



COMUNE DI CERVIA

Provincia di Ravenna

Settore Programmazione e Gestione del Territorio



Il Sindaco

Dott. Luca Coffari

L'Assessore all'Urbanistica

Arch. Natalino Giambi

Il Dirigente del Settore

Ing. Daniele Capitani

Il Servizio Urbanistica

Geom. Gianluca Magnani

Ing. Annalena Arfelli

Geom. Elena Taffagi

Arch. M. Laura Callegati

Nadia Nicolini



Quadro Conoscitivo



Oggetto

Scala

Elaborato

Relazione geologica Fascia costiera

HR



DIRIGENTE DEL SETTORE PROGRAMMAZIONE E GESTIONE DEL TERRITORIO

Ing. Daniele Capitani

SERVIZIO URBANISTICA

Geom. Gianluca Magnani

Ing. Annalena Arfelli

Arch. M. Laura Callegati

Geom. Elena Taffagli

Ing. Caterina Girelli

Nadia Nicolini

GRUPPO DI LAVORO:

ATI composta da: Tecnicoop soc. coop.va; Arch. Carla Ferrari; Arch. Giuseppe Campos Venuti (QUADRO CONOSCITIVO ANNO 2013)

Arch. Carlo Lazzari (INDAGINE STORICA)

TEM - Territorio e Mercati - Arch. Sandra Vecchietti (SQUEA)

Ing. Simona Savini (SQUEA)

Dott. Geol. Fabbri Fabio (RISCHIO IDRAULICO)

Dott. Geol. Carlo Copioli (ZONAZIONE SISMICA ARENILE)

Dott. Geol. Samuel Sangiorgi (ZONAZIONE SISMICA)

Dott. Loris Venturini (CLASSIFICAZIONE ACUSTICA)

Ing. Chiara Semprini (VALSAT ARENILE)

Arch. Margherita Bastoni

APPORTI SPECIALISTICI SERVIZI COMUNALI

Edilizia Privata, Progettazione Infrastrutture e Mobilità Sostenibile, Viabilità e Manutenzione Infrastrutture, Progettazione e Manutenzione Fabbricati, Sviluppo Economico - Parco della Salina, Ambiente, SUAP, Protezione civile, Verde, Demografici, Demanio e Porto, Patrimonio, Turismo, Servizi alla persona, Servizi alla comunità, Progettazione culturale, Politiche educative, Tributi, Polizia municipale

ENTI E SOCIETA' DI SERVIZI

ANAS, Agenzia delle entrate - Ufficio territorio di Ravenna, ARPAE, ATERSIR, Autorità di Bacino del fiume Po, AUSL, CER, Consorzio di Bonifica della Romagna, ENEL, FF.SS., HERA Ravenna, Provincia di Ravenna, Regione Emilia Romagna, Romagna Acque, SNAM, TERNA, Soprintendenza archeologia, belle arti e paesaggio, Parco del Delta del Po

COMUNE DI CERVIA

PROVINCIA DI RAVENNA

STUDIO GEOLOGICO E DI MICROZONIZZAZIONE SISMICA DI III LIVELLO
DI APPROFONDIMENTO PER L'ADEGUAMENTO DEL PIANO
DELL'ARENILE DEL COMUNE DI CERVIA ALLA L.R. 9/2002 E ALLE
DISPOSIZIONI DELLA DELIBERA DELLA REGIONE
EMILIA-ROMAGNA N. 468/2003



RELAZIONE GEOLOGICA

Dott. Geol. Carlo Copioli

Collaboratore: Dott. Geol. Fabio Vannoni



GEOPROGET

Studio di Geologia
via Ceccarini, 171 – Palazzo La Viola
Riccione – 47838 – (RN) Tel/Fax 0541/606464
E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
copiolicarlo@libero.it

Rif.2198 - Maggio 2016

I N D I C E

1	PREMESSA.....	3
2	ANALISI GEOLOGICA.....	4
2.1	INQUADRAMENTO GEOTETTONICO	4
2.2	MODELLO GEOLOGICO.....	6
2.3	GEOMORFOLOGIA E STRATIGRAFIA.....	8
2.4	IDROGRAFIA, TUTELA ASSETTI IDRAULICI, RISCHIO IDRAULICO.....	9
	2.4.1 Valutazioni idrologiche per opere di regimazione	11
2.5	IDROGEOLOGIA	12
	2.5.1 Modello idrostratigrafico	12
	2.5.2 Idrogeologia locale	13
	2.5.3 Caratteristiche di permeabilità dei terreni	16
2.6	TUTELA ASSETTI IDROGEOLOGICI	17
2.7	TUTELA DAI PROCESSI EROSIVI MARINO-COSTIERI.....	19
2.8	TUTELA DAGLI EPISODI DI INGRESSIONE MARINA.....	22
3	INDAGINE GEOGNOSTICA.....	23
3.1	CONSIDERAZIONI GENERALI.....	23
3.2	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE – CPTe.....	23
3.3	PROVE IN SITO DA BANCHE DATI: SONDAGGI GEOGNOSTICI, PENETROMETRIE CON PIEZOCONO CPTU, PENETROMETRIE MECCANICHE CPTM.....	24
4	STRATIGRAFIA E CARATTERISTICHE LITOLOGICHE.....	25
5	VALUTAZIONI DI MICROZONAZIONE SISMICA.....	30
5.1	PREMESSE NORMATIVE	30
5.2	VERIFICHE E VALUTAZIONI DI MICROZONAZIONE SISMICA	31
6	STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA.....	33
7	ANALISI DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	34
7.1	VERIFICA DEI CASI IN CUI SI PUÒ ESCLUDERE FENOMENI DI LIQUEFAZIONE	34
7.2	EVENTI SISMICI ATTESI	35
7.3	ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA.....	43
7.4	TERRENI CON CARATTERISTICHE RICADENTI IN DETERMINATE CATEGORIE	43
7.5	DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA	44
7.6	PROFONDITÀ DELLA FALDA	46
8	STIMA DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE.....	46
9	CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	47
10	EDIFICABILITÀ DELL'AREA.....	56
10.1	CONSIDERAZIONI GENERALI.....	56
10.2	INDICAZIONI REALIZZATIVE DELLE OPERE	57

ALLEGATI NEL TESTO

- ALLEGATO N. 1 - Inquadramento geografico
- ALLEGATO N. 2 - Carta geologica
- ALLEGATO N. 3 - Planimetria con ubicazione campagna geognostica
- ALLEGATO N. 4 - Dinamica della linea di costa
- ALLEGATO N. 5 - Stralcio PSC - Carta del rischio idraulico
- ALLEGATO N. 6 - Dati pluviometrici – elaborazioni statistiche
- ALLEGATO N. 7 - Sezione geolitologica “litoranea”
- ALLEGATO N. 8a - Carta del potenziale di liquefazione e dei cedimenti sismici attesi per Mw = 5,50
- ALLEGATO N. 8b - Carta del potenziale di liquefazione e dei cedimenti sismici attesi per Mw = 6,14
- ALLEGATO N. 9 - Manifestazioni superficiali fenomeni di liquefazione

ELABORATI FUORI TESTO**ELABORATO N. 1 - INDAGINI GEOGNOSTICHE E DI LABORATORIO**

ALLEGATO n. 1 - Prove geognostiche – Campagna febbraio 2016

ALLEGATO n. 2a - Prove geognostiche da archivio

Comune di Cervia – Milano Marittima la Traversa

ALLEGATO n. 2b - Prove geognostiche da archivio

Comune di Cervia – Colonia Montecatini

ALLEGATO n. 3 - Prove geognostiche da banca dati

Regione Emilia-Romagna

ALLEGATO n. 4 - Prove di laboratorio

ALLEGATO n. 5 - Permeabilità – elaborazione dati

ELABORATO N. 2 - VERIFICHE DI LIQUEFACIBILITA'

ALLEGATO n. 1 - Verifiche di calcolo del potenziale di liquefacibilità
con magnitudo $M_w = 5,50$

ALLEGATO n. 2 - Verifiche di calcolo del potenziale di liquefacibilità
con magnitudo $M_w = 6,14$

ELABORATO N. 3 - ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

ALLEGATO N. 1 - Inquadramento geografico

ALLEGATO N. 2 - Planimetria con ubicazione indagini geofisiche

ALLEGATO N. 3 - Indagini geofisiche campagna febbraio - aprile 2016

ALLEGATO N. 4 - Indagini geofisiche da archivio Comune di Cervia

ALLEGATO N. 5 - Parametri di scuotimento segnali – INPUT/OUTPUT

ALLEGATO N. 6 - Dati Spettro Medio OUTPUT

ALLEGATO N. 7 - Zonazione sismica

1 PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Bellaria è stato predisposto il presente "STUDIO GEOLOGICO E DI MICROZONAZIONE SISMICA DI III° LIVELLO PER L'ADEGUAMENTO DEL PIANO DELL'ARENILE DEL COMUNE DI CERVIA ALLA L.R. 9/2002 E ALLE DISPOSIZIONI DELLA DELIBERA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA N. 468/2003".

L'area di studio è compresa nelle Tavole 240 NE e 240 SE della Carta Tecnica Regione Emilia Romagna alla scala 1:25.000 (allegato 1).

Il lavoro è stato articolato nelle seguenti fasi:

- rilevamento geolitologico, geomorfologico e delle condizioni idrogeologiche;
- ricostruzione del modello geologico e geofisico generale del sito attraverso il materiale bibliografico (sezioni geologiche e prove geognostiche della pianura emiliano romagnola a cura del Servizio geologico e sismico dei suoli della Regione Emilia Romagna) e studi precedenti effettuati lungo e in adiacenza all'arenile da privati e per conto del Comune di Cervia in occasione della proposta di PSC;
- Campagna geognostica e geofisica nel mese di febbraio 2016 comprendente:
 - esecuzione di n. 12 prove penetrometriche statiche con punta elettrica CPTU distribuite lungo l'intero sviluppo litorale cervese;
- Dati geognostici e geofisici esistenti da archivio Comune di Cervia e realizzati da terzi per interventi edilizi nonché nella Banca dati Regione Emilia Romagna comprendenti:
 - n. 2 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU, n. 1 prova con tomografo HVSR e n. 1 prova di sismica attiva indiretta MASW allegata al P.P. Ambito ex Colonia Montecatini - Pentagonama Romagna S.p.a. in località Milano Marittima nei pressi del confine settentrionale del territorio comunale di Cervia;
 - n. 2 profili stratigrafici di sondaggi a carotaggio continuo, n. 5 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU, n. 1 prova con tomografo HVSR e n. 1 prova di sismica attiva diretta DOWN HOLE allegata al P.P. Ambito Prima Traversa - Pentagonama Romagna S.p.a. in località Milano Marittima nei pressi del confine settentrionale del territorio comunale di Cervia;
 - n. 1 profilo stratigrafico di sondaggio a carotaggio continuo, n. 2 prove penetrometriche statiche CPT in via Cristoforo Colombo riportate nella Banca Dati Regione Emilia Romagna;
 - n. 1 prova penetrometrica statica CPT in via Italia riportata nella Banca Dati Regione Emilia Romagna;
 - n. 1 profilo stratigrafico di sondaggio a carotaggio continuo in località Pinarella riportato nella Banca Dati Regione Emilia Romagna;
- valutazione delle caratteristiche geomorfologiche, geolitologiche, idrogeologiche e geomeccaniche dell'area;
- valutazioni sulla morfologia costiera e sulle variazioni della linea di costa ;
- valutazione del rischio sismico e degli effetti di sito attraverso l'analisi di microzonazione sismica di III° livello di approfondimento per gli effetti della liquefazione.
- individuazione delle caratteristiche generali di edificabilità dei manufatti ad uso turistico-ricreativo previsti e delle problematiche geologiche connesse.

