami della precedente normativa (D.G.R. 21 Dicembre 2015 n. 2193 "Art. 16, comma 1 della L.R. 20/2000 – 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).

Nella seguente figura 12 si riporta uno stralcio non in scala della dell'elaborato "Carta di Microzonazione Sismica FAPGA" (3° livello) del Comune di Collecchio dal cui esame si evince che il Fattore di Amplificazione atteso per la zona comprendente l'areale oggetto di studio è pari a $1.7 \div 1.8$.

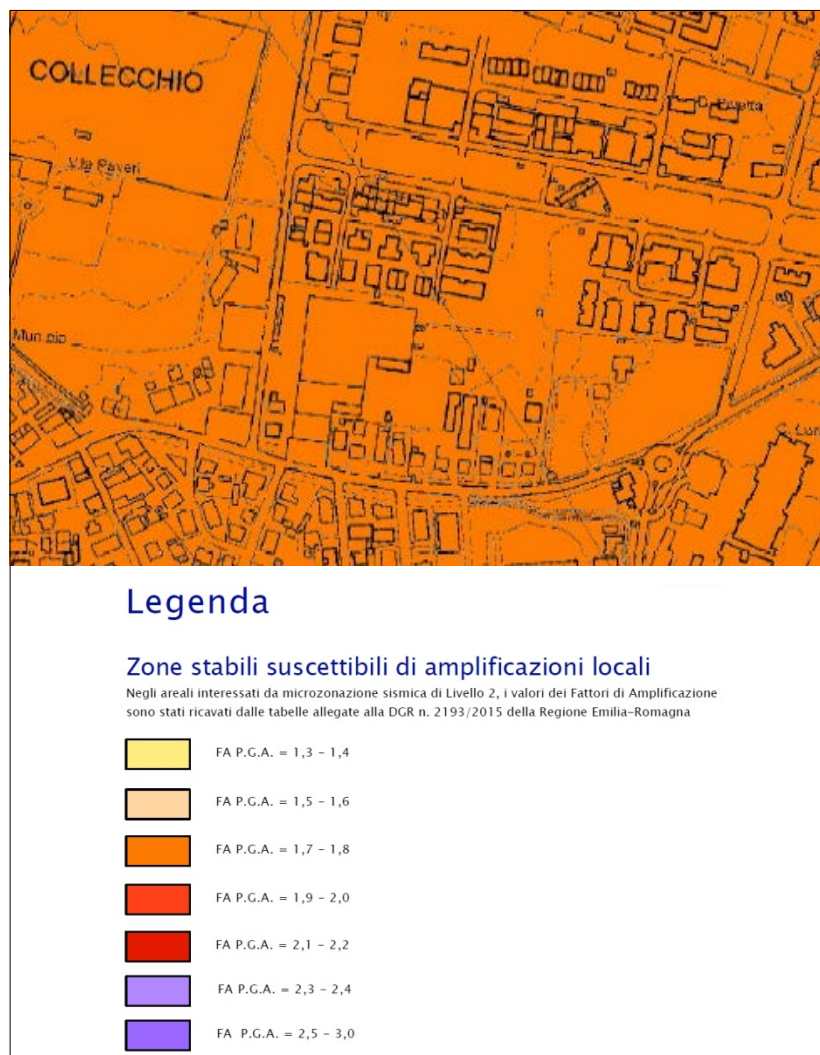


Fig. 12: stralcio "Carta di Microzonazione Sismica FAPGA" (3° livello)

10. CONCLUSIONI

Dalla sintesi delle risultanze dello studio effettuato in rapporto alle problematiche geologiche, geomorfologiche, idrologiche, idrostratigrafiche / idrogeologiche e sismiche inerente l'areale sotteso dall'Accordo Operativo emerge che lo stesso è idoneo agli scopi di progetto.

L'assetto litostratigrafico medio caratterizzante i luoghi consentirà di adottare fondazioni di tipologia diretta poggianti sulla litozona argilloso – limosa (Unità Litologica 2) o sul deposito ghiaioso – ciottoloso (Unità Litologica 3) a seconda delle caratteristiche costruttive degli edifici residenziale da realizzarsi.

Tali indicazioni dovranno, tuttavia, essere puntualmente verificate in fase progettuale tenendo conto sia delle caratteristiche e peculiarità delle strutture da realizzarsi sia delle risultanze di specifiche indagini geognostiche da eseguirsi per quanto concerne la parametrizzazione geotecnica dei terreni presenti nel sottosuolo.

Sotto il profilo della pericolosità sismica l'area presenta quali potenziali effetti di sito attesi legati alle caratteristiche geologiche, litostratimetriche ed idrogeologiche del sottosuolo unicamente l'amplificazione stratigrafica in quanto, per quel che concerne la liquefazione, l'assenza nel sottosuolo di litologie potenzialmente suscettibili del fenomeno, ne esclude l'occorrenza.

Le risultanze delle prove penetrometriche eseguite e delle indagini consultate consentono, inoltre, di escludere fenomeni di addensamento a carico della litozona ghiaioso - ciottolosa in corrispondenza di uno shock sismico.

Il valore locale di P.G.A. (accelerazione massima orizzontale su suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A) risulta essere pari a **0.157 g**; **l'accelerazione massima orizzontale al suolo attesa sul sito in esame**, considerando il coefficiente sito - specifico di amplificazione stratigrafica F.A. della P.G.A. ed un coefficiente di amplificazione topografica S_T pari a 1, si attesta su un valore di **0.283 g**.

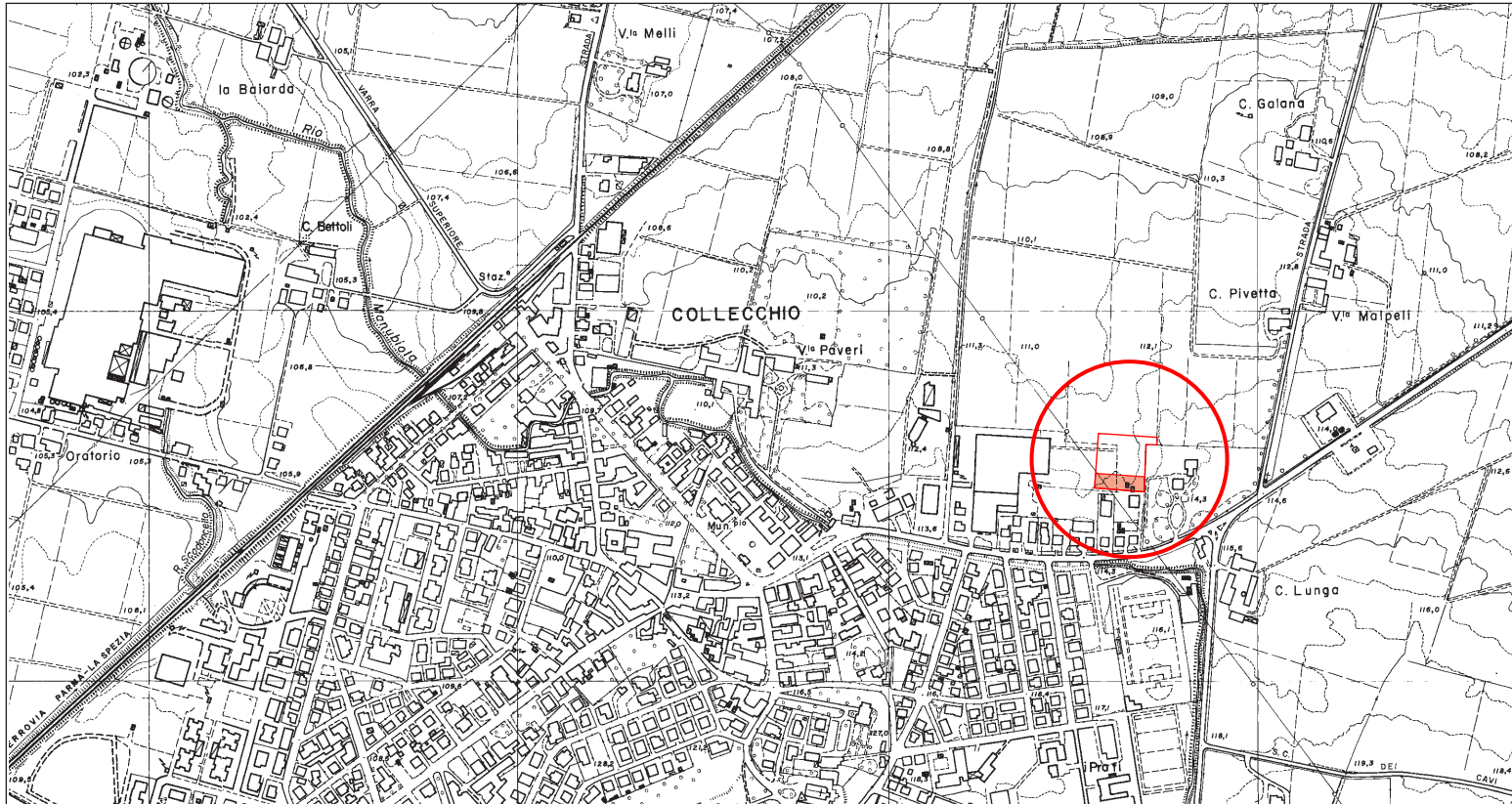
Dal punto di vista ambientale, si rimarca che l'areale in esame ricade in zona con vulnerabilità a sensibilità elevata; per questa ragione e per la sua appartenenza sia ad una zona di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei che alla zona di protezione settore A delle acque sotterranee, si rimanda ai disposti dell'Art. 23 delle N.T.A. del P.T.C.P..

