PUA con valenza di Permesso di Costruire - Allegato alla delibera di Giunta Unione Valli e Delizie n. 45 in data 17.10.2014



AREA DI URBANIZZAZIONE ANS2(13)

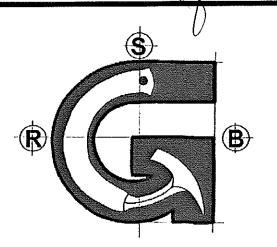
Elaborato:

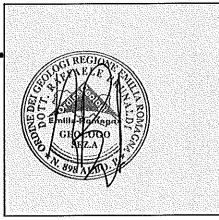
RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA IDROGEOLOGICA E SIMICA (di III Livello) COME DA CONTENUTI DELL'ATTO DI INDIRIZZO 112: 02/05/2007

Località:

SANTA MARIA CODIFIUME, COMUNE DI ARGENTA (FE)

Committente:





20 41 200

Studio Geologico BRUNALDI RAFFAELE

Via A. Da Brescia 11 44011 Argenta (FE)

Tel. e Fax: 0532852858

Cell.:3355373693 E-mail: rabrugeo@libero.it

www.bondabru.com

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

1. PREMESSA

La presente relazione, svolta su incarico e per conto della Committenza, la Ditta Alì Immobiliare S.r.l.,

si configura come studio di caratterizzazione geologica e sismica dell'area in esame. Nella presente

documentazione si ritroveranno i contenuti richiesti dall'apposita Normativa Regionale che sottende i

contenuti della caratterizzazione sismica per i piani di lottizzazione/piani urbanistici (Delibera

dell'Assemblea Legislativa N.º 112 del 02/05/2007: Atto di Indirizzo e coordinamento tecnico: "Indirizzi

per gli studi di microzonazione sismica in Emilia- Romagna per la pianificazione territoriale ed

urbanistica").

2. UBICAZIONE DELL'AREA IN ESAME

L'area è individuata dal P.S.C. di Argenta come ANS(2)13+ANS(3)5; la porzione atta all'edificazione

è la ANS(2)13.

L'area è sita nella frazione di Santa Maria Codifiume, fra le Vie Terranova a Nord e N. Minozzi a Sud

(che scorre ai piedi dell'argine sinistro del Fiume Reno). L'area si sviluppa ad elevazioni comprese fra 8,26

e 8,51 m circa s.l.m.m. L'area è sita fra i toponimi Confina, Motta e Fondo Benedettini nella fascia Sud ed

andando da Ovest verso Est e Palazzo a Nord. A Nord dell'area in esame si è sviluppata negli ultimi dieci

anni circa la lottizzazione di Via C. Terranova. Attualmente occupata da terreni agricoli tenuti a seminativo

semplice per la parte Sud e a frutteto per la parte Est. L'area è infatti sostanzialmente suddivisa in due sotto-

aree, che sono state entrambe indagate, come verrà meglio esplicitato nel prosieguo.

Di seguito si riporta apposito stralcio cartografico ed immagini tratte da Google Earth ®.

3

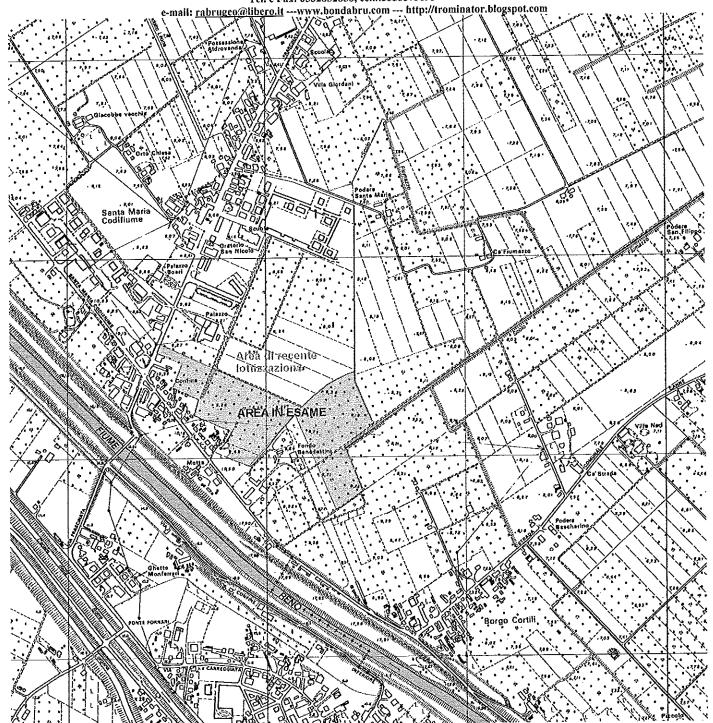


Fig. 1: Ubicazione dell'area in esame su stralcio della C.T.R. Foglio 203 122 alla scala 1: 5 000; si è riportato il reticolo idraulico locale di cui si dirà in altra parte della presente relazione. Scala libera.

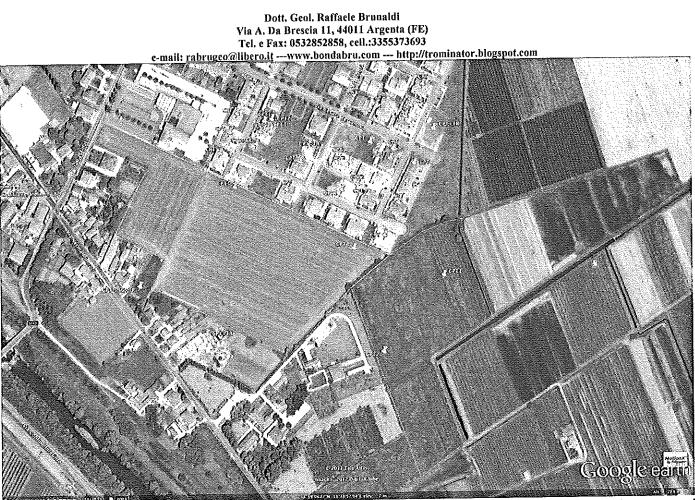


Fig. 2: Ubicazione dell'area in esame su orto- foto aerea tratta da Google Earth ®; si riportano in numerosi punti di indagine penetrometrica ed altri numerosi punti di indagine eseguiti dallo scrivente attorno all'area in esame Scala libera.

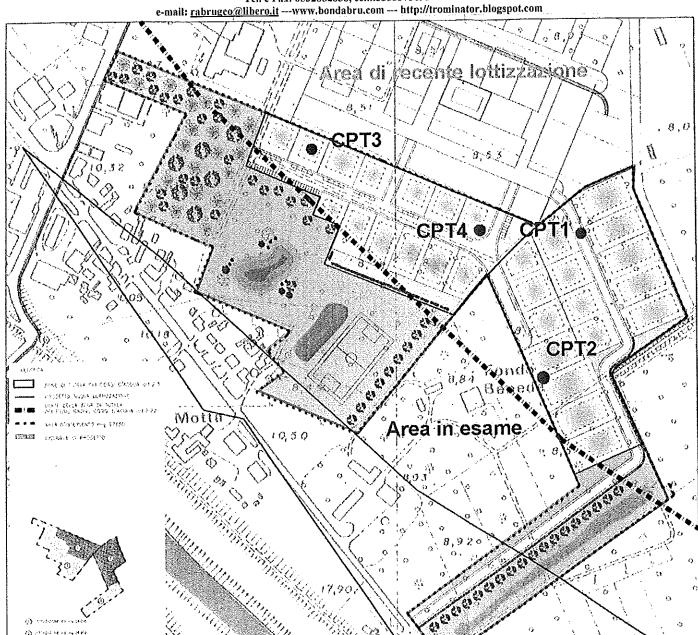


Fig. 3: Schema di destinazione urbanistica come trasmessa allo scrivente dai Progettisti, su planimetria a Scala libera, si riportano i di indagine penetrometrica.

2.1. Indagini appositamente eseguite

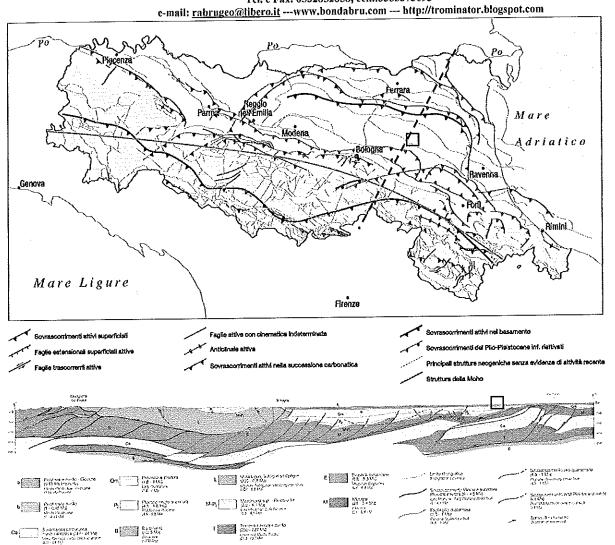
Nell'anno in corso, sull'area in esame si sono eseguite 4 indagini penetrometriche statiche C.P.T. che, data la natura dei terreni di fondazioni avevano potuto raggiungere profondità pari a 20 metri circa dal p.c., si è poi reperita tutta una serie di dati penetrometrici e stratigrafici di bibliografia pubblica e/o di proprietà dello scrivente e relativi ai numerosi lotti indagati della recente lottizzazione di Via Terranova e si sono condotte indagini sismiche di varia natura, quali "stendimenti" di tipo Re.Mi. + M.A.S.W. (passivi ed attivi)

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

ed analisi tromografiche locali (come verranno ubicate all'apposito capitolo della presente relazione). Per l'ubicazione dei punti di indagine ci si è riferiti alle destinazioni urbanistiche trasmesse allo scrivente dai Progettisti e di seguito riportate, ci si è comunque anche dovuti confrontare con l'attuale situazione di accessibilità dei luoghi. Ci si è poi riferiti a dati di bibliografia pubblica e/o in possesso dello scrivente (e riconducibili ad altri incarichi svolti nei pressi dell'area in esame) circa le tematiche geologiche, ideologiche ed idrogeologiche locali. In corrispondenza del punto di esecuzione della C.P.T. si è eseguito un sondaggio stratigrafico condotto sino alla profondità di 6,00 m dal p.c. e si è raccolto un campione di terreno sul quale si sono condotte apposite analisi di laboratorio geotecnico (debitamente dotato di apposita Concessione Ministeriale per le prove sulle terre).

3. GEOLOGIA DELL'AREA IN ESAME

L'assetto geologico complessivo dell'area in esame è legato all'evoluzione del grande bacino subsidente padano, di riempimento detritico ed all'evoluzione tettonica compressiva e convergente fra il dominio Sud- alpino ed il dominio appenninico. Normalmente si è in presenza di un notevole "pacco" di deposizioni alluvionali sciolte e/o fini, d'età Pleistocenica (dal Pleistocene Medio- Olocene: 0,45 Milioni di anni-presente, al Plioecene Medio- Superiore: 4,1- 1,8 Milioni di anni) che sovrastano le strutture appenniniche sepolte, d'età Miocenica (2,4- 5,4 Milioni di Anni fa). Vi è poi la presenza di un complesso sistema di pieghe compressive e faglie, orientate da NNO a SSE, ovvero da ONO a ESE o ancora Nord-Sud. Per la porzione di territorio in esame la situazione può essere descritta in maniera molto semplificata con l'avvicinamento al piano di campagna delle strutture sepolte, come riportato alle seguenti figure. Ricadute sismiche dei movimenti delle strutture sepolte sono registrabili nella storia sismica dell'area padana e dell'area in esame, e se ne darà rapido conto all'apposito capitolo (al quale si rimanda).



Figg. 4: Schema geologico profondo esemplificativo della Pianura Padana e Sezione geologica, con l'andamento delle pieghe e delle faglie del substrato e traccia della medesima sezione. Col quadratino nero si riporta l'area in esame.

3.1 Assetto geologico e geomorfologico dell'area in esame:

Dalla Carta geologica di pianura dell'Emilia -Romagna (a cura della Regione Emilia- Romagna, Direzione Generale "Sistemi Informativi e Telematica", Servizio Sistemi Informativi Geografici, Ufficio Geologico) si evince come i depositi alluvionali presenti nell'area in esame siano sostanzialmente costituiti da limi e/o sabbie finissime limose ascrivibili all'ambiente deposizionale della "Piana Alluvionale" e nella fattispecie a "Depositi di Canale e Argine Prossimale e/o Rotta Fluviale". Come si vedrà nel prosieguo della presente relazione tale descrizione è certamente applicabile all'area in esame ma occorrerà riportare alcune considerazioni di maggior dettaglio. Infatti si riscontrerà la presenza di litotipi argillosi di deposizioni valliva, ovvero ascrivibili a quelle valli sulle quali divagava il corpo idrico. Corpo idrico che deve essere individuato nel paleo corso del Torrente Idice. Che sino al XVI- XVIII Sec. trovava la propria terminazione

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

nelle valli presenti a Nord di Molinella, fra Marmorta ed Argenta, ovvero a Sud del Po di Primaro. La toponomastica locale è ad ulteriore conferma dell'assetto idraulico antico.