Il presente studio geologico si avvale della campagna geognostica con prove in sito per la ricostruzione del modello geologico unitamente alle indagini geognostiche pubblicate nel sito della cartografia geologica del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, (<http://geo.regione.emilia-romagna.it>).

Lo studio è finalizzato sia alla valutazione complessiva da parte della Provincia di Ravenna ai sensi dell'art. 5 della L.R. 19/08 della compatibilità dello strumento urbanistico attuativo con gli elementi di pericolosità geologica locale che, al pari di tutti gli atti di pianificazione urbanistica, alle verifiche necessarie per concorrere alla riduzione del rischio sismico, così come specificato nell'art. 2, comma 4, dell'allegato alla L.R. 20/2000.

Inoltre sulle medesime aree oggetto di Adeguamento al Piano dell'Arenile, è stato condotto uno studio di microzonazione di III livello di approfondimento ai sensi della Delibera di Assemblea Legislativa n.112 del 02/05/07 della Regione Emilia – Romagna, aggiornata con DGR 2193/2015 del 21-12-2015, in base al documento: "Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 – Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", seguita successivamente da una nota esplicativa redatta dai Servizi della Regione Emilia - Romagna con prot. n. 2007.0166430 del 22/06/07.

Lo studio di microzonazione di III livello di approfondimento si è reso necessario, poiché l'area oggetto di studio presenta un potenziale rischio circa la possibilità di verificarsi del fenomeno di liquefazione di cui alla lettera a) del punto 4.2, dell'allegato A, della DGR 2193/2015.

Infine considerato che nel Comune di Cervia non esistono precedenti studi di microzonazione sismica di II° livello di approfondimento, al fine di determinare il picco di accelerazione massima in superficie $a_{max\ s}$, sono stati eseguiti studi di analisi di risposta sismica locale (RSL), così come prevede l'allegato A3, punto A della DGR 2193/2015.

2 ANALISI GEOLOGICA

2.1 Inquadramento geotettonico

I depositi che formano l'ossatura della pianura padana costituiscono il riempimento del bacino di avana fossa di età plio - quaternaria compreso tra la catena appenninica a sud e quella alpina a nord.

Secondo le ricerche dell'AGIP (Pieri e Groppi, 1981) la Pianura Padana costituisce una ampia area posta ai bordi della catena appenninica entro la quale si è verificato un consistente accumulo di depositi soprattutto neogenici. La presenza di strutture tettoniche sepolte drappeggiate ed annegate da tali depositi, storicamente ipotizzata, è stata accertata attraverso la realizzazione di "sezioni sismiche".

Quindi da un punto di vista strutturale la Pianura Padana costituisce il fronte sepolto dell'Appennino in cui le "pieghe romagnole" presentano un ampio fronte esterno arcuato, che si sviluppa da Reggio Emilia a Correggio, Novi di Modena, Ficarolo, Copparo e Porto Corsini.

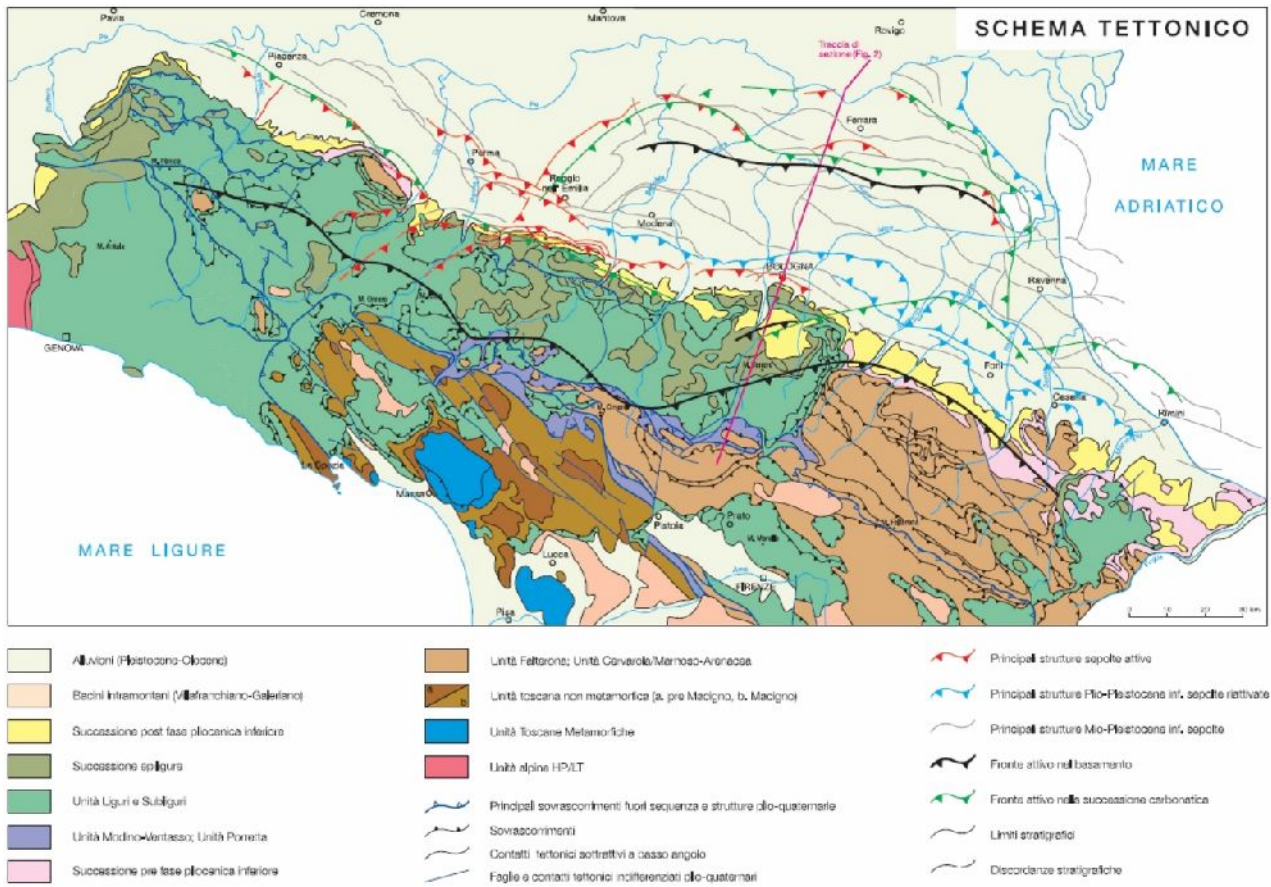
In base alla ricostruzione bilanciata delle sezioni suddette attraverso la Pianura Padana si sono messi in rilievo i caratteri geometrici delle deformazioni, i principali livelli di scollamento alla base della successione mesozoica e i conseguenti raccorciamenti delle coperture.

L'analisi del fronte sepolto ha rivelato un assetto tettonico ad accavallamenti arcuati e non lineari dovuta alla differente rigidità della crosta continentale superiore padana. La distribuzione di tali "embrici" nel tempo segue una propagazione anomala, per la riattivazione delle strutture al margine pedeappenninico, almeno fino al Pleistocene medio. Ciò è stato reso possibile dalla funzione di cerniera fra zone soggette a movimenti verticali opposti del lineamento pedeappenninico (Castellarin et alii, 1985 - Giornale di Geologia, ser. 3° vol. 47).

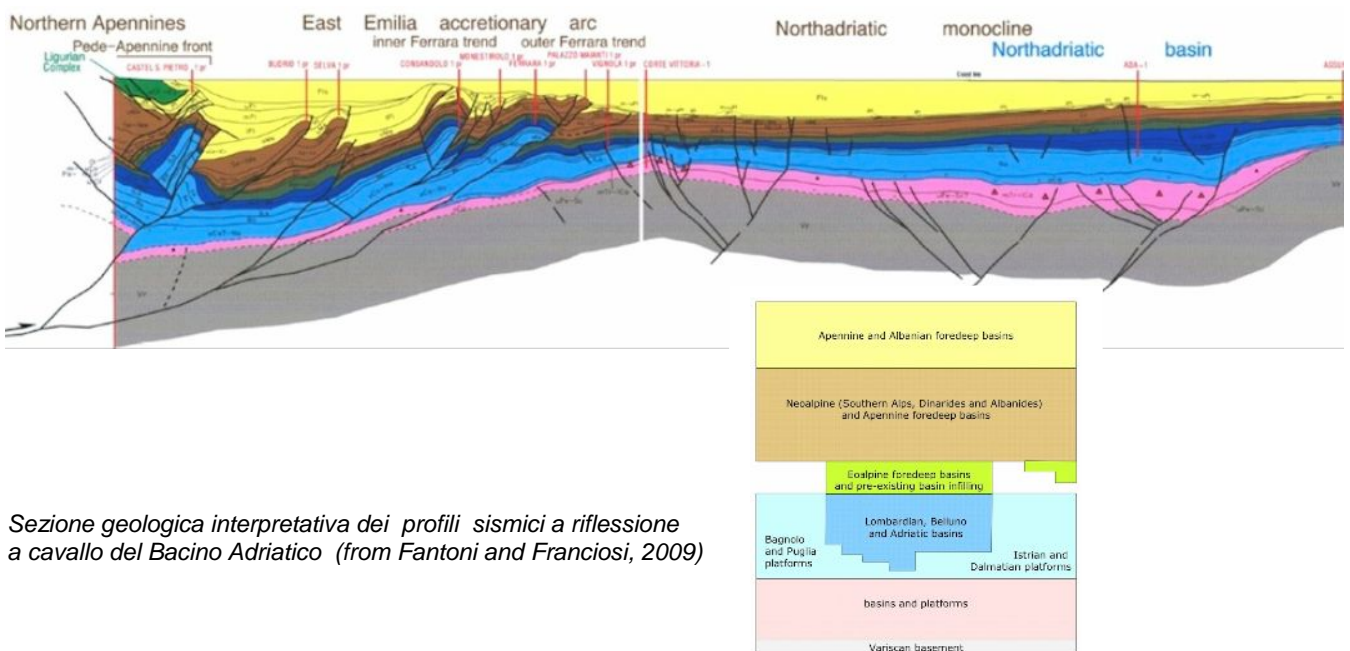
Il fronte di sovrascorrimento sepolto risulta costituito da un sistema di elementi tendenzialmente arcuati articolati fra loro da un sistema di faglie trasversali ad andamento antiappenninico che rappresentano veri e propri svincoli cinematici a carattere trascorrente e lungo cui si sono avuti anche importanti movimenti verticali.

L'intrecciarsi di complessi meccanismi sedimentari e tettonici hanno dato luogo alla formazione di bacini alla fronte e sulla parte retrostante degli accavallamenti (thrust nord vergenti associati ad anticlinali) traslando con essi all'interno della Avana fossa. Il risultato finale è quello di un consistente impilamento di sedimenti caratteristici della successione sedimentaria plio - pleistocenica della zona di studio.

Le strutture deformative principali legate ai movimenti tettonici compressivi, presentano frequentemente al tetto depositi del Pliocene medio, continuando tuttavia a controllare la subsidenza fino all'attuale. Ne deriva così che i sedimenti di età successiva al Pliocene medio sono deformati da blande ondulazioni che si possono pertanto definire come delle deformazioni passive, conseguenti alla subsidenza differenziata, controllata dalle strutture tettoniche del substrato pre - pliocenico medio.