Si ribadisce che la definizione delle caratteristiche geotecniche di dettaglio per il volume significativo dei terreni interessati da futura edificazione nonché la determinazione delle caratteristiche sismiche sito - specifiche dovranno essere eseguite, in conformità a quanto previsto dal D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni", in fase progettuale esecutiva.

Felino, novembre 2020

Il Geologo:
Dott. Paolo Panicieri

Allegati



Stralcio C.T.R. Sezione 199030 "Collecchio"

scala 1:10.000

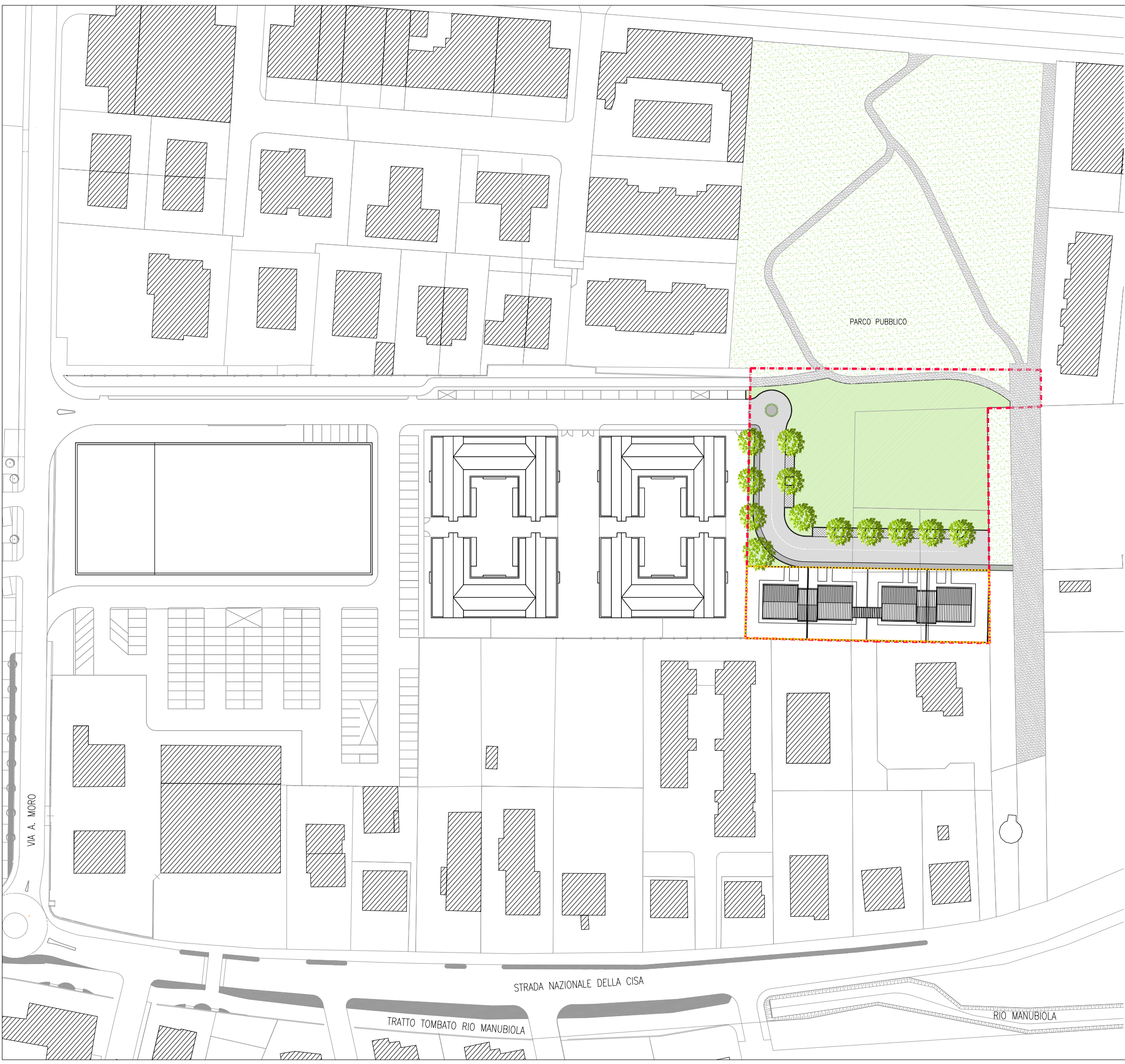


Perimetro Areale Accordo di Programma



Area edificabile dell'Accordo di Programma

Planimetria generale di progetto Accordo Operativo



	AREA DI INTERVENTO	MQ 5171.40
	LOTTO PRIVATO	MQ 1348.00
	VERDE PUBBLICO	MQ 2409.02
	PARCHEGGI	MQ 105.05
	STRADE	MQ 747.65
	MARCIAPIEDI	MQ 147.95
	VERDE PUBBLICO ESISTENTE	
	PERCORSI PEDONALI ESISTENTI	

Località:

PROVINCIA DI PARMA
COMUNE COLLECCHIO

Titolo:

ACCORDO OPERATIVO
EDIFICI RESIDENZIALI / BIFAMILIARI
PROSPICIENTI PARCO PUBBLICO DI VIA SARAGAT
CON PROLUNGAMENTO DI VIA BRUXELLES

Proprietà:

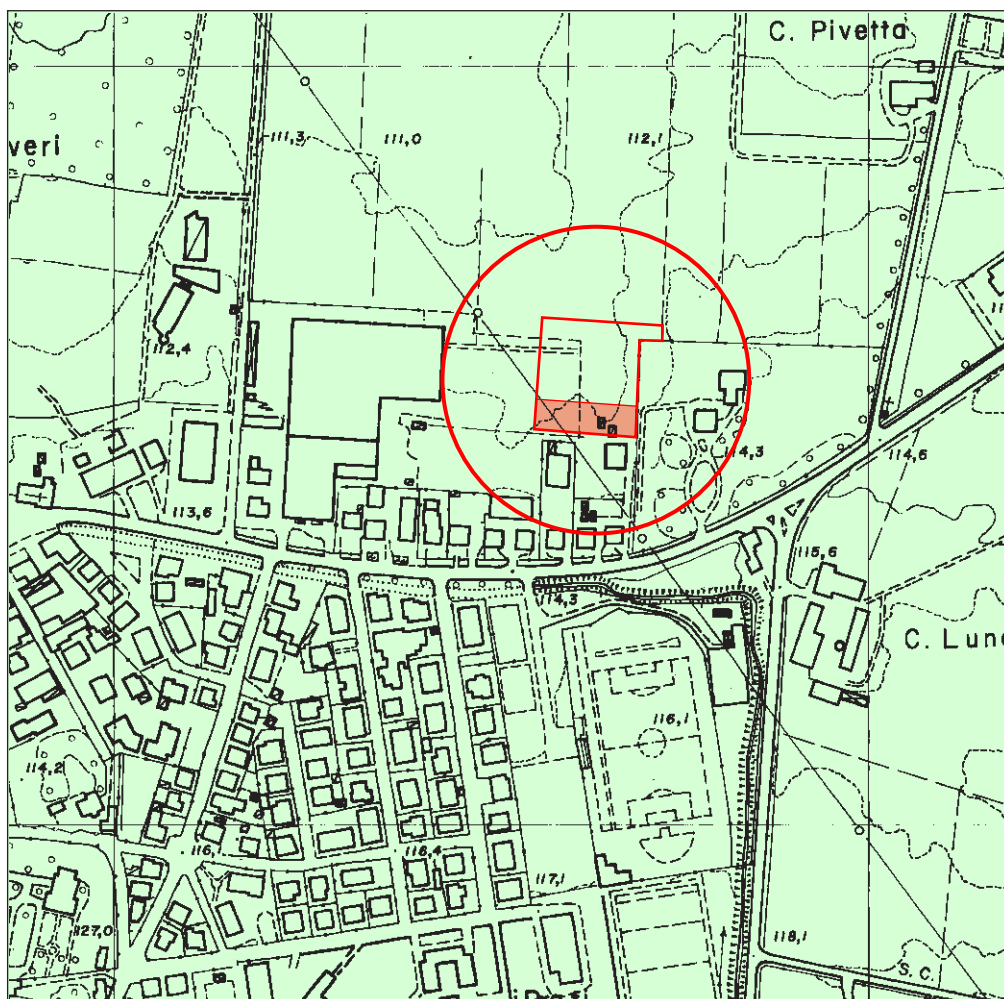
IMIT SRL (P.Iva 02863420341)
Sig. PAOLO CASOLI

Tecnici:

ARCH. VITTORIO GUASTI
Via Clivio 10 - 43058 - Sorbolo (PR)
telefono: 0521 493782
mail: v.guasti@vg-architettura.it

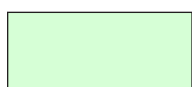
ING. GIUSEPPE TERZI
Via Matteotti 3 - 43044 - Collecchio (PR)
telefono: 0521 802661
mail: giuseppe@studioterzi.it

Elaborato:			Scale:		
PLANIMETRIA GENERALE DI PROGETTO			1:500		
			Cod.Elab.:		
			TAV.N°02		
Rev.:	Data:	Eseguito:	Rev.:	Data:	Eseguito:
00	Luglio 2020	Arch. Guasti			