La formazione localmente affiorante è l'Unità di Modena, Sub- Sintema di Ravenna, del Sintema Emiliano- Romagnolo Superiore ed è di seguito descritta come riportato all'apposito sito regionale. La tessitura localmente rilevabile è Sabbioso- Limosa (SL).

Comune di ARGENTA (FE), sezione CTR: 203120

	sigla	AES8a
Ambienti deposiz, e litologie (50K)	nome	unità di Modena
sabbia limosa di piana alluvionale	nome completo	Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna - unità di Modena
Unità geologiche (50K)	tipo	unità
AES8a - Sintema emiliano- romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna - unità di Modena	descrizione legenda	Unità costituita da ghiale e ghiale sabbiose o da sabble con livelil e lenti di ghiale ricoperte da una coltre ilmoso argillosa discontinua, in contesti di conoide alluvionale, canale fluviale e piana alluvionale intravalliva; da argille e limi, in contesti di piana inondabile; da alternanze di sabble, limi ed argille, in contesti di piana deltizia; da sabble prevalenti passanti ad argille e limi e localmente a sabble ghialose, in contesti di piana litorale. Al tetto l'unità presenta localmente un suolo calcareo poco sviluppato di colore grigioglaliastro AES8a - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna unità di Modena
	età.	Olocene
	sigla tessitura	SL
	tessitura	sabbla Ilmosa
	deposito	deposito di canale, argine e rotta fluviale
	ambiente	plana alluvlonaje

Fig. 5: descrizione della formazione localmente affiorante.

Di seguito si riportano le apposite cartografie geologiche tratte dall'apposito sito regionale.

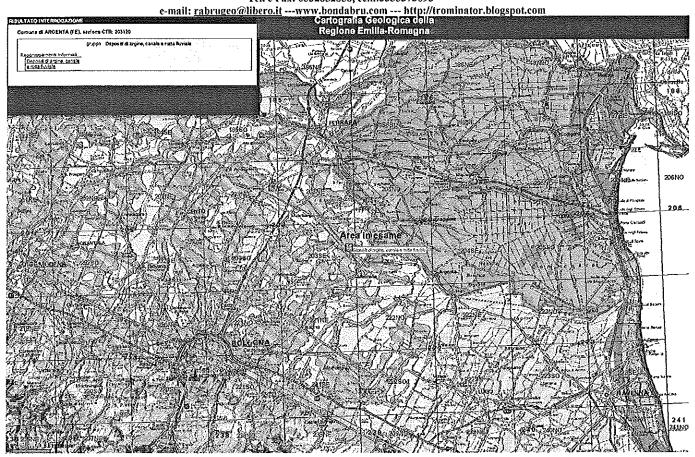


Fig. 6: stralcio a scala libera della Cartografia Geologica Regionale di riferimento alla scala 1: 250 000.

La geologia profonda ubica l'area in esame in prossimità di una complessa struttura caratterizzata da una serie di sovrascorrimenti profondi post- Tortoniani e faglie profonde che proprio in prossimità dell'area in esame originano una sorta di cuneo, che origina potenti dislocamenti della base del Pliocene che infatti è compresa fra le profondità di 1000 e 2000 m circa dal p.c. Queste difformità profonde sono sede di movimenti tellurici, lo sono state nel passato (come potrà vedersi all'apposito punto della presente relazione) e lo potranno quindi essere nel futuro (anche da tale attitudine deriva ad esempio la classificazione sismica del territorio in esame).

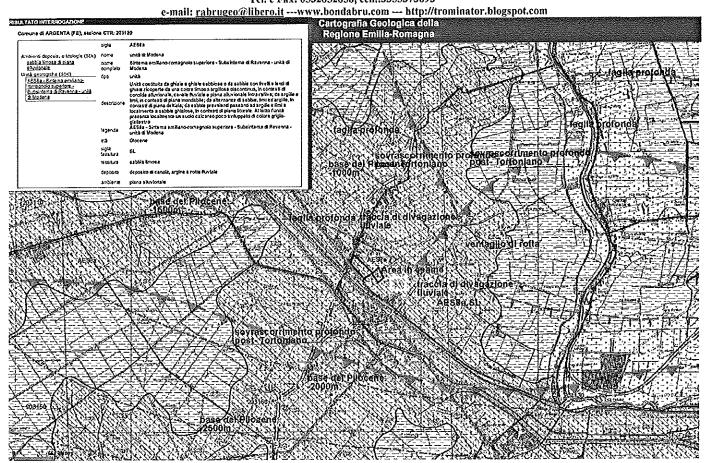
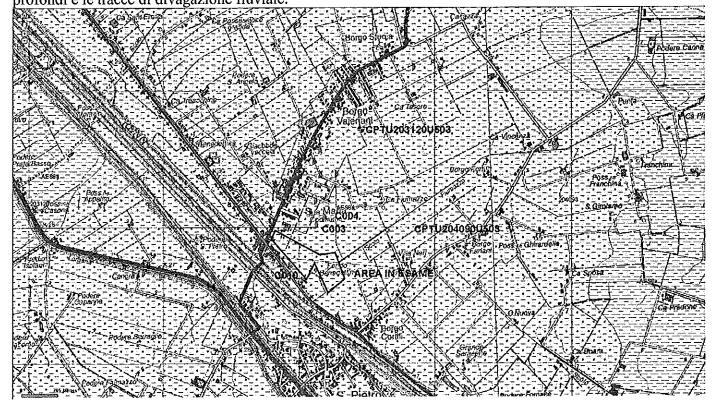


Fig. 7: stralcio a scala libera della Cartografia Geologica Regionale di riferimento alla scala 1: 25 000. Si è evidenziata l'area di affioramento della "Formazione" AES8a SL e sono evidenziati gli elementi strutturali profondi e le tracce di divagazione fluviale.



e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

Fig. 8: stralcio a scala libera della Cartografia Geologica Regionale di riferimento alla scala 1: 10 000. Si sono riportati i punti di ubicazione delle C.P.T. (e C.P.T.U.) di bibliografia di cui si dirà più oltre.

L'assetto geomorfologico locale individua come l'area in esame sia attraversata dalla divagazione di un modesto corpo idrico ascrivibile al paleo corso del Torrente Idice. La definizione di tale episodio è di seguito riportata come da apposito stralcio della Cartografia Geomorfologica di P.S.C. da più approfondite analisi non paiono però, allo stato attuale delle conoscenze, trovarsi tracce stratigrafiche di tale divagazione. Anzi, le C.P.T. che individuano tracce più o meno superficiali di deposizioni granulari sono le C.P.T. 3 e 4 che non sono allineate con la traccia di divagazione di cui sopra.

È comunque questo un tema la cui "soluzione" andrà demandata alle singole indagini connesse alla progettazione dei singoli lotti, in tale fase si dovrà quindi con attenzione verificare la presenza o meno di tali litotipi ed occorrerà anche addivenire ad una loro puntuale caratterizzazione granulometrica, anche in relazione alla possibilità di insorgenza di fenomeni di liquefazione. Datosi che tali presenze sono state rilevate nelle C.P.T. 3 e 4, tale particolare attenzione dovrà essere rivolta all'intera area in esame.

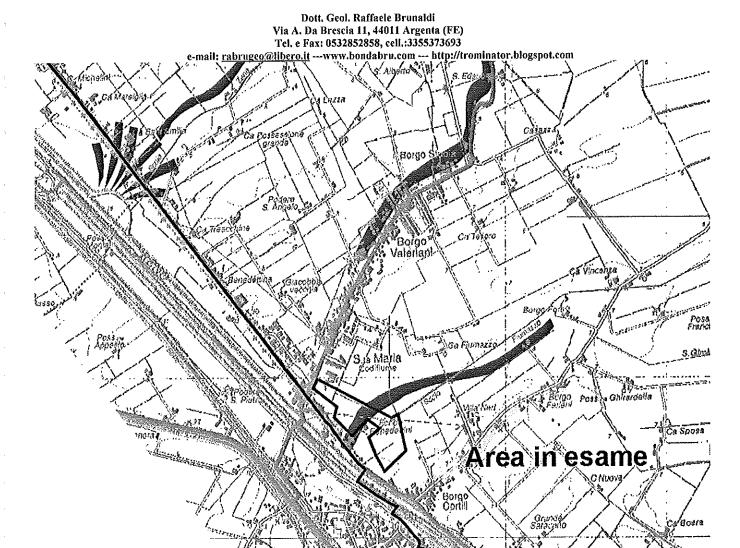


Fig. 9: stralcio a scala libera dell'apposita tavola (Geomorfologia) del P.S.C. del Comune di Argenta.

La situazione geologica locale testè descritta troverà riscontro nella litostratigrafia localmente rilevata che sarà descritta al seguente paragrafo.

3.2 Assetto litostratigrafico locale

l'assetto litostratigrafico dell'area in esame, derivante dall'esecuzione delle quattro prove C.P.T. (di cui si dirà più oltre) trova sostanziale conferma in quanto rilevabile dai dati stratigrafici (derivanti da indagini penetrometriche) che possono recuperarsi dall'apposita bibliografia tecnica di riferimento (in primis dal sito della Regione Emilia- Romagna), che verranno di seguito riportati (l'ubicazione di tali punti di indagine è stata precedentemente riportata alla Fig. 6 alla quale si rimanda).

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

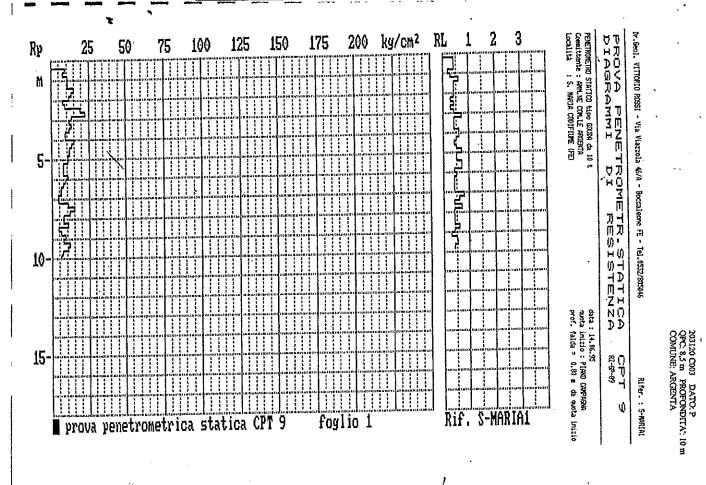


Fig. 10: C003.

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

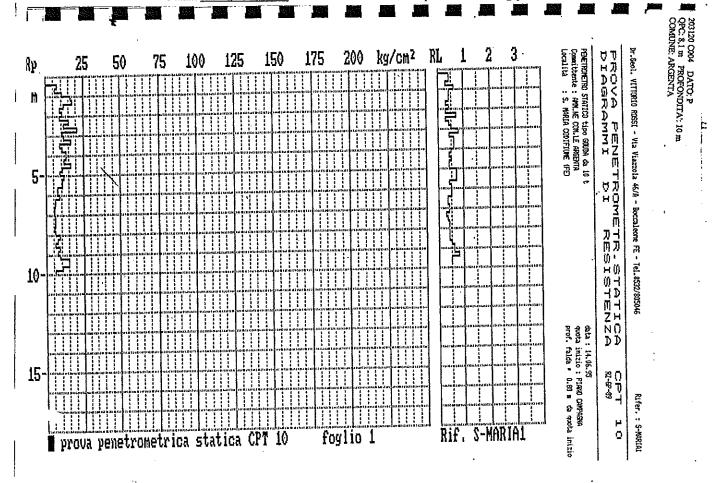


Fig. 11: C004.

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

CORNETTITUE: CONTRE DI MELTIBELLA LOCALITA: S.PICIRO CAPOFTONE FROVA PENETRONETRICA: SP-CI NOTA: S.P.C.



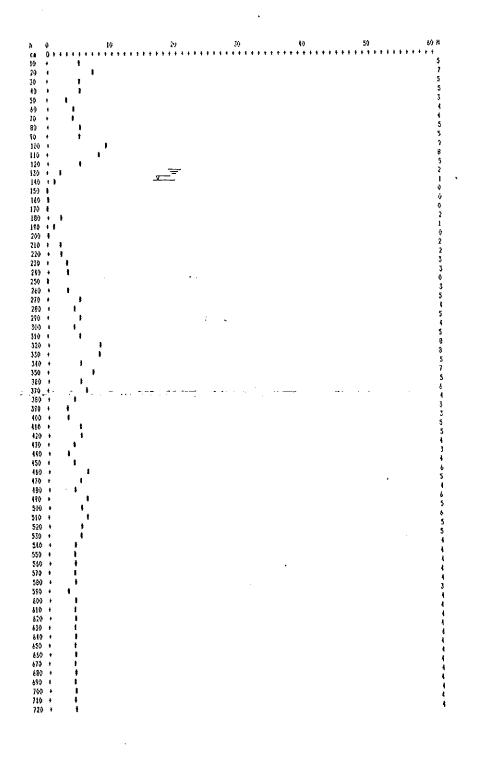


Fig. 12: C010.