Schema tettonico Appennino Settentrionale - Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna (Servizio Geologico, 2004)

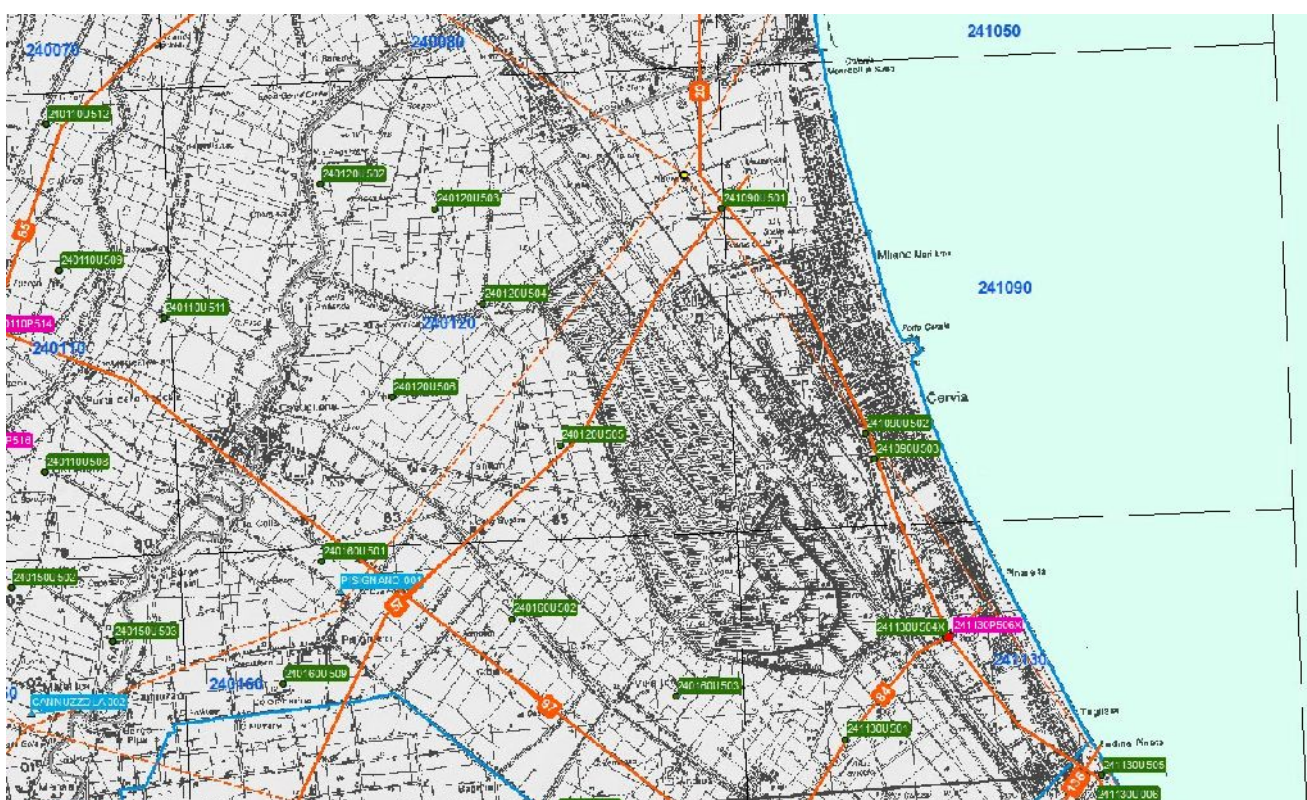


Sezione geologica interpretativa dei profili sismici a riflessione a cavallo del Bacino Adriatico (from Fantoni and Franciosi, 2009)

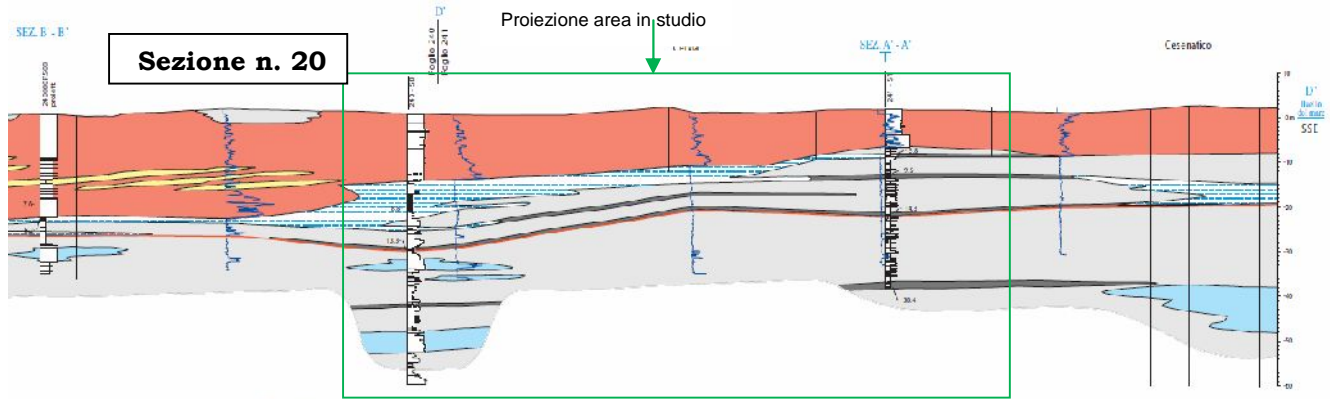
2.2 Modello geologico

Il D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche sulle costruzioni) entrato in vigore dal 01/07/2009 nella progettazione geotecnica (capitolo n. 6) introduce il concetto di modello geologico. Una ricostruzione del modello geologico generale dell'area è possibile attraverso il rilievo geologico - morfologico di superficie, la consultazione della carta geologica e delle sezioni geologiche profonde a cura del Servizio Geologico Regione Emilia Romagna.

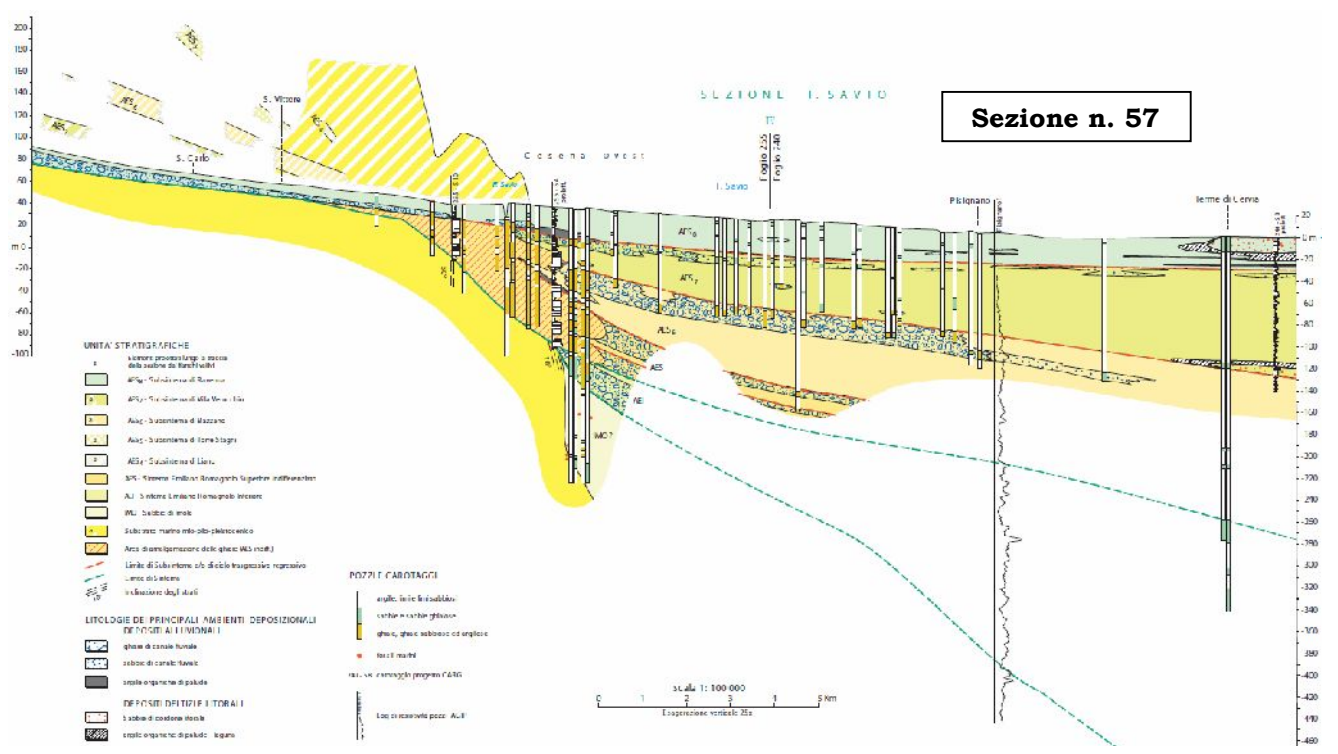
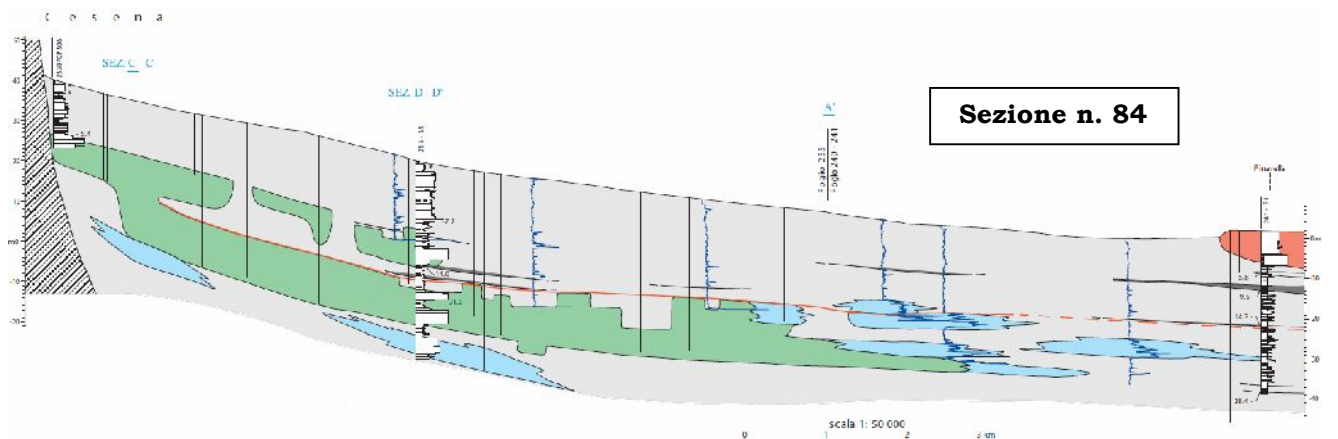
In particolare i dati di correlazione disponibili a pochissima distanza dal sito di intervento, oltre a quelli ricavati in sito dalla campagna geognostica sono alcune sezioni geologiche profonde realizzate dalla R.E.R. nell'ambito degli studi del progetto CARG: una denominata 020, parallela alla linea di costa fino alla località Milano Marittima, in zona retrostante il lungomare e profonda circa 50 mt; le altre due, trasversali alla linea di costa (nonché alla sez. n. 20), sono la n. 84, per la zona a sud del territorio comunale (località Pinarella), e la n. 57 per la zona nord in località Milano Marittima che tuttavia non raggiunge la fascia costiera. L'ubicazione è riportata nello stralcio planimetrico seguente.



Dal profilo stratigrafico S1 – Pinarella (vedi allegato n. 7) e dalle sezioni riportate a pagina successiva si evince la presenza nel primo sottosuolo di sabbie litorali fino alla profondità di 8 -15 mt passanti a depositi alluvionali appartenenti al Subsistema di Ravenna (AES8). Il passaggio da AES8 al Subsistema di Villa Verucchio (AES7) avviene a 20 / 30 mt di profondità, all'interno della successione alluvionale, e quello tra le unità AES7 e AES6 (Subsistema di Bazzano) avviene con un livello di sabbie di cordone litorale ad oltre 120 mt di profondità. Il passaggio tra il Subsistema Emiliano Inferiore (Unità Idrostratigrafica B). Dalla sezione geologica n. 57 è osservabile come il sottosuolo rechi uno spessore superiore a 450 mt (che si riduce a 300 mt nella parte meridionale dell'area; desumibile dalla sezione 097 del Progetto CARG) di depositi litorali e continentali alluvionali appartenenti alle Unità idrostratigrafiche (Regione Emilia Romagna, ENI – AGIP, 1998 Riserve idriche della Regione Emilia Romagna a cura di G. di Dio) “A” corrispondente ai depositi del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore) e “B” (Sintema E. R. Inferiore) databili al pleistocene medio – superiore. Tali depositi giacciono con assetto stratigrafico suborizzontale sui terreni di origine marina del substrato plio - pleistocenico (Unità idrostratigrafica “C” rappresentata in loco dalle Sabbie Gialle di Imola IMO).



DEPOSITI ALLUVIONALI DI CONOIDE E PIANA ALLUVIONALE		DEPOSITI DELTAICI, LITORALI E MARINI		CAROTTAGGI	
	ghiaie di riempimento di canale fluviale		sabbie di cordone litorale		substrato marino mio - pliocenico
	ghiaie di riempimento di canale o di ramo fluviale		ghiaie di cordone litorale		base del Substema di Ravenna - AES ₉
	alternanze di sabbie, limi e argille di trascinamento fluviale		argille e limi con sostanza organica di palude-laguna		base del Substema di Villa Verucchio - AES ₇
	argille e limi con sostanza organica di palude		argille con interstratificazioni sabbiose di proleta		indagine geognostiche della banca dati FER
					penetrometrie elettriche con o senza piezometro "Fingetto CARIC" (resistenza alla punta)
					240 58 carotaggio "Progetto CARIC" (SGN) e "Progetto microzonazione sismica" (R1 II)
					240080P 508 altro carotaggio visionato durante il rilevamento
					14.3 profilo granulometrico del carotaggio
					età ¹⁴ C B.P. (in ka non calibrati)
					piezometri (non calibrati) o caricamento calibrati



Per quanto attiene alla dinamica evolutiva della costa si rimanda, per i dati storici, allo studio realizzato da Antoniazzi Alberto nel 1976 ("l'Erosione Marina del Litorale tra Cervia e Pesaro") e, per quelli più recenti, all'Annuario dei dati 2011 realizzato a cura dell'A.R.P.A. Emilia Romagna e agli studi che la stessa Regione Emilia Romagna ha attivato sin dai primi anni '80 e che hanno prodotto due edizioni successive del Piano Costa (vedi trattazione nei paragrafi 2.7 e 2.8).

2.3 Geomorfologia e stratigrafia

Il litorale del Comune di Cervia si estende per una lunghezza di circa 9 km, con andamento nord-ovest, sud-est e risulta delimitato a sud est dal Rio Mesola di Montaletto ed a nord ovest dallo Scolo Cupa nei pressi del Fiume Savio. L'ambito dell'arenile costituisce, nonostante il modestissimo valore ambientale, un corridoio ecologico/antropico, elemento di connessione fra mare, ambiti urbanizzati, fiumi, varchi a mare.

La morfologia è estremamente omogenea e pianeggiante, con quote massime di circa 1,0 – 2,0 mt sul livello del mare e l'aspetto morfologico dell'area è quello subpianeggiante tipico delle fasce costiere basse, originato dall'interazione tra ambiente continentale (alluvionale) e marino (litorale).

L'estensione lineare del tratto costiero consente un'azione piuttosto regolare da parte delle correnti litorali e la formazione di una fascia sabbiosa estesa anche a distanza dalle foci fluviali che costituiscono le fonti di alimentazione per lo sviluppo del sistema deposizionale litorale.

Spostandosi verso l'entroterra, ad una distanza che va progressivamente aumentando da sud verso nord, al di là della zona urbanizzata, vi sono una serie di fasce di lidi e spiagge morte ovvero cordoni litorali relitti segnalati nella carta geologica (allegato n. 2). Infine allontanandosi progressivamente dalla linea di costa, ad ovest della Strada Statale n. 16 troviamo, a partire dalla località Pinarella e fino a Milano Marittima, un elemento morfologico caratteristico di questa zona ovvero le Saline di Cervia.

Le caratteristiche sedimentarie dei terreni nel primo sottosuolo nell'area di interesse indica una dominanza di processi deposizionali costieri (ambiente litorale) a scapito dei processi alluvionali. I terreni costituenti la stratigrafia sono costituiti da sabbie, sabbie limose di origine marina e mista (continentale e marina); più in profondità da argille e limi di deposizione alluvionale.

La serie marina che ricopre in contatto discordante quella alluvionale (trasgressione Flandriana) è costituita da sabbie medie o medio-fini, generalmente ben classate, con laminazione a basso angolo cuneiforme o concavo - convessa, talora evidenziata da allineamenti di livelli di frustoli vegetali. Localmente si possono rinvenire alternanze sabbioso-limose e limo-argillose, che denunciano un'elaborazione incompleta dei sedimenti di apporto alluvionale da parte del moto ondoso. Le strutture sedimentarie rivelano una situazione di media-elevata energia deposizionale, in ambienti di mare basso o litorale dominati dal moto ondoso e/o da correnti lungocosta. La presenza occasionale di ghiaie in livelli organizzati e con ciottoli ben arrotondati, denota sia la vicinanza di fonti d'apporto grossolano, sia elaborazione da parte delle correnti costiere e del moto ondoso.

Data la morfologia subpianeggiante non si rinviene alcuna evidenza di fenomeni gravitativi tuttavia il territorio è caratterizzato dal fenomeno di subsidenza. L'amministrazione comunale informa che "gli abbassamenti si attestano mediamente intorno a 1 cm/anno (con qualche punta di 1,3 cm a Milano Marittima)". Dati in possesso della amministrazione comunale attestano che l'area costiera di Cervia risulta interessata da una subsidenza naturale dell'ordine di 0,1 cm/anno. La differenza di 0,9-1,2 cm/anno quindi sarebbe dovuta a cause artificiali cioè attribuibili all'uomo.

Dal punto di vista geologico l'area d'indagine ricade nel territorio di affioramento della formazione quaternaria denominata "a4s" (sabbie e ghiaie delle spiagge attuali) della Carta Geologica d'Italia. La Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna, riportata in stralcio in allegato 2 è, nell'ambito della copertura quaternaria attribuisce i terreni affioranti alla **Unità di Modena ("AES8a")**. Si tratta di ghiaie, sabbie, limi ed argille di canale fluviale, argine e piana inondabile; sabbie e ghiaie di cordone litorale e di barra di foce; argille e limi di prodelta e di transizione alla piattaforma. Il limite superiore coincide con il piano topografico, il limite inferiore è dato da contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo (o scarsamente calcareo) di epoca romana (o più antica) nelle aree di pianura. L' Età è post-romana (IV-VI sec. d.C.-Attuale; datazione archeologica).

La successione stratigrafica locale può essere sinteticamente descritta come segue. L'Unità di Modena AES8a rappresenta la porzione affiorante del **Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore "AES"** che comprende depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini. Il sintema AES è parzialmente suddiviso in subsintemi ("**AES8" Subsintema di Ravenna** , "**AES7" Subsintema di Villa Verucchio** ed "**AES6" Subsintema di Bazzano**) limitati nel sottosuolo della pianura, da bruschi contatti fra depositi trasgressivi marino - marginali e palustri su depositi di conoide e di piana alluvionale. La successione di cicli trasgressivi - regressivi è formata da argille, limi, sabbie e ghiaie di ambienti alluvionale e limitatamente al settore costiero, da sabbie litorali.

Si tratta di cicli deposizionali caratterizzati da alternanze decametriche di depositi fini e grossolani relativi a importanti fasi trasgressivo - regressive nell'ambiente sedimentario del bacino del Fiume Savio in corrispondenza dell'attuale fronte marino. Ciascuno di essi è delimitato alla base da un orizzonte trasgressivo basale di alcuni metri con argille generalmente ricche in materia organica tipiche di ambiente alluvionale/lagunare che, progredendo verso l'alto, tendono a diventare sabbiosi e di ambiente costiero, soprattutto in corrispondenza dell'attuale linea di costa (*Età complessiva Pleistocene medio - Olocene*). Il limite inferiore del AES è per discordanza angolare con "**AEI**" (**Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore**).

Tra i Sintemi, Subsintemi e Unità sopra descritte gli unici affioranti nel territorio comunale di Cervia sono l'Unità di Modena AES8a nella fascia costiera e il Subsintema di Ravenna l'AES8 a sud ovest delle saline. Lo spessore delle sabbie litorali di superficie appartenente alla AES8a e AES8 va da 8 - 9 mt nella parte meridionale ai 18 - 20 mt in quella settentrionale.

Lo spessore complessivo di AES + AEI è compreso tra i 300 mt della parte sud est del territorio comunale fino ai 400 mt della porzione nord ovest dove i tassi di subsidenza risultano superiori. La datazione è *Pleistocene medio-Olocene*.

Il limite inferiore di tutta la sequenza alluvionale sommitale è dato da una superficie di erosione fluviale che incide, in discordanza, i depositi marini preesistenti propri delle **Sabbie di Imola "IMO"**. Si tratta di una formazione caratterizzata da arenarie e sabbie da medie a finissime, generalmente poco cementate, giallastra all'alterazione, in strati spessi e molto spessi, mal definiti, frequentemente amalgamati tra di loro. La parte inferiore dell'unità è generalmente costituita da arenarie e sabbie fini e medie con rari livelli conglomeratici contenete ciottoli silicei bruni; sono presenti rare intercalazioni polittiche, spesse fino ad alcune decine di centimetri. Le arenarie sono caratterizzate da stratificazione incrociata ad alto angolo e piano-parallela; localmente sono presenti ripples da onda drappeggiati da sottili intercalazioni pelittiche. La parte superiore è generalmente costituita da sabbie fini e finissime in cui sono presenti sporadici livelli centimetrici di peliti grigie frequentemente interessate da formazioni di concrezioni carbonatiche. L'età della formazione è stimata in 0,8 - 0,65 MA, corrispondente alla parte basale del Pleistocene medio (ciclo Qm3). Questi depositi sono riferibili all'ambiente litorale, variabile da spiaggia sommersa a laguna di retrospiaggia.