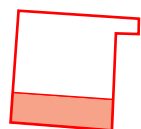


Inquadramento geologico

scala 1:5.000



Subsistema di Ravenna



Areale Accordo Operativo

Ubicazione schematica prove penetrometriche



DPSH 2

CPT 1

Risultanze prova penetrometrica CPT

PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 2

2.01PG05-083

- committenti : IMIT S.r.l. - Sig. Paolo Casoli
- lavoro : Accordo Operativo per edifici residenziali/bifamiliari
- località : Collecchio (PR)
- note :

- data : 18/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm ²				punta	laterale	kg/cm ²		
0,20	----	----	--	0,53	----	1,80	87,0	152,0	87,0	3,80	23,0
0,40	15,0	23,0	15,0	1,53	10,0	2,00	105,0	162,0	105,0	3,60	29,0
0,60	22,0	45,0	22,0	2,40	9,0	2,20	99,0	153,0	99,0	4,33	23,0
0,80	59,0	95,0	59,0	3,40	17,0	2,40	76,0	141,0	76,0	5,27	14,0
1,00	55,0	106,0	55,0	3,93	14,0	2,60	67,0	146,0	67,0	6,00	11,0
1,20	51,0	110,0	51,0	3,80	13,0	2,80	77,0	167,0	77,0	2,00	38,0
1,40	39,0	96,0	39,0	2,93	13,0	3,00	320,0	350,0	320,0	-----	----
1,60	48,0	92,0	48,0	4,33	11,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann \varnothing = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

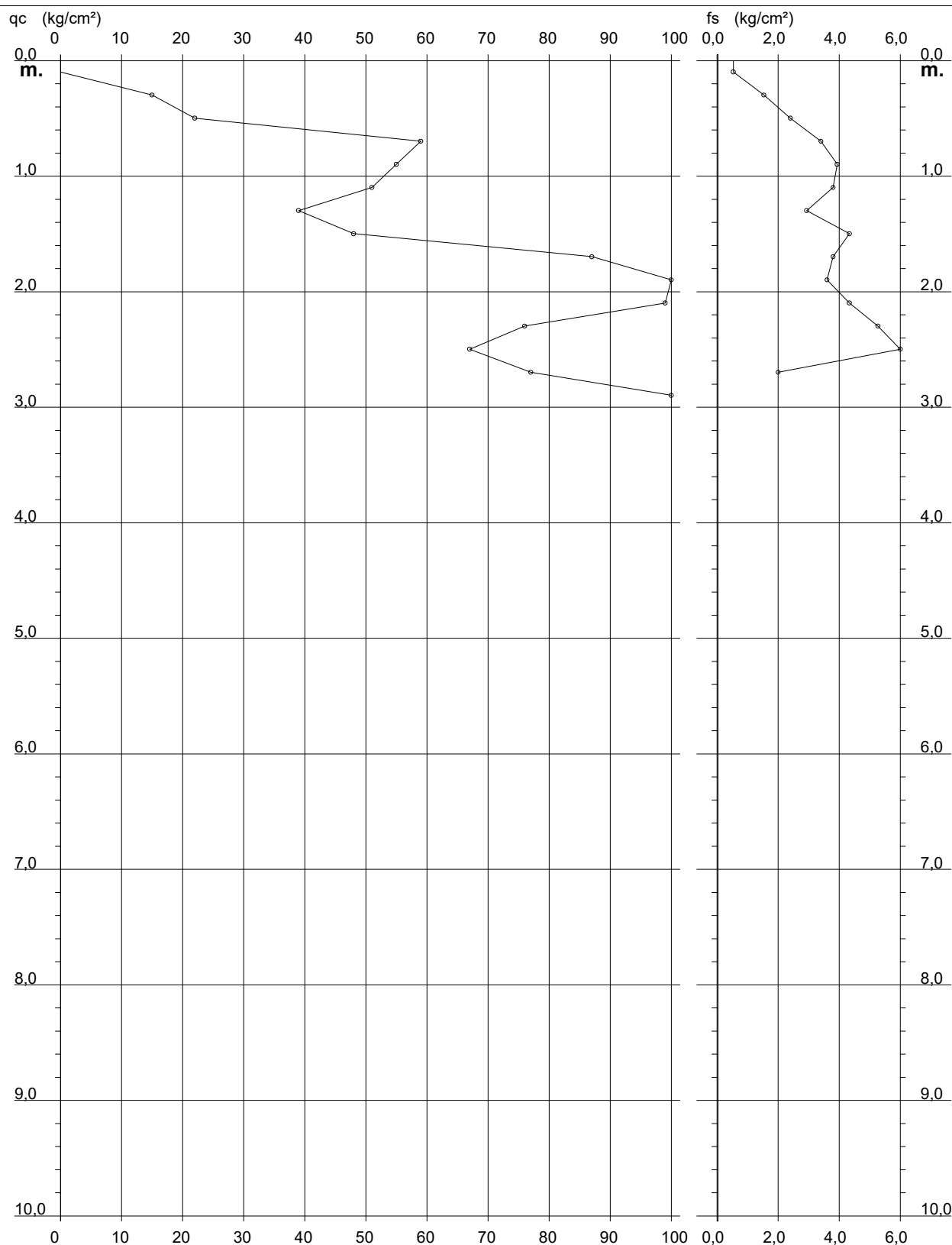
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.01PG05-083

- committenti : IMIT S.r.l. - Sig. Paolo Casoli
- lavoro : Accordo Operativo per edifici residenziali/bifamiliari
- località : Collecchio (PR)

- data : 18/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



PROVA PENETROMETRICA STATICA TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 2

2.01PG05-083

- committenti : IMIT S.r.l. - Sig. Paolo Casoli
- lavoro : Accordo Operativo per edifici residenziali/bifamiliari
- località : Collecchio (PR)
- note :

- data : 18/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

NATURA COESIVA										NATURA GRANULARE											
Prof. m	qc kg/cm ²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m ³	d'vo kg/cm ²	Cu kg/cm ²	OCR (-)	Eu50 kg/cm ²	Eu25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm ²	E'25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	15	10	2/III	1,85	0,07	0,67	98,0	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	22	9	4/II	1,85	0,11	0,85	79,5	144	216	66	74	38	40	42	44	40	28	0,170	37	55	66
0,80	59	17	4/II	1,85	0,15	1,97	99,9	334	502	177	100	42	43	45	46	43	32	0,258	98	148	177
1,00	55	14	4/II	1,85	0,19	1,83	99,9	312	467	165	93	41	42	44	45	42	31	0,232	92	138	165
1,20	51	13	4/II	1,85	0,22	1,70	80,0	289	434	153	86	40	42	43	45	41	31	0,208	85	128	153
1,40	39	13	4/II	1,85	0,26	1,30	47,2	221	332	117	73	38	40	42	44	39	30	0,167	65	98	117
1,60	48	11	4/II	1,85	0,30	1,60	51,7	272	408	144	76	39	40	42	44	39	31	0,179	80	120	144
1,80	87	23	4/II	1,85	0,33	2,90	93,9	493	740	261	94	41	43	44	46	41	33	0,237	145	218	261
2,00	105	29	4/II	1,85	0,37	3,50	99,9	595	893	315	98	42	43	44	46	42	34	0,251	175	263	315
2,20	99	23	4/II	1,85	0,41	3,30	85,9	561	842	297	94	41	42	44	45	41	34	0,235	165	248	297
2,40	76	14	4/II	1,85	0,44	2,53	55,4	431	646	228	82	40	41	43	45	39	33	0,198	127	190	228
2,60	67	11	4/II	1,85	0,48	2,23	42,8	380	570	201	76	39	40	42	44	39	32	0,178	112	168	201
2,80	77	38	3:::	1,85	0,52	--	--	--	--	--	79	39	41	42	44	39	33	0,187	128	193	231
3,00	320	--	3:::	1,85	0,55	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	40	0,258	533	800	960

Risultanze prova penetrometrica DPSH

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : **DPSH (S. Heavy)**

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

CARATTERISTICHE TECNICHE : **DPSH (S. Heavy)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms = 30,00 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	Ma = 8,00 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P1 = 0,80 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,20$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(20) \Rightarrow Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : Nspt = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

M = peso massa battente (altezza caduta H)
P = peso totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 1

- committenti : IMIT S.r.l. - Sig. Paolo Casoli
 - lavoro : Accordo Operativo per edifici residenziali/bifamiliari
 - località : Collecchio (PR)
 - note :

- data : 18/11/2020
 - quota inizio :
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	7,4	----	1	2,00 - 2,20	6	38,6	----	3
0,20 - 0,40	2	14,9	----	1	2,20 - 2,40	5	32,2	----	3
0,40 - 0,60	2	14,9	----	1	2,40 - 2,60	5	32,2	----	3
0,60 - 0,80	4	29,8	----	1	2,60 - 2,80	5	32,2	----	3
0,80 - 1,00	4	27,6	----	2	2,80 - 3,00	5	30,1	----	4
1,00 - 1,20	5	34,5	----	2	3,00 - 3,20	5	30,1	----	4
1,20 - 1,40	6	41,4	----	2	3,20 - 3,40	5	30,1	----	4
1,40 - 1,60	5	34,5	----	2	3,40 - 3,60	5	30,1	----	4
1,60 - 1,80	6	41,4	----	2	3,60 - 3,80	21	126,5	----	4
1,80 - 2,00	6	38,6	----	3	3,80 - 4,00	60	339,8	----	5

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,00 cm²** - D(diam. punta)= **50,50 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(20) [δ = 20 cm]