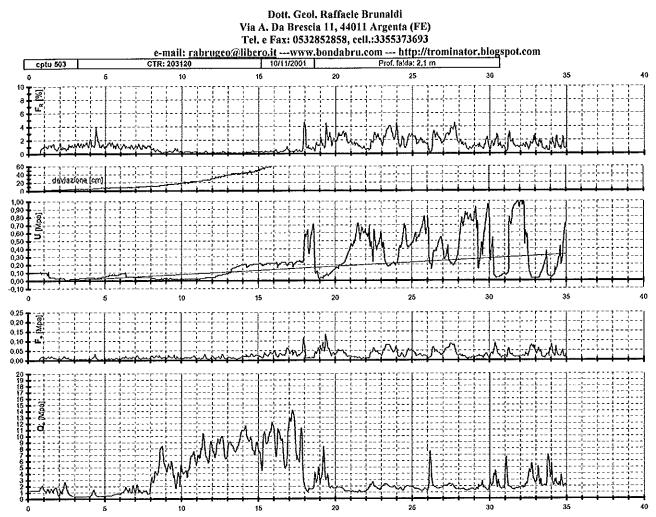


Fig. 13: C.P.T.U 203120 503 (Località: Borgo Valeriani).

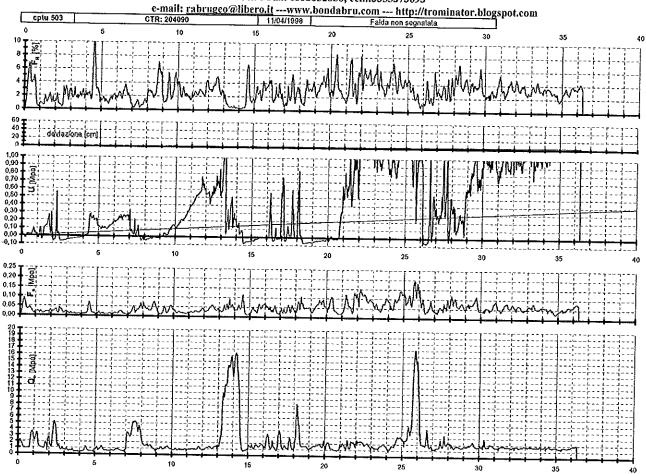


Fig. 14: C.P.T.U 204090 503 (località: Possessione Ghirardella).

Tali penetrometrie riportano una aliquota di variabilità degli orizzonti granulari, che ben si inserisce nella genesi geologica locale e nella evoluzione stratigrafico- deposizionale; ove cioè corpi idrici di modeste dimensioni e persistenza variabile divagavano sulle paludi circostanti. Detti corpi idrici, date le loro dimensioni e poiché si trovavano nella loro fase di deposizione terminale (a bassa energia trattiva) depositavano aliquote di materiali limosi a volte largamente predominanti rispetto alle sabbie vere e proprie.

Di seguito si riporta una sezione locale a media scala (la cui traccia è riportata alla seguente Fig. 14), che descrive ampiamente la variabilità degli ambienti deposizionali legati alle divagazioni dei corsi idrici (come precedentemente già riportato).

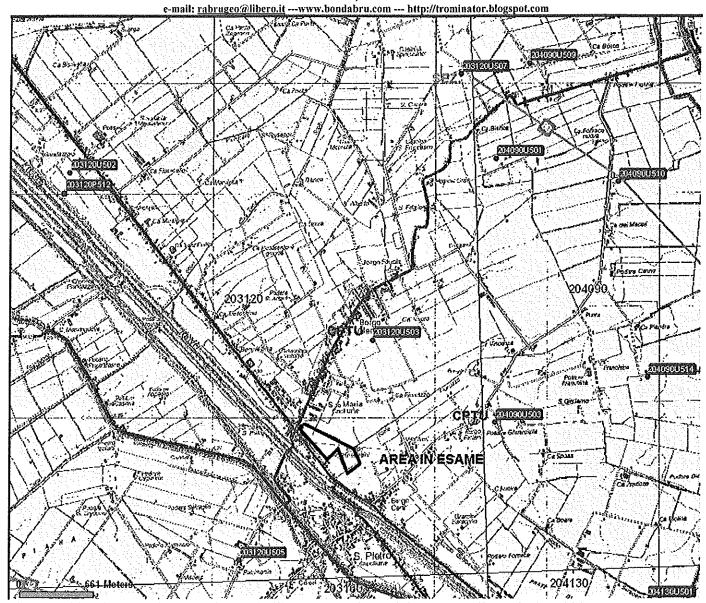


Fig. 14: ubicazione Sezione locale, Scala libera, tratta da stralcio C.T.R. alla scala 1: 5 000.

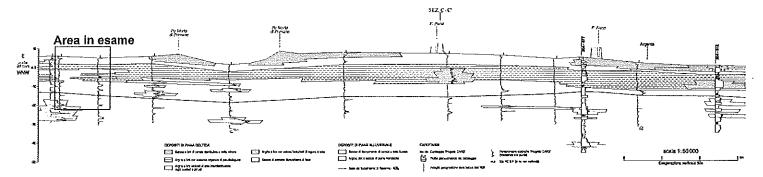


Fig. 15: Sez. 089. Scala libera.

Relativamente alla litostratigrafia locale ricostruibile dalle risultanze delle indagini penetrometriche eseguite dallo scrivente sull'area in esame, si può riportare la seguente sezione:

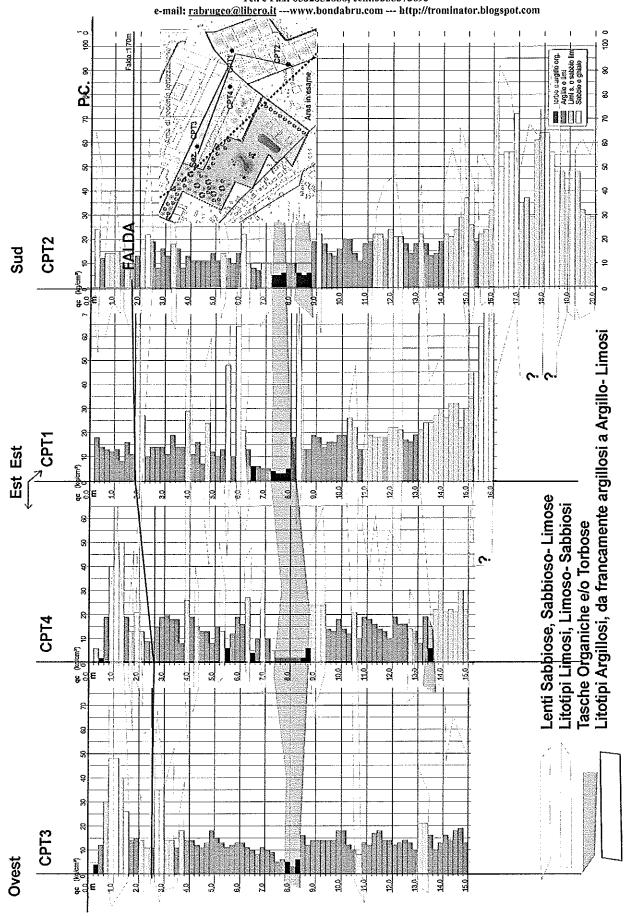


Fig. 16: Sezione. Scala libera, la scala verticale è diversa da quella orizzontale.

Dott. Geol, Raffaele Brunaldi Via A. Da Brescia 11, 44011 Argenta (FE)

Tel. e Fax: 0532852858, cell.:3355373693 e-mail: <u>rabrugeo@libero.it</u> ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

Dall'analisi della quale si può concludere che, come già precedentemente riportato, lenti sabbiose e/o

limose (da sabbiose a limose passando per varie definizioni di sabbioso- limose, dove le presenze

percentuali dei due termini sono variabili e non meglio definibili) di modesto spessore si alternano

(interdigitano) a litotipi argillosi (da francamente argillosi a argillo- limosi) che possono essere considerati

largamente prevalenti o comunque caratterizzanti (anche dal punto di vista geotecnico, di cui si dirà più

oltre) l'area in esame. Localmente possono rilevarsi maggiori concentrazioni dei termini sabbiosi e

soprattutto limosi che marcano fasi ascrivibili a fasi depositive paleo- fluviali. Tali fasi sono ubicabili in

maniera disuniforme sull'intera area in esame. Detta disuniformità si esplica in una ubicazione spaziale (in

senso orizzontale) e temporale (in senso verticale) variabile.

Si rileva poi la presenza di un orizzonte organico- torboso, presente fra profondità comprese fra 7,50 e

9,00 m circa dal p.c., di spessore mediamente pari ad un metro circa. Tali litotipi marcano una fase a

bassissima energia idrodinamica- deposizionale, ovvero una palude anossica.

Data la disuniformità dell'ubicazione spaziale e temporale delle lenti granulari (in senso lato: sabbiose

e/o limose) e nonostante il loro modesto spessore unitario e complessivo e data anche la presenza

dell'orizzonte organico- torboso, le indagini relative ai singoli interventi (obbligatoriamente previste dal

D.M./N.T.C. e dall'apposita Legislazione Regionale che disciplina le "pratiche sismiche") dovranno

concentrarsi anche sulla esatta e puntuale definizione stratigrafica dei singoli lotti e sull'individuazione di

eventuali disuniformità stratigrafiche anche a piccola, piccolissima scala. Tali disuniformità potrebbero

infatti anche causare cedimenti differenziali sulle strutture da realizzarsi.

Contemporaneamente dovranno definire puntualmente/localmente le caratteristiche granulometriche

(ad esempio circa la presenza dei termini fini nei terreni granulari, onde individuare l'eventuale propensione

alla liquefazione) e geomeccaniche (quali ad esempio: compressibilità/cedevolezza, durata della

maturazione dei cedimenti ecc. Anche se non soprattutto in rapporto alle tipologie e geometrie fondali da

realizzarsi) anche attraverso apposite indagini di laboratorio geotecnico su campioni di terreno indisturbato

appositamente raccolti.

3.2 Considerazioni sulla stratigrafia locale

La scheda di progetto dell'area in esame individuata dal P.S.C. di Argenta come ANS(2)13+ANS(3)5

individua/riporta caratteristiche geotecniche medie/buone. In realtà, sulla base di quanto riportato al punto

precedente tale classificazione del tutto qualitativa dovrà essere debitamente confermata o meno dalle

successive indagini che dovranno essere condotte sui singoli lotti.

21

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi Via A. Da Brescia 11, 44011 Argenta (FE) Tel. e Fax: 0532852858, cell.:3355373693 e-mail: <u>rabrugco@libero.it</u> ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

Circa la definizione di fenomeni quali la liquefazione degli orizzonti saturi granulari e la compressibilità dei terreni coesivi soffici (temi individuati dall'Atto di Indirizzo e coordinamento tecnico N.º 112, "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia- Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica". Delibera dell'Assemblea Legislativa del 02/05/2007), si dovrà osservare quanto segue:

- 3.2.1. Liquefazione:

II fenomeno della liquefazione determina una diminuzione della resistenza al taglio e/o della rigidezza, nei litotipi granulari, causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico e tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. Le Norme Tecniche annesse alla vigente Normativa Sismica (l'Ordinanza 3274, 3316 e ss., già più volte citate) impongono detta verifica quando "la falda freatica si trovi in prossimità della superficie (p.c.) ed il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo- argillosa", "Nel caso di edifici con fondazioni superficiali tale verifica può essere omessa per litotipi suscettibili che si trovino a profondità maggiore di 15 m dal p.c." "Tale verifica si può altresì omettere nel caso Sag <0,15 g e contemporaneamente il litotipo potenzialmente liquefacibili soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:" -contenuto d'argilla >20% con IP (Indice Plastico)>10; -contenuto di limo >35% e Nspt>20; -frazione fine trascurabile e Nspt>25, (dove IP =Indice Plastico, Nspt =Resistenza Penetrometrica normalizzata alla prova Nspt in foro). La normativa impone che quando nessuna delle precedenti condizioni risulti soddisfatta si debba procedere alla verifica mediante i metodi generalmente accettati dalla Ingegneria Geotecnica.

Per l'area in esame, complessivamente intesa, $S \times a_g/g$ è pari a: 0,2299; che deriva da $a_g/g=0,158$ (da cui $a_g=1,5499$) e S=1455 (per lo S.L.V., come si potrà vedere all'apposito seguente punto della presente relazione). Occorrerà però ricordare che, dalla ricostruzione stratigrafica locale non appaiono depositi granulari saturi di ubicazione, spessore e caratterizzazione granulometrica tale da poter generare fenomeni di liquefazione. E ciò anche se la tematica si presenta in maniera disomogenea sull'area in esame, circa le risultanze delle singole prove C.P.T. si può ad esempio riscontrare quanto segue:

- C.P.T. 1: gli orizzonti granulari saturi presentano modestissimo spessore sia per ogni singolo livello, si rilevano infatti spessori massimi pari al massimo a 40 cm circa e quindi larghissimamente insufficienti a dar origine a fenomeni di liquefazione risentibili alla superficie. Lenti granulari di spessore maggiore (e comunque metrico, quindi ancora largamente insufficiente) sono presenti dalla profondità di circa 15 metri dal p.c. Autori quali Crespellani, Sheriff, Ishibashi

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

ed Altri riportano però come la presenza di un "tappo" argilloso o comunque non liquefacibile dello spessore di circa 5 metri (per le energie sismiche attese per l'area in esame) possa efficacemente contrastare la trasmissione alla superficie degli effetti di una eventuale liquefazione. Per il caso in esame tale spessore è pressoché triplo.

- C.P.T. 2: gli orizzonti granulari saturi presentano modestissimo spessore sia per ogni singolo livello, si rilevano infatti spessori massimi pari al massimo a 40 cm circa e quindi larghissimamente insufficienti a dar origine a fenomeni di liquefazione risentibili alla superficie. Lenti granulari di spessore maggiore (e comunque metrico, quindi ancora largamente insufficiente) sono presenti dalla profondità di circa 15 metri dal p.c. Autori quali Crespellani, Sheriff, Ishibashi ed Altri riportano però come la presenza di un "tappo" argilloso o comunque non liquefacibile dello spessore di circa 5 metri (per le energie sismiche attese per l'area in esame) possa efficacemente contrastare la trasmissione alla superficie degli effetti di una eventuale liquefazione. Per il caso in esame tale spessore è pressoché triplo.
- C.P.T. 3: gli orizzonti granulari saturi presentano modestissimo spessore sia per ogni singolo livello, si rilevano infatti spessori massimi pari al massimo a 40 cm circa e quindi larghissimamente insufficienti a dar origine a fenomeni di liquefazione risentibili alla superficie.
- C.P.T. 4: gli orizzonti granulari saturi presentano modestissimo spessore sia per ogni singolo livello, si rilevano infatti spessori massimi pari al massimo a 40 cm circa e quindi larghissimamente insufficienti a dar origine a fenomeni di liquefazione risentibili alla superficie.

Nel complesso si deve quindi concludere che il fenomeno della liquefazione non rappresenti un rischio co- sismico per l'area in esame.

Poiché però l'estrapolazione su larghe superfici di dati puntuali normalmente riconduce alla possibilità di introdurre errori di valutazione, <u>le indagini da eseguirsi su ogni singolo lotto dovranno verificare se tali conclusioni valgano appunto per ogni singolo lotto.</u>

Caratterizzazioni granulometriche dei litotipi caratterizzanti l'area in esame sono nella disponibilità della bibliografia tecnica dello scrivente e sono relativi agli immediati pressi dell'area in esame e logicamente agli stessi litotipi che caratterizzano l'area stessa. Di seguito si riportano le risultanze delle analisi di laboratorio condotte (da laboratorio debitamente dotato di apposita Autorizzazione Ministeriale per le prove sulle terre) su due campioni di terreno raccolti in due sondaggi (P023 e P024) superficiali eseguiti a qualche centinaia di metri dall'area in esame, la stratigrafia di tale sondaggio (anch'essa riportata)

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

è riconducibile all'assetto rilevato dalle C.P.T. 3 e 4. Si potrà verificare come la lente granulare più superficiale (non in falda) presenti valori percentuali dei termini fini largamente predominanti, infatti a fronte di una presenza del termine sabbioso pari a circa il 35% sono presenti termini limosi nella ragione del 25% ed il termine argilloso è presente nella ragione del 40% circa. Tale lente quindi non è liquefacibile (qualora fosse immersa in falda).

È plausibile annettere che tali campioni siano rappresentativi della colonna stratigrafica locale, che vede la propria origine depositiva ascrivibile sempre alla stessa situazione complessiva, e che le conclusioni di non liquefacibilità possano quindi estendersi anche alle lenti "granulari" più profonde.

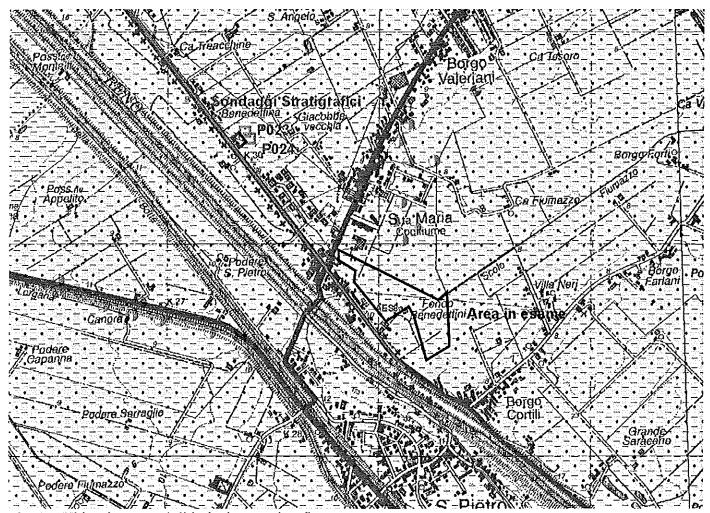


Fig. 17: Ubicazione punti di indagine stratigrafica.

Dott, Geol. Raffaele Brunaldi Via A. Da Brescia 11, 44011 Argenta (FE) Tel. e Fax: 0532852858, cell.:3355373693 e-mail: <u>rabrngeo@libero.it</u> ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

1,30 1,30 1,30 Limo sabbioso nocciola Limo argilloso grigio-nocciola con livelletti di sabbia fine nocciola 2,40	1,30 1,30 Limo sabbioso nocciola Limo argilloso grigio-nocciola con livelletti di sabbia fine nocciola	1,30 1,30 1,30 1,30 1,30 2,40 2,40 Argilla compatta grigio-nocciola Argilla compatta grigio-nocciola Argilla compatta grigio-nocciola Argilla compatta grigio-nocciola Onto	m	. proponditi	s stratigrafi	е семр. А	OIFIUME (FE) QPC: 7,8 m COMUNE: A	- 	114644
Limo argilloso grigio-nocciola con livelletti di sebbia fine nocciola	Limo argilloso grigio-nocciola con livelletti di sabbia fine nocciola 2,40 Argilla compatta grigio-nocciola Argilla compatta grigio-nocciola	Limo argilloso grigio-nocciola con livelletti di sabbia fine nocciola 2,40 Argilla compatta grigio-nocciola Argilla compatta grigio-nocciola Argilla compatta grigio-nocciola	1		5.5.5		Limo sabbioso nocciola	3.P.T	Kg/em
	3,00 STIONAL AND DOCK	3,00 Signal Sign	2		~~~~~ ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	1 1	con livelletti di sabbia fine	٠	

e-mail; rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com



elletipi s.r.i.

Via Modena, 167/109 - 44100 FERRARA Sede e Laboratorio

Tel. (0532) 56.771 - Telefax (0532) 56.119 Reg. Soc. n. 4009 Trib, di Ferrara - C.C.I.A.A. Ferrara n. 91387 Parlita IVA e Codice Fiscale n. 00174800387

ANALISI GRANULOMETRICA con areometro 152 H ASTM

Campione:

S1C1

Committente:

Dr. Geol. Vittorio Rossi

Cantiere:

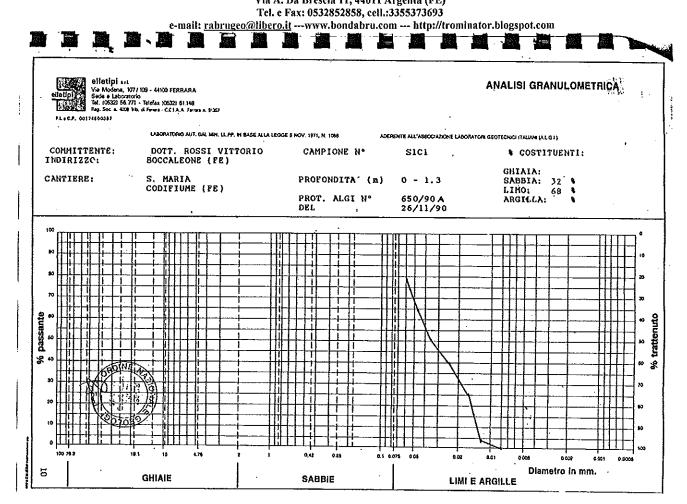
S.M.Codifiume

peso secco(g);

50

tempo (sec.)	lett.	prof. (cm.)	Diametro (mm)	Passante (%)
. 5	39	9. 9	. 05980422	78.00
1	32	11.1	. 04477759	64.00
2	26	12	.03292114	52.00
5	20	13	.02167135	40.00
10	13	14.2	.01601561	26.00
20	2	16	.01202110	4.00.
40	ō	16.3	.00857952	.00
				•••

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi Via A. Da Brescia 11, 44011 Argenta (FE)



e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com



elletipi s.r.i.

Via Modena, 107/109 - 44100 FERRARA

Sede e Laboratorio

Tel. (0532) 56.771 - Telefax (0532) 56.119 Reg. Soc. n. 4009 Trib. di Ferrara - C.C.I.A.A. Ferrara n. 91367 Paritta IVA e Codice Fiscale n. 00174800397

A COLORADO MANAGEMENTA

LIMITI DI ATTERBERG

Committente:

Vittorio Rossi

Cantiere: Data: S.M.Codifiume

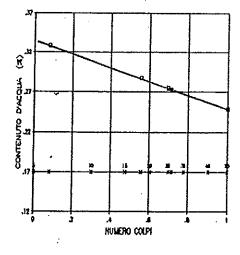
15.11.90

Prot.A.L.G.I. N*:650/90

Sondaggio S1	CampioneC1	Profond.	(m) da	0	a	1.3

	I	im. Liqu	ido I	.im. Plasti	co Umidita'	•
N° CONTENITORE NUMERO COLPI PESO UMIDO + TARA PESO SECCO + TARA ACQUA CONTENUTA TARA PESO SECCO CONTENUTO D'ACQUA	. 1 18 36.3 29 7.3 3.6 25.4 28.74%	2 26 35.9 28.8 7.1 2.8 26 27.31%	30.3 23.5 6.8 2.8 20.7 32.85%	6.25 5.75 .5 3.9 1.85 27.03%	5 125 102 23 2.7 99.3 23.16%	

LL =	27.48%	Limite Liquido
LP =	27.03%	Limite Plastico
Wn =	23.16%	Umidità Naturale
IP =	. 45%	Indice Plastico
Ic ⇒	9.62	Indice di Consistenza





. 13

Figg. 18: Sondaggio stratigrafico P023 ed analisi di laboratorio geotecnico.

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi Via A. Da Brescia 11, 44011 Argenta (FE) Tel. e Fax: 0532852858, cell.:3355373693 e-mail: <u>rabrugeo@libero.it</u> —www.bondabru.com — http://trominator.blogspot.com

P024. 203120 QPC: 8 m PROFONDITA': 3 m COMUNE: ARGENTA data 9,11.90 IAGGIO n. 2

A A	mL.	profondita	stratigrafia	самр.й	Lips LitaLagica	Mealpi	Pest
1,40 1,40						\$.P.T.	Kg/es
Limo argilloso grigio-nocciola, plastico 1,90 2,00 Sabbia fine satura, colore nocciola Argilla compatta grigio-nocciola 3,00 Argilla compatta grigio-nocciola	1		~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~		Limo sabbioso nocciola		
2,40 3,00 Sabbia fine satura, colore nocciola Argilla compatta grigio-nocciola		1,40	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2		himo argilloso grigio-nocciola, plastico	٠	
2,40 Argilla compatta grigio-nocciola Argilla compatta grigio-nocciola	2	1,90	2,00		,		
3 3,00 AND		2,40			cíola		
	3	3,00		·.	SETIONAL CONTRACTOR		•
			,	•	To Company 13		
5	4		. 4				
	5					٠	

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com



elletipi s.d.

Via Modena, 107/109 - 44100 FERRARA Sede e Laboratorio

Tel. (0532) 56.771 - Telefax (0532) 56.119 Reg. Soc. n. 4009 Trib. di Ferrara - C.C.I.A.A. Ferrara n. 91387 Partita IVA e Codica Fiscale n. 00174600387

> ANALISI GRANULOMETRICA con areometro 152 H ASTM

Campione:

S1C2

Committente:

. Dr.Geol.Vittorio Rossi

Cantiere:

S.M.Codifiume

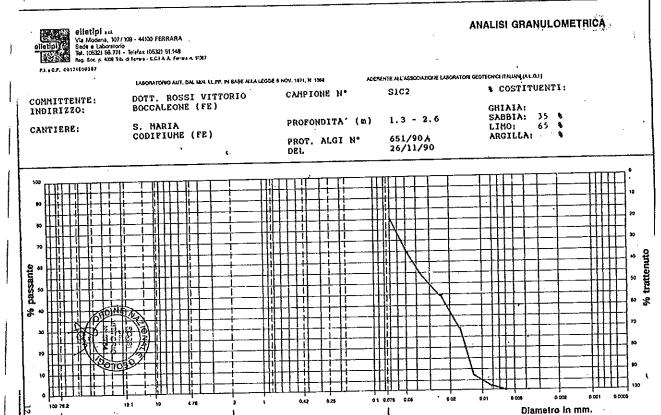
2000

secco(g):

50

head	50050(5)			
tempo		prof. (cm.)	Diametro (mm)	Passante (%)
	.5 40 1 32 2 27 5 22 10 14 20 4 40 1 80 0	9.7 11.1 11.9 12.7 14 15.6 16.1 16.3	.05919706 .04477759 .03278368 .02141984 .01590242 .01186989 .00852672	80.00 64.00 54.00 44.00 28.00 8.00 2.00

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com



SABBIE

CHIME

LIMI E ARGILLE

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com



elletipi s.d.

Via Modena, 107/109 - 44100 FERRARA

Sede e Laboratorio

Tel. (053_j 56.771 - Telefax (0532) 56.119 Reg. Soc. n. 4009 Trib. di Ferrara - C.C.I.A.A. Ferrara n. 91387 Partita IVA e Codice Fiscale n. 00174600387

LIMITI DI ATTERBERG

Committente:

Vittorio Rossi

्रे Cantiere:

S.M.Codifiume

Data:

15.11.90

Prot.A.L.G.I. N*:651/90

1,3

Sondaggio S1

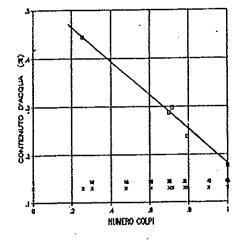
CampioneC2

Profond. (m) da

2.

	I	im, Liqu	ido L	im. Plastic	o Umidita!	
N° CONTENITORE	1	2	3	4 26	5	-
NUMERO COLPI PESO UMIDO + TARA	31 25.25	27.35	26 33.6	6.8	84	
PESO SECCO + TARA ACQUA CONTENUTA	20.9 4.35	19.8 7.55	26.6 7	.8	67.5 16.5	
TARA PESO SECCO	2.6 18.3	2.8 17	23.6	2.7 3.3	2.7 64.8	
CONTENUTO D'ACQUA	23.77%	44.41%	29.66%	24.24%	25.46%	

LL	≕	28.59%	Limite Liquido
LP	=	24.24%	Limite Plastico
Wn	= :	25.46%	Umidità Naturale
IP	=	4.35%	. Indice Plastico
Ιc	===	72	Indice di Consistenza





14

LABORATORIO AUT. DAL MIN. EL.PP. IN BASE ALLA LEGGE 5 HOV. 1971, N. 1066

ADERENTE ALL'ASSOCIAZIONE LABORATORI GEOTECHICI ITALIANI (A.L.G.I.),

Figg. 19: Sondaggio stratigrafico P024 ed analisi di laboratorio geotecnico.

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

3.2.2. Terreni coesivi compressibili

L'Atto di Indirizzo 112/2007 della Regione Emilia-Romagna prevede anche che qualora si individuino terreni coesivi molto soffici ovvero caratterizzati da Cu< 70 KPa e Plastici, ovvero caratterizzati da un Indice Plastico (Ip) \geq 30% e nei quali si preveda un aumento delle pressioni interstiziali Δ u/ σ 0 \geq 0,3 durante il terremoto di riferimento, si debba procedere a valutare l'entità del cedimento di riconsolidazione conseguente alle dissipazioni dei pressioni interstiziali accumulatesi durante il terremoto.

Come già riportato, in corrispondenza del punto di esecuzione della C.P.T. 4 si è eseguito un sondaggio stratigrafico condotto sino alla profondità di 6,00 m dal p.c. e si è raccolto un campione di terreno sul quale si sono condotte apposite analisi di laboratorio geotecnico (debitamente dotato di apposita Concessione Ministeriale per le prove sulle terre), di seguito si riporta il certificato di analisi.

Come si vedrà di seguito, Essendo l'Indice Plastico Ip pari a 25% (e quindi inferiore a 30%), come riportato dall'atto di indirizzo, <u>il calcolo può essere omesso</u>.

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

Laboratorio Dr.Geol.Antonio Mucchi

Via A. Ascari, 8 - 44019 Gualdo (FE) - Tel 0532/815681 isc.C.C.I.A.A. di Ferrara n°170881-P.I. 00534480389 Ministero infrastrutture e Trasporti - Decreto p° 52494 del

Concessione Ministero infrastrutture e Trasporti - Decreto nº 52494 del 11/10/2004 Settore A: Prove di Laboratorio sul terreni (al sensi dell'art.8 del D.P.R. n°246/1993)

LIMITI DI ATTERBERG (Norma CNR - UNI 10014)

Committente:

Dr. Brunaldi R.

Cantiere :

Santa Maria Codifiume

Campione:

C1- CPT4: 5,00-6,00 m dal p.c.

Data inizio prova: 24/03/12

	1 :	mila Havdala			L 11 1 10 10 11 11 11 11		
N° CONTENITORE	1	mite liquido 2	3	Lim.plastico media 2 det.	Umidita' Naturale		
N° COLPI	33	20	10	inedia 2 det.	4		
Massa terreno umido + tara (g)	32.42	37.29	39.07	10.00	252.00		
Massa terreno secco + tara (g)	27.01			13.36	256.00		
Massa acqua contenuta (g)	5.41	29.81	30.78	12.82	214.19		
Massa tara (g)	13.03	7.48	8,29	0.54	41.81		
Massa terreno secco (g)		12.89	13.69	9.72	9.16		
Contenuto d'acqua %	13.98 38.7	16,92	17.09	3.11	205.03		
Contenuto d'acqua 76	30.7	44.2	48.5	17.2	20.4		
Limite liquido % 42 Limite Plastico % 17 Umidita' naturale% 20.4 Indice Plastico % 25 Indice di consistenza : 0.87	80 - 80 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 -		Argille organiche di n plasticita'	Limi in	Argille aniche di alta blasticita' horganici e argille organiche 80 100		
	GRAFICO DEL LIMITE DI LIQUIDITA'						
\$\frac{55}{50}\$ \$\frac{55}{50}\$ \$\frac{55}{50}\$ \$\frac{55}{50}\$ \$\frac{7}{50}\$ \$\frac{7}{40}\$ \$\frac{7}{30}\$ \$\frac{25}{10}\$ Pagina 1 di 1 Sperimentatore		Qirtettore	ONE MARSTEAD TURKE E TRANSPORTI ASSIST	S S S S Apporto di pr	100 Tova		
Dr. Malagur D.	Dr. Geol	Muxen Anto	Onio CON	Data emission			

Fig. 20: Rapporto di analisi di laboratorio.

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi Via A. Da Brescia 11, 44011 Argenta (FE) Tel. e Fax: 0532852858, cell.:3355373693 e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

3.3 Considerazioni sulla idrogeologia locale

Nei punti di esecuzione delle indagini penetrometriche si è potuta misurare la profondità della falda freatica (o perlomeno della prima falda sospesa) alle seguenti profondità:

- C.P.T. 1: -1,80 m circa dal p.c.;
- C.P.T. 2: -1,70 m circa dal p.c.;
- C.P.T. 3: -2,50 m circa dal p.c.;
- C.P.T. 4: -2,600 m circa dal p.c.

Tali misure delineano il seguente assetto idrogeologico locale:

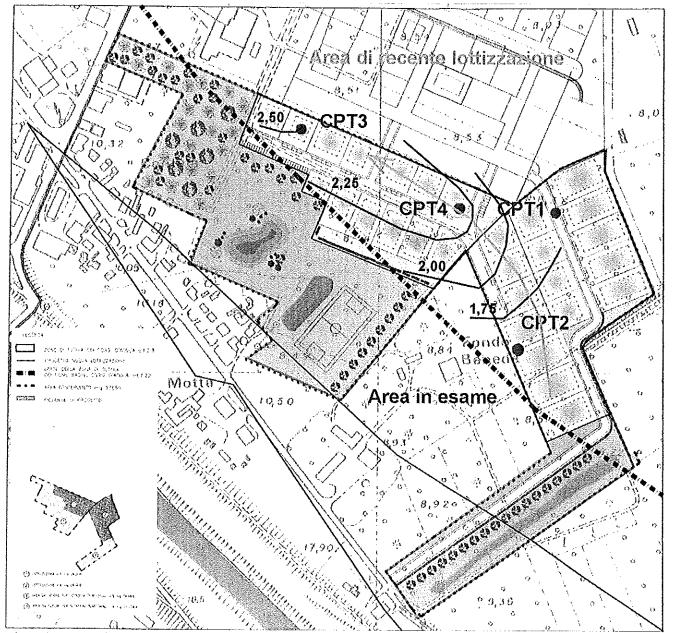


Fig. 21: Carta delle idroisobate e delle isofreatiche (ammettendo la superficie di campagna sostanzialmente orizzontale). Scala libera.

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

Si delinea quindi una alimentazione da Sud- Est verso Nord- Ovest, comunque ascrivibile all'attuale Fiume Reno o alle vene fossili delle paleo divagazioni dell'Idice. Il Reno è pensile su terreni sostanzialmente argillosi, il suo attuale tracciato è dovuto alle grandi modificazioni antropiche risalenti all'800. E' comunque appurato che o l'attuale Reno o le paleo divagazioni dell'Idice alimentano le campagne circostanti (quali ad esempio l'area in esame) per perdite di sub- alveo. Non si può poi escludere un controllo piezometrico legato all'altezza del pelo libero dell'acqua nel corso idrico. Il regime del Reno è torrentizio, con improvvise piene caratterizzate anche da notevoli altezze piezometriche e magre normalmente molto prolungate. Ciò può determinare oscillazioni della falda freatica dell'ordine dei due metri o più. Ci si potranno cioè attendere profondità della falda comprese fra 1,50 e 4,00 m circa dal p.c. con valori medi di circa 2,00 m dal p.c. Come si può evincere dal seguente stralcio dell'apposita cartografia di riferimento del P.S.C. di Argenta.

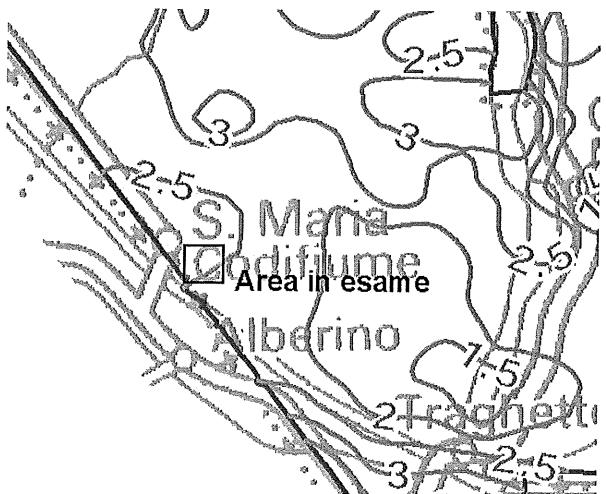


Fig. 22: stralcio a scala libera della Carta delle Idroisobate del P.S.C. di Argenta.

Tali variazioni sono assolutamente normali/naturali per le falde freatiche sospese e per tutta la Pianura Padana, ma per l'area in esame, come già riportato, potrà esservi il controllo piezometrico determinato dal

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

particolare regime del Fiume Reno. Di tale attitudine della falda occorrerà tenere debito conto in fase di indagine di ogni singolo lotto, in relazione alle tipologie e geometrie fondali ed alle "performances" richieste dalle strutture in elevazione (e/o dalle relative finiture ecc.) infatti la variazione della falda potrà causare o meno, fenomeni di ritiro e rigonfiamento dei terreni di fondazione. Fenomeni che potrebbero seguire l'andamento stagionale o essere anche molto meno regolari e/o, come visto, influenzati dal particolare regine del Fiume Reno. Occorrerà cioè verificare puntualmente l'eventuale entità di tali ritiri/rigonfiamenti e se tale entità può essere congrua con le strutture da realizzarsi.

Negli immediati intorni dell'area in esame si rilevano altri corpi idrici d'origine antropica a funzionalità idraulica/irrigua (come riportati in Fig. 1), quali lo Scolo Fiumazzo che evacua le acque Verso Nord- Est. Scoline e fossi costellano poi la campagna regolando il deflusso delle acque. Dall'apposita cartografia di riferimento del P.S.C. (che per brevità si omette) si può rilevare come <u>l'area in esame non sia mai stata interessata da fenomeni di alluvionamento</u>.

4. STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE- DESCRIZIONI

4.1 Introduzione

In ottemperanza all'Atto di Indirizzo 112/2007 della Regione Emilia-Romagna, è stato eseguito uno studio di risposta sismica locale volto alla definizione delle frequenze di risonanza del terreno, dei Fattori di Amplificazione e degli spettri di risposta elastici attesi nel sito in esame (e comunque anche al D.M./N.T.C. 2008), per la finalità della presente relazione relazione di integrazione sismica, sono state eseguite le seguenti indagini:

- 4 prove sismiche passive a stazione singola (HVSR);
- 2 prove sismiche attive in array di tipo MASW;
- 2 prove sismiche passive in array di tipo ReMi.

L'interpretazione delle indagini sismiche si è appoggiata alle conoscenze stratigrafiche locali derivanti dall'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo ed a quelle derivanti dall'esecuzione di indagini penetrometriche statiche, nonché sulla base di conoscenze stratigrafiche reperibili dall'apposita banca dati regionale. Tale studio è stato realizzato dalla Dott.sa Geol.a Giulia Sgattoni.

Il lavoro si è svolto in una prima fase di indagini ed elaborazione del modello di sottosuolo in termini di profilo di velocità delle onde di taglio e frequenze di risonanza, ed una seconda fase di modellazione

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

numerica del comportamento dinamico del sottosuolo (mediante il codice di calcolo unidimensionale EERA) sottoposto agli input sismici rappresentati dai terremoti di riferimento forniti dalla normativa della Regione Emilia- Romagna per il Comune di Imola (Atto di Indirizzo 112/2007).

Le indagini e la successiva modellazione hanno permesso di determinare le frequenze proprie dei terreni, le funzioni di trasferimento *bed rock*- superficie che mostrano i fattori di amplificazione del moto sismico alle varie frequenze e gli spettri di risposta che quantificano la sollecitazione massima a cui sono sottoposte le strutture in funzione del loro periodo proprio, per un determinato terremoto ed in funzione del suolo modellato.



Fig. 23: Ubicazione dell'area in esame su orto- foto aerea tratta da Google Earth ®; si riportano i punti di indagine complessiva.

4.2. Risposta Sismica Locale

Il moto sismico generato da un terremoto alla superficie di un sito in condizioni free- field (cioè in assenza di strutture) dipende da un insieme di fenomeni fisici che possono essere raggruppati in tre categorie: meccanismo di sorgente, propagazione delle onde sismiche dalla sorgente al sito ed effetti di sito. I primi due gruppi di fenomeni definiscono il moto sismico di ingresso al sito che può subire importanti modifiche a causa dell'interazione delle onde sismiche con le condizioni locali del sito in esame. Queste ultime indicano l'insieme delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi superficiali e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. L'insieme delle modifiche che il moto sismico di ingresso al sito subisce, in termini di ampiezza, contenuto in frequenza e durata, per effetto delle condizioni locali, è indicato globalmente con il termine di risposta sismica locale (Rapolla, 2008). Tale studio consiste nella definizione del livello energetico e delle

e-mail: rabrugco@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

caratteristiche spettrali a cui lo specifico sito potrebbe essere esposto in caso di terremoto. Un'analisi di questo tipo viene condotta mediante una modellazione del sottosuolo e del comportamento dinamico di questo in conseguenza di un determinato input sismico (Rapolla, 2008).

4.3 Amplificazione Sismica di Sito

L'amplificazione sismica di sito è dovuta a vari fattori quali rigidità del terreno, risonanza stratigrafica, topografia. Gli effetti dei depositi di materiali sciolti caratterizzati da velocità di propagazione basse sul moto del suolo sono noti da anni e sono stati descritti in diversi lavori scientifici (es. Kramer, 1996). Numerose evidenze sperimentali dimostrano infatti come strati di sedimenti inconsistenti poggianti su terreni rigidi amplificano notevolmente il moto del suolo a valori di frequenza che dipendono dagli spessori delle coperture e dalla loro rigidità assoluta. Tale fenomeno è dovuto alla risonanza delle coltri sedimentarie, dovuta all'intrappolamento delle onde nel deposito sedimentario a causa di molteplici riflessioni dell'onda sismica SH o P incidente dal basso sulla coltre di sedimenti. L'ampiezza delle oscillazioni indotte sulle coperture è limitata principalmente dai coefficienti di attenuazione dei materiali.

3.4. Individuazione del modello di sottosuolo

Le indagini effettuate hanno permesso di ricostruire un modello di sottosuolo descritto dal profilo di Vs (velocità delle onde di taglio) e dalle frequenze di risonanza. A questo scopo sono state eseguite le già citate prove sismiche di tipo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) e ReMi (Refraction Microtremors) localizzate come già riportato in Figura 23.

3.4.1 tecnica d'indagine passiva a stazione singola HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o H/V:

La sismica passiva è una tecnica di prospezione del sottosuolo che si basa sulla registrazione del rumore sismico ambientale, detto anche microtremore, poiché costituito da oscillazioni, presenti ovunque sulla superficie terrestre, molto piccole (10-15 m/s2 in termini di accelerazione), svariati ordini di grandezza inferiori rispetto a quelle indotte dai terremoti nel campo vicino. Il rumore sismico è generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre, da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Il microtremore è in generale costituito da onde di volume e onde superficiali in diverse proporzioni. Diversi studi hanno dimostrato il ruolo predominante delle onde superficiali rispetto a quelle di volume, soprattutto a basse frequenze (Li et al., 1984; Horike et al. 1985; Yamanaka et al., 1994). I contributi dei diversi tipi di onde superficiali (onde di Rayleigh e di Love) sono tutt'ora discussi (SESAME WP08, 2004).

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

La tecnica HVSR consiste nella registrazione del microtremore ambientale per un intervallo di tempo di 10-20 min, presso una singola stazione di misura. Per estrarre informazioni relative al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito, sono stati proposti diversi metodi, a partire dagli studi di Kanai (1957). La tecnica oggi più utilizzata è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e verticale, comunemente nota con il termine H/V. Tale tecnica fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. In realtà, questa tecnica è riconosciuta affidabile per la misura della frequenza di risonanza del sito (individuata da un picco nella curva H/V), ma non per la determinazione dell'amplificazione sismica, poiché l'ampiezza dei picchi della curva H/V, pur essendo legata al contrasto d'impedenza tra strati, non è correlabile in modo semplice con l'amplificazione sismica (Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME WP12, 2004).

Tale prova permette di individuare le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica. Nel caso di un sistema costituito da uno strato soffice di spessore h (es. copertura sedimentaria) su semispazio rigido (bedrock), la curva H/V mostra un picco in corrispondenza della frequenza di risonanza delle onde SH nello strato tenero entro cui esse restano intrappolate per riflessione multipla. La frequenza a cui si manifesta la risonanza è individuata dall' equazione:

$$f = \frac{V_S}{4h}(2n+1), n = 0,1,2...$$

dove Vs è la velocità delle onde trasversali nello strato soffice. Per n=0 si ha la frequenza fondamentale e per n>0 si hanno le frequenze dei modi superiori.

Tale equazione mostra anche l'applicazione stratigrafica della tecnica HVSR: a partire da una misura di microtremore che fornisce f, in presenza di una stima della Vs delle coperture, si può infatti stimare la profondità dei riflettori sismici principali o viceversa, noto lo spessore di uno strato (ad es. da prove penetrometriche), è possibile ricavare informazioni sulle velocità delle onde S (Castellaro et al., 2005). In presenza di un sistema multistrato, invece, la curva mostra vari picchi in corrispondenza delle frequenze di risonanza del sistema. In questo caso, però, l'inversione della curva per ottenere una stratigrafia sismica è complessa e richiede la modellizzazione del campo d'onde nei mezzi stratificati (Castellaro e Mulargia, 2009a). Da indagini effettuate direttamente sul bedrock, la curva H/V risulterà invece piatta e con ampiezza circa uguale ad 1.

La prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontale e verticale deriva dal fatto che questo permette un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale, c)

e-mail: rabrugeo@libero.it --www.bondabru.com -- http://trominator.blogspot.com

l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con diversi livelli del rumore di fondo (Mulargia et al., 2007).

4.4.2 Acquisizione ed elaborazione dei dati (HVSR):

La misura è stata eseguita con il tromografo digitale Tromino (Micromed S.p.A.), un apparecchio portatile compatto dotato di tre velocimetri orientati nelle direzioni N-S, E-W e verticalmente, un digitalizzatore a 24 bit ed il sistema di archiviazione su flash memory. Si è acquisita una registrazione della durata di 10 minuti, campionata ad una frequenza di 128 Hz. Il segnale acquisito, utilizzando il software Grilla (in dotazione con il tromografo Tromino), è stato quindi corretto per la linea di base (sottraendo a ciascun punto la media effettuata sull'intera traccia), corretto da andamenti (trend) anomali (sottraendo la retta della regressione lineare effettuata su tutti i punti della traccia, filtrato con un passa banda tra 0.1 e 64 Hz.

Le registrazioni sono state suddivise in finestre di 20 secondi senza sovrapposizione. Le finestre sono state pulite, trasformate nel dominio delle frequenze per mezzo di una FFT (Fast Fourier Transform) e levigate con una finestra triangolare di larghezza pari al 10% della frequenza centrale. La curva H/V media è ottenuta dalla media delle componenti orizzontali (H) divise per la componente verticale (V). Per ogni curva H/V è dato anche l'intervallo di confidenza.

4.4.3 Tecniche in array:

Le tecniche in array sono metodi di prospezione basati sulla registrazione sincrona di un segnale sismico lungo uno stendimento di sensori. Il segnale può essere o il rumore sismico ambientale (sismica passiva) o il campo d'onde indotte da una sorgente energizzante (sismica attiva).

In questo studio sono state utilizzate due tecniche, una passiva denominata ReMi (Refraction Microtremor, Louie, 2001), ed una attiva, chiamata MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves; Park et al., 1999; Xia et al., 1999). Entrambe sfruttano la proprietà dispersiva delle onde superficiali per ricavare le curve di dispersione (ovvero la variazione della velocità di fase in funzione della frequenza) e da esse, tramite opportuna inversione, il profilo di Vs nel sottosuolo.

4.4.4 ReMi (Refraction Microtremor):

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

La tecnica ReMi fu introdotta da Louie (2001), che propose una disposizione lineare di geofoni, analoga a quella usata per le indagini di sismica a rifrazione, per il campionamento del microtremore sismico.

L'algoritmo alla base del metodo di analisi fu proposto da McMechan e Yedlin (1981), allo scopo di studiare le onde superficiali presenti nelle acquisizioni di sismica attiva. Esso consiste sostanzialmente nell'esecuzione di due trasformazioni del segnale:

- 1) slant-stack ("sovrapposizione obliqua") delle tracce acquisite nel dominio del tempo.
- 2) Trasformata di Fourier su dei fasci formati al punto 1).

In pratica, nota la geometria dello stendimento, per ogni valore di Vs di prova si calcola il ritardo della stessa onda ai geofoni e si studia la correlazione del segnale tra i punti dello stendimento. Il massimo di tale correlazione sarà ottenuto per il valore di Vs che più si avvicina a quello reale.

Il problema maggiore di questa tecnica è legato all'uso di uno stendimento lineare di sensori: infatti, non essendo nota la direzione di provenienza delle onde che costituiscono i microtremori rispetto all'orientamento dell'array, è possibile che la curva di dispersione mostri una velocità apparente maggiore di quella reale. Per questa ragione, a titolo cautelativo, la curva teorica viene fatta passare lungo il margine inferiore della fascia di massima energia associata alle onde di Rayleigh nella curva di dispersione.

4.4.5 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves):

Il metodo MASW si basa sull'acquisizione multicanale del campo d'onda indotto da un dispositivo di energizzazione allineato con l'array di geofoni. Durante una acquisizione MASW vengono effettuate alcune registrazioni di un impulso generato ad esempio dalla caduta di un grave (mazza battente, salto dell'operatore). La durata di ogni acquisizione è di qualche secondo, in relazione alla distanza tra il primo e l'ultimo geofono e alla velocità media che caratterizza il terreno. La tecnica MASW sfrutta lo stesso algoritmo alla base del metodo ReMi, ma, in questo caso, essendo nota la direzione di provenienza del campo d'onde ed essendo maggiore il rapporto segnale-correlato/rumore, le curve di dispersione sono meglio definite rispetto a quelle ottenute con la tecnica passiva e la curva di dispersione teorica viene fatta passare al centro della fascia di massima energia. I modi superiori possono risultare energeticamente dominanti in funzione della geometria dello stendimento impiegata, del contenuto energetico della sorgente e della stratigrafia locale, soprattutto in presenza di bruschi gradienti di velocità nel sottosuolo e di inversioni di velocità.

4.4.6. Acquisizione ed elaborazione dei dati (MASW, ReMi):

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

Per le misure in array è stato utilizzato il sistema digitale multicanale SoilSpy Rosina (Micromed S.p.A.), collegato a geofoni verticali tradizionali a bassa frequenza (4.5 Hz). Tale sistema, in cui il segnale viene digitalizzato all'altezza dei singoli geofoni e non alla fine di centinaia di metri di cavo ha il vantaggio di aumentare notevolmente il rapporto segnale/rumore e di ridurre drasticamente i pesi e le dimensioni della strumentazione. Il sistema si connette ad un qualsiasi PC portatile o palmare con sistema operativo Windows per l'impostazione dei parametri di acquisizione, il salvataggio dei dati e la loro pre-analisi.

È stato utilizzato uno stendimento lineare di 17 geofoni con spaziatura di 5,20m, per una lunghezza totale di 85 m. Per la prova attiva MASW come sorgente energizzante è stata utilizzata la caduta di un grave (salto dell'operatore) in linea con l'array, a circa 10 m di distanza dal primo geofono. Sono stati registrati 3 impulsi per ogni sito con frequenza di campionamento di 512 Hz. Per l'analisi ReMi è stato acquisito il rumore ambientale lungo l'array lineare per una durata di 5 minuti alla frequenza di campionamento di 512 Hz.

Anche per l'elaborazione dei dati delle prove in array è stato utilizzato il software Grilla, che permette anche il fit congiunto delle curve H/V con le curve di dispersione.

I dati della prova in array di tipo passivo (ReMi) sono stati suddivisi in 30 finestre di 10 secondi, per ognuna delle quali è stata ottenuta una curva di dispersione. Le finestre sono state analizzate singolarmente per individuare quelle più coerenti, poi mediate ed interpretate con modellazione diretta (forward modeling).

I dati della prova MASW sono stati suddivisi in finestre di 1 secondo e, mediando – solo se necessario - le finestre temporali relative alle varie energizzazioni, è stata ottenuta la curva di dispersione interpretata poi con modellazione diretta.

Di seguito si illustreranno i risultati complessivi derivanti dalle elaborazioni delle misure eseguite e testè descritte.

5. RISULTATI DELL'ANALISI SISMICA

5.1 Frequenza di risonanza del sito

Con la tecnica HVSR è stata individuata la frequenza di risonanza del sito, compresa tra 0.8 e 1

Hz.

Tale frequenza è individuata da un picco visibile in tutte le quattro curve H/V ottenute nei quattro punti di misura e corrisponde ad un *bedrock* sismico stimato a profondità di circa 80 m, come visibile nel modello di sottosuolo riportato a seguire. Si osserva anche un picco più modesto a frequenza di circa 2 Hz.

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

Alla seguente Fig. 24 sono mostrate a confronto le quattro curve H/V, che risultano analoghe, testimoniando una sostanziale omogeneità dell'area investigata.

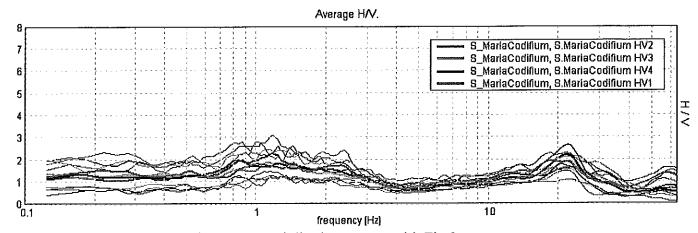


Fig.24: Curve H/V ottenute nei quattro punti di misura mostrati inFig.2.

5.2 Profilo di Vs

Come mostrato in precedenza sono state eseguite indagini sismiche lungo due stendimenti. Lungo ognuno sono state effettuate una prova MASW, una ReMi e due HVSR. Le curve ottenute non mostrano differenze significative e si è quindi elaborato un unico modello di sottosuolo (in termini di profilo di velocità delle onde di taglio Vs nel sottosuolo) operando con un fit congiunto della curva H/V e delle curve di dispersione ottenute dalle prove in array. Si riporta a seguire il profilo di velocità ottenuto e le corrispondenti curve H/V e curve di dispersione delle onde di Rayleigh ottenute dalle prove MASW e ReMi.

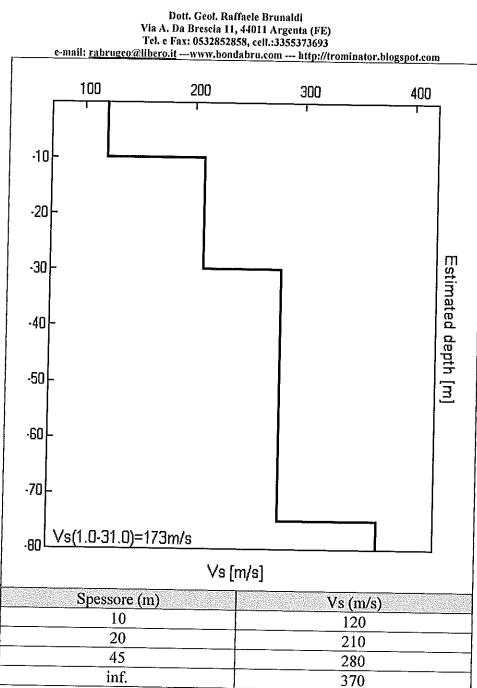


Fig. 25: Profilo di Vs ottenuto dal fit congiunto delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayeligh (da prove MASW e ReMi) con la curva H/V.

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

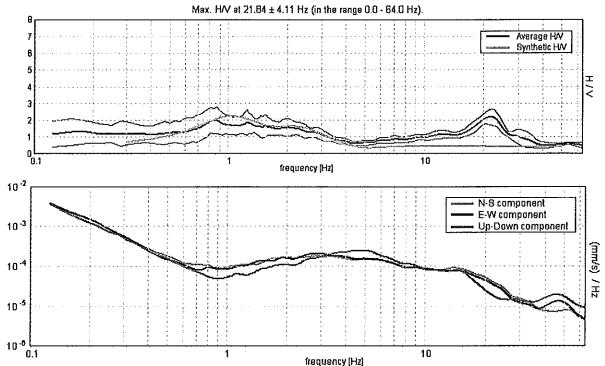


Fig. 26: In alto: curva H/V sperimentale (media in rosso e deviazione standard in nero) relativa al punto di misura n.4 e curva H/V teorica (in blu) ottenuta per il modello di sottosuolo di fig. 25. In basso: spettri delle singole componenti del moto (NS, EW e Z).

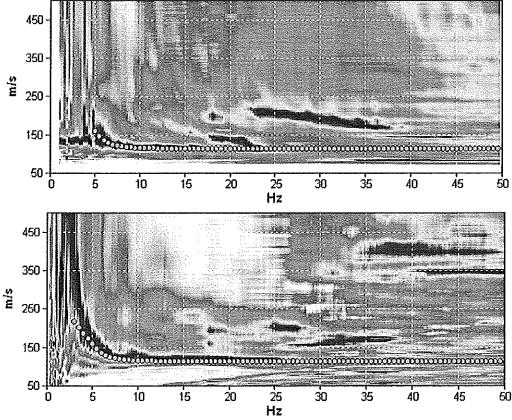


Fig. 27: Stendimento numero 1: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh (contour) ottenuti con le prove MASW (in alto) e ReMi (in basso). I pallini corrispondono alla curva di dispersione teorica (modo fondamentale) ottenuta dal modello di sottosuolo di fig.25.

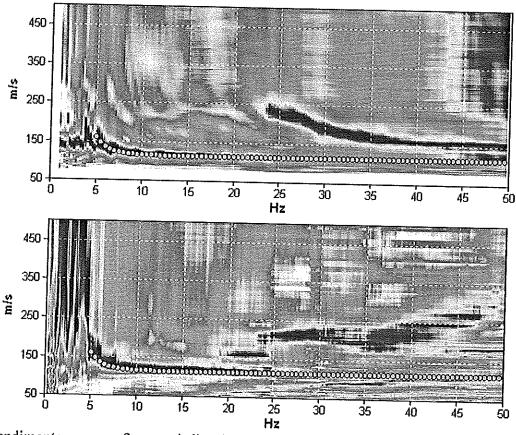


Fig. 28: Stendimento numero 2: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh (contour) ottenuti con le prove MASW (in alto) e ReMi (in basso). I pallini corrispondono alla curva di dispersione teorica (modo fondamentale) ottenuta dal modello di sottosuolo di fig. 25.

5.3 Analisi numerica

Per determinare la risposta del sottosuolo attesa in superficie a partire da un input (terremoto) tipico atteso al bedrock, è stato utilizzato il codice EERA (Equivalent- linear Earthquake site Response Analyses; J.P.Bardet et al., 2000), in grado di modellare la propagazione unidimensionale delle onde di taglio in un mezzo a stratificazione orizzontale. Il caso esaminato in questo lavoro è infatti riconducibile alla situazione più semplice di deposito caratterizzato da topografia piana e stratificazione orizzontale, in tal caso è possibile adottare un modello geometrico mono- dimensionale. Il codice di calcolo adottato si fonda su un modello di sottosuolo viscoelastico non lineare e adotta un metodo risoluzione che si definisce di tipo lineare equivalente. Questo significa che tiene conto della dipendenza del modulo di taglio G e del fattore di smorzamento D dal livello deformativo utilizzando un procedimento iterativo che si arresta quando si ottengono, per ciascuno strato, valori di G e D compatibili con le deformazioni calcolate. Il modello utilizzato dal codice EERA si basa sulle seguenti ipotesi:

- il deposito si estende infinitamente in direzione orizzontale;

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

- la risposta del sistema è causata dalla propagazione verso l'alto di onde di taglio provenienti dal bedrock, inteso come basamento rigido;
- ciascuno strato è definito da spessore, Vs (velocità delle onde trasversali), G, D, peso totale dell'unità di volume,
 - che sia nota la profondità della tavola d'acqua.

Per la modellazione è necessario definire un accelerogramma di input al bedrock e, per ciascuno strato del modello del sottosuolo, i seguenti parametri:

- spessore;
- velocità onde di taglio Vs;
- peso totale dell'unità di volume;
- curve $G/G0 \gamma$ (modulo di taglio-deformazione) e $D \gamma$ (fattore di smorzamento-deformazione).

Mentre i primi tre sono noti dai modelli ricavati tramite le prove geofisiche, per gli ultimi sono state utilizzate curve standard di letteratura fornite dal software stesso per diversi tipi di materiale: argilla, sabbia, roccia (argilla: Sun et al., 1986 e Idriss, 1990; sabbia: Seed & Idriss, 1970 e Idriss, 1990). Il tipo di materiale è stato definito per ciascuno strato in base alla litologia prevalente, individuata dai dati geognostici e dalle sezioni geologiche reperite dal sito della Banca Dati Geognostici del Servizio Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, in particolare facendo riferimento alla sezione geologica 094. In particolare si è attribuita litologia argillosa ai primi tre strati, fino a circa 80m e sabbiosa al di sotto di tale profondità. (Fig.29). Il modello di terreno utilizzato per la modellazione è riportato di seguito in Fig.29.

Come accelerogrammi di input sono stati utilizzati tre segnali di riferimento forniti dalla Regione per il Comune di Argenta (Atto di indirizzo 112/2007; reperiti nel sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli) la cui accelerazione di picco corrisponde a 0.16g (PGA₀: accelerazione massima attesa su suolo rigido di categoria A con probabilità di superamento del 10% in 50 anni).

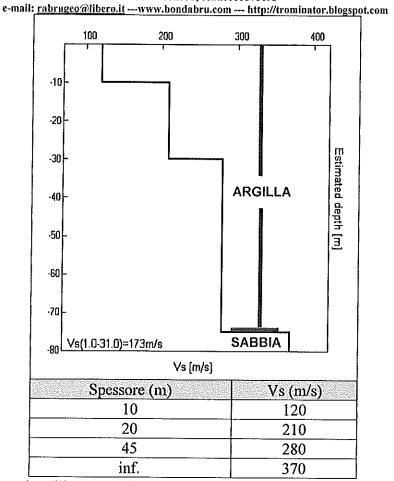


Fig. 29: Modello di sottosuolo utilizzato per la modellazione numerica con il codice EERA.

La modellazione numerica ha permesso di ottenere la funzione di trasferimento, che fornisce i fattori di amplificazione, e lo spettro di risposta elastico del sito in esame.

5.4 Fattori di Amplificazione

La funzione di trasferimento accelerazione in superficie/ accelerazione al bedrock permettono di individuare i fattori di amplificazione. La Fig. 29 mostra le funzioni di trasferimento ottenute con il codice EERA per i tre segnali di input utilizzati, messe a confronto con la curva H/V.

Osservare a confronto tali curve (pur ricordando che si riferiscono a tipi di onde differenti: onde di superficie per la curva H/V ed onde di volume per le funzioni di trasferimento) permette di individuare i picchi di amplificazione reali distinguendoli da picchi non reali, derivati dalla modellazione numerica, che, come è noto, dà luogo a funzioni di trasferimento con molti più picchi della realtà.

Si è quindi stimata un'amplificazione compresa tra 1.7 - 2 nel range di frequenza 1 - 2 Hz.

e-mail: rabrugeo@libero.it --www.bondabru.com -- http://trominator.blogspot.com

FUNZIONI DI TRASFERIMENTO - FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

4
35
3
-- input 1
-- input 2
-- input 3

Fig. 30: In toni di blu sono mostrate le funzioni di trasferimento bedrock-superficie ottenute dalla modellazione numerica con il codice EERA per il modello di sottosuolo di Fig. 29. Da tali curve è possibile ricavare i fattori di amplificazione attesi. In rosso: curva H/V sperimentale.

5.5 Spettri di risposta elastici

In Fig. 31 sono riportati gli spettri di risposta elastici ottenuti con la modellazione numerica per i tre segnali di input (smorzamento pari al 5%). Ad essi è sovrapposto lo spettro medio (linea spessa), che permette di stimare l'accelerazione massima a cui può essere sottoposta una struttura costruita in questo sito, in funzione del suo periodo proprio di vibrazione. Si ricorda che tali spettri sono relativi all'azione sismica attesa con probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($PGA_0=0.16g$).

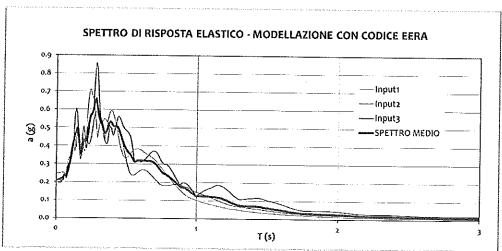


Fig. 31: Spettri di risposta elastici dell'oscillatore armonico semplice ad un grado di libertà (edificio tipo) in funzione del suo periodo naturale e dello smorzamento (assunto pari al 5%), ottenuti per i tre segnali di input con PGA0=0.16g forniti dalla Regione Emilia- Romagna. La linea spessa corrisponde allo spettro medio.

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

5.5.1 Valutazione dell'azione sismica secondo l'approccio semplificato - NTC 2008:

Si riporta anche la valutazione dell'azione sismica sulla base dell'approccio semplificato proposto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni – 2008 (Cap. 3.2.2 NTC-08). Sono stati ricavati gli spettri di risposta elastici attesi al sito, che sono funzione dell'accelerazione di riferimento (accelerazione massima con probabilità di superamento del 10% in 50 anni) riferita a suolo rigido (Cat. A) e delle caratteristiche locali che determinano gli effetti di sito (categoria di terreno secondo la tabella 3.2.II e topografia). Tali spettri sono costruiti anche in base ad alcuni parametri relativi alle strutture, ovvero Cu (coefficiente d'uso Cap. 2.4.1 NTC-08) e Vn (vita nominale Cap. 2.4.2 NTC-08).

5.5.2 Classificazione terreno secondo Vs30 (Tabella 3.2.II NTC):

Per mezzo delle tecniche sismiche sopra illustrate, è stato stimato il valore di Vs30 relativo al sito in esame. Come mostrato nel Paragrafo 4.2, al terreno in esame corrisponde un valore di Vs30 pari a circa $\underline{170}$ $\underline{m/s}$ ($\pm 10\%$).

Tale valore colloca il terreno al limite tra le categorie C (180 < Vs30 < 360 m/s) e D (Vs30 < 180 m/s), come si può osservare in Fig. 32.

Per classificare il terreno si è quindi tenuto conto sia dell'errore associato alla stima del Vs30, sia dei risultati ottenuti dalla modellazione numerica.

Sono stati confrontati gli spettri ottenuti dalla modellazione numerica con lo spettro di progetto semplificato allo SLV per edifici ordinari (Cu=1 e Vn=50 anni), ovvero riferiti entrambi ad un'azione sismica con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Da tale confronto è emerso che lo spettro di progetto per categoria D risulta iper-cautelativo rispetto a quello da modellazione numerica. Lo spettro per categoria C risulta ancora cautelativo in quasi tutto il dominio. Si segnala che solo intorno a T=0.3 s lo spettro modellato supera lo spettro semplificato (Fig. 33).

Si è quindi optato per la classificazione in categoria C.

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

Tabella 3.2.II - Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione						
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V _{s,30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.						
В	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).						
С	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).						
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).						
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).						

Fig. 32: Tabella 3.2.II da NTC 2008

5.5.3 Spettri di progetto

In Fig. 33 sono dati gli spettri di progetto ottenuti utilizzando i seguenti parametri relativi al sito in esame:

- categoria di sottosuolo: C
- condizioni topografiche: T1
- accelerazione di riferimento per terreno di Cat. A: 0.16 g
- Cu: 1
- Vn: 50 anni

In Tabella 1 sono riportati i parametri sismici.

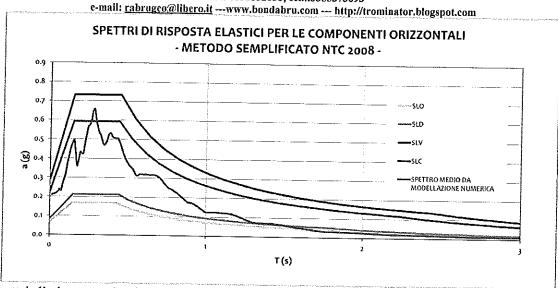


Fig. 33: Spettri di risposta elastici in accelerazione per le componenti orizzontali del moto ottenuti secondo il metodo semplificato proposto dalle NTC 2008, basato sulla tabella 3.2.II di classificazione dei terreni. Categoria di terreno: C, Cu=1, Vn=50 anni.

STA					S-12 32 5	T 6 6 6				1		I	
TO	5.55		68.45			2.2		8.8		(C) (S)	10000	0.000	
LIMI	Tr	a _g /g		T _c									
TE	(anni)	(g)	F ₀	(s)	Ss	Cc	St	a	S	ŋ	Tb(s)	To (e)	Td (s)
SLO	30	0.045	2.482	0.260	1.500	1.638	1.0	1.0	1.500	1.0	0.142	0.426	1.779
SLD	50	0.057	2.476	0.274	1.500	1.610	1.0	1.0	1.500	1.0	0.147	0.441	1.828
SLV	475	0.158	2.584	0.275	1.455	1.609	1.0	1.0	1.455	1.0	0.147	0.442	2.232
SLC	975	0.210	2.523	0.282	1.382	1.595	1.0	1.0	1.382	1.0	0.150	0.449	2.441

Tabella 1. Parametri sismici

6. SISMICITA' DELL'AREA

L'Emilia- Romagna è interessata da una sismicità che può essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5,50 e 6 e intensità massime risentite del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell'Appennino romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia sono il margine appenninico-padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico. Tale sismicità è dovuta al processo ancora attivo di costruzione della catena appenninica. In particolare risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza- Parma, Reggio Emilia e di Ferrara. (Boccaletti et al., 2004).

A seguito del terremoto del Molise del 2002, è stata elaborata una nuova Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale e la progettazione in zona sismica non è più effettuata secondo zone di pari sismicità ma viene effettuata a partire dai valori assoluti di scuotimento del suolo attesi secondo la nuova

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

mappa di pericolosità sismica (che verranno riportate alle figure seguenti). I<u>l territorio del Comune di</u> Argenta è classificato come zona sismica 2 (Fig.13) e ad esso (per la maggior parte) è associato un valore di accelerazione massima al suolo compreso tra 0.150 – 0.175 g (Fig.14).

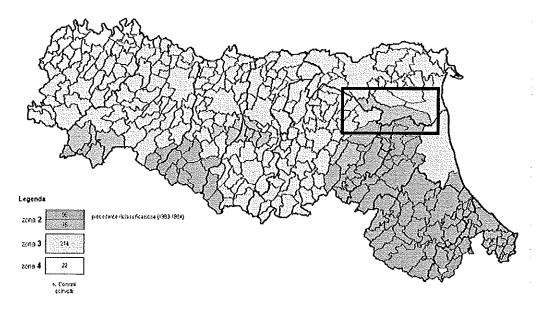


Fig. 34: Classificazione sismica del territorio regionale secondo l'OPCM 3274/2003. Il Comune di Argenta (colore arancione, evidenziato dal riquadro nero), precedentemente non classificato, viene attribuito alla zona 2.

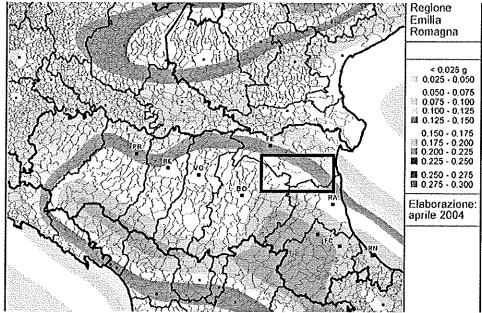


Fig. 35: Mappa di pericolosità sismica della Regione Emilia-Romagna espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Cat. A). All'area del Comune di Argenta è associata un'accelerazione compresa tra 0.15-0.175g. (Meletti & Montalbo, 2007).

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

In Fig. 36 è mostrata una mappa degli epicentri dei terremoti avvenuti nella Regione Emilia-Romagna dal XIII secolo ad oggi. Si può osservare che la maggior sismicità è concentrata nella zona dell'Appennino Romagnolo. Nell'area di Argenta (riquadro nero) si osservano alcuni eventi di magnitudo compresa tra 4.5 e 5.3.

In Tabella 2 è fornito inoltre un elenco dei principali terremoti che hanno colpito il Ferrarese dal XIII secolo ad oggi. La città di Argenta, in particolare, è stata colpita da due forti terremoti nel 1624 (Intensità VIII-IX, Mw 5.4) e nel 1898 (Intensità VII, Mw 5).

Negli ultimi anni l'area non è stata interessata da eventi sismici rilevanti. Sono stati registrati alcuni piccoli terremoti ($M_L < 4$) di cui l'ultimo il 25 Marzo 2010, di magnitudo locale (M_L) 2.3, con epicentro nel Comune di Ostellato (da dati INGV).

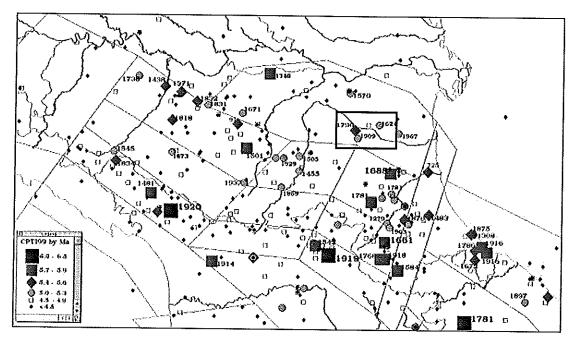


Fig. 36: Mappa degli epicentri dei terremoti avvenuti in Emilia-Romagna dal XIII sec. ad oggi per classi di magnitudo (CPTI 99).

La Fig. 7 riporta come l'area in esame si ubichi in coincidenza di una faglia profonda e di una complessa struttura "condizionata" dalla presenza di uno sovrascorrimento profondo post- Tortoniano e di conseguenti rigetti della base del Pliocene (localmente compreso fra 1000 e 2000 m circa dal p.c.).

e-mail: rabrugeo@libero.it ---www.bondabru.com --- http://trominator.blogspot.com

		7			
Mese	Giorno		Intonaità	, 14	
Wiese	Giorno	-	miensita	Mw	
···		(località)			
marzo	20	Ferrara	VII	5.2	
dicembre	13	Ferrara	VI-VII	5	
febbraio	22	Ferrara	VII-VIII	5.8	
giugno	9	Ferrara	VI-VII	5	
agosto	10	Ferrara sud	VI	4.8	
marzo	3	Ferrara	V-VI	4.6	
gennaio	11	Ferrara	V	4.8	
ottobre	18	Ferrara sud	VI	4.3	
novembre	24	Ferrara	VI-VII	4.6	
novembre	18	Ferrara	VIII	5.4	
marzo	18	Argenta	VIII-IX	5,4	
febbraio	28	Ferrara	V-VI	4.6	
maggio	29	Ferrara	VI-VII	5	
luglio	16	Ferrara	VI-VII	4.6	
marzo	23	Comacchio	VI	4.8	
luglio	3	Comacchio	VI	4.8	
gennaio	16	Argenta	VII	5	
maggio	24	Cento	III-IV	4.5	
		sud di			
febbraio	20	Argenta	V-VI	4.8	
	dicembre febbraio giugno agosto marzo gennaio ottobre novembre movembre marzo febbraio maggio luglio marzo luglio gennaio maggio	marzo 20 dicembre 13 febbraio 22 giugno 9 agosto 10 marzo 3 gennaio 11 ottobre 18 novembre 24 novembre 18 marzo 18 febbraio 28 maggio 29 luglio 16 marzo 23 luglio 3 gennaio 16 maggio 24	marzo 20 Ferrara dicembre 13 Ferrara febbraio 22 Ferrara giugno 9 Ferrara agosto 10 Ferrara sud marzo 3 Ferrara gennaio 11 Ferrara ottobre 18 Ferrara novembre 24 Ferrara marzo 18 Argenta febbraio 28 Ferrara maggio 29 Ferrara marzo 23 Comacchio luglio 3 Comacchio gennaio 16 Argenta maggio 24 Cento sud di	MeseGiornoepicentrale (località)Intensitàmarzo20Ferrara PerraraVIIdicembre13Ferrara PerraraVI-VIIfebbraio22Ferrara PerraraVI-VIIgiugno9Ferrara 	

Tabella 2. Elenco dei principali terremoti che hanno colpito il ferrarese dal XII secolo ad oggi. Sono evidenziati in grigio i due terremoti storici più forti che hanno interessato il territorio di Argenta (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI 04). Mw = magnitudo momento.