2.4 Idrografia, tutela assetti idraulici, rischio idraulico

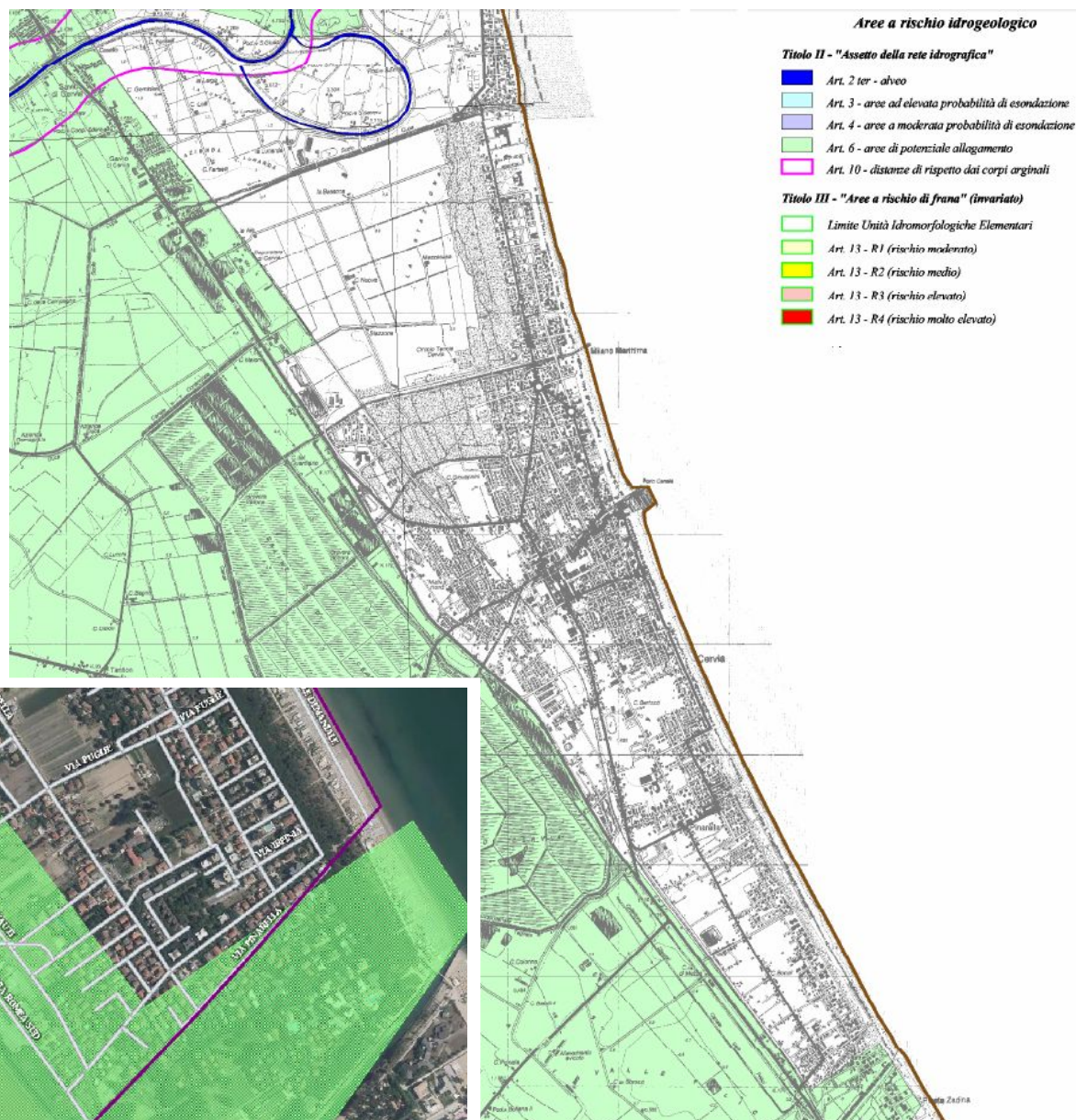
Il territorio comunale di Cervia è delimitato a nord ovest dal Fiume Savio, che rappresenta uno dei corsi d'acqua più importanti a livello regionale, e a sud dal Rio Mesola di Montaletto.

Esso è attraversato da alcuni corsi d'acqua tra i quali assume importanza il sistema di canali delle saline (Canale Circondariale). Esse Sono abbracciate da un canale perimetrale (Canale circondariale) lungo Km 14,200 e percorse al loro interno da una rete di vari altri canali per uno sviluppo complessivo di oltre 46 chilometri. Ta tale sistema si dipartono il Canalone, al cui sbocco in mare è collocato il Porto Canale di Cervia, e il Canale dei Pini che sfocia in località Milano Marittima.

Oltre al reticolo idrografico principale vi è quello dei "consorzi di bonifica della Romagna", sviluppato perlopiù nell'entroterra oltre la zona delle saline, che è costituito da scoli naturali e meccanici, permanenti o intermittenti, nonché da condotte che garantiscono il fondamentale apporto irriguo per l'attività agricola.

Nel territorio comunale di Cervia la zona maggiormente urbanizzata si localizza nella fascia costiera a ridosso del litorale. Qui l'idrografia superficiale risulta praticamente assente in quanto ha lasciato gradualmente il posto alla regimazione antropica delle acque con il tombinamento dei corsi d'acqua secondari. Pertanto l'originario reticolo idrografico riveste un'importanza ormai di secondo piano rispetto alla rete fognaria sotterranea che convoglia le acque meteoriche fino al mare o entro canali e scoli consorziali tombinati.

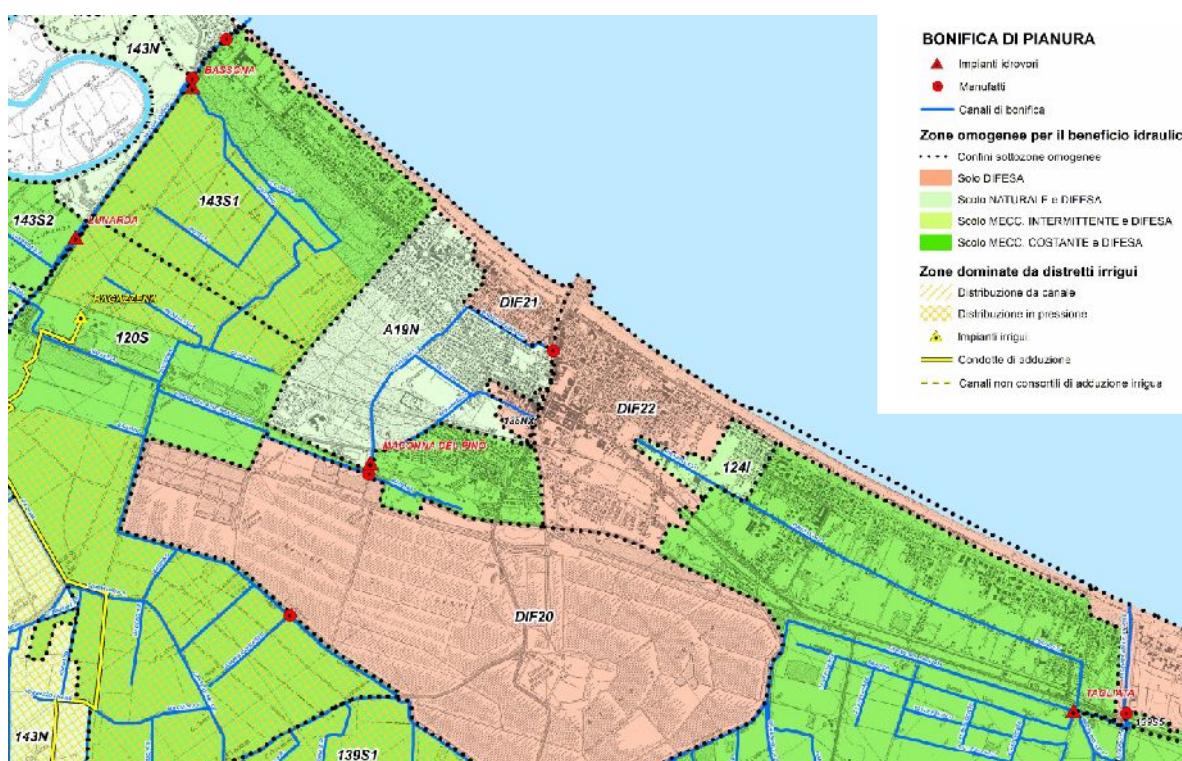
Il PTCP della Provincia di Ravenna approvato il 28/02/2006 alla Tavola B.1.1.1 del Quadro Conoscitivo (Assetto della Rete Idrografica, Rischio Idraulico e Idrogeologico) inquadra la fascia litorale di Cervia come priva di rischio legato alla possibilità di allagamento o di esondazione da parte del reticolo idrografico esistente. Fa eccezione un settore di territorio molto limitato al confine con il Comune di Cesenatico in vicinanza al Rio Mesola di Montaletto classificato come "Area di potenziale allagamento" in ottemperanza all'art. 6 del Piano stralcio del Rischio Idrogeologico dell'Autorità di Bacino dei Bacini Romagnoli Uniti. Di seguito si riporta una planimetria tratta dalla "Tavola della Perimetrazione Aree a Rischio Idrogeologico" del Piano Stralcio del Rischio Idrogeologico (Approvato con DGR n. 1877 del 19/12/2011) che non ricomprende l'area oggetto di studio all'interno delle "Aree di potenziale allagamento" o "Aree a moderata / elevata probabilità di esondazione", né segnala particolari criticità. Nella figura successiva si riporta anche un particolare del piccolo settore adiacente a via Pinarella dove il Piano Stralcio individua la possibilità di allagamento con tirante idrico previsto pari a 0.5 mt (Allegato n. 6 – Tavola n. 2 "Tiranti idrici di riferimento per le aree di pianura sottoposte a rischio allagamento").



In fase di progettazione esecutiva in tutte le aree limitrofe a corsi d'acqua consorziali e più in generale in tutti i casi dove sia previsto uno sversamento di acque bianche di origine meteorica nei medesimi fossi, dovrà rispettare il "Regolamento di polizia idraulica per la conservazione e la vigilanza delle opere pubbliche di bonifica e irrigazione" (DELIBERAZIONE N. 047 / 2014 /CO) del quale è competente il Consorzio di Bonifica della Regione Emilia Romagna. Il regolamento ha come oggetto:

1. la conservazione e manutenzione delle opere pubbliche di bonifica e irrigazione;
2. gli obblighi connessi alla realizzazione, esercizio, manutenzione di manufatti posti in essere da terzi nei canali ed altre opere pubbliche di bonifica, irrigazione e loro pertinenze;
3. le immissioni di acque meteoriche;
4. la salvaguardia della rete consortile, delle opere pubbliche di bonifica di competenza del Consorzio e delle relative zone di rispetto, anche al fine di perseguire la salvaguardia degli equilibri idrogeologici ed ambientali;
5. la disciplina delle opere sui cavi e reti irrigue.

Di seguito si riporta uno stralcio dell'allegato L ("Cartografia di dettaglio delle opere di bonifica e di irrigazione") riportato all'interno del Piano di Classifica degli immobili per il Riparto degli Oneri Consortili adottato con Delibera Consiglio di Amministrazione Consorzio n. 61/2015 il 24-09-2015.



La trattazione del rischio idraulico connesso all'ingressione di mareggiate e alle piene provenienti dall'entroterra e dal rischio di erosione della fascia costiera sarà riportata nel Capitolo n. 13 congiuntamente alle dinamiche.

2.4.1 Valutazioni idrologiche per opere di regimazione

Per il progetto di tratti di fognature e di opere di scolo delle acque bianche supplementari alla rete fognaria già esistente, si possono utilizzare i dati di seguito riportati.

La figura successiva riporta la tabella con le medie climatiche e i valori massimi e minimi assoluti registrati nel trentennio 1971-2000 e pubblicati nell'Atlante Climatico d'Italia del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare relativo al medesimo trentennio.

CERVIA PISIGNANO (1971-2000)	Mesì												Stagioni				Anno
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Inv	Pri	Est	Aut	
T. max. media (°C)	6,9	9,5	13,7	17,2	22,4	26,4	20,9	20,9	24,0	19,1	12,0	7,7	8,0	17,8	28,1	18,6	18,1
T. min. media (°C)	0,4	0,4	3,0	6,2	10,4	14,0	16,6	16,8	13,6	9,6	4,3	0,7	0,2	6,6	16,8	9,2	7,9
T. max. assoluta (°C)	20,4 (1975)	20,8 (1997)	27,3 (1997)	28,2 (2000)	31,8 (1999)	36,7 (1982)	39,0 (1983)	38,4 (1999)	33,4 (1994)	29,3 (1975)	24,3 (1995)	23,5 (1989)	23,5	31,8	39,0	33,4	39,0
T. min. assoluta (°C)	-16,5 (1982)	-14,2 (1991)	-8,0 (1987)	-2,5 (1997)	1,4 (1976)	6,6 (1986)	8,9 (1997)	8,8 (1990)	4,7 (1977)	-0,2 (1971)	-5,0 (1983)	-11,5 (1996)	-16,5	-8,0	6,6	-5,0	-16,5
Giorni di calura (T _{max} ≥ 30 °C)	0	0	0	0	0	4	11	12	2	0	0	0	0	0	27	2	29
Giorni di gelo (T _{min} ≤ 0 °C)	17	13	6	0	0	0	0	0	0	0	4	13	43	6	0	4	53
Precipitazioni (mm)	34,6	44,9	48,3	57,8	42,6	50,7	56,6	50,6	81,7	64,1	75,0	51,1	130,6	148,7	157,9	220,8	658,0
Giorni di pioggia	5	6	7	8	7	6	4	5	7	7	8	7	18	22	16	22	77
Giorni di nebbia	13	11	6	2	2	1	0	0	1	6	10	10	34	10	1	17	62
Umidità relativa media (%)	83	80	76	73	75	73	72	73	76	81	85	86	83,7	76,7	72,7	80,7	78,2

Nella "Relazione tecnica specialistica per la fognatura bianca e nera" relativa al Piano Urbanistico di iniziativa privata Scheda E5 redatta dagli Architetti Giovanni Senni e Marco Gaudenzi si riportano delle elaborazioni statistiche con il Metodo di Gumbel relative alla serie di dati della Stazione di Cervia. Esse hanno fornito le equazioni di possibilità pluviometrica per piogge di durata inferiore (da 15 a 45 min) o superiore all'ora (da uno a 24 ore) relative a differenti tempi di ritorno considerati da quinquennali a monosecolari che vengono riportate in allegato n. 6.

2.5 Idrogeologia

2.5.1 Modello idrostratigrafico

La struttura deposizionale proposta dalla Regione Emilia-Romagna e Eni-Agip (1998) è stata ricondotta ad uno schema interpretativo per identificare le principali unità idrostratigrafiche presenti (vedi figura sottostante); queste sono costituite da fasi sedimentarie complete, rappresentate da materiali fini e finissimi alla base e materiali ghiaiosi, sabbiosi e limosi variamente alternati nelle fasi successive. Questo schema generale, che può a sua volta essere suddiviso in unità di dettaglio maggiore, può essere alterato dall'assenza di uno o più termini per effetto sia di assenza di deposito, sia per effetto di processi di erosione che hanno eliminato parti della serie.

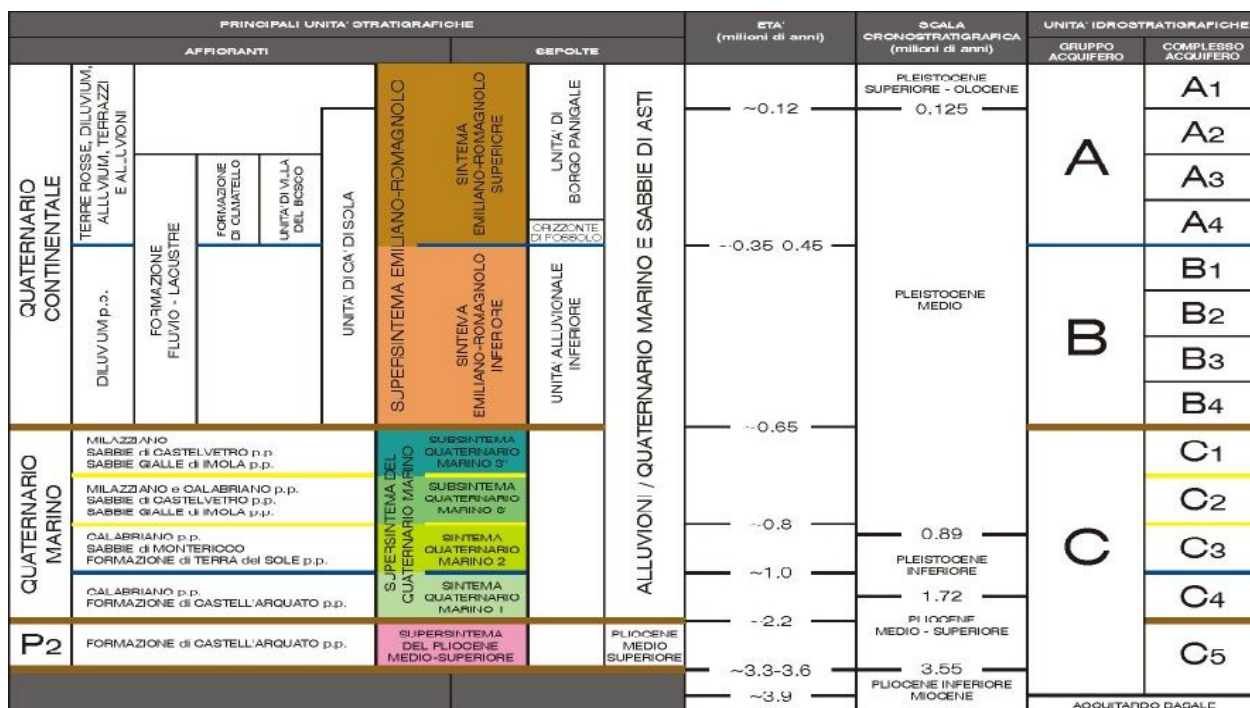


Fig.8 - Inquadramento geologico-stratigrafico e idrostratigrafico dell'area di studio.

Secondo recenti studi ("RIS - Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna" Regione Emilia-Romagna, Eni-Agip, 1998) si distinguono, sia in superficie che nel sottosuolo 3 Unità Idrostratigrafiche di rango superiore, denominate Gruppi Acquiferi (A, B e C; vedi figura precedente). Esse affiorano sul margine meridionale del Bacino Idrogeologico della Pianura per poi immergersi verso nord al di sotto dei sedimenti depositati dai corsi d'acqua principali negli ultimi 20.000 anni, contenenti acquiferi di scarsa estensione e potenzialità (Acquifero Superficiale). Ciascun Gruppo Acquifero risulta grazie a livelli argillosi di spessore plurimetrico sviluppati a scala regionale.

Le Unità Idrostratigrafiche (gruppi acquiferi) sono formate da una o più sequenze deposizionali caratterizzate da alternanze cicliche di depositi fini (alla base) e grossolani (al tetto) molto spessi idraulicamente separate, almeno per gran parte della sua estensione, da quelli sovrastanti e sottostanti. Una sequenza deposizionale è una successione di sedimenti geneticamente legati tra loro (sono depositi durante lo stesso intervallo di tempo e con meccanismi della sedimentazione legati tra loro), compresi alla base e al tetto da superfici di discontinuità della sedimentazione e da superfici di continuità ad esse correlate. All'interno di ciascuna sequenza, si trovano depositi costituiti da differenti litologie, corrispondenti a vari sistemi e ambienti deposizionali. Alla base di ciascuna sequenza si trova un livello molto continuo a scarsa permeabilità che funge da acquicludo tra le diverse unità individuate.

Il basamento è formato da un acquicludo di età riferita al Pliocene inferiore a partire dal quale il fluido che satura i sedimenti è salato (modello strutturale proposto Regione Emilia-Romagna e Eni-Agip, 1998). Questa interfaccia tra le acque dolci degli acquiferi e le sottostanti acque salate è stato sempre utilizzato come il limite inferiore del sistema idropotabile emiliano romagnolo (Idroser, 1978) ed ha uno sviluppo abbastanza variabile e complesso almeno a scala padana.

I complessi acquiferi sono delle unità idrostratigrafiche di rango gerarchico inferiore rispetto ai gruppi acquiferi; essi corrispondono a sequenze deposizionali generate da eventi climatici che hanno causato l'alternarsi di attivazioni e disattivazioni dei sistemi fluviali e deltizi. Sono stati distinti 5 complessi acquiferi nel gruppo acquifero A, 4 nel B, e 5 nel gruppo acquifero C; lo spessore dei singoli complessi acquiferi è dell'ordine delle decine di metri. Come indicato nella figura precedente, i complessi acquiferi vengono denominati con un numero progressivo dall'alto stratigrafico verso il basso, posto dopo il nome del gruppo acquifero (ovvero A0, A1, A2, A3, ...).

I gruppi acquiferi ed i complessi acquiferi corrispondono ad unità geologiche delimitate da superfici tempo; all'interno di ciascuno di essi pertanto sono presenti depositi di diverso tipo, che appartengono a sistemi deposizionali distinti. Sulla base delle conoscenze geologiche disponibili è stato possibile mappare a scala regionale i sistemi deposizionali o complessi idrogeologici che sono definiti come corpi aventi litologie simili, una comprovata unità spaziale ed un grado di permeabilità che si mantiene in un campo di variazione piuttosto ristretto (Civita, 1973). Tali complessi sono le conoidi alluvionali appenniniche, la pianura alluvionale appenninica, la pianura alluvionale padana con riferimento al gruppo acquifero A che costituisce il luogo dove si concentrano i prelievi idrici nella pianura emiliano – romagnola (Report ARPA "Le caratteristiche degli acquiferi della Regione Emilia Romagna"; Adriano Fava, Marco Farina e Marco Marcaccio, 2003).

La fascia costiera cervese si colloca all'interno del sistema deposizionale di "pianura alluvionale appenninica" sul fronte della conoide alluvionale appenninica del Fiume Savio.

2.5.2 Idrogeologia locale

Dal punto di vista idrogeologico l'area in studio, classificabile come pianura alluvionale appenninica La struttura geologica della pianura alluvionale appenninica è caratterizzata dall'assenza di ghiaie e dominanza di depositi fini. Nel settore romagnolo della pianura tale unità a volte si viene trovare a diretto contatto con il margine appenninico. In particolare essa l'area si colloca oltre la parte distale del conoide del Fiume Savio, che sbocca in mare a Lido di Savio immediatamente a nord ovest del territorio comunale di Cervia. Essa confina ad oriente con i depositi alluvionali del Torrente Pisciatello e ad occidente con le alluvioni del Torrente Bevano.