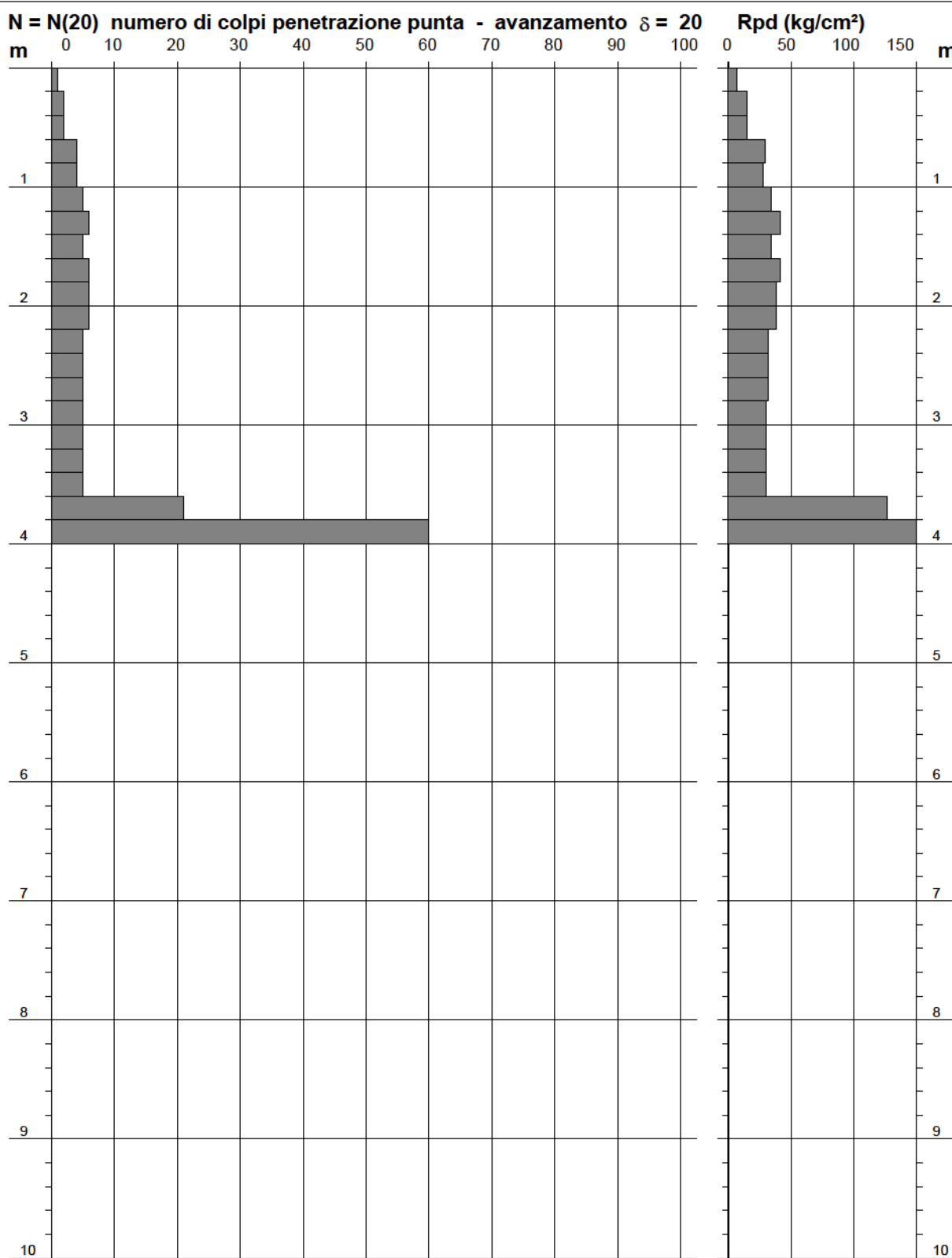
- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd****DIN 1**

Scala 1: 50

- committenti : IMIT S.r.l. - Sig. Paolo Casoli
- lavoro : Accordo Operativo per edifici residenziali/bifamiliari
- località : Collecchio (PR)
- note :

- data : 18/11/2020
- quota inizio :
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1



Acquisizione Masw e rilievo HVSR

COMMITTENTI:
IMIT S.r.l.
Sig. Paolo Casoli

COMMESSA:
Indagine geofisica
Valutazione V_{sn} con metodologia MASW
Indagine HVSr

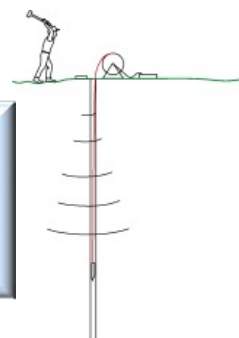
ACCORDO OPERATIVO PER EDIFICI RESIDENZIALI/BIFAMILIARI

LOCALITA':
Collecchio (PR)

DATA:
Novembre 2020

Via S. Cattania, 1/a
41012 Carpi (MO)

info@tecnogeofisica.com
www.tecnogeofisica.com



INDAGINE GEOFISICA

Committenti:

IMIT S.r.l. – Sig. Paolo Casoli

Intervento:

Indagine MASW

Indagine HVSr

Località:

Collecchio (PR)

INDICE

Premessa.....	1
Caratteristiche attrezzatura	2
Indagine MASW	3
Interpretazione dati acquisiti	5
Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto V_{sh} o per il caso in esame V_{s30})	8
Indagine sismica Microtremori (misura HVSr).....	9
Allegati Intervento	11
Ubicazione indagini	11
Scheda Indagine Masw	12
Scheda Indagine HVSr	13
Documentazione fotografica	15

Premessa

Nel mese di novembre 2020, su commissione di **IMIT S.r.l. e del Sig. Paolo Casoli** e sotto la direzione del Dott. Geol. Paolo Panicieri, sono state eseguite una prova sismica tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves) ed un rilievo HVSR in merito allo studio geologico relativo all'Accordo Operativo per edifici residenziali / bifamiliari previsto in Collecchio capoluogo (PR).

Le prove sono state ubicate come da schede allegate a fine testo.



Fig.1 Ubicazione area di indagine

Caratteristiche delle indagini geofisiche eseguite

Tipologia indagine	Numero geofoni	Interdistanza geofonica m	Lunghezza linea m	Offset m	Lunghezza complessiva Linea m	Ubicazione centro indagine
MASW	24	2,0	46	6	52	Lat. N 44,753466 Long. E 10,222711
HVSR						Lat. N 44,753350 Long. E 10,222677

L'indagine MASW è indirizzata a misurare le velocità delle onde sismiche (V_s) del sottosuolo e la valutazione del parametro $V_{s,eq}$ come prescritto da:

- *Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003*
- *D.M. 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le Costruzioni".*
- *Successiva Circolare Ministeriale n°7 del 21/01/2019 recante Istruzioni per l'applicazione.*

Si ricorda che la normativa (par. 3.2.2 NTC18) richiede che l'effetto della risposta sismica locale sia valutato mediante specifiche analisi da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3; in alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. dell'NTC18.

All'interno del territorio nazionale sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (v. Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche). La classificazione del suolo (tabella 3.2.II) è invece convenzionalmente eseguita sulla base delle condizioni stratigrafiche e della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato
- N numero di strati;
- H per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Caratteristiche attrezzatura

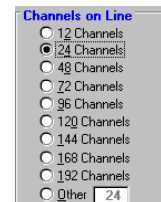
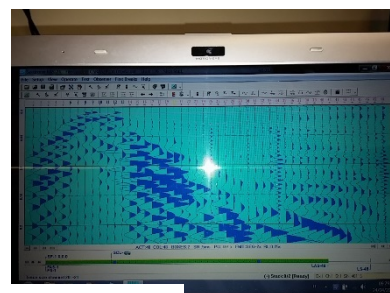
L'indagine MASW è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale della Abem-Seistronix mod. Ras 24 con 24 canali attivi (sistema ampliabile sino a 240 canali).

Sismografo (ch 1-24)



Le specifiche tecniche dello strumento sono:

- processore: Pentium 200 MMx Intel;
- trattamento dati: Floating Point 48-Bit;
- ambiente operativo: Windows7 32 bit;
- display: VGA colori LCD_TFT 15";
- supporto memorizz.: Hard Disk;
- risoluzione acquisizione: 12/48 bit;
- sonde ambiente interne: temperatura, umidità relativa;
- formato dati: SEG-2 (.dat);
- durata acquisizioni: Rifrazione, 32÷4000 ms;
- tempi campionamento: da 12 μ s a 4 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;
- canali: 24/48 (max 240).



Altra strumentazione

- Un cavo con lunghezza di 65 metri per collegare in serie i geofoni.
- 24 geofoni da 4,5 Hz.
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra di battuta in alluminio 15x15 cm, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori.
- "TROMINO"®, per l'acquisizione HVSR.

Indagine MASW

Lo scopo di un'indagine sismica di tipo MASW appositamente eseguita consente la determinazione diretta, nel sito d'intervento, della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area in oggetto dalla quale si ottiene la corretta definizione della categoria sismica dello stesso ($V_{s,30}$).

L'indagine sismica realizzata, Masw (in sismica attiva), è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere misure di onde Sh con 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 metodi sismici in foro Cross-Hole e/o Down-Hole).

La tecnica sismica Masw è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di V_s per la caratterizzazione sismica del sito (NTC-2018 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009) ed è particolarmente indicata per la caratterizzazione del primo sottosuolo; tecniche basate sull'utilizzo di registrazioni di microtremori di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) possono, infatti, caratterizzare il sottosuolo più in profondità, da 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, ci interessa maggiormente.

Diversi autori (Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008) segnalano, inoltre, che per i terreni alluvionali i 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;
- interrimento del sensore sismico passivo per migliorare l'accoppiamento sensore-terreno; altri autori (Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002) consigliano, quindi, di evitare aree caratterizzate dalla presenza di erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche ecc.

Valutando le sopracitate motivazioni per caratterizzare il sottosuolo dal punto di vista del profilo V_s /profondità è stata realizzata una prospezione Masw (rilevazione onde di Rayleigh - tecnica in sismica attiva).

Dal punto di vista operativo l'indagine è stata eseguita stendendo lungo una linea 24 ricevitori (geofoni) con una distanza intergeofonica costante ed energizzando ad un'estremità dello stendimento battendo con una mazza su una piastra di alluminio; la distanza tra il punto di energizzazione ed il primo geofono è denominata "offset".

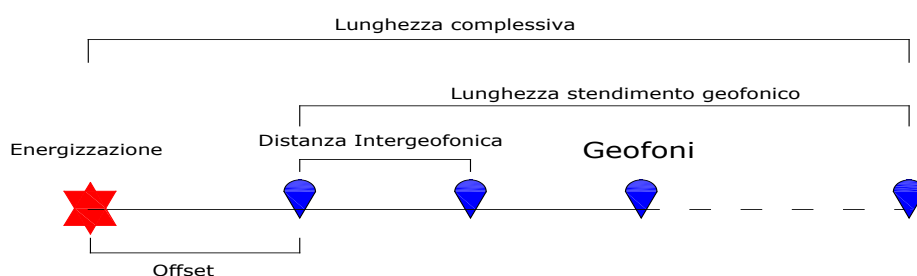


Fig.2 Schema illustrativo prova Masw

La base Masw eseguita, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta una lunghezza di **m. 52.0** (compreso il punto di shot) ed una geometria schematizzabile secondo quanto di seguito riportato:

- | | |
|--|-------------------|
| ➤ numero geofoni | 24; |
| ➤ distanza Intergeofonica | 2,0 metri; |
| ➤ lunghezza stendimento geofonico | 46 metri; |
| ➤ distanza punto di shot da primo geofono "offset" | 6 metri; |
| ➤ lunghezza complessiva | 52 metri. |

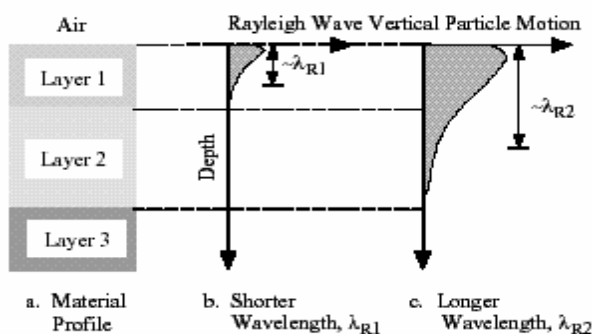
Si ricorda che data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (anche inferiori a 20 Hz), la tecnica di acquisizione per onde di superficie necessita di geofoni ad asse verticale con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Le basi teoriche della tecnica di Acquisizione Masw (analisi ed elaborazione delle onde di superficie di Rayleigh) sono completamente diverse da quelle della sismica a riflessione o rifrazione (onde P o S).

A differenza della riflessione o della rifrazione, le cui metodiche di interpretazione si basano sui tempi di arrivo ai geofoni delle onde riflesse o rifratte (si misurano, quindi, dei tempi), nell'acquisizione con metodo Masw non è possibile caratterizzare la tecnica con un classico coefficiente geometrico che esprime la profondità di investigazione in funzione della lunghezza della stesa sismica.

Nella tecnica Masw non si misurano, infatti, dei tempi ma viene eseguita una trattazione spettrale dei sismogrammi e, mediante trasformata di Fourier, si restituisce lo spettro del segnale sismico nel dominio frequenza (f) n. d'onda (k) detto anche dominio f - k . La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili sia dallo spazio disponibile.

Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra m. 0,5 e m. 3,0 (con array a parità di numero di ricevitori, un interasse di m. 3,0 consente di avere uno stendimento di ricevitori più lungo e, quindi, una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda k ; in questo modo, però, si riduce il numero d'onda di Nyquist oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale misurato. Un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi; esso consente un intervallo più ampio di numeri d'onda ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda).



La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio V_s e dalla frequenza. (Stokoe II and Santamarina, 2000).

La relazione che meglio consente di valutare la profondità di investigazione di un'indagine MASW è legata, più che alla dimensione dello stendimento, al valore della V_s assegnata ad una determinata profondità z dal piano campagna, calcolata in funzione della lunghezza d'onda, cioè :

$$z = \frac{\lambda}{1.5/2.0}$$

Dalle tecniche di analisi - interpretazione (analisi spettrale) mediante utilizzo del software (SWAN® vers. 2008) in seguito descritte più in dettaglio, è possibile ottenere, dal grafico "Experimental Dispersion Curve" (nel dominio Frequenza-Velocità), la lunghezza d'onda delle onde di Rayleigh caratteristiche dell'indagine eseguita; risultando, per il sito in esame, una $\lambda \approx 85$ metri, si può dedurre, a partire dalla formula sopra indicata, una profondità di investigazione pari a m. 56.0 /42.0 circa.

Si evidenzia, inoltre, che con la tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh; tale tecnica viene attualmente realizzata mediante approcci multi stazioni che risultano robusti ed efficienti (Foti, 2000; Lai e Wilmski, 2005) rispetto ai primi approcci del metodo i quali 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. è 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 TORINO).

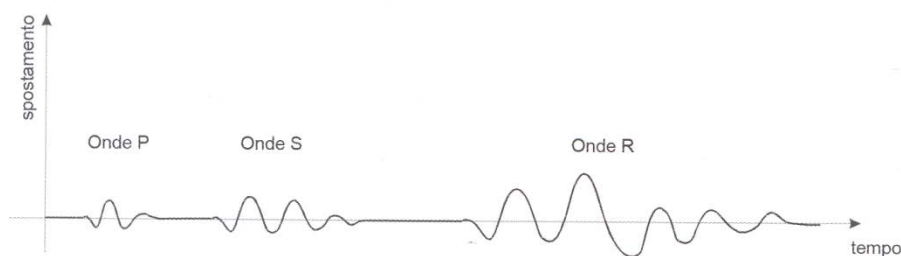


Fig. 3: sismogramma che evidenzia l'arrivo distinto di onde P, S e di Rayleigh (da Crespallani e Facciorusso "Dinamica dei terreni")

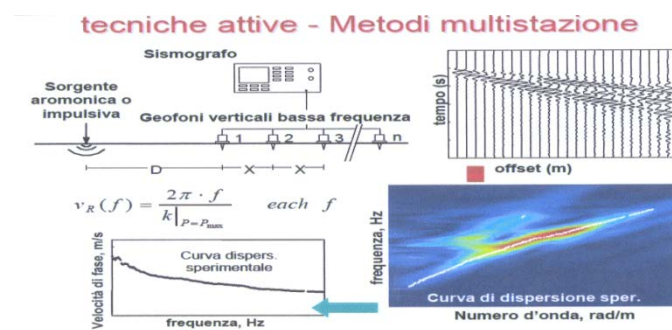
L'onda di Rayleigh si trasmette, infatti, sulla superficie libera di un mezzo isotropo ed omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione di onde sismiche di pressione (P-waves) e di onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

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, si verifica una deformazione del treno d'onda dovuto alla variazione della velocità di propagazione con la frequenza che muta in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato.

Nella figura sotto riportata (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO) è ben riassunto il processo di acquisizione ed il passaggio alla curva di dispersione:



Gli elementi a bassa frequenza penetrano più in profondità con velocità di fase in genere più alta rispetto alle componenti ad alta frequenza.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato dai grafici $V(\text{fase})/f(\text{frequenza})$ è convertito in profili V_s / **profondità** tramite elaborazioni e programmi dedicati.

Interpretazione dati acquisiti

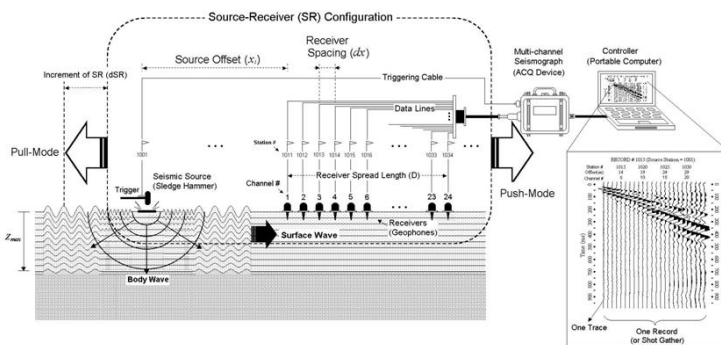
L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW traggono spunto, come in precedenza accennato, dalle tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984-94) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente d'impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz).

Tale tecnica, come d'altronde anche la Masw, è basata sul fatto che, osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di una energizzazione, la quasi totalità dell'energia (circa 2/3 o più) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

Per sopperire alle difficoltà d'applicazione della tecnica Sasw in diverse situazioni, Park et Alii (1999) hanno studiato e sviluppato il metodo MASW il quale si differenzia dalla succitata tecnica principalmente per l'utilizzo simultaneo di 24 o più geofoni (sismometri polarizzati verticalmente - frequenza max 4.5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità V_s ottenuti dallo studio delle velocità di fase dei numerosi treni d'onda di Rayleigh che sono registrati ai sismometri.

I geofoni possono essere spazati da 0,5 sino ad un massimo di circa 2 - 3 metri e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su un'unica misura).

Le tracce dei sismogrammi possono essere salvate nel dominio temporale; questo consente di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale (la quasi totalità dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).



Dal sismogramma, tramite una trasformata nel dominio **frequenza (f) – numero d'onda (k)** dalle tracce cui corrispondono i massimi spettrali (senza trascurare i modi superiori se presenti) si può risalire alla curva di dispersione, ossia ad un grafico ampiezza/frequenza, mediante la relazione:

$$V_R(f) = f/k.$$

che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.

Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame è ottenuto tramite il software (**SWAN®** vers. 2008); a questo fa seguito una fase di elaborazione - interpretazione basata su di una "analisi spettrale". Si procede sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici secondo il seguente schema:

- concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ;
- fase di pre-processing per "ottimizzare" i record stessi in modo da migliorare la qualità dell'interpretazione cioè eventuale filtraggio o "pulizia" dei dati grezzi;
- passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK;
- picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare, per ogni frequenza, dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK per individuare il modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori;
- estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK;
- inversione: tale procedura è avviata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito; in tale procedura il programma **SWAN®** utilizza una tecnica di inversione lineare tipo OCCAM che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici. In linea generale, come in gran parte dei processi di inversione (definiti "try and error"), l'inversione viene fermata quando un determinato parametro, definito ϵ (cioè la differenza fra dato osservato e dato calcolato), è in genere $< 2-3\%$. L'inversione OCCAM, utilizzando differenze quadratiche medie, fornisce risultati migliori di un'inversione lineare classica dato che quando si raggiunge lo stop dell'inversione (ϵ_{MIN}), cioè un valore percentualmente molto piccolo, la sovrapposizione delle curve è davvero buona.
- fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un massimo di 30, assegnazione dei moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.) ed eseguendo ulteriori processi di inversione allo scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale molto ben sovrapposta a quella sperimentale.

L'obiettivo finale è l'ottenimento di un profilo verticale delle V_s minimizzando le imprecisioni (risultati random), definendo, quindi, un modello finale ad elevata attendibilità e fortemente rappresentativo, mediante le tarature, del reale profilo V_s /profondità del sito in analisi, come d'altronde suggerito anche da ricercatori in ambito geofisico (es. Dal Moro et alii Gruppo Esplor. Geofisica - Dip. Geol e Scienze Marine Univ. Trieste "cosa migliore è confrontare lo spettro di velocità osservato, con le curve teoriche di dispersione di un modello che riteniamo plausibile per l'area sotto esame.").

Considerazioni sulle tecniche di inversione:

- le tecniche d'inversione possono fornire soluzioni non univoche ma, proprio per ovviare a questa possibilità, si eseguono TARATURE con dati reali del sito (prove cpt, stratigrafie ecc) utilizzando anche parametri che esprimono la "rigidezza" degli strati individuati (es. coeff. Poisson) al fine di indirizzare l'inversione verso un modello molto vicino a quello reale;
- la funzione obiettivo (il misfit tra dato osservato e dato calcolato) è prossima a zero solo in un caso ideale di assenza di rumore; per questo motivo il sismogramma può essere trattato o filtrato per ridurre al minimo od eliminare eventuali rumori o disturbi esterni che non hanno nulla a che fare con l'onda sismica che stiamo analizzando;
- è fuorviante e sbagliato attribuire una percentuale di errore eseguendo un'operazione di alterazione delle velocità sismiche ottenute dall'esecuzione dei dettagliati processi di inversione sopra esposti (esempio attribuendo un errore globale del $\pm 10\%$, quindi alterando ad es. le velocità sismiche ottenute moltiplicando $\cdot 0,9$ le V_s dei singoli strati) perché in tal modo si **vanificherebbe** completamente l'elaborazione Masw che è stata fatta con cura ed esperienza secondo principi codificati e consolidati. Ipotizzando, infatti, che possa esistere un modello V_s /profondità analogo a quello definito con l'interpretazione corretta della prova Masw ma con velocità alterate (cioè diminuite/aumentate del 10%) si otterrebbe un Macth fra curva sperimentale e teorica **completamente non attendibile**. A titolo di esempio si allegano alcune figure che illustrano tale erronea operazione di alterazione delle V_s calcolate:

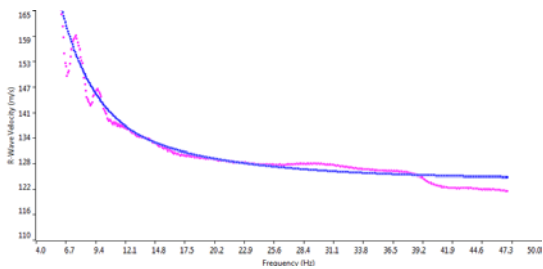


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica (blu) ottenuta dal processo inversione Masw dominio frequenza/velocità.

Si noti la quasi perfetta corrispondenza del fitting fra le due curve

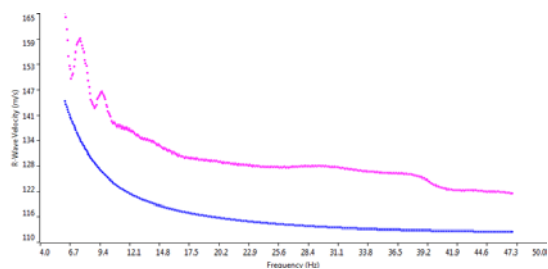


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica "alterata" modificando le Vs diminuendole erroneamente del 10% (blu) dominio frequenza/velocità.

Si noti la completa "sfasatura" della curva teorica sinonimo di un allontanamento dalla reale stratigrafia sismica che caratterizza il sito quindi un modello **NON ACCETTABILE**

Le curve di dispersione sopra esposte sono da considerarsi indicative e non riferite alla indagine Masw della presente relazione: sono riferite ad un generico sito con una stratificazione di 5 strati, mantenuti identici nelle 2 simulazioni, con analoghi coefficienti di Poisson assegnati (variabili fra 0.45-0.48) e $V_{S30} \approx 190$ m/sec (grafico a sinistra) e $V_{S30} \approx 170$ m/sec (grafico a destra).

Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto V_{sh} o per il caso in esame V_{s30})

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto dal D.M. 17/01/2018) sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezioni sismiche di superficie, opportunamente tarati con dati stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche ecc.) e con le risultanze delle penetrometrie eseguite in sito; i valori della velocità media delle onde di taglio V_s , ottenuti mediante specifica prova Masw, risultano essere:

metodo sismico attivo-MASW onde Rayleigh:

1° strato:	da m. 0,00 a m. 0,55	spessore medio m. 0,55	velocità media onde V_s 170 m/sec
2° strato:	da m. 0,55 a m. 1,20	spessore medio m. 0,65	velocità media onde V_s 125 m/sec
3° strato:	da m. 1,20 a m. 3,20	spessore medio m. 2,00	velocità media onde V_s 230 m/sec
4° strato:	da m. 3,20 a m. 8,90	spessore medio m. 5,70	velocità media onde V_s 435 m/sec
5° strato:	da m. 8,90 a m. 15,80	spessore medio m. 6,90	velocità media onde V_s 315 m/sec
6° strato:	da m. 15,80 a \geq m. 30,00	spessore medio \geq m. 14,20	velocità media onde V_s 530 m/sec

In base a quanto sopra, per la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 2 (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20-03-2003 e art. 3.2.2 DM 17-01-2018), ai vari strati sismo - stratigrafici individuati è stato associato il valore della velocità V_s direttamente misurata, ottenendo così la $V_{s,30}$, cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove

h_i = spessore dello strato i-esimo

V_{si} = velocità onde S nello strato i-esimo

N = numero strati considerati

Sulla base ai dati sopra esposti,

Prospezione MASW

$V_{s,30}$ = **380** m/sec (da p.c. a m. -30.00 da p.c.)

Tale valore consente di ipotizzare che, in base alla misura delle onde di taglio V_{s30} , il terreno possa corrispondere alla categoria del suolo di fondazione di tipo **B** (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*)

Si ricorda che, in base a quanto previsto dall'art. 3.2.2 NTC 2018, "per le fondazioni superficiali, la profondità del calcolo delle V_s è riferita al piano di imposta delle stesse mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione".

Indagine sismica Microtremori (misura HVSR)

Per la misura della frequenza caratteristica del sito, e a maggior dettaglio, per determinazione dello spessore della coltre superficiale, è stata eseguita una stazione per l'acquisizione dei microtremori sismici (misura HVSR).

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.

Tale strumentazione appositamente progettata, rappresenta la nuova generazione di strumenti digitali per la misura ad alta risoluzione del rumore sismico ambientale ed anche per la misura delle vibrazioni su strutture (norma Din4150 e UNI 9916).

Tecnicamente è un sismografo idoneo al 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.

I sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore e dinamica ≥ 23 bit.

Queste caratteristiche strumentali consentono un'elevata accuratezza nella misura dei dati, maggiore di 10^{-4} , sulle componenti spettrali maggiori/uguali a 0,1 Hz.

Praticamente si tratta di installare solidalmente al suolo il Tromino® e di misurare il tremore sismico, con durata di registrazione adeguata alla frequenza minima di interesse per il sito in analisi.

Per l'area in esame s'ipotizza di misurare la frequenza della coltre sedimentaria, di copertura del bedrock sismico (quindi con spessore massimo ipotizzabile 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 minima di 15 minuti.

Il risultato della acquisizione eseguita nel sito in esame è quindi analizzato mediante il codice di calcolo 'Grilla' (ver. 6.1), 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 (meglio nota come tecnica di Nakamura) secondo procedure codificate dal progetto di ricerca SESAME (2004).

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 sotto finestre di 20 sec) le sotto finestre 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 d'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.

Il risultato dell'elaborazione è il grafico del "Rapporto spettrale orizzontale su verticale", presentato nella scheda "**misura microtremori (HVSR)**", 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 innescano 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.

Il grafico "Spettro delle singole componenti" esprime invece l'andamento delle singole componenti registrate dal Tromino, componente N-S, componente E-O e componente Up-Down alle varie frequenze.
Nel caso in esame si tratta di una registrazione che rientra nei criteri di validazione della tabella SESAME (3 valori su 3 sono soddisfatti), con presenza di un picco con frequenza (f) principale a **22,19 Hz**.

TECNOGEOFISICA SNC

Allegati Intervento

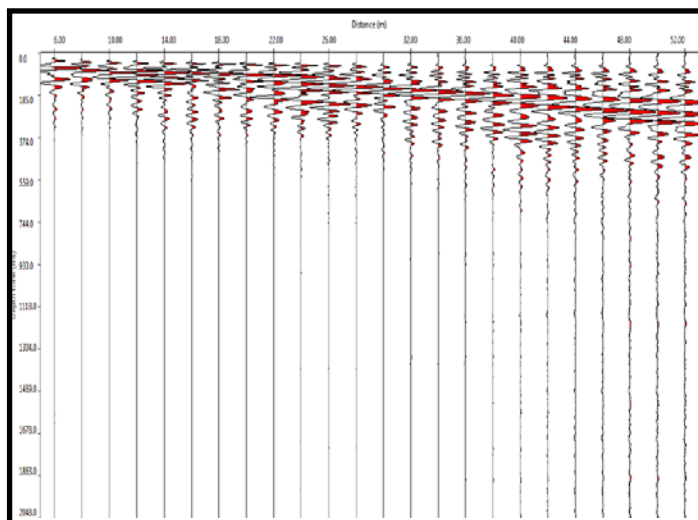
Ubicazione indagini



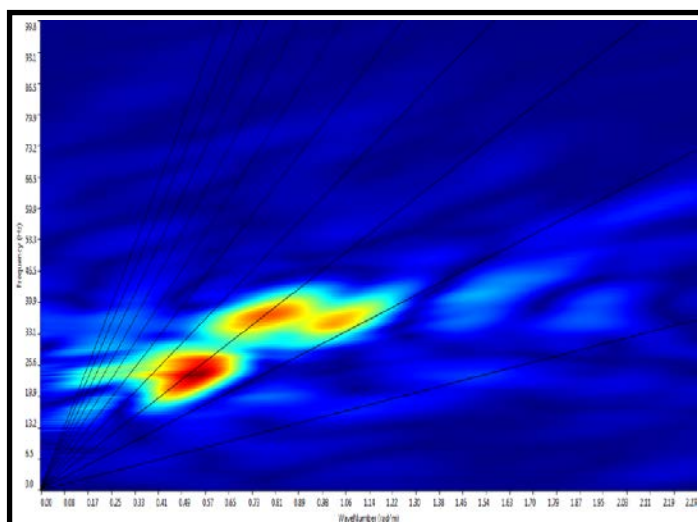
Ubicazione indicativa centro indagine MASW

Tipologia indagine	Numero geofoni	Interdistanza geofonica m	Lunghezza linea m	Offset m	Lunghezza complessiva Linea m	Ubicazione centro indagine
MASW	24	2,0	46	6	52	Lat. N 44,753466 Long. E 10,222711
HVSR						Lat. N 44,753350 Long. E 10,222677

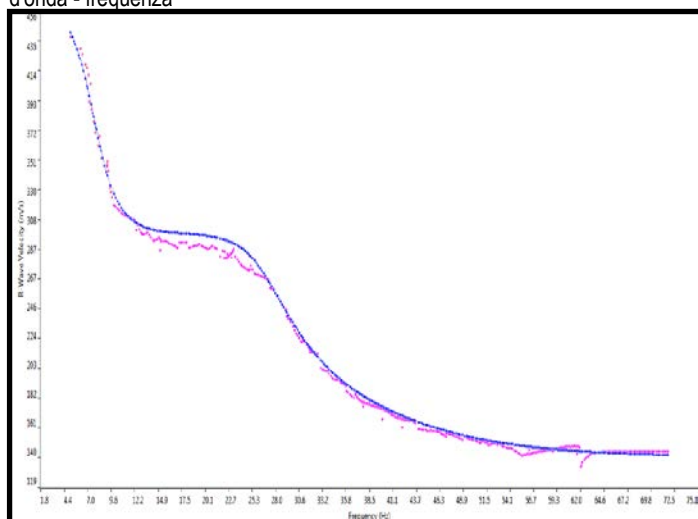
Scheda Indagine Masw



Sismogramma nel dominio spazio/tempo



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



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

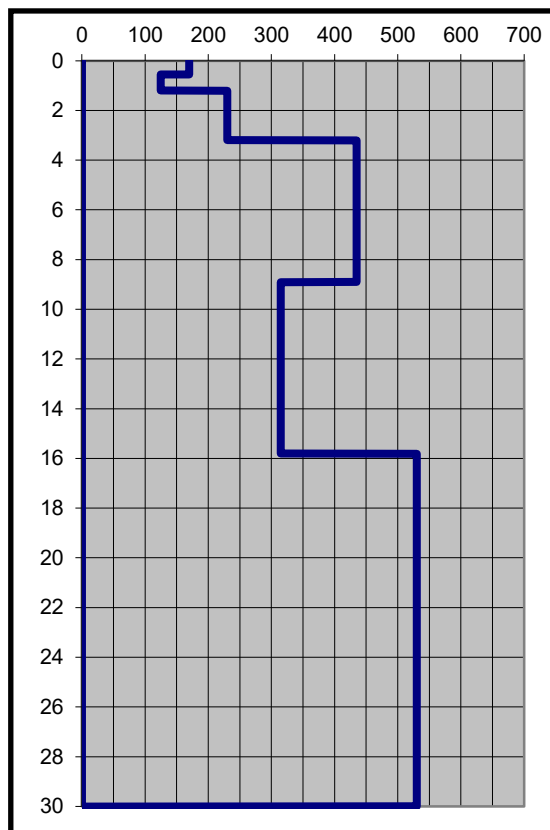


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati Elaborazione MASW

Strato	profondità		Spessore m	Vel. m/sec
	da	a		
Strato1	0.00	0.55	0.55	170
Strato2	0.55	1.20	0.65	125
Strato3	1.20	3.20	2.00	230
Strato4	3.20	8.90	5.70	435
Strato5	8.90	15.80	6.90	315
Strato6	15.80	≥30.00	≥14.20	530

$$V_{s0} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Dove:

hi = spessore dello strato i-esimo

V_{si} = velocità onde S nello stato i-esimo

N = numero strati considerati

Vs₃₀ da p.c. a – 30 m = 380 m/sec

Scheda Indagine HVSR

Strumento: TRZ-0099/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 13/11/20 12:23:30 Fine registrazione: 13/11/20 12:43:30

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

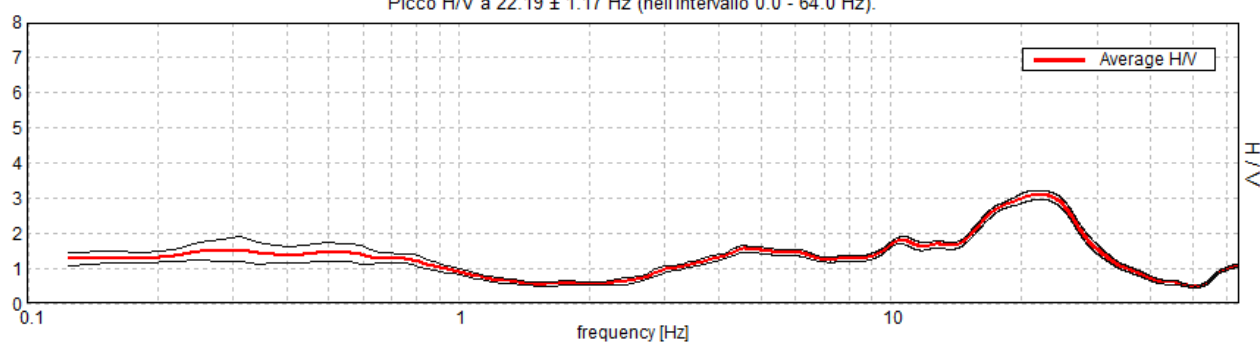
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

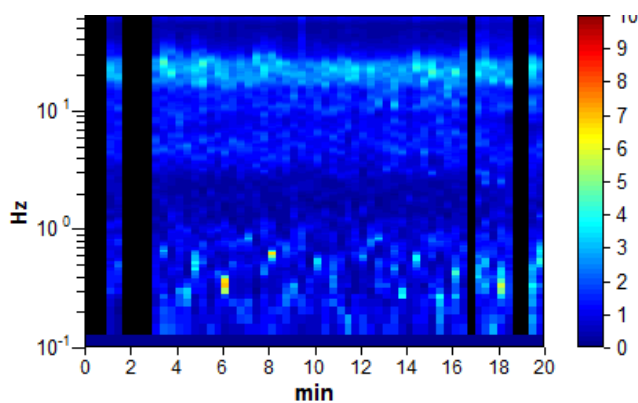
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

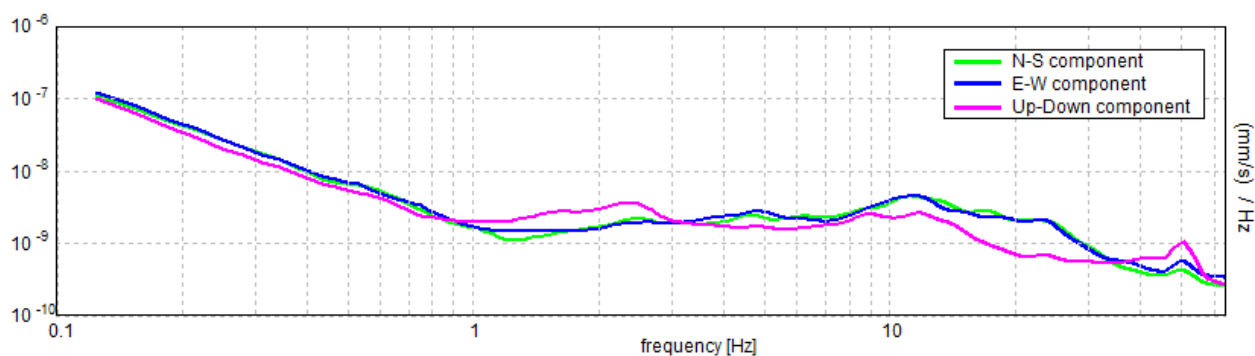
Picco H/V a 22.19 ± 1.17 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



SERIE TEMPORALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Picco H/V a 22.19 ± 1.17 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

$f_0 > 10 / L_w$	$22.19 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$22187.5 > 200$	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 1066	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	9.688 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	30.031 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.09 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0527 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.1692 < 1.10938$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1305 < 1.58$	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

- ✓ i primi 3 criteri della voce **1)** definiscono se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco
- ✓ i secondi 6 criteri della voce **2)** dovrebbero stabilire se il picco è significativo dal punto statistico; è consigliato che ne siano soddisfatti il più possibile ma non necessariamente lo devono essere tutti.

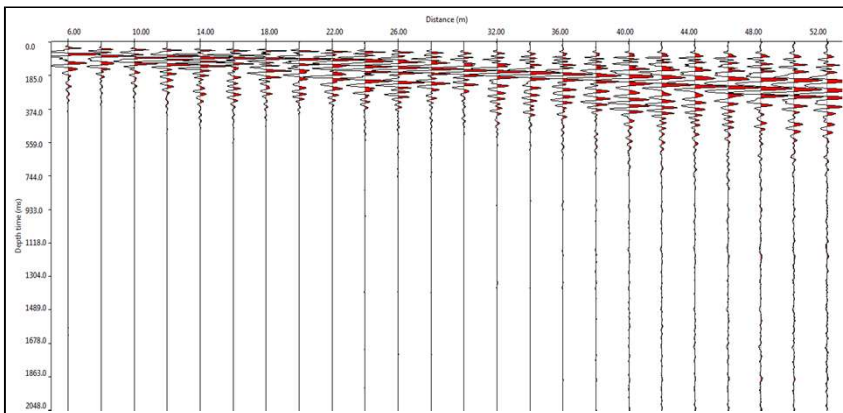
Documentazione fotografica



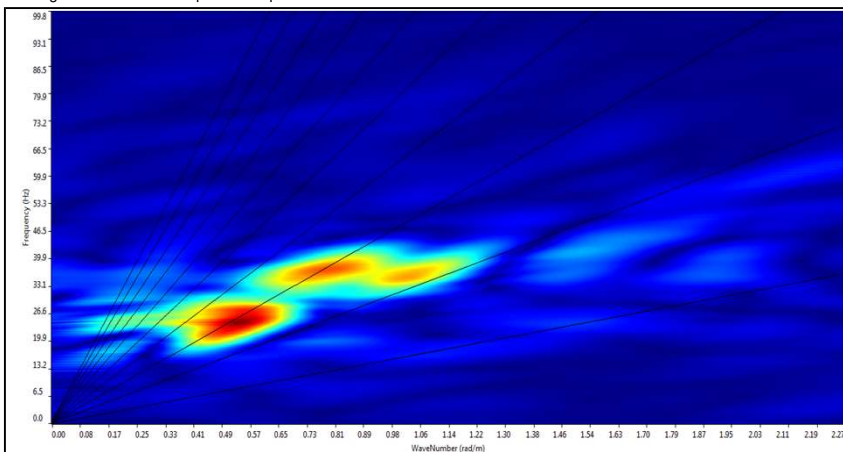
Piazzamento indagine HVSr



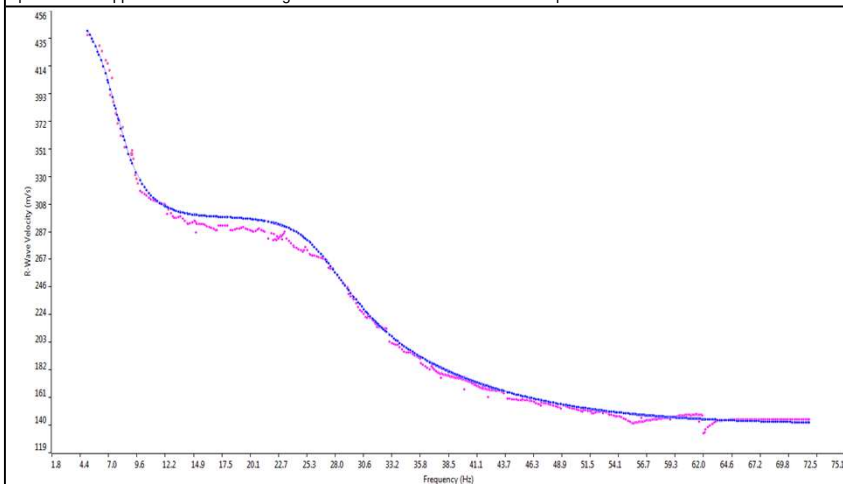
Piazzamento indagine MASW



Sismogramma nel dominio spazio - tempo



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



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

V_{s30} calcolata in base al art. 3.2.2. del NTC18

Prof. posa fondazione in m da pc= 0

$$V_s \quad 0 / 30 = 380 \text{ m/sec}$$

PROFONDITA' FONDAZIONE COMUNICATA DAL
PROGETTISTA/COMMITTENTE

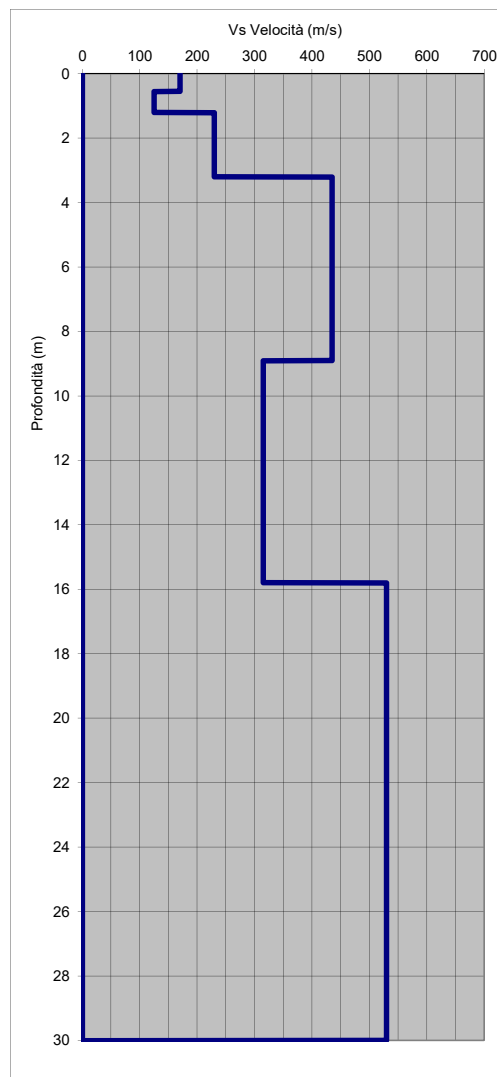


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati elaborazione

Strato	Profondità	Spessore	Vel
	da	a	m
			m/sec
Strato1	0,00	0,55	170
Strato2	0,55	1,20	125
Strato3	1,20	3,20	230
Strato4	3,20	8,90	435
Strato5	8,90	15,80	315
Strato6	15,80	30,00	530

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

$$V_{s30} = 380 \text{ m/sec}$$

velocità calcolata dal p.c. naturale

Si ricorda che in base all'art 3.2.2 del DM 17 gennaio 2018 la V_{s30} di progetto è riferita al piano di imposta delle fondazioni superficiali o alla testa dei pali in caso di fondazioni profonde od opere di sostegno di terreni naturali.

Caratteristiche Indagine

Ubicazione indagine

Sismografo	PASI SG24
Geofoni	Geospace
N° geofoni a 4,5Hz	24
Spaziatura geofoni	2,0 m
Lunghezza stendimento geofonico	46 m
Energizzazione	6 m
Lunghezza totale stendimento	52 m

PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE METODOLOGIA MASW

COMMITTENTI:

IMIT S.r.l. e Sig. Paolo Casoli

LOCALITA':

Collecchio (PR)

CANTIERE:

Accordo operativo per edifici residenziali/bifamiliari

DATA: novembre 2020

FILE: Collecchio IMIT

Dir. Lavori:

Dr. Geol. Paolo Panici

Rif. 087_20

TECNOGEOFISICA snc

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

info@tecnogEOFISICA.com

www.tecnogEOFISICA.com