

COMUNE DI CASALGRANDE - PROV. DI REGGIO EMILIA -

**VARIANTE AL
PIANO PARTICOLAREGGIATO CONVENZIONATO (PUA)
DELLA ZT 16 - VEGGIA FIORCARNI**

**Committenti: IMMOBILIARE "IL MULINO" S.R.L.
FIORINI EMILIO**

Progettisti:

Dott. Arch. Giuseppe Passaro
via Don Minzoni n° 12 - Casalgrande -

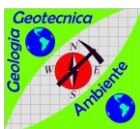


Dott. Ing. Patrizia Cremaschi
coll.: Geom. Nicola Cremaschi
via Gramsci n° 27 - Scandiano -

Tav n°: 23

Indagini Geologico - Geotecniche

Data: Aprile 2013



Studio di Geologia e Geotecnica
Dott. Domenico Barani
Via M.K. Gandhi, 12 – 42123 Reggio Emilia
Tel. 0522/286244 – Fax 0522/324961
E-mail: domenicoarani@geosism.it
PI: 00541060356 – Cod. Fisc.: BRN DNC 49D30 F463O

**Committenti: IMMOBILIARE IL MULINO s.r.l. – Isolato Due Maestà – Castelnuovo
Né Monti – Reggio Emilia**

FIORINI EMILIO – Via Chopin – Sassuolo – Modena

STUDIO GEOLOGICO – GEOTECNICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO



Oggetto: variante al piano particolareggiato
convenzionato (PUA) della ZT16-Veggia-Fiorcarni.

Località: Via Mulino – Veggia di Casalgrande – Reggio Emilia

Maggio 2013

INDICE

1.	<i>Oggetto e scopo del lavoro</i>	4
1.1	Fonte dei dati	4
1.2	Riferimenti normativi e pianificatori	5
2.	<i>Inquadramento geologico-strutturale</i>	7
2.1	Evoluzione del Bacino Padano	10
2.2	Stratigrafia dei depositi Quaternari	12
2.3	Inquadramento geografico e geo-litologico dell'area in esame	13
3.	<i>Assetto geoMorfologico, idrogeologico ed idrologico</i>	16
3.1	Geomorfologia della bassa pianura	16
3.2	Il bacino idrogeologico della pianura Emiliano - Romagnola	18
3.3	Geomorfologia, uso del suolo, idrogeologia ed idrologia dell'area in esame	22
3.4	Vulnerabilità dell'acquifero	24
4.	<i>Campagna di indagini</i>	26
4.1	Prova penetrometrica dinamica (SCPT con penetrometro DPSH-B)	26
4.1.1	Procedura nazionale (AGI) ed internazionale (ISSMGE) di riferimento	27
4.1.2	Caratteristiche tecniche della prova DPSH-B descritte dalla normativa EN ISO 22476-2: 2003	27
4.2	Elaborazione dei dati della prova penetrometrica dinamica (SCPT con penetrometro DPSH-B)	29
5.	<i>Valutazioni geolitologiche</i>	32
5.1	Elaborazioni prove penetrometriche dinamiche (SCPT con penetrometro DPSH-B)	32
5.2	Liquefazione	32
6.	<i>Normativa sismica</i>	34
6.1	Brevi cenni sulla riclassificazione sismica	34
6.2	Azione sismica	35
6.3	Livelli di protezione antisismica e categorie di suolo di fondazione	36
6.4	Modalità di classificazione sismica del terreno oggetto di studio	37
6.5	Tecnica MASW	38
6.6	Stima della frequenza di risonanza	39
6.7	Microzonazione sismica secondo l'Art. 3.2 del DM del 14/01/2008 e la Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale n°112 del 02/05/2007	41
9.	<i>Conclusioni</i>	45
	Bibliografia	49
	ALLEGATI	52
	TAV 1: UBICAZIONE AREA – STRALCIO C.T.R. ELEMENTO 219023 – 219064 – Scala 1:5.000	52

TAV 2: UBICAZIONI INDAGINI GEOGNOSTICHE – STRALCIO C.T.R. ELEMENTO 219023 – Scala 1:2.000	53
TAV 2a: UBICAZIONI INDAGINI GEOGNOSTICHE – PLANIMETRIA AREA CON VIABILITÀ – Non in Scala.....	54
TAV 3: STRALCIO CARTA GEOLOGICA DELL’EMILIA-ROMAGNA – Scala 1:250.000	55
TAV 4: STRALCIO CARTA GEOLOGICA SEZIONE 219020 – VILLALUNGA & 219060 – SASSUOLO – Scala 1:10.000.....	56
TAV 5: STRALCIO CARTA DELL’USO DEL SUOLO DELL’EMILIA-ROMAGNA – Scala 1:250.000.....	57
TAV 6: STRALCIO CARTA GEOMORFOLOGICA DELLA PIANURA PADANA – Scala 1:250.000	58
TAV 7: STRALCIO CARTA DELLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI ALL’INQUINAMENTO – ALTA PIANURA REGGIANA TRA T.CROSTOLO E F.SECCHIA – Scala 1:25.000.....	59
TAV 8: MICROZONAZIONE SISMICA – STRALCIO C.T.R. ELEMENTI 219064 – 219023 – Scala 1:5.000	60
TAV A: ELABORATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (SCPT).....	61
TAV B: ELABORAZIONE SISMICA (MASW).....	62

Studio geologico – geotecnico, idrogeologico e sismico

Oggetto: variante al piano particolareggiato convenzionato (PUA) della ZT16-Veggia-Fiorcarni.

1. OGGETTO E SCOPO DEL LAVORO

Su incarico dell'Immobiliare Il Mulino s.r.l. e del Sig. Fiorini Emilio, è stata eseguita una campagna di indagini finalizzata alla caratterizzazione geologico-geotecnica, idrogeologica e sismica di un lotto di terreno sito in Via Mulino, in località Veggia nel territorio comunale di Casalgrande, in provincia di Reggio Emilia (in ottemperanza alle vigenti disposizioni di legge, come dettato dal DM del 11/03/1988, DM del 14/09/2005 modificato col DM del 14/01/2008 e dalla Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n°112, oggetto 3121 del 02/05/2007 che definisce gli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica) (cfr. Tavola 1 tra gli Allegati).

Il presente lavoro è stato realizzato al fine di avanzare la richiesta per un ampliamento dell'area di lottizzazione definita "Zona di trasformazione ZT16" e della nuova viabilità Via Mulino-Str.Prov. 486R.

Il presente studio si propone i seguenti obiettivi:

- valutare le caratteristiche geomeccaniche del terreno utili per ottenere l'idoneità del terreno alla lottizzazione (*indagine geotecnica*);
- ricostruire la stratigrafia delle alluvioni (*indagine geo-litologica*);
- ricostruire la profondità e l'andamento della falda (*indagine idrogeologica*);
- studiare la risposta del terreno all'azione sismica, mediante la valutazione della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri sotto il piano di posa delle fondazioni (V_{s30}) (*indagine sismica*).

A tal scopo è stata eseguita una campagna di indagini in situ preceduta dalla raccolta dei dati bibliografici esistenti riguardanti un adeguato intorno della zona in studio.

1.1 Fonte dei dati

I dati contenuti nel presente studio provengono dalla bibliografia esistente in materia geologico-geotecnica (cfr. Bibliografia), dalla pratica professionale, nonché dalle indagini penetrometriche e sismiche eseguite in situ (cfr. Tavola 2 e Tavola 2a tra gli Allegati).

La campagna di indagini eseguita si avvale di:

- **n°2 prove penetrometriche dinamiche (DPSH-B)**, di cui si parlerà nei paragrafi successivi e la cui ubicazione è riportata in Tavola 2 e Tavola 2a ed i risultati inseriti in Tavola A tra gli Allegati;
- **N°1 stendimento sismico (MASW)** di cui si parlerà nei paragrafi successivi, la cui ubicazione è riportata in Tavola 2 e Tavola 2a ed i risultati inseriti in Tavola D tra gli Allegati;
- **osservazioni geologico-geomorfologiche e idrologiche** dell'area in oggetto e delle zone immediatamente circostanti.

1.2 Riferimenti normativi e pianificatori

Si ritiene utile riportare una breve rassegna legislativa nazionale e regionale concernente le indicazioni per gli studi di carattere geologico-geotecnico su vaste aree, per la pianificazione comunale.

- **Decreto Ministeriale (DM) dell'01/03/1988 – “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”**: indica il ruolo delle indagini geologiche nell'elaborazione dei piani urbanistici;
- **Legge Regionale (LR) n°20 del 24/03/2000 – “Disciplina generale sulla tutela ed uso del territorio”**: la pianificazione comunale deve puntualizzare la localizzazione e dimostrare la compatibilità fra gli interventi e la vocazione del territorio, tramite indagini geologiche generali di prima approssimazione;
- **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM), n°3274 del 20/03/2003 – “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”**;
- **Decreto Ministeriale (DM) del 14/09/2005 – “Norme tecniche per le costruzioni (testo base)”**: introduce la classificazione dei terreni sulla base delle onde di taglio (art. 3.2) e fornisce nuove indicazioni per la progettazione geotecnica (art. 6);
- **Delibera di Giunta Regionale (DGR) n°1677 del 24/10/2005**: prime indicazioni applicative della Regione Emilia-Romagna in merito al DM del 14/09/2005;
- **Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale n°112 del 02/05/2007 – “Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio in merito ad indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica”**;
- **Decreto Ministeriale (DM) del 14/01/2008 – “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”**.

Per quanto riguarda la pianificazione territoriale alla **scala sovraregionale**, ai fini del presente studio e per l'area in esame, i documenti pianificatori di interesse sono:

- **Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)**: (ai sensi della Legge 18 maggio 1989, n°183, art.17, comma 6-ter) adottato con deliberazione del Comitato istituzionale n°18 in data 26/04/2001 e approvato con D.P.C.M. del 24/05/2001. Esso ha scopo di assicurare, attraverso la programmazione di opere strutturali, vincoli e direttive, la difesa del suolo rispetto al dissesto di natura idraulica e la tutela degli aspetti ambientali ad esso connessi. Le fasce fluviali, individuate dal PAI con apposito segno grafico, sono classificate come segue:
 - 1 - **Fascia di deflusso della piena (fascia A)**, è definita come la porzione di alveo che è sede prevalente delle acque costituenti la piena di riferimento oppure l'insieme delle forme fluviali riattivabili in seguito ad un evento di piena;
 - 2 - **Fascia di esondazione (fascia B)**, è esterna alla precedente ed è individuata dalla porzione di territorio interessata da inondazione al verificarsi della piena di riferimento;
 - 3 - **Area di inondazione per piena catastrofica (fascia C)**, è la porzione di territorio esterna alla precedente che può essere interessata da inondazione al verificarsi di episodi di piena più gravosi di quella di riferimento.

Per quanto riguarda la pianificazione territoriale alla **scala provinciale**, ai fini del presente studio e per l'area in esame, i documenti pianificatori di interesse sono:

- **Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP)**: adottato dal Consiglio Provinciale di Reggio Emilia in data 06/11/2008.

L'area in studio ricade all'interno del II° Livello di approfondimento per quanto attiene alla microzonazione sismica (cfr. Tavola 8 tra gli Allegati), come è possibile notare dalla tavola P9b "Rischio sismico – Carta dei livelli di approfondimento" sezione 219 NO, alla scala 1:25.000 del P.T.C.P.

L'area in esame dista 0,3 Km circa dal F. Secchia sito ad est, pertanto è completamente al di fuori dei vincoli imposti dal PAI e quindi da ciascuna delle fasce fluviali da esso descritte, come è possibile notare dalla tavola P7 "Carta di delimitazione delle fasce fluviali (PAI – PTCP)" sezione 219020 e 219060 alla scala 1:10.000 del P.T.C.P.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

L'assetto fisico e paesaggistico dell'area in esame ha seguito le sorti del bacino padano, nel corso della sua storia evolutiva. Dal Cretaceo (≈ 100 Ma) fino ai giorni nostri la regione padana è stata soggetta ad alterne fasi di compressione e stasi tettoniche, instaurate dalle interazioni tra la microplacca dell'Arco Appenninico settentrionale e la microplacca Adriatica.

L'Appennino settentrionale è una catena costituita da una serie di unità tettoniche impilate come falde alloctone, con una generale direttrice dello spostamento verso nord-est (ELTER P., 1973).

Il modello evolutivo più accreditato, che spiega tale evoluzione geodinamica, è quello di un prisma di accrezione sviluppatosi a seguito della convergenza della placca africana verso quella europea (PRINCIPI B. & TREVES G., 1984).

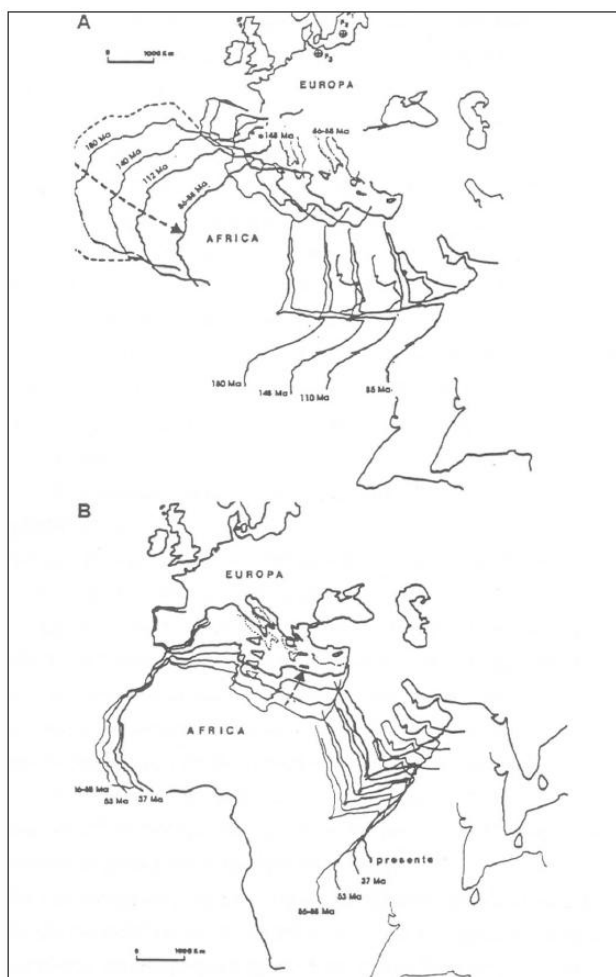


Figura 1 – Traiettoria della Placca Africana rispetto alla Placca Europea, assunta come riferimento fisso. A) Giurassico inferiore - Cretaceo superiore. B) Cretaceo superiore – attuale (GASPERI G.F., 1995).

All'interno dell'Appennino settentrionale vengono tradizionalmente distinti due insiemi di unità, in base al senso di movimento delle falde verso l'avampaese adriatico: le unità esterne e quelle interne. Le *unità esterne*, tettonizzate nel Neogene, sono costituite da un basamento continentale paleoafricano e da una copertura meso-cenozoica (*Dominio toско-umbro-marchigiano*). Le *unità interne*, tettonizzate a partire dal Cretaceo superiore, sono costituite da sedimenti depositatisi sulla crosta oceanica della neotetide (*Dominio ligure*) e sul margine distale della zolla africana (*Dominio subligure*). A partire dal Miocene (≈ 14 Ma), le unità interne, si sono sovrapposte a quelle esterne andando a costituire quella che è l'odierna catena appenninica.

A partire dal Cretaceo superiore (≈ 80 Ma), un regime di tipo compressivo, da imputarsi alla formazione dell'Oceano Atlantico, ha instaurato un processo di subduzione di tipo B, con la formazione di un prisma di accrezione (cfr. Figura 1). In questa fase, che è durata fino all'Eocene, le unità interne sono andate ad occupare la parte sommitale della catena emergente, mentre sui margini della placca in subduzione si sono depositate le unità flyschoidi Liguri: *stadio oceanico* (cfr. Figura 2) (BOCCALETTI M. *et alii*, 1980).

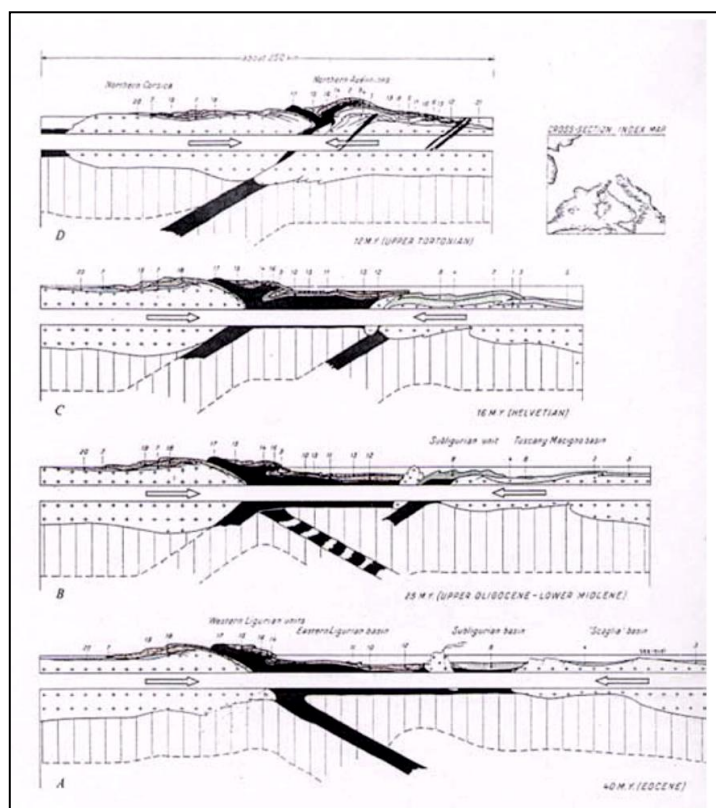


Figura 2 – Modello di stadio oceanico a due fasi, con cambiamento del piano di subduzione (BOCCALETTI M. *et alii*, 1980).

La collisione tra i margini continentali inizia tra l'Eocene inferiore e l'Eocene medio (≈ 45 Ma) (cfr. Figura 1); poco dopo all'interno di bacini della scarpata interna e in bacini satellite incominciano a deporsi le successioni Epiliguri: *stadio ensialico* (BOCCALETTI M. *et alii*, 1980). Durante le prime fasi di questo stadio la geometria e la vergenza della catena è incerta, probabilmente verso ovest.

Nell'Eocene medio, posteriormente alla collisione continentale tra le placche Sardo-Corsa ed Adriatica, si venne a delineare, a nord e ad est degli accavallamenti e duplicazioni crostali relativi alla formazione della neo-catena Appenninica, il bacino perisuturale padano-adriatico (BALLY A.W. & SNELSON S., 1980).

La messa in posto delle prime unità tettoniche con vergenza adriatica si ha tra l'Oligocene e il Miocene (≈ 25 Ma), la deformazione compressiva migra verso est attraverso zone di taglio ensialico, parallelamente alle quali si formano le avanfosse (Principi B. & Treves G., 1984).

A partire dal Miocene superiore (≈ 7 Ma), si imposta una tettonica di tipo estensionale che determina assottigliamento crostale con formazione di bacini di *piggy-back*¹ (ORI G.G. & FRIEND P.F., 1984; RICCI LUCCHI F. & ORI G.C., 1985). Contemporaneamente, sul versante esterno della catena continuano i movimenti compressivi con la migrazione verso nord e nord-est del fronte di accavallamento.

La coesistenza e simultaneità fra compressione adriatica e distensione tirrenica fanno ritenere che i due fenomeni possano essere geneticamente legati; potrebbero cioè rappresentare la risposta di superficie alla subduzione attiva della Placca Adriatica al di sotto della catena appenninica.

All'inizio del Pliocene ($\approx 5,3$ Ma) la parte di bacino, oggi nota come Pianura Padana, costituiva l'estrema propaggine nord-occidentale del Mare Adriatico e creava un grande golfo invaso dalle acque marine, limitato a nord dalle Alpi, a sud-ovest dagli Appennini e a nord-est dalle Dinaridi (catena montuosa dell'ex Jugoslavia). Tale bacino, sotto l'azione delle spinte orogenetiche, era gradualmente ridotto dalla traslazione verso nord/nord-est delle falde di ricoprimento tettonico dell'Appennino settentrionale. Successivamente il mare si ritirò gradualmente dai suoi margini alpini ed appenninici cedendo da ovest verso est, fino a lasciare scoperto con alterne vicende trasgressive e regressive anche l'Adriatico settentrionale, per poi raggiungere, nella prima metà dell'Olocene ($\approx 0,01$ Ma), le posizioni attuali.

La crescente estensione di terre emerse, soggette ad erosione, consentì ai corsi d'acqua alpini ed appenninici di colmare di sedimenti il bacino padano, conferendone l'attuale assetto e morfologia.

Dal punto di vista geologico, la Pianura Padana è un bacino sedimentario Terziario che comprende un'area di circa 46.000 Km^2 , posto sulla terminazione settentrionale del blocco Adriatico - Pugliese, compreso tra il fronte degli opposti accavallamenti, le falde sud-vergenti delle Alpi meridionali (separate da quelle a vergenza europea dalla Linea Insubrica²) e le strutture appenniniche nord-vergenti, e soggetto quindi al duplice fenomeno di compressione delle opposte catene.

¹ BACINI *PIGGY-BACK*: bacini sedimentari, in genere di forma allungata parallelamente all'asse della catena, formatisi su un'unità soggetta a traslazione tettonica e trasportati quindi passivamente "in groppa" all'unità in questione mentre la loro successione sedimentaria continua a depositarsi. Possono rappresentare originari depositi del margine interno dell'avanfossa, in seguito traslati assieme al loro substrato per propagazione dei thrust frontali dell'orogene, oppure formano successioni depositatesi, fin dall'inizio, su un'unità alloctona dell'orogene stesso. In questo secondo caso sono stati definiti anche come "bacini satelliti".

² LINEA INSUBRICA: antica cicatrice ercinica che sutura la Placca Europea e quella Africana.

2.1 Evoluzione del Bacino Padano

Nel sottosuolo dell'Emilia Romagna, il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale non sono avvenuti in maniera continua e progressiva, ma sono il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive. Tale subsidenza è quantificabile in circa 1 mm/anno, anche se sicuramente tale valore non è stato costante nel corso degli anni.

Le strutture tettoniche della zona frontale si sono formate in concomitanza con un'intensa deposizione che risulta fortemente controllata dagli elementi strutturali principali. L'andamento delle strutture maggiori è delineato all'interno di grandi cunei sedimentari che si sono depositati e originati sotto il diretto controllo del modellamento tettonico. Tali depositi costituiscono pertanto le "controimpronte" delle strutture tettoniche, definendone geometria e caratteri esterni talora in modo perfetto (CASTELLARIN A. *et alii*, 1985).

Nelle fasi di attività tettonica si hanno i seguenti effetti:

- sollevamenti regionali che coinvolgono principalmente le zone di margine del bacino;
- modificazione delle geometrie del bacino e delle condizioni di sedimentazione;
- segmentazione della zona di margine bacinale per mezzo di faglie e superfici di scorrimento;
- formazione di superfici di erosione, con estensione regionale, sui margini del bacino e sulle strutture sepolte;
- migrazione della Zona di Transizione Scarpata sottomarina - Piana Bacinale (TSB)³ e conseguentemente quella del depocentro bacinale (cfr. Figura 3).

³ TSB: definita in sismica come il punto in cui i riflettori clinoformi della scarpata sottomarina si raccordano alla base con i riflettori piano-paralleli della piana bacinale. Generalmente corrisponde con il margine del bacino.

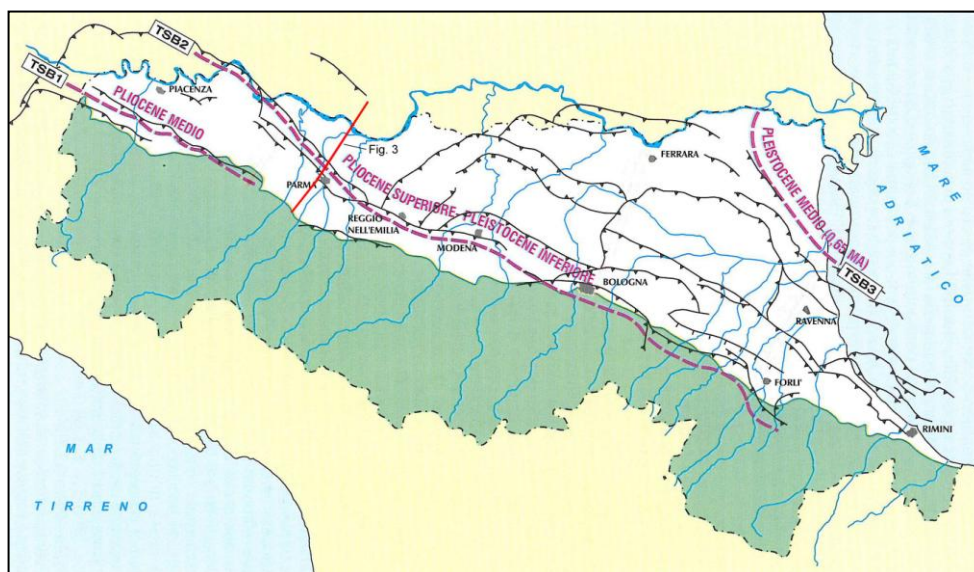


Figura 3 – Fasi di migrazione della Transizione Scarpata Sottomarina - Piana Bacinale dal Pliocene medio al Pleistocene medio (RER - ENI - AGIP, 1998).

Nell'intervallo di tempo tra un evento tettonico di sollevamento regionale e quello successivo si assistono, invece, ad importanti fenomeni di subsidenza con notevole sviluppo della sedimentazione (sotto forma di *cunei sedimentari sintettonici*), soprattutto per progradazione dei prismi di accrezione, in corrispondenza dei margini di bacino. Durante questi eventi, in cui si registra un notevole aumento della sedimentazione, si formano delle unità che sono definite da Mitchum *et alii* (1977)⁴ “Sequenze Deposizionali”. Tra due diverse Sequenze Deposizionali si rinviene sempre una superficie, definita *superficie di non deposizione* o superficie erosiva (generalmente identificabile nel tetto di uno strato ghiaioso) che corrisponde ad un periodo di cambiamento climatico in cui si registra un generale abbassamento del livello marino, con relativa regressione della linea di costa. Lo step successivo coincide con un innalzamento del livello del mare, con trasgressione della linea di costa e con l'inizio della sedimentazione di una nuova Sequenza Deposizionale.

L'accumulo di sedimenti terrigeni all'interno del Bacino Perisuturale Padano, come detto, ne causa il progressivo riempimento. Questo fenomeno avviene lungo due principali fronti di progradazione, il primo assiale ed il secondo trasversale rispetto al F. Po. I sedimenti trasportati dal F. Po si ritrovano interdigitati con i sedimenti trasportati dai fiumi e torrenti appenninici che oggi sono suoi diretti affluenti. Studiando composizione, geomorfologia, granulometria e petrografia delle alluvioni è possibile riconoscere all'interno delle Sequenze Deposizionali, definite da Mitchum *et alii* (1977) diversi Ambienti Deposizionali.

Un fiume che tracima dal suo alveo, non si limita, infatti, ad accumulare materiale nella pianura circostante, ma la modella e la plasma determinando complesse forme geomorfologiche, ognuna delle quali è costituita da una precisa granulometria e forma dei sedimenti che generalmente sono tipici di quella particolare struttura.

⁴ SEQUENZE DEPOSIZIONALI: unità stratigrafiche costituite da una successione relativamente continua di strati geneticamente legati e delimitati alla base e alla sommità da discontinuità o dalle corrispondenti superfici di continuità.

Studiando questi elementi, si è giunti alla definizione di diversi Ambienti Deposizionali, che si possono distinguere chiaramente nel territorio padano in virtù della loro composizione, geomorfologia, granulometria e petrografia.

Da monte verso valle, i fiumi e torrenti appenninici trasportano sedimenti di granulometria via via decrescente, che vanno a deporsi in ambienti deposizionali morfologicamente e litologicamente differenti.

2.2 Stratigrafia dei depositi Quaternari

I depositi presenti nell'area in esame sono contraddistinti dalla potente successione terrigena del Quaternario.

Le unità stratigrafiche definite e utilizzate nel presente studio rientrano nella classe delle *Sequenze Deposizionali* descritte da Mitchum *et alii* (1977) (cfr. Figura 4).

Dal punto di vista gerarchico si distinguono due Sequenze Principali (Supersintemi, secondo la terminologia delle UBSU⁵) denominate come segue (dal più recente al più antico):

- **Supersintema (o Allogruppo) Emiliano - Romagnolo**, costituita da depositi di ambiente continentale; può essere ulteriormente suddiviso in 2 sintemi principali (dal più recente al più antico):
 - Alloformazione (o Sintema) Emiliano - Romagnolo superiore (AES) - (Pleistocene medio? - Olocene);
 - Alloformazione (o Sintema) Emiliano - Romagnolo inferiore (AEI) - (Pleistocene medio).
- **Supersintema (o Allogruppo) del Quaternario Marino**, costituito da depositi di ambiente marino; può essere ulteriormente suddiviso in 3 cicli progradazionali (dal più recente al più antico):
 - Allomembro (o Sintema del Quaternario Marino 3) (Qm3) - (Pleistocene medio);
 - Alloformazione di Costamezzana (o Sintema del Quaternario Marino 2) (Qm2) - (Pleistocene inferiore - medio);
 - Alloformazione del Torrente Stirone (o Sintema del Quaternario Marino 1) (Qm1) - (Pliocene superiore - Pleistocene inferiore).

⁵ UBSU - Unità a Limiti Inconformi (Unconformity-bounded Stratigraphic Units): corpo roccioso delimitato alla base e alla sommità da superfici di discontinuità specificatamente designate, significative e dimostrabili, aventi preferibilmente estensione regionale o interregionale. I criteri diagnostici utilizzati per stabilire e riconoscere queste unità stratigrafiche sono le due discontinuità che le delimitano. Le unità a limiti inconformi possono includere poche o molte altre unità stratigrafiche (litostratigrafiche, biostratigrafiche, magnetostratigrafiche, cronostratigrafiche, ecc...) sia in successione verticale che laterale.

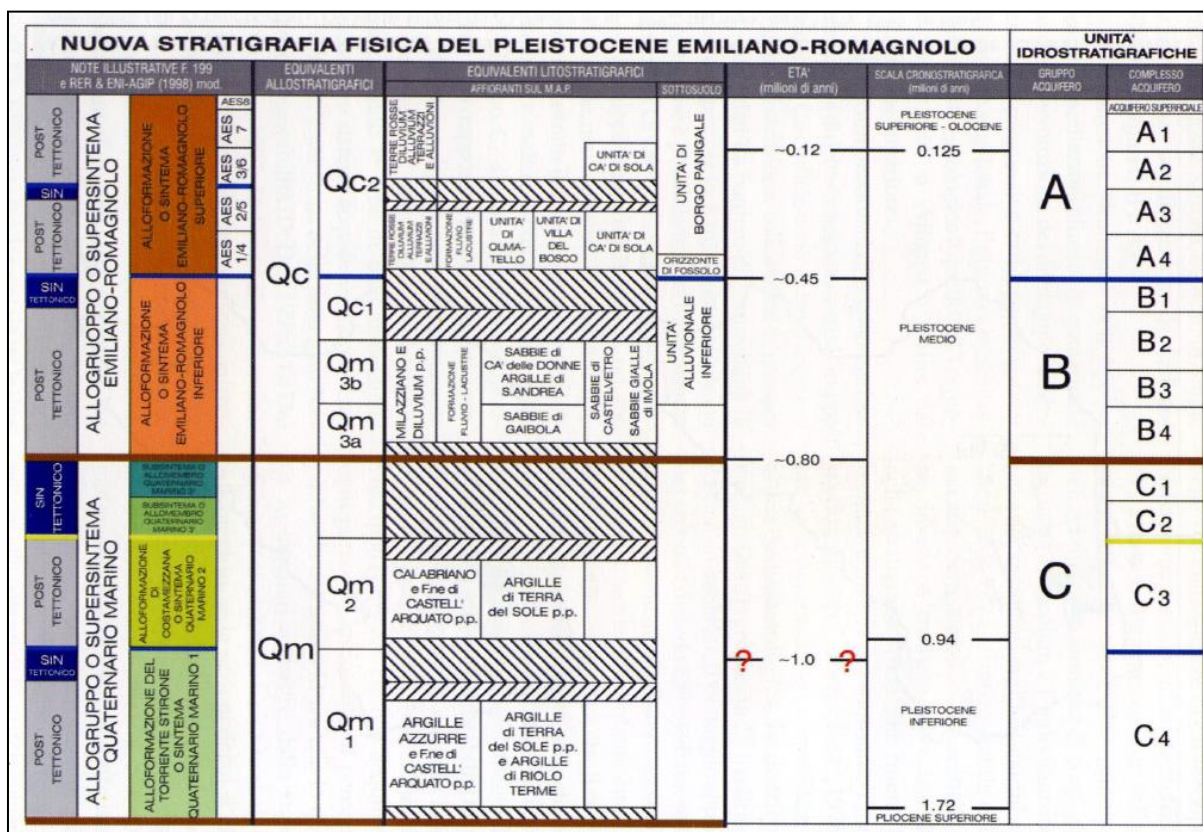


Figura 4 – Schema geologico-stratigrafico e idrostratigrafico del Bacino Pleistocenico della Pianura Emiliano - Romagnola (AGIP - RER - ENI, 1998).

2.3 Inquadramento geografico e geo-litologico dell'area in esame

Il terreno indagato, che si colloca ad una quota di circa 111,0 m s.l.m. (quota dedotta dalla Cartografia Tecnica ufficiale della Regione Emilia - Romagna (CTR)), è sito in Via Mulino, in località Veggia, nel territorio comunale di Casalgrande, in Provincia di Reggio Emilia (cfr. Tavola 1 tra gli Allegati). Il lotto è rappresentato nella cartografia topografica delle Regione Emilia - Romagna, in scala 1:5.000, Elementi n° 219023 e 219064.

Per ciò che riguarda la geologia, le notizie sono riportate nella “Carta Geologica di Pianura dell’Emilia - Romagna” in scala 1:250.000 (RER, 1999) (cfr. Tavola 3 tra gli Allegati) e nella Carta Geologica delle Sezioni “219020 – Villalunga” e “219060 – Sassuolo” in scala 1:10.000 (cfr. Tavola 4 tra gli Allegati).

Dalla descrizione litologica della “Carta Geologica di Pianura dell’Emilia-Romagna” si nota la presenza di ghiaie, sabbie, limi e limi argillosi. Depositi alluvionali indifferenziati (unità4). Si tratta di depositi con grado di alterazione molto elevato, con spessore del fronte di alterazione da 4 a 10 metri. Le unità, costituite da depositi prevalentemente grossolani di conoide alluvionale terrazzata, presentano un fronte di alterazione composto da due suoli principali sovrapposti: il primo, affiorante, evoluto su una copertura limoso-argillosa presenta la completa de carbonatazione del profilo, lo sviluppo di orizzonti eluviali, di

orizzonti ad accumulo di argilla illuviale, di sesquiossidi di Fe, Mn e differenziazione del profilo in orizzonti A-E-Bt-Btc; Hue degli orizzonti Bt 10YR-2,5Y. Il secondo suolo, sepolto, sviluppato su ghiaie e ghiaie sabbiose, presenta la completa de carbonatazione degli orizzonti superficiali e profondi, lo sviluppo di orizzonti ad accumulo di argilla illuviale e di sesquiossidi di Fe, Mn e differenziazione del profilo in orizzonti Btb-Btcb-BCb-Ckb-Cb; Hue degli orizzonti Bt 2,5YR. Le unità, costituite da depositi prevalentemente fini (conoidi del reticolo idrografico secondario e di piana alluvionale terrazzata), presentano un suolo con completa de carbonatazione degli orizzonti superficiali e profondi, neoformazione di argilla, riorganizzazione dei carbonati sotto forma di concrezioni dure negli orizzonti inferiori e differenziazione del profilo in orizzonti A-Bw-Bkss; Hue degli orizzonti Bw 2,5Y. All'interno del suolo e dei sedimenti manufatti del Paleolitico inferiore - medio (cfr. Tavola 3 tra gli Allegati).

In sintesi le formazioni presenti dalla più recente alla più antica rientrano nel Supersistema Emiliano-Romagnolo a sua volta suddiviso nell'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore (AES); i depositi dell'area in esame fanno parte dell'Allomembro di Ravenna (AES8) in particolare dell'Unità di Modena (AES8a) e dei depositi alluvionali in evoluzione del F. Secchia (cfr. Tavola 4 tra gli Allegati).

▪ **Supersistema (o Allogruppo) Emiliano-Romagnolo**

Unità costituita da terreni continentali, deposti al di sopra di una superficie di discontinuità regionale, cartografata in affioramento e nel sottosuolo del Foglio n° 200 Reggio Emilia e n° 201 Modena in scala 1:50.000. In prossimità del limite nord-orientale del medesimo Foglio e nei Fogli più settentrionali, la superficie di discontinuità basale passa alla corrispondente superficie di continuità e, pertanto, non si potrà parlare più, per definizione, di Allogruppo Emiliano - Romagnolo, ma di Sequenza Deposizionale Emiliano - Romagnola. Tutte le allounità in cui viene suddiviso l'allogruppo presentano il medesimo problema stratigrafico formale, in quanto le discontinuità fisiche, che ne costituiscono il limite in affioramento, passano nel sottosuolo alla corrispondente superficie di continuità entro distanze più o meno brevi. Ognuna di queste unità dovrà, pertanto, essere considerata, alla scala del Foglio, una Sequenza Deposizionale sensu Mitchum *et alii*, (1977) di rango gerarchico corrispondente.

Età *Pleistocene inferiore - Olocene*.

L'unità è suddivisa in due alloformazioni.

○ **Alloformazione (o Sintema) Emiliano-Romagnola Superiore (AES)**

Unità alluvionale da grossolana a fine con alla base una superficie di discontinuità nel margine appenninico e nell'alta pianura, passante a una superficie di continuità nel sottosuolo della pianura, sull'Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore (AEI).

Età *Pleistocene medio? - Olocene*.

- **Allomembro (o Subsintema) di Ravenna (AES8)**

Limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali.

Al tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Nell'alta pianura su AES7b (affiorante solo in cave). Potenza fino a oltre 20 m.

Età Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni).

- *Unità di Modena (AES8a)*

Depositi ghiaiosi e fini. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo e grigio-giallastro. Corrisponde al primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Potenza massima di alcuni metri (<10 m).

Età Post-VI secolo d.C.

All'interno dell'area di progetto sono presenti due differenti unità, in particolare nell'area nord della lottizzazione sono presenti i depositi quaternari continentali alluvionali in evoluzione del F. Secchia (unità b1, cfr. Tavola 4 tra gli allegati), mentre l'area sud interessa la successione neogenica – quaternaria del margine appenninico padano, ovvero il Subsistema di Ravenna, Unità di Modena (AES8a).

All'intorno dell'area sono presenti numerose unità appartenenti alla successione neogenica – quaternaria del margine appenninico padano, con espressioni attraverso le Unità di Niviano (AES7a), presente ad ovest dell'area insieme al Subsistema di Ravenna (AES8), l'Unità di Modena (AES8a) ad est, e le Argille Azzurre (FAA) e le Argille Azzurre – membro di Monte Arnone (FAA7) a sud. A nord i depositi alluvionali recenti del F. Secchia ricoprono le unità geologiche più antiche. Per le descrizioni dettagliate delle unità citate si rimanda alle legende della Tavola 4 tra gli allegati.

3. ASSETTO GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO ED IDROLOGICO

3.1 Geomorfologia della bassa pianura

Risulta difficile a chi percorra la pianura lungo la Via Emilia o l'Autostrada del Sole riconoscere le piatte conoidi dei corsi d'acqua che escono dal rilievo appenninico, le quali si saldano dolcemente le une alle altre in maniera caratteristica a formare la "bassa pianura alluvionale". È pure poco evidente che gli alvei di questi corsi d'acqua sono quasi tutti pensili ancor prima di giungere alla Via Emilia; lo stesso F. Po è già sopraelevato sulla pianura all'altezza della città di Piacenza. Questo aspetto è stato determinato da eventi naturali ed è secondo ogni evidenza imputabile ad un eccesso di sedimentazione in un'area soggetta a subsidenza.

La forma delle conoidi, sulle quali emergono le aste fluviali, è caratterizzata da differenze di quota estremamente esigue ma determinanti per l'evoluzione del territorio. La conoide del T. Parma, come tutte le conoidi dei fiumi e torrenti appenninici, ha una superficie a forma di "becco d'anatra"; la sua leggera convessità, maggiormente marcata in corrispondenza dell'alveo fluviale, sottolinea la sopraelevazione dell'alveo rispetto alla pianura circostante.

Queste conoidi sono costituite da sedimenti di età relativamente recenti; infatti, lo spessore più superficiale dei depositi alluvionali che costituiscono la pianura è attribuibile all'Olocene.

Nell'evoluzione della pianura in epoca storica e in particolare nell'evoluzione della rete idrografica è difficile distinguere quanto incida l'intervento umano e quanto il naturale processo geologico. L'opera dell'uomo sulla rete idrografica naturale può essere stata localmente determinante e non sempre l'intervento è databile; le opere di canalizzazione sono poi estremamente diffuse su tutto il territorio e da particellari divengono via via più importanti fino ai grandi canali colatori che convogliano le acque di drenaggio e di scolo nella rete naturale.

Sono dunque due i fattori che condizionano l'evoluzione delle pianure oloceniche: il fattore naturale (evoluzione tettonica e sedimentaria, con le variazioni di drenaggio ad esse conseguenti) ed il fattore antropico (il lavoro delle comunità umane per rendere il drenaggio compatibile con le esigenze dell'agricoltura e dell'insediamento).

In Val Padana, dove le pratiche agricole sono in atto senza sostanziali interruzioni da circa 6.000 anni, il fattore antropico acquista un rilievo particolare ed agisce in rapporto di mutuo condizionamento con il fattore naturale a determinare l'aspetto della pianura.

Il tessuto idrografico, in specie quello minore, direttamente determinato dalla parcellazione agraria, è la risultante delle varie vicende che nel tempo e nello spazio hanno portato alla formazione della pianura:

l'analisi di detto reticolo permette di discernere tali vicende e, con l'ausilio di dati storici ed archeologici, di datarle.

In letteratura è possibile ritrovare una classificazione della rete di drenaggio superficiale descritta da Cremaschi, (1978) secondo la quale si possono distinguere tre tipi di drenaggi prevalenti:

- **drenaggio libero:** si tratta di corsi d'acqua ad andamento non incanalato né rettificato, sono frequenti andamenti sinuosi che tagliano il regolare mosaico della parcellazione agraria;
- **drenaggio di antica sistemazione agraria:** è caratterizzato da maglie con segmenti principali orientati nord/nord-est - sud/sud-ovest e segmenti minori ortogonali, esso ricalca, a grandi linee, l'orientamento della centuriazione romana; si trova principalmente nelle aree stabili (cioè non esondabili), sui dossi wurmiani e sui terreni dell'Olocene antico;
- **drenaggio di recente sistemazione agraria:** è caratterizzato da una densa rete di canali a maglie strette, aventi in genere la stessa orientazione del drenaggio di antica sistemazione agraria, ma con miglior conservazione; in vicinanza dei corsi d'acqua segue talora l'orientazione di questi; tale drenaggio è caratteristico delle aree bonificate dal XV al XIX secolo (CREMASCHI M., 1980).

Tuttavia, se l'antropizzazione anche in passato è stata intensa, sono sempre i fattori geologico-climatici quelli che hanno condizionato e condizioneranno in maniera sostanziale il tracciato del reticolo idrografico e che ne determineranno l'evoluzione futura.

Nell'area in oggetto, l'evoluzione prevalente dei corsi d'acqua consiste in fenomeni di sedimentazione che vengono accompagnati da una costante subsidenza del bacino quantificabile in circa 1 millimetro all'anno.

La costante subsidenza e il continuo apporto sedimentario fluviale hanno collaborato alla sovrapposizione dei depositi, di natura terrigena, che oggi costituiscono il substrato della Pianura Padana. Questo processo era governato, un tempo, dalle costanti e regolari tracimazioni dei corsi d'acqua che, grazie al loro apporto di sedimenti, hanno permesso di colmare la pianura. Le acque uscendo dagli alvei depositavano i materiali prevalentemente sabbiosi nelle immediate vicinanze, contribuendo così alla costruzione degli argini naturali, e più fini (limi ed argille) nelle aree distali (piane interfluviali) dove l'energia del flusso, e quindi la capacità di trasporto, diminuiva progressivamente.

Questo meccanismo naturale è stato interrotto dall'uomo, che, per poter creare un ambiente stabile per i propri insediamenti e per le attività agricole, ha costretto i fiumi padani entro argini artificiali.

Il processo di esondazione da parte dei corsi d'acqua appenninici può essere visto come conseguenza della tettonica recente ed in atto che ha guidato e guida tuttora i processi di sedimentazione dei corsi d'acqua e condiziona l'aspetto morfologico della pianura; si tratta di movimenti essenzialmente areali, verticali, complessi, differenziati fra strutture sinclinali ed anticlinali sepolte che testimoniano il sollevamento continuo delle strutture appenniniche (PAPANI G. & SGAVETTI M., 1975). Attualmente il T. Parma, tende nel suo basso corso a spostarsi verso oriente, nonostante le opere di arginatura. L'alveo,

presenta un andamento a canali anastomosati già nell'area collinare, fino nei pressi dell'Autostrada del Sole; quindi si trasforma in un alveo ad isole fluviali per un breve tratto prima di iniziare a meandreggiare fino alla confluenza con il F. Po. Il corso d'acqua diviene pensile sulla pianura all'altezza della Via Emilia ed è costretto entro opere di arginatura sempre più consistenti fino alla confluenza con il F. Po (M.U.R.S.T., 2001).

3.2 Il bacino idrogeologico della pianura Emiliano - Romagnola

Il "materasso alluvionale" depositatosi sui sedimenti marini che costituisce la Pianura Emiliano - Romagnola, risulta essere formato dalla saldatura delle conoidi dei corsi d'acqua appenninici che hanno sovente cambiato percorso con spostamento dell'alveo anche di molti chilometri, fino a far interferire le alluvioni di un corso d'acqua con quelle di un altro in una stessa zona (PETRUCCI F. *et alii*, 1975) (Figura 5). È quindi ormai noto che, per le profondità studiate, la media pianura parmense è stata costruita dall'attività dei fiumi appenninici, rappresentata da processi di migrazione laterale, eventi di avulsione e ripetuti episodi di alluvionamento delle piane adiacenti. Gli antenati degli attuali fiumi del parmense risultano quindi i veri protagonisti della storia geologica locale, una storia in cui i singoli corsi d'acqua hanno avuto importanza diversa tra loro (VALLONI R. & BAIO M., 2003).

I depositi fluviali a conoide presentano il vertice in corrispondenza degli sbocchi delle valli torrentizie e si allargano a ventaglio verso la pianura con una sedimentazione eterogenea, a forma lenticolare, variabile dalle ghiaie alle argille.

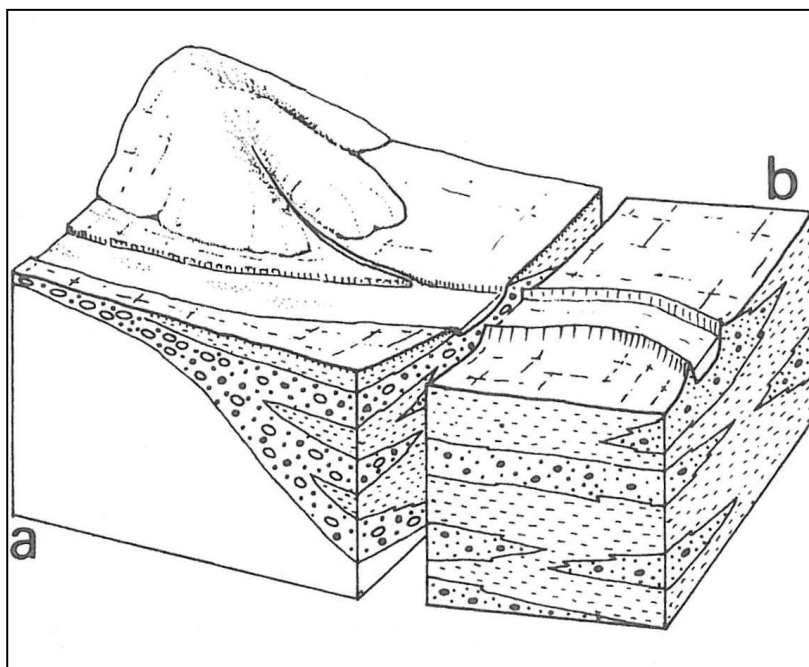


Figura 5 - Sistema idrogeologico plurifalda tipico dell'alta (a) e della medio-bassa (b) pianura alluvionale della provincia di Parma.

L'architettura degli ambienti sedimentari sviluppati nel Pleistocene superiore - Olocene è quindi illustrata dalle relazioni spaziali fra corpi di:

- ghiaie e sabbie deposte in ambiente di canale fluviale;
- sabbie e limi deposti in ambiente di canale, argine e dosso fluviale;
- limi e argille deposti in ambiente di piana alluvionale;
- argille e vegetali deposti in ambiente alluvionale con acque subaffioranti o stagnanti.

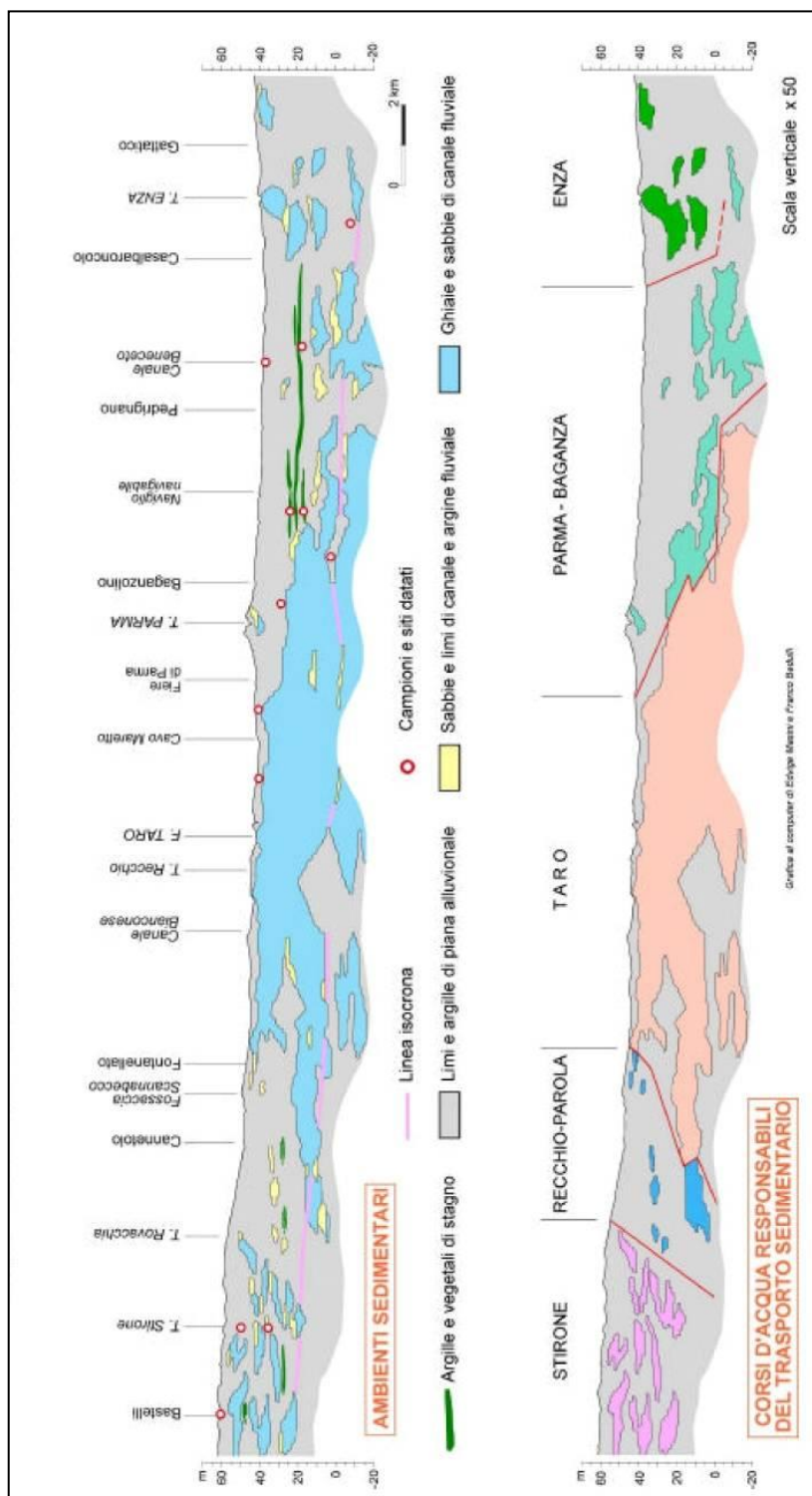


Figura 6 – Sezione sedimentologica sul tracciato alta velocità della media pianura parmense: ambienti sedimentari e corsi d’acqua responsabili del trasporto sedimentario (VALLONI R. & BAIO M., 2003).

Nel sottosuolo della pianura e sul Margine Appenninico Padano sono stati riconosciuti tre Gruppi Acquiferi separati da barriere di permeabilità di estensione regionale, informalmente denominati Gruppo Acquifero A, B e C a partire dal piano campagna (RER - ENI - AGIP, 1998).

Il Gruppo Acquifero A è attualmente sfruttato in modo intensivo, il Gruppo Acquifero B è sfruttato solo localmente, il Gruppo Acquifero C, isolato rispetto alla superficie per gran parte della sua estensione, è raramente sfruttato.

L'architettura interna e le caratteristiche petrofisiche delle *Unità Idrostratigrafiche* descritte sono il risultato della storia tettonica e deposizionale del bacino sedimentario. I meccanismi naturali che controllano questo processo sono due:

1. alternanze di fasi di sollevamento tettonico con fasi di subsidenza regionale;
2. oscillazioni climatico-eustatiche ad alta frequenza.

Nel Bacino Idrogeologico della Pianura Emiliano - Romagnola il limite tra acqua dolce e salmastra definisce la base degli acquiferi utili per uso idropotabile e agricolo-industriale. La profondità di tale limite è nota in corrispondenza di alcuni pozzi per acqua particolarmente profondi e dei pozzi pubblicati dall'AGIP sui volumi "Acque dolci sotterranee" (1972 - 1994); in questi ultimi il limite tra acqua dolce e salmastra è stato posto convenzionalmente in corrispondenza del valore di 10 ohm*m dei log di resistività, equivalente ad una conducibilità di 1000 mS/cm.

Per *Unità Idrostratigrafica* si intende la formazione, o la parte di una formazione oppure un gruppo di formazioni con caratteristiche idrologiche omogenee o distribuite in modo da permettere una suddivisione interna in acquiferi e barriere di permeabilità associate (DOMENICO P.A. & SCHWARTZ F.W., 1990). Secondo tale definizione, l'*Unità Idrostratigrafica* può essere considerata come sinonimo di *Formazione Idrogeologica* o *Unità Idrogeologica*.

Attualmente le conoscenze idrogeologiche del Bacino della Pianura Emiliano - Romagnola sono raccolte nella pubblicazione "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia - Romagna" (1998) a cura di Di Dio a cui si fa riferimento per la parte teorica introduttiva.

In tali studi si definisce *Unità Idrostratigrafico - Sequenziale (UIS)* una particolare sottoclasse di Unità Idrostratigrafiche (MAXEY G.B., 1964) i cui componenti presentano le seguenti caratteristiche:

- sono costituiti da una o più Sequenze Deposizionali;
- sono comprensivi di un livello geologico basale, scarsamente permeabile (acquitardo) o impermeabile (acquicludo), arealmente continuo (la continuità areale va intesa in senso geologico e non letterale).

Dalla prima caratteristica consegue che un'UIS è un corpo geologico complesso, formato da gruppi di strati con geometrie e caratteri petrofisici variabili ma legati geneticamente, cioè depositi in ambienti sedimentari contigui ed in continuità di sedimentazione; questo comporta che le superfici di strato possano toccare ma non intersecare i limiti di un'UIS. Dal momento che, se si escludono le aree di ricarica diretta, negli acquiferi regionali i flussi idrici avvengono con componente parallela alle superfici di strato molto maggiore di quella ortogonale, si può concludere che tali flussi sono necessariamente confinati all'interno della medesima UIS.

Dalla seconda caratteristica consegue che ogni UIS può essere considerata idraulicamente isolata da quelle adiacenti, sicchè il livello piezometrico misurato in un acquifero appartenente ad una determinata UIS è di norma indipendente dai livelli piezometrici misurati, sulla stessa verticale, in acquiferi contenuti in altre UIS.

Come brevemente descritto in precedenza, ogni Unità Idrostratigrafica è costituita da un corpo e un tetto composto da sedimenti non coesivi, essenzialmente ghiaioso-sabbiosi prodotti nella fase deposizionale di alta energia, e da una base prevalentemente fine che costituisce una barriera di permeabilità regionale prodotta nella fase deposizionale di bassa energia (disattivazione) dei sistemi sedimentari, che generalmente prende campo, per motivi climatici, nell'intervallo tra la fine della risalita eustatica e l'inizio della caduta successiva; essa corrisponde all'intervallo tra il tardo "Trasgressive Systems Tract" e il tardo "Highstand Systems Tract" (POSAMENTIER H.W. & VAIL P.R., 1988).

In sintesi l'individuazione di Unità Idrostratigrafiche, in particolare di Unità Idrostratigrafiche - Sequenziali, comporta il notevole vantaggio pratico di poter studiare l'idrodinamica sotterranea locale (aree di decine di km²) considerando ciascuna unità idraulicamente isolata dalle altre.

Come accennato all'inizio del capitolo, il quadro stratigrafico della Pianura Emiliano - Romagnola è composto da tre Unità Idrostratigrafiche - Sequenziali, informalmente denominate Gruppo Acquifero A, B e C a loro volta suddivise in tredici UIS, gerarchicamente inferiori, denominate *Complessi Acquiferi* (cfr. Figura 6). La differenza gerarchica si basa essenzialmente sullo spessore, sulla continuità ed estensione areale del livello acquifero o impermeabile di ciascuna unità.

3.3 Geomorfologia, uso del suolo, idrogeologia ed idrologia dell'area in esame

Il terreno in oggetto si colloca in un'area di alta pianura (ad una quota di circa 111 m s.l.m.) in Via Mulino, in località Veggia, nel territorio comunale di Casalgrande, in provincia di Reggio Emilia (cfr. Tavola 1 tra gli Allegati).

Dall'esame della "Carta Geomorfologica della pianura di Reggio Emilia" (MURST, 1997), si osserva che l'area è ubicata al di sopra di depositi superficiali di tipo *ghiaiosi* (cfr. Tavola 6 tra gli Allegati), compresa all'interno di alcuni terrazzi fluviali del F. Secchia di altezza inferiore ai 5 metri. L'area si trova allo sbocco del F. Secchia sulla Pianura Padana, e sono quindi facilmente riconoscibili i conoidi alluvionali con pendenze inferiori al 10‰.

Riguardo l'idrografia superficiale che, secondo la pubblicazione di Cremaschi (1980) rientra nel *drenaggio di recente sistemazione agraria* e nel *drenaggio di antica sistemazione agraria*, si ritrovano una serie di canali e rii che hanno il compito di drenare le acque meteoriche all'interno dell'apparato idrografico principale che è rappresentato dal F. Secchia sito a 0,3 Km ad est dell'area. Tali rii e canali mantengono tuttora i caratteri naturali propri delle zone fluviali della media pianura Emiliano-Romagnola: meandreggiano nei tratti pianeggianti e sono maggiormente rettilinei nei tratti con maggiore pendenza andando così ad incidere le alluvioni ed i terrazzi formando piccole valli a V. In queste zone di particolare pregio naturalistico

e paesaggistico è presente una lussureggiante cenosi arborea ed arbustiva che permette alla fauna terrestre ed acquatica di prosperare.

Fanno parte di tale reticolo idrografico superficiale di rango inferiore il Rio della Rocca a sud ed immediatamente ad est dell'area in studio, il Rio Riazolo ad ovest ed il Canale di Reggio a sud.

Nel sito in esame, come è dimostrato in Tavola 7 tra gli Allegati, le isopieze attestano la falda alla quota di circa 87 m s.l.m., quindi con una soggiacenza di circa 24 metri rispetto al piano campagna che, come specificato, è posto alla quota di circa 111 m s.l.m. La direzione del flusso principale della falda, su vasta scala, è all'incirca nord-est. Ulteriori conferme a quanto detto si ottengono dalla "Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento" della Alta pianura reggiana tra T. Crostolo e F. Secchia (CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche & AGAC, 1992) e la pubblicazione "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna" a cura di Di Dio (AGIP - RER - ENI, 1998).

In corrispondenza del lotto in questione il flusso della falda assume una direzione verso nord-est con una pendenza pari allo 4,5%.

Sulla base dello schema geologico-stratigrafico ed idrostratigrafico proposto da Di Dio (1998), e grazie ai risultati delle prove penetrometriche (non si riscontrano falde fino alle profondità indagate) eseguite nell'area in studio e all'osservazione delle stratigrafie dei pozzi limitrofi è stata rinvenuta l'Unità Idrostratigrafica - Sequenziale (UIS) superficiale che è presente in tutto il bacino Emiliano-Romagnolo denominata *Acquifero A1*.

Tale acquifero attesta la sua profondità basale alla quota di circa 90 m s.l.m.

Gli Acquiferi A2, A3, A4, B e C non sono stati presi in considerazione perché si attestano ad elevate profondità e quindi non verranno interessati dalle opere di urbanizzazione.

Tuttavia, a seguito di un'intensa attività meteorica, si potrebbero creare piccole falde superficiali temporanee (falde sospese) che possono rappresentare un potenziale pericolo per l'integrità degli edifici che sorgeranno all'interno dell'area in conseguenza di versamenti nello scavo di fondazione durante l'edificazione del fabbricato, di allagamenti o di possibili infiltrazioni di acque al termine della costruzione. E' pertanto importante che sia cura del progettista, predisporre i lavori in modo tale che, durante lo sbancamento del piano interrato, venga realizzato un dreno intorno allo scavo, e al di sotto del piano di fondazione, in modo da raccogliere l'acqua e provvedere allo smaltimento delle stesse affinché non si verifichino ristagni a ridosso delle opere fondali. Inoltre la pavimentazione e le pareti dell'interrato, andranno impermeabilizzate tramite una soletta di cemento in grado di sopportare l'eventuale spinta idrostatica dell'acqua nel sottosuolo.

Le prove penetrometriche dinamiche sono terminate ad una profondità variabile tra i -5,4 e i -5,8 metri dal p.c., a causa dell'eccessiva resistenza alla punta (q_c) che ha causato il rifiuto alla penetrazione meccanica del terreno ad opera dello strumento. Pertanto non è stato possibile misurare la profondità della falda.

Per quanto riguarda i suoli, si fa riferimento alla “Carta dell'Uso del Suolo dell'Emilia-Romagna” in scala 1:250.000 (RER, 2007), secondo la quale il terreno in studio appartiene a un gruppo di suoli di pianura definito *insediamenti produttivi industriali, artigianali e agricoli con spazi annessi* (1.2.1.1), dove gli edifici, la viabilità e le superfici ricoperte artificialmente coprono oltre il 50% della superficie totale (cfr. Tavola 5 tra gli Allegati).

3.4 Vulnerabilità dell'acquifero

In ambiente di pianura alluvionale per grado di vulnerabilità si deve intendere la maggiore o minore trasparenza offerta dal pacco di depositi alluvionali che sovrastano l'acquifero saturo e permeabile nei confronti degli stessi agenti inquinanti.

La costruzione della carta della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi dell'alta pianura di Reggio Emilia, della conoide del T.Crostolo e del T.Enza, ma anche quella della conoide del F.Secchia è avvenuta con la stessa metodologia rispetto a quella proposta da Civita (1990).

Ricordiamo che nella valutazione del grado di vulnerabilità hanno un peso preponderante i seguenti fattori geologici e idrogeologici: la idro-litologia, che determina la velocità di percolazione dell'inquinamento e l'azione di attenuazione insita nei diversi terreni; il tipo e lo spessore di un'eventuale copertura a bassa permeabilità, quale elemento di protezione per l'acquifero sottostante o, all'opposto, la presenza di livelli ghiaiosi ad elevata permeabilità; la soggiacenza della superficie piezometrica media dell'acquifero la quale definisce lo spessore della zona insatura, direttamente proporzionale all'azione di autodepurazione degli inquinanti operata dai terreni; la condizioni di interscambio da parte dei corsi d'acqua naturali e di canali artificiali, veicoli di inquinanti.

E' evidente che la presenza in superficie di discreti spessori di litologie fini, argille e limi, con tetto della ghiaie e quindi dell'acquifero relativamente profondi, costituiscono elementi a garanzia di una buona protezione dell'acquifero all'inquinamento. Viceversa il subaffiorare di litologie ad elevata permeabilità, o comunque la loro ridotta soggiacenza, indicano che il territorio è idrogeologicamente vulnerabile all'inquinamento.

La conoide si compone di sedimenti fluviali prevalentemente grossolani e permeabili (ghiaie e sabbie), con intercalazioni di depositi fini scarsamente permeabili (limi e argille) in quantità subordinata. Questi depositi, come precedentemente descritto nel Capitolo 3.2, costituiscono *Unità Idrostratigrafica - Sequenziale (UIS)* e sono costituite al tetto da livelli permeabili e alla base da un livello scarsamente permeabile (acquitardo) o impermeabile (acquicludo) arealmente continuo.

L'acquifero più superficiale, denominato acquifero A_0 , è arealmente continuo e si estende in tutta la pianura Emiliano-Romagnola.

L'alimentazione dell'acquifero avviene per infiltrazione delle acque meteoriche e irrigue laddove affiorano o subaffiorano ghiaie e sabbie, cioè l'acquifero e per dispersione da alvei di corsi d'acqua e canali di acque derivate.

L'acquifero A₀ costituisce un sistema "monostrato", indifferenziato, affiorante o subaffiorante, con falda libera e in connessione idraulica con i corsi d'acqua, nella parte apicale delle conoidi (costituenti lo stesso acquifero), il quale, verso valle, passa a condizioni compartimentate, con falda in pressione per la presenza di coperture e intercalazioni impermeabili, che, seppure arealmente estese, consentono contatti idraulici tra i diversi comparti o livelli dell'acquifero.

In prima approssimazione e a scala regionale, quindi, dal punto di vista della vulnerabilità dell'acquifero agli inquinamenti, si potranno ipotizzare condizioni di elevata vulnerabilità per la parte apicale della conoide (del T.Crostolo, del T.Enza o del F.Secchia), costituenti la parte di alimentazione del sistema acquifero, con grado di vulnerabilità decrescente via via che si procede verso nord, cioè verso le parti intermedie e frontali delle conoidi e ancora più basso nei sedimenti delle antistanti piane alluvionali, dove coperture ed intercalazioni impermeabili assumono estensioni e spessori prevalenti rispetto ai livelli ghiaiosi e sabbiosi.

Dall'esame della "Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale" (CNR, 1993), emerge il grado di vulnerabilità *estremamente elevato* della fascia che affianca l'alveo dei principali torrenti della pianura Emiliano-Romagnola in quanto costituito da alluvioni essenzialmente ghiaiose e ghiaioso-sabbiose. In tale classe sono stati compresi anche l'area golenale ed i depositi terrazzati recenti, corrispondenti all'alveo di piena. Sono presenti anche aree caratterizzate da un grado di vulnerabilità *elevato* che sono localizzate sempre lungo il corso dei torrenti sopramenzionati in zone maggiormente distali dal corso d'acqua caratterizzate da sabbie e ghiaie. Le aree ad *alto* grado di vulnerabilità sono localizzate in corrispondenza di ghiaie e sabbie subaffioranti quali i terrazzi medio-recenti laterali ai torrenti. Il grado di vulnerabilità *medio* interessa in modo discontinuo la conoide olocenica dei torrenti ed i terrazzi tardo-pleistocenici. Alle aree terrazzate pleistoceniche e a buona parte della media pianura, è stato attribuito un grado di vulnerabilità *basso*.

La presenza in superficie dei paleosuoli limo-argillosi a comportamento impermeabile, associati alla elevata soggiacenza dell'acquifero, determinano per i terrazzi pleistocenici una adeguata protezione alla percolazione degli inquinanti.

In particolare, l'area oggetto di studio, presenta un grado di vulnerabilità *elevato*. Il lotto è prossimale a *industrie con scarichi organico-biologici ed inorganici* (cfr. Tavola 7 tra gli Allegati).

Si consideri anche che tale carta rappresenta la vulnerabilità naturale, alla quale può essere associato il fattore di rischio determinato invece dal carico inquinante che grava in maniera differenziata sul territorio. Va precisato inoltre che la vulnerabilità dell'acquifero regionale non comprende le falde superficiali della media e bassa pianura; è all'acquifero profondo pertanto a cui vanno riferiti i bassi e bassissimi gradi di vulnerabilità della media e bassa pianura.

4. CAMPAGNA DI INDAGINI

Ai fini del presente studio sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- **N°2 prove penetrometriche dinamiche (DPSH-B)** mediante penetrometro statico-dinamico modello Pagani TG 63/200 da 20 ton. La massima profondità indagata è pari a -5,8 metri dal piano campagna attuale, allo scopo di risalire ad un profilo stratigrafico dell'area di interesse e ai valori dei parametri geomeccanici delle terre in posto (cfr. Capitolo 5.1 & Tavola A tra gli Allegati);
- **N°1 stendimento sismico (MASW)** al fine di valutare la risposta del terreno all'azione sismica, mediante la valutazione della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri sotto il piano di posa delle fondazioni (V_{s30}) (cfr. Capitolo 8 & Tavola D tra gli Allegati);
- **Osservazioni** del sito in esame, riguardanti l'idrologia superficiale e l'idrogeologia profonda, la morfologia del terreno in oggetto e delle aree circostanti e l'uso del suolo (cfr. Capitolo 3.3).

La scelta della campagna di indagini si è orientata verso tale prova in sito sia per la velocità con la quale si possono ottenere i valori cercati, sia per i costi relativamente contenuti. Essa consente di ricavare dati utili al riconoscimento preliminare, in base alle resistenze incontrate, delle caratteristiche granulometriche dei terreni attraversati, permettendo così di ricavare il profilo stratigrafico degli orizzonti attraversati.

4.1 Prova penetrometrica dinamica (DPSH-B)

La prova penetrometrica dinamica (DPSH-B) consiste nell'infissione verticale nel terreno di una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta di acciaio, prolungabile con l'aggiunta successiva di altre aste. L'infissione avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante un maglio di un dato peso (cfr. Capitolo 4.1.2).

Si contano i colpi necessari per la penetrazione di un tratto di lunghezza stabilita pari a 20 cm (N_{20}). La resistenza del terreno è funzione inversa della penetrazione per ciascun colpo e, diretta, del numero di colpi per una data penetrazione.

Il penetrometro statico-dinamico (DPSH-B), lo strumento utilizzato dallo scrivente per l'esecuzione delle prove in sito (Cfr. Figura 7), è il tipo maggiormente diffuso nella pratica corrente: si tratta del modello Pagani statico dinamico TG 63/200 (standardizzato) presente sul mercato italiano in diverse versioni; viene trasportato su un autocarro fuoristrada tipo Bremach GRV35.



Figura 7 – Esecuzione di una prova penetrometrica statica/dinamica con penetrometro Pagani TG 63/200 da 20 ton.

4.1.1 Procedura nazionale (AGI) ed internazionale (ISSMGE) di riferimento

L'Associazione Geotecnica Italiana (AGI) ha incluso la prova SPT (*Standard Penetration Test*) eseguite con sonde, nelle *Raccomandazioni per le Indagini Geotecniche* (1977). Per quanto riguarda le prove penetrometriche dinamiche, esistono diversi modelli di penetrometro, ma le raccomandazioni AGI (1977) prendono in considerazione unicamente la prova con penetrometro super-pesante, penetrometro utilizzato dallo scrivente e classificato in campo internazionale come DPSH-B. L'Associazione Geotecnica Internazionale (prima ISSMFE, ora ISSMGE) ha emesso (1988-89) una *Procedura di Riferimento* aggiornata in materia.

L'Eurocodice, nella versione attualmente pubblicata, “ENV 1997-3: 1999; Eurocodice 7: *Geotechnical Design: Part 3 – Design assisted by Fieldtesting*”, descrive la prova “standard”, l'attrezzatura, la procedura esecutiva, i fattori di correzione, rendimento del sistema di battitura e influenza della lunghezza della batteria di aste. È attualmente edito un documento di valore europeo ed internazionale: “EN ISO 22476-2: 2003”, elaborato dal “Technical Committee CEN/TC 341 – *Geotechnical Investigation and Testing*” che viene qui assunto come documento di riferimento per la prova DPSH-B.

4.1.2 Caratteristiche tecniche della prova DPSH-B descritte dalla normativa EN ISO 22476-2: 2003

Le caratteristiche tecniche dello strumento sono le seguenti (cfr. Figura 8):

- peso massa battente $M = 63,50 \text{ kg}$;

- altezza caduta libera $H = 0,75 \text{ m};$
- peso sistema battuta $M_s = 8,00 \text{ kg};$
- diametro punta conica $D = 35,70 \text{ mm};$
- area base punta conica $A = 20,00 \text{ cm}^2;$
- angolo apertura punta $\alpha = 90^\circ;$
- lunghezza delle aste $L_a = 1,00 \text{ m};$
- peso aste per metro $M_a = 6,30 \text{ kg};$
- prof. giunzione 1° asta $P_1 = 0,80 \text{ m};$
- avanzamento punta $\delta = 0,20 \text{ m};$
- numero di colpi punta $N = N_{(20)} \text{ relativo ad un avanzamento di } 20 \text{ cm};$

- energia specifica per ogni colpo
$$Q = \frac{MH}{A\delta} = 11,66 \text{ kg/cm}^2 \quad (1)$$

[prova SPT: $Q_{spt} = 7,83 \text{ kg/cm}^2$]

- coeff. teorico di energia
$$\beta t = \frac{Q}{Q_{spt}} = 1,504 \quad (2)$$

[teoricamente: $N_{spt} = \beta \times t \times N$]

Per infiggere la punta conica si utilizza un maglio di massa M (63,50 kg) per un'altezza di caduta H (0,75 m); il maglio batte su una testa di battuta che è rigidamente collegata alle aste di prolunga.

La resistenza alla penetrazione è definita come il numero di colpi richiesto per infiggere la punta conica per un tratto definito. L'energia cinetica propria di ciascun colpo è il prodotto della massa del maglio per l'accelerazione di gravità e per l'altezza di caduta (MgH).

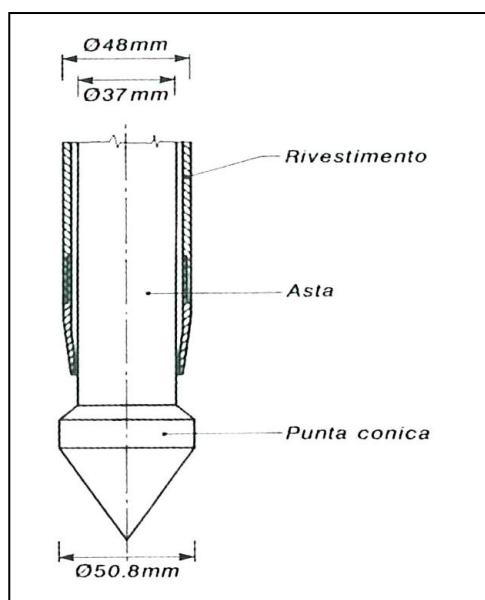


Figura 8 – Punta conica dell’attrezzatura EN ISO 22476-2:2003 (CESTARI F., 2005).

4.2 Elaborazione dei dati della prova penetrometrica dinamica (DPSH-B)

I dati misurati in campagna, vengono rielaborati utilizzando il programma Dynamic probing della ditta Geostru; esso calcola tutti i parametri geotecnici utili per la progettazione dell’edificio, avvalendosi di diverse correlazioni empiriche proposte dai vari autori citati in bibliografia. Il programma fornisce un primo elaborato grafico che riporta tutti i valori del numero di colpi necessari per la penetrazione della punta (N_{SCPT}) registrati ogni 20 cm di avanzamento della stessa, il grafico della resistenza dinamica ridotta (R_{pd}) e la relativa interpretazione stratigrafica per ogni prova penetrometrica (cfr. Tavola A tra gli Allegati). La seconda parte degli elaborati, sempre suddivisa per ogni singola prova penetrometrica, prevede una tabella dove alle varie profondità vengono rispettivamente riportati i valori di:

- prf: = profondità alla quale vengono letti i valori riportati nelle colonne successive (la lettura avviene per intervalli di 20 cm);
- N_{SCPT} = numero di colpi;
- Chi = coefficiente di riduzione sonda;
- R_{pd} = resistenza dinamica ridotta (Kg/cm^2);
- resistenza dinamica (Kg/cm^2);
- pressione ammissibile con riduzione (Herminier – Olandesi) (Kg/cm^2);
- pressione ammissibile (Herminier – Olandesi) (Kg/cm^2).

Successivamente la stima dei parametri geotecnici viene effettuata utilizzando l'interpretazione stratigrafica precedentemente proposta, riportando i valori medi di tutti i parametri geotecnici strato per strato; essa è inoltre suddivisa in funzione della composizione geotecnica del suolo a seconda che il terreno sia di tipo *coesivo* o di tipo *incoerente*. I parametri geotecnici stimati per i terreni di tipo *coesivo* sono:

- C_u = coesione non drenata (Kg/cm^2);
- Q_c = resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Kg/cm^2);
- M_o = modulo edometrico (Kg/cm^2);
- E_y = modulo di Young (Kg/cm^2);
- Classificazione AGI;
- P_{uv} = peso unità di volume (t/m^3);
- P_{uvS} = peso unità di volume saturo (t/m^3).

Per i terreni di tipo *incoerente* i parametri geotecnici stimati sono:

- D_r = densità relativa (%);
- $F_i (\varphi)$ = angolo di resistenza al taglio ($^\circ$);
- E_y = modulo di Young (Kg/cm^2);
- M_o = modulo edometrico (Kg/cm^2);
- Classificazione AGI;
- P_{uv} = peso unità di volume (t/m^3);
- P_{uvS} = peso unità di volume saturo (t/m^3);
- ν = modulo di Poisson;
- G = modulo di deformazione al taglio dinamico (Kg/cm^2);
- V = velocità onde (m/s);
- Liquefazione (considerando una data accelerazione sismica (g));
- K_o = modulo di reazione (Kg/cm^3);
- Q_c = resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Kg/cm^2).

Si precisa inoltre che le elaborazioni sopra citate (effettuate mediante programma di calcolo automatico) fanno riferimento a precise correlazioni empiriche proposte dai vari autori che sono direttamente menzionati nelle tabelle (cfr. Tavola A tra gli Allegati).

Oltre alle informazioni riguardanti i caratteri geomeccanici e litologici dei terreni attraversati, è possibile al termine dell'esecuzione della prova determinare la presenza di acqua nel sottosuolo. Attraverso la semplice osservazione della punta delle aste si rileva la presenza di infiltrazioni acquifere o di una falda vera e propria; calando poi nel foro lasciato nel suolo dall'infissione della punta e delle aste un freatimetro ad avvisatore sonoro è possibile misurare la profondità alla quale si collocano le infiltrazioni o il livello della superficie piezometrica.

5. VALUTAZIONI GEOLITOLOGICHE

5.1 Elaborazioni prove penetrometriche dinamiche (DPSH-B)

Con riferimento ai risultati delle prove penetrometriche dinamiche (DPSH-B) (cfr. Tavola A tra gli Allegati), si rileva nel sottosuolo la presenza di:

DPSH n°	Strato	Profondità strato (H) (m)	Descrizione strato
1	I	p.c. ÷ 1,4	suolo di tipo limoso argilloso
	II	1,4 ÷ 5,4	ghiaia incoerente molto addensata
2	I	p.c. ÷ 1,4	suolo di tipo limoso argilloso
	II	1,4 ÷ 5,8	ghiaia incoerente molto addensata

Tabella 1 – Stratigrafia desunta dallo studio delle prove penetrometriche dinamiche (SCPT con penetrometro DPSH-B).

Si precisa che in Tabella 1 sono forniti valori medi calcolati sulla base dei dati registrati durante l'esecuzione delle indagini; per ottenere le caratteristiche geomeccaniche ad una profondità prefissata, si rimanda alle tabelle presenti tra gli Allegati (cfr. Tavola A tra gli Allegati), essendo lo schema sopra proposto puramente indicativo.

5.2 Liquefazione

La liquefazione dei terreni in condizioni sismiche, rappresenta una possibile minaccia che può manifestarsi durante i terremoti, interessando, in genere, depositi di natura sabbiosa o sabbioso-limosa, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi.

Per valutare il grado di liquefazione di un terreno, l'allegato A3.2 della Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale n°112 del 02/05/2007, raccomanda l'utilizzo delle prove CPT elaborate con il metodo di Robertson & Wride (1998) che valutano il *fattore di sicurezza a liquefazione* (F_L):

- $F_L > 1$ = liquefazione è da escludere;
- $F_L \leq 1$ = liquefazione possibile.

Nell'area indagata si presenta la seguente situazione:

- assenza di strati sabbiosi o sabbioso-limosi consistenti (sono presenti solo piccoli strati a bassissima componente sabbiosa);
- assenza di falda stabile (terreni non saturi), fino alla profondità raggiunta dalle prove penetrometriche dinamiche (SCPT) e comunque fino alla profondità di 15 metri (quota limite introdotta dall'allegato A3.1 della Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale n°112 del 02/05/2007). La falda, come si evince dalla Tavola 3, si attesta ad una profondità di circa 24 m al di sotto dal piano campagna (cfr. Capitolo 3.3).

Queste due condizioni, a seguito di eventi sismici, escludono la possibilità di liquefazione dei terreni.

6. NORMATIVA SISMICA

6.1 Brevi cenni sulla riclassificazione sismica

Il territorio dell'Emilia - Romagna è interessato da una sismicità che può essere definita di intensità media rispetto alla sismicità nazionale. La recente riclassificazione sismica del territorio nazionale (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/03, pubblicata nel Supplemento Ordinario n°72 della Gazzetta Ufficiale dell'08/05/03 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"), ha modificato il quadro dell'Emilia-Romagna (cfr. Figura 9): da 89 comuni classificati di II categoria dalla precedente classificazione (gli altri 252 non erano classificati sismici) si è passati a 105 comuni in zona 2 ($0,15 < a_g/g < 0,25$), 214 in zona 3 ($0,05 < a_g/g < 0,15$) e i restanti 22 comuni in zona 4 ($a_g/g < 0,05$);

dove:

- a_g = accelerazione di picco orizzontale al suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni;
- g = accelerazione di gravità.

Gli effetti di un terremoto in superficie possono variare a seconda delle caratteristiche litologiche, idrogeologiche e morfologiche. Accumuli detritici, alluvionali, terreni di riporto, creste e cucuzzoli possono amplificare il segnale sismico; terreni granulari con falda superficiale possono essere soggetti a liquefazione o addensamento con conseguenti cedimenti; frane e detriti di versante possono essere rimobilizzati.

La definizione della pericolosità locale e la microzonazione sismica sono gli strumenti più idonei per la conoscenza e la prevenzione degli effetti dovuti a fattori locali; rappresentano quindi strumenti di base propedeutici e necessari per la prevenzione e la riduzione del rischio sismico.

Le norme tecniche delle costruzioni, approvate con il DM del 14/09/2005 e modificate con il DM del 14/01/2008, definiscono le verifiche da effettuare al fine di ridurre il rischio sismico.

La Delibera di Giunta Regionale n°1677 del 24/10/2005 contiene le "prime indicazioni applicative" in merito al Decreto Ministeriale del 14/09/2005 mentre la Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna progr. n°112 del 02/05/2007 definisce gli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica.

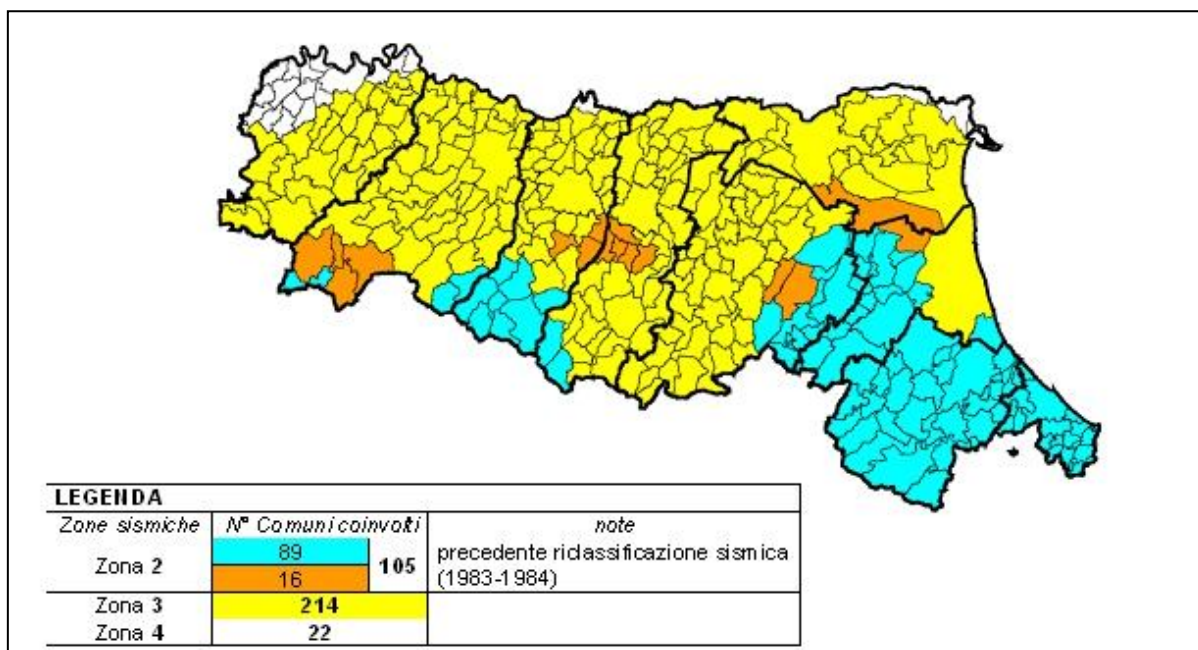


Figura 9 – Riclassificazione sismica della Regione Emilia Romagna (OPCM n°3274 del 20/03/03).

6.2 Azione sismica

L'azione sismica sulle costruzioni è generata dal moto non uniforme del terreno di sedime provocandone la risposta dinamica, che va verificata e controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese. L'azione può essere descritta mediante accelerogrammi o mediante spettri di risposta.

Nel seguito si definisce l'azione sismica per lo stato limite ultimo e lo stato limite di danno.

Sotto l'effetto dell'azione sismica allo stato limite ultimo, le strutture degli edifici, pur subendo danni di rilevante entità negli elementi strutturali, devono mantenere una residua resistenza e rigidità nei confronti delle azioni orizzontali e dei carichi verticali.

Sotto l'effetto dell'azione sismica allo stato limite di danno, le costruzioni nel loro complesso, includendo gli elementi strutturali e quelli non strutturali, ivi comprese le apparecchiature rilevanti alla funzione dell'edificio, non devono subire danni ed interruzioni d'uso in conseguenza di eventi sismici che abbiano una probabilità di occorrenza maggiore dell'azione sismica allo stato limite ultimo, e quindi una significativa probabilità di verificarsi più volte nel corso della durata utile dell'opera.

Per particolari categorie di costruzioni, per le quali è richiesto il mantenimento della funzionalità anche dopo terremoti violenti, il livello di danno accettabile può essere definito in relazione alle prestazioni attese dal progettista e/o dal committente.

6.3 Livelli di protezione antisismica e categorie di suolo di fondazione

Ai fini dell'applicazione delle norme sismiche, il territorio nazionale viene suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore di accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A (a_g). I valori di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono:

Zona sismica	Accelerazione orizzontale massima scaricata sul suolo (a_g)
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

Tabella 2 – Valore dell'accelerazione orizzontale massima scaricata sul suolo (a_g) in funzione della zona sismica.

Per poter definire la categoria di suolo è necessario disporre di apposite indagini mirate all'individuazione della velocità delle onde S nei primi 30 metri di terreno al di sotto del piano di posa delle fondazioni (V_{s30}).

Secondo la Normativa tecnica le costruzioni devono essere dotate di un livello di protezione antisismica differenziato in funzione della loro importanza e del loro uso, e quindi delle conseguenze più o meno gravi di un loro danneggiamento per effetto di un evento sismico. A tale scopo sono state definite diverse "categorie di importanza", a ciascuna delle quali è associato un fattore detto *fattore di importanza* (λ_i). Tale fattore amplifica l'intensità dell'azione sismica di progetto rispetto al valore che per essa si assume per costruzioni di importanza ordinaria (azione sismica di riferimento).

Il fattore di importanza si applica in eguale misura all'azione sismica da adottare per lo stato limite di collasso e per lo stato limite di danno, variando conseguentemente le probabilità di occorrenza dei relativi eventi che si considerano nelle verifiche.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

A - Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m;

B - Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $C_u > 250$ kPa);

C - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < C_u < 250$ kPa);

D - Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{SPT} < 15$, $C_u < 70$ kPa);

E - Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 metri, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.

In aggiunta a queste categorie, per le quali vengono definite le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 - Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 metri di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s ($10 < C_u < 20$ kPa);

S2 - Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle definizioni precedenti V_{s30} è la velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \quad (3)$$

dove:

h_i = spessore (m);

V_i = velocità delle onde di taglio (m/s) per deformazioni di taglio $\lambda < 10^{-6}$ dello strato iesimo, per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

6.4 Modalità di classificazione sismica del terreno oggetto di studio

Il metodo geofisico utilizzato in questa sede per la caratterizzazione della sequenza stratigrafica del sottosuolo in base al valore delle V_s , è la modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh e più precisamente la MASW (Multi channel Analysis of Surface Waves).

Le onde Rayleigh sono onde di superficie e sono generate dall'interazione tra onde di pressione (P) e le onde di taglio verticali (Sv) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed

isotropo. In presenza di un semispazio omogeneo la loro velocità non presenta dipendenza dalla frequenza (no dispersione). Alla superficie libera hanno moto ellittico retrogrado che si inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$.

L'ampiezza dello spostamento decresce con legge esponenziale. Per questo diviene rapidamente trascurabile con la profondità. La propagazione di queste onde non è influenzata dalle caratteristiche del mezzo al di sotto di una profondità pari a λ . Esse possono essere viste come la sovrapposizione di due componenti separate: una longitudinale e l'altra trasversale, che si propagano lungo la superficie con la stessa velocità ma con differente attenuazione con la profondità.

Il vantaggio di utilizzare il metodo MASW sta nel fatto che non è limitato dalla presenza di inversioni di velocità in profondità; ha una buona risoluzione e poi perché la propagazione delle onde Rayleigh è funzione soprattutto delle Vs (parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito). Esso è particolarmente indicato per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.

La dispersione è la deformazione di un treno d'onda dovuta ad una variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per la onde Rayleigh questa deformazione non si manifesta all'interno di un semispazio omogeneo ed isotropo ma solo quando questi presenta una stratificazione. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda λ (quindi frequenza) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di circa $\lambda/2$. Tale velocità delle onde di Rayleigh (V_r) è pari a circa il 90% delle onde di taglio Vs.

6.5 Tecnica MASW

L'indagine sismica è finalizzata alla determinazione delle velocità delle onde sismiche di taglio (Vs) nei terreni attraversati mediante la valutazione della V_{s30} come richiesto dall'OPCM n°3274 del 20/03/03 e DM del 14/09/2005 "Testo Unico sulle Costruzioni".

Si ricorda che la nuova normativa definisce l'azione sismica di progetto, sulla base della zona sismica assegnata al comune di appartenenza e la categoria sismica del suolo dell'area di intervento, ricavata dalle indagini sismiche dirette.

All'interno del territorio nazionale fino ad oggi sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (cfr. Allegato 1 ordinanza n°3274 dell'OPCM del 20/03/2003). La classificazione del suolo (come precedentemente indicato) è invece convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità al di sotto delle fondazioni.

Lo strumento impiegato è un sismografo PASI a 24 canali con energizzatore che può essere: a esplosione, tipo minibang o massa battente (martello) che è quello impiegato nel caso in studio.

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il programma di calcolo WinMASW, prodotto dalla EliaSoft, che permette di calcolare i moduli elastici tipici del terreno, di determinare lo spettro della velocità e di eseguire l'inversione della curva di dispersione.

In corrispondenza del sito indagato è stato effettuato uno stendimento di 46 m con 24 elettrodi con distanza tra i geofoni pari a 2 m ed utilizzo di geofoni a componente verticale, particolarmente sensibili alle basse frequenze (geofoni da 4,5 Hz).

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

Applicando la formula della media ponderata (cfr. 3) ed utilizzando il software di calcolo WinMasw si ottiene:

Velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri sotto il piano di posa delle fondazioni (V_{s30}) (m/sec)
366

Tabella 3 – Velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri sotto il piano di posa delle fondazioni (V_{s30}).

Il valore “medio” ottenuto ha stabilito che il terreno può essere classificato nella **categoria B**, ovvero costituito da **depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti**, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $C_u > 250$ kPa) (cfr. Capitolo 6.3 e Tavola 8).

6.6 Stima della frequenza di risonanza

L'attuale normativa antisismica italiana ricalca l'Eurocodice 8, il quale a sua volta ha recepito in toto la normativa californiana.

Questa duplice traduzione ha purtroppo portato a travisare lo spirito originale, che era quello di fornire una base quantitativa a basso costo, seppure molto approssimata, per la classificazione dei suoli in termini di effetti di sito. In realtà il parametro chiave rappresentato dalla velocità media delle onde S, presenta una modesta correlazione con gli effetti di sito.

E' stato quindi proposto un metodo basato sulle misure a stazione singola del tremore sismico. Queste ultime, attraverso i rapporti spettrali, portano infatti alla misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, parametro la cui correlazione con gli effetti di sito è ben più significativa di quella del V_{s30} .

Le misure di microtremore opportunamente invertite, permettono anche di stimare in maniera rapida il valore del V_{s30} .

Gli effetti di sito sono amplificazioni locali delle onde sismiche dovute a particolari condizioni geologiche e topografiche e sono decisamente più difficili da caratterizzare rispetto agli elementi di instabilità dei suoli.

Se la frequenza di risonanza del suolo coincide con quella degli edifici, si produce un'amplificazione molto grande delle onde sismiche e vengono indotte sollecitazioni con forte potere distruttivo (*fenomeno della doppia risonanza*). Pertanto per prevedere e prevenire questa coincidenza di risonanza è sufficiente misurare la frequenza propria di risonanza del sito, quella di ciascun edificio e confrontarle.

Gli strati in cui si suddivide il terreno si distinguono per le diverse densità e le diverse velocità delle onde sismiche. Un'onda che viaggia nel primo mezzo viene parzialmente riflessa dall'interfaccia che separa due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte lo spessore H del primo strato (si intendono i primi 30 m al di sotto del piano di posa delle fondazioni). La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) del primo strato relativo alle onde S è pari a:

$$f_r = \frac{V_s}{4H} \quad (4)$$

Nel caso, più comune, in cui il sistema studiato sia a più strati, occorre determinare il valore di V_s tramite una media pesata delle velocità delle onde di taglio che caratterizzano gli strati presenti al di sotto della fondazione dell'edificio per tutta la profondità investigata; più precisamente:

$$\overline{V_s} = \sum_{i=1}^n \frac{V_{si} \cdot H_i}{H} \quad (5)$$

dove:

- H_i = spessore dello strato i -esimo;
- V_s = velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo;
- H = spessore totale del deposito investigato.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e pertanto può essere calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula:

$$freq.naturale.edificio = \frac{10Hz}{n^{\circ} piani} \quad (6)$$

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura ad essere particolarmente pericolosa perché può dar luogo alla massima amplificazione.

Date le premesse sopra descritte, in questo paragrafo si vuole dare un valore indicativo del valore di frequenza di risonanza del terreno, per consentire al progettista di avere un termine di paragone con quello del fabbricato in progetto.

E' importante sottolineare che il tecnico incaricato di eseguire le indagini del terreno, ha eseguito un'indagine MASW ottenendo, tramite lo strumento precedentemente descritto (cfr. Capitolo 8.4), il valore delle Vs dei singoli strati per ricavare il V_{s30} richiesto dalla normativa.

Pertanto la frequenza di risonanza viene calcolata indirettamente tramite la formula sopra riportata, senza misurare tale parametro direttamente in loco tramite specifica strumentazione (tromografo digitale Tromino).

I calcoli eseguiti in base alle formule indicate, portano ad una stima della frequenza di risonanza del terreno (fr):

Frequenza di risonanza del terreno (fr) (Hz)
3,05

Tabella 4 – Frequenza di risonanza del terreno (fr).

Si insiste nel ricordare che tali valori sono solo indicativi e che sarà cura del progettista approfondire l'analisi sulla frequenza di risonanza relativa alla struttura in progetto.

6.7 Microzonazione sismica secondo l'Art. 3.2 del DM del 14/01/2008 e la Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale n°112 del 02/05/2007

Gli studi di risposta sismica locale e microzonazione sismica devono essere condotti a diversi livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale. Tali studi devono indicare il livello di approfondimento, le indagini effettuate e i risultati ottenuti devono fornire una cartografia dello stato dell'area indagata.

Sono identificate due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento:

- **prima fase (1° livello di approfondimento)**: definisce gli scenari di pericolosità sismica locale e identifica le parti di territorio suscettibili a tali effetti (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc) in base ad osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico svolte a scala territoriale, associate a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati. Tale analisi viene svolta soprattutto mediante

l'elaborazione dei dati messi a disposizione del P.T.C.P., del P.S.C. e della banca dati in possesso dello scrivente a seguito della oltre trentennale attività lavorativa.

- **seconda fase:** ha come obiettivo la microzonazione sismica dell'area indagata; vengono individuati due diversi livelli di approfondimento:
 - **II° livello di approfondimento (analisi semplificata):** nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti incluse le zone di fondovalle appenniniche con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale e sui versanti stabili con acclività $\leq 15^\circ$. L'analisi della pericolosità locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione dei dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche in sito (ad esempio lo scrivente utilizza indagini sismiche a rifrazione con elaborazione di tipo MASW (cfr. Capitolo 8.5)) e su prove geotecniche di tipo standard (ad esempio lo scrivente utilizza prove penetrometriche CPT (cfr. Capitolo 4.1) ed SCPT).
 - **III° livello di approfondimento (analisi approfondita):** nelle aree soggette a liquefazione⁶ (cfr. Capitolo 5.2) e a densificazione, nelle aree instabili e potenzialmente instabili nelle eccezionali ipotesi nelle quali la pianificazione preveda una possibile attività edificatoria, nelle aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti, nelle aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico. Tale analisi prevede un significativo numero di indagini geofisiche e geotecniche sia in campagna che in laboratorio.

Il nuovo P.T.C.P. della provincia di Reggio Emilia, adottato in data 06/11/2008 con delibera n°92, nella tavola P9b – Rischio sismico – Carta dei livelli di approfondimento, definisce su tutto il territorio provinciale, i livelli di approfondimento sopracitati. In particolare, il II° e il III° livello di approfondimento richiedono il calcolo dei *fattori di amplificazione sismica* (FA) per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

L'area oggetto di studio, rientra, secondo il P.T.C.P. all'interno del *II° livello di approfondimento*.

Oltre alle indagini geotecniche (CPT o SCPT) è stato eseguito uno stendimento sismico per la determinazione del V_{s30} con elaborazione MASW; tale indagini sono state elaborate ed interpretate, inoltre sono state integrate con l'aggiunta di una carta di microzonazione sismica in scala 1:5.000 dell'area indagata e delle zone limitrofe (cfr. Tavola 8).

La normativa prevede innanzi tutto il calcolo dei *coefficienti di amplificazione sismica* (SI , SI_0 , PGA e PGA_0) che a loro volta permettono di calcolare i *fattori di amplificazione sismica* (FA_{SI} e FA_{PGA}) rispetto ad un suolo di riferimento. Tali fattori sono espressi sia in termini di rapporto di Intensità di Housner ($FA_{SI}=SI/SI_0$)

⁶ LIQUEFAZIONE – La liquefazione dei terreni in condizioni sismiche, rappresenta una possibile minaccia che può manifestarsi durante i terremoti, interessando, in genere, depositi di natura sabbiosa o sabbioso-limosa, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi.

sia di rapporto di accelerazione massima orizzontale ($FA_{PGA}=PGA/PGA_0$) per prefissati intervalli di periodi dove precisamente si ha:

- SI = Intensità di Housner al suolo calcolata nell'area indagata;
- SI_0 = Intensità di Housner al suolo di riferimento definita per ogni comune;
- PGA = accelerazione massima orizzontale al suolo calcolata nell'area indagata;
- PGA_0 = accelerazione massima orizzontale al suolo di riferimento definita per ogni comune.

Per il calcolo dell'**Intensità di Housner** sia del comune di riferimento (SI_0) che dell'area indagata (SI), è necessario conoscere lo *spettro di risposta in velocità* (PSV) per un periodo di ritorno di 475 anni con uno smorzamento $\zeta=5\%$ sia per il comune di riferimento che per l'area indagata. La normativa prevede il calcolo del *fattore di amplificazione di intensità spettrale* (FA_{SI}) per due intervalli del periodo (T), utilizzando solo la componente orizzontale.

Una volta ottenuti gli spettri di risposta in velocità, si passa al calcolo integrale dell'*Intensità di Housner* sia dello spettro di riferimento comunale (SI_0) (cfr. 7) che dello spettro dell'area indagata (SI) (cfr. 8) negli intervalli ($T_1 \div T_2$) da 0,1s a 0,5s e da 0,5s a 1,0s.

$$SI_0 = \int_{T_1}^{T_2} PSV_{(\zeta=5\%)} dT \quad (7)$$

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV_{(\zeta=5\%)} dT \quad (8)$$

Dal rapporto tra l'intensità SI dell'area indagata e l'intensità SI_0 dell'area di riferimento si ottiene il *fattore di amplificazione di intensità spettrale* (FA_{SI}) (cfr. 9) per ognuno degli intervalli sopra riportati.

$$FA_{SI} = \frac{SI}{SI_0} \quad (9)$$

Il calcolo dell'**Accelerazione massima orizzontale** è definito dal valore per $T=0$ nello *spettro di risposta in velocità* (PSV), sia per il comune di riferimento (PGA_0), che per l'area indagata (PGA). Il *fattore di amplificazione in termini di rapporto dell'accelerazione massima orizzontale* (FA_{PGA}) è dato da:

$$FA_{PGA} = \frac{PGA}{PGA_0} \quad (10)$$

Nelle aree inserite nel II° livello di approfondimento, come il caso dell'area indagata, la valutazione di FA_{SI} e di FA_{PGA} viene ricavata da tabulati inseriti nell'Allegato A2.1.2 Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale n°112 del 02/05/2007, secondo i quali:

Intervallo $T_1 \div T_2$ (secondi)	FA_{SI}
0,1 ÷ 0,5	1,6
0,5 ÷ 1,0	1,9

Tabella 5 – Valore del fattore di amplificazione di intensità spettrale (FA_{SI}) calcolato negli intervalli ($T_1 \div T_2$) da 0,1s a 0,5s e da 0,5s a 1,0s.

Fattore di amplificazione in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (FA_{PGA})
1,4

Tabella 6 – Valore del fattore di amplificazione in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (FA_{PGA})

9. CONCLUSIONI

Il presente lavoro mostra i principali parametri geomeccanici del lotto di terreno denominato “Variante al piano particolareggiato (PUA) della ZT16-Veggia-Fiorcarni” e della nuova viabilità Via Mulino-Str.Prov. 486R, per la quale è stato richiesto l'ampliamento; esso è sito in Via Mulino, in località Veggia, nel territorio comunale di Casalgrande, in Provincia di Reggio Emilia (cfr. Capitolo 1 e Tavola 1 tra gli Allegati).

Analizzando i riferimenti normativi e pianificatori a scala sovraregionale, si nota che l'area in studio ricade all'interno del II° Livello di approfondimento per quanto attiene alla microzonazione sismica, come è possibile notare dalla tavola P9b “Rischio sismico – Carta dei livelli di approfondimento” sezione 219 NO, alla scala 1:25.000 del P.T.C.P. (cfr. Capitolo 1.2 e Tavola 8 tra gli Allegati). L'area in esame dista 0,3 Km circa dal F. Secchia sito ad est, pertanto è completamente al di fuori dei vincoli imposti dal PAI e quindi da ciascuna delle fasce fluviali da esso descritte, come è possibile notare dalla tavola P7 “Carta di delimitazione delle fasce fluviali (PAI – PTCP)” sezione 219020 e 219060 alla scala 1:10.000 del P.T.C.P. (cfr. Capitolo 1.2).

Il terreno oggetto di studio, insiste sui depositi continentali post VI secolo d.C. facenti parte dell'Unità di Modena (AES8a) e su depositi alluvionali attuali in evoluzione del F. Secchia (cfr. Capitolo 2.3, Tavola 3 e Tavola 4 tra gli Allegati).

Nell'area indagata, data l'assenza di strati sabbiosi o sabbioso-limosi consistenti (sono presenti solo piccoli strati a bassissima componente sabbiosa) e l'assenza di falda (terreni non saturi), entro la profondità raggiunta dalle prove penetrometriche dinamiche (DPSH) e comunque entro la profondità di 15 metri (quota limite introdotta dall'allegato A3.1 della Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale n°112 del 02/05/2007), si esclude la possibilità di liquefazione. La falda, come si evince dalla Tavola 3, si attesta ad una profondità di circa 24 m al di sotto dal piano campagna (cfr. Capitolo 5.2 e Tavola 7).

Dal punto di vista geomorfologico l'area è ubicata al di sopra di depositi superficiali di tipo *ghiaioso* (cfr. Capitolo 3.3 e Tavola 6 tra gli Allegati).

Per quanto riguarda l'uso del suolo, il terreno in studio appartiene a un gruppo di suoli definito *insediamenti produttivi industriali, artigianali e agricoli con spazi annessi* (1.2.1.1), dove gli edifici, la viabilità e le superfici ricoperte artificialmente coprono oltre il 50% della superficie totale (cfr. Capitolo 3.3 e Tavola 5 tra gli Allegati).

La stratigrafia, ottenuta dalle prove penetrometriche esistenti (che giungono alla profondità massima di -5,8 m dal p.c.) è riportata in Tabella 1 (cfr. Capitolo 5.1).

Le isopieze attestano la falda alla quota di circa 87 m s.l.m., quindi con una soggiacenza di circa 24 metri rispetto al piano campagna che, come specificato, è posto alla quota di circa 111 m s.l.m. La direzione

del flusso principale della falda, su vasta scala, è all'incirca nord-est con una pendenza pari al 4,5% (cfr. Capitolo 3.3 e Tavola 7 tra gli Allegati).

L'area oggetto di studio, presenta una grado di vulnerabilità *elevato*. Il lotto è prossimale a *industrie con scarichi organico-biologici ed inorganici* (cfr. Capitolo 3.4 e Tavola 7 tra gli Allegati).

In sintesi viste le caratteristiche geotecniche dei terreni indagati, i migliori risultati ottenuti sono i seguenti:

Caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni indagati	Valori calcolati
Velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri al di sotto del piano di posa delle fondazioni (V_{s30}) (cfr. Capitolo 6.5 e Tavola 8)	366 m/s
Categoria di suolo di fondazione (dal punto di vista sismico) (cfr. Capitolo 6.5 e Tavola 8)	Categoria B
Zona sismica (a_g) (cfr. Capitolo 6.3)	0,15g
Frequenza di risonanza del terreno (f_r) (cfr. Capitolo 6.6)	3,05 Hz
Fattore di amplificazione di intensità spettrale (FA_{SI}) nell'intervallo tra 0,1s e 0,5s (cfr. Capitolo 6.7 e Tavola 8)	1,6
Fattore di amplificazione di intensità spettrale (FA_{SI}) nell'intervallo tra 0,5s e 1,0s (cfr. Capitolo 6.7 e Tavola 8)	1,9
Fattore di amplificazione in termini di rapporto dell'accelerazione massima orizzontale (FA_{PGA}) (cfr. Capitolo 6.7 e Tavola 8)	1,4

Tabella 7 – Tabella riassuntiva delle caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni indagati.

Per quanto attiene la nuova viabilità della zona (collegamento di Via Mulino con la Str. Prov. 486R comprensivo delle due rotonde) (cfr. Tavola 2a) valgono le stesse valutazioni di carattere geologico, geotecnico, idrogeologico e sismico sopra riportate.

Tutto ciò premesso ed in base a quanto emerso dallo studio generale, l'area di cui si richiede l'ampliamento, definita "Zona di trasformazione ZT16" con relativa nuova viabilità, dal punto di vista geologico ed idrogeologico, risulta idonea alla destinazione di uso residenziale con complesso commerciale.

Data la natura litologica del primo sottosuolo (terreni tendenzialmente ghiaiosi in matrice sabbiosa) che come si può osservare dai valori ricavati dalle prove di campagna, presenta delle buone proprietà geotecniche non si riscontrano condizioni tali da richiedere particolari accorgimenti durante la costruzione dei fabbricati. Tuttavia per qualsiasi progettazione specifica da attuarsi nella zona interessata da variante, si

rendono necessarie ulteriori sondaggi più mirati e circoscritti all'area in costruzione per ottenere informazioni più precise relative alle caratteristiche geotecniche e alla capacità portante del terreno in esame.

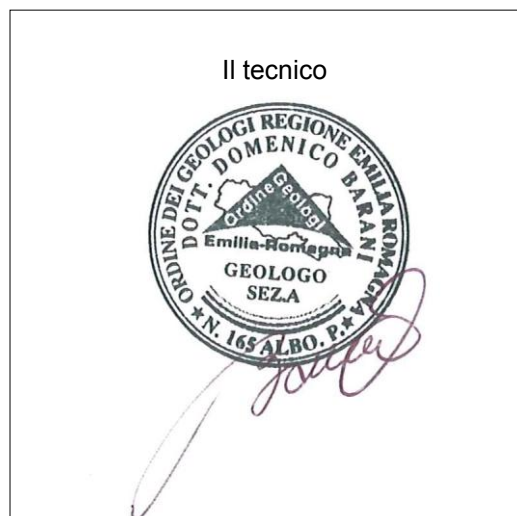
Lo scrivente rimane a disposizione per ulteriori chiarimenti o sopralluoghi.

Maggio 2013

Collaboratori:

Dott. Geol. Simone Barani

Il tecnico



Dott. Geol. Domenico Barani

BIBLIOGRAFIA

- AGIP - RER - ENI. (1998). *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia - Romagna*. A cura di Di Dio, S.EL.CA., Firenze, pp. 120.
- Bally A.W. & Snelson S. (1980). *Realm of subsidence*. A.d. Miall, Facts and Principles of World Petroleum Occurrence. Mem. Can. Pet. Geol., Vol. 6, pp. 9-94.
- Begemann H.K.S. (1953). *Improved method of determinino resi stance to adhesion by sounding through a loose sleeve placed behind the cone*. Proceedings of the 3rd international conference on soil mechanic and foundationengineering, Zurich, 1, 213-17.
- Begemann H.K.S. (1969). *The dutch static penetration test with adhesion jacket cone*. LGM Mededelingen, 12(4), pp. 69-100.
- Begemann H.K.S. (1965). *The frictional jacket cone as an aid in determining the soil profile*. Proceodings, 6th Int. Conf. Soil Mech. Fdn. Engr S., Montreal.
- Boccaletti M. et alii. (1980). *Evoluzione dell'Appennino settentrionale secondo un nuovo modello strutturale*. Mem. Soc. Geol. It., Vol. 21, pp. 359-373.
- Casadio M. & Elmi C. (1995). *Il manuale del geologo*. Pitagora Editrice Bologna.
- Castellarin A. et alii. (1985). *Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano*. Giornale di Geologia, ser. 3a, Vol. 4711-2, pp. 47-75, Bologna.
- Cestelli Guidi C. (1975). *Geotecnica e tecnica delle fondazioni*. Editore Hoepli, Milano.
- CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche & AGAC. (1992). *Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento - Alta pianura reggiana tra T.Crostolo e F.Secchia*. S.EL.CA. Editore, Firenze.
- CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche. (1989). *Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento - Conoide del T.Enza*. S.EL.CA. Editore, Firenze.
- CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche. (1989). *Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento*. Unità Idrogeologica, Conoide del Fiume Enza, Province di Reggio Emilia e Parma, S.EL.CA Editore, Firenze.
- CNR. (1993). *Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale - Pianura emiliana delleprovince di Parma, Reggio Emilia e Modena*. Unità idrogeologiche dei Fiumi Taro, Enza, Crostolo, Secchia, Panaro e Po, S.EL.CA editore, Firenze.
- Cremaschi M. (1980). *L'evoluzione della pianura emiliana durante l'età del bronzo, l'età romana e l'alto medioevo: geomorfologia ed insediamenti*. Da: "Padusa". Bollettino del Centro Polesano di Studi Storici, Archeologici ed Etnografici, Rovigo.

- Domenico P.A. & Schwartz F.W. (1990). *Physical and chemical hydrogeology*. John Wiley & Sons, Inc. New York Chichester Weinheim Brisbane Toronto Singapore.
- Elter P. (1973). *I lineamenti tettonici dell'Appennino a NW delle Apuane - In: Atti Conv. Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino*. Acc. Naz. Lincei, Quad. n° 183, pp. 97-118.
- Gasperi G.F. (1995). *Geologia regionale*. Pitagora editore, Bologna.
- ISSMFE. (1989). *Appendix A: International reference test procedure for cone penetration test (CPT)*. Report of the ISSMFE technical committee on penetration testing of soils - TC16, with Reference to test procedures, Swedish geotechnical institute, Linkoping, Information, 7,6-16.
- Marsan P. & Romeo R. (1992). *La relazione geologica e geotecnica*. Edizione Carocci, Manuale del progettista, pp. 216.
- Maxey G.B. (1964). *Hydrostratigraphic units*. Journal of Hydrology, 2 pp. 124-129.
- MURST. (1997). *Carta geomorfologica della pianura padana*. S.EL.CA editore.
- Ori G.G. & Friend P.F. (1984). *Sedimentary basins formed and carried piggyback on active thrust sheets*. Geology, Vol. 12, pp. 475-478.
- Papani G. & Sgavetti M. (1975). *Alcuni problemi di neotettonica dell'Appennino Emiliano Occidentale*. Da: L'Ateneo Parmense - Acta Naturalia, Vol. 11, n°2, pp. 315-334.
- Peli G. (1995). *Geotecnica pratica delle fondazioni dirette*. Nuove ricerche, Ancona.
- Petrucci F. et alii. (1975). *Pozzi idrici nella pianura delle province di PARma e Piacenza (destra T.Nure)*. Università degli Studi di Parma, Istituto di Geologia.
- Posamentier H.W. & Vail P.R. (1988). *Eustatic controls on clastic deposition, II: Sequence and systems tract models*. In: Wilgus C.K., Kendali C.G., Posamentier H.W., Van Wagoner J.C. "Sealevel change-an integrated approach". S.E.P.M. Spec. Publ. 42, pp. 125-155.
- Principi B. & Treves G. (1984). *Il sistema corso-appenninico come prisma d'accrescimento. Riflessioni sul problema generale del limite Alpi-Appennini*. Mem. Soc. Geol. It., n° 28, pp. 549-576.
- Provincia di Reggio Emilia. (2002). *P.I.A.E.: Piano Infraregionale delle Attività Estrattive*. Provincia di Reggio Emilia, Servizio Pianificazione Territoriale e Difesa del Suolo.
- RER. (2007). *Carta dell'uso del suolo dell'Emilia-Romagna*. Servizio Sistemi informativi geografici, Regione Emilia-Romagna.
- RER. (1999). *Carta geologica di pianura dell'Emilia - Romagna*. Servizio Sistemi Informativi Geografici, Ufficio Geologico, Regione Emilia-Romagna.
- Ricci Lucchi F. & Ori G.C. (1985). *Field excursion D: synorogenic deposits of a migrating basin in the NW adriatic-foreland: examples from Emilia - Romagna region, northern Appennines*. Int. Symp. On Foreland Basins, Exc. Guidebook, Fribourg, Switzerland, 2-4 september 1985, pp 137-176.
- Schmertmann J.H. (1978). *Guidelines for cone penetration test, performance and design*. US federal highway administration, Washington, DC, Report, FHWA-TS78-209, 145.

Tanzini M. (2002). *L'indagine geotecnica - Caratterizzazione geotecnica delle terre e delle rocce attraverso prove in sito e di laboratorio*. Collana di Geotecnica e Ingegneria Geotecnica, Dario Flaccovio Editore, pp. 203-253.

Valloni R. & Baio M. (2003). *Assetto geologico del tardo quaternario nel tratto parmense del tracciato alta velocità*. Università degli Studi di Parma & Aquater.

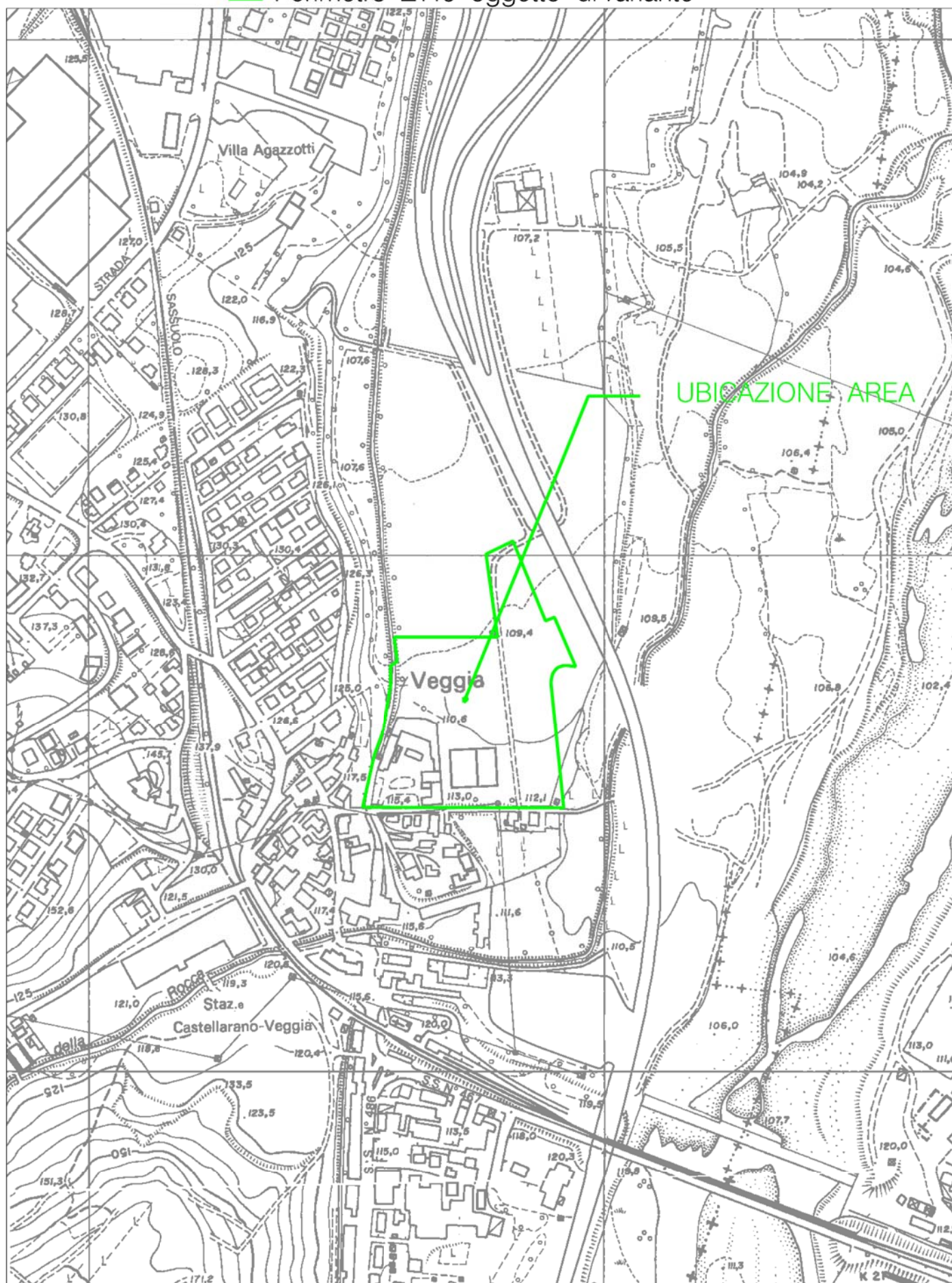
ALLEGATI

TAV 1: UBICAZIONE AREA – STRALCIO C.T.R. ELEMENTO 219023 – 219064 – Scala 1:5.000



Scala 1:5.000

— Perimetro ZT16 oggetto di variante



TAV 2: UBICAZIONI INDAGINI GEOGNOSTICHE – STRALCIO C.T.R. ELEMENTO 219023 –

Scala 1:2.000

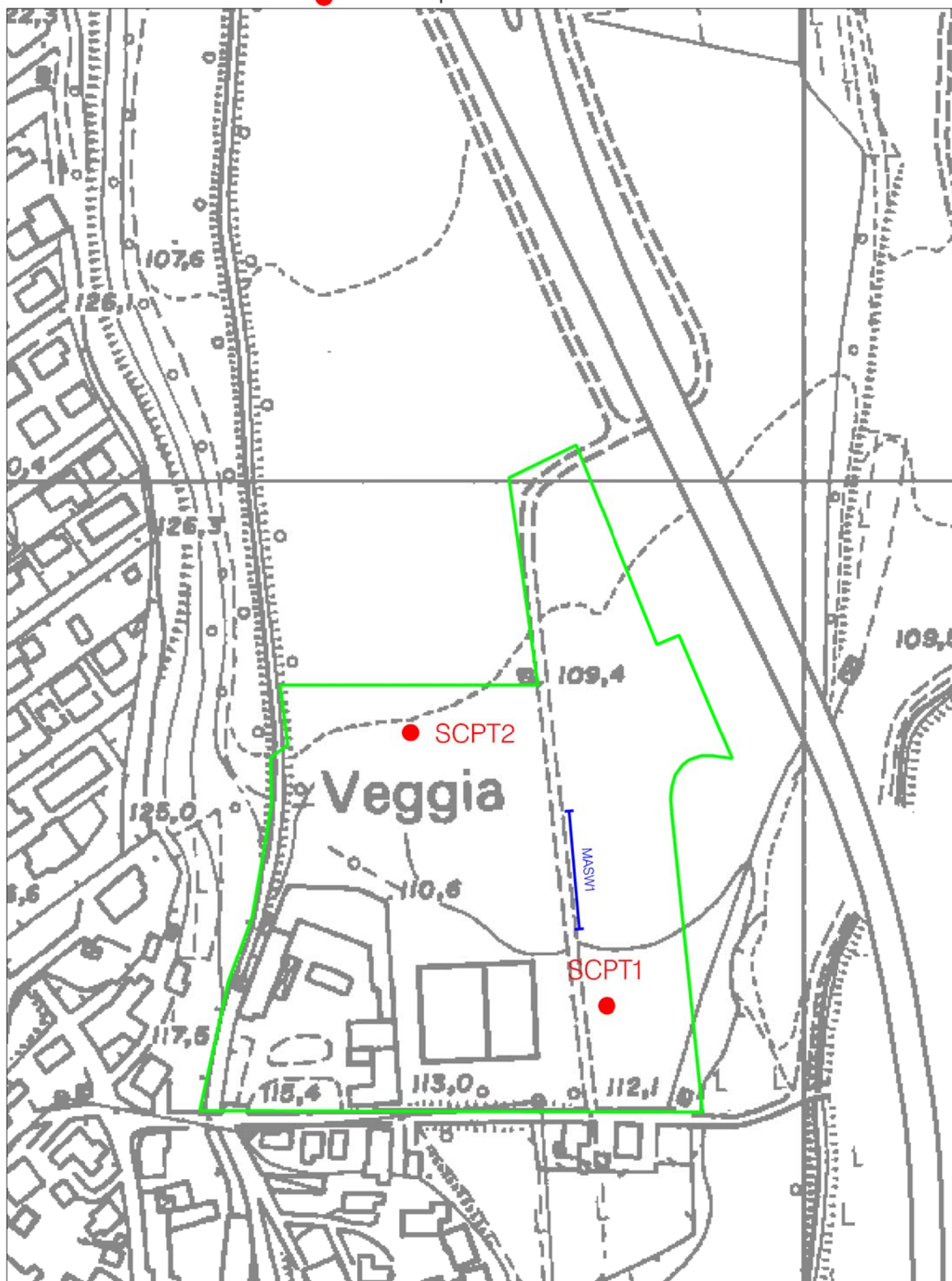
TAV 2: Ubicazioni indagini geognostiche – Stralcio C.T.R.
Elemento 219023



MASW1 Stendimento sismico (MASW)

SCPT1 Prova penetrometrica dinamica

Scala 1:2.000



TAV 2a: UBICAZIONI INDAGINI GEOGNOSTICHE – PLANIMETRIA AREA CON VIABILITÀ –
Non in Scala



Stendimento sismico (MASW)

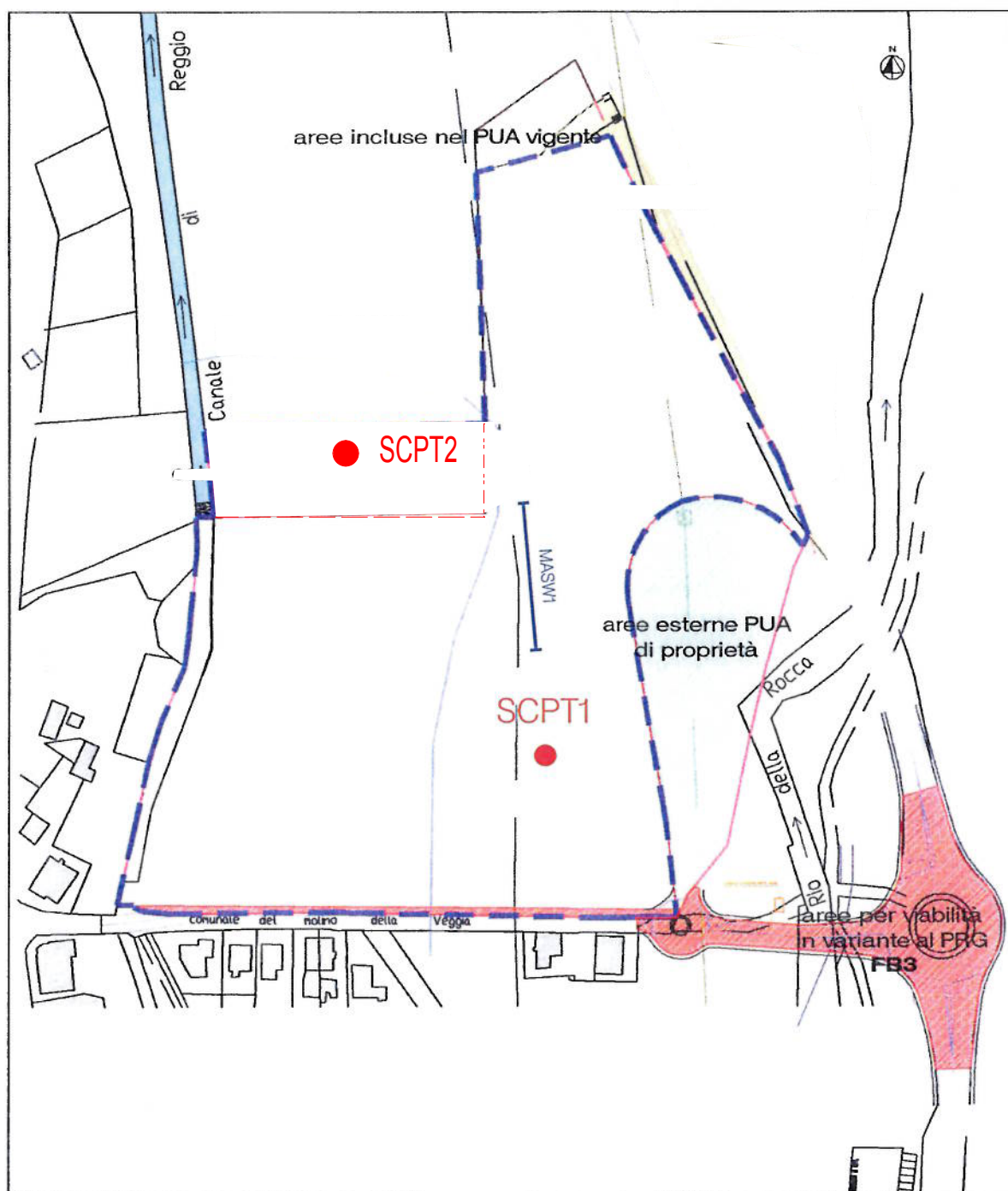


Prova penetrometrica dinamica



Non in scala

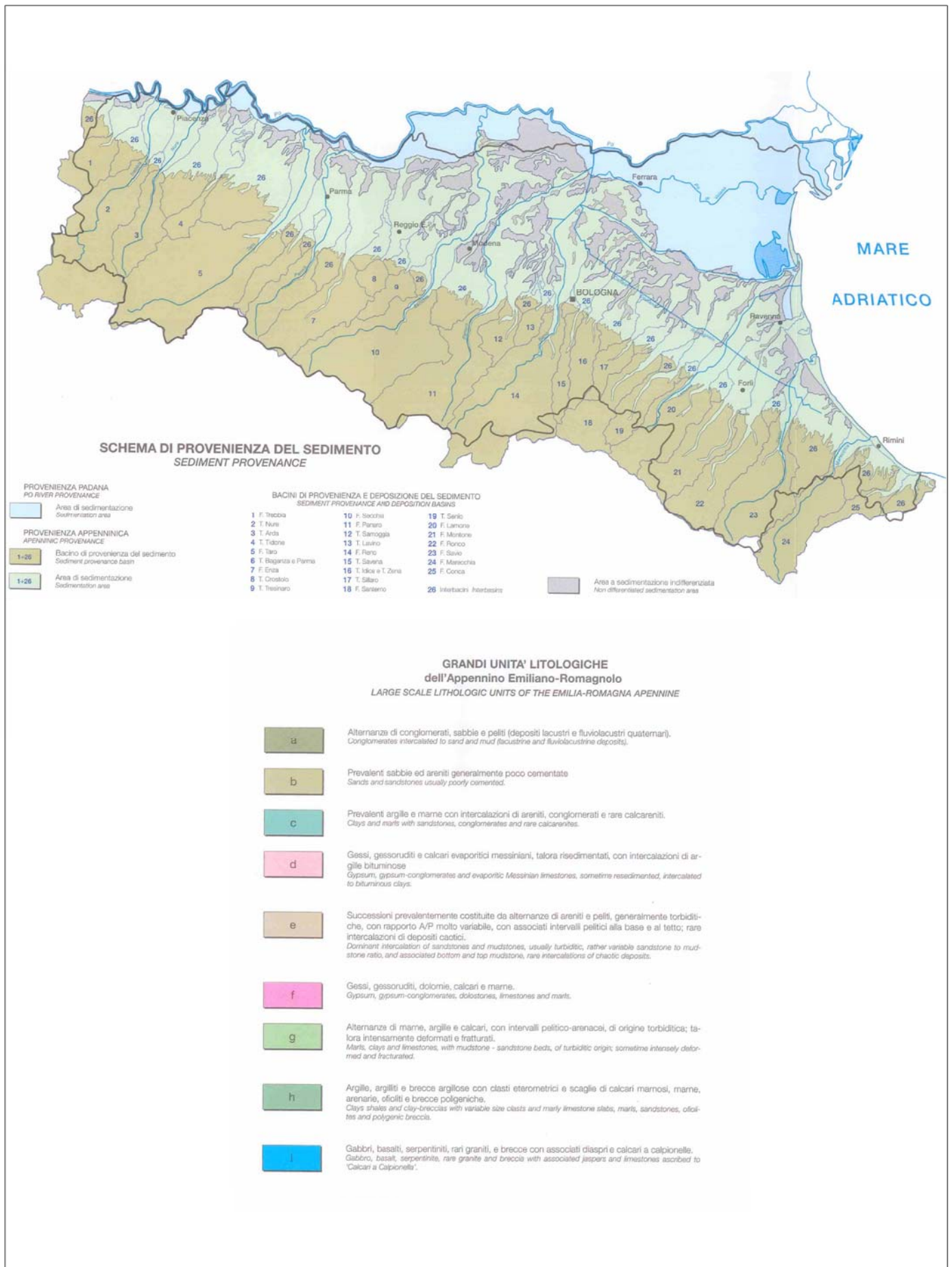
AREE E PERIMETRI IN VARIANTE AL PRG (GIALLO-ROSSO)



TAV 3: STRALCIO CARTA GEOLOGICA DELL'EMILIA-ROMAGNA – Scala 1:250.000

Legenda Carta Geologica dell'Emilia-Romagna – Scala 1:250.000

Legenda 2



Legenda 1



DIREZIONE GENERALE "SISTEMI INFORMATIVI E TELEMATICA"
Servizio Sistemi Informativi Geografici
Ufficio Geologico

CARTA GEOLOGICA DI PIANURA DELL'EMILIA-ROMAGNA

GEOLOGICAL MAP OF THE EMILIA-ROMAGNA PLAIN

a cura di Domenico PRETI

DEPOSITI ALLUVIONALI ALLUVIAL DEPOSITS

CONOIDI E TERRAZZI ALLUVIONALI ALLUVIAL FAN AND TERRACE

- 1** Ghiaie e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari amalgamati, intercalate a sabbie e sabbie limose in strati di spessore decimetrico. Depositi di conoide e di terrazzo.
At the top and within, soils of various degree of evolution.
Gravel and sand in channelled and lenticular bodies amalgamated, intercalated with silt and silty sand in beds tens of centimetres thick. Alluvial fan and terrace.
At the top and within, soils of various degree of evolution.
- 2** Sabbie, limi sabbiosi e limi, in strati di spessore decimetrico, ghiaie sabbiose e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari. Depositi di conoide e di terrazzo.
At the top and within, soils of various degree of evolution.
Sand, silt and silty sand in beds tens of centimetres thick; sandy gravel and sand in channelled or lenticular bodies. Fan and terrace deposits.
At the top and within, soils of various degree of evolution.
- 3** Limi e limi argillosi in strati di spessore decimetrico, subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose in corpi canalizzati e lenticolari. Depositi di conoide e di terrazzo.
At the top and within, soils of various degree of evolution.
Silt and clayey silt in beds tens of centimetres thick; small amounts of gravel and sandy gravel in channelled and lenticular bodies. Alluvial fan and terrace.
At the top and within, soils of various degree of evolution.
- 4** Ghiaie, sabbie, limi e limi argillosi. Depositi alluvionali indifferenziati.
Gravels, sands, silts and clayey silts. Undifferentiated alluvial deposits.
- PIANA ALLUVIONALE ALLUVIAL PLAIN**
- 5** Sabbie medie e fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, subordinatamente limi argillosi; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine prossimale.
At the top, soils of various degree of evolution.
Medium and fine sand in beds tens of centimetres thick, changing laterally and/or intercalated to fine and very fine silty sand, smaller amounts of clayey silt; locally medium and coarse sand in lenticular, ribbon shaped bodies. Channel and proximal levee deposits.
At the top, soils of various degree of evolution.
- 6** Limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limoso-argillose intercalate in strati di spessore decimetrico. Depositi di argine distale.
At the top, soils of various degree of evolution.
Sandy silt, fine and very fine sand, silty clay and smaller amounts of silty-clayey sand intercalated in beds tens of centimetres thick. Distal levee deposits.
At the top, soils of various degree of evolution.
- 7** Sabbie medie e fini, limi e argille limose intercalati in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine indifferenziati.
At the top, soils of various degree of evolution.
Medium and fine sand, silt and silty clay intercalated in beds tens of centimetres thick; locally medium and coarse sand in lenticular and ribbon shaped bodies. Channel and undifferentiated levee deposits.
At the top, soils of various degree of evolution.
- 8** Limi argillosi e limi sabbiosi, subordinatamente sabbie fini e finissime, in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine indifferenziati.
At the top, soils of various degree of evolution.
Clayey silt and sandy silt, smaller amounts of fine and very fine sand, in beds tens of centimetres thick; locally sand in lenticular and ribbon-shaped bodies. Channel and undifferentiated levee deposits.
At the top, soils of various degree of evolution.
- 9** Argille limose, argille e limi argillosi laminati, localmente concentrazioni di materiali organici parzialmente decomposti. Area interfuviale e depositi di palude.
Silty clay, clay and laminated clayey silt, locally concentrations of partially decomposed organic matter. Back-swing deposits.
- 10** Sabbie medie e grossolane subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose, limi e limi sabbiosi in strati di spessore decimetrico. Depositi di piana a meandri.
At the top, soils of various degree of evolution.
Medium and coarse sand, to a lesser extent gravel and sandy gravel, smaller amounts of silt and sandy silt in beds tens of centimetres thick. Meander belt deposits.
At the top, soils of various degree of evolution.

DEPOSITI DELTIZI E LITORALI DELTAIC AND LITTORAL DEPOSITS

PIANA DELTIZIA DELTA PLAIN

- 11** Sabbie da medie a fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, localmente sabbie grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale distributore e di argine.
Medium to fine sand in beds tens of centimetres thick, changing laterally and intercalated to fine and very fine silty sand, locally coarse sand in lenticular and ribbon shaped bodies. Distributory channel and levee deposits.
- 12** Limi e limi argillosi intercalati in strati decimetrici, localmente livelli organici parzialmente decomposti. Depositi di palude.
Silt and clayey silt intercalated in layers tens of centimetres thick, locally partially decomposed organic layers. Backswamp deposits.
- 13** Argille limose, limi e sabbie finissime in strati decimetrici intercalati a livelli torbosi e/o a sostanza organica parzialmente decomposta, localmente gusci di molluschi, sabbie fini e finissime limose in sottili corpi nastriformi. Depositi di baia interdistributrice.
Silty clay, silt and very fine sand in beds tens of centimetres thick with peat layers and/or layers of partially decomposed organic matter, locally mollusk shells, fine and very fine silty sand in thin ribbon-shaped bodies. Interdistributary bay deposits.

PIANA DI SABBIA E FRONTE DELTIZIA SAND PLAIN AND DELTAIC FRONT

- 14** Sabbie medie e fini con intercalati livelli decimetrici di gusci di molluschi, subordinatamente livelli di limi sabbiosi e di sostanza organica parzialmente decomposta. Depositi di cordone litorale e dune eoliche.
Medium and fine sand intercalated with mollusk shells layers tens of centimetres thick, sandy silt layers and partially decomposed organic matter are less common. Beach ridge and eolic dune deposits.
- 15** Limi, sabbie e sabbie fini, livelli decimetrici di sostanza organica decomposta, intercalati a sabbie fini e a limi argillosi; saltuariamente intercalazioni di livelli torbosi e di gusci di molluschi, localmente sabbie fini. Depositi di palude salmastra.
Silt, sand and fine sand, layers tens of centimetres thick of decomposed organic matter, intercalated with fine sand and clayey silt; rare interbeddings of peaty layers and mollusk shells, locally fine sand. Marsh deposits.

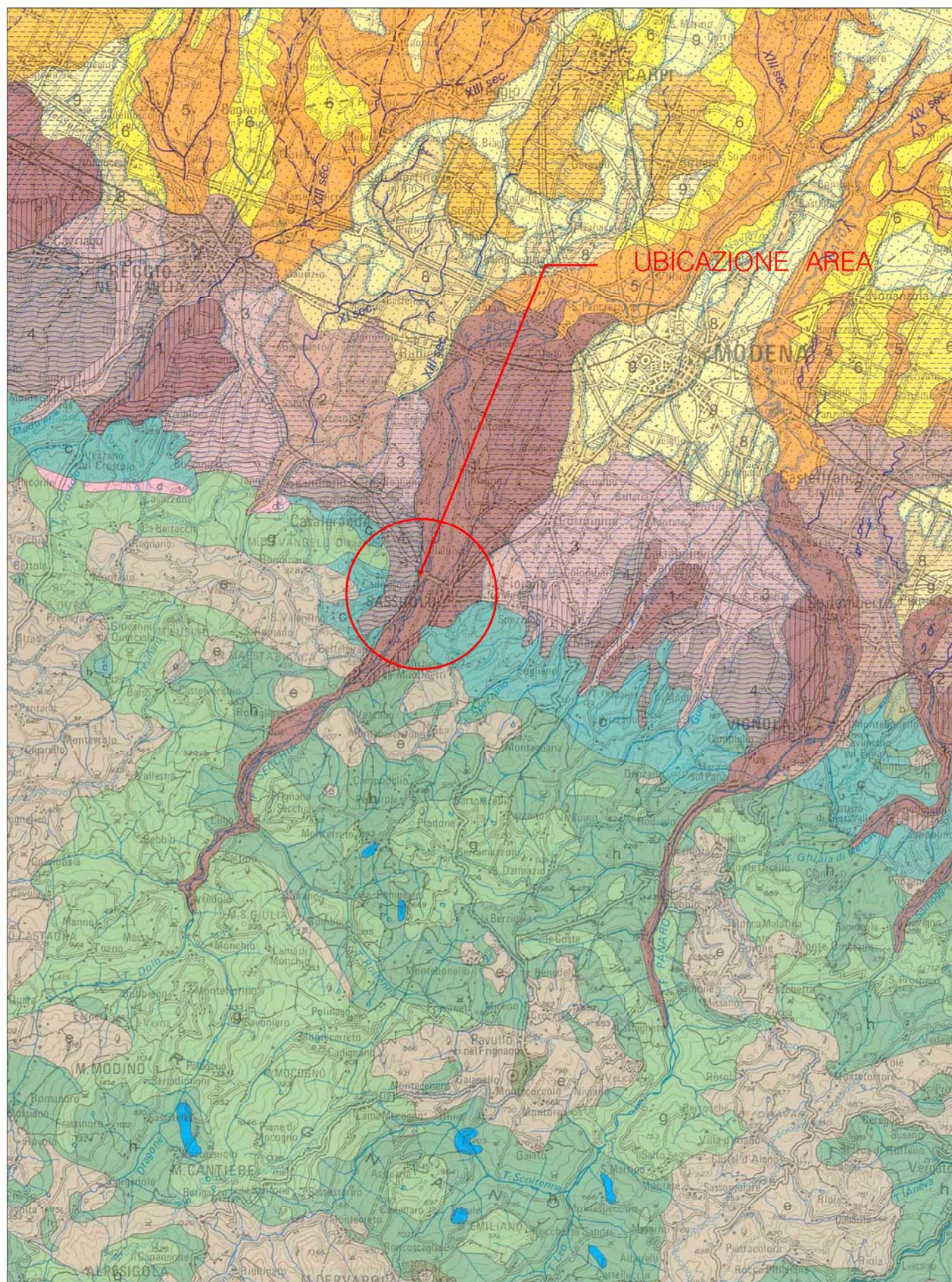
UNITA' PEDOSTRATIGRAFICHE PEDOSTRATIGRAPHIC UNITS

- Depositi ai primi stadi di alterazione, fronte di alterazione < 1m (50-100 cm).
At the top, soils with differentiation of the profile in horizons A-C, A-Bw-C; Hue of horizons B 2.5Y-10YR.
- At the top and within the sediments, remains from Middle Age to Modern Age.
Olocene: tardo antico (VI secolo d.C.) - Età Moderna
Deposits at the first stages of weathering, weathering front < 1m (50-100 cm).
At the top, calcareous soils and profile differentiated into horizons A-C, A-Bw-C; Hue of horizons B 2.5Y-10YR.
At the top and within sediments, remains from Middle Age to Modern Age.
Holocene (VI century A.D.) - Modern Age.
- Depositi a basso grado di alterazione, con fronte di alterazione > 1m (100-150 cm).
At the top, soils with superficial decarbonated or partially decarbonated horizons, and profile differentiated into horizons A-Bw-Bk-C; Hue of horizons B 2.5Y-10YR.
In the portions of the unit made up of mainly fine deposits, the weathering front may be 3-4 m and is composed of a number of overlapping soils, composite and compound paleosols, and profile differentiated into horizons A-Bw-Bk-C; Hue of horizons B 2.5Y-10YR.
Within the soils there remains from Mesolithic to Roman Age.
On the beach ridges and the eolic dune deposits intense human activity together with present and past submergence, don't allow a record or a development of the weathering profile, which is typical of this unit.
Holocene: Mesolithic - Roman Age.
- Depositi a moderato grado di alterazione, con fronte di alterazione da 1,5 a 3 m.
At the top of the unit, constituted by deposits prevalently grossolani, sono presenti suoli non calcarei, con evidenze di accumulo di argilla illuviale e con differenziazione del profilo in orizzonti A-Bt-Btk-C; Hue degli orizzonti Bt, Bw 7.5Y-5YR.
At the top of the unit, in corrispondenza di depositi prevalentemente fini, il fronte di alterazione può raggiungere 3-4 m ed è costituito da più suoli sovrapposti, saldati o distinti; al tetto suoli con orizzonti superficiali e profondi non calcarei, con orizzonti di accumulo di carbonato di calcio e di argilla A-Bw-Btk-C; Hue degli orizzonti Bt 2.5Y-10YR.
All'interno del suolo reperti dal Paleolitico superiore al Mesolitico.
Pleistocene superiore: Paleolitico sup. - Mesolitico
Deposits with a moderate weathering degree, the weathering front ranges from 1.5 to 3 m.
At the top of the unit is made up of mainly coarse deposits, there are non-calcareous soils, with evidence of illuvial clay accumulation and with profile differentiated into horizons A-Bt-Btk-C, A-Bw-Btk-C; Hue of horizons Bt, Bw 7.5Y-5YR.
At the top of the unit, where there are mainly fine deposits, the weathering front may reach 3-4 m and consists of a number of overlapping composite and compound paleosols; at the top soils with non-calcareous surficial and deep horizons, with illuvial clay and calcium carbonate accumulation horizons and profile differentiated into horizons A-Bw-Btk-C; Hue of horizons Bt 2.5Y-10YR.
Inside the soils remains from Upper Paleolithic Age to Mesolithic Age.
Late Pleistocene: late Paleolithic - Mesolithic.
- Depositi con grado di alterazione molto elevato, con spessore del fronte di alterazione da 4 a 10 m.
Le unità, costituite da depositi prevalentemente grossolani di conoide alluvionale terrazzata, presentano un fronte di alterazione composto da due suoli principali sovrapposti: il primo, affiorante, evoluto su una copertura limoso-argillosa, presenta la completa decarbonazione del profilo, lo sviluppo di orizzonti eluviali, di orizzonti ad accumulo di argilla illuviale, di sequiossidi di Fe, Mn e differenziazione del profilo in orizzonti A-E-Bt-Btk; Hue degli orizzonti Bt 10YR-2.5Y.
Il secondo suolo, sepolto, sviluppato su ghiaie e ghiaie sabbiose, presenta la completa decarbonazione degli orizzonti superficiali e profondi, lo sviluppo di orizzonti ad accumulo di argilla illuviale e di sequiossidi di Fe, Mn e differenziazione del profilo in orizzonti Btk-Btk-Btk-Btk-C; Hue degli orizzonti Bt 2.5YR. Le unità, costituite da depositi prevalentemente fini (conoidi del reticolo idrografico secondario e di piana alluvionale terrazzata), presentano un suolo con completa decarbonazione degli orizzonti superficiali e profondi, neoformazione di argilla, riorganizzazione dei carbonati sotto forma di concrezioni dure negli orizzonti inferiori e differenziazione del profilo in orizzonti A-Bw-Btk; Hue degli orizzonti Bw 2.5Y.
All'interno del suolo e dei sedimenti manufatti del Paleolitico inferiore - medio.
Pleistocene medio: Paleolitico inf. - medio
Deposits with very high weathering degree, weathering front from 4 to 10 m of thickness.
At the top of the unit, consisting of mainly coarse deposits, the weathering front consists of two main overlapping paleosols: the first, at the top of the unit, has evolved on a silty-clayey cover and shows complete decarbonation of the profile, the development of eluvial horizons, of illuvial clay accumulation horizons and horizons of sesquioxides of Fe, Mn, and profile differentiated into horizons A-E-Bt-Btk; Hue of horizons Bt 10YR-2.5Y.
The second soil, buried, which has developed on gravel and sandy gravel, shows complete decarbonation of the surficial and deep horizons, the development of illuvial clay accumulation horizons and horizons of sesquioxides of Fe and Mn, and profile differentiated into horizons Btk-Btk-Btk-Btk-C; Hue of horizons Bt 2.5Y.
The units, made up of mainly fine deposits, show a soil with complete decarbonation of the surficial and deep horizons, neoformation of clay, reorganization of the carbonates in the form of hard concretions in the lower horizons, and profile differentiated into horizons A-Bw-Btk; Hue of horizons Bw 2.5Y.
Within the soil strata of the Early-middle Paleolithic Age.
Middle Pleistocene: Early - middle Paleolithic.

- traccia di canale estinto
channel remnant
- traccia di canale estinto interpretata
channel remnant (inferred)
- ventaglio di rotta
crevasse splay
- XV sec.
età: 1709 - XI sec.
age: 1709 - XI sec.
- limite del bacino di provenienza
e deposizione del sedimento
limit of sediment provenance
and deposition basin



Scala 1:250.000



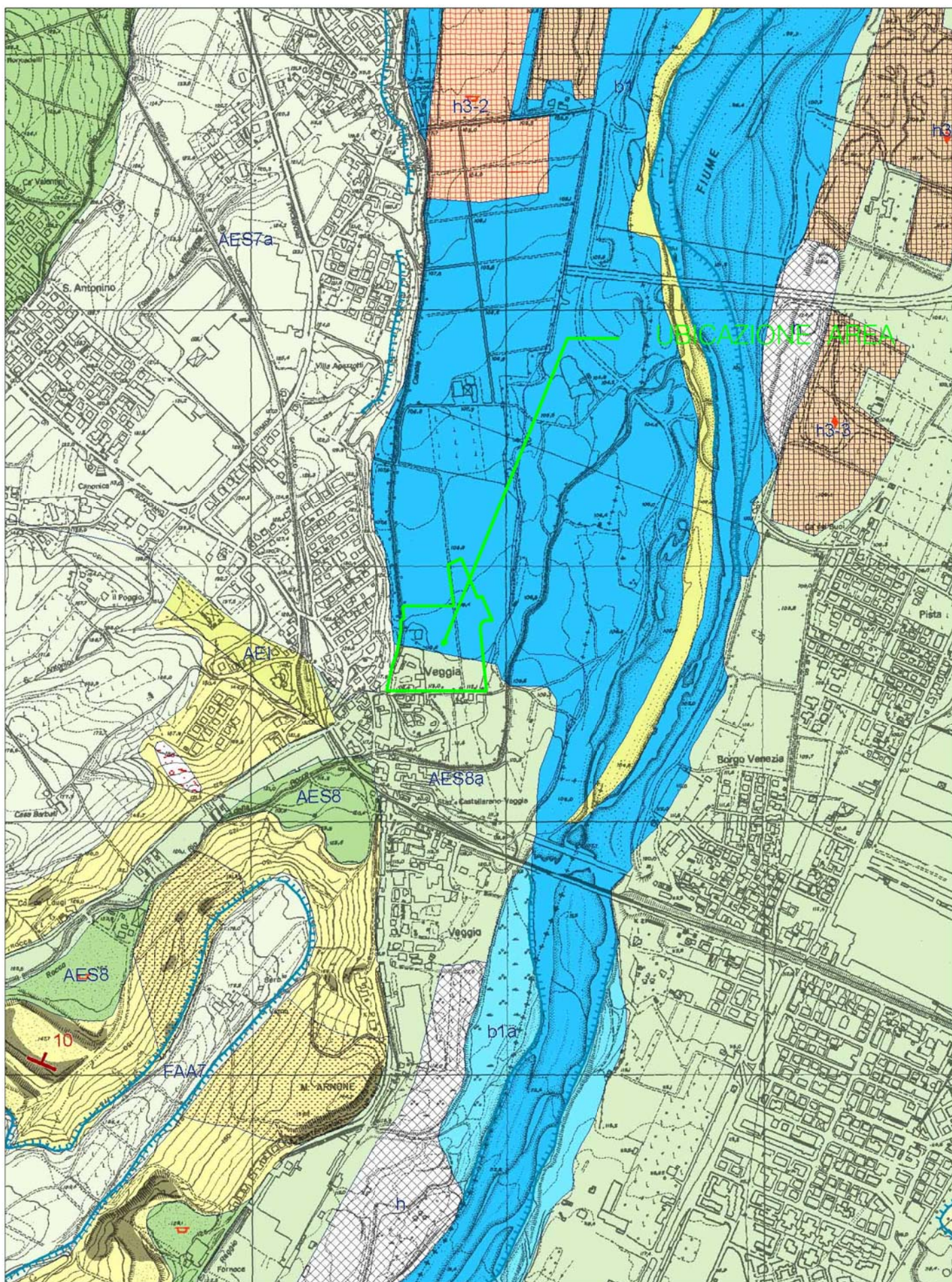
TAV 4: STRALCIO CARTA GEOLOGICA SEZIONE 219020 – VILLALUNGA & 219060 –
SASSUOLO – Scala 1:10.000

TAV 4: Stralcio Carta Geologica 1:10.000
Sezioni: 219020 – Villalunga e 219060 – Sassuolo



Scala 1:10.000

— Perimetro ZT16 oggetto di variante



Legenda Carta dell'Uso del Suolo dell'Emilia-Romagna – Scala 1:250.000

Numero 2

1°	2° LIVELLO	3° LIVELLO	4° LIVELLO	
2. TERRITORI AGRICOLI	2.1 Seminativi	2.1.1.0 Seminativi in aree non irrigue Sono considerati perimetri non irrigui quelli situati in aree collinari e montane dove non è praticata l'irrigazione.		
		2.1.2 Seminativi in aree irrigue Colture irrigate periodicamente o sporadicamente, in genere grazie a infrastrutture permanenti.	2.1.2.1 Seminativi semplici	
			2.1.2.2 Vivai	
			2.1.2.3 Colture orticole in pieno campo, in serra e sotto plastica	
	2.2 Colture permanenti	2.1.3.0 Risaie		
		2.2.1 Colture specializzate Vigneti e frutteti.	2.2.1.1 Vigneti Superfici coltivate a vigna.	
		2.2.2.0 Oliveti Superfici coltivate a olivo, comprese particelle a coltura mista di olivo e vite.	2.2.1.2 Frutteti e frutti minori Impianti di alberi o arbusti fruttiferi. I frutteti di superficie inferiore a 1,5 ha compresi nei terreni agricoli (prati stabili o seminativi) ritenuti importanti sono inclusi nella classe 2.4.2. I frutteti con presenza di diverse associazioni di alberi sono inclusi in questa classe.	
		2.2.3 Arboricoltura da legno Superfici piantate con alberi di specie forestali a rapido accrescimento per la produzione di legno soggette a operazioni culturali di tipo agricolo.	2.2.3.1 Pioppeti culturali	
	2.3 Prati stabili	2.3.1.0 Prati stabili Superfici a copertura erbacea densa, a composizione floristica rappresentata principalmente da graminacee, non soggette a rotazione.	2.2.3.2 Altre colture da legno (noceti, ecc.)	
		2.4 Zone agricole eterogenee	2.4.1.0 Colture temporanee associate a colture permanenti Colture annuali (seminativi o prati) in associazione con colture permanenti sulla stessa superficie. Vi sono comprese aree miste di colture temporanee e permanenti quando queste ultime coprono meno del 25% della superficie totale.	
2.4.2.0 Sistemi culturali e particellari complessi Mosaico di appezzamenti singolarmente non cartografabili con varie colture temporanee, prati stabili e colture permanenti occupanti ciascuno meno del 50% della superficie dell'elemento cartografato (es. orti per pensionati).				
2.4.3.0 Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti Le colture agrarie occupano più del 25% e meno del 75% della superficie totale dell'elemento cartografato. Gli spazi naturali possono essere rappresentati da siepi, cespuglieti, lembi di vegetazione arborea.				
3. TERRITORI BOSCATI E AMBIENTI SEMINATURALI	3.1 Aree boscate	3.1.1 Boschi di latifoglie Formazioni vegetali, costituite principalmente da alberi, ma anche da cespugli ed arbusti, nelle quali dominano le specie forestali latifoglie. La superficie a latifoglie costituisce almeno il 75% della componente arborea forestale, altrimenti è classificata bosco misto.	3.1.1.1 Boschi a prevalenza di faggi Sono situati in genere in una fascia altitudinale superiore ai 900 metri s.l.m.	
			3.1.1.2 Boschi a prevalenza di querce, carpini e castagni Sono situati in genere in una fascia altitudinale inferiore ai 900 metri s.l.m.	
			3.1.1.3 Boschi a prevalenza di salici e pioppi Sono costituiti da specie igrofile presenti in genere nelle zone con abbondanza d'acqua.	
			3.1.1.4 Boschi pianiziali a prevalenza di farnie, frassini, ecc.	
	3.2 Ambienti con vegetazione arbustiva e/o erbacea in evoluzione	3.1.2.0 Boschi di conifere Formazioni vegetali costituite principalmente da alberi, ma anche da cespugli ed arbusti, nelle quali dominano le specie forestali conifere. La superficie a conifere costituisce almeno il 75% della componente arborea forestale, altrimenti è classificata bosco misto.	3.1.1.5 Castagneti da frutto Aree con castagni da frutto in cui vengono regolarmente svolte attività di potatura e ripulitura del sottobosco.	
	3.3 Zone aperte con vegetazione rada o assente	3.1.3.0 Boschi misti di conifere e latifoglie Formazioni vegetali, costituite principalmente da alberi, ma anche da cespugli ed arbusti, dove né le latifoglie, né le conifere superano il 75% della componente arborea forestale.		
	4. AMBIENTE UMIDO	4.1 Zone umide interne	3.2.1.0 Praterie e brughiere di alta quota Aree con vegetazione naturale di tipo erbaceo o basso-arbustivo, poste sopra al limite naturale della vegetazione arborea che in Emilia-Romagna si colloca fra i 1400 e i 1500 metri s.l.m.	
4.2 Zone umide marittime		3.2.2.0 Cespuglieti e arbusteti Formazioni vegetali basse e chiuse, composte principalmente da cespugli, arbusti e piante erbacee.		
5. AMBIENTE DELLE ACQUE	5.1 Acque continentali	3.2.3.0 Aree a vegetazione arbustiva e arborea in evoluzione Vegetazione arbustiva o erbacea con alberi sparsi. Formazioni che possono derivare dalla degradazione della foresta o da rinnovazione della stessa per ricolonizzazione di aree non forestali o in adiacenza ad aree forestali. Si distinguono da 3.2.2.0 per le situazioni particolari di localizzazione (ad es. ex-terreni agricoli con confini particolari o terrazzamenti) o in relazione a parametri temporali-culturali-ambientali particolari (ad es. aree bruciate o soggette a danni di varia natura e origine).	3.2.3.1 Aree con vegetazione arbustiva e/o erbacea con alberi sparsi	
			3.2.3.2 Aree con rimboschimenti recenti	
	5.2 Acque marittime	3.3.1.0 Spiagge, dune e sabbie Vi sono comprese le spiagge, le dune e le distese di sabbia e di ciottoli di ambienti litorali e continentali. Le dune ricoperte di vegetazione legnosa o erbacea sono classificate nelle voci corrispondenti a 3.1 e 3.2.		
	5.1 Acque continentali	3.3.2.0 Rocce nude, talusie, affioramenti Aree con copertura vegetale inferiore al 10%.		
5.1.2 Bacini d'acqua Superfici naturali o artificiali coperte da acque, destinate o meno all'utilizzo agricolo e/o ittico.				
5.2.1 Mari				

Legenda Carta dell'Uso del Suolo dell'Emilia-Romagna – Scala 1:250.000

Numero 1

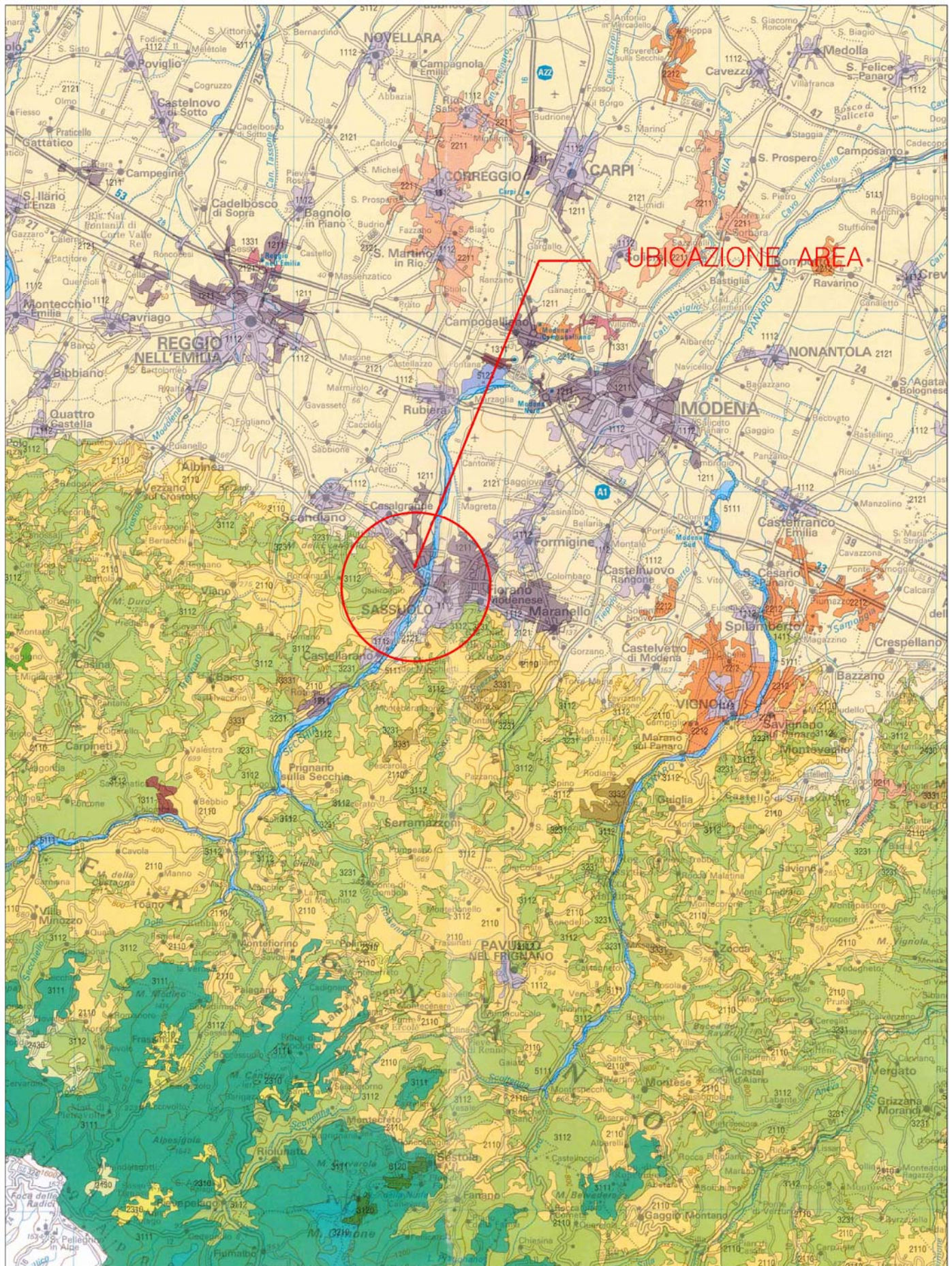
1. TERRITORI MODELLATI ARTIFICIALMENTE

1°	2° LIVELLO	3° LIVELLO	4° LIVELLO
	1.1 Zone urbanizzate	<p>1.1.1 Tessuto continuo Spazi strutturati da edifici ad uso generalmente residenziale e da viabilità. Gli edifici, la viabilità e le superfici ricoperte artificialmente occupano più del 50% della superficie totale. La vegetazione non lineare e il suolo nudo rappresentano l'eccezione.</p> <p>1.1.2 Tessuto discontinuo Spazi caratterizzati dalla presenza di edifici ad uso generalmente residenziale (palazzi, palazzine e villini). Gli edifici, la viabilità e le superfici a copertura artificiale si presentano discontinui e coesistono con superfici coperte da vegetazione che occupano aree non trascurabili. Entrano in questa categoria le superfici occupate da costruzioni residenziali isolate che formano zone insediative di tipo diffuso. Gli edifici, la viabilità e le superfici coperte artificialmente coprono meno del 50% e più del 10% della superficie totale dell'unità cartografata. La copertura vegetale può occupare una superficie significativa (grandi spazi verdi condominiali, giardini privati, orti familiari), ma non presenta rilevanza agroforestale.</p>	<p>1.1.1.1 Tessuto residenziale compatto e denso Tessuti storici, novecenteschi, strutturati ad isolati chiusi, continui. La maggior parte degli edifici è costituita da strutture superiori ai tre piani o 10 metri d'altezza. Non sono presenti spazi aperti di grandezza rilevante intervallati agli edifici.</p> <p>1.1.1.2 Tessuto residenziale rado Tessuti composti da palazzine e/o villini con spazi aperti di pertinenza, occupati da piccoli giardini condominiali, fasce di verde e alberature dove comunque gli edifici, la viabilità e le superfici ricoperte artificialmente coprono oltre il 50% della superficie totale. Generalmente gli edifici non raggiungono più di tre piani o 10 metri d'altezza.</p>
	1.2 Insediamenti produttivi, commerciali, dei servizi pubblici e privati, delle reti e delle aree infrastrutturali	<p>1.2.1 Insediamenti industriali, commerciali, dei grandi impianti e dei servizi pubblici e privati Aree a copertura artificiale (in cemento, asfaltate o stabilizzate: per esempio terra battuta) senza vegetazione che occupano la maggior parte del terreno (più del 50% della superficie). La zona comprende anche edifici e/o aree con vegetazione e relativi spazi associati (muri di cinta, parcheggi, depositi, ecc.).</p> <p>1.2.2 Reti ed aree infrastrutturali stradali e ferroviarie e spazi accessori, aree per grandi impianti di smistamento merci, reti ed aree per la distribuzione idrica e la produzione e il trasporto dell'energia</p> <p>1.2.3 Aree portuali Infrastrutture delle zone portuali comprese i binari, i cantieri navali, i porti da diporto e/o i porti-canale. È compresa anche la superficie dei bacini (d'acqua dolce o salata) delimitata dai moli.</p> <p>1.2.4 Aree aeroportuali ed eliporti Infrastrutture di aeroporti, di eliporti, piste, edifici e superfici associate. Sono considerate le superfici interessate dall'attività aeroportuale anche se alcune parti di queste sono utilizzate occasionalmente per agricoltura-foraggio; superfici di norma delimitate da recinzioni o strade. Sono compresi i piccoli aeroporti da turismo e gli eliporti purché dotati di strutture stabili di servizio.</p>	<p>1.2.1.1 Insediamenti produttivi industriali, artigianali e agricoli con spazi annessi Comprendono le aree adibite ai servizi commerciali all'ingrosso o al dettaglio inclusi gli spazi annessi. Non sono compresi i grandi magazzini integrati in edifici di abitazione.</p> <p>1.2.1.2 Insediamenti commerciali Comprendono le aree adibite ai servizi commerciali all'ingrosso o al dettaglio inclusi gli spazi annessi. Non sono compresi i grandi magazzini integrati in edifici di abitazione.</p> <p>1.2.1.3 Insediamenti di servizi pubblici e privati Comprendono le aree adibite a servizi alberghieri e di ristoro, le strutture scolastiche superiori e universitarie dei vari ordini e gradi, le biblioteche, le aree di ricerca scientifica, le aree fieristiche, i tribunali, gli uffici postali e tributari, le prigioni, le caserme, i luoghi di culto da soli o in associazione. Sono inclusi gli spazi annessi (parcheggi, viabilità, verde di arredo).</p> <p>1.2.1.4 Insediamenti ospedalieri Comprendono strutture ospedaliere isolate o in associazione. Sono inclusi gli spazi annessi (parcheggi, viabilità, verde di arredo).</p> <p>1.2.1.5 Insediamenti di grandi impianti tecnologici Comprendono gli impianti di smaltimento rifiuti (escluse le discariche da collocare in 1.3.2), gli inceneritori e gli impianti di depurazione delle acque. Sono inclusi gli spazi annessi (parcheggi, viabilità, verde di arredo).</p> <p>1.2.2.1 Reti stradali e spazi accessori Comprendono anche gli spazi associati alle reti stradali come svincoli, stazioni di servizio, aree di parcheggio, autostazioni, depositi di mezzi pubblici e le superfici annesse come marciapiedi, banchine, terrapieni e scarpate.</p> <p>1.2.2.2 Reti ferroviarie e spazi accessori Reti ferroviarie e spazi associati (stazioni, binari, smistamento, depositi, terrapieni, ecc.).</p> <p>1.2.2.3 Grandi impianti di concentramento o smistamento merci (interporti e simili) Sono inclusi gli spazi annessi (parcheggi, viabilità, verde di arredo).</p> <p>1.2.2.4 Aree per impianti delle telecomunicazioni Insediamenti di antenne, ripetitori, trasmettitori con spazi di servizio annessi.</p> <p>1.2.2.5 Reti ed aree per la distribuzione, la produzione ed il trasporto dell'energia Sono comprese le centrali di produzione e di trasformazione, gli elettrodotti, i metanodotti, gli oleodotti, le raffinerie, le sottostazioni di distribuzione e i depositi di carburante.</p> <p>1.2.2.6 Reti ed aree per la distribuzione idrica Sono comprese gli impianti di captazione, potabilizzazione, i serbatoi, le stazioni di pompaggio e gli impianti idrovori di sollevamento.</p> <p>1.2.3.1 Aree portuali commerciali</p> <p>1.2.3.2 Aree portuali per il diporto</p> <p>1.2.3.3 Aree portuali per la pesca</p> <p>1.2.4.1 Aeroporti commerciali</p> <p>1.2.4.2 Aeroporti per volo sportivo e da diporto, eliporti</p> <p>1.2.4.3 Aeroporti militari</p>
	1.3 Aree estrattive, discariche, cantieri e terreni artefatti e abbandonati	<p>1.3.1 Aree estrattive Estrazione di materiali inerti a cielo aperto, anche in alveo (cave di sabbia, ghiaia e pietra) o di altri materiali (miniere a cielo aperto). Sono qui compresi gli edifici e le installazioni industriali associate oltre a superfici pertinenti a cave o miniere abbandonate e non recuperate. I siti archeologici sono invece inclusi nelle aree ricreative (1.4.2.7).</p> <p>1.3.2 Discariche e depositi di rottami</p> <p>1.3.3 Cantieri Spazi in costruzione, scavi e suoli rimaneggiati.</p>	<p>1.3.1.1 Aree estrattive attive</p> <p>1.3.1.2 Aree estrattive inattive</p> <p>1.3.2.1 Discariche e depositi di cave, miniere e industrie Sono compresi gli edifici e le installazioni industriali associate ed altre superfici di pertinenza.</p> <p>1.3.2.2 Discariche di rifiuti solidi urbani</p> <p>1.3.2.3 Depositi di rottami a cielo aperto, cimiteri di autoveicoli</p> <p>1.3.3.1 Cantieri, spazi in costruzione e scavi Per le dimensioni minime si fa riferimento a quelle previste per la categoria finale di appartenenza del manufatto in costruzione.</p> <p>1.3.3.2 Suoli rimaneggiati e artefatti Aree per lo più nude e/o improduttive di origine antropica, soggette ad attività temporanee e improprie o in abbandono, in attesa di destinazione diversa e stabile.</p>
	1.4 Aree verdi artificiali non agricole	<p>1.4.1 Aree verdi Spazi ricoperti prevalentemente da vegetazione compresi nel tessuto urbano o associati ad edifici di interesse storico anche al di fuori delle aree urbane. Ne fanno parte i parchi urbani di varia natura, le ville comunali, i giardini pubblici e privati.</p> <p>1.4.2 Aree ricreative e sportive Aree utilizzate per campeggi, attività sportive e parchi di divertimento. Sono inclusi gli spazi annessi (parcheggi, viabilità, verde di arredo).</p> <p>1.4.3.0 Cimiteri Sono inclusi gli spazi annessi (parcheggi, viabilità, verde di arredo).</p>	<p>1.4.1.1 Parchi e ville</p> <p>1.4.1.2 Aree incolte nell'urbano</p> <p>1.4.2.1 Campi e strutture turistico-ricettive (bungalows e simili)</p> <p>1.4.2.2 Aree sportive (calcio, atletica, tennis, sci)</p> <p>1.4.2.3 Parchi di divertimento e aree attrezzate (aquapark, zoosafari e simili)</p> <p>1.4.2.4 Campi da golf</p> <p>1.4.2.5 Ippodromi e spazi associati Sono compresi i maneggi e le aree dedicate all'allevamento e all'allenamento dei cavalli da corsa.</p> <p>1.4.2.6 Autodromi e spazi associati Sono comprese le piste da kart e da motocross.</p> <p>1.4.2.7 Aree archeologiche Grandi aree aperte al pubblico.</p> <p>1.4.2.8 Aree adibite alla balneazione Aree costiere di spiaggia occupate da stabilimenti balneari e attrezzature relative agli stessi (ombrelloni, cabine, aree giochi). Sono inclusi gli spazi annessi (parcheggi e viabilità).</p>

TAV 5: STRALCIO CARTA DELL'USO DEL SUOLO DELL'EMILIA-ROMAGNA – Scala 1:250.000



Scala 1:250.000



TAV 6: STRALCIO CARTA GEOMORFOLOGICA DELLA PIANURA PADANA – Scala 1:250.000

Legenda 2



Ventaglio di esondazione.
Crevasse splay.



Gorgo.
Erosion cavity.



Area depressa in pianura alluvionale.
Depression in alluvial plain.



Antica conca lacustre prosciugata.
Ancient lake basin, now dry.

FORME E DEPOSITI LITORANEI E LAGUNARI COASTAL AND LAGOONAL FORMS AND DEPOSITS



Depositi sabbiosi di ambiente prevalentemente litoraneo.
Sand deposited in littoral environment.



Cordone litoraneo sabbioso semplice (recente ed antico):
Simple, sandy beach ridge (recent or ancient).



a - rilevato sulle aree circostanti;
elevated;



b - non rilevato e/o parzialmente sepolto.
not elevated, and/or partially buried.



Cordone litoraneo sabbioso, complesso o largo;
Complex or wide sandy beach ridge.



Attuale tendenza evolutiva delle linee di riva (in base ai dati pubblicati nell'Atlante delle Spiagge Italiane - CNR).
Present trend of shoreline (on basis of Atlas of Italian Beaches - CNR).



a - in avanzamento;
prograding;



b - in erosione.
retreating.



Bocca lagunare, attiva.
Lagoon inlet, active.



Traccia di antica bocca lagunare.
Trace of ancient lagoon inlet.



Delta lagunari, dossi di corsi d'acqua sfocianti in una laguna:
Lagoon deltas, ridges of watercourses flowing into lagoon:



a - attivi;
active;



b - inattivi.
inactive.



Barrene.
Salt marsh.



Traccia di antichi canali lagunari.
Trace of ancient lagoon channels.



Limite verso l'interno di bacini lagunari di età medievale e moderna (ove conosciuto).
Inner boundary of lagoon basins of medieval and modern age (when known).



Antica ripa di erosione marina.
Ancient wave-cut cliff.

FORME E DEPOSITI DI ORIGINE EOLICA FORMS AND DEPOSITS OF AEOLIAN ORIGIN



Dune.
Dunes.



Dune spianate (in genere per azione antropica).
Levelled dunes (mainly owing to human modification).



Copertura di loess. a, b - associata a coltri di alterazione.
Loess cover. a, b - associated with weathering mantles.



Affioramenti di loess di estensione limitata.
Small outcrops of loess.

FORME LEGATE AD INTERVENTI ANTROPICI FORMS CONNECTED WITH HUMAN ACTIVITY



Cavità artificiale, grande cava.
Artificial cavity, large quarry.



Cave di piccole dimensioni.
Small quarry.



Terrapieno, colmata artificiale.
Embankment, landfill.



Superficie di sbancamento per antica attività mineraria.
Old mine strip surface.



Principali colmate fluviali controllate artificialmente.
Main fluvial fills, artificially controlled.



Area bonificata.
Reclaimed land.



Area umida sopraelevata, per bonifica e subsidenza della pianura circostante.
Marsh emerging from subsiding drained plain.



Fiume pensile in argini artificiali.
Hanging river, within artificial levees.



Argini principali; moli foranei.
Main levees, jetties.



Principali opere di stabilizzazione dell'alveo ordinario del Po.
Main embankments controlling stability of mean water channel of River Po.



Principali canali artificiali e loro verso di deflusso.
Main canals, and flow direction.



Tratto di fiume incanalato artificialmente.
Stretch of river artificially enchannelled.



Canale artificiale in laguna o in mare.
Lagoon canal, artificial.



Diga a mare e/o verso laguna.
Seaward and/or lagoonward dam.



Altre opere di protezione della costa.
Other coastal defences.



Opere principali di sbarramento fluviale.
Main fluvial barrages.



Cassa (vacino) di espansione delle piene.
Controlled flood washland.



Grande canale scolmatore per il deflusso di piene eccezionali.
Large floodway (for exceptionally high floodwaters).



Canale abbandonato.
Abandoned canal.



Canale in costruzione.
Canal under construction.



Principali aree urbanizzate.
Main built up areas.



Aree urbanizzate antiche (centri storici).
Historic city centres.

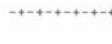


Salina.
Salina.

CONFINI - BOUNDARIES



Confine di Stato.
National frontier.



Confine di Regione.
Regional boundary.



Confine di Provincia.
Provincial boundary.

Legenda 1

LIMITI DELL'AREA DI PIANURA PLAIN MARGINS

- Margine dei rilievi pre-quaternari emergenti nettamente sulla pianura.
Margin of pre-quaternary relief rising sharply above plain.
- - - Margine dell'Altopiano di Poirino (Piemonte) verso le colline modellate per erosione, dell'Astigiano.
Margin of Poirino Plateau (Piemonte) towards Asti erosional hills.

ALTIMETRIA ALTIMETRY

- a Isopse diretrici: equidistanza 50 m.
Main contour interval: 50 m.
- b Isopse intermedie: equidistanza 10 m.
Normal contour interval: 10 m.
- c Isopse ausiliarie: equidistanza 5 m.
Intermediate contour interval: 5 m.
- d Isopse supplementari, nell'area prossima al livello del mare: + 2 m, - 2 m.
Supplementary contour in lowest area of plain: + 2 m, - 2 m.

IDROGRAFIA HYDROGRAPHY

- Corso d'acqua.
River bed.
- Letto di fiume torrente a canali intrecciati, inondato saltuariamente.
Braided river bed, occasionally inundated.
- Corso d'acqua con recente tendenza all'approfondimento maggiore di 2 m, dal 1950.
River bed with recent downcutting, more than 2 m deep, since 1950.
- Golena.
High water bed, mostly between main levees.
- Area palustre.
Swamp.
- Canali lagunari.
Lagoon channels.
- Importante sorgente carsica.
Main karstic spring.

FORME DI ORIGINE TETTONICA TECTONIC LANDFORMS

- Gradino di faglia o di flessura (limitatamente alla pianura).
Fault or flexure scarp (within plain).
- Scarpata tettonica nella fascia al limite tra pianura e rilievo.
Tectonic escarpment in belt between plain and relief.
- Inclinazione anomala della superficie topografica.
Anomalous slope of plain surface.
- Dislocazione sepolta con effetti morfologici evidenti.
Buried dislocation with evident geomorphologic effects.
- Locale elevazione della pianura attribuita a sollevamento tettonico.
Local height ascribed to tectonic uplift.

FORME DI ACCUMULO GLACIALE LANDFORMS OF GLACIAL DEPOSITION

- Complessi di colline moreniche e depressioni intermoreniche (aree non rilevate in dettaglio per questa carta).
Complexes of morainic ridges and intermorainic depressions (area not surveyed in detail for this map).

FORME E DEPOSITI FLUVIALI, FLUVIOGLACIALI, FLUVIOLACUSTRI FLUVIAL, GLACIOFLUVIAL AND FLUVIOLACUSTRINE FORMS AND DEPOSITS

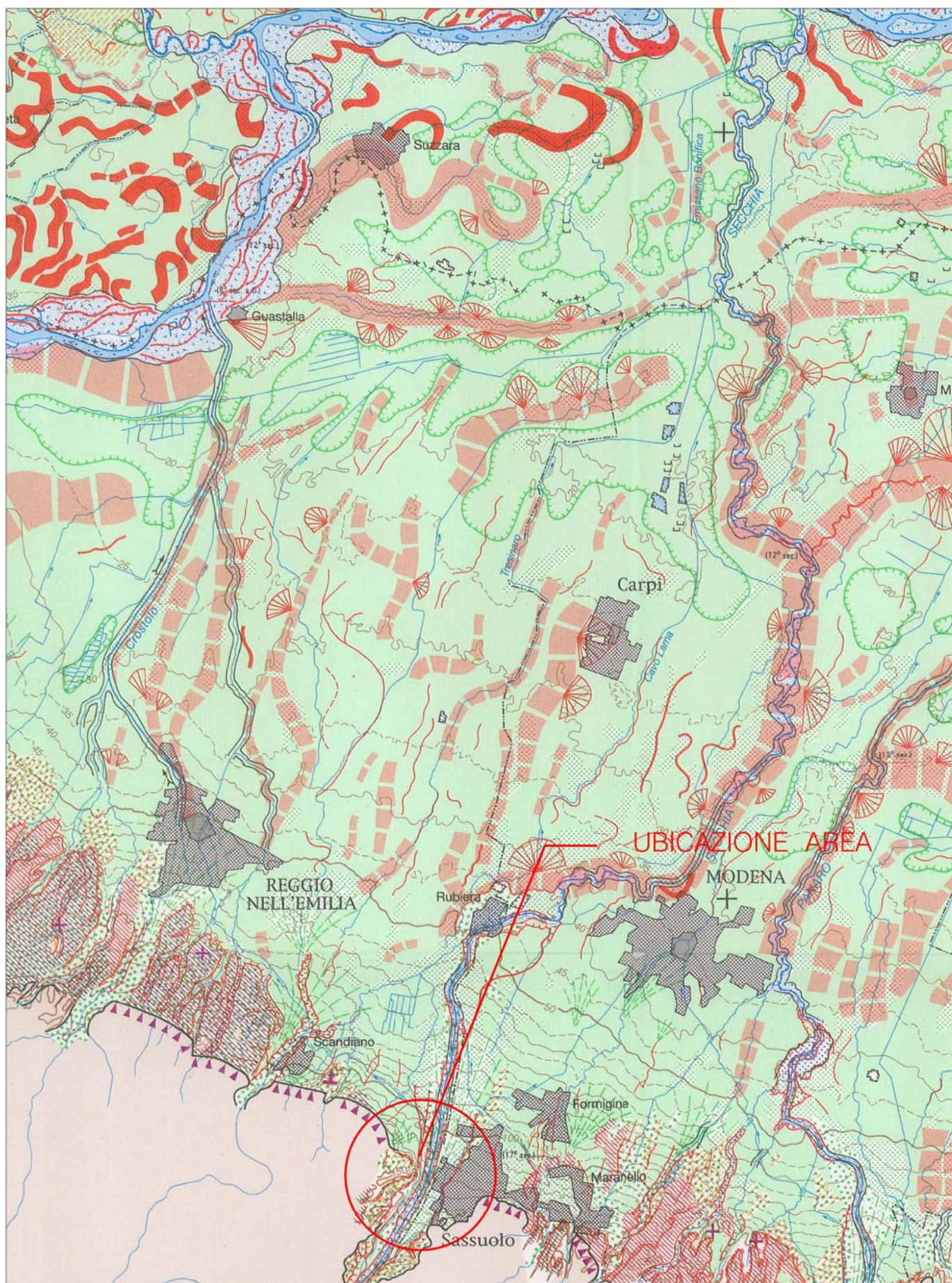
- Tratti di pianura alluvionale distinti secondo la natura dei sedimenti superficiali prevalentemente:
Alluvial plain, according to nature of prevailing surface lithology mainly:
- a - ghiaiosi;
gravel;
- b - sabbiosi;
sand;
- c - limosi ed argillosi.
silt and clay.
- Torba.
Peat.
- Conglomerati.
Conglomerates.

- Blocchi di grandi dimensioni, fuori dell'ambito delle colline moreniche.
Large boulders outside moraine complexes.
- Coltre di alterazione superficiale (suoli con orizzonte B rubefatto, suoli antichi e poligenetici).
Weathering mantle (soils with rubified B horizon, old and polygenetic soils):
- a - fino a 1 m di profondità;
up to 1 m thick;
- b - oltre 1 m di profondità.
more than 1 m thick.
- Superficie di spianamento, glacis d'erosione e glacis coperti, glacis dissecati.
Planation surface, erosional glacis, covered glacis, dissected glacis.
- Conoide alluvionale o fluvio-glaciale:
Alluvial or fluvio-glacial fan:
- a - pendenza > 20‰;
> 20‰ slope;
- b - pendenza 10-20‰;
20-10‰ slope;
- c - pendenza < 10‰.
< 10‰ slope.
- Traccia di antico scaricatore fluvio-glaciale.
Trace of ancient meltwater channel.
- Scarpata o pendio delimitante un terrazzo:
Terrace scarp or slope:
- a - altezza < 5 m;
< 5 m high;
- b - altezza 5-20 m;
5-20 m high;
- c - altezza > 20 m.
> 20 m high.
- Incisione di un corso d'acqua in generale.
Stream incision.
- Forra d'incisione fluviale (in roccia o in conglomerato).
Fluvial gorge (in bedrock or conglomerate).
- Insieme di valli o più o meno ramificate:
Small valley system:
- a - valli a V o a fondo piatto, profonde;
deep, V-shaped or flat-bottomed;
- b - larghe, svasate, poco profonde.
shallow, wide, round-bottomed.
- Testata di un'incisione di risorgiva.
Spring incision.
- Depressione palustre di risorgiva.
Spring marsh depression.
- Traccia di corso fluviale estinto, a livello della pianura o leggermente incassato:
Trace of abandoned river bed at plain level or slightly below:
- a - ben conservata;
well preserved;
- b - mal conservata.
poorly preserved.
- Tracce diffuse di corsi d'acqua a canali intrecciati, estinti.
Widespread traces of abandoned braided streams.
- Sito di importante deviazione fluviale (età, eventualmente anno).
Site of known river diversion (age and year, when known).
- Dosso fluviale particolarmente pronunciato (altezza > 2 m, pendenza longitudinale < 1‰).
Well defined levee ridge (height > 2 m, longitudinal slope < 1‰).
- Altri dossi fluviali (meno pronunciati, o a forte pendenza longitudinale).
Other fluvial ridges (less well-defined, or with higher longitudinal slope).
- Canale di esondazione.
Crevasse channel.

TAV 6: Stralcio Carta Geomorfologica della Pianura Padana

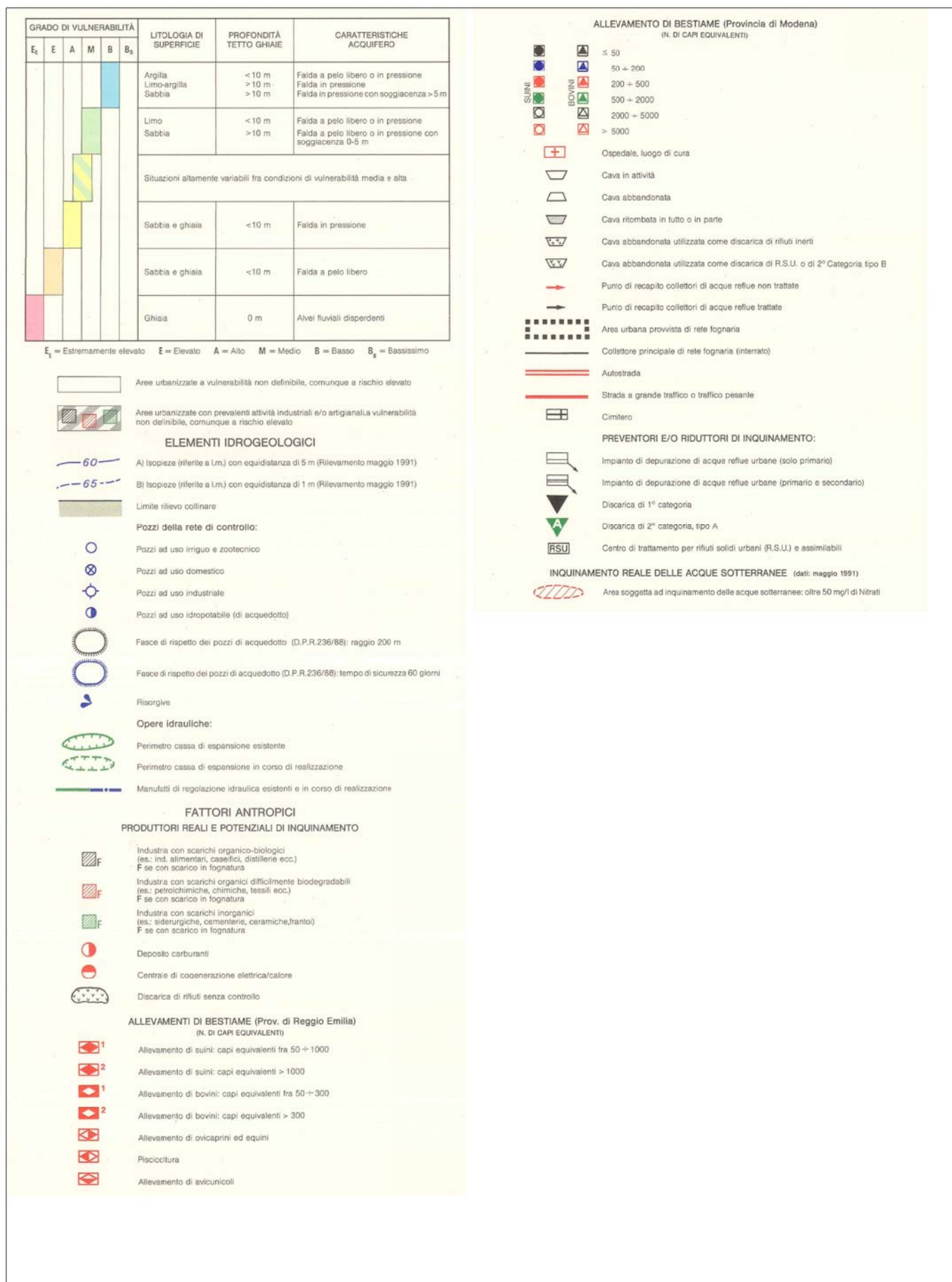


Scala 1:250.000



**TAV 7: STRALCIO CARTA DELLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI ALL'INQUINAMENTO –
ALTA PIANURA REGGIANA TRA T.CROSTOLO E F.SECCHIA – Scala 1:25.000**

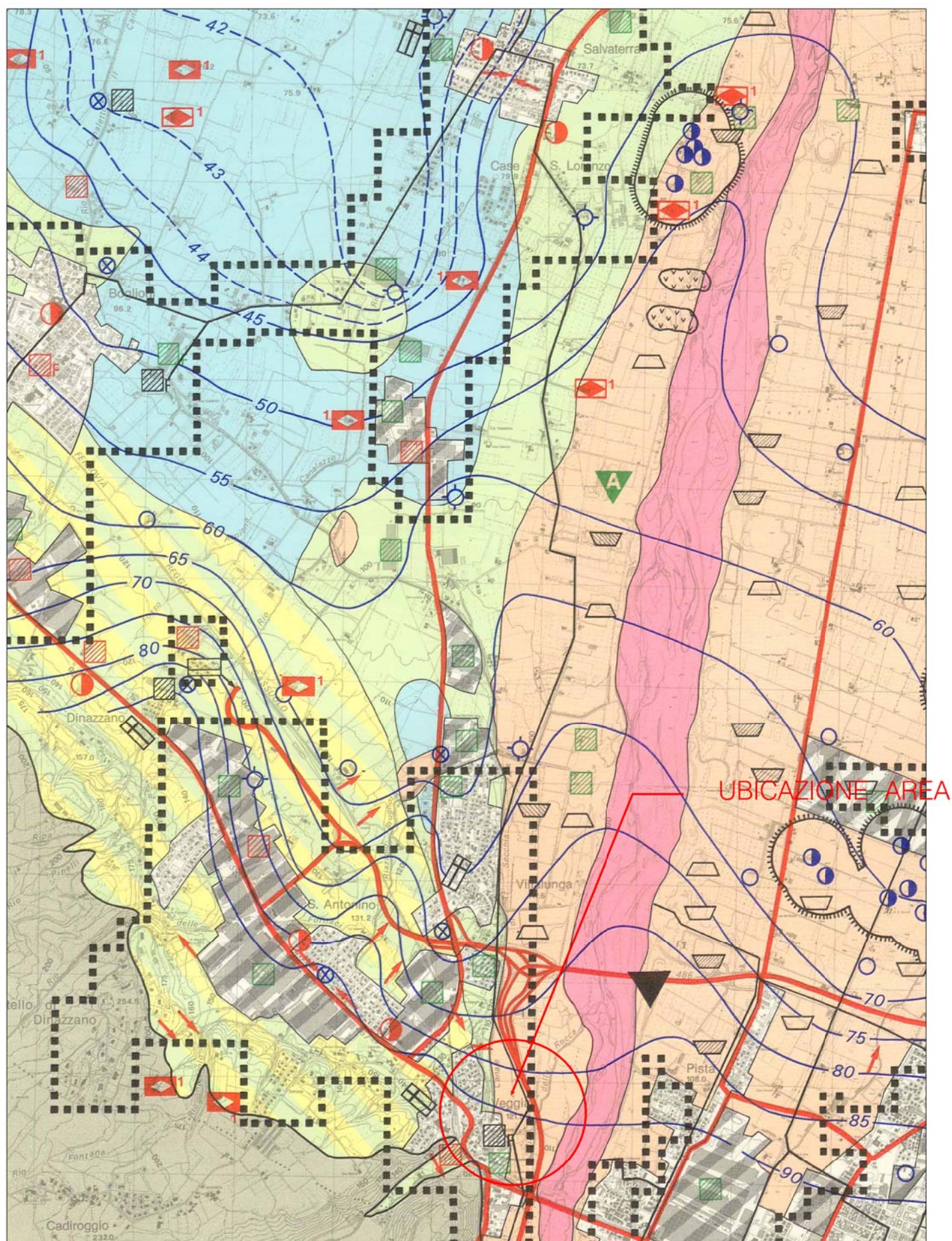
Legenda Carta della Vulnerabilit  degli Acquiferi all'Inquinamento Alta pianura reggiana tra T.Crostolo e F.Secchia – Scala 1:25.000



TAV 7: Stralcio Carta della Vulnerabilit  degli Acquiferi all'Inquinamento
Alta pianura reggiana tra T.Crostolo e F.Secchia

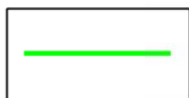


Scala 1:25.000



TAV 8: MICROZONAZIONE SISMICA – STRALCIO C.T.R. ELEMENTI 219064 – 219023 – Scala
1:5.000

Legenda Carta della Microzonazione Sismica



Perimetro ZT16 oggetto di variante



II Livello di Approfondimento



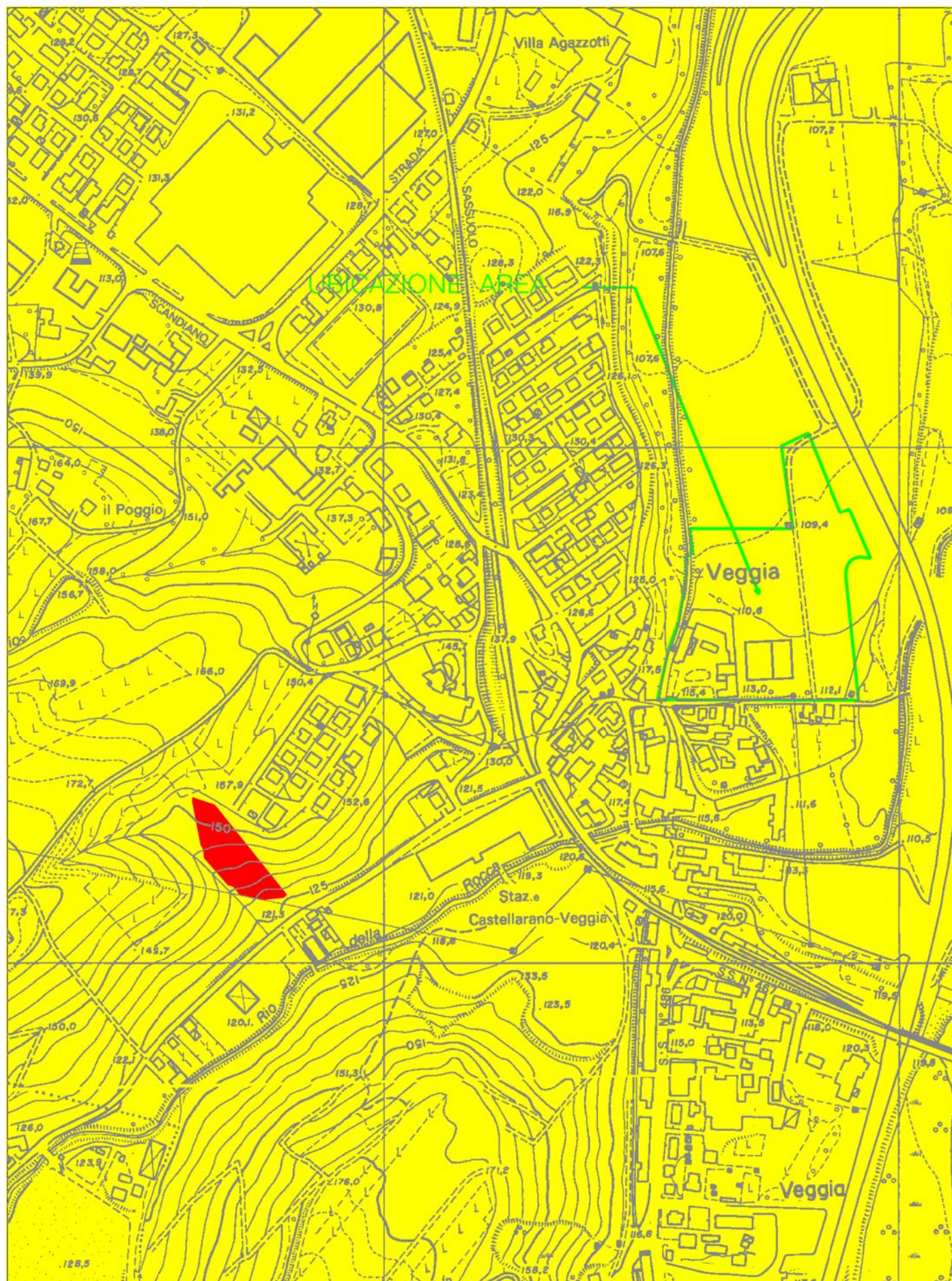
III Livello di Approfondimento

Caratteristiche sismiche ed indagini eseguite nell'area in studio (secondo la Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale numero 112 del 02/05/2007)	
Prove penetrometriche dinamiche (SCPT)	2
Stendimento sismico con elaborazione MASW	Numero 1
Velocita' media delle onde di taglio nei primi 30 metri sotto il piano di posa delle fondazioni (V_{s30})	366 m/s
Fattore di amplificazione di intensita' spettrale (FA_{SI}) nell'intervallo tra 0,1s e 0,5s	1,6
Fattore di amplificazione di intensita' spettrale (FA_{SI}) nell'intervallo tra 0,5s e 1,0s	1,9
Fattore di amplificazione in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (FA_{PGA})	1,4
L'assenza di depositi sabbiosi o sabbioso-limosi e l'assenza di falda fino alla profondita' di 15 metri, escludono la possibilita' di LIQUEFAZIONE	

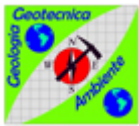
TAV 8: Microzonazione sismica – Stralcio C.T.R.
Elementi 219064 – 219023



Scala 1:5.000



TAV A: ELABORATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (SCPT)

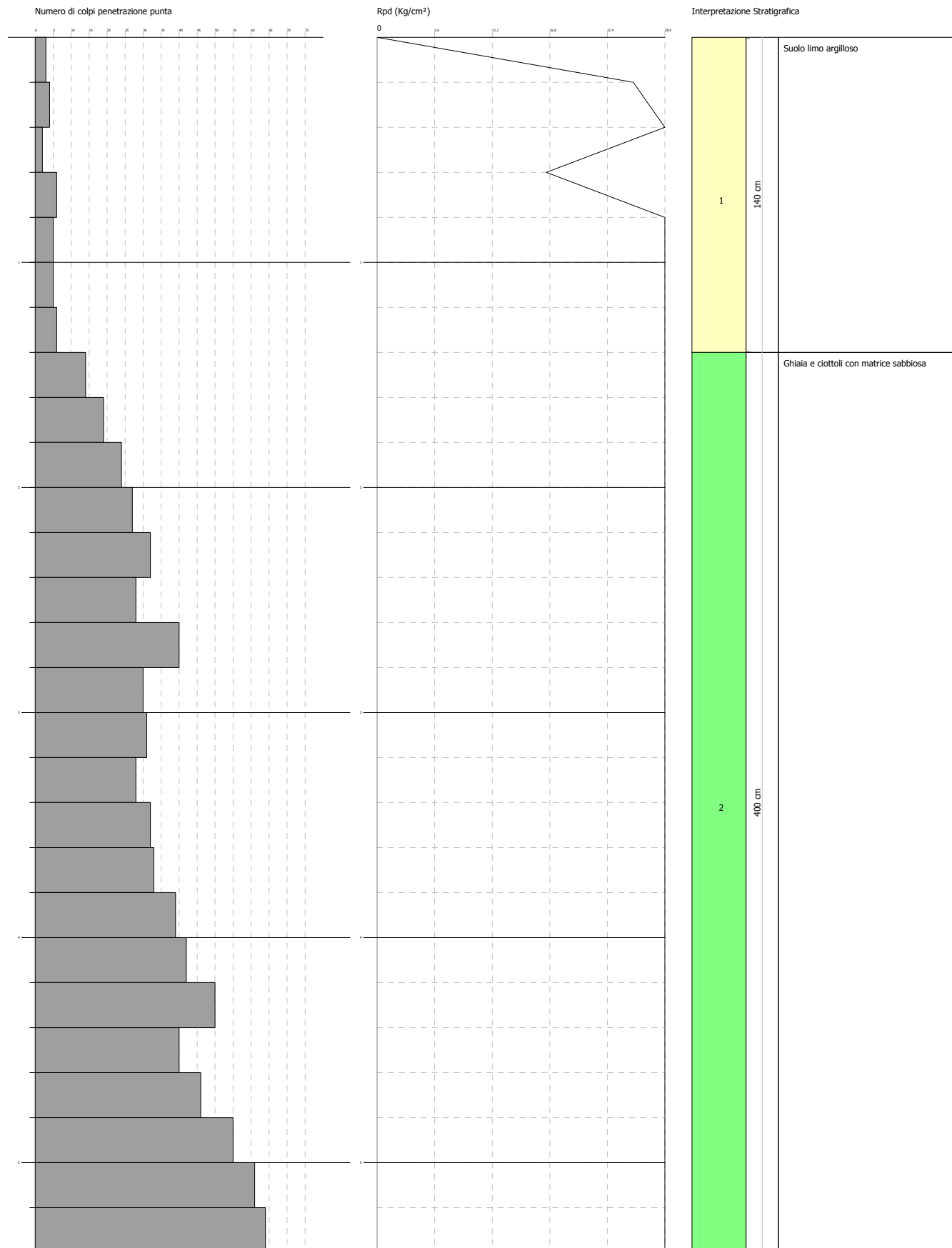


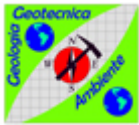
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)

Committente: Immobiliare Il Mulino srl & Fiorini Emilio
Cantiere: Ampliamento dell'area di lottizzazione denominata "Zona di trasformazione ZT16"
Località: Via Mulino - La Veggia di Casalgrande (RE)

Data: 06/11/2006

Scala 1:24



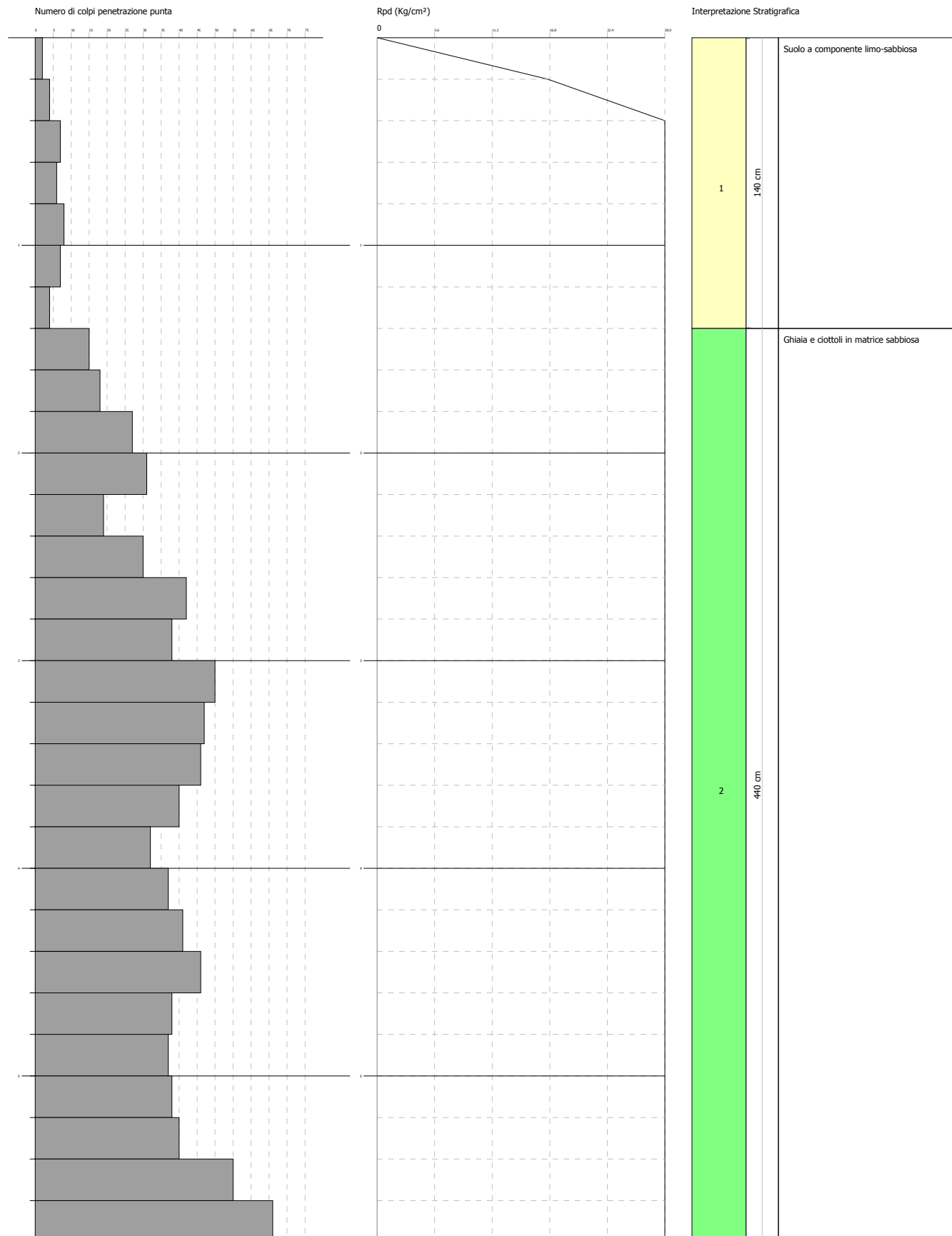


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)

Committente: Immobiliare Il Mulino srl & Fiorini Emilio
Cantiere: Ampliamento dell'area di lottizzazione denominata "Zona di trasformazione ZT16"
Località: Via Mulino - La Veggia di Casalgrande (RE)

Data: 06/11/2006

Scala 1:26





PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Immobiliare Il Mulino srl & Fiorini Emilio Cantiere: Ampliamento dell'area di lottizzazione denominata "Zona di trasformazione ZT16" Località: Via Mulino - La Veggia di Casalgrande (RE)	
--	--

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	8 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.504
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) δ
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento δ = 10 cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$),
 diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
 massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M = peso massa battente;

M' = peso aste;

H = altezza di caduta;

A = area base punta conica;

δ = passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandese

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

R_{pd} = resistenza dinamica punta (area A);

e = infissione media per colpo (δ / N);

M = peso massa battente (altezza caduta H);

P = peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di (N_{160})

(N₁)₆₀ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = C_N \times N_{60} \text{ con } C_N = \sqrt{(Pa/\sigma'_{v0})} \quad C_N < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \times (ER/60) \times C_s \times C_T \times C_d$$

ER/60: Rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.

C_s: Parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).

C_d: Funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).

C_T: Parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media + s

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media - s

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove sN_{spt} è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 mt. ed immersione $d = 1$ mt..

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda) .

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.

- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $s > 15 \text{ t/mq}$.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck 1948-1967

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss 1978-1981 . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/sec)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_0)

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso .

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u min-max.
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 C_u (Kg/cm²) (valori medi), valida per **argille** e **limi argillosi** con $N_c=20$ e $Q_c/N_{spt}=2$.
- Schmertmann 1975 C_u (Kg/cm²) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/cm²), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità .
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cm²)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt}=6-12$).

Modulo Di Young (E_y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

- Meyerhof ed altri.

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)
 Prova eseguita in data 06/11/2006
 Profondità prova 5.40 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.20	3	0.855	24.92	29.15	1.25	1.46
0.40	4	0.851	33.07	38.87	1.65	1.94
0.60	2	0.847	16.46	19.44	0.82	0.97
0.80	6	0.843	49.17	58.31	2.46	2.92
1.00	5	0.840	37.75	44.95	1.89	2.25
1.20	5	0.836	37.59	44.95	1.88	2.25
1.40	6	0.833	44.92	53.94	2.25	2.70
1.60	14	0.780	98.11	125.86	4.91	6.29
1.80	19	0.776	132.60	170.81	6.63	8.54
2.00	24	0.723	145.16	200.72	7.26	10.04
2.20	27	0.720	162.61	225.81	8.13	11.29
2.40	32	0.667	178.55	267.63	8.93	13.38
2.60	28	0.714	167.26	234.17	8.36	11.71
2.80	40	0.611	204.54	334.53	10.23	16.73
3.00	30	0.709	166.22	234.55	8.31	11.73
3.20	31	0.656	159.00	242.37	7.95	12.12
3.40	28	0.703	153.99	218.92	7.70	10.95
3.60	32	0.651	162.84	250.19	8.14	12.51
3.80	33	0.648	167.30	258.01	8.36	12.90
4.00	39	0.596	170.62	286.27	8.53	14.31
4.20	42	0.594	183.03	308.29	9.15	15.41
4.40	50	0.591	217.06	367.01	10.85	18.35
4.60	40	0.589	173.01	293.61	8.65	14.68
4.80	46	0.587	198.24	337.65	9.91	16.88
5.00	55	0.585	222.57	380.44	11.13	19.02
5.20	61	0.583	246.00	421.95	12.30	21.10
5.40	64	0.581	257.23	442.70	12.86	22.13

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
1.4	4.43	41.37	Coesivo	0	1.84	0.0	0.13	1.504	6.66	Suolo limo argilloso
5.4	36.75	280.08	Incoerente	0	2.26	0.0	0.71	1.504	55.27	Ghiaia e ciottoli con matrice sabbiosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
[1] - Suolo limo argilloso	6.66	1.40		--

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato	Correlazione	Qc
-------------	------	--------------	--------------	----

		(m)		(Kg/cm ²)
[1] - Suolo limo argilloso	6.66	1.40		---

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
[1] - Suolo limo argilloso	6.66	1.40		---

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
[1] - Suolo limo argilloso	6.66	1.40		---

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Suolo limo argilloso	6.66	1.40		

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Suolo limo argilloso	6.66	1.40		--

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Suolo limo argilloso	6.66	1.40		--

Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Suolo limo argilloso	6.66	1.40		0

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[2] - Ghiaia e ciottoli con matrice sabbiosa	55.27	5.40	55.27		0

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[2] - Ghiaia e ciottoli con matrice sabbiosa	55.27	5.40	55.27		

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
[2] - Ghiaia e ciottoli con matrice sabbiosa	55.27	5.40	55.27		---

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[2] - Ghiaia e ciottoli con matrice sabbiosa	55.27	5.40	55.27		---

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[2] - Ghiaia e ciottoli con matrice sabbiosa	55.27	5.40	55.27		

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
[2] - Ghiaia e ciottoli con matrice sabbiosa	55.27	5.40	55.27		---

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
[2] - Ghiaia e ciottoli con matrice sabbiosa	55.27	5.40	55.27		---

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[2] - Ghiaia e ciottoli con matrice sabbiosa	55.27	5.40	55.27		0

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm ²)
[2] - Ghiaia e ciottoli con matrice sabbiosa	55.27	5.40	55.27		---

Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[2] - Ghiaia e ciottoli con matrice sabbiosa	55.27	5.40	55.27		0

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[2] - Ghiaia e ciottoli con matrice sabbiosa	55.27	5.40	55.27		---

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
-------------	------	------------------	----------------------------------	--------------	--------------------------

[2] - Ghiaia e ciottoli con matrice sabbiosa	55.27	5.40	55.27		---
--	-------	------	-------	--	-----

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)
Prova eseguita in data 06/11/2006
Profondità prova 5.80 mt
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.20	2	0.855	16.61	19.44	0.83	0.97
0.40	4	0.851	33.07	38.87	1.65	1.94
0.60	7	0.847	57.62	68.02	2.88	3.40
0.80	6	0.843	49.17	58.31	2.46	2.92
1.00	8	0.840	60.39	71.92	3.02	3.60
1.20	7	0.836	52.63	62.93	2.63	3.15
1.40	4	0.833	29.95	35.96	1.50	1.80
1.60	15	0.780	105.12	134.85	5.26	6.74
1.80	18	0.776	125.62	161.82	6.28	8.09
2.00	27	0.723	163.30	225.81	8.17	11.29
2.20	31	0.670	173.74	259.26	8.69	12.96
2.40	19	0.767	121.90	158.90	6.10	7.95
2.60	30	0.714	179.20	250.90	8.96	12.55
2.80	42	0.611	214.77	351.26	10.74	17.56
3.00	38	0.659	195.69	297.10	9.78	14.86
3.20	50	0.606	236.90	390.92	11.85	19.55
3.40	47	0.603	221.73	367.47	11.09	18.37
3.60	46	0.601	216.10	359.65	10.81	17.98
3.80	40	0.598	187.15	312.74	9.36	15.64
4.00	32	0.646	151.74	234.89	7.59	11.74
4.20	37	0.644	174.82	271.59	8.74	13.58
4.40	41	0.591	177.99	300.95	8.90	15.05
4.60	46	0.589	198.96	337.65	9.95	16.88
4.80	38	0.637	177.71	278.93	8.89	13.95
5.00	37	0.635	162.53	255.94	8.13	12.80
5.20	38	0.633	166.39	262.85	8.32	13.14
5.40	40	0.581	160.77	276.69	8.04	13.83
5.60	55	0.579	220.33	380.44	11.02	19.02
5.80	66	0.577	263.55	456.53	13.18	22.83

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
1.4	5.43	50.78	Coesivo	0	1.91	0.0	0.13	1.504	8.17	Suolo a componente limo-sabbiosa
5.8	37.86	287.6	Incoerent	0	2.27	0.0	0.77	1.504	56.94	Ghiaia e

			e						ciottoli in matrice sabbiosa
--	--	--	---	--	--	--	--	--	------------------------------------

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

TERRENI COESIV I

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
[1] - Suolo a componente limo-sabbiosa	8.17	1.40	Terzaghi-Peck	0.55

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Suolo a componente limo-sabbiosa	8.17	1.40	Robertson (1983)	16.34

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
[1] - Suolo a componente limo-sabbiosa	8.17	1.40	Stroud e Butler (1975)	37.48

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
[1] - Suolo a componente limo-sabbiosa	8.17	1.40	Apollonia	81.70

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Suolo a componente limo-sabbiosa	8.17	1.40	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Suolo a componente limo-sabbiosa	8.17	1.40	Meyerhof ed altri	1.91

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Suolo a componente limo-sabbiosa	8.17	1.40	Meyerhof ed altri	2.10

Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Suolo a	8.17	1.40	Ohta & Goto (1978)	91.84

componente limo-sabbiosa			Argille limose e argille di bassa plasticità	
--------------------------	--	--	--	--

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[2] - Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	56.94	5.80	56.94	Gibbs & Holtz 1957	68.85

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[2] - Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	56.94	5.80	56.94	Sowers (1961)	43.94

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
[2] - Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	56.94	5.80	56.94	Bowles (1982) Sabbia Media	359.70

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
[2] - Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	56.94	5.80	56.94	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	144.42

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[2] - Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	56.94	5.80	56.94	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[2] - Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	56.94	5.80	56.94	Meyerhof ed altri	2.27

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[2] - Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	56.94	5.80	56.94	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[2] - Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	56.94	5.80	56.94	(A.G.I.)	0.24

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm ²)
[2] - Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	56.94	5.80	56.94	Ohsaki (Sabbie pulite)	2904.06

Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[2] - Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	56.94	5.80	56.94	Ohta & Goto (1978) Limi	176.27

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[2] - Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	56.94	5.80	56.94	Navfac 1971-1982	9.30

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

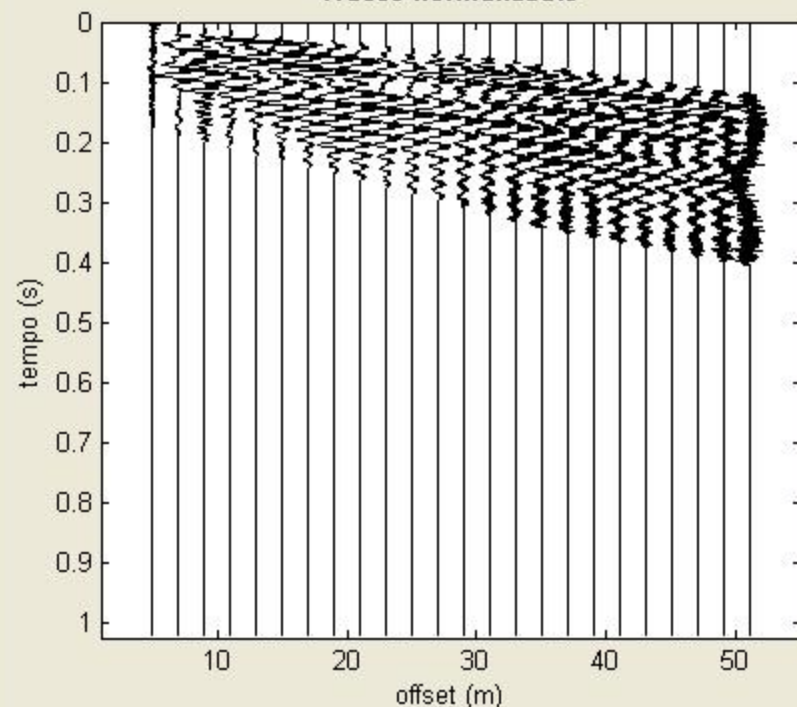
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[2] - Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	56.94	5.80	56.94	Robertson 1983	113.88

TAV B: ELABORAZIONE SISMICA (MASW)

Primo: trattamento dati

dataset: Somma-VEGG001-VEGG002-pulito.sgy
 offset minimo: 5 m
 distanza intergeofonica: 2 m
 campionamento: 0.25 ms

Tracce normalizzate



Utilità

ruota le tra...

movie

?

Selezione dati

Attiva

Selezio...

20

Annulla

Salva

Invia e-mail

www.eliosoft.it

winMASW

ver. 4.0 Standard

Secondo: determinazione spettro di velocità e picking

calcolo spettro di veloci...

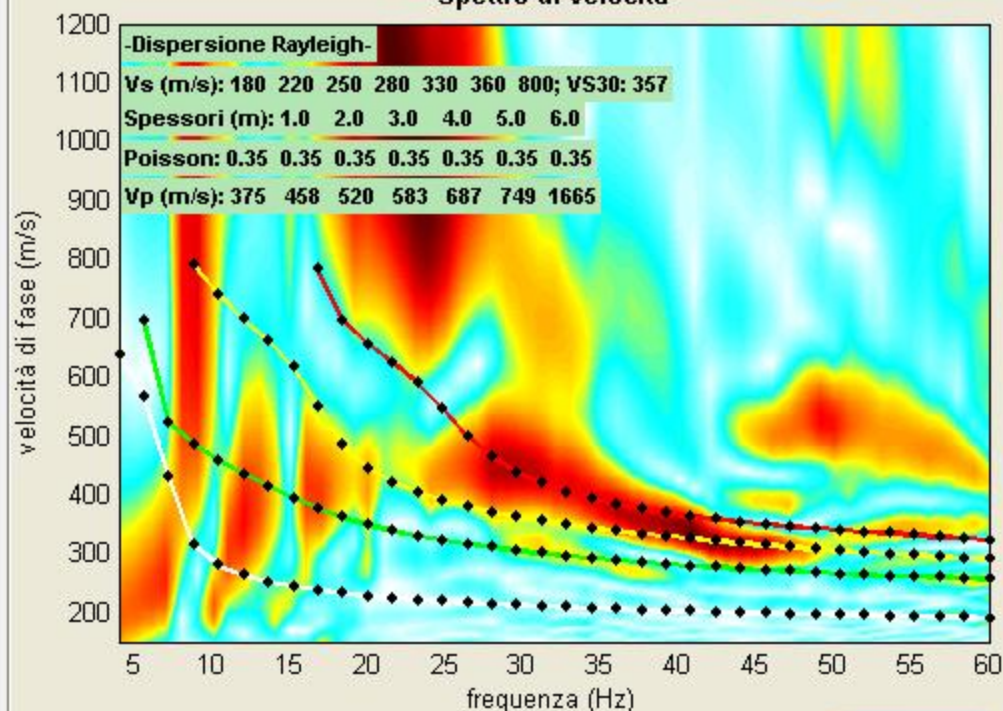
☐ Tau - v

visualizza curve

input curva

?

Spettro di velocità



Esplora spettro

modellazione diretta

parametri

salva mod...

carica mod...

3

?

refresh

picking

seleziona modo

?

selezionare l'ultimo punto del modo

salva picki...

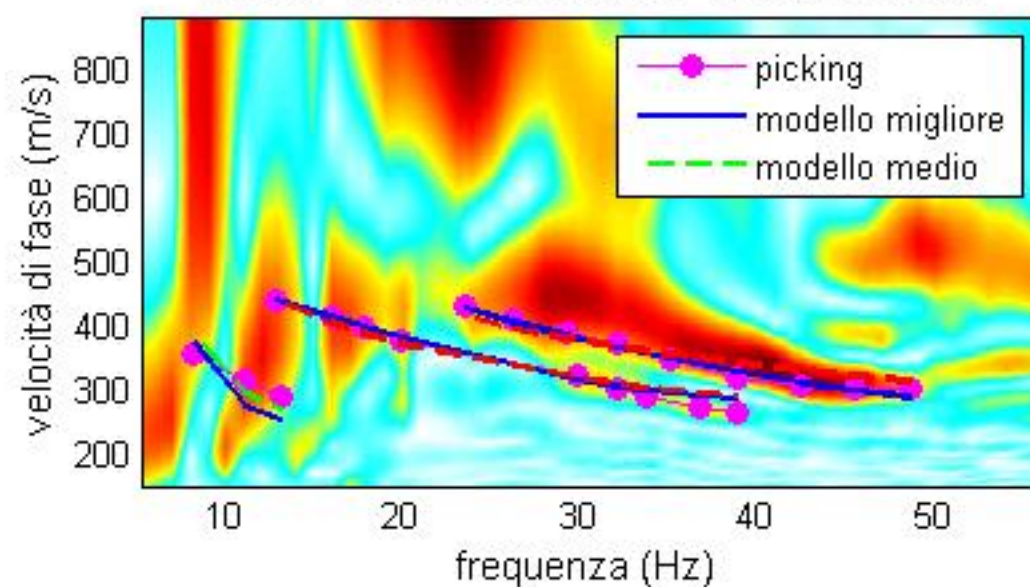
?

cancella picking

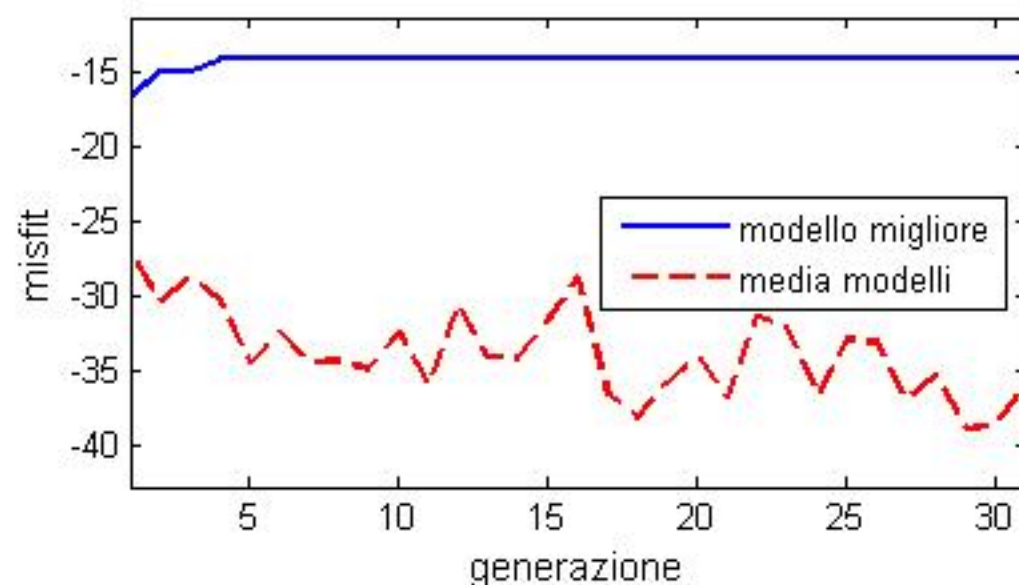
Inverti

Esci

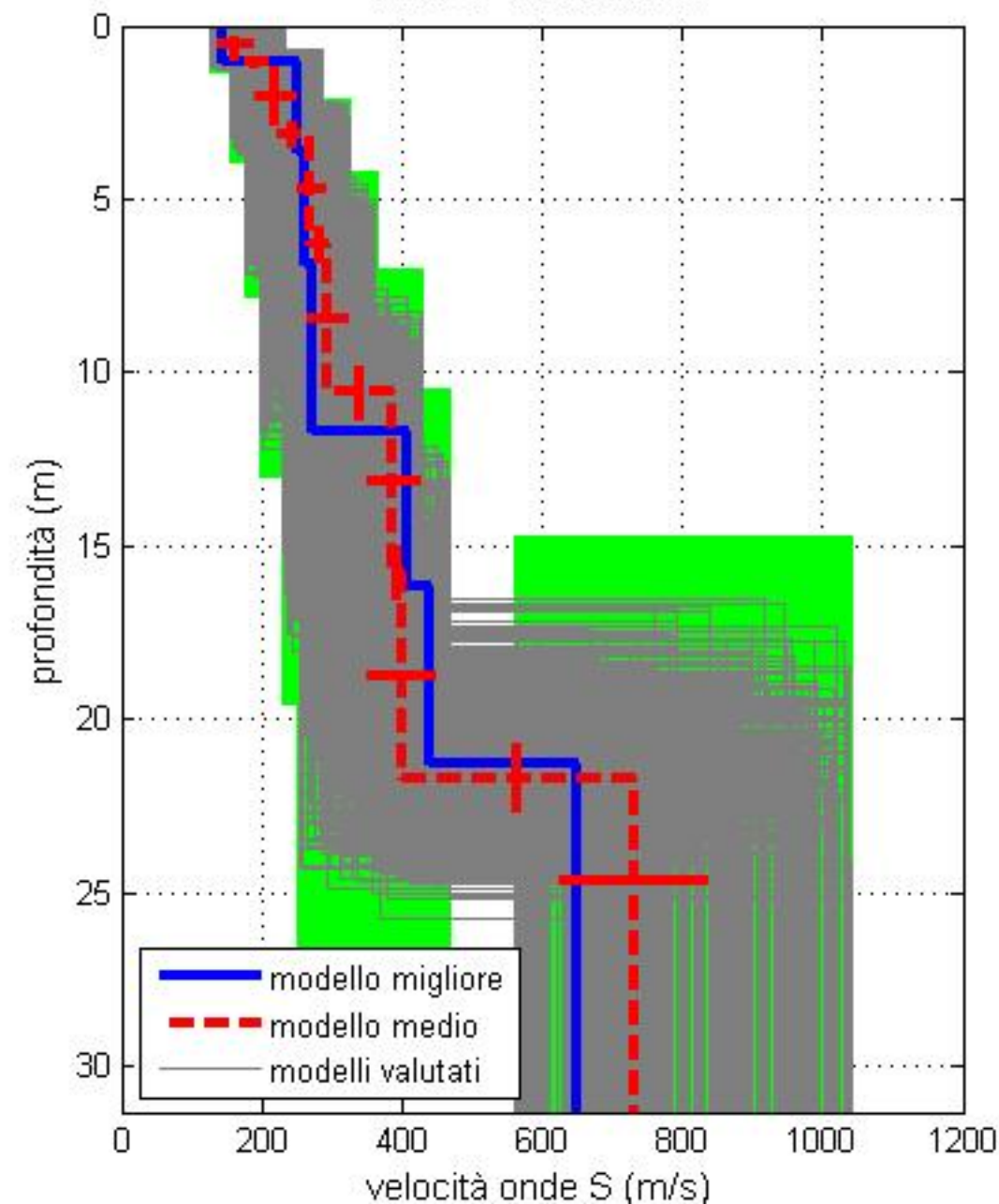
spettro di velocità e curve di dispersione



evoluzione misfit



Profilo verticale Vs



dataset: Somma-VEGG001-VEGG002-pulito.sgy
curva di dispersione: Picking.cdp
modello migliore VS30: 358 m/s
modello medio VS30: 366 m/s

162, 1.8, 1
219, 1.9, 2.1
270, 1.9, 3.2
293, 1.9, 4.2
387, 2, 5.2
399, 2, 5.9
730, 2.1, 8.3

<i>Vs</i>	<i>density</i>	<i>thickness</i>
(m/s)	(gr/cm ³)	(m)



Studio di Geologia e Geotecnica
Dott. Domenico Barani
Via Carso, 55 – 42021 Bibbiano (RE)
Tel. 0522/882377 – Fax 0522/1537713
E-mail: domenicobarani@geosism.it
PI: 00541060356 – Cod. Fisc.: BRN DNC 49D30 F4630

**Committenti: IMMOBILIARE IL MULINO s.r.l. – Isolato Due Maestà – Castelnuovo
Né Monti – Reggio Emilia**

FIORINI EMILIO – Via Chopin – Sassuolo – Modena

STUDIO GEOLOGICO – GEOTECNICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO



Oggetto: integrazione sismica per variante al piano
particolareggiato convenzionato (PUA) della ZT16-
Veggia-Fiorcarni.

Località: Via Mulino – Veggia di Casalgrande – Reggio Emilia

Ottobre 2013



INDICE

1. RELAZIONE SISMICA: DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO, DEL VALORE DI V_{S30}, DELL'INTERVALLO DI FREQUENZA DI RISONANZA, DEGLI EFFETTI LOCALI, DEL FATTORE DI SICUREZZA A LIQUEFAZIONE F_s E MICROZONAZIONE SISMICA.....	3
1.1 Brevi cenni sulla riclassificazione sismica.....	3
1.2 Classi d'uso	5
1.3 Stati Limite.....	7
1.4 Zona sismica.....	9
1.5 Categorie di sottosuolo.....	10
1.6 Indagini geofisiche eseguite nell'area oggetto di studio	11
1.7 Modalità di classificazione della Categoria di Sottosuolo del terreno oggetto di studio e del suo V_{S30} mediante metodologia MASW: descrizione del metodo utilizzato	11
1.8 Stima della Frequenza di Risonanza (f_r) del terreno oggetto di studio mediante l'utilizzo di TROMINO Zero: descrizione del metodo utilizzato	14
1.9 Elaborazione congiunta MASW – TROMINO Zero	18
1.10 Valutazione dell'Azione Sismica	20
1.11 Microzonazione Sismica e determinazione degli Effetti Locali secondo la Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale 2 maggio 2007, il DM 14 gennaio 2008, art. 3.2 e la Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617.	22
1.11.1 Effetti locali.....	22
1.11.2 Livelli di approfondimento	25
1.11.3 Valutazione del Fattore di Amplificazione di Intensità Spettrale (F_{Asi}) e del Fattore di Amplificazione in Termini del Rapporto di Accelerazione Massima Orizzontale (F_{PGA})	27
1.12 Liquefazione.....	30
1.12.1 Valutazione del fattore di resistenza a liquefazione (F_s)	32
1.12.2 Valutazione del fattore di resistenza a liquefazione (F_s) dell'area in esame.....	33
2. CONCLUSIONI.....	34
BIBLIOGRAFIA	36
ALLEGATI.....	40
TAV A: ELABORAZIONE SISMICA CONGIUNTA MASW-TROMINO: V_{S30} , f_r	40
TAV 2: III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO SISMICO: ELABORAZIONE NUMERICA MONODIMENSIONALE 1D.....	41

Studio geologico – geotecnico, idrogeologico e sismico

Oggetto: integrazione sismica per variante al piano particolareggiato convenzionato (PUA) della ZT16-Veggia-Fiorcarni.

1. RELAZIONE SISMICA: DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO, DEL VALORE DI V_{S30} , DELL'INTERVALLO DI FREQUENZA DI RISONANZA, DEGLI EFFETTI LOCALI, DEL FATTORE DI SICUREZZA A LIQUEFAZIONE F_s E MICROZONAZIONE SISMICA

1.1 Brevi cenni sulla riclassificazione sismica

Il territorio dell'Emilia - Romagna è interessato da una sismicità che può essere definita di intensità medio-bassa rispetto alla sismicità nazionale come è raffigurato nella carta delle zone sismiche Italiane (Cfr. Figura 1).

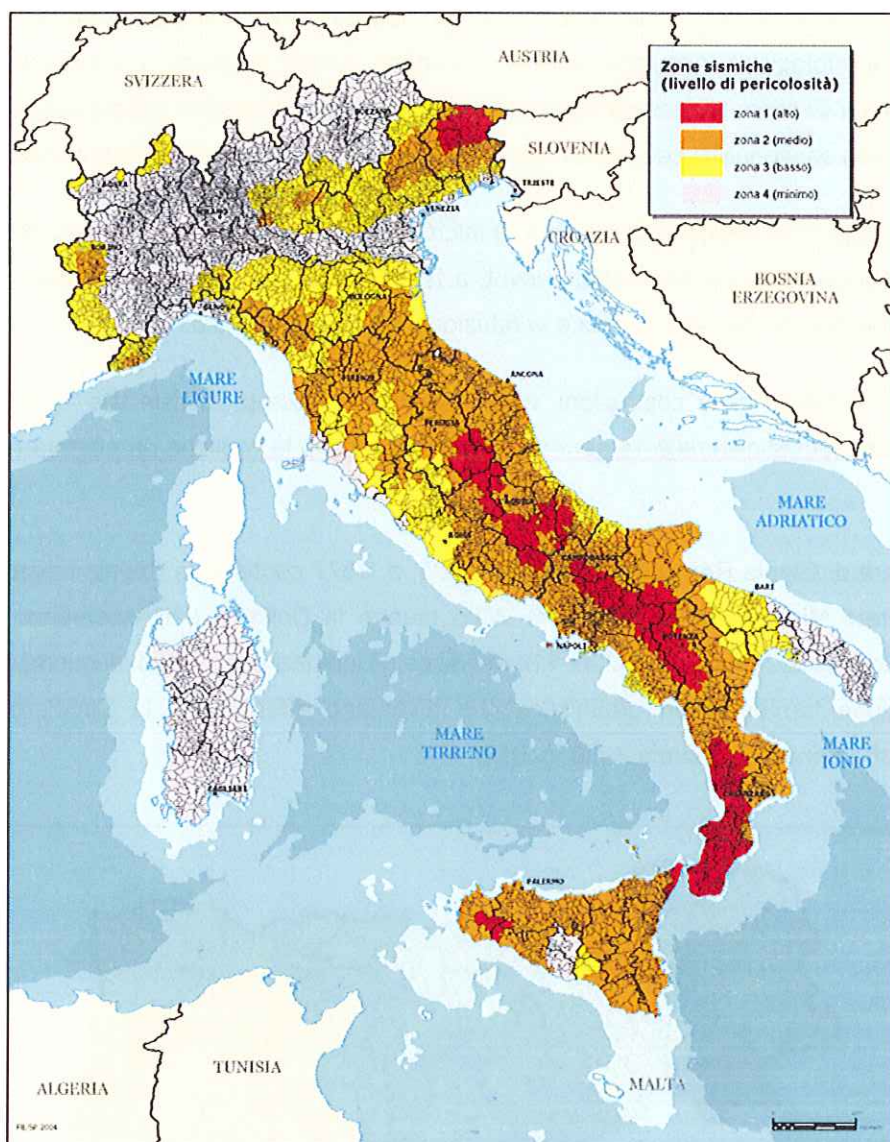


Figura 1 – Carta delle zone sismiche Italiane.

La recente riclassificazione sismica del territorio nazionale (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274, pubblicata nel Supplemento Ordinario n. 72 della Gazzetta Ufficiale 08 maggio 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"), ha modificato il quadro dell'Emilia-Romagna (cfr. Figura 2): da 89 comuni classificati di II categoria dalla precedente classificazione (gli altri 252 non erano classificati sismici) si è passati a 105 comuni in zona 2 ($0,15 < a_g/g < 0,25$), 214 in zona 3 ($0,05 < a_g/g < 0,15$) e i restanti 22 comuni in zona 4 ($a_g/g < 0,05$);

dove:

- a_g = accelerazione di picco orizzontale al suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni;
- g = accelerazione di gravità.

Gli effetti di un terremoto in superficie possono variare a seconda delle caratteristiche litologiche, idrogeologiche e morfologiche. Accumuli detritici, alluvionali, terreni di riporto, creste e cucuzzoli possono amplificare il segnale sismico; terreni granulari con falda superficiale possono essere soggetti a liquefazione o addensamento con conseguenti cedimenti; frane e detriti di versante possono essere rimobilizzati.

La definizione della pericolosità locale e la microzonazione sismica sono gli strumenti più idonei per la conoscenza e la prevenzione degli effetti dovuti a fattori locali; rappresentano quindi strumenti di base propedeutici e necessari per la prevenzione e la riduzione del rischio sismico.

Le norme tecniche delle costruzioni, approvate con il Decreto Ministeriale 14 settembre 2005 e modificate con il Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, definiscono le verifiche da effettuare al fine di ridurre il rischio sismico.

La Delibera di Giunta Regionale 24 ottobre 2005, n. 1677 contiene le "prime indicazioni applicative" in merito al Decreto Ministeriale 14 settembre 2005 mentre la Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna 2 maggio 2007, n. 112 definisce gli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica che diventano effettivi con la Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617.

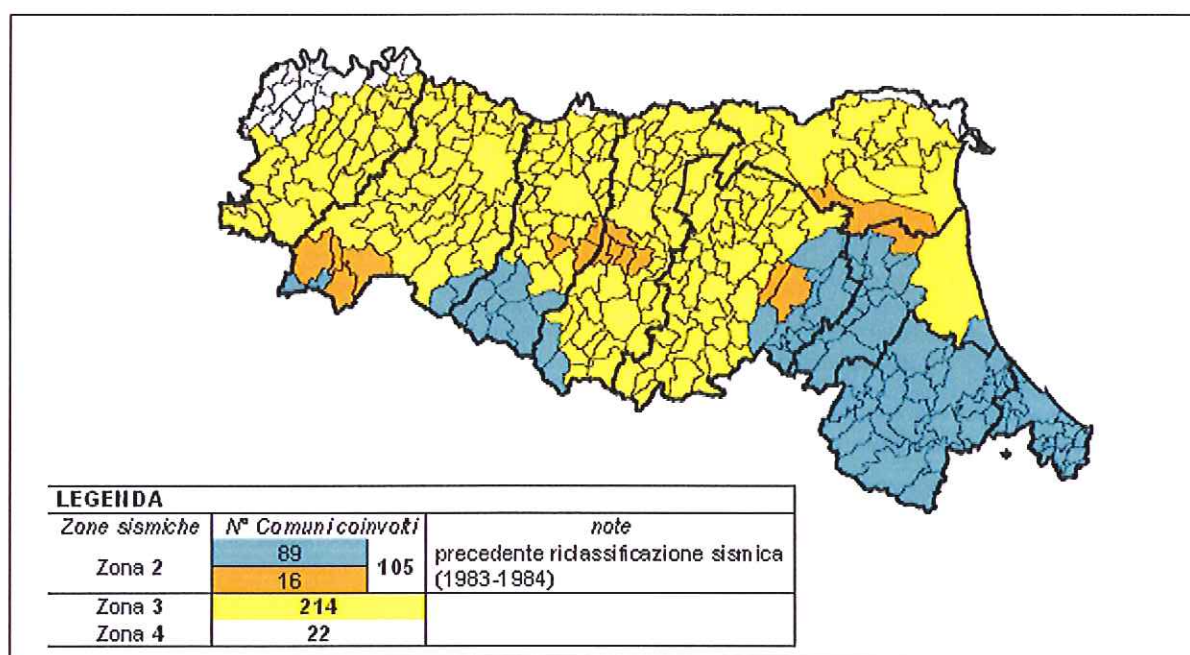


Figura 2 – Riclassificazione sismica della Regione Emilia Romagna (OPCM 20 marzo 2003, n. 3274).

1.2 Classi d'uso

L'azione sismica sulle costruzioni è generata dal moto non uniforme del terreno di sedime provocandone la risposta dinamica, che va verificata e controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese. L'azione può essere descritta mediante accelerogrammi o mediante spettri di risposta.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in quattro *classi d'uso* (corrispondenti alle Classi di Importanza di EC8) e a ciascuna di esse è attribuito un *coefficiente d'uso* (C_u) nel modo seguente:

- **Classe I:** costruzioni con presenza solo occasionale di persone – Coefficiente d'uso = 0,7;
- **Classe II:** costruzioni il cui uso prevede normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. Ambienti ad uso residenziale – Coefficiente d'uso = 1,0;
- **Classe III:** costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso – Coefficiente d'uso = 1,5;
- **Classe IV:** costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al Decreto Ministeriale 5 novembre 2001, n. 6792, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica – Coefficiente d'uso = 2,0.

Sulla base dei tabulati sopra riportati, e delle informazioni ottenute dal progettista, all'edificio oggetto di studio è stata attribuita la seguente *classe d'uso* con il relativo *coefficiente d'uso* (C_u):

Classe d'uso	Coefficiente d'uso (C_u)
II	1,0

Tabella 1 – Classe d'uso e relativo coefficiente d'uso (C_u) per l'edificio oggetto di studio.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un *periodo di riferimento* (V_R) che si ricava per ciascun tipo di costruzione utilizzando la seguente espressione:

$$V_R = V_N C_U \quad (1)$$

dove:

- V_N = vita nominale;
- C_U = coefficiente d'uso.

Sulla base dei valori riportati in Tabella 1, per l'edificio oggetto di studio è stato calcolato il seguente periodo di riferimento (V_R) (considerando che per valori di $V_R < 35$ anni, si pone comunque $V_R = 35$ anni):

Periodo di riferimento (V_R)
≥ 50 anni

Tabella 2 – Periodo di riferimento (V_R) per l'edificio oggetto di studio.

1.3 Stati Limite

Ai fini dell'applicazione delle norme sismiche, il territorio nazionale viene suddiviso in zone sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di:

- accelerazione orizzontale massima (a_g) in condizioni di campo libero su sito di riferimento (categoria A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1);
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente ($Se(T)$), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza (P_{VR}) nel periodo di riferimento (V_R).

dove:

- periodo di riferimento (V_R): lasso di tempo all'interno del quale in un detto sito si verificherà un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato;
- probabilità di eccedenza (P_{VR}): probabilità che si verifichi l'evento precedentemente descritto.

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I valori di a_g , F_0 e T_C^* dell'area oggetto di studio con le relative coordinate (latitudine e longitudine), sono riportati in Tavola E tra gli Allegati.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia ultimo che di esercizio, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti. Gli stati limite dinamici sono:

- **Stati Limite di Esercizio (SLE):** dinamici:
 - Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
 - Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile, pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.
- **Stati Limite Ultimi (SLU):** dinamici:
 - Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali, la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
 - Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali, la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

Le probabilità di superamento dei sopracitati stati limite, sono riportate nella seguente tabella:

Stati limite		Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R (P_{VR})
Stato Limite di Esercizio (SLE)	SLO	81%
	SLD	63%
Stato Limite Ultimo (SLU)	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 3 – Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R (P_{VR}) degli Stati Limite (da: Tabella 3.2.I NTC 2008).

Per ciascuno stato limite e relativa *probabilità di eccedenza* (P_{VR}) nel *periodo di riferimento* (V_R) il *periodo di ritorno* (T_R) del sisma è dato da:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U V_N / \ln(1 - P_{VR}) \quad (2)$$

In sintesi:

Stati limite		Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R (P_{VR})
Stato Limite di Esercizio (SLE)	SLO	$30anni \leq T_R = 0,60V_R$
	SLD	$T_R = V_R$
Stato Limite Ultimo (SLU)	SLV	$T_R = 9,50V_R$
	SLC	$T_R = 19,50V_R \leq 2475anni$

Tabella 4 – Valori del *periodo di ritorno* (T_R) espressi in funzione del *periodo di riferimento* (V_R).

1.4 Zona sismica

Si ritiene opportuno riportare una tabella riassuntiva che esplica i valori di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare come valore generale di riferimento in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale; si ricorda tuttavia che i valori di a_g , F_0 e TC^* dell'area oggetto di studio sono riportati nei programmi utilizzati per l'elaborazione numerica monodimensionale 1D.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale massima scaricata sul suolo (a_g)
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

Tabella 5 – Valore dell'*accelerazione orizzontale massima scaricata sul suolo* (a_g) in funzione della *zona sismica*.

Sulla base dei valori riportati in Tabella 5, l'area oggetto di studio rientra nella seguente *zona sismica* con relativa *accelerazione orizzontale massima scaricata sul suolo* (a_g):

Zona sismica	Accelerazione orizzontale massima scaricata sul suolo (a_g)
2	0,25 g

Tabella 6 – *Accelerazione orizzontale massima scaricata sul suolo* (a_g) per l'area oggetto di studio.

1.5 Categorie di sottosuolo

Per definire l'azione sismica di progetto, si valuta l'effetto della *risposta sismica locale (RSL)* mediante specifiche analisi, dove:

- **Risposta Sismica Locale (RSL):** è l'azione sismica quale emerge in superficie a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, subite trasmettendosi dal substrato rigido.

Per poter definire la categoria di suolo è necessario disporre di apposite indagini mirate all'individuazione della velocità delle onde S nei primi 30 metri di terreno al di sotto del piano di posa delle fondazioni (V_{s30}).

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

- A - **Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi**, caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m;
- B - **Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti**, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $C_u > 250$ kPa);
- C - **Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza**, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < C_u < 250$ kPa);
- D - **Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti**, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{SPT} < 15$, $C_u < 70$ kPa);
- E - **Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali**, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore non superiori a 20 metri, posti sul substrato di riferimento con $V_{s30} > 800$ m/s.

In aggiunta a queste categorie, per le quali vengono definite le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 - Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 metri di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s ($10 < C_u < 20$ kPa);

S2 - Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle definizioni precedenti V_{s30} è la *velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio* e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \quad (3)$$

dove:

- h_i = spessore (m);
- V_i = velocità delle onde di taglio (m/s) per deformazioni di taglio $\lambda < 10^{-6}$ dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

1.6 Indagini geofisiche eseguite nell'area oggetto di studio

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

- **n°1 stendimento sismico attivo (MASW)** (Multichannel Analysis of Surface Waves) (Park et alii, 1999) al fine di valutare la risposta del terreno all'azione sismica, mediante la valutazione della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri sotto il piano di posa delle fondazioni (V_{S30}) (cfr. Capitolo 1.9 & Tavola A tra gli Allegati);
- **n°1 analisi del microtremore passiva con TROMINO** al fine di valutare l'intervallo all'interno del quale risuona il terreno fornendo un intervallo di frequenza di risonanza (fr) (cfr. Capitolo 1.9 & Tavola A tra gli Allegati).

Tali tecniche abbinate permettono di ricostruire un profilo stratigrafico completo; il tipo di stratigrafia si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

1.7 Modalità di classificazione della Categoria di Sottosuolo del terreno oggetto di studio e del suo V_{S30} mediante metodologia MASW: descrizione del metodo utilizzato

Il metodo geofisico utilizzato in questa sede per la caratterizzazione della categoria di sottosuolo in base al valore delle V_s è la sismica a rifrazione attiva elaborata mediante metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves): essa permette di modellizzare il sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh (Park et alii, 1999).

Il metodo consente di stimare la velocità delle onde di taglio (V_s) dei terreni a partire dalla velocità delle onde di superficie (Rayleigh nel caso del presente studio). La velocità delle onde di taglio è legata alla rigidità μ dei terreni tramite la formula:

$$\mu = \rho V_s^2 \quad (4)$$

dove:

- ρ = densità;

Poichè la densità dei suoli varia relativamente poco con la profondità (almeno nelle prime decine di metri), dalla formula si evince che i valori di V_s sono i primi indicatori della rigidità di un terreno.

Le onde Rayleigh sono onde di superficie e sono generate dall'interazione tra onde di pressione (P) e le onde di taglio verticali (S_v) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. In presenza di un semispazio omogeneo la loro velocità non presenta dipendenza dalla frequenza (no dispersione). Alla superficie libera hanno moto ellittico retrogrado che si inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$.

L'ampiezza dello spostamento decresce con legge esponenziale. Per questo diviene rapidamente trascurabile con la profondità. La propagazione di queste onde non è influenzata dalle caratteristiche del mezzo al di sotto di una profondità pari a λ . Esse possono essere viste come la sovrapposizione di due componenti separate: una longitudinale e l'altra trasversale, che si propagano lungo la superficie con la stessa velocità ma con differente attenuazione con la profondità.

Il vantaggio di utilizzare il metodo MASW sta nel fatto che non è limitato dalla presenza di inversioni di velocità in profondità; ha una buona risoluzione e poi perché la propagazione delle onde Rayleigh è funzione soprattutto delle V_s (parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito). Esso è particolarmente indicato per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.

La dispersione è la deformazione di un treno d'onda dovuta ad una variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per la onde Rayleigh questa deformazione non si manifesta all'interno di un semispazio omogeneo ed isotropo ma solo quando questi presenta una stratificazione. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda λ (quindi frequenza) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di circa $\lambda/2$. Tale velocità delle onde di Rayleigh (V_r) è pari a circa il 90% delle onde di taglio V_s .

L'indagine sismica è finalizzata alla determinazione delle velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) nei terreni attraversati mediante la valutazione della V_{s30} come richiesto dall'OPCM 20 marzo 2003, n. 3274, dal DM 14 settembre 2005, dal DM 14 gennaio 2008 e dalla Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617.

Si ricorda che la nuova normativa definisce l'azione sismica di progetto, sulla base della zona sismica assegnata al comune di appartenenza e la categoria sismica del suolo dell'area di intervento, ricavata dalle indagini sismiche dirette.

All'interno del territorio nazionale fino ad oggi sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (cfr.

OPCM 20 marzo 2003, n. 3274, allegato 1). La classificazione del suolo (come precedentemente indicato) è invece convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità al di sotto delle fondazioni.

Lo strumento impiegato è un sismografo PASI modello 16SG12 (strumento certificato) a 24 canali con energizzatore che può essere: a esplosione, tipo minibang o massa battente (martello) che è quella impiegata nel caso in studio (Cfr. Figura 3).



Figura 3 – Esecuzione di una prova sismica a rifrazione con elaborazione MASW mediante sismografo PASI a 24 canali.

In corrispondenza del sito indagato è stato effettuato uno stendimento di 46 m energizzando mediante massa battente a 5 metri dall'origine dello stesso (offset), utilizzando 24 geofoni a componente verticale con distanza pari a 2 m (si tratta di geofoni da 4,5 Hz, particolarmente sensibili alle basse frequenze) ed 1 geofono starter (trigger) da 10 Hz posto a fianco dell'energizzazione.

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

La registrazione è avvenuta impostando i seguenti parametri strumentali e geometria di acquisizione:

Parametri strumentali e geometria di acquisizione MASW	Valori
Lunghezza stendimento	46 m
Offset energizzazione	5 m
N° geofoni	24
Distanza intergeofonica	2 m
Sensibilità geofoni	4,5 Hz
Sensibilità geofono starter (trigger)	10 Hz
Durata	1024 ms
Campionamento	250 μ s

Tabella 7 – Parametri strumentali e geometria di acquisizione della prova sismica con elaborazione MASW.

1.8 Stima della Frequenza di Risonanza (fr) del terreno oggetto di studio mediante l'utilizzo di TROMINO Zero: descrizione del metodo utilizzato

Lo strumento geofisico utilizzato in questa sede per la registrazione del microtremore ambientale ai fini della individuazione degli intervalli di frequenza di risonanza (fr) del terreno, tramite opportuna modellazione vincolata, è il TROMINO Zero Micromed (strumento certificato) (Cfr. Figura 4); esso permette di ricostruire una stratigrafia sismica.

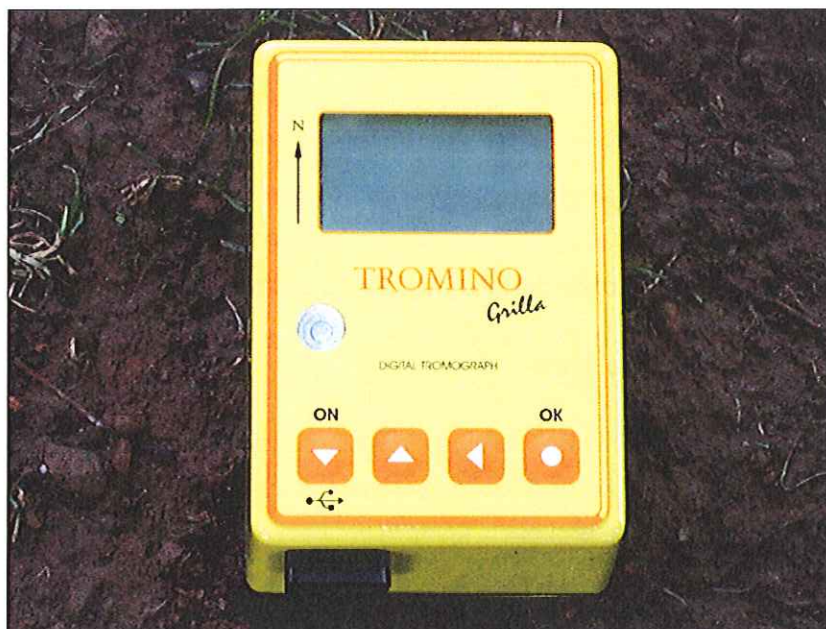


Figura 4 – Esecuzione di una registrazione del microtremore ambientale mediante TROMINO Zero.

L'attuale normativa antisismica italiana ricalca l'EC8, il quale a sua volta ha recepito in toto la normativa californiana basata sui dati ricavati da Earthquake Spectra (1994).

Questa duplice traduzione ha purtroppo portato a travisare lo spirito originale, che era quello di fornire una base quantitativa a basso costo, seppure molto approssimata, per la classificazione dei suoli in termini di effetti di sito. In realtà il parametro chiave rappresentato dalla velocità media delle onde S, presenta una modesta correlazione con gli effetti di sito.

E' stato quindi proposto un metodo basato sulle misure a stazione singola del tremore sismico. Queste ultime, attraverso i rapporti spettrali, portano infatti alla misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, parametro la cui correlazione con gli effetti di sito è ben più significativa di quella del V_{s30} .

Le misure di microtremore opportunamente invertite, permettono anche di stimare in maniera rapida il valore del V_{s30} in particolare mediante l'elaborazione congiunta di MASW e TROMINO.

La prova sismica passiva a stazione singola mette in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica. La prova, comunemente nota con il termine H/V (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali (H), e verticale (V)) fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989). In un sistema costituito da uno strato tenero (es: coperture) sovrastante un semispazio rigido (es: bedrock) (Cfr. Figura 5), un'onda tenderà a rimanere intrappolata nello strato tenero per riflessioni multiple (alla superficie libera, nuovamente al bedrock e così via) e darà luogo a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti $\lambda = n \cdot 4 H$. Le frequenze a cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla legge:

$$f_r = n \frac{V_s}{4H} \quad n = 1, 3, 5, \dots \quad (5)$$

dove:

- n = ordine del modo di vibrare;
- V_s = velocità delle onde di taglio dello strato che risuona;
- H = spessore dello strato.

Nel caso, più comune, in cui il sistema studiato sia a più strati, occorre determinare il valore di V_s tramite una media pesata delle velocità delle onde di taglio che caratterizzano gli strati presenti al di sotto della fondazione dell'edificio per tutto la profondità investigata; più precisamente:

$$\overline{V_s} = \sum_{i=1}^n \frac{V_{si} \cdot H_i}{H} \quad (6)$$

dove:

- H_i = spessore dello strato i-esimo;

- V_s = velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo;
- H = spessore totale del deposito investigato.

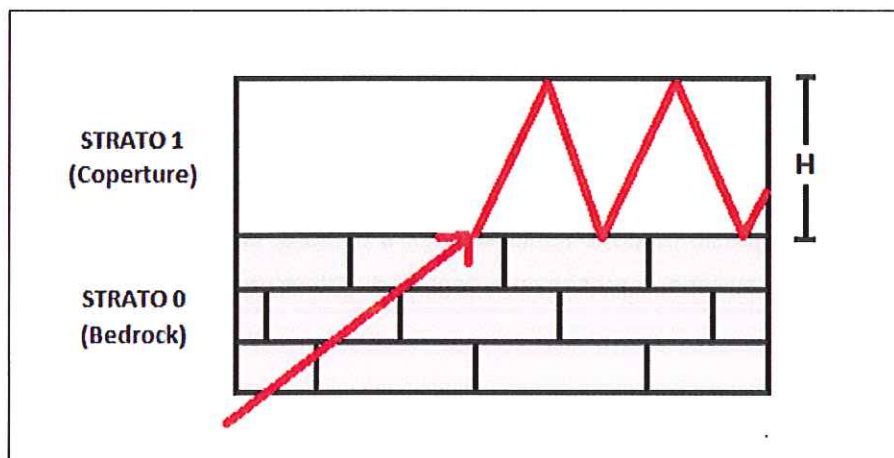


Figura 5 – Intrappolamento per trasmissione e successive riflessioni di un'onda sismica in uno strato di coperture di spessore H sovrastanti un bedrock rigido (Castellaro S. & Mulargia F., 2009).

Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (per l'appunto di risonanza) non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque ed in modo semplice, anche in assenza di terremoti. L'equazione 5 permette di comprendere come la tecnica H/V possa fornire anche indicazioni di carattere stratigrafico: a partire da una misura di microtremore che fornisce la frequenza di risonanza (f_r), nota la V_s delle coperture, si può infatti stimare la profondità dei riflettori sismici principali o viceversa.

Le serie temporali registrate nelle tre componenti del moto vengono analizzate secondo procedure spettrali di vario tipo (FFT, wavelet, ecc.) fino alla produzione delle curve H/V , dove H è la media di due componenti spettrali orizzontali ortogonali.

Nel 2005 il progetto SESAME stabilì una serie di criteri per la valutazione della significatività statistica dei picchi H/V . La prima parte di questi criteri, individuata la frequenza del picco di risonanza, verifica se la registrazione è stata effettuata per un periodo statisticamente significativo e se l'analisi è stata base della statistica. La seconda parte di questi analizza la geometria del picco e dice semplicemente se il picco ha una forma ben definita. Questa parte dei test SESAME va interpretata con cognizione di causa perché solo un contatto netto tra litotipi diversi dal punto di vista meccanico genera picchi netti. Al contrario, le transizioni graduali (es: roccia fratturata su roccia sana, passaggi da limo-argilloso a sabbia-limoso, alternanze di lave con vario grado di alterazione ecc.) generano più spesso amplificazioni in una banda larga di frequenze. In questo caso eventuali non superamenti dei criteri SESAME non significano che non ci siano risonanze importanti ma solo che non ci sono picchi singoli ben definiti.

Prima di qualsiasi interpretazione delle curve H/V sono indispensabili tre accorgimenti:

- la curva H/V deve essere statisticamente significativa, ossia essere caratterizzata da una deviazione in ampiezza e in frequenza ridotta. Quando questa caratteristica non sia presente sin dall'inizio, essa va ricercata tramite una pulizia del tracciato. Esistono diversi metodi per "pulire" una curva H/V. SESAME (2005) propone la rimozione nella serie temporale di quelle finestre caratterizzate da una deviazione del segnale (STA, media a breve termine) maggiore della media a lungo termine (LTA). Tuttavia le procedure che propongono la rimozione dei disturbi sulla base della serie temporale non appaiono le più indicate quando l'obiettivo è pulire una curva che è funzione della frequenza. La pulizia deve infatti essere rivolta alla ricerca di un rapporto H/V stabile e quindi alla rimozione delle sole finestre in cui questo rapporto risulti alterato, a parità di frequenza, tra i canali H e i canali V. Questo tipicamente avviene in presenza di segnali di natura impulsiva, che presentano cioè spettri bianchi;
- le curve H/V non vanno mai osservate da sole ma sempre congiuntamente agli spettri delle singole componenti da cui derivano. Questo permette di discernere agevolmente i picchi di natura stratigrafica da quelli di natura antropica. In condizioni normali le componenti spettrali NS, EW e Z (verticale) hanno ampiezze simili. Alla frequenza di risonanza si genera un picco H/V legato ad un minimo locale della componente spettrale verticale che determina una forma "a occhio" o "a ogiva" (la componente verticale di colore magenta scende al di sotto delle altre due componenti). Questa forma è indicativa di risonanze stratigrafiche. E' evidente però che in una misura di tremore entrano anche vibrazioni monofrequenziali (artefatti) indotte da macchinari o simili. Queste si traducono in picchi stretti (delta) ben definiti su tutte e tre le componenti spettrali e quando l'ampiezza sulle tre componenti non è simile, danno luogo a picchi o gole artefattuali nelle curve H/V;
- valutare con attenzione le inversione di velocità. Per inversioni di velocità si intende la presenza di uno strato meno rigido sottostante uno strato più rigido. Questa caratteristica non è il normale trend in natura (dove ci si aspetta un aumento di rigidità scendendo verso il basso, per l'incremento dello stato tensionale geostatico) ma è una condizione relativamente frequente in presenza di alternanze litologiche quali ghiaie sopra argille, in presenza di cavità (la cavità è l'esempio estremo di inversione di velocità) e anche in presenza di suoli artificiali rigidi (pavimentazioni, lastricati ecc.) sovrastanti suoli naturali teneri. Una inversione di velocità interessa pesantemente le componenti spettrali orizzontali del microtremore mentre lascia la componente verticale quasi inalterata. Ne consegue che in presenza di una inversione di velocità il rapporto H/V si colloca su ampiezze inferiori ad 1 per larghi intervalli di frequenze. Questo può impedire l'individuazione di risonanze esistenti. In questi contesti i picchi di risonanza vanno individuati osservando gli spettri delle singole componenti del moto e non rispetteranno i requisiti SESAME (2005) (Castellaro S. & Mulargia F., 2009).

Se la frequenza di risonanza del suolo coincide con quella degli edifici, si produce un'amplificazione molto grande delle onde sismiche e vengono indotte sollecitazioni con forte potere distruttivo (*fenomeno della doppia risonanza*). Pertanto per prevedere e prevenire questa coincidenza di risonanza è sufficiente misurare la frequenza propria di risonanza del sito, quella di ciascun edificio e confrontarle.

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura ad essere particolarmente pericolosa perché può dar luogo alla massima amplificazione.

La registrazione è avvenuta impostando i seguenti parametri strumentali:

Parametri strumentali Tromino	Valori
Frequenza di campionamento	128 Hz
Durata	14 min
Orientamento strumento	nord-sud

Tabella 8 – Parametri strumentali dell'acquisizione dei microtrempi con Tromino.

1.9 Elaborazione congiunta MASW – TROMINO Zero

Eseguendo una elaborazione congiunta dei dati acquisiti dalla sismica a rifrazione con metodologia MASW e dei dati acquisiti con TROMINO Zero mediante il software di calcolo Grilla sono stati ottenuti i seguenti valori di V_{s30} e di f_r (cfr. Tavola A tra gli Allegati):

Velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri sotto il piano di posa delle fondazioni
(V_{s30})
(m/sec)
382 ± 58

Tabella 9 – Velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri sotto il piano di posa delle fondazioni (V_{s30}), per l'area oggetto di studio.

Nella misura del V_{s30} effettuata mediante lo studio della velocità di fase delle onde di Rayleigh è stato analizzato l'57% del tracciato H/V (la rimanente parte è stata eliminata perché soggetta a rumore strumentale ed ambientale) ed il 100% della curva di dispersione (come indicato nello spettro "Theoretical Rayleigh wave phase velocity dispersion curve" proposto in Tavola A tra gli Allegati). Il modello della curva sintetica proposto permette di ottenere un $V_{s30} = 374 \pm 56$ m/s (incertezza 1σ dell'ordine del 15%) (Mulargia F. & Castellaro S., 2009), calcolata a partire da -2,8 m da p.c. (quota alla quale corrisponde il piano di posa delle fondazioni) fino a -32,8 m da p.c.

Il valore di velocità ottenuto e l'osservazione del dato stratigrafico, hanno permesso di classificare il sottosuolo nella **categoria B**, ovvero costituito da Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $C_u > 250$ kPa) (cfr. Capitolo 1.4).

Intervallo di frequenza di risonanza del terreno (fr) (Hz)
Da 10,9 a 17,1

Tabella 10 – Frequenza di risonanza del terreno (*fr*), per l'area oggetto di studio.

Nella misura H/V in oggetto è stato analizzato l'57% del tracciato mediante un lisciamento del 10% di tipo "Triangular window"; la rimanente parte è stata eliminata perché soggetta a rumore strumentale ed ambientale (Cfr. Tavola D tra gli Allegati). Tale analisi ha rilevato il picco fondamentale H/V a $12,19 \pm 0,05$ Hz (nell'intervallo tra 0,0 e 64,0 Hz).

La determinazione della misura dell'intervallo di frequenza di risonanza da 10,9 a 17,1 Hz è stata effettuata utilizzando una cautela del 10% a sinistra del picco fondamentale ed una cautela del 40% a destra del medesimo.

I criteri per una curva H/V affidabile ed i criteri per un picco H/V chiaro (criteri SESAME) sono indicati con i relativi errori nell'ultima tabella degli elaborati presente in Tavola A tra gli Allegati.

I valori del coefficiente di Poisson utilizzati per la stima di V_{s30} e di *fr* sono quelli proposti in letteratura; tale coefficiente aumenta il suo valore all'aumentare della percentuale di fluidi contenuti all'interno dei substrati (Gasparini P. & Mantovani M.S.M., 1981).

La stratigrafia sismica proposta per il suolo oggetto di studio, è costituita da 7 strati:

- da p.c. a -3,20 m: si tratta di coperture superficiali con V_s di circa 148 m/s;
- da -3,20 a -43,20 m: strato di 40,00 m di spessore con V_s di circa 390 m/s identificato nello spettro delle singole componenti dalla tipica forma a lente compresa tra 6,4 e 20,0 Hz. Come è possibile notare, in questo caso non si delinea un netto contrasto di impedenza tra il seguente strato e quello precedente; pertanto tale caratteristica difficilmente potrebbe produrre, nel caso si verifici un sisma, amplificazioni che potrebbero creare problemi di stabilità all'edificio;
- da -43,20 a -93,20 m: strato di 50,00 m di spessore con V_s di circa 350 m/s; si tratta di una tipica inversione di velocità; identificata nello spettro delle singole componenti tra 1,00 e 5,80 Hz dove la componente verticale (linea rossa) sale al di sopra delle due componenti orizzontali (linee blu e verde);;
- da -93,20 a inf.: si tratta del semispazio sismico con V_s di circa 630 m/s.

Nel caso in oggetto è stata eseguita una modellazione fino al picco presente a 0,70 Hz della curva sperimentale vs. sintetica. Tale picco probabilmente non rappresenta la reale profondità del bedrock¹

¹ BEDROCK: per bedrock si intende lo strato sotto il quale non c'è amplificazione (o se c'è è modesta); coincide con il minimo della componente spettrale verticale (quando la componente spettrale verticale scende al di sotto

sismico, in quanto nel grafico sperimentale vs. sintetico, esiste la possibilità che sia presente un ulteriore picco ad una frequenza minori (?), quindi a profondità maggiore, che non è stato possibile modellare in quanto nel grafico delle singole componenti non se ne ha una evidenza netta. Infatti tra gli 0,4 e hli 0,9 Hz la componente spettrale verticale (linea rossa) è parallela ad una delle due componenti orizzontali (linea verde) non riuscendo a formare la tipica forma a lente che è il chiaro segnale della presenza di un ulteriore picco. Sulla base di quanto esposto, non è possibile identificare con precisione la profondità del bedrock sismico.

Sulla base dei risultati riportati in Tabella 9 e Tabella 10 e di quanto esposto nei precedenti paragrafi, è importante precisare che l'edificio che sorgerà nell'area oggetto di studio non deve possedere una frequenza di risonanza compresa all'interno dell'intervallo di vibrazione del terreno.

1.10 Valutazione dell'Azione Sismica

La *curva dello spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali* ($S_e(T)$), riportata in Tavola B tra gli Allegati, viene suddivisa per intervalli ognuno dei quali risponde alle seguenti funzioni:

$$S_e(T) = a_g S \eta F_o \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad 0 \leq T < T_B \quad (7)$$

$$S_e(T) = a_g S \eta F_o \quad T_B \leq T < T_C \quad (8)$$

$$S_e(T) = a_g S \eta F_o \left(\frac{T_C}{T} \right) \quad T_C \leq T < T_D \quad (9)$$

$$S_e(T) = a_g S \eta F_o \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \quad T_D \leq T \quad (10)$$

dove:

- S_e = accelerazione spettrale orizzontale;
- T = periodo di vibrazione;
- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;

delle due componenti orizzontali formando la tipica forma a lente, si tratta della curva di colore rosso negli elaborati) individuabile nello spettro delle singole componenti (Cfr. Tavola 2 tra gli Allegati); essa di solito coincide con il picco H/V alla frequenza più bassa.

- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_B = periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante, mediante la relazione:

$$T_B = T_C / 3 \quad (11)$$

- T_C = periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante, mediante la relazione:

$$T_C = C_C T_C^* \quad (12)$$

dove:

- T_C^* = tratto spettrale a periodo costante per un periodo di ritorno determinato;
- C_C = coefficiente funzione della categoria di sottosuolo
- T_D = periodo dell'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \frac{a_g}{g} + 1,6 \quad (13)$$

- η = fattore che altera lo spettro elastico, mediante la relazione:

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \zeta)^3} \geq 0,55 \quad (14)$$

- S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, mediante la relazione:

$$S = S_S S_T \quad (15)$$

dove:

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica;
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica.

La **curva dello spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali ($S_{ve}(T)$)**, riportata in Tavola B tra gli Allegati, viene suddivisa per intervalli ognuno dei quali risponde alle seguenti funzioni:

$$S_{Ve}(T) = a_g S \eta F_o \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta F_V} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad 0 \leq T < T_B \quad (16)$$

$$S_{Ve}(T) = a_g S \eta F_V \quad T_B \leq T < T_C \quad (17)$$

$$S_{Ve}(T) = a_g S \eta F_V \left(\frac{T_C}{T} \right) \quad T_C \leq T < T_D \quad (18)$$

$$S_{Ve}(T) = a_g S \eta F_V \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \quad T_D \leq T \quad (19)$$

dove:

- S_{Ve} = accelerazione spettrale verticale;
- F_V = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno (a_g) su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_V = 1,35 F_0 \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (20)$$

I valori di a_g , F_0 , S e η sono definiti dalle equazioni 16, 17, 18 e 19; i valori di S_s , T_B , T_C , e T_D , salvo più accurate determinazioni, sono quelli riportati nella seguente tabella:

Categoria sottosuolo	S_s	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1,0	0,05s	0,15s	1,0s

Tabella 11 – Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale (da: Tabella 3.2.VII NTC 2008).

1.11 Microzonazione Sismica e determinazione degli Effetti Locali secondo la Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale 2 maggio 2007, il DM 14 gennaio 2008, art. 3.2 e la Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617.

1.11.1 Effetti locali

La pericolosità sismica di un'area dipende dalle caratteristiche sismiche e da aspetti locali.

Le caratteristiche sismiche di un'area sono definite dalle sorgenti sismogenetiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti. Questi aspetti sono comunemente indicati come *pericolosità sismica di base* e sono quelli considerati per la classificazione sismica. Da queste caratteristiche deriva il moto di input atteso, per il calcolo del quale non vengono considerate le caratteristiche locali e il territorio è trattato come se fosse uniforme ed omogeneo, cioè pianeggiante e costituito da suolo rigido, in cui la velocità di propagazione delle onde S è maggiore di 800 m/s.

Il moto sismico può essere però modificato dalle condizioni geologiche e morfologiche locali. Alcuni depositi e forme del paesaggio possono amplificare il moto sismico in superficie e favorire fenomeni di instabilità dei terreni quali cedimenti, frane o fenomeni di liquefazione. Queste modificazioni, dovute alle caratteristiche locali, sono comunemente definite *effetti locali*.

La zonazione del territorio sulla base della risposta sismica del terreno è perciò uno dei più efficaci strumenti di definizione e rappresentazione della pericolosità sismica, oltre che strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico, poiché fornisce un contributo essenziale per l'individuazione delle aree a maggiore pericolosità sismica, agevola la scelta delle aree a minor rischio e la definizione degli interventi ammissibili.

Tali carte sono particolarmente efficaci sia per la scelta delle aree di nuova previsione edificatoria, sia per la definizione delle indagini di approfondimento e degli interventi ammissibili, anche nelle aree già urbanizzate, soprattutto se utilizzate fin dalle fasi preliminari dei processi di pianificazione territoriale e urbanistica.

Esiste ormai un generale accordo su quali depositi e forme del paesaggio possono, durante o a seguito di un terremoto, determinare amplificazioni del moto sismico in superficie o concorrere a modificare in maniera permanente l'assetto del territorio causando cedimenti, franamenti e rotture del terreno.

Le conoscenze territoriali oggi disponibili in Emilia-Romagna, soprattutto grazie alle carte geologiche, alle banche dati geognostiche, alle carte topografiche e ai modelli digitali del terreno, permettono la rapida individuazione degli elementi geologici e morfologici che possono favorire gli effetti locali (Provincia di Reggio Emilia, Approvato il 17 giugno 2010, delib. n. 124)

Per quanto riguarda l'**amplificazione stratigrafica (S_s)**, per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E, i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati in funzione dei valori di F_0 e di T_c^* relativi al sottosuolo di categoria A (che quindi assumerà valori di S_s e C_c pari ad 1), mediante le seguenti espressioni:

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10(T_c^*)^{-0,20}$

C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,10(T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,10(T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,10(T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 12 – Espressioni del *coefficiente di amplificazione stratigrafica* (S_s) e del *coefficiente funzione della categoria di sottosuolo* (C_d) (da: Tabella 3.2.V NTC 2008).

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale può essere valutata in prima approssimazione con riferimento alle categorie di sottosuolo. Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'*accelerazione massima* (a_{max}) attesa in superficie, secondo l'espressione:

$$a_{max} = S_s a_g \quad (21)$$

Quanto sopra come descritto dalla normativa nazionale; la Regione Emilia-Romagna, ove previsto, ha formulato un tabulato specifico dei fattori di amplificazione stratigrafica di cui ai punti A2.1.1 e A2.1.2 del DR 2 maggio 2007, n. 112 di cui si parlerà nel Capitolo 1.11.3.

Per quanto riguarda l'*amplificazione topografica* (S_T), nel caso in cui siano presenti condizioni topografiche complesse, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilevati isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 13 – *Categorie topografiche* (da: Tabella 3.2.IV NTC 2008).

Sulla base dei valori riportati, l'area oggetto di studio è stata utilizzata la seguente *categoria topografica*:

Categoria topografica
T1

Tabella 14 – *Categoria topografica* per l'area oggetto di studio.

In assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale dovute ad amplificazione topografica si utilizzano dei valori di S_T che variano in funzione delle categorie topografiche definite in Tabella 13 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento:

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 15 – Valori massimi del *coefficiente di amplificazione topografica* (S_T) (da: Tabella 3.2.VI NTC 2008).

Alla base del pendio S_T assume valore 0.

La valutazione dell'amplificazione topografica può essere effettuata mediante analisi di risposta sismica locale o utilizzando il coefficiente di amplificazione topografica S_T , secondo l'espressione:

$$a_{\max} = S_S S_T a_g \quad (22)$$

Quanto sopra come descritto dalla normativa nazionale; la Regione Emilia-Romagna, ove previsto, ha formulato uno schema specifico dei fattori di amplificazione topografica di cui al punto A2.2 del DR 2 maggio 2007, n. 112.

Nel presente lavoro è stata eseguita la microzonazione sismica di dettaglio dell'area mediante la valutazione dei seguenti *coefficienti di amplificazione stratigrafici* (Cfr. Tavola B tra gli Allegati):

- Valore del fattore di amplificazione di intensità spettrale (FA_{SI}) calcolato negli intervalli ($T_1 \div T_2$) da 0,1s a 0,5s e da 0,5s a 1,0s;
- Valore del fattore di amplificazione in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (FA_{PGA});

essendo l'area classificata in **categoria C** secondo la tavola del PTCP – P9a 200SO – “Rischio sismico – Carta degli effetti attesi”. Tale classificazione prevede la possibilità della sola amplificazione stratigrafica all'interno del sito indagato.

1.11.2 Livelli di approfondimento

Gli studi di risposta sismica locale e microzonazione sismica devono essere condotti a diversi livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale. Tali studi devono indicare il livello di approfondimento, le indagini effettuate e i risultati ottenuti devono fornire una cartografia dello stato dell'area indagata.

Sono identificate due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento:

- **prima fase (I° livello di approfondimento):** definisce gli scenari di pericolosità sismica locale e identifica le parti di territorio suscettibili a tali effetti (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc) in base ad osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico svolte a scala territoriale, associate a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati. Tale analisi viene svolta soprattutto mediante l'elaborazione dei dati messi a disposizione del P.T.C.P., del P.S.C. e della banca dati in possesso dello scrivente a seguito della oltre trentennale attività lavorativa.
- **seconda fase:** ha come obiettivo la microzonazione sismica dell'area indagata; vengono individuati due diversi livelli di approfondimento:
 - **II° livello di approfondimento (analisi semplificata):** nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti incluse le zone di fondovalle appenniniche con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale e sui versanti stabili con acclività $\leq 15^\circ$. L'analisi della pericolosità locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione dei dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche in sito (ad esempio lo scrivente utilizza indagini sismiche a rifrazione con elaborazione di tipo MASW e registrazioni del microtremore ambientale con strumento TROMINO Zero che vengono elaborate in modo congiunto (cfr. Capitolo 8.9)) e su prove geotecniche di tipo standard (ad esempio lo scrivente utilizza prove penetrometriche CPT o DPSH (cfr. Capitolo 4.1)).
 - **III° livello di approfondimento (analisi approfondita):** nelle aree soggette a liquefazione² (cfr. Capitolo 8.12) e a densificazione, nelle aree instabili e potenzialmente instabili nelle eccezionali ipotesi nelle quali la pianificazione preveda una possibile attività edificatoria, nelle aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti, nelle aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico. Tale analisi prevede un significativo numero di indagini geofisiche e geotecniche sia in campagna che in laboratorio.

Il P.T.C.P. della provincia di Reggio Emilia, adottato in data 17 giugno 2010 con delibera n. 124, nella tavola P9b – Rischio sismico – Carta dei livelli di approfondimento, definisce su tutto il territorio provinciale, i livelli di approfondimento sopracitati. In particolare, il II° e il III° livello di approfondimento richiedono il calcolo dei *fattori di amplificazione sismica* (FA) per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

L'area oggetto di studio, rientra, secondo il P.T.C.P. all'interno del seguente livello di approfondimento:

² LIQUEFAZIONE – La liquefazione dei terreni in condizioni sismiche, rappresenta una possibile minaccia che può manifestarsi durante i terremoti, interessando, in genere, depositi di natura sabbiosa o sabbioso-limosa, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi.

<p align="center">Livello di approfondimento sismico</p> <p align="center">(Ottenuto dalla tavola P9b – Rischio Sismico – Carta dei livelli di approfondimento del P.T.C.P. di RE)</p>
<p>II livello</p>

Tabella 16 – *Livello di approfondimento sismico*, per l'area oggetto di studio.

Ciò nonostante, sulla base delle richieste avute da parte della Provincia di Reggio Emilia, si è provveduto ad eseguire un approfondimento sismico di III livello.

1.11.3 Valutazione del Fattore di Amplificazione di Intensità Spettrale (FA_{SI}) e del Fattore di Amplificazione in Termini del Rapporto di Accelerazione Massima Orizzontale (FA_{PGA})

La normativa prevede innanzi tutto il calcolo dei *coefficienti di amplificazione sismica* (SI , SI_0 , PGA e PGA_0) che a loro volta permettono di calcolare i *fattori di amplificazione sismica* (FA_{SI} e FA_{PGA}) rispetto ad un suolo di riferimento. Tali fattori sono espressi sia in termini di rapporto di Intensità di Housner ($FA_{SI}=SI/SI_0$) sia di rapporto di accelerazione massima orizzontale ($FA_{PGA}=PGA/PGA_0$) per prefissati intervalli di periodi dove precisamente si ha:

- SI = Intensità di Housner al suolo calcolata nell'area indagata;
- SI_0 = Intensità di Housner al suolo di riferimento definita per ogni comune;
- PGA = accelerazione massima orizzontale al suolo calcolata nell'area indagata;
- PGA_0 = accelerazione massima orizzontale al suolo di riferimento definita per ogni comune.

Per il calcolo dell'Intensità di Housner sia del comune di riferimento (SI_0) che dell'area indagata (SI), è necessario conoscere lo *spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali* (PSV) per un periodo di ritorno di 475 anni con uno smorzamento convenzionale $\xi=5\%$ sia per il comune di riferimento che per l'area indagata.

Una volta ottenuti gli spettri di risposta in velocità, si passa al calcolo integrale dell'*Intensità di Housner* sia dello spettro di riferimento comunale (SI_0) (cfr. 23) che dello spettro dell'area indagata (SI) (cfr. 24) negli intervalli ($T_1 \div T_2$) da 0,1s a 0,5s e da 0,5s a 1,0s.

$$SI_0 = \int_{T_1}^{T_2} PSV_{(\xi=5\%)} dT \quad (23)$$

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV_{(\xi=5\%)} dT \quad (24)$$

Dal rapporto tra l'intensità SI dell'area indagata e l'intensità SI_0 dell'area di riferimento si ottiene il *fattore di amplificazione di intensità spettrale* (FA_{SI}) per ognuno degli intervalli sopra riportati.

$$FA_{SI} = \frac{SI}{SI_0} \quad (25)$$

I **fattori di amplificazione** sono così determinati:

- 1) Si determina il periodo di massimo valore dello spettro medio di input TA_i e dello spettro medio di output TA_o ;
- 2) Si ricavano i valori medi degli spettri di input ($SA_{m,i}$) e di output ($SA_{m,o}$) nell'intorno di TA_i e di TA_o come:

$$SA_m = \frac{1}{TA} \int_{0,5TA}^{1,5TA} SA(T) dT \quad (26)$$

dove SA è lo spettro medio (SA_i di input, SA_o di output).

- 3) Si determinano i periodi proprio TV_i e TV_o per il quale sono massimi gli spettri di Pseudo velocità:

$$SV(T) = SA(T) \frac{T}{2\pi} \quad (27)$$

dove SV è lo spettro medio di pseudovelocità (SV_i di input, SV_o di output)

- 4) Si calcolano i valori medi degli spettri medi di pseudovelocità o nell'intorno di TV_i e di TV_o .

$$SV_m = \frac{1}{0,4TV} \int_{0,8TV}^{1,2TV} SV(T) dT \quad (28)$$

dove SV_i è lo spettro medio di pseudovelocità di input ed SV_o è lo spettro medio di pseudovelocità di output.

- 5) Il valore di FA è pari a

$$FA = \frac{SA_{m,o}}{SA_{m,i}} \quad (29)$$

- 6) Il valore di FV è pari a

$$FV = \frac{SV_{m,o}}{SV_{m,i}} \quad (30)$$

Con il metodo di III livello è possibile valutare puntualmente l'effettiva amplificazione stratigrafica sfruttando la soluzione dell'equazione differenziale che governa il problema della propagazione di onde di taglio in un solido alla **Kelvin-Voigt**, il comportamento dei terreni secondo curve di decadimento per G e lo smorzamento; tratte dalla letteratura scientifica e/o normative (Regione Lombardia), o ancora, curve di decadimento personalizzate.

La procedura di calcolo utilizzata per la risposta sismica locale è di tipo lineare equivalente su un *modello di n strati* piani e paralleli di estensione orizzontale infinita su un semispazio corrispondente al bedrock. L'input sismico, rappresentato da uno o più accelerogrammi, viene applicato al bedrock e viene valutato il moto di propagazione delle onde in direzione perpendicolare alla superficie utilizzando l'equazione di equilibrio dinamico in funzione dello spostamento.

I valori finali forniti dall'analisi di III livello sono gli accelerogrammi e i relativi spettri di risposta, lo spettro medio e quello medio normalizzato, da confrontare con lo spettro di normativa.

Con i software **EERA** (Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses) della University of Southern California - Department of Civil Engineering ed **RSLIII** (Risposta Sismica Locale di III Livello) della Geostru, Italia, utilizzati nel presente lavoro, è possibile operare contemporaneamente su più accelerogrammi forniti come input che sono in grado di utilizzare come unità di misura per l'accelerazione sia i m/s^2 che g . Sono stati inseriti i tre accelerogrammi del Comune di Casalgrande forniti dalla Regione Emilia Romagna, disponibili per ciascun comune, opportunamente scalati in automatico dai programmi all'accelerazione di progetto (a_g). Le tracce da importare sono quelle riferite al bedrock sismico la cui scelta, nelle analisi di III livello, è legata alla verifica delle condizioni definite dalle NTC 2008.

Per quanto riguarda la stratigrafia da inserire, i programmi dispongono di un archivio di materiali con definite leggi di variazione del rapporto G/G_{max} e del coefficiente di smorzamento in funzione della deformazione al taglio, quali: Vucetic & Dorby (1991) – Seed et al. (1986) – Idriss (1990) – EPRI (1993) – Regione Lombardia – Darendeli & Stokoe (2001) – Rollins et al. (1998) – Regione Lazio. Nel caso specifico è stata utilizzata la legge di variazione definita dalla Regione Lombardia in quanto il valore della percentuale di smorzamento della curva di decadimento tende a 0 più rapidamente (cfr. Tavola 2 tra gli Allegati), condizione più idonea per i tipi di terreno presenti nelle nostre zone.

Sono restituiti sia in formato numerico che in formato grafico i seguenti risultati: accelerogrammi amplificati, *stress-strain*, trasformata di *Fourier*, spettri di risposta elastico in accelerazione, spettro medio e spettro normalizzato. **E' possibile mettere a confronto gli spettri di risposta elastici ottenuti mediante l'elaborazione (spettro medio e spettro normalizzato) con gli spettri definiti dalle NTC.** Inoltre vengono determinati i **fattori di amplificazione F_a e F_v** e i **fattori di amplificazione su intensità spettrale** (Intensità di Housner). Lo **spettro normalizzato** può essere determinato secondo le linee guida della Protezione Civile oppure servendosi dei valori a_g , F_0 e T_c^* per lo stato limite in esame.

I risultati ricavati sono specifici dell'area indagata.

I fattori di amplificazione calcolati con il metodo sopradescritto, sono i seguenti:

Intervallo $T_1 \div T_2$ (secondi)	Valore
FA_{Si} : 0,1 \div 0,5	1,239
FA_{Si} : 0,5 \div 1,0	1,215
Fa	1,295
Fv	1,186

Tabella 17 – Valore medio del fattore di amplificazione di intensità spettrale (FA_{Si}) calcolato negli intervalli ($T_1 \div T_2$) da 0,1s a 0,5s e da 0,5s a 1,0s, del fattore (Fa) e del fattore (fv) ottenuti come media dei 3 accelerogrammi considerati.

Nella parte finale dell'Allegato di Tavola 2, vengono messi a confronto gli spettri di risposta elastici ottenuti mediante l'elaborazione (spettro medio e spettro normalizzato) con gli spettri di sito definiti dalle NTC.

1.12 Liquefazione

La liquefazione dei terreni in condizioni sismiche, rappresenta una possibile minaccia che può manifestarsi durante i terremoti interessando, in genere, depositi di natura sabbiosa o sabbioso-limosa, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi.

Il termine liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Deve essere verificata la suscettibilità a liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti cinque circostanze:

- Eventi sismici attesi di *magnitudo* (M) inferiore a 5;

Nel 1999 i diversi gruppi di ricerca che hanno operato negli ultimi venti anni nel settore della sismologia storica e della macrosismica, riconducibili in gran parte ai tre maggiori enti (GNDT, ING e SSN) hanno realizzato un *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI)*, che rappresenta un primo prodotto comune di riferimento per le stime di hazard. Tale catalogo, pur essendo un prodotto

preliminare, successivamente affiancato da una ulteriore versione più aggiornata (2004), rappresenta attualmente un riferimento obbligato per le analisi di pericolosità e per le stime di rischio, pur non cancellando le elaborazioni precedenti.

Storicamente in Emilia-Romagna, non sono mai stati registrati a partire dall'anno 725 terremoti che avessero una *magnitudo media pesata* (Ma) superiore a 6,5 (cfr. Figura 6).

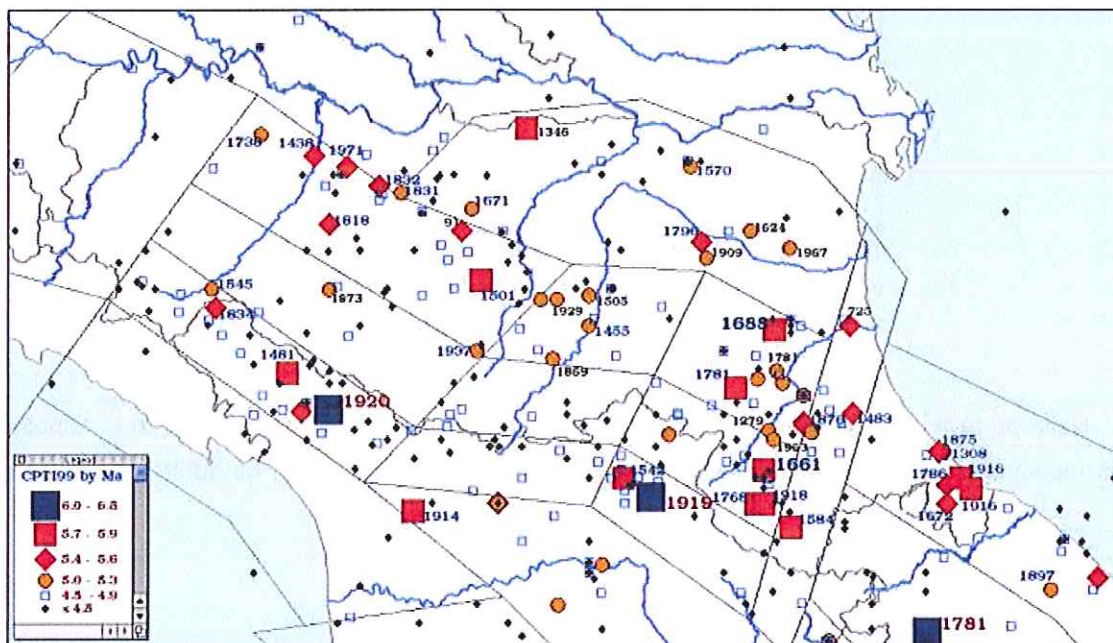


Figura 6 – Distribuzione degli eventi sismici significativi registrati in Emilia-Romagna con relativa *magnitudo media pesata* (Ma) a partire dall'anno 725.

Negli eventi sismici maggiormente significativi (indicati in Figura 6 con il quadrato blu), si ricordano brevemente:

- 04/04/1781 – Faentino – Lat: 44.235 Long: 11.797 – Ma: 5,8
- 29/06/1919 – Mugello – Lat: 43.950 Long: 11.480 – Ma: 6,18
- 07/09/1920 – Garfagnana – Lat: 44.180 Long: 10.280 – Ma: 6,48
- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c., per p.c. sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$;

dove:

- $(N1)_{60}$ = valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SCPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa;
- qc_{1N} = valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa.

Per valutare il grado di liquefazione di un terreno, l'allegato A3.2 della Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale 2 maggio 2007, n. 112, raccomanda l'utilizzo delle prove CPT elaborate con il metodo di Robertson & Wride (1998) che valutano il *fattore di sicurezza a liquefazione* (F_L):

- $F_L > 1$ = liquefazione è da escludere;
- $F_L \leq 1$ = liquefazione possibile.

1.12.1 Valutazione del fattore di resistenza a liquefazione (F_S)

Nel caso si verifichino le condizioni di liquefazione, viene valutato il *fattore di resistenza a liquefazione* (F_S) con metodi semplificati.

Tali metodi si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ.

La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di *fattore di resistenza alla liquefazione* (F_S):

$$F_S = \frac{CRR}{CSR} \quad (30)$$

dove:

- F_S = fattore di resistenza alla liquefazione;
- CRR = (Cyclic Resistance Ratio) resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico;
- CSR = (Cyclic Stress Ratio) sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

I metodi semplificati differiscono tra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata la CRR, la resistenza alla liquefazione.

Il parametro maggiormente utilizzato è il numero di colpi della prova SPT, anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove statiche CPT o prove di misurazione delle onde di taglio V_S .

I metodi esistenti sono:

- Metodo di *Seed e Idriss* (1982);
- Metodo di *Iwasaki et alii* (1978; 1984);
- Metodo di *Tokimatsu e Yoshimi* (1983);
- Metodo di *Finn* (1985);
- Metodo di *Cortè* (1985);
- Metodo di *Robertson e Wride modificato* (1997);
- Metodo di *Andrus e Stokoe* (1998);
- Metodi basati sull'*Eurocodice 8* (ENV 1998-5);
- Metodo basato sull'*NTC 2008*.

Per conoscere i parametri utilizzati da ciascun metodo si rimanda agli elaborati presenti in Tavola G.

1.12.2 Valutazione del fattore di resistenza a liquefazione (F_s) dell'area in esame

Nell'area indagata si presenta la seguente situazione:

- presenza di strati sabbiosi o sabbioso-limosi;
- assenza di falda stabile (terreni saturi), entro la profondità di 15 metri (quota limite introdotta dalla Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale 2 maggio 2007, n. 112, allegato A3.1).

La seconda delle suddette condizioni a seguito di eventi sismici esclude la possibilità di liquefazione dei terreni (i valori di F_L , ove è stato possibile calcolarli, sono riportati in Tavola A tra gli Allegati).

2. CONCLUSIONI

A seguito della richiesta di integrazione sismica da parte della Provincia di Reggio Emilia, è stato prodotta la seguente relazione che presenta una elaborazione sismica con III livello di approfondimento eseguito mediante una analisi numerica monodimensionale 1D utilizzando i software **EERA** (Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses) della University of Southern California - Department of Civil Engineerin ed **RSLIII** (Risposta Sismica Locale di III Livello) della Geostru, Italia, che hanno la possibilità di operare contemporaneamente su più accelerogrammi forniti come input che sono in grado di utilizzare come unità di misura per l'accelerazione sia i m/s^2 che g .

I risultati dei **Fattori di amplificazione (Fa)** ed (**Fv**) e dell' **Intensità di Housner (SI)** sono ripostati in Tabella 17.

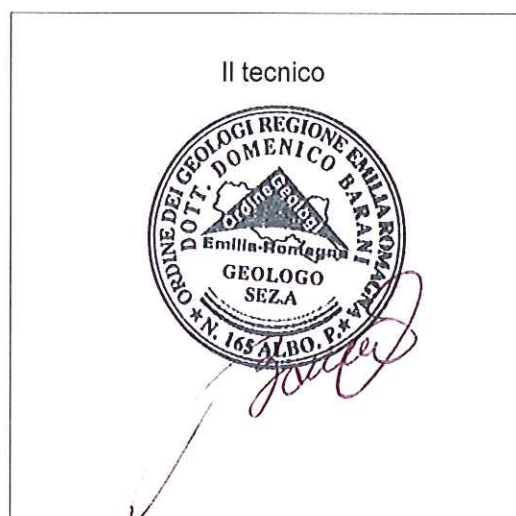
Nell'allegato di Tavola 2 vengono inoltre riportati per ogni accelerogramma (000354xa_035012Casalgrande, 000046xa_035012Casalgrande, 000126xa_035012Casalgrande): amplificazione, accelerazione, velocità, spostamento, deformazione, tensione, energia dissipata, spettri, spettro medio, spettro normalizzato, confronto tra gli spettri, confronto con spettri di normativa.

Lo scrivente rimane a disposizione per ulteriori chiarimenti o sopralluoghi.

Ottobre 2013

Collaboratori:

Dott. Geol. Simone Barani



Dott. Geol. Domenico Barani

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1994). Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi n°4 - Alta pianura e appennino della provincia di Reggio Emilia. *GNDICI-CNR n°888*, Pitagora Editore.
- AGIP - RER - ENI. (1998). *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia - Romagna - A cura di Di Dio*. Firenze: S.EL.CA. Editore.
- Aiello E. (2010). *Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2008)*. Università degli Studi di Siena - Centro di GeoTecnologie (CTG).
- Bally A.W. & Snelson S. (1980). Realm of subsidence. *A.d. Miall, Facts and Principles of World Petroleum Occurrence. Mem. Can. Pet. Geol., Vol. 6*, pp. 9-94.
- Bartolini C. et alii. (1982). Carta neotettonica dell'appennino settentrionale: note illustrative. *Soc. Geol. It. - 101*, pp. 523-549.
- Begemann H.K.S. (1953). Improved method of determining resistance to adhesion by sounding through a loose sleeve placed behind the cone. *Proceedings of the 3rd international conference on soil mechanic and foundationengineering, Zurich, 1*, 213-17.
- Begemann H.K.S. (1969). The dutch static penetration test with adhesion jacket cone. *LGM Mededelingen, 12(4)*, pp. 69-100.
- Begemann H.K.S. (1965). The frictional jacket cone as an aid in determining the soil profile. *Proceedings, 6th Int. Conf. Soil Mech. Fdn. Engr S., Montreal*.
- Bellomo G., Corezzi S. & Graziano G.V. (2012). Terre e rocce di scavo - Il DM 161/2012 - Nuova disciplina, nuove opportunità. *Geologia Tecnica & Ambientale 3/12*, pp. 10-18.
- Boccaletti M. et alii. (1980). Evoluzione dell'Appennino settentrionale secondo un nuovo modello strutturale. *Mem. Soc. Geol. It., Vol. 21*, pp. 359-373.
- Casadio M. & Elmi C. (1995). *Il manuale del geologo*. Bologna: Pitagora Editore.
- Castany G. (1982). *Idrogeologia. Principi e metodi*. Palermo: Libreria Dario Flaccovio Editore.
- Castellarin A. et alii. (1985). Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano. *Giornale di Geologia, ser. 3a, Vol. 4711-2*, pp. 47-75.
- Castellaro S. & Mulargia F. (2009). The effect of velocity inversion on H/V. *Pure Appl. Geophys., 166*, pp. 567-592.
- Castellaro S. & Mulargia F. (2010). Tromomeasuring seismic noise. *Bull. Seism. Soc. Am., 100 (submitted)*.
- Castellaro S. & Mulargia F. (2009). Vs30 estimates using constrained H/V measurements. *Bull. Seism. Soc. Am., 99*, pp. 761-773.
- Celico P. (1988). *Prospezioni idrogeologiche*. Napoli: Liguori Editore.
- Cestari F. (2005). *Prove geotecniche in sito*. Edizione Geo-Graph - Segrate.

Cestelli Guidi C. (1975). *Geotecnica e tecnica delle fondazioni*. Milano: Editore Hoepli.

Chiesa G. (1998). Norme tecniche per lo scavo, la perforazione, la manutenzione e la chiusura di pozzi d'acqua. *Acque sotterranee, fascicolo numero 58 - Giugno 1998*.

CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche & AGAC. (1992). *Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento - Alta pianura reggiana tra T.Crostolo e F.Secchia, in scala 1:25.000*. Firenze: S.EL.CA. Editore.

CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche. (1993). *Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale - Pianura emiliana delle province di Parma, Reggio Emilia e Modena, in scala 1:100.000 - Unità idrogeologiche dei Fiumi Taro, Enza, Crostolo, Secchia, Panaro e Po*. Firenze: S.EL.CA Editore.

CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche. (1989). *Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento - Conoide del T.Enza, in scala 1:25.000*. Firenze: S.EL.CA. Editore.

CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche. (1989). *Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento - Conoidi dei fiumi Secchia e Panaro, in scala 1:25.000*. Firenze: S.EL.CA. Editore.

Colombo P. (1974). *Elementi di geotecnica*. Bologna: Zanichelli.

Cremaschi M. (1980). L'evoluzione della pianura emiliana durante l'età del bronzo, l'età romana e l'alto medioevo: geomorfologia ed insediamenti. *"Padusa". Bollettino del Centro Polesano di Studi Storici, Archeologici ed Etnografici*.

Cremonini G. Ricci Lucchi F. (1982). *Guida alla geologia del margine appenninico-padano*. Bologna: Società Geologica Italiana, Guide geologiche regionali, Pitagora.

Domenico P.A. & Schwartz F.W. (1990). Physical and chemical hydrogeology. *John Wiley & Sons, Inc. New York Chichester Weinheim Brisbane Toronto Singapore*.

Elter P. (1973). I lineamenti tettonici dell'Appennino a NW delle Apuane. *Atti Conv. Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino - Acc. Naz. Lincei, Quad. n° 183*, pp. 97-118.

Franceschini S. & Spaggiari R. (1999). *Rapporto sulla qualità delle acque superficiali della provincia di Reggio Emilia 1994-1999*. Provincia di Reggio Emilia, Assessorato Politiche Ambientali, ARPA - Sezione provinciale di Reggio Emilia.

Gasparini P. & Mantovani M.S.M. (1981). *Fisica della terra solida*. Liguori Editore.

Gasperi G.F. (1995). *Geologia regionale*. Bologna: Pitagora Editore.

Giuliano G. & Pellegrini M. (1993). Le acque sotterranee del bacino padano: alcune problematiche di utilizzo e tutela. *Acq. Aria*. 119-6.

ISSMFE. (1989). Appendix A: International reference test procedure for cone penetration test (CPT). *Report of the ISSMFE technical committee on penetration testing of soils - TC16, with Reference to test procedures, Swedish geotechnical institute, Linköping, Information, 7,6-16*.

M.U.R.S.T. (2001). *Carta geomorfologica della pianura padana, in scala 1:250.000*. (A. c. G.B., A cura di) Firenze: S.EL.CA. Editore.

- Marsan P. & Romeo R. (1992). *La relazione geologica e geotecnica*. Edizione Carocci.
- Maxey G.B. (1964). Hydrostratigraphic units. *Journal of Hydrology*, 2 , pp. 124-129.
- Mulargia F. & Castellaro S. (2009). Experimental uncertainty on the Vs(z) profile and seismic soil classification. *Seismological Research Letters*, 80 , pp. 985-989.
- Ori G.G. & Friend P.F. (1984). Sedimentary basins formed and carried piggyback on active thrust sheets. *Geology*, Vol. 12 , pp. 475-478.
- Papani G. & Sgavetti M. (1975). Alcuni problemi di neotettonica dell'Appennino Emiliano Occidentale. *L'Ateneo Parmense - Acta Naturalia*, Vol. 11, n°2 , pp. 315-334.
- Park et alii. (1999). *Geophys*, 64. pp. 800-808.
- Peli G. (1995). *Geotecnica pratica delle fondazioni dirette*. Ancona: Nuove ricerche.
- Petrucci F. et alii. (1975). *Pozzi idrici nella pianura delle province di Parma e Piacenza (destra T.Nure)*. Università degli Studi di Parma, Istituto di Geologia.
- Posamentier H.W. & Vail P.R. (1988). Eustatic controls on clastic deposition, II: Sequence and systems tract models. In: *Wilgus C.K., Kendal C.G., Posamentier H.W., Van Wagoner J.C. "Sealevel change-an integrated approach". S.E.P.M. Spec. Publ. 42* , pp. 125-155.
- Principi B. & Treves G. (1984). Il sistema corso-appenninico come prisma d'accrescimento. Riflessioni sul problema generale del limite Alpi-Appennini. *Mem. Soc. Geol. It.*, n° 28 , pp. 549-576.
- Provincia di Reggio Emilia. (Approvato con delib. n°124 il 17 giugno 2010). *P.T.C.P. - Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale*.
- RER - Servizio Sistemi Informativi Geografici - Ufficio Geologico - Regione Emilia-Romagna. (2007). *Carta dell'uso del suolo dell'Emilia-Romagna, in scala 1:250.000*.
- RER - Servizio Sistemi Informativi Geografici - Ufficio Geologico - Regione Emilia-Romagna. (1999). *Carta geologica di pianura dell'Emilia - Romagna, in scala 1:250.000*.
- RER & CNR. (2002). *Carta Geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo, in scala 1:250.000*. Firenze: S.EL.CA. Editore.
- Ricci Lucchi F. & Ori G.C. (1985). Field excursion D: synorogenic deposits of a migrating basin in the NW adriatic-foreland: examples from Emilia - Romagna region, northern Appennines. *Int. Symp. On Foreland Basins, Exc. Guidebook, Fribourg, Switzerland, 2-4 september 1985* , pp 137-176.
- Schmertmann J.H. (1978). Guidelines for cone penetration test, performance and design. *U.S. federal highway administration, Washington, DC, Report, FHWA-TS78-209, 145* .
- Sergianpietri L. (1998). Problematiche connesse alla progettazione dei pozzi per acqua - il ruolo della geologia. *Acque sotterranee, fascicolo numero 59 - Settembre 1998*.
- Spaggiari R. & Franceschini S. (2000). Rapporto sulla qualità delle acque superficiali nella Provincia di Reggio Emilia 1994-1999. *Provincia di Reggio Emilia, Arpa sezione provinciale di Reggio Emilia* , pp. 1-80.

Tanzini M. (2002). *L'indagine geotecnica - Caratterizzazione geotecnica delle terre e delle rocce attraverso prove in sito e di laboratorio*. Collana di Geotecnica e Ingegneria Geotecnica, Dario Flaccovio Editore.

Terzaghi K. & Peck Ralph B. (1967). *Geotecnica*. Torino: Unione Tipografico-Editrice Torinese.

Valloni R. & Baio M. (2003). *Assetto geologico del tardo quaternario nel tratto parmense del tracciato alta velocità*. Università degli Studi di Parma & Aquater.

ALLEGATI

TAV A: ELABORAZIONE SISMICA CONGIUNTA MASW-TROMINO: V_{s30} , fr

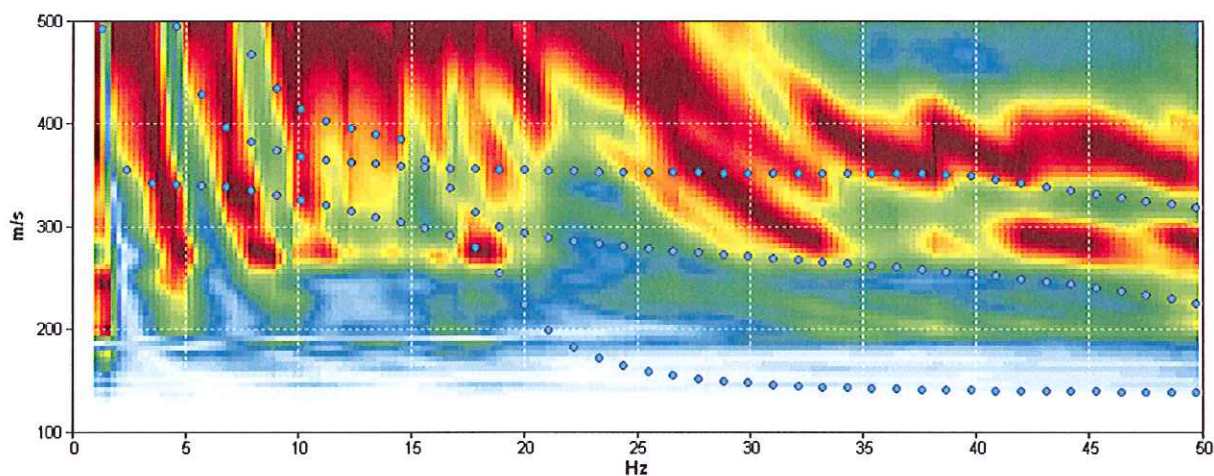
VEGGIA, CASALGRANDE (RE), VIA DEL MULINO, 09-12 A

Inizio registrazione: 28/03/12 11:47:08 Fine registrazione: 28/03/12 12:01:09
Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 57% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

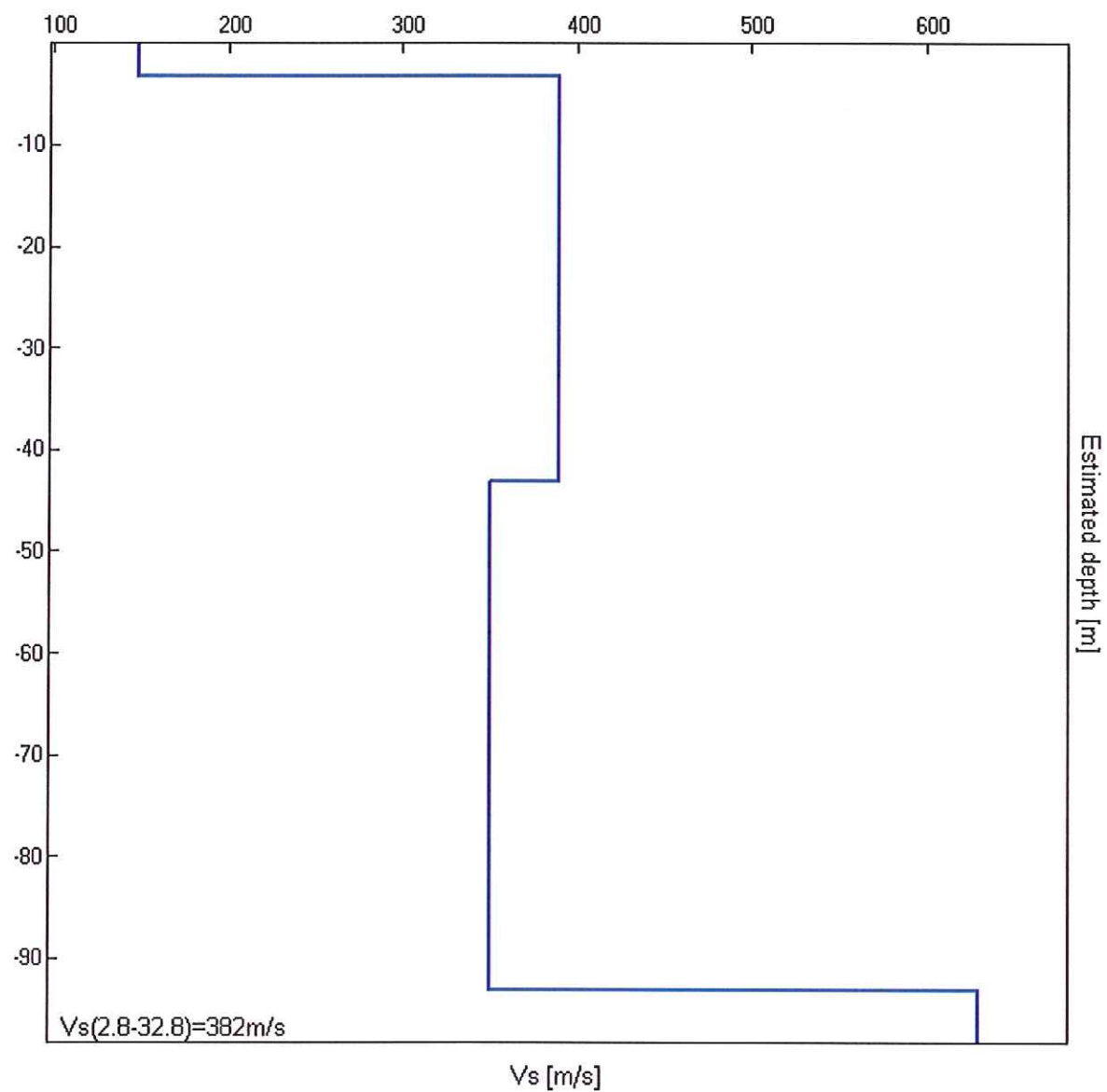
Array geometry (x): 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 16.0 18.0 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 30.0 32.0 34.0 36.0
38.0 40.0 42.0 44.0 46.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.20	3.20	148	0.35
43.20	40.00	390	0.35
93.20	50.00	350	0.35
inf.	inf.	630	0.35

$V_s(2.8-32.8)=382\text{m/s}$



VEGGIA, CASALGRANDE (RE), VIA DEL MULINO, 09-12 A

Strumento: TRZ-0098/01-10

Inizio registrazione: 28/03/12 11:47:08 Fine registrazione: 28/03/12 12:01:09

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00".

Analizzato 57% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

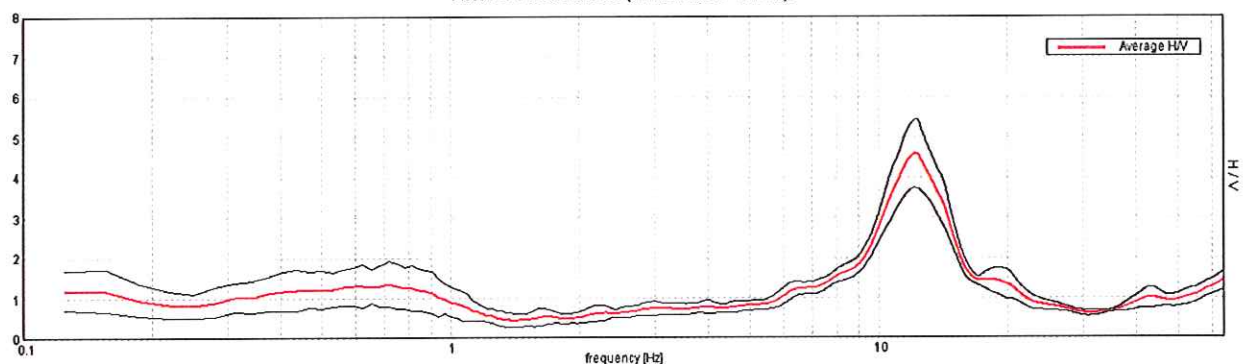
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

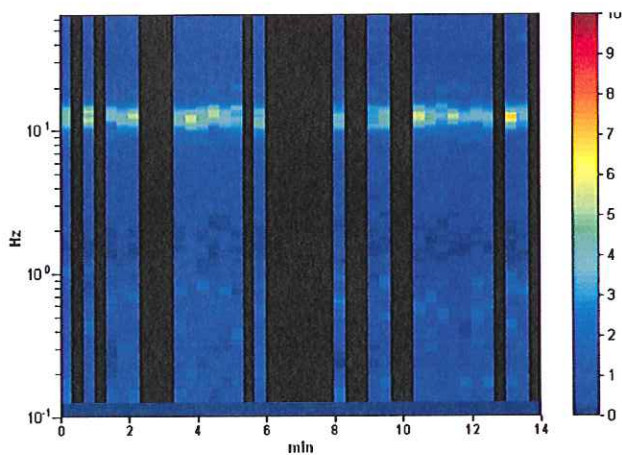
Lisciamento: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

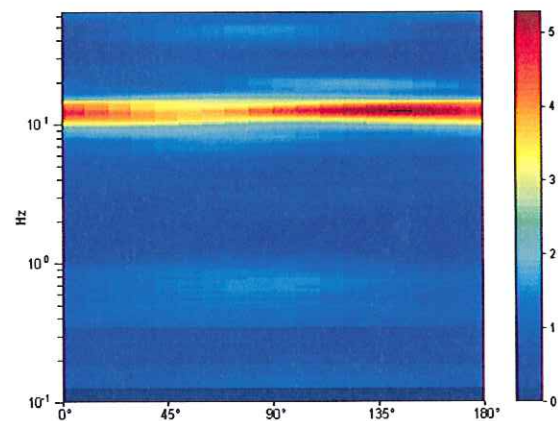
Picco H/V a 12.19 ± 0.05 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



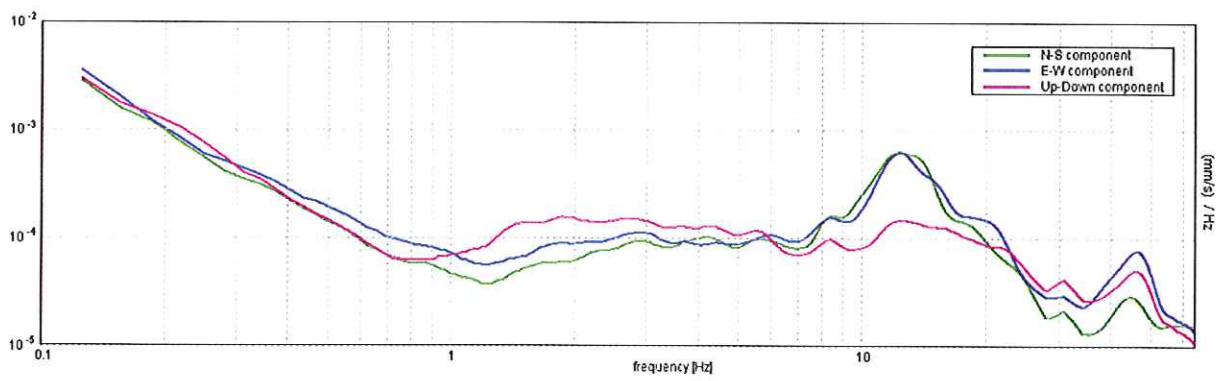
H/V TIME HISTORY



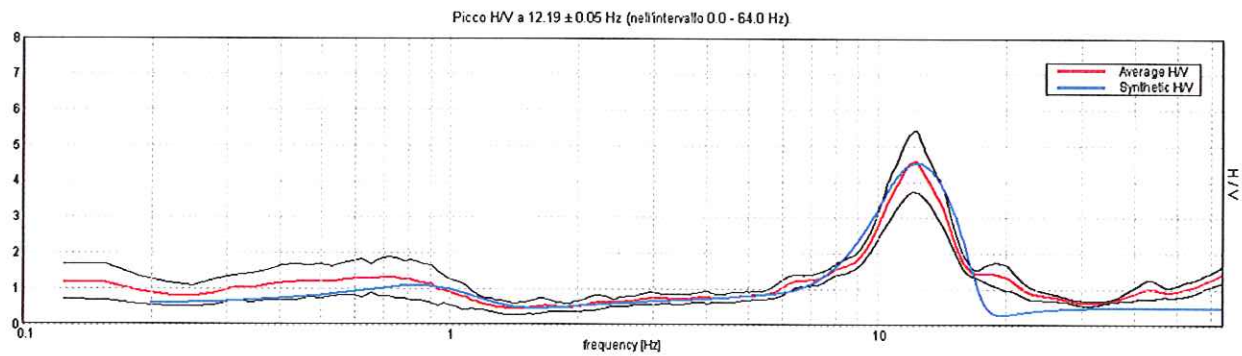
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

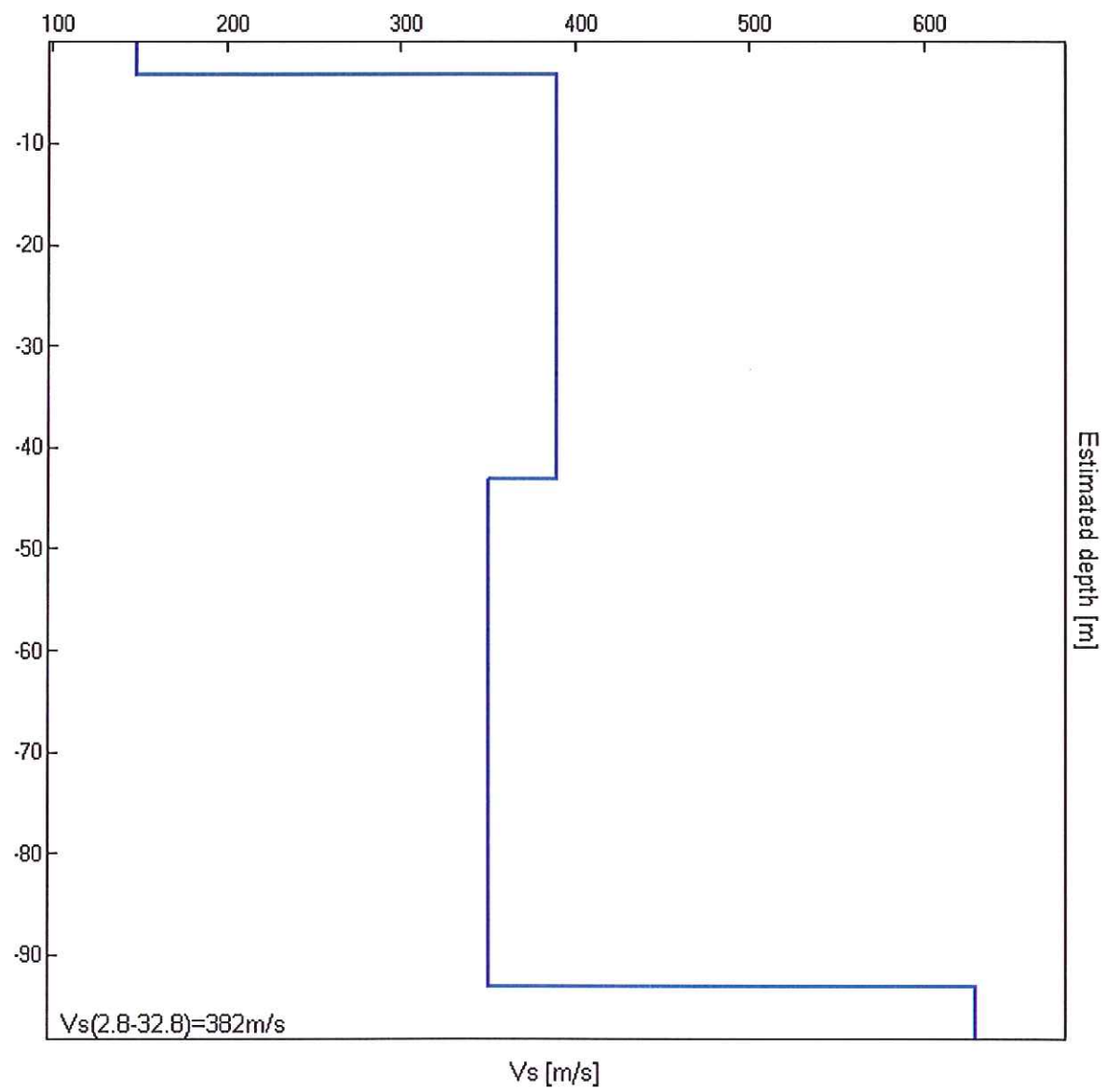


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.20	3.20	148	0.35
43.20	40.00	390	0.35
93.20	50.00	350	0.35
inf.	inf.	630	0.35

$Vs(2.8-32.8)=382\text{m/s}$



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Picco H/V a 12.19 ± 0.05 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$12.19 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5850.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 586 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	9.594 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	15.219 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.58 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00185 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02255 < 0.60938$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4042 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

TAV 2: III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO SISMICO: ELABORAZIONE NUMERICA
MONODIMENSIONALE 1D



GEOSISM – Dott. Geol. Simone Barani C.FISC: BRNSMN82D01F463L P.IVA: 02419360355	Via: Via Carso, 55 – 42021 Bibbiano (RE) 42021 Bibbiano - RE Tel: 0522/882377 - 348/8219198 Fax: 0522/1537713 Email: simonebarani@geosism.it Web:
--	--

**Zona di Trasformazione ZT6 - Via Mulino - La Veggia di
Casalgrande (RE)**

	Data: settembre 2013
	Il committente Immobiliare IL MULINO - Castalnovo Monti (RE)
	IL Tecnico
	Il Progettista
Pericolosità sismica di base	

INTRODUZIONE

PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
 - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
 - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
 - 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;

Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;

3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l' N -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno

strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t} \right]$, la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z,t) = U(z)e^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa delle variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

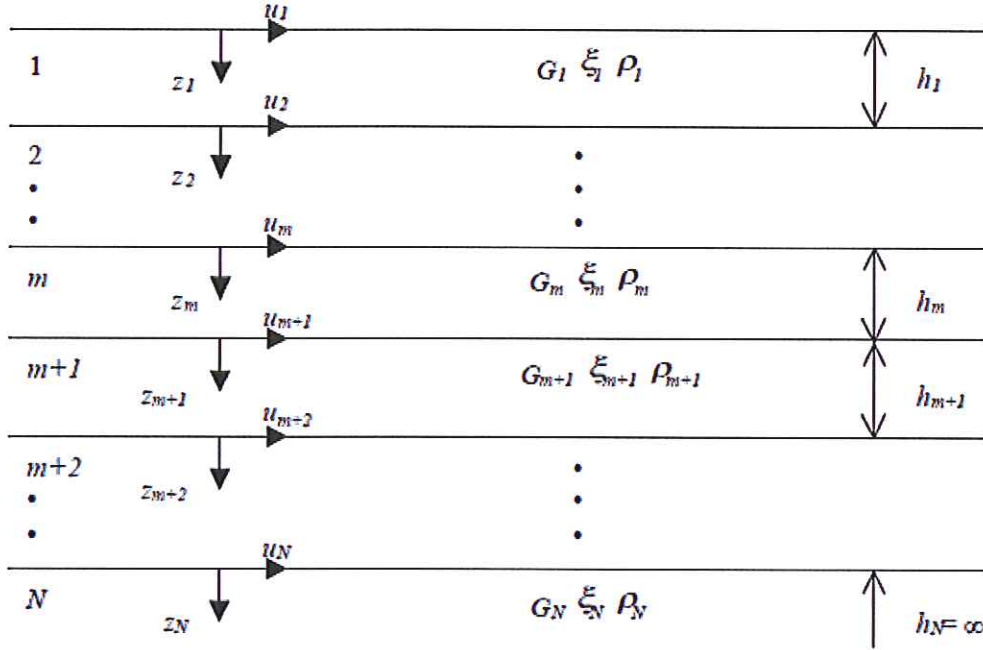


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* [Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)}] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità ($z = 0$) ed al fondo ($z = h_m$), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' m -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati m ed $m+1$, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m . La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati m ed n è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti m e n .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati n ed m :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

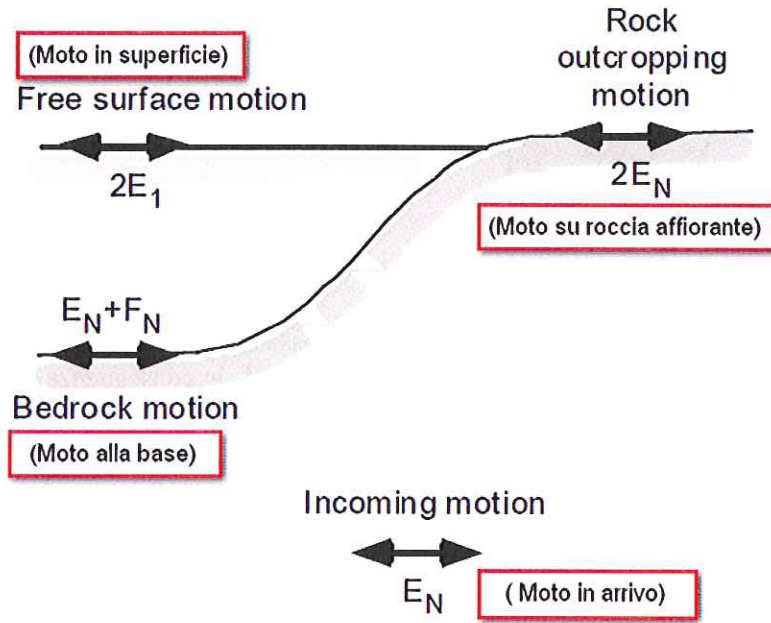


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a $E_N + F_N$. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché G è funzione di γ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per $G(\gamma)$ adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (25)$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

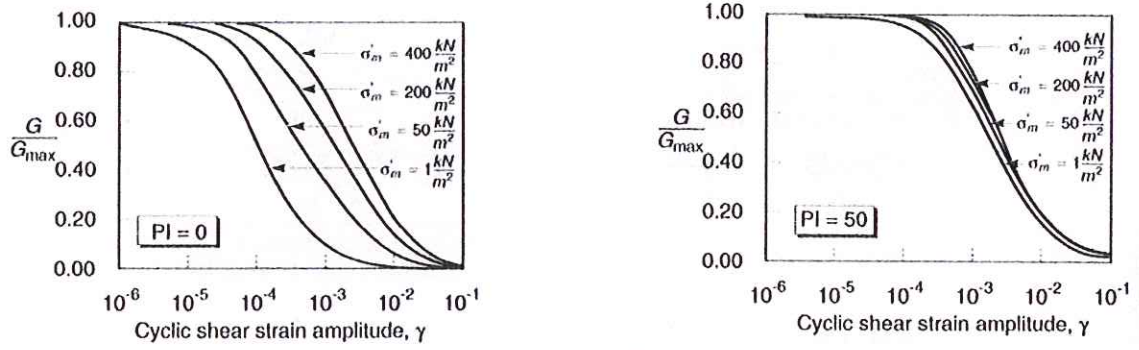


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.5})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

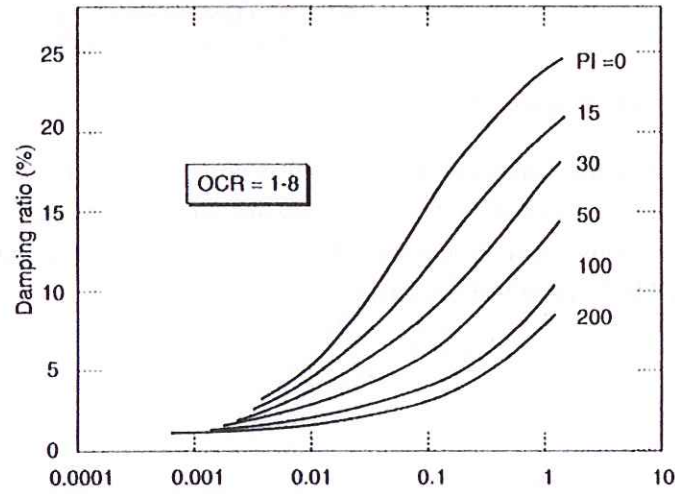
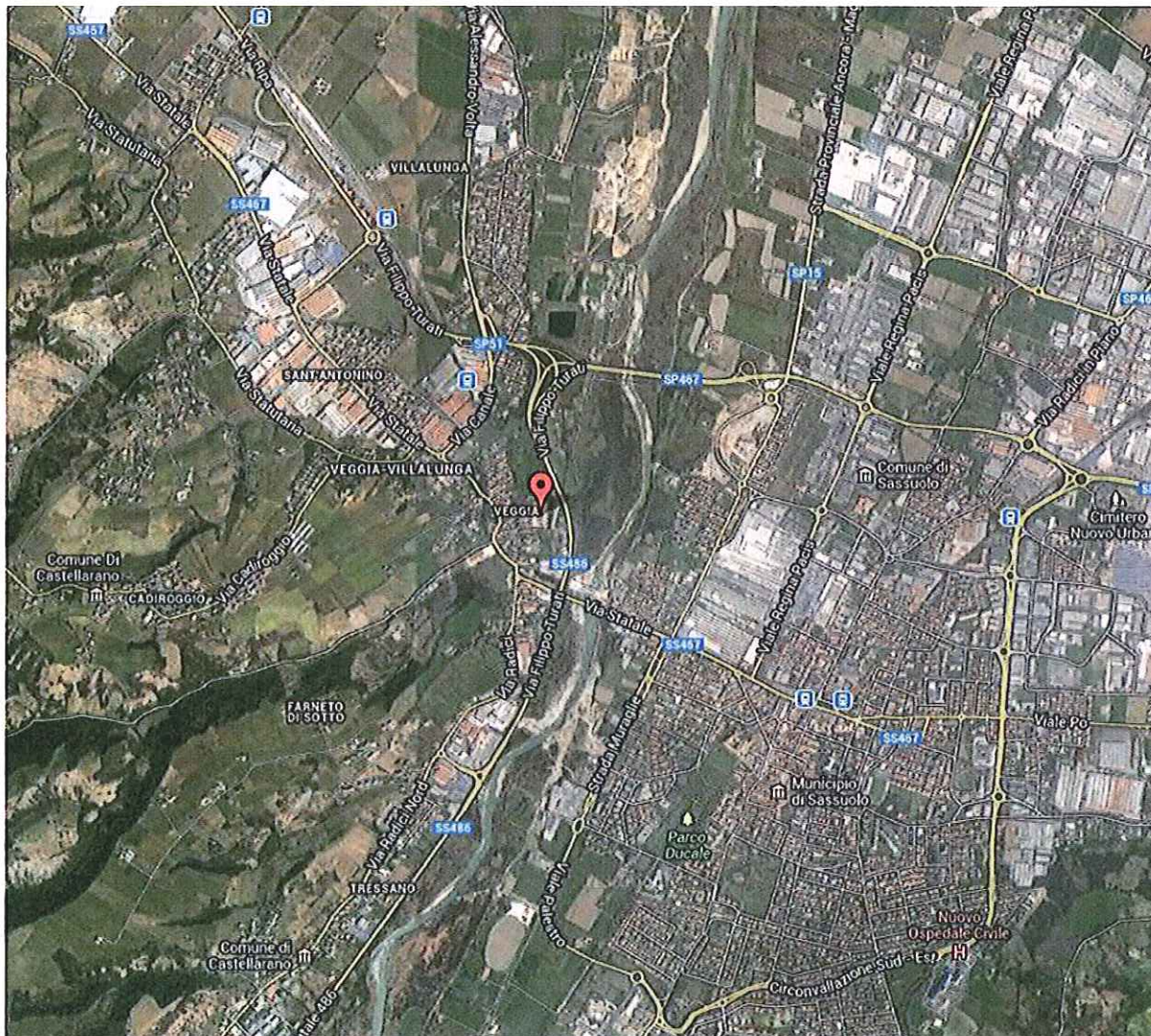


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

Dati generali

Descrizione	Zona di Trasformazione ZT6 - Via Mulino - La Veggia di
Casalgrande (RE)	
Committente	Immobiliare IL MULINO - Castalnovo Monti (RE)
Cantiere	Via Mulino - La Veggia di Casalgrande (RE)
Data della prova	d.C./09/2013
Via	Via Mulino La Veggia Casalgrande RE
Latitudine	44.5528641[°]
Longitudine	10.7671156[°]

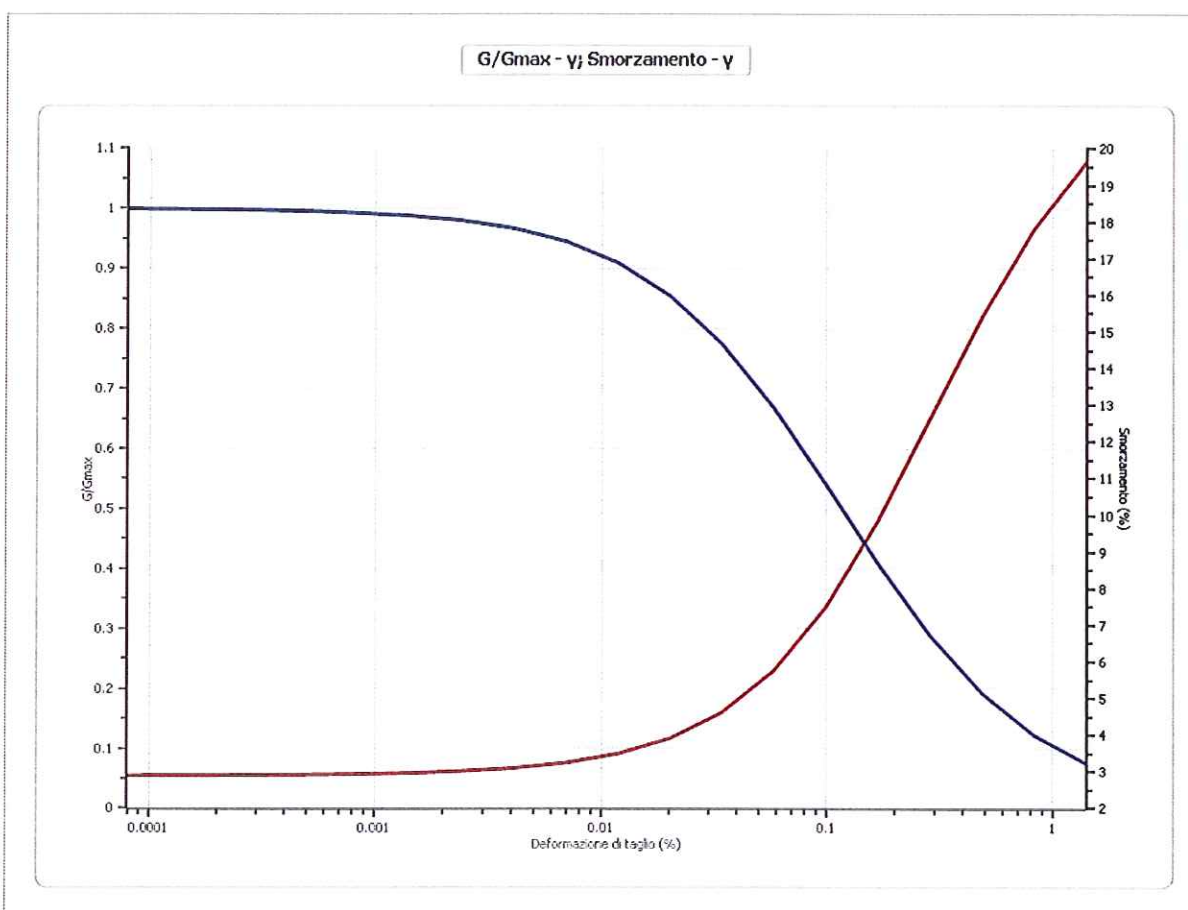


Terreni

Lombardia - Argille limose

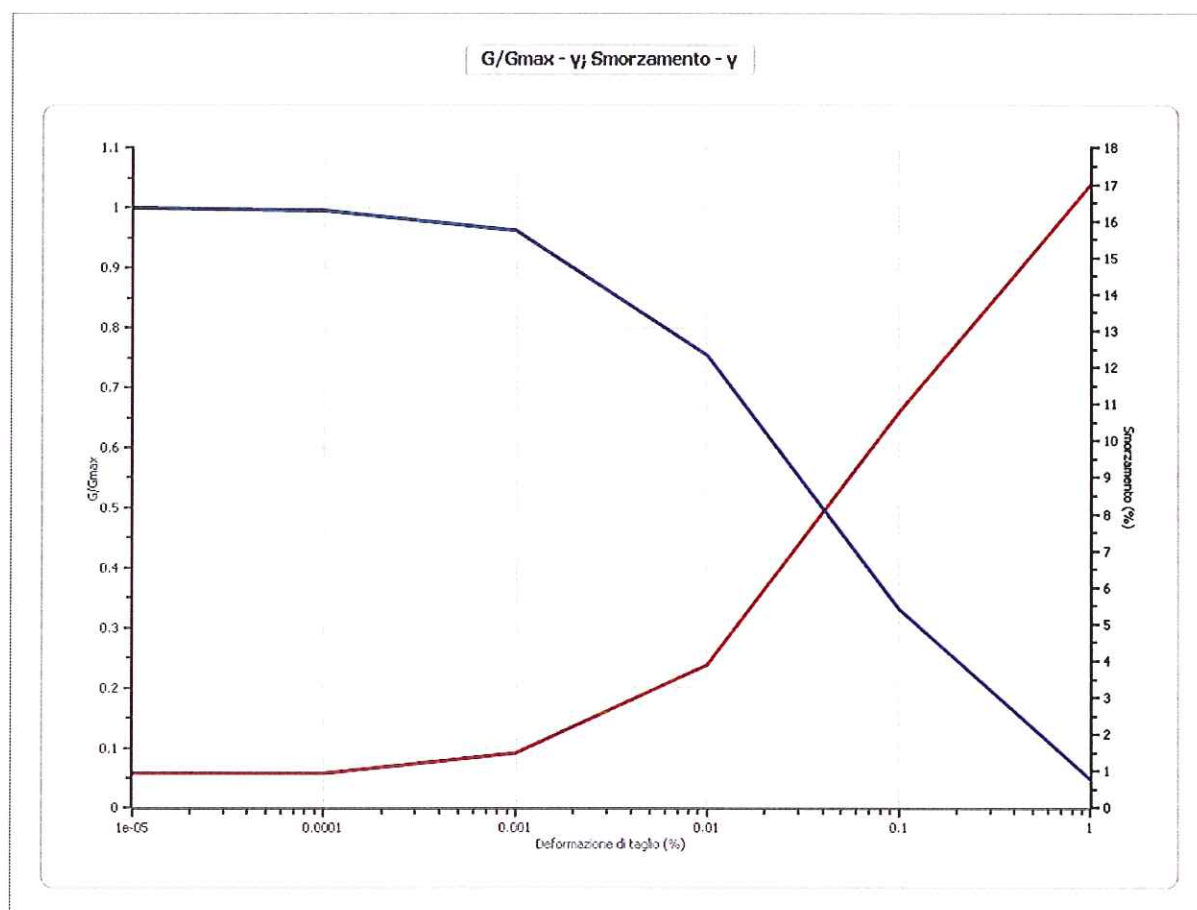
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	2.891
0.0001	0.9992	0.0001	2.8959
0.0002	0.9986	0.0002	2.8994
0.0003	0.9976	0.0003	2.9053
0.0005	0.9959	0.0005	2.9154
0.0008	0.9931	0.0008	2.9326

0.0014	0.9883	0.0014	2.962
0.0024	0.9802	0.0024	3.012
0.0041	0.9667	0.0041	3.0975
0.007	0.9445	0.007	3.2433
0.0119	0.9089	0.0119	3.4917
0.0202	0.854	0.0202	3.9125
0.0343	0.7742	0.0343	4.616
0.0583	0.6677	0.0583	5.7552
0.099	0.5408	0.099	7.4855
0.1684	0.4084	0.1684	9.848
0.2862	0.2881	0.2862	12.6362
0.4866	0.1918	0.4866	15.4287
0.8272	0.1221	0.8272	17.8243
1.4063	0.0754	1.4063	19.6357



Lombardia - Ghiaie

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00001	1.000	0.00001	0.9488
0.0001	0.996	0.0001	0.9488
0.001	0.9624	0.001	1.4981
0.010	0.754	0.010	3.8938
0.100	0.3311	0.100	10.7935
1.000	0.0476	1.000	17.0087



Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	3.2	Lombardia - Argille limose	0	37.96	--	17.0	148.0	11.5
2		3.2	40.0	Lombardia - Ghiaie	0	310.09	--	20.0	390.0	423.0
3		43.2	50.0	Lombardia - Argille limose	0	237.26	--	19.0	350.0	1052.8
4		oo	--	Smorzamento costante	0	849.63	--	21.0	630.0	1282.5

Strato con falda:

2

Strato rilevamento accelerogramma:

4 Affiorante

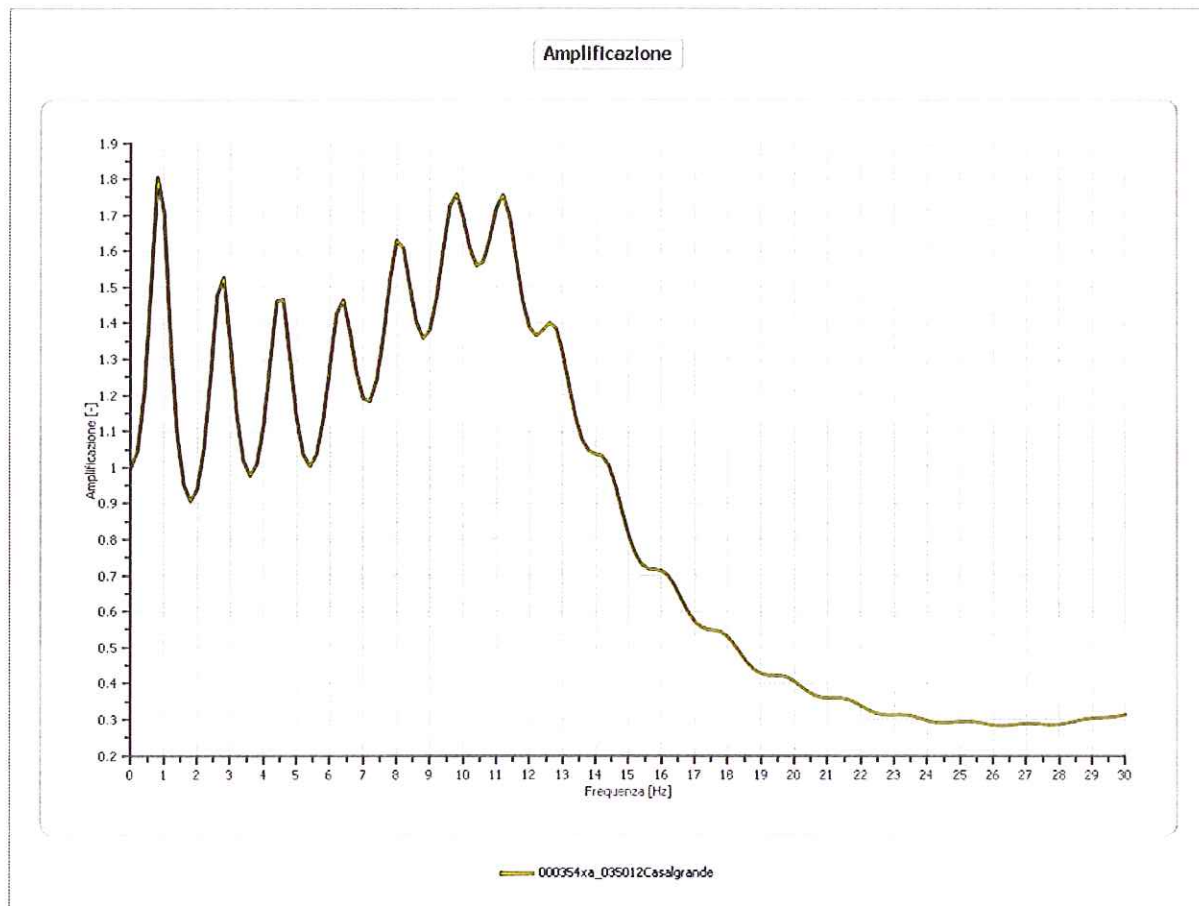
Elaborazione

Numero di iterazioni 8
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza 1.96 E-04

File 000354xa_035012Casalgrande:

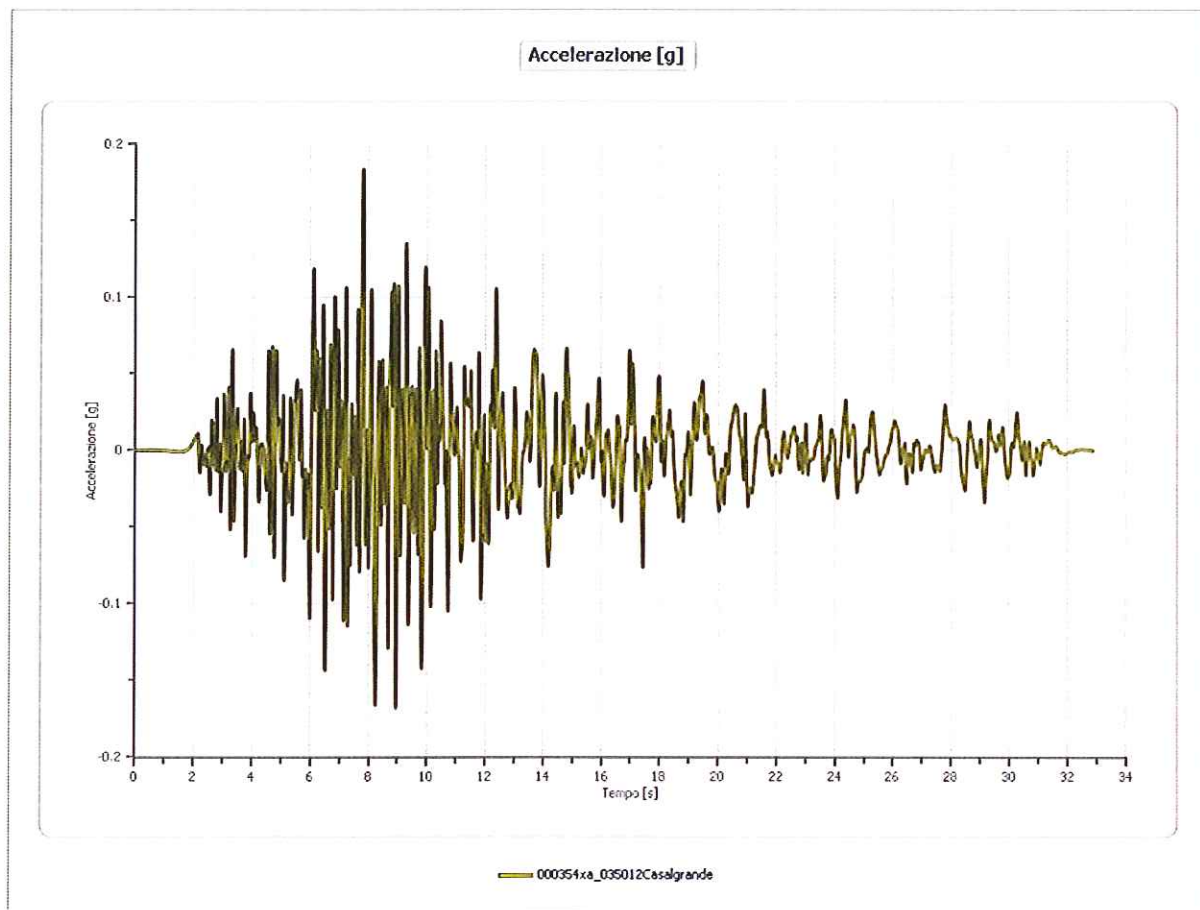
Amplificazione

Strato iniziale 4 Affiorante
Strato finale 1 Affiorante



Accelerazione

Strato 1 Affiorante
Pga 0.183 [g]
Pga0 0.162 [g]
Pga/Pga0 1.131
Accelerazione massima 0.183 [g]
Periodo accelerazione massima 7.815 [s]



Velocità

Strato

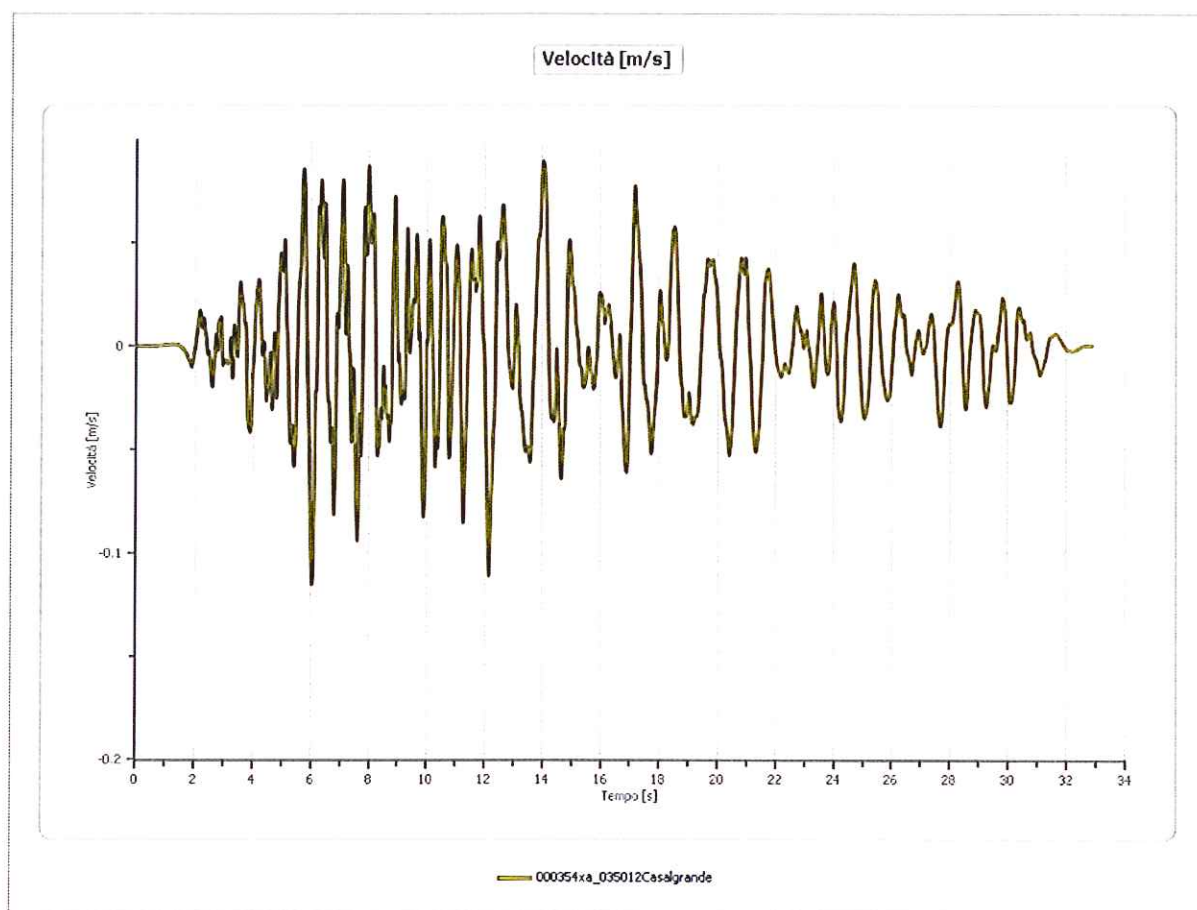
1 Affiorante

Velocità massima

0.115 [m/s]

Periodo velocità massima

6.040 [s]



Spostamento

Strato

1 Affiorante

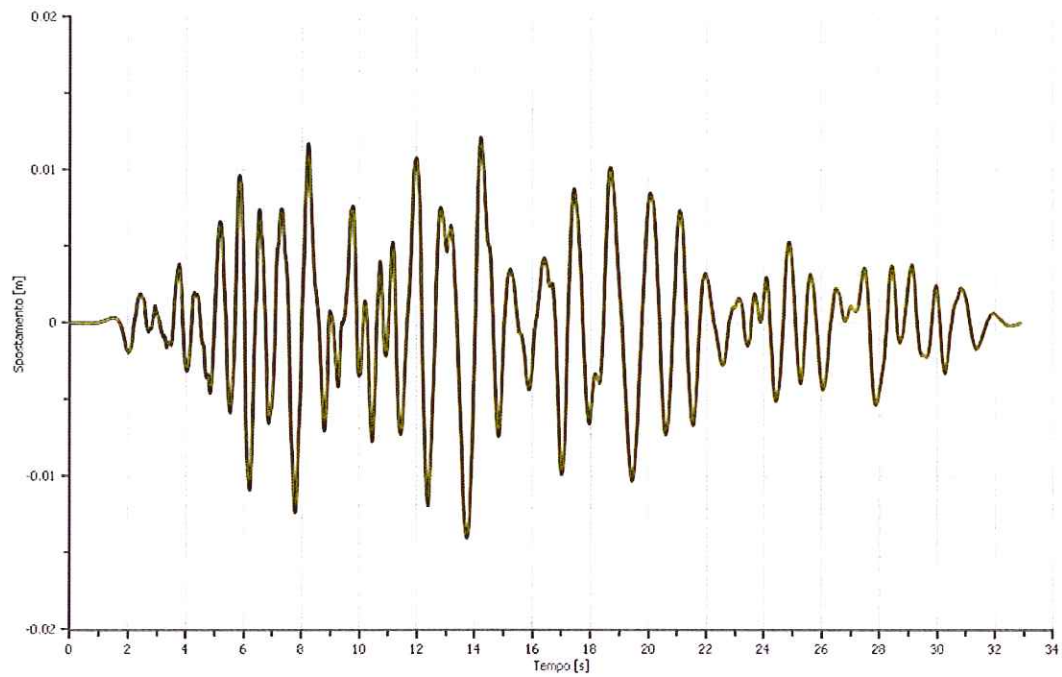
Spostamento massimo

0.014 [m]

Periodo spostamento massimo

13.730 [s]

Spostamento [m]

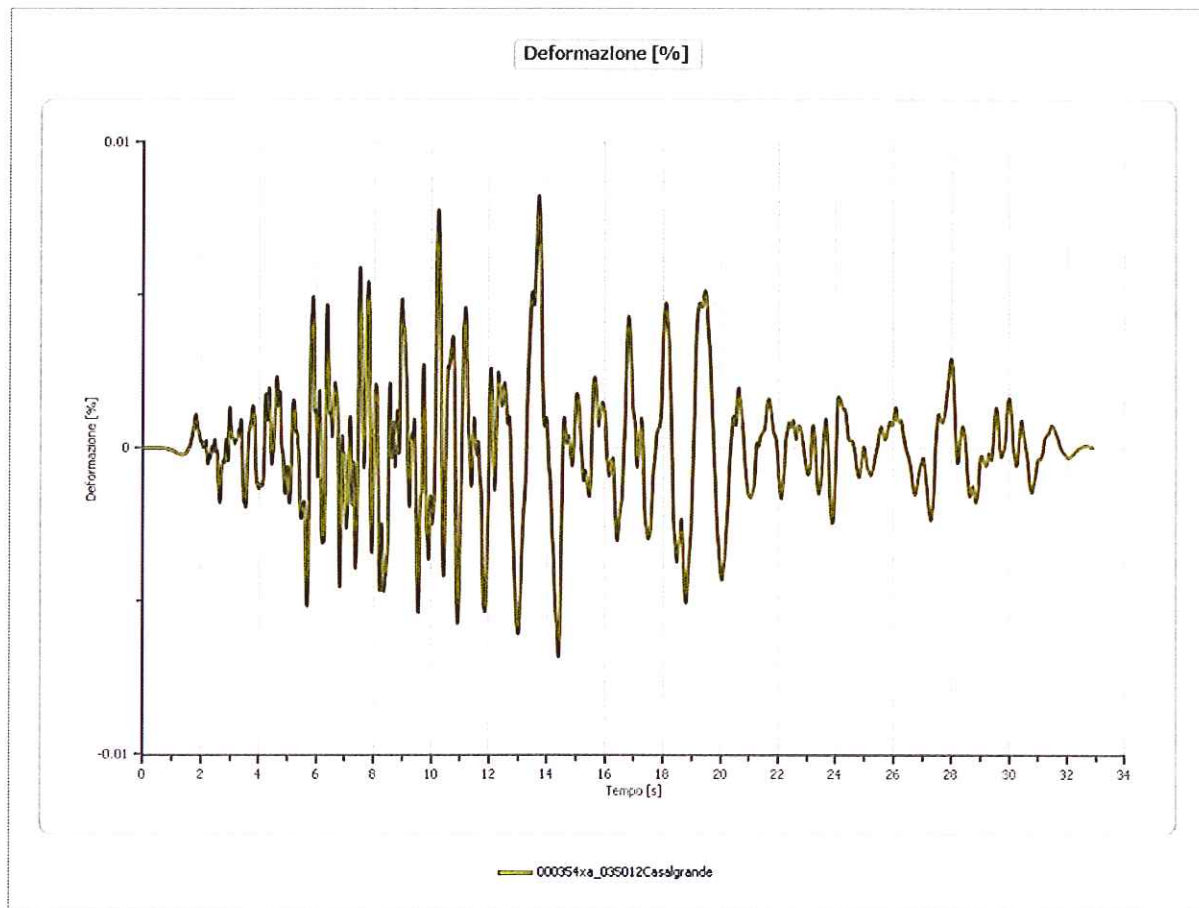


000354xa_035012Casalgrande

Deformazione

Numero di strati

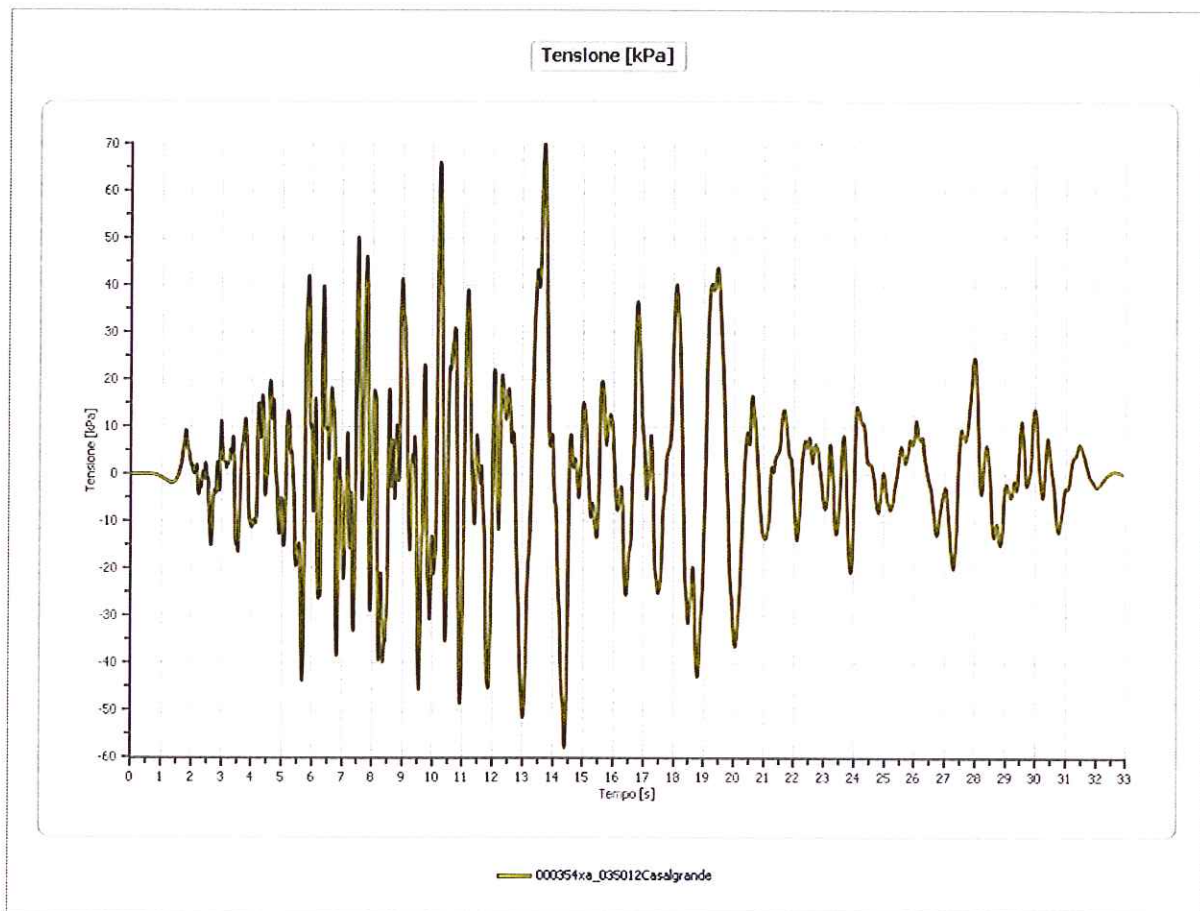
4



Tensione

Numero di strati

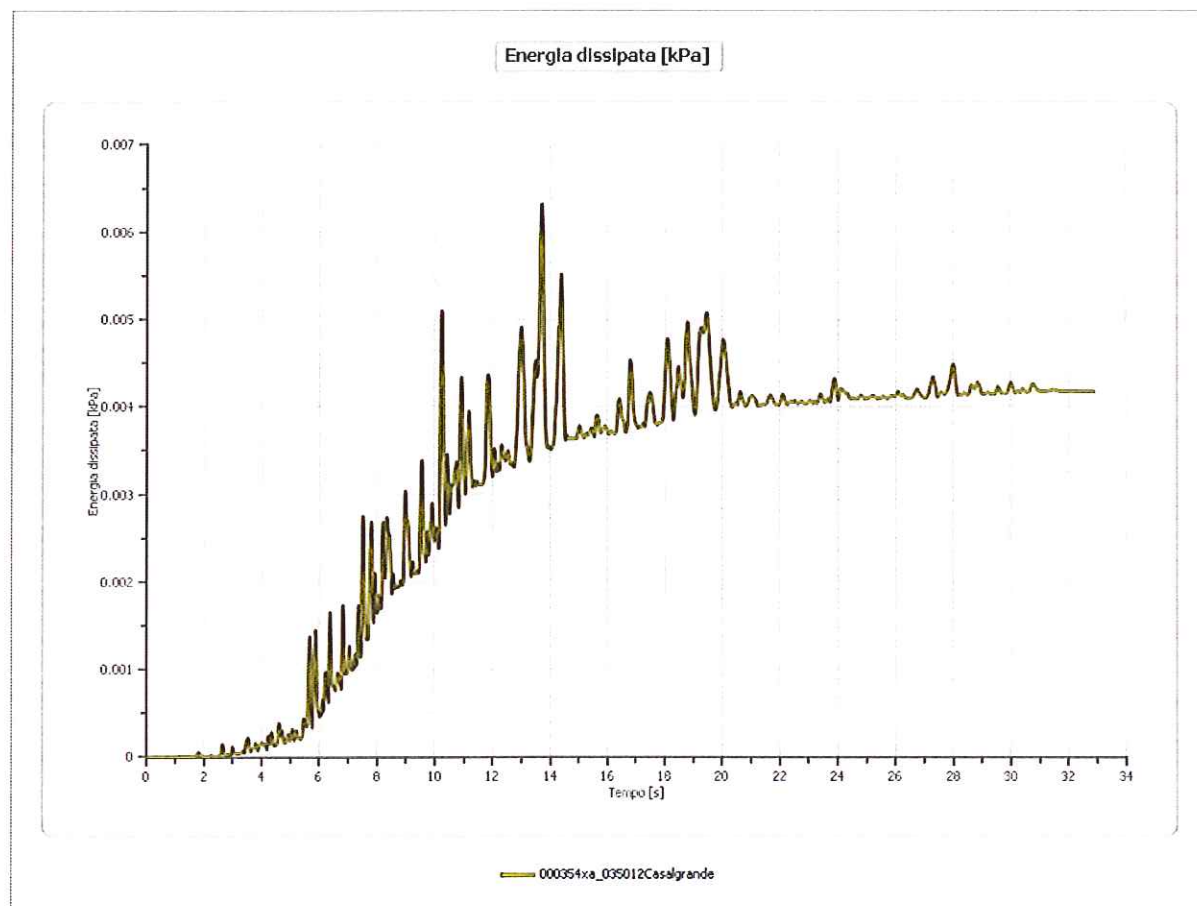
4



Energia dissipata

Numero di strati

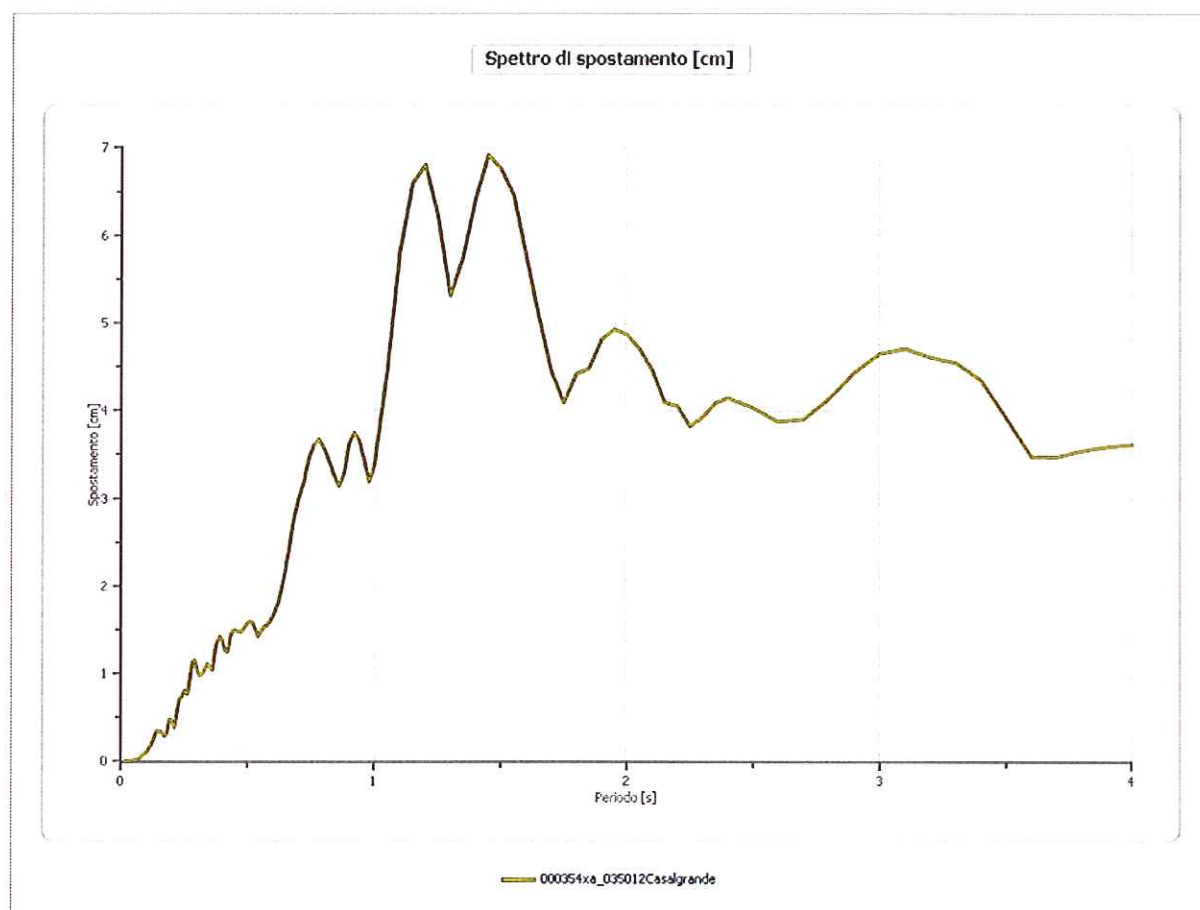
4



Spettri

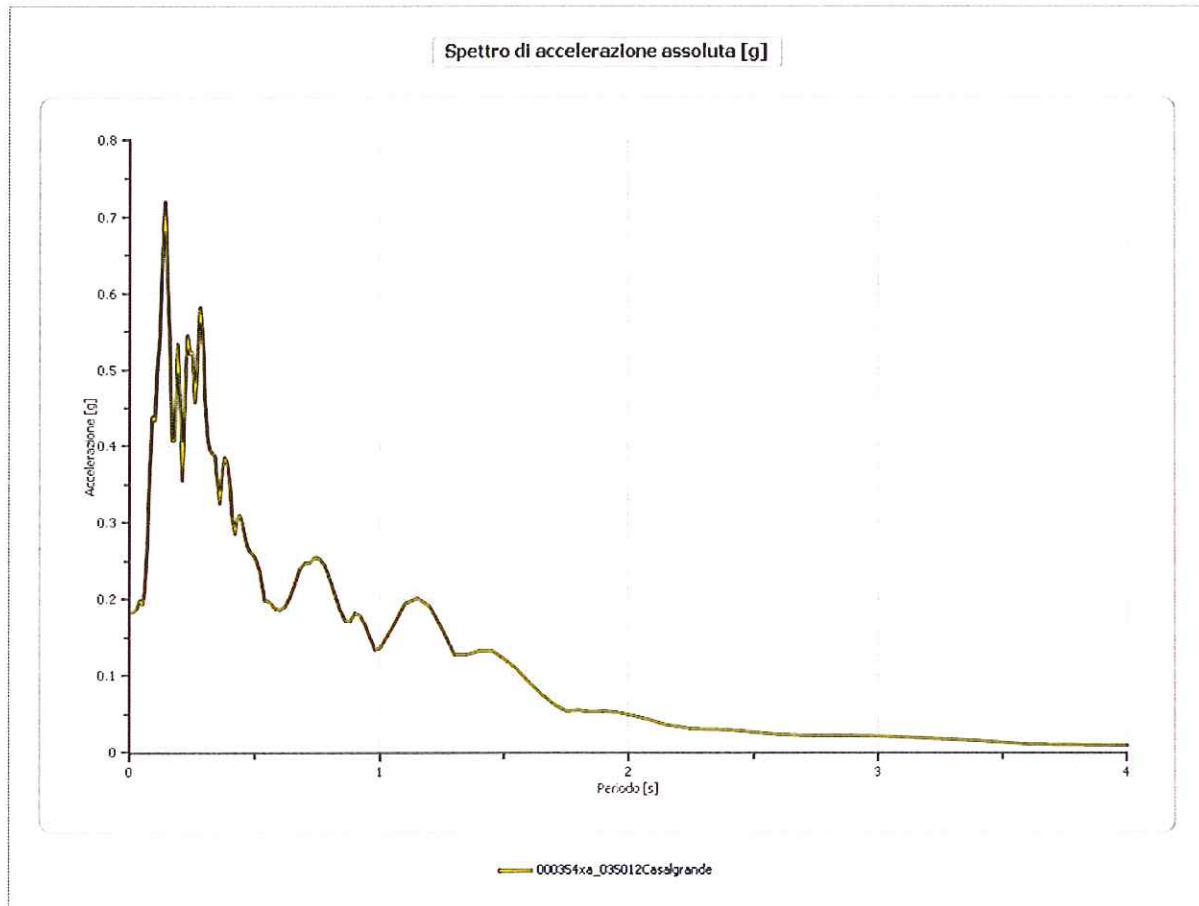
Spostamento

Spostamento massimo	6.917 [cm]
Periodo massimo spostamento	1.450 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	0.719 [g]
Periodo accelerazione massima	0.140 [s]



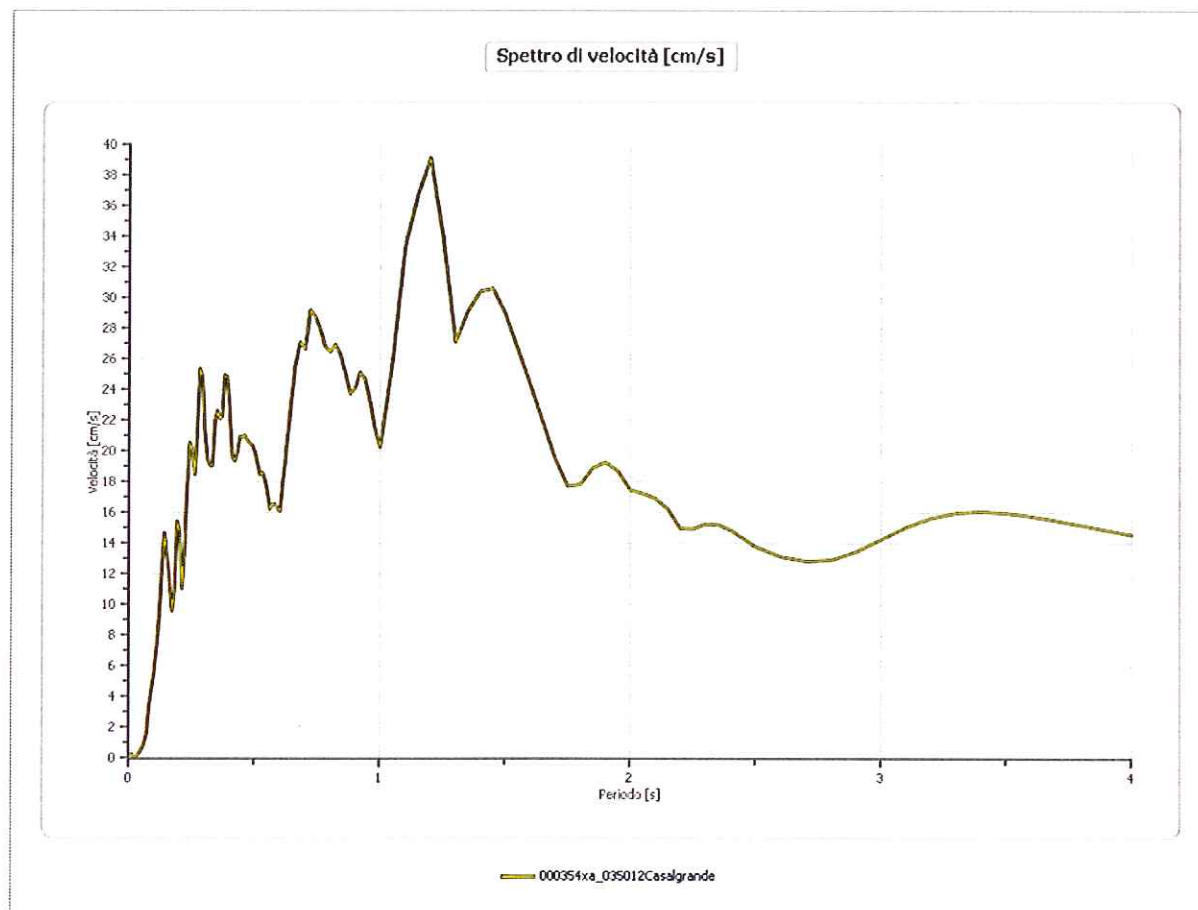
Velocità

Velocità massima

0.719 [cm/s]

Periodo massima velocità

1.200 [s]



File 000046xa_035012Casalgrande:

Amplificazione

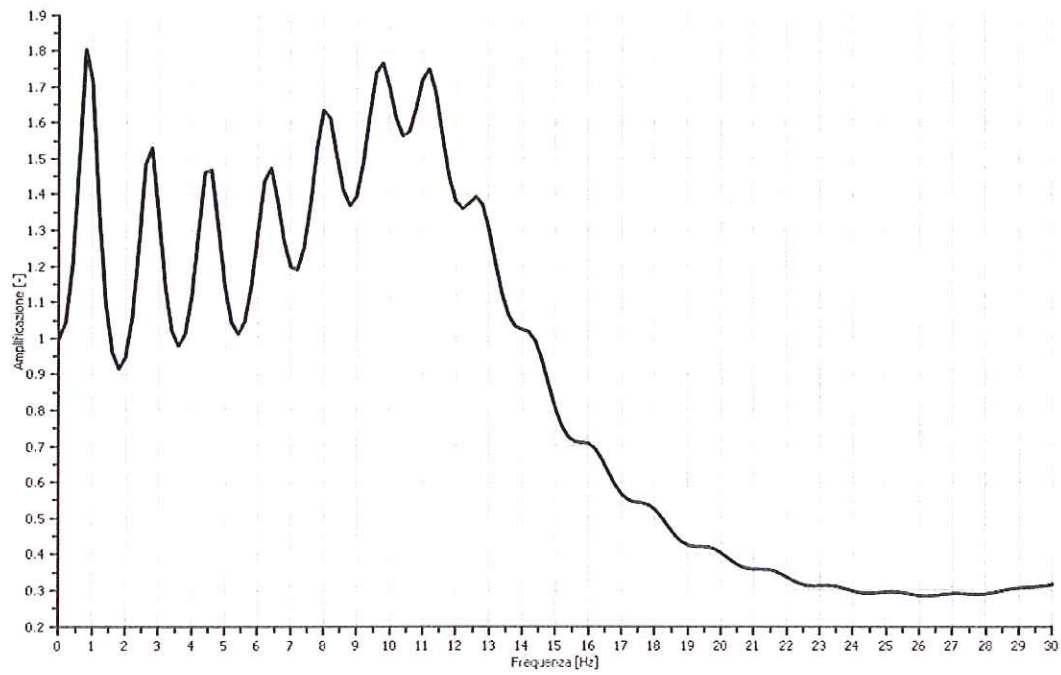
Strato iniziale

4 Affiorante

Strato finale

1 Affiorante

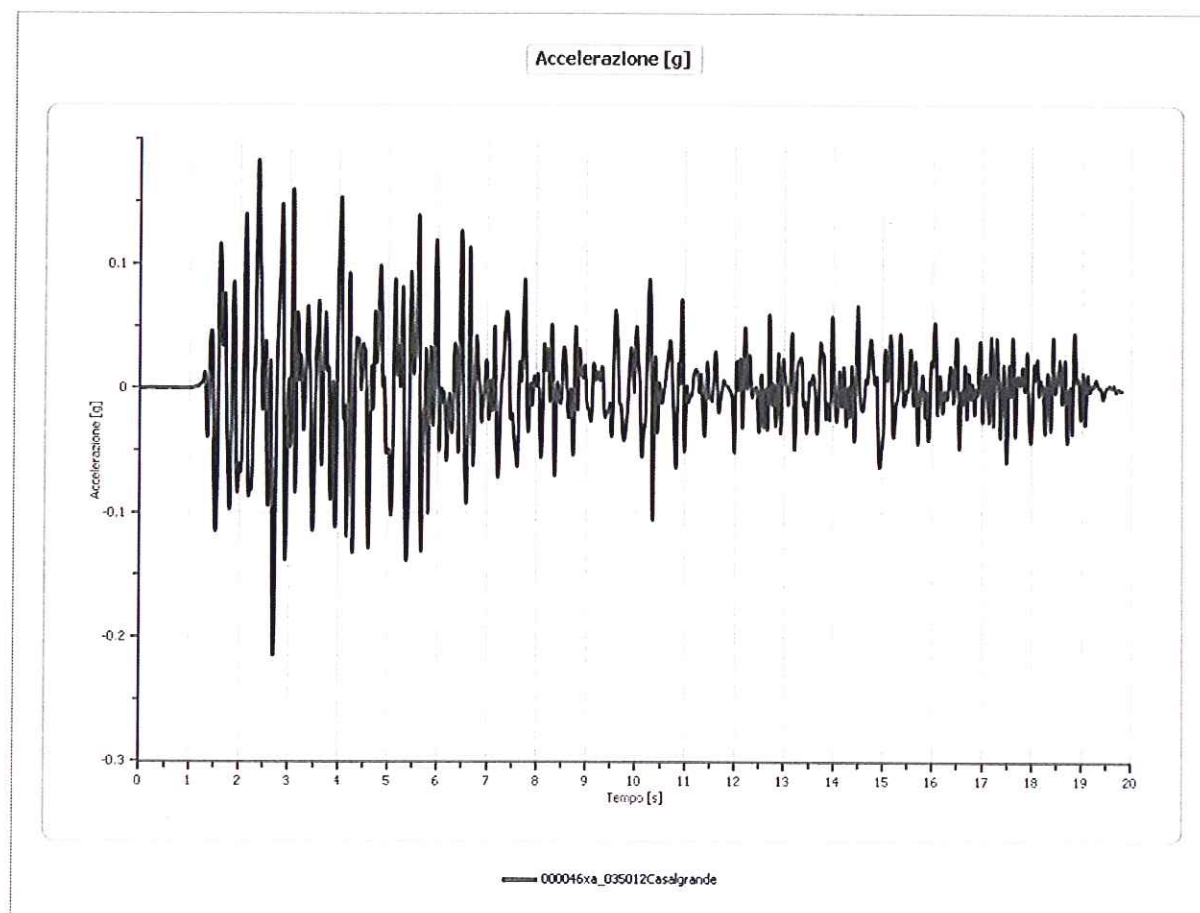
Amplificazione



000046ce_035012Cesalgrande

Accelerazione

Strato	1 Affiorante
Pga	0.215 [g]
Pga0	0.162 [g]
Pga/Pga0	1.324
Accelerazione massima	0.215 [g]
Periodo accelerazione massima	2.695 [s]



Velocità

Strato

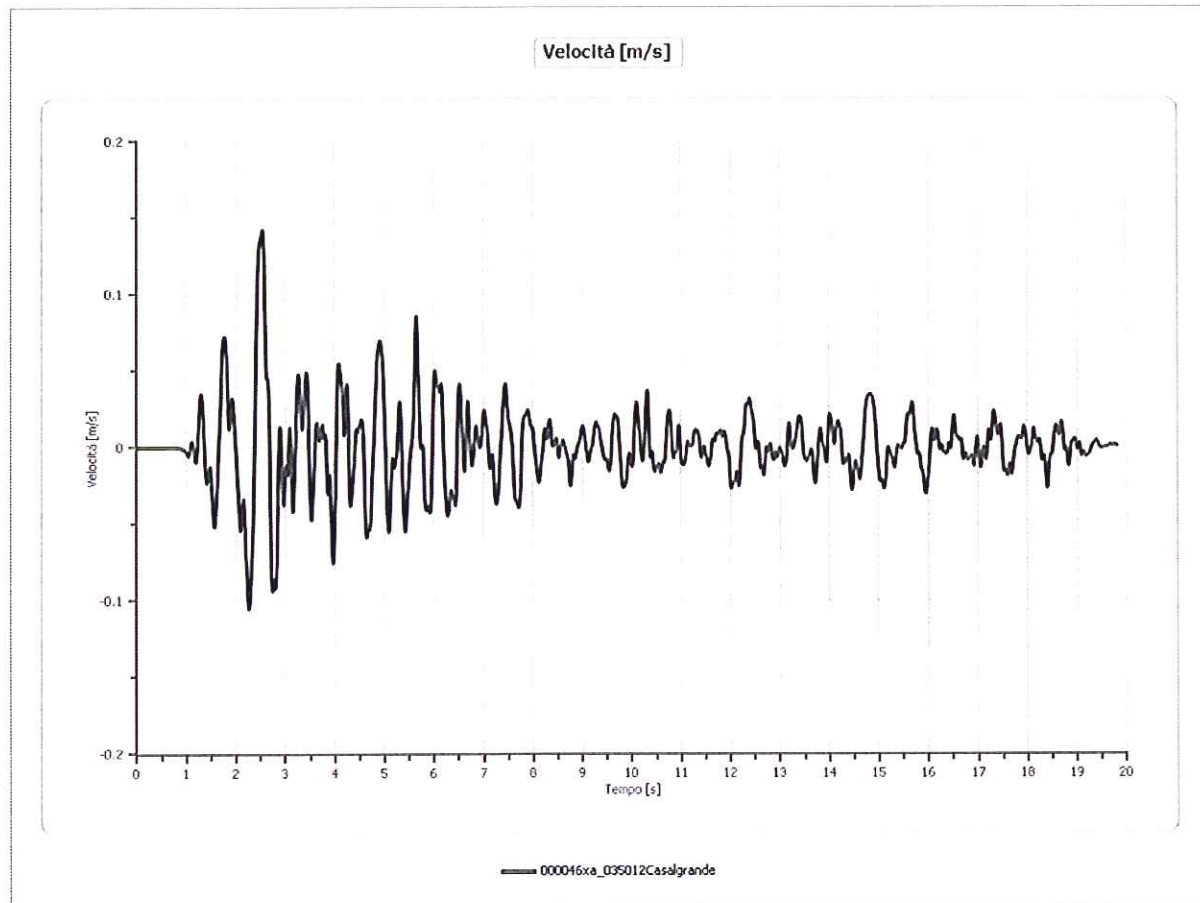
1 Affiorante

Velocità massima

0.142 [m/s]

Periodo velocità massima

2.535 [s]



Spostamento

Strato

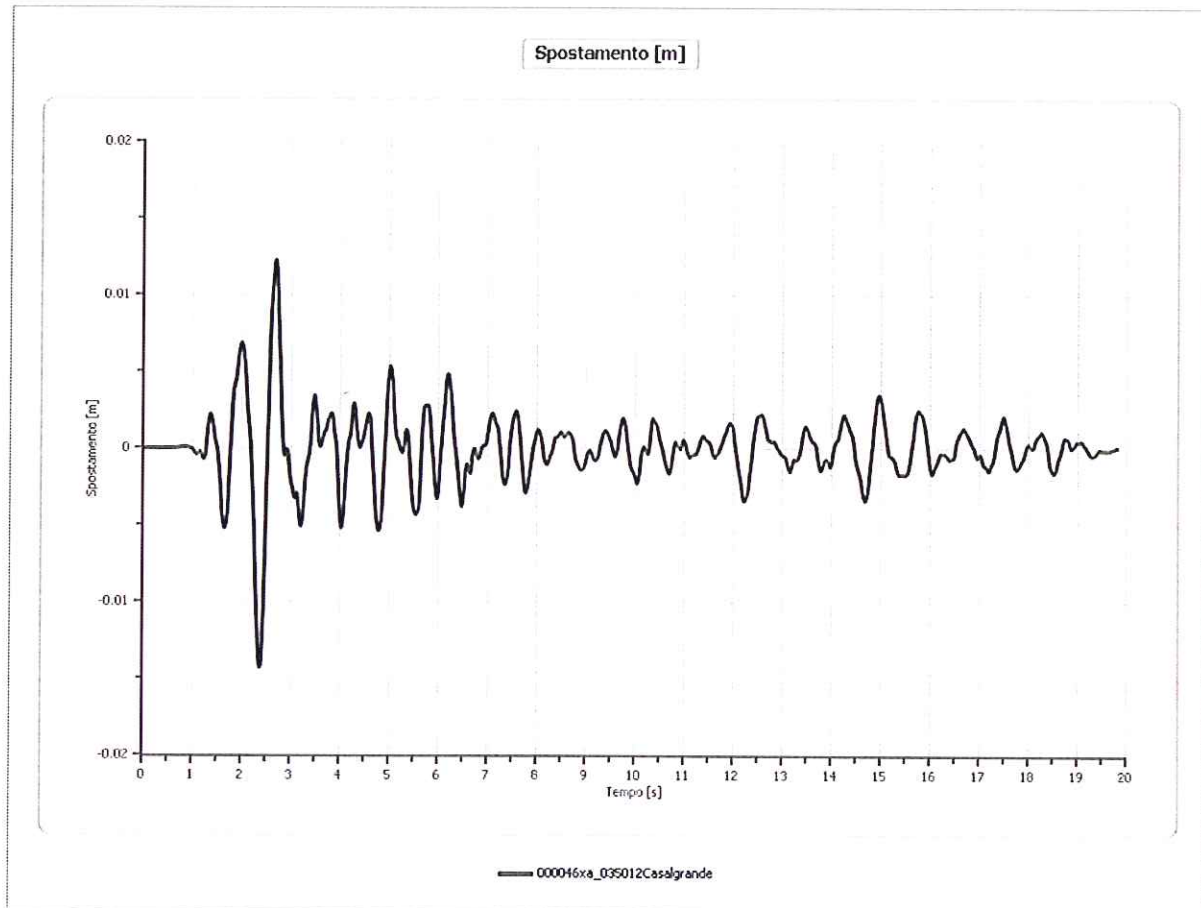
1 Affiorante

Spostamento massimo

0.014 [m]

Periodo spostamento massimo

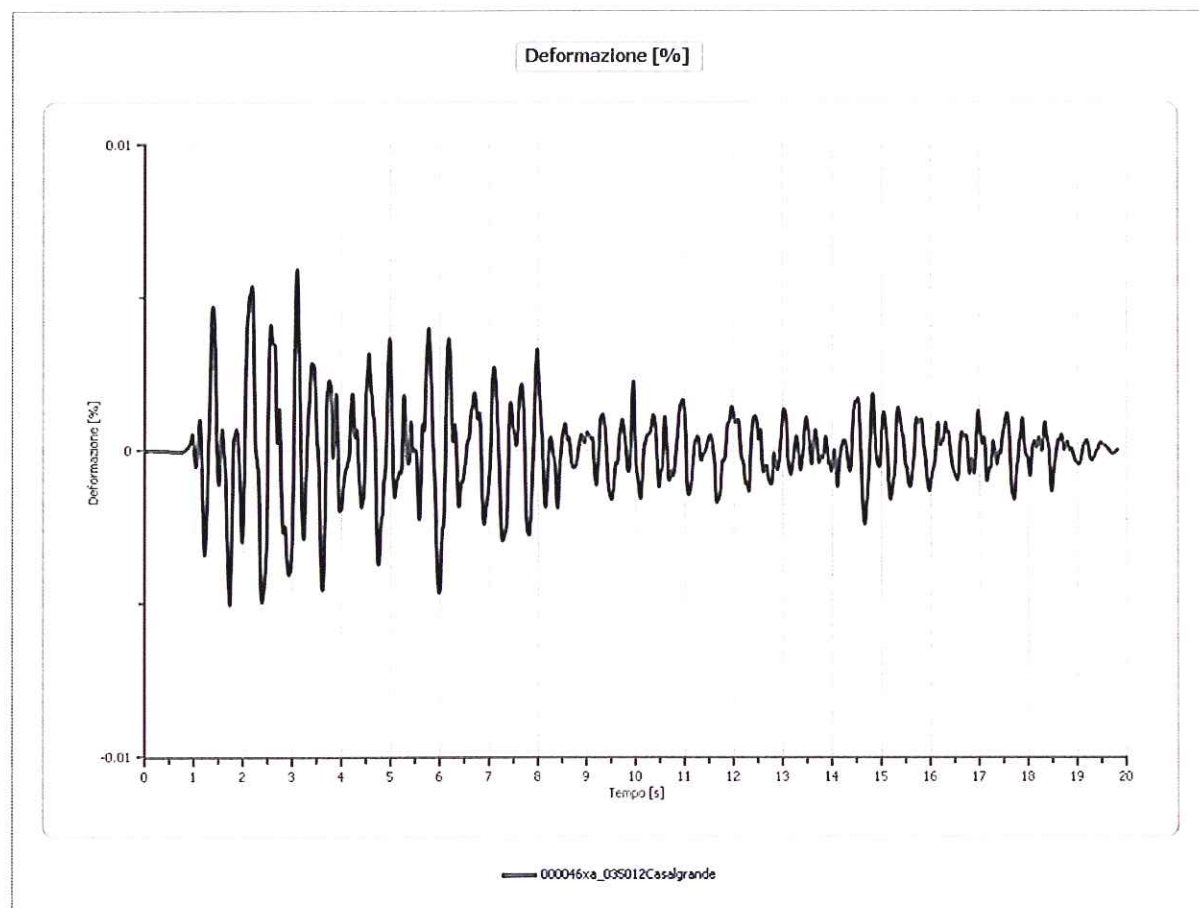
2.380 [s]



Deformazione

Numero di strati

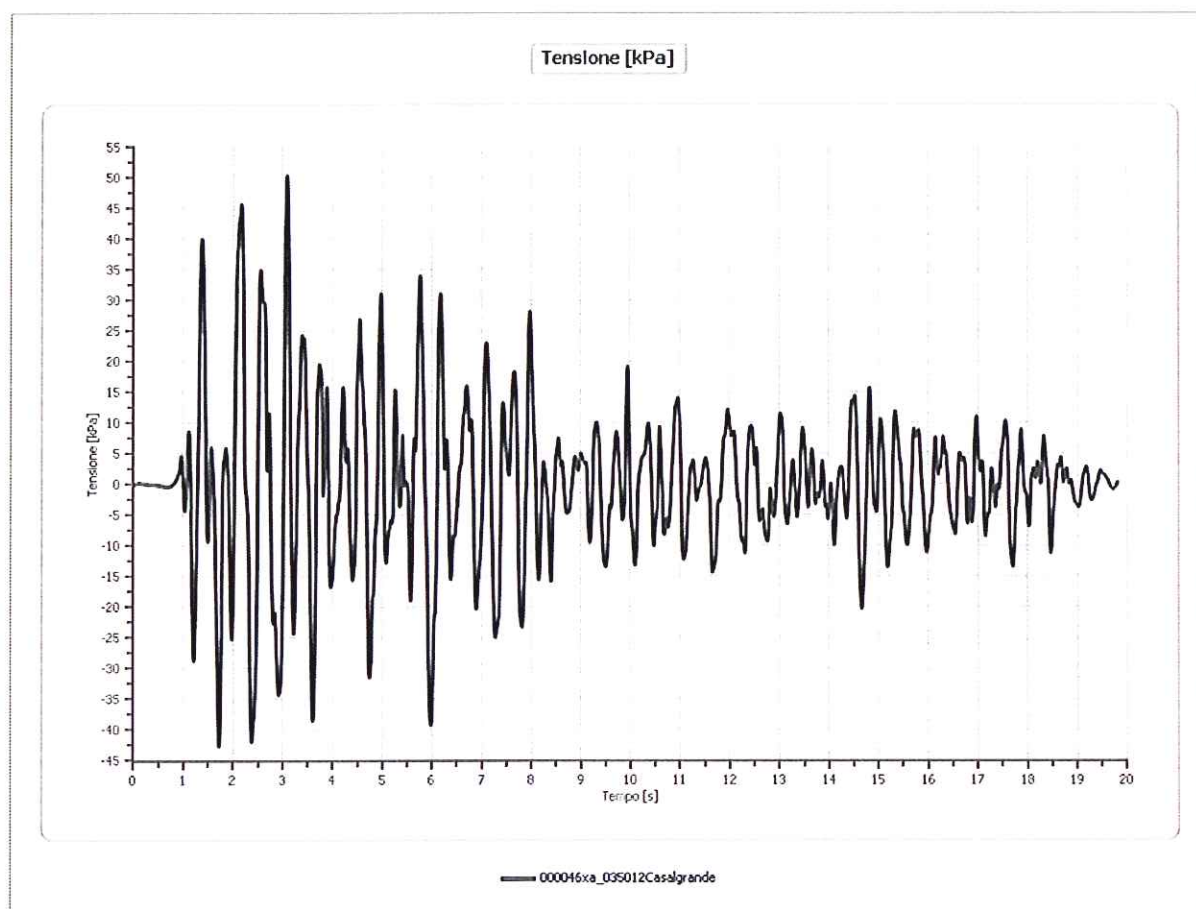
4



Tensione

Numero di strati

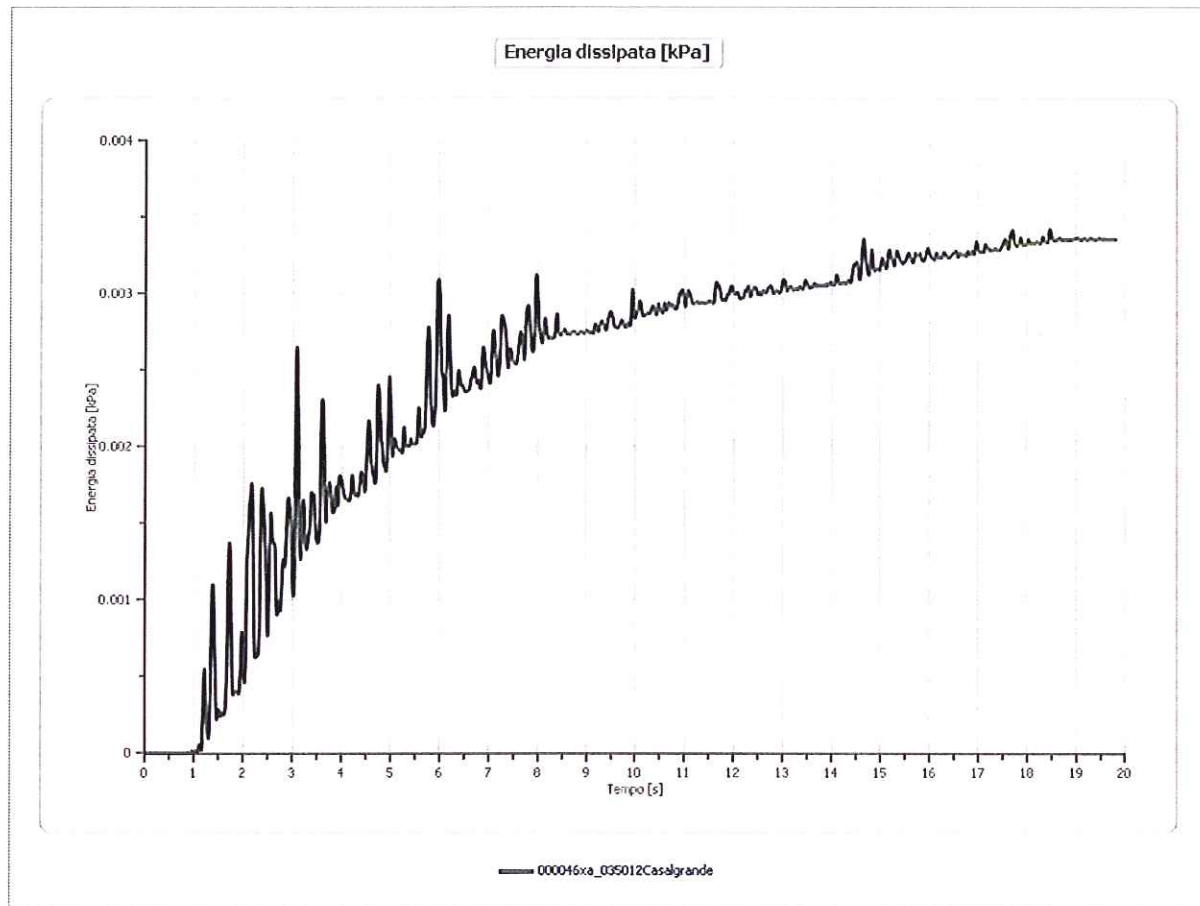
4



Energia dissipata

Numero di strati

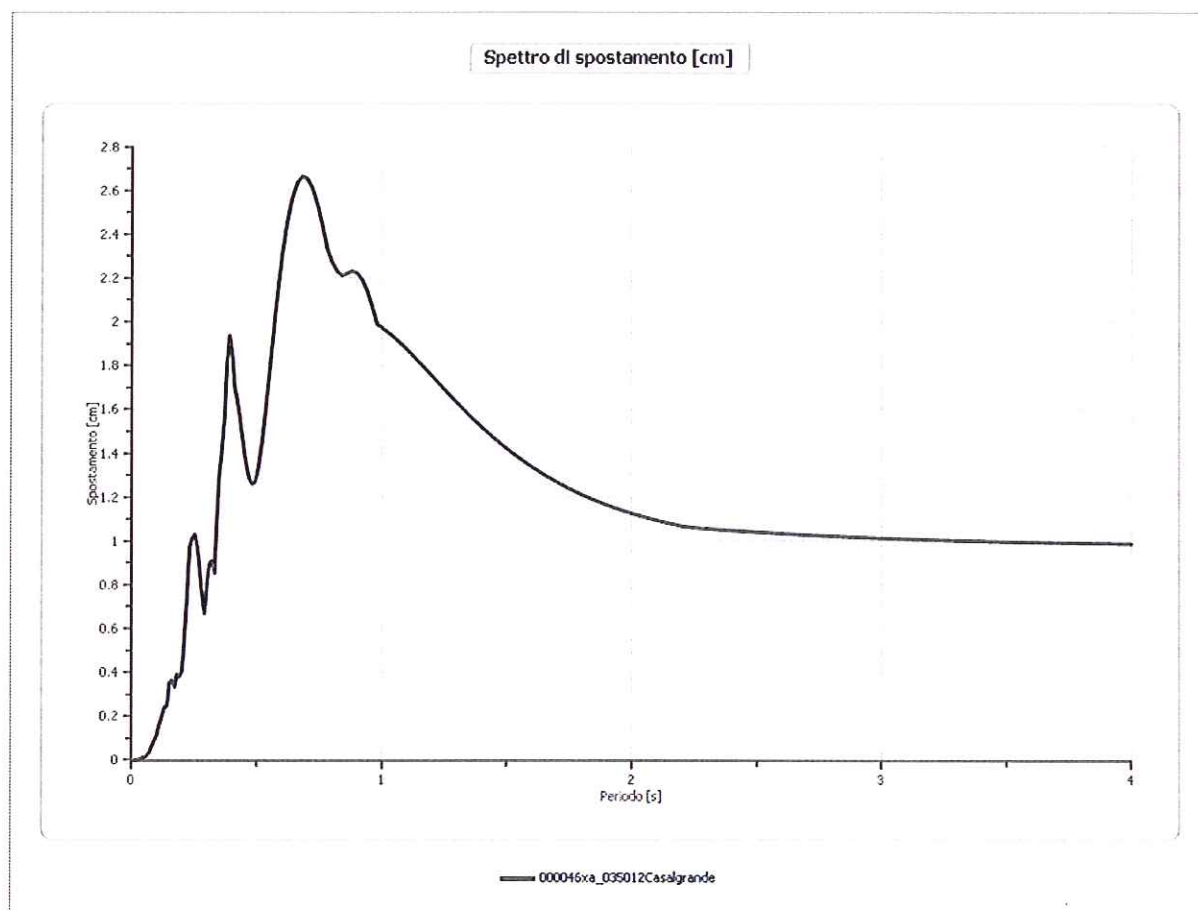
4



Spettri

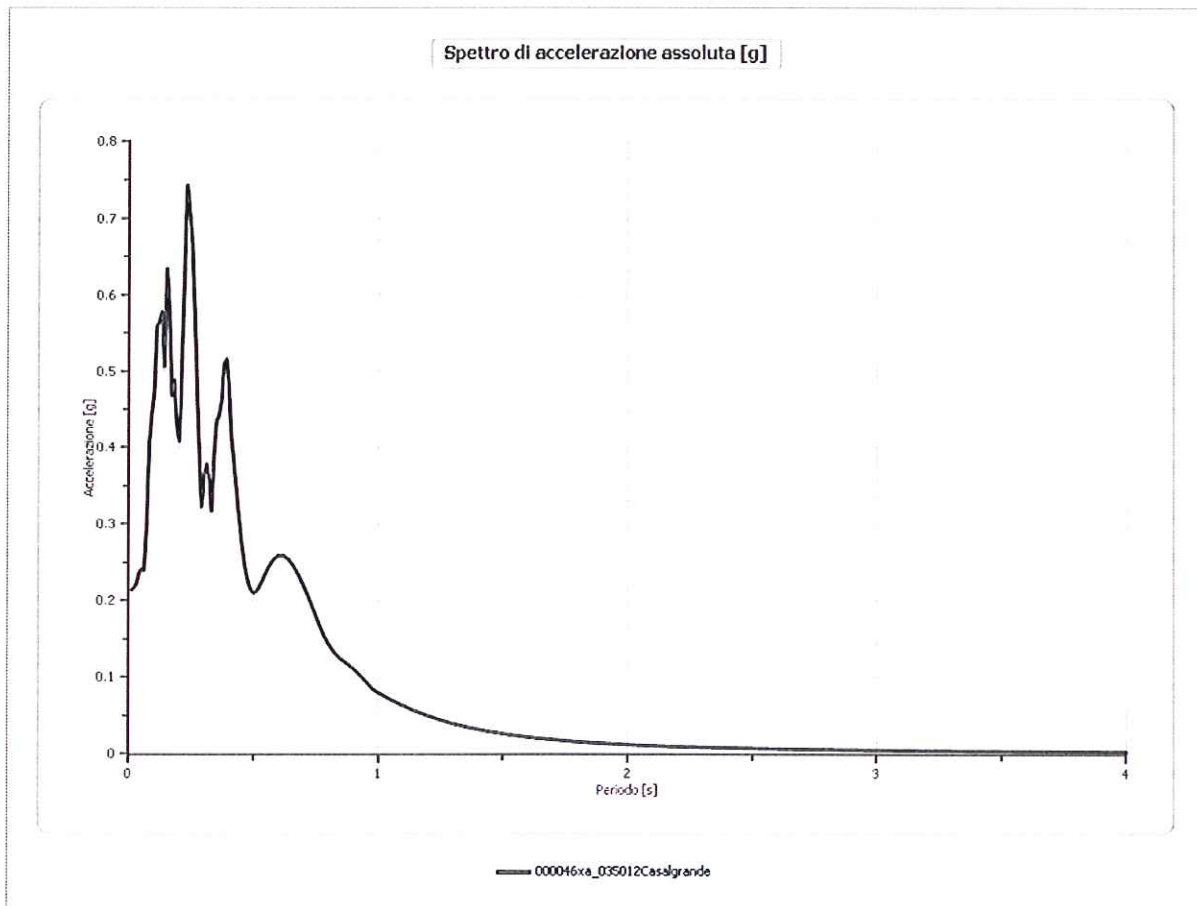
Spostamento

Spostamento massimo	2.663 [cm]
Periodo massimo spostamento	0.680 [s]



Accelerazione

Accelerazione massima	0.743 [g]
Periodo accelerazione massima	0.230 [s]



Velocità

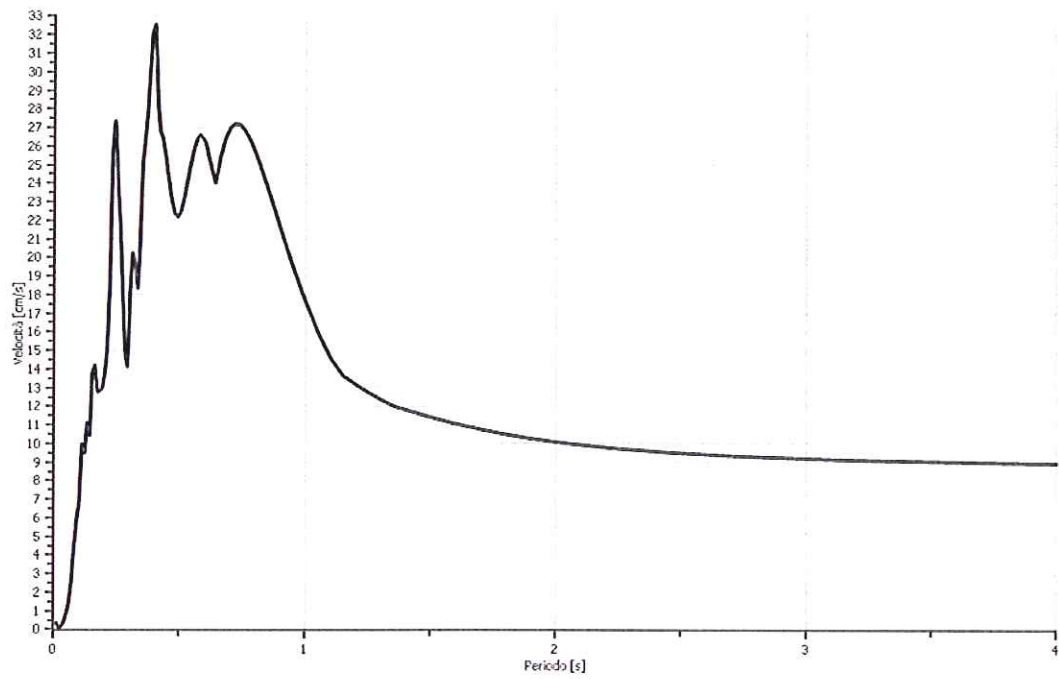
Velocità massima

0.743 [cm/s]

Periodo massima velocità

0.400 [s]

Spettro di velocità [cm/s]

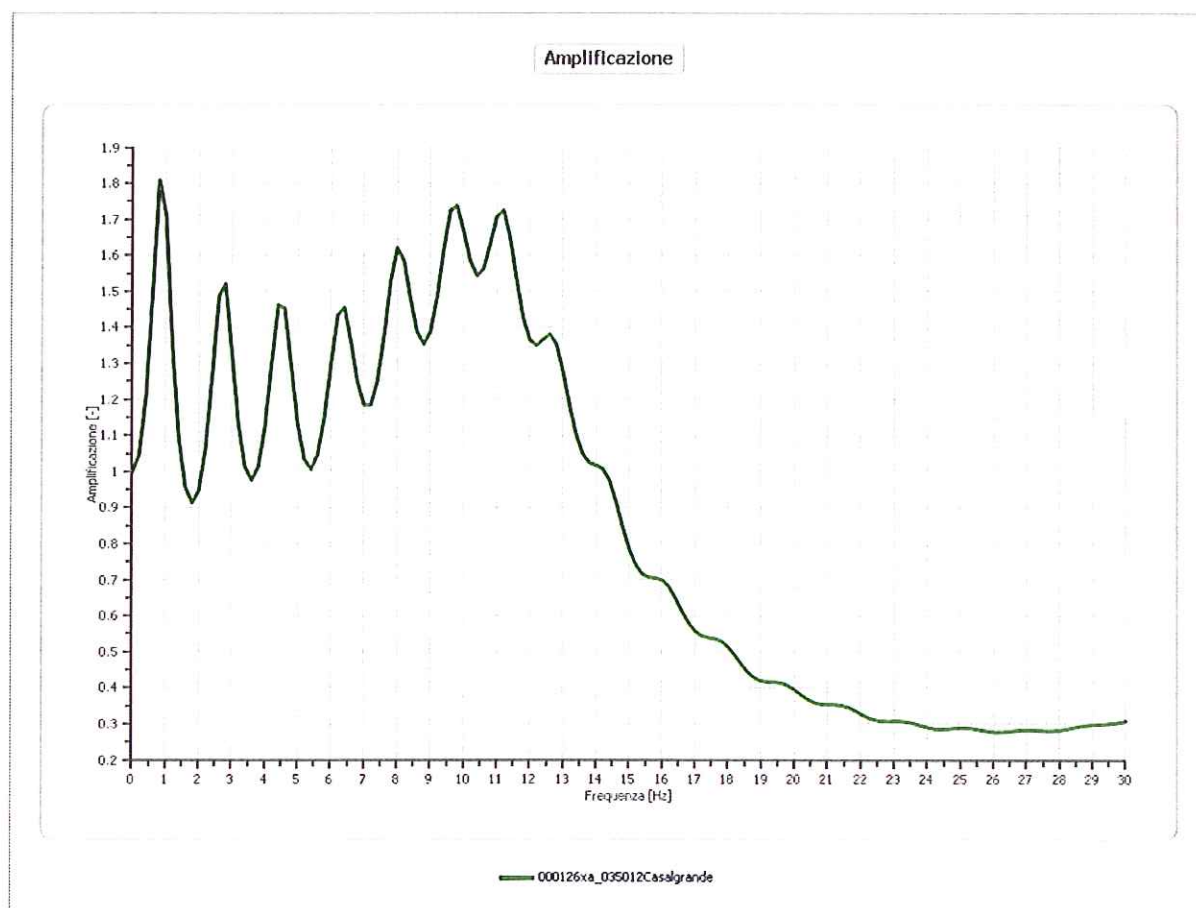


File 000126xa_035012Casalgrande:

Amplificazione

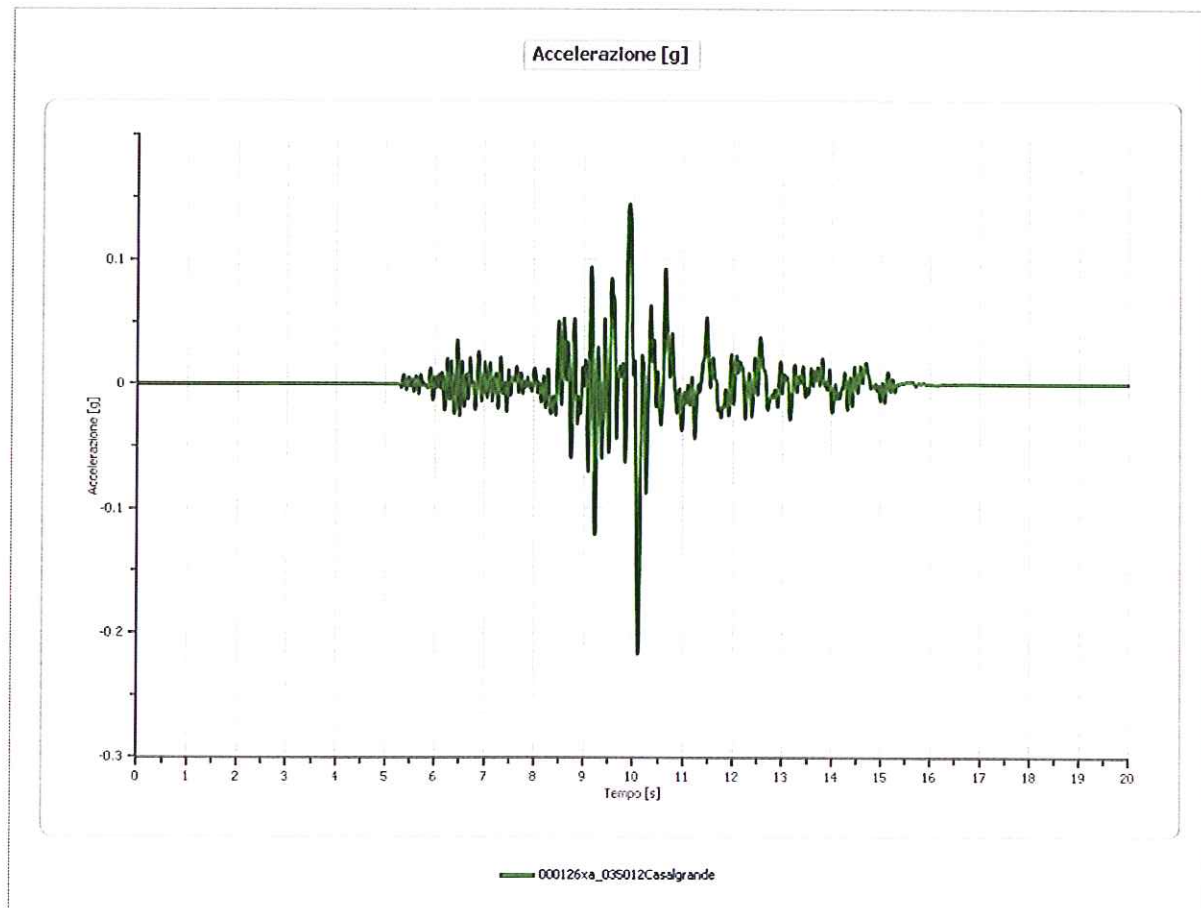
Strato iniziale
Strato finale

4 Affiorante
1 Affiorante



Accelerazione

Strato	1 Affiorante
Pga	0.217 [g]
Pga0	0.162 [g]
Pga/Pga0	1.337
Accelerazione massima	0.217 [g]
Periodo accelerazione massima	10.095 [s]



Velocità

Strato

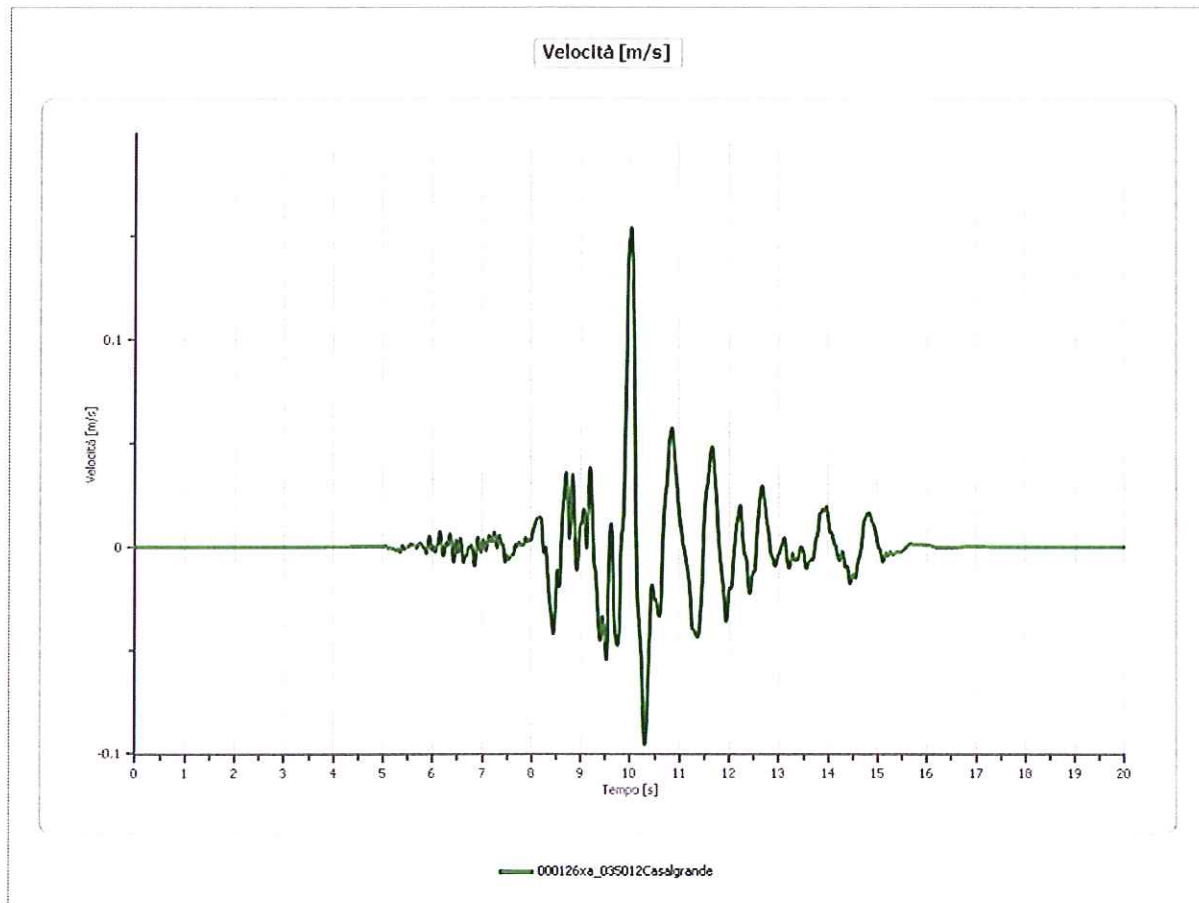
1 Affiorante

Velocità massima

0.154 [m/s]

Periodo velocità massima

10.030 [s]



Spostamento

Strato

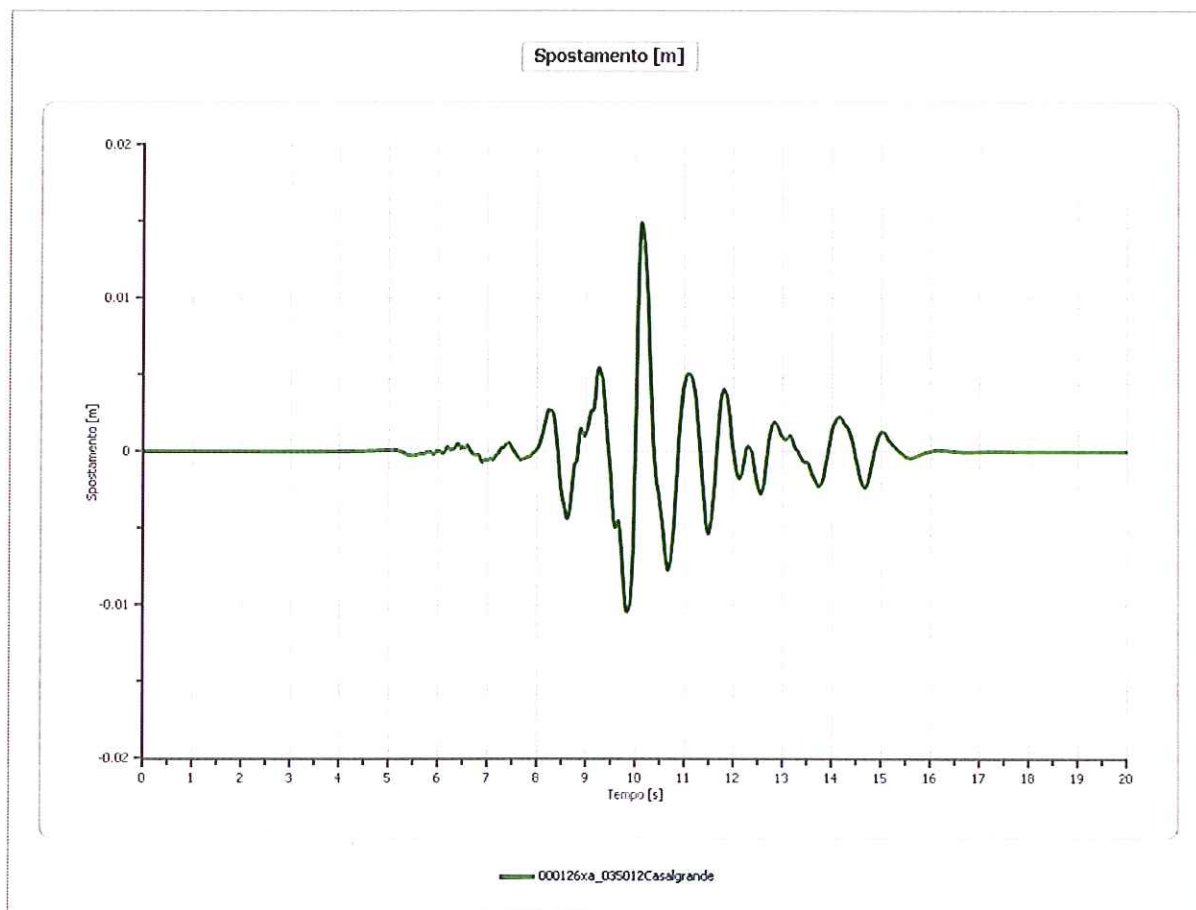
1 Affiorante

Spostamento massimo

0.015 [m]

Periodo spostamento massimo

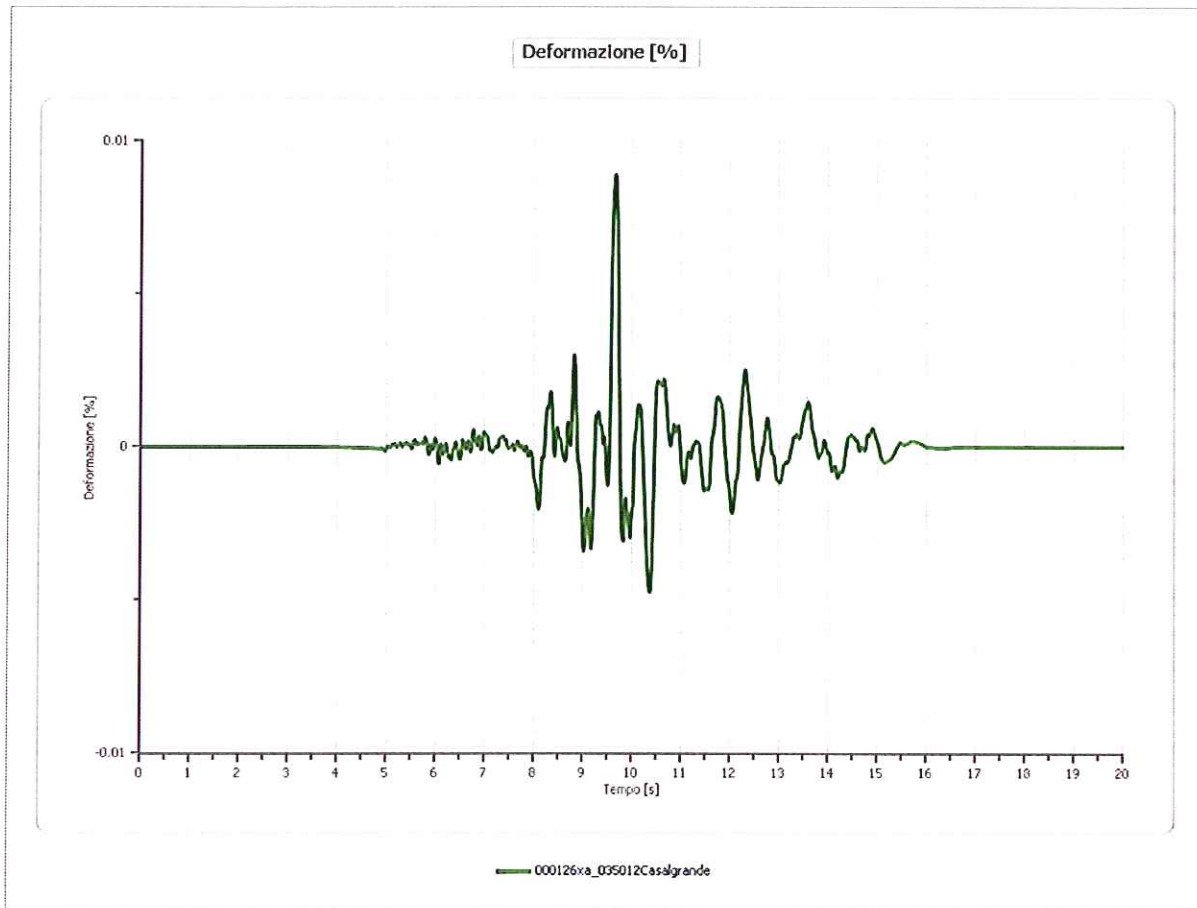
10.130 [s]



Deformazione

Numero di strati

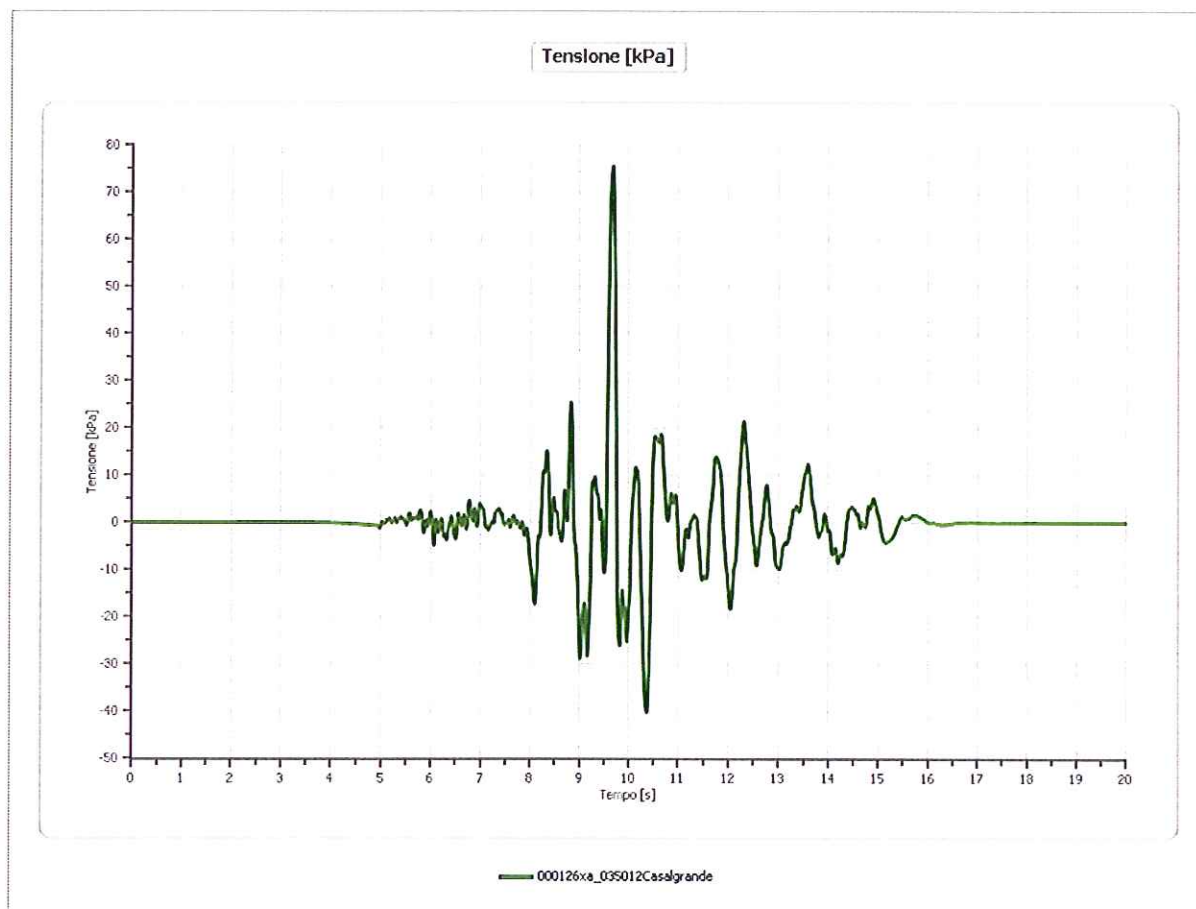
4



Tensione

Numero di strati

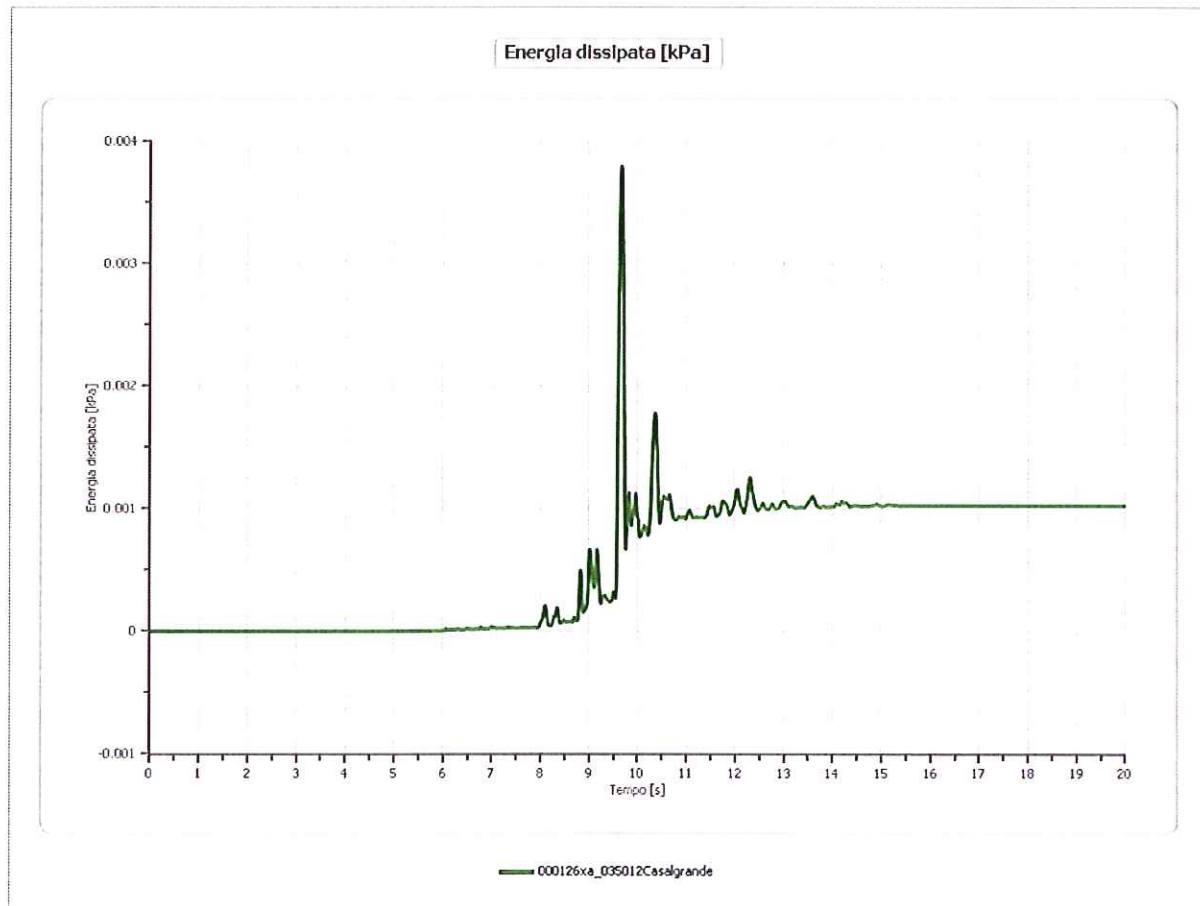
4



Energia dissipata

Numero di strati

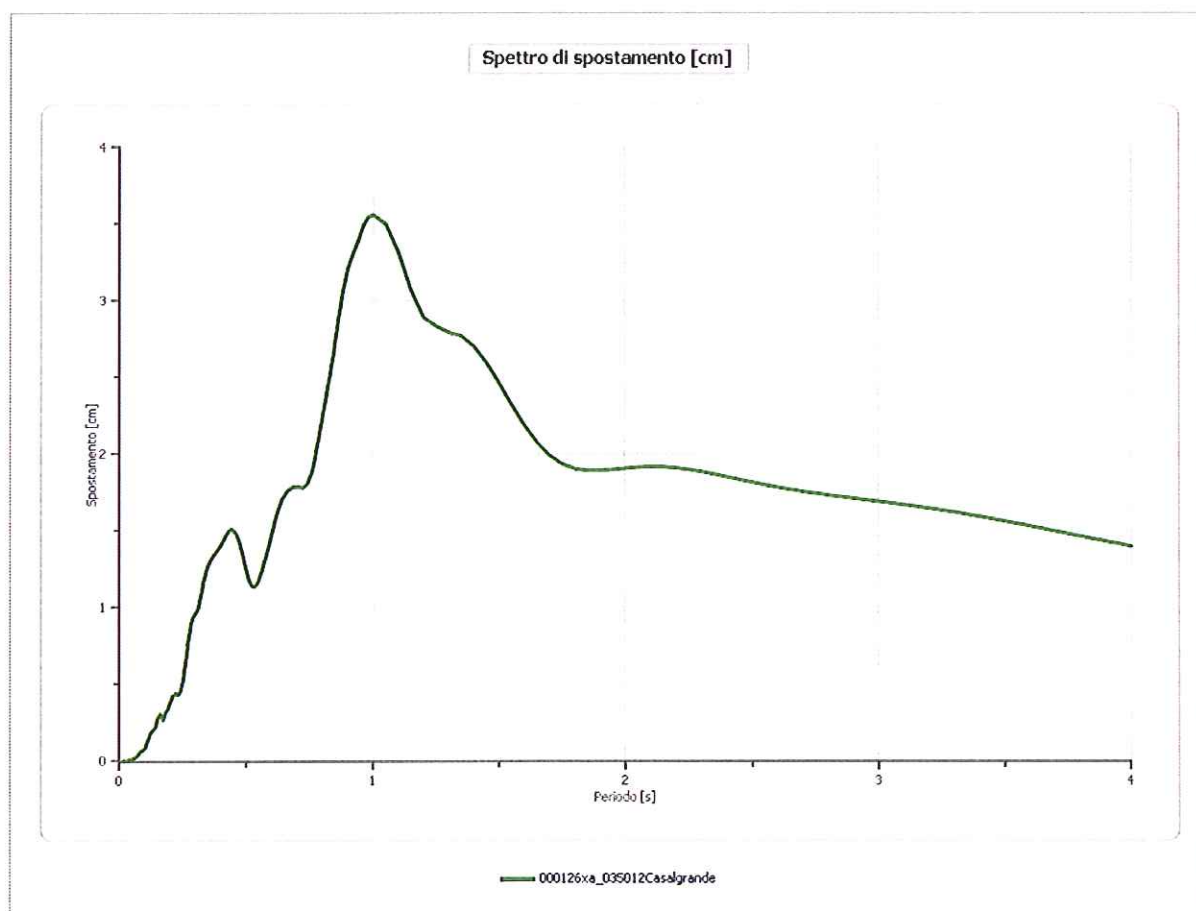
4



Spettri

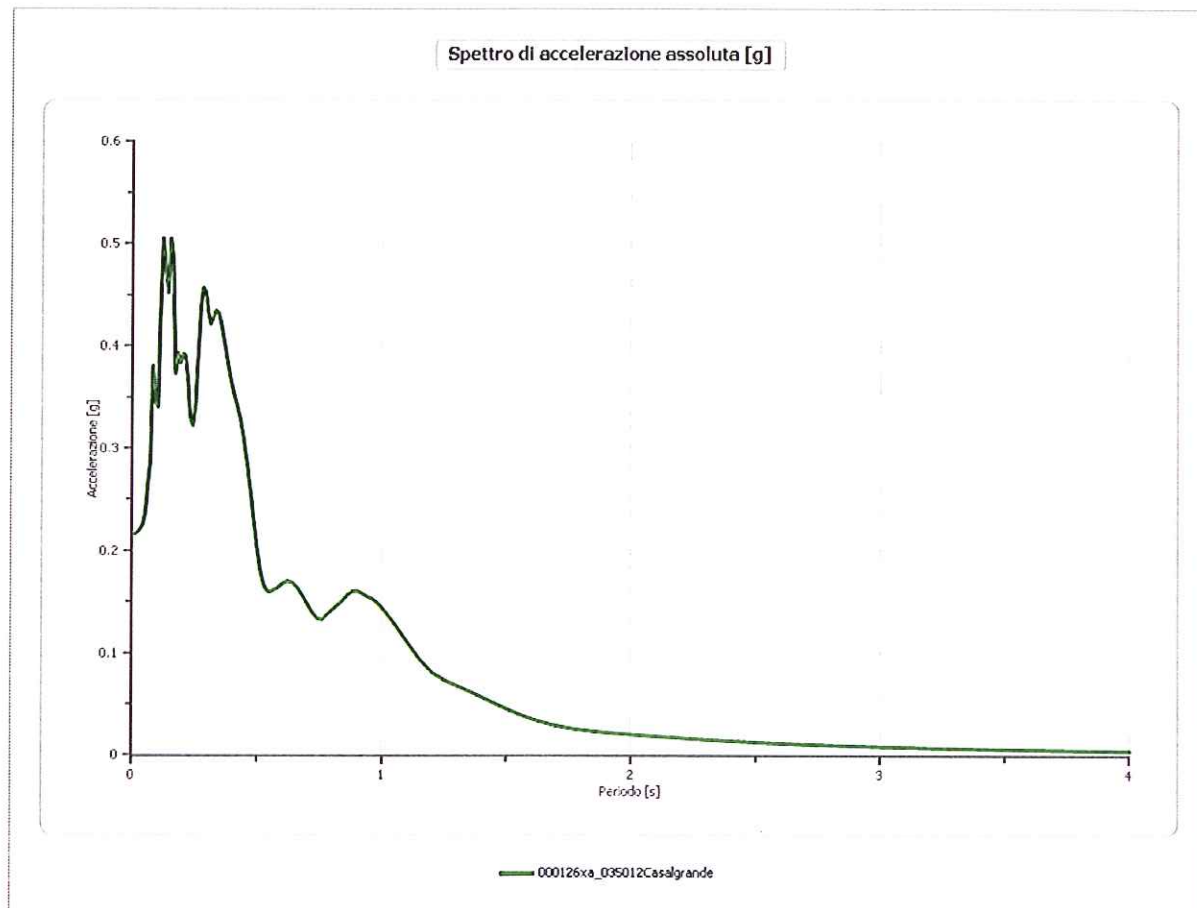
Spostamento

Spostamento massimo	3.559 [cm]
Periodo massimo spostamento	1.000 [s]



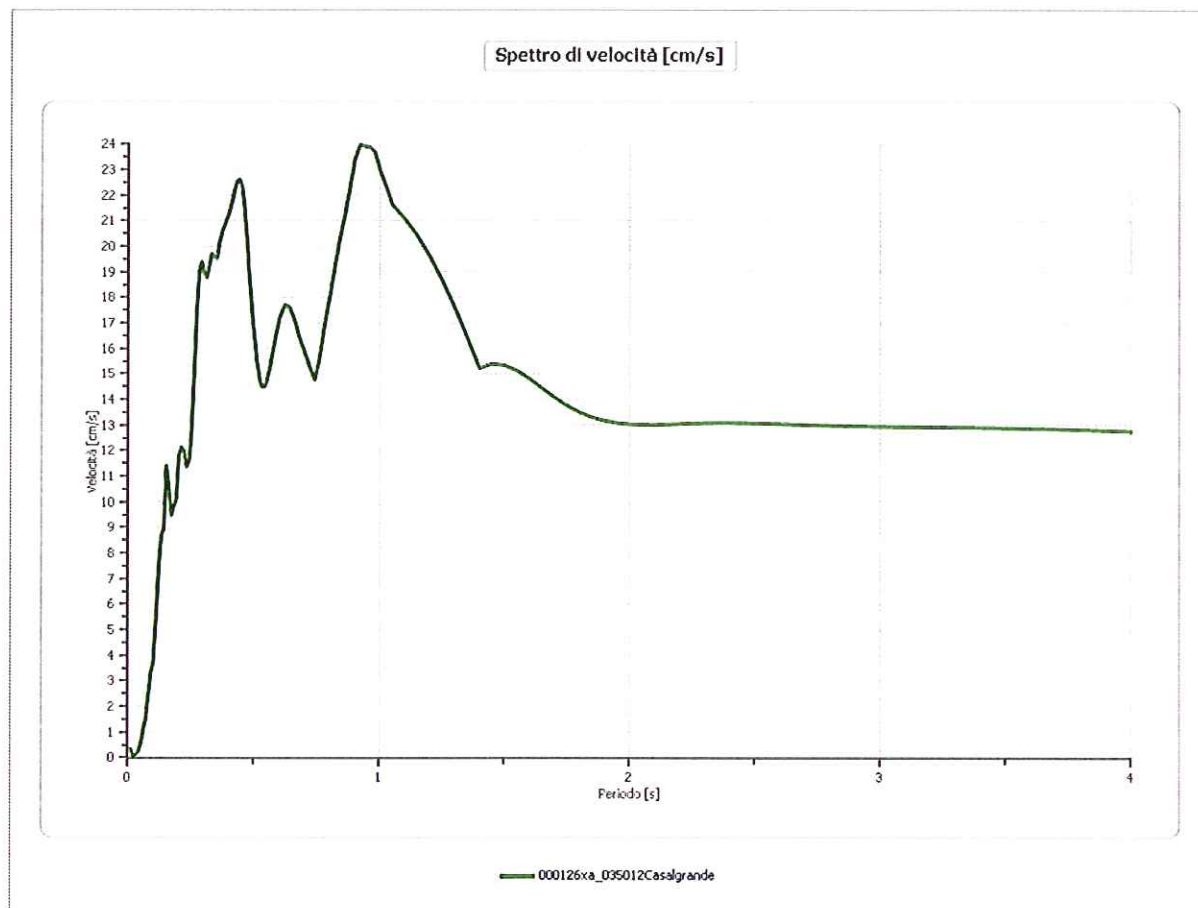
Accelerazione

Accelerazione massima	0.505 [g]
Periodo accelerazione massima	0.120 [s]



Velocità

Velocità massima 0.505 [cm/s]
 Periodo massima velocità 0.920 [s]



Fattori di amplificazione

Tai	0.150 [s]
Tvi	0.700 [s]
Tao	0.150 [s]
Tvo	0.390 [s]
Sami	3.588 [m/s ²]
Svmi	0.191 [m/s]
Samo	4.648 [m/s ²]
Svmo	0.227 [m/s]
Fa	1.295 [-]
Fv	1.186 [-]
TB	0.102 [s]
TC	0.307 [s]
TD	2.252 [s]
SA(0)	0.210 [g]
SA(TB)	0.474 [g]

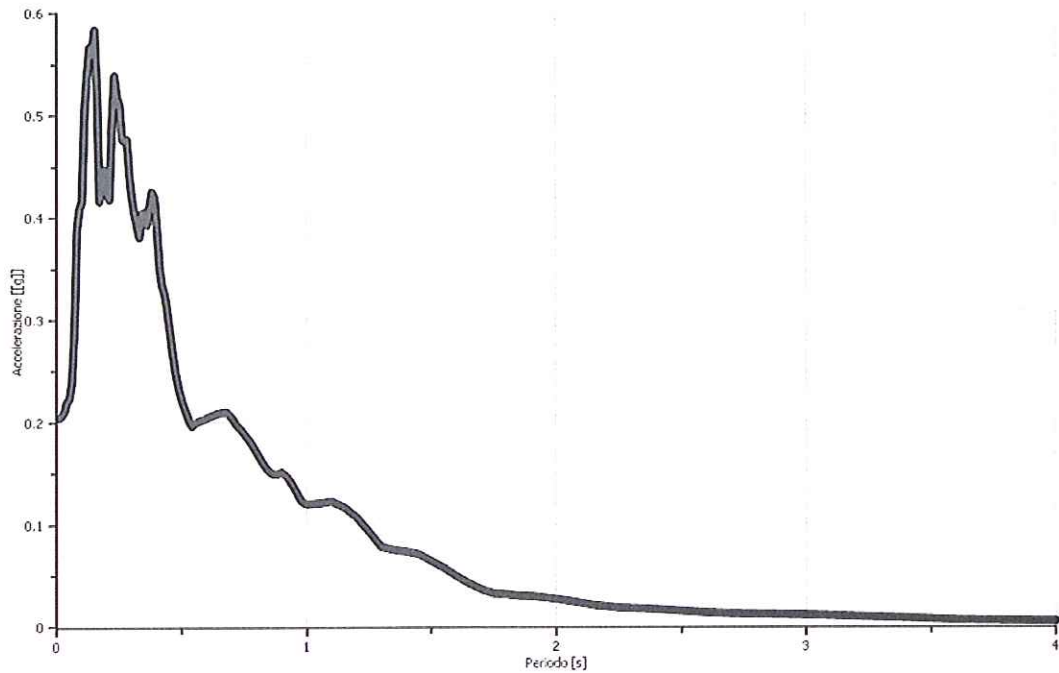
Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.059	0.073	0.200	1.239
0.500	1.000	0.091	0.110	0.500	1.215

Spettro medio

Periodo [s]	Accelera- zione [g]	Periodo [s]	Accelera- zione [g]	Periodo [s]	Accelera- zione [g]	Periodo [s]	Accelera- zione [g]	Periodo [s]	Accelera- zione [g]
0.01	0.2048	0.27	0.4754	0.53	0.2013	1.00	0.1201	2.30	0.0182
0.02	0.2070	0.28	0.4770	0.54	0.1965	1.05	0.1209	2.35	0.0178
0.03	0.2111	0.29	0.4427	0.55	0.1987	1.10	0.1228	2.40	0.0172
0.04	0.2203	0.30	0.4203	0.56	0.2005	1.15	0.1172	2.50	0.0156
0.05	0.2234	0.31	0.4044	0.57	0.2017	1.20	0.1073	2.60	0.0140
0.06	0.2387	0.32	0.3939	0.58	0.2021	1.25	0.0931	2.70	0.0130
0.07	0.2892	0.33	0.3810	0.60	0.2046	1.30	0.0784	2.80	0.0125
0.08	0.3873	0.34	0.4048	0.62	0.2066	1.35	0.0753	2.90	0.0122
0.09	0.4091	0.35	0.4054	0.64	0.2087	1.40	0.0738	3.00	0.0117
0.10	0.4163	0.36	0.3930	0.66	0.2098	1.45	0.0710	3.10	0.0110
0.11	0.5004	0.37	0.4099	0.68	0.2100	1.50	0.0645	3.20	0.0102
0.12	0.5388	0.38	0.4257	0.70	0.2050	1.55	0.0577	3.30	0.0095
0.13	0.5674	0.39	0.4205	0.72	0.1973	1.60	0.0497	3.40	0.0087
0.14	0.5591	0.40	0.3904	0.74	0.1923	1.65	0.0426	3.50	0.0077
0.15	0.5840	0.41	0.3539	0.76	0.1859	1.70	0.0367	3.60	0.0068
0.16	0.5267	0.42	0.3342	0.78	0.1793	1.75	0.0326	3.70	0.0064
0.17	0.4163	0.43	0.3265	0.80	0.1707	1.80	0.0320	3.80	0.0062
0.18	0.4298	0.44	0.3118	0.82	0.1623	1.85	0.0304	3.90	0.0059
0.19	0.4478	0.45	0.2921	0.84	0.1549	1.90	0.0300	4.00	0.0056
0.20	0.4245	0.46	0.2731	0.86	0.1502	1.95	0.0289		
0.21	0.4181	0.47	0.2556	0.88	0.1494	2.00	0.0273		
0.22	0.4879	0.48	0.2416	0.90	0.1512	2.05	0.0254		
0.23	0.5391	0.49	0.2307	0.92	0.1475	2.10	0.0235		
0.24	0.5179	0.50	0.2218	0.94	0.1404	2.15	0.0213		
0.25	0.5110	0.51	0.2143	0.96	0.1318	2.20	0.0202		
0.26	0.4776	0.52	0.2081	0.98	0.1226	2.25	0.0187		

Spettro di accelerazione

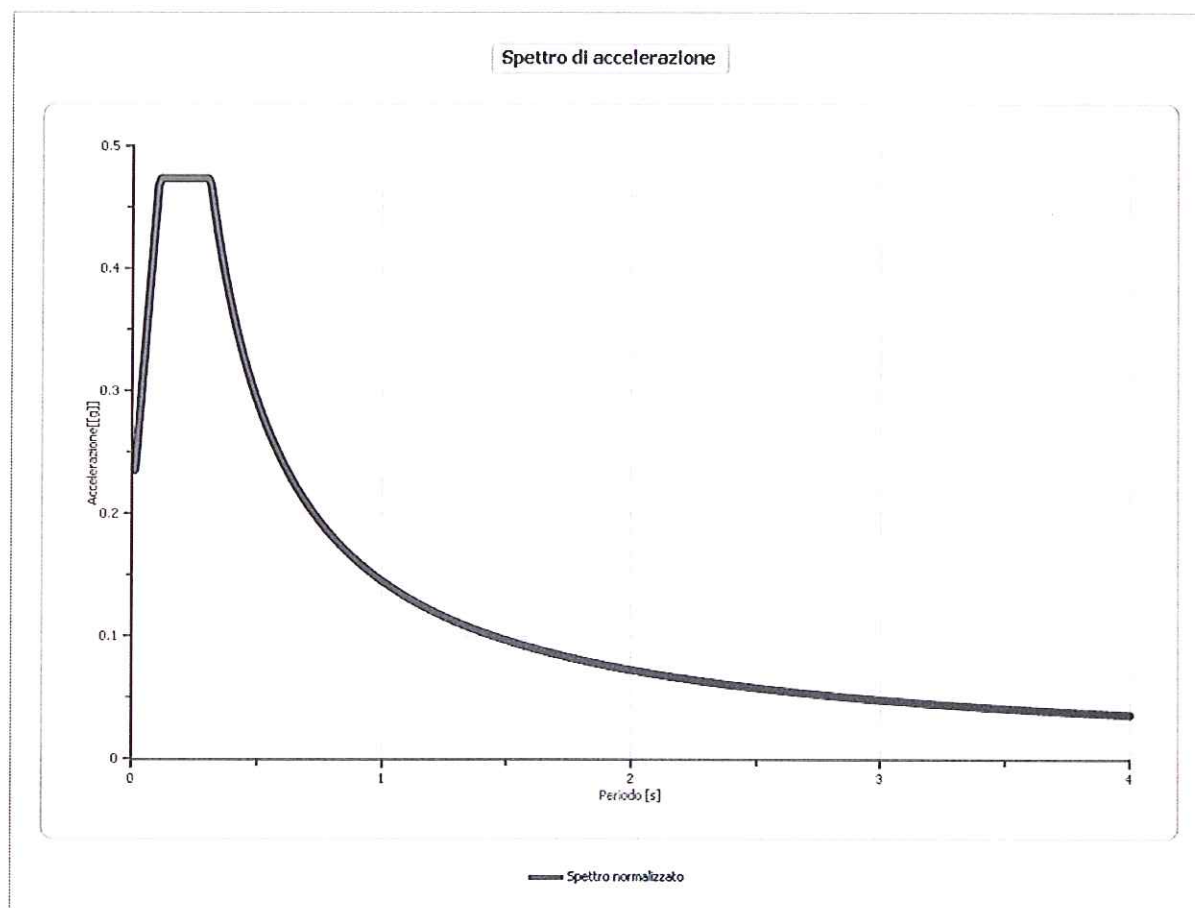


— Spettro medio

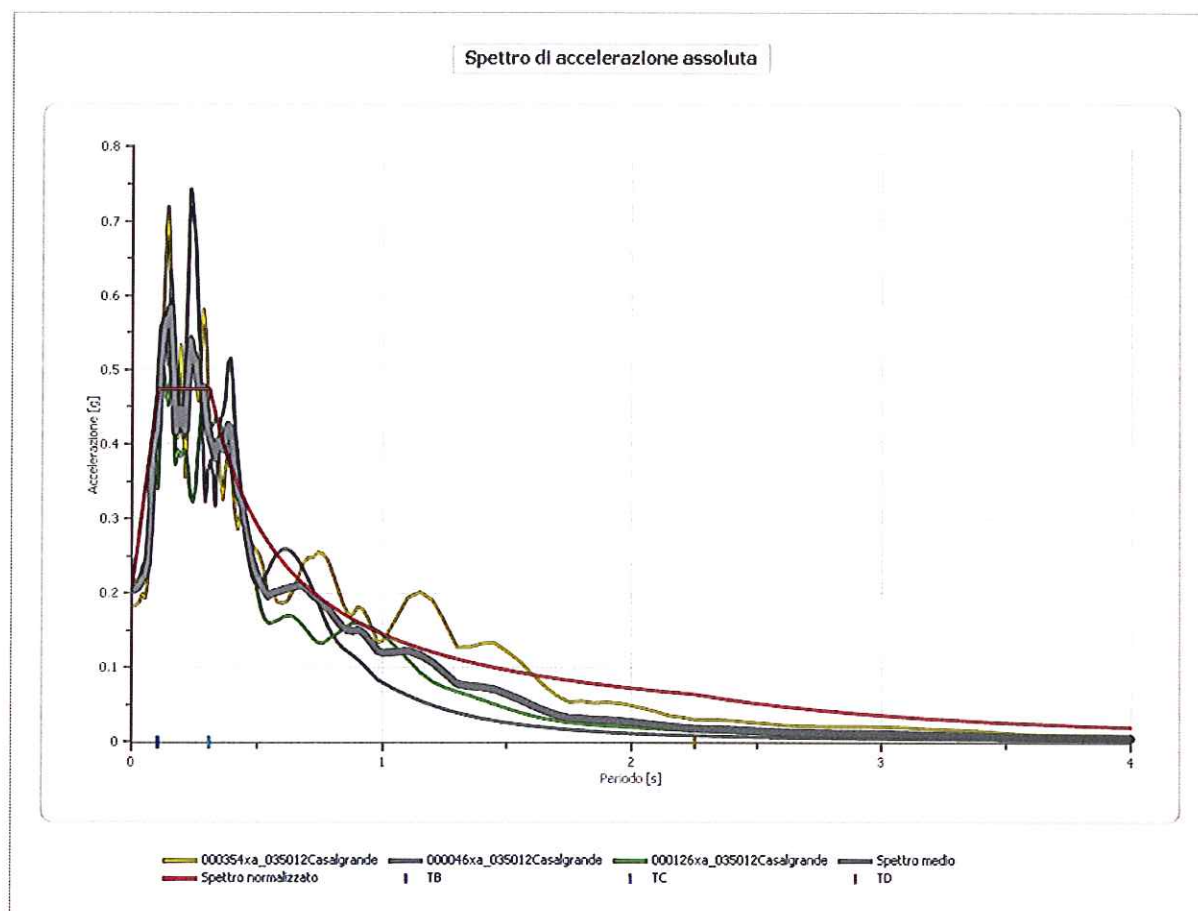
Spettro normalizzato

Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]
0.01	0.2357	0.27	0.4738	0.53	0.2742	1.00	0.1453	2.30	0.0632
0.02	0.2615	0.28	0.4738	0.54	0.2691	1.05	0.1384	2.35	0.0618
0.03	0.2873	0.29	0.4738	0.55	0.2642	1.10	0.1321	2.40	0.0606
0.04	0.3131	0.30	0.4738	0.56	0.2595	1.15	0.1264	2.50	0.0581
0.05	0.3390	0.31	0.4688	0.57	0.2550	1.20	0.1211	2.60	0.0559
0.06	0.3648	0.32	0.4541	0.58	0.2506	1.25	0.1163	2.70	0.0538
0.07	0.3906	0.33	0.4404	0.60	0.2422	1.30	0.1118	2.80	0.0519
0.08	0.4164	0.34	0.4274	0.62	0.2344	1.35	0.1076	2.90	0.0501
0.09	0.4422	0.35	0.4152	0.64	0.2271	1.40	0.1038	3.00	0.0484
0.10	0.4681	0.36	0.4037	0.66	0.2202	1.45	0.1002	3.10	0.0469
0.11	0.4738	0.37	0.3928	0.68	0.2137	1.50	0.0969	3.20	0.0454
0.12	0.4738	0.38	0.3824	0.70	0.2076	1.55	0.0938	3.30	0.0440
0.13	0.4738	0.39	0.3726	0.72	0.2018	1.60	0.0908	3.40	0.0427
0.14	0.4738	0.40	0.3633	0.74	0.1964	1.65	0.0881	3.50	0.0415
0.15	0.4738	0.41	0.3544	0.76	0.1912	1.70	0.0855	3.60	0.0404
0.16	0.4738	0.42	0.3460	0.78	0.1863	1.75	0.0830	3.70	0.0393
0.17	0.4738	0.43	0.3380	0.80	0.1817	1.80	0.0807	3.80	0.0382
0.18	0.4738	0.44	0.3303	0.82	0.1772	1.85	0.0786	3.90	0.0373
0.19	0.4738	0.45	0.3229	0.84	0.1730	1.90	0.0765	4.00	0.0363
0.20	0.4738	0.46	0.3159	0.86	0.1690	1.95	0.0745		
0.21	0.4738	0.47	0.3092	0.88	0.1651	2.00	0.0727		

0.22	0.4738	0.48	0.3028	0.90	0.1615	2.05	0.0709		
0.23	0.4738	0.49	0.2966	0.92	0.1580	2.10	0.0692		
0.24	0.4738	0.50	0.2906	0.94	0.1546	2.15	0.0676		
0.25	0.4738	0.51	0.2849	0.96	0.1514	2.20	0.0661		
0.26	0.4738	0.52	0.2795	0.98	0.1483	2.25	0.0646		



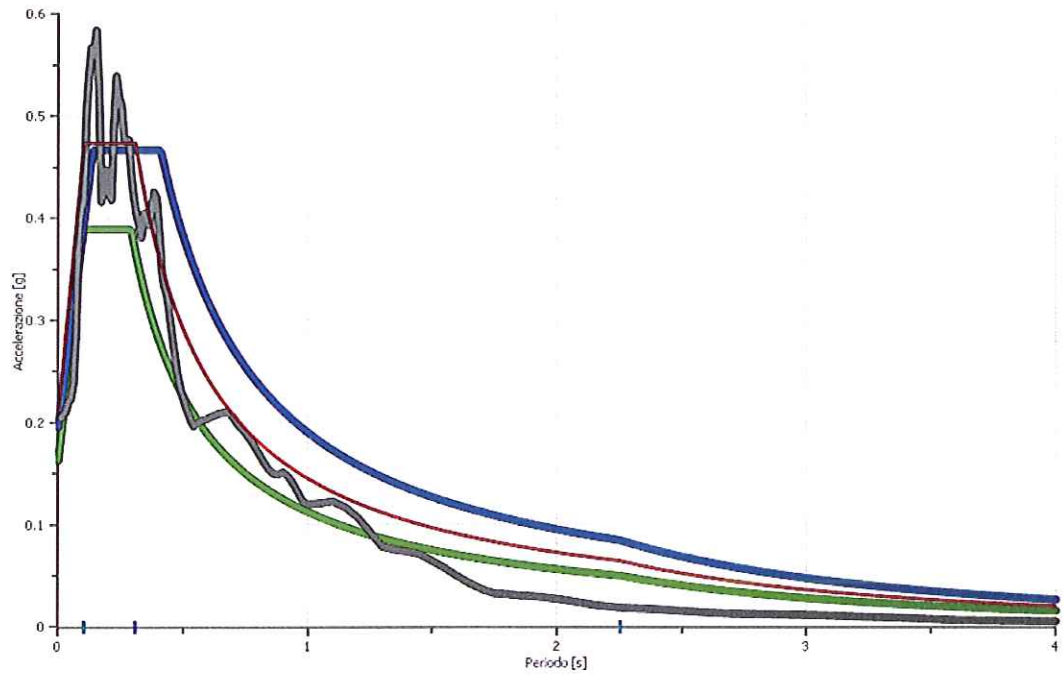
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

	Operativit à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvagnar dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operativit à SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvagnar dia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	30	50	475	975	30	50	475	975
ag [g]	0.052	0.065	0.163	0.205	0.052	0.065	0.163	0.205
Fo	2.481	2.492	2.387	2.395	2.481	2.492	2.387	2.395
Tc* [s]	0.252	0.265	0.289	0.302	0.252	0.265	0.289	0.302
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.45	1.43	1.41	1.40
TB [s]	0.084	0.088	0.096	0.101	0.122	0.127	0.136	0.141
TC [s]	0.252	0.265	0.289	0.302	0.365	0.380	0.407	0.422
TD [s]	1.808	1.860	2.252	2.420	1.808	1.860	2.252	2.420
Se(0) [g]	0.052	0.065	0.163	0.205	0.062	0.078	0.196	0.246
Se(TB) [g]	0.129	0.162	0.389	0.491	0.155	0.194	0.467	0.589

Spettro di normativa



— SLV, Cat. A — SLV, Cat. B — Spettro medio — Spettro normalizzato | TB | TC | TD

Indice

Dati generali	.7
Terreni	.7
Lombardia - Argille limose	.7
Lombardia - Ghiaie	.8
Stratigrafia	.9
Elaborazione	.10
File 000354xa_035012Casalgrande	.10
Amplificazione	.10
Accelerazione	.11
Velocità	.12
Spostamento	.13
Deformazione	.14
Tensione	.15
Energia dissipata	.16
Spettri	.17
Spostamento	.17
Accelerazione	.18
Velocità	.19
File 000046xa_035012Casalgrande	.20
Amplificazione	.20
Accelerazione	.21
Velocità	.22
Spostamento	.23
Deformazione	.24
Tensione	.25
Energia dissipata	.26
Spettri	.27
Spostamento	.27
Accelerazione	.28
Velocità	.29
File 000126xa_035012Casalgrande	.30
Amplificazione	.30
Accelerazione	.31
Velocità	.32
Spostamento	.33
Deformazione	.34
Tensione	.35
Energia dissipata	.36
Spettri	.37
Spostamento	.37
Accelerazione	.38
Velocità	.39
Fattori di amplificazione	.40
Fattori di amplificazione su intensità spettrale	.40
Spettro medio	.41
Spettro normalizzato	.42
Confronto tra gli spettri	.43
Confronto spettro normativa	.44
Indice	.46