Anche all'interno di questa unità sono riconoscibili alternanze cicliche ripetute più volte sulla verticale, generalmente organizzate al loro interno nel modo seguente:

- porzione inferiore - è costituita da limi argillosi di spessore decametrico e continui lateralmente per diversi chilometri;
- porzione intermedia - è costituita da depositi fini dominati da limi alternati a sabbie e/o argille in cui sono frequentemente presenti livelli argillosi;
- porzione superiore - è costituita da sabbie medie e grossolane, di spessore di alcuni metri, la loro continuità laterale è dell'ordine di qualche chilometro. Qui si concentra la maggior parte delle sabbie presenti in questi settori di pianura.

Il complesso idrogeologico della piana alluvionale appenninica si configura come un contenitore assai scadente in termini quantitativi. All'interno dei pochi corpi grossolani presenti la circolazione idrica è decisamente ridotta ed avviene in modo prevalentemente compartimentato. Non sono presenti fenomeni di ricarica né scambi tra le diverse falde. Le falde sono in condizioni confinate eccettuata quella nell'acquifero superficiale. In alcuni casi sono documentate falde salienti con livelli piezometrici superiori al piano campagna.

Due pozzi presenti nella banca dati RER (Carta della piezometria e qualità delle acque sotterranee) in località Cervia e Zadina Pineta (RA54-02 e RA 73-00; vedi figure successive con relativa ubicazione) riportano le quote e l'andamento piezometrico degli acquiferi interessati del gruppo A la cui ubicazione è riportata in allegato n. 3.



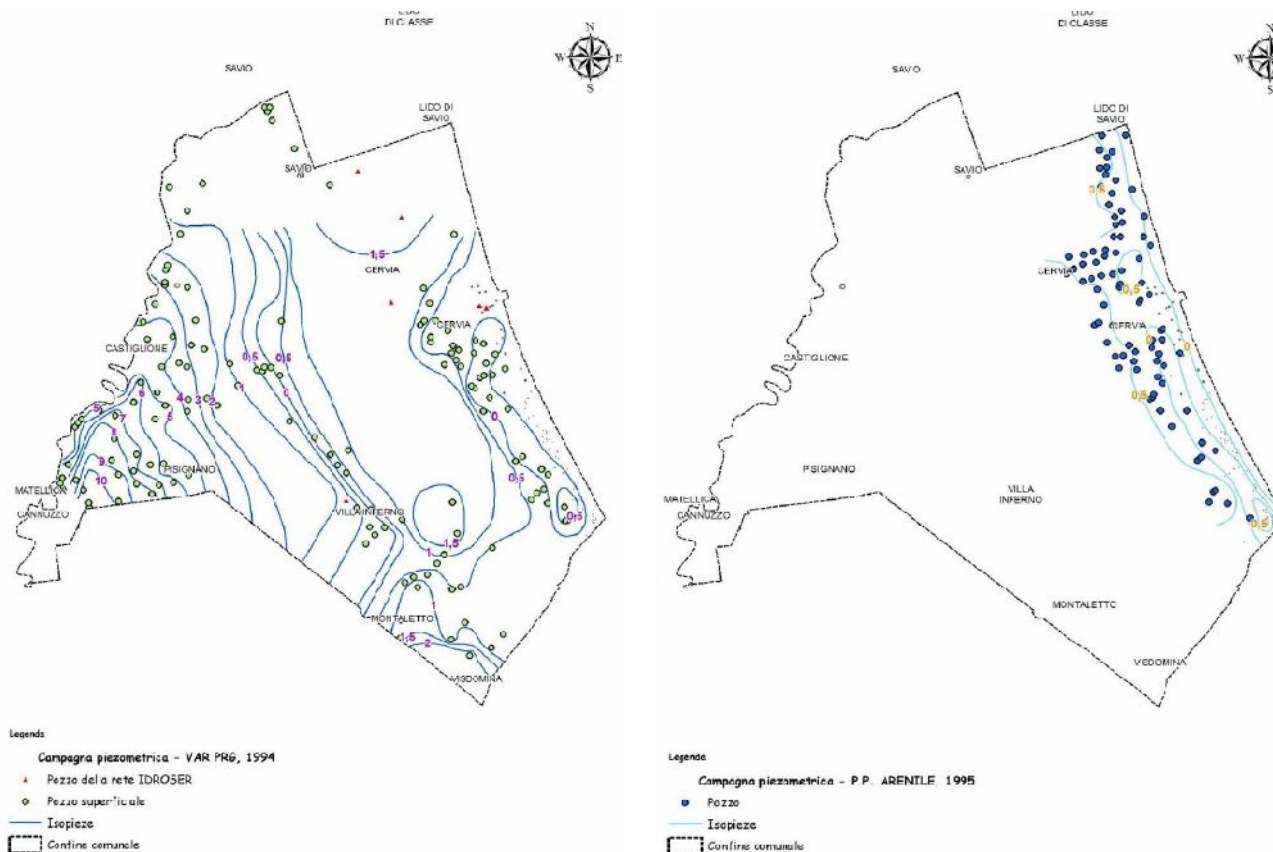
Per quanto riguarda le caratteristiche di permeabilità dei terreni quelli superficiali sabbiosi attribuibili a facies litorali della piana costiera sono dotati di discreta/buona permeabilità; lo spessore del "prisma litorale sabbioso" all'altezza della linea di costa è compreso tra 11 della parte meridionale dell'area e i 21 mt di quella settentrionale. Gli strati argillosi rappresentano facies di bacino interfluviale presenti sotto il pacco di sabbie costiere al contrario presentano valori di permeabilità molto ridotti al limite dell'impermeabilità. La permeabilità in tali sedimenti è generalmente molto limitata e perlopiù dovuta alla presenza di sottili livelli sabbiosi intercalati ai materiali più fini.

Il litotipo sottostante quelli impermeabili, di seguito denominato "SH", si pone generalmente come termine di chiusura della successione stratigrafica del primo sottosuolo fino a 30 mt di profondità. Tale litotipo è caratterizzato da un ambito di permeabilità vasto, generalmente intermedia tra i due litotipi sopradescritti, dipendente dal maggior o minor contenuto di argilla e dal grado di interdigitazione e continuità laterale dei livelli semipermeabili. Considerato tuttavia che si tratta principalmente di facies di argine / paleo canale e considerata la scarsa continuità laterale dei livelli a maggiore permeabilità la presenza di falda assume una scarsa importanza dal punto di vista di una possibile salienza artesianica comunque limitata.

L'acquifero freatico costiero è rappresentato dal sopradescritto "prisma litorale sabbioso". In vicinanza di fiumi e canali esso è influenzato principalmente dalla qualità delle acque di questi ultimi; a maggior distanza, e per la maggior parte della sua estensione è influenzato da qualità e quantità delle acque filtrate dal suolo; in prossimità di reti tecnologiche può essere affetto dalle eventuali loro perdite; in prossimità della costa può essere eventualmente influenzato (e influenzare) dalla posizione dell'interfaccia con il cuneo delle acque saline.

Questo acquifero è abbondantemente sfruttato da migliaia di pozzi poco profondi, che hanno l'effetto principale di aumentare la circolazione delle acque sotterranee in direzione orizzontale, e di richiamarne altre dalla superficie accelerandone l'infiltrazione.

Le ingressioni saline sono uno degli aspetti legati a questo sfruttamento, molto estese e fortemente soggette a stagionalità. La collocazione dell'interfaccia acque dolci/acque salate (detta cuneo salino) rispetto al piano di campagna ed alla linea di costa dipende principalmente dal carico idraulico delle prime e che spesso risulta essere insufficiente per contrastare tale fenomeno.



La situazione piezometrica della falda freatica superficiale nella fascia costiera è stata individuata in occasione della Variante Generale al PRG del Comune di Cervia del 1994 e al Piano Particolareggiato dell'Arenile del 1995 per le quali di seguito vengono riportati degli stralci.

Da ovest a est il flusso della falda superficiale avviene chiaramente in direzione della costa, almeno nel settore compreso tra il margine orientale del dosso fluviale del Savio e il confine occidentale della Salina. Il dosso del Savio sembra costituire un acquifero capace di alimentare sia il Savio (almeno nel tratto più a monte) che la pianura orientale, con spartiacque piezometrico sub-parallelo all'alveo fluviale. La Salina crea un'evidente barriera al deflusso della falda superficiale, la cui continuità (se continuità esiste, vista la presenza sub-superficiale di terreni a grana fine) viene spezzata. Oltre la Salina inizia il dominio dell'acquifero freatico superficiale costiero, dotato di conduttività idraulica largamente superiore.

Da qui si vede come le isopieze sono sub-parallele alla linea di costa, con valori che variano da 0 a 0,5 m s.l.m. Gli alti piezometrici si rilevano in corrispondenza del settore centro-settentrionale della costa, caratterizzato dalla presenza dei paleo-cordoni dunari; i bassi si registrano lungo tutto il margine occidentale, in particolare nell'area di Pinarella e di Tagliata dove le quote raggiungono il livello del mare già a partire dalla Statale Adriatica.

La soggiacenza del livello statico della falda freatica nelle sabbie litorali di superficie è generalmente compresa tra 1.0 – 2.0 m dal piano campagna ed è alimentata, ormai in misura moderata, sia da precipitazioni direttamente insistenti, sia dagli apporti infiltrati nell'area a monte.

Da precedenti esperienze (anche in altri tratti di costa del cervese), si può riscontrare che, le oscillazioni di marea influenzano direttamente quelle freatiche per una fascia di territorio parallela alla costa per un'ampiezza di almeno duecento metri; oltre questa linea gioca un ruolo maggiormente importante l'apporto idrico da monte, che determina un livello freatico più stabile con oscillazioni più contenute e meno influenzato dalle maree. In generale sul lungo periodo, sulla base delle conoscenze bibliografiche dirette per analoghi lavori effettuati, si è rilevato che la falda superficiale è caratterizzata da oscillazioni stagionali contenute. Solamente in occasioni d'eventi meteorologici prolungati di forte intensità, concomitanti con rilevanti mareggiate e/o con livello del mare alto, il livello freatico potrà raggiungere per brevi periodi anche la quota -0,50 mt dal p.c.

Tuttavia nello specifico si ritiene che il livello medio della falda freatica, nella zona mediana e di monte dell'arenile, nel periodo di massimo innalzamento stagionale possa ragionevolmente essere definita ad una quota di -0,70 mt dal p.c.

2.5.3 Caratteristiche di permeabilità dei terreni

Una valutazione circa le caratteristiche di permeabilità dei terreni nei primi venti metri di profondità è stata fornita anche con l'ausilio delle prove in sito CPTe effettuate. La classificazione SBT secondo il metodo di Robertson & Wride 1998 permette, tramite il parametro I_c , di stimare i seguenti ambiti di comportamento:

SBT Zone	SBT	Range of k (m/s)	SBT I_c
1	Sensitive fine-grained	3×10^{-10} to 3×10^{-8}	NA
2	Organic soils - clay	1×10^{-10} to 1×10^{-8}	$I_c > 3.60$
3	Clay	1×10^{-10} to 1×10^{-9}	$2.95 < I_c < 3.60$
4	Silt mixture	3×10^{-9} to 1×10^{-7}	$2.60 < I_c < 2.95$
5	Sand mixture	1×10^{-7} to 1×10^{-5}	$2.05 < I_c < 2.60$
6	Sand	1×10^{-5} to 1×10^{-3}	$1.31 < I_c < 2.05$
7	Dense sand to gravelly sand	1×10^{-3} to 1	$I_c < 1.31$
8	*Very dense/ stiff soil	1×10^{-8} to 1×10^{-3}	NA
9	*Very stiff fine-grained soil	1×10^{-9} to 1×10^{-7}	NA

**Overconsolidated and/or cemented*

Tali ambiti sono numericamente espresse dalle seguenti relazioni:

When $1.0 < I_c \leq 3.27$ $k = 10^{(1.952 - 0.04 I_c)}$ m/s

When $3.27 < I_c < 4.0$ $k = 10^{(-4.52 - 1.37 I_c)}$ m/s

Pertanto in questo modo si possono ottenere degli ambiti caratteristici all'interno dei quali ricadono le litofacies (LIT.) individuate. La dispersione maggiore o minore dei dati e quindi l'ampiezza degli intervalli di permeabilità dipende dalla omogeneità del litotipo. Mentre per le sabbie litorali (V, S e H) e per le argille sottostanti (L, A) a parte pochi valori si hanno ambiti ristretti, per il litotipo AL caratterizzato da alternanze litologiche ed anche parzialmente dall'SH l'ambito diventa più ampio così come variabili sono le caratteristiche di permeabilità. Nella tabella seguente si fornisce un quadro riassuntivo dei valori del coefficiente di permeabilità K in funzione delle principali litologie di terreno riscontrate con la elaborazione.

LIT.	Descrizione	K (mt/sec) coeff. di perm.
V	Livello superficiale Sabbia di colore nocciola con sparso detrito fine. Trattasi della parte emersa della spiaggia, arenata, povera di sostanze organiche ed a permeabilità alta.	
S	Sabbie mediamente addensate Sabbia medio - fine / fine talora debolmente limosa con rari passaggi millimetrici torbosi nerastri, sparsi bioclasti. Presentano una permeabilità elevata.	$10^{-4} - 10^{-6}$
H	Sabbie poco addensate Sabbia medio - fine / fine talora debolmente limosa con rari passaggi millimetrici torbosi nerastri, sparsi bioclasti. Presentano una permeabilità orizzontale buona molto superiore a quella verticale per via dell'assetto deposizionale e dell'interstratificazione con occasionali livelli limo-argillosi	$10^{-4} - 10^{-6}$
AI	Alternanze Alternanze di sabbia da fine a finissima con limo sabbioso di colore nocciola. Presentano una permeabilità orizzontale da buona ad elevata molto superiore a quella verticale limitata dalla intercalazione con livelli limo-argillosi	$10^{-6} - 10^{-10}$
C	Limi ed argille compressibili Limi con argilla di colore grigio, presenza di striature di ossidazione, livelli organici nerastri, di locali orizzonti centimetrici di limo e sabbia fine. .	$10^{-7} - 10^{-9}$
L	Limi-argillosi ed argille da mediamente compatti a compatti Limi con argilla di colore grigio, presenza di striature di ossidazione ocracee, di rari livelli torbosi nerastri, di locali orizzonti centimetrici di sabbia fine.	$10^{-8} - 10^{-10}$
SH	Sabbie limose e limi sabbioso - argillosi In matrice limo-argillosa. Rappresentano strutture arginali e/o di paleovalle dei corsi d'acqua principali.	$10^{-5} - 10^{-9}$

In allegato n. 5 dell'Elaborato n. 1 si riportano le elaborazioni suddette ed i relativi valori di permeabilità mediati su 10 cm a fronte dell'avanzamento centimetrico delle penetrometrie statiche con punta elettrica CPTE o con piezocono CPTU.

2.6 Tutela assetti idrogeologici

In riferimento alle caratteristiche di vulnerabilità dell'acquifero superficiale ci si attiene a quanto riportato "VARIANTE AL P.T.C.P. APPROVATA CON D.C.P. N. 24 del 22.03.2011 IN ATTUAZIONE AL PIANO TUTELA DELLE ACQUE DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA". In particolare la "Carta della tutela delle risorse Idriche e Superficiali e Sotterranee" (Tavola 3 - 18; vedi stralcio in figura successiva) inquadra l'area oggetto di variante urbanistica come "Zona di protezione delle acque sotterranee costiere" (art. 5.3, 5.7, 5.11).



In dettaglio l'art. 5.3 recita: "In considerazione delle evidenze sperimentali di subsidenza costiera e di salinizzazione delle falde per ingressione di acque marine, il PTCP individua una ulteriore zona di protezione delle acque sotterranee in territorio costiero".

L'art. 5.7 "*Disposizioni per la zona di protezione delle acque sotterranee in ambito costiero*" in considerazione degli obiettivi ambientalmente rilevanti del contenimento del fenomeno della subsidenza, dei fenomeni di migrazione di acque fossili e della ingressione salina, ed in accordo con le Linee guida per la gestione integrata delle zone costiere (GIZC) (Delib. Cons. Regionale 20/01/2005 n.645), nella zona di protezione delle acque sotterranee in ambito costiero di cui all'art. 5.3 punto 2, rappresentata in Tavola 3 valgono le seguenti disposizioni:

a) (D) Nell'esprimere il parere richiesto ai sensi del Regolamento regionale n.41/2001 sul rilascio di concessione per nuove derivazioni di acque sotterranee la Provincia si orienta al diniego. La Provincia dà indirizzo di una attenta valutazione preventiva anche della perforazione a scopo di ricerca, fatte salve le perforazioni finalizzate al monitoraggio del livello piezometrico e della qualità della falda idrica di cui all'art. 17 del Regolamento Regionale n.41/2001 e le indagini piezometriche finalizzate alla valutazione sulla necessità di interventi di bonifica e/o messa in sicurezza in rapporto alle specifiche procedure previste dal D.Lgs. n.152/2006 e s.m.i.

a1) (P) Relativamente ai pozzi ad uso termale e minerale è consentita solo la perforazione di nuovi pozzi profondi all'interno delle aree di delimitazione di concessioni in essere all'entrata in vigore della presente variante ovvero all'interno delle aree di delimitazione di permessi di ricerca già autorizzati all'entrata in vigore della presente variante.

b) (P) per le estrazioni di acque freatiche in corso di cantierizzazione, nelle escavazioni che espongono la falda freatica va limitato l'impiego di pompe well-point ad esclusione delle attività finalizzate a bonifiche e simili; lo scavo deve essere preferibilmente circondato da dispositivi idonei a limitare l'afflusso delle acque freatiche. L'allontanamento delle sole acque estratte dovrà avvenire preferibilmente per reimmissione diretta in falda freatica mediante pozzo a dispersione.

c) (D) per i pozzi esistenti alla data di adozione delle presenti norme la Provincia, nell'esprimere il parere richiesto ai sensi del Regolamento regionale n.41/2001 sul rinnovo di concessione delle derivazioni di acque sotterranee si orienta a richiedere limitazioni progressive nel tempo alle portate idriche emunte dalla falda sotterranea, e limitazioni maggiori progressive nel tempo nelle zone con velocità di abbassamento del suolo superiore a 0,6 cm/anno;

d) (D) Ai fini del raggiungimento degli obiettivi della presente variante si opererà d'intesa con la Regione Emilia-Romagna per individuare un percorso finalizzato all'applicazione pilota delle misure di monitoraggio – anche tramite l'installazione di dispositivi sigillati per la misurazione delle portate e dei volumi emunti o derivati – volte ad effettuare un controllo/verifica del corretto sfruttamento della risorsa idrica;

e) (D) è incentivata la realizzazione di bacini per lo stoccaggio permanente di acque dolci prelevate dai fiumi in periodi di piena, finalizzati esclusivamente alla ricarica della falda e al contrasto dell'ingressione marina e non ad uso irriguo. Prima della loro gestione al fine di evitare che la loro presenza favorisca anziché contrastare l'ingressione salina e la proliferazione di insetti.

L'art. 5.11 tratta le "Misure per il risparmio idrico nel settore civile e acquedotti stico Civile.

1.(I) Il risparmio idrico nel settore civile è perseguito attraverso il raggiungimento del duplice obiettivo del contenimento dei consumi idrici e della riduzione degli emungimenti, mediante interventi finalizzati alla riduzione delle perdite di rete ed interventi infrastrutturali finalizzati alla progressiva sostituzione dei prelievi di acque di falda con opportune derivazioni di acque superficiali.

2.(D) Gli Enti interessati, in sede di richiesta di ogni nuova concessione da acque superficiali per gli usi di competenza che comporti una variazione in aumento di prelievo di concessione esistenti, dovranno proporre limitazioni al prelievo di acque sotterranee indicando al Servizio Tecnico di Bacino competente le concessioni che dovranno essere opportunamente riviste e modificate.....

2.7 Tutela dai processi erosivi marino-costieri

Nel presente paragrafo si riprende l'analisi del sistema fisico costiero, per la valutazione dell'impatto degli eventi naturali e degli interventi antropici, relativa alle caratteristiche del contesto marino condotta all'interno dello Studio Geologico allegato al Quadro Conoscitivo del PSC di Cervia in fase di elaborazione.

La fascia costiera è costituita dalla zona a cavallo della linea di riva, compresa tra il limite verso terra della duna e l'elemento morfologico più esterno della spiaggia sommersa, la barra longitudinale esterna, le opere di difesa distaccate e i basso fondali.

A Cervia, la fascia costiera si estende per una lunghezza di circa 9 km, dal confine nord con Lido di Savio al confine sud con Pineta Zadina (Cesenatico), presenta una morfologia relativamente omogenea, con coste basse e sabbiose corrispondente ad un tipo di spiaggia definita "sottile" cioè lievemente degradante verso il mare aperto; la spiaggia è costituita da sabbie fini. La sua continuità è interrotta in corrispondenza dallo sbocco in mare del Canale di Via Cupa Nuovo, dal Canale delle Saline (Canale del Pino) e dal Porto Canale. Il litorale è interamente privo di opere di difesa rigide.

Le conoscenze relative agli aspetti fisici e dinamici della costa romagnola, derivano da lodevoli iniziative di enti quali la "Camera di Commercio, Industria, Artigianato e Agricoltura di Forlì". Essa nel 1965 costituì un comitato con lo scopo di promuovere un organico programma di ricerche sulle cause del progressivo aggravamento delle erosioni marine facendo propria la preoccupazione che prendeva corpo presso l'opinione pubblica locale la cui sopravvivenza era intimamente legata al turismo balneare. Lo scopo era quello individuare possibili rimedi al fine di conseguire sia la prevenzione dei fenomeni erosivi marini sulla costa che di mantenere e migliorare i porti locali ad uso peschereccio e turistico.

Successivamente la Regione Emilia-Romagna ha attivato numerosi studi e ricerche sin dai primi anni '80 e che hanno prodotto due edizioni successive del Piano Costa (1981-1993, 1993-1996); nel corso del '900 il sistema costiero della riviera romagnola ha infatti subito una trasformazione radicale ad opera dell'uomo, che ha portato alla scomparsa di gran parte dei caratteri paesaggistico-ambientali originari: le dune sono state in gran parte spianate, diverse zone vallive bonificate e le aree boschive e incolte fortemente ridotte.

Le ricadute in termini ambientali hanno iniziato a farsi sentire in maniera sostanziale fin dal secondo dopoguerra, con crescenti fenomeni di erosione delle spiagge ed eutrofizzazione, che hanno rischiato di compromettere l'industria turistico-balneare. Sulla scorta di tale situazione nel 1979 la Regione ha così deciso di occuparsi dell'erosione delle spiagge, pur essendo la tematica di competenza dello Stato, affidando alla società regionale IDROSER l'incarico per effettuare uno studio generale di tutta la costa.

Da tale studio è scaturito il primo Piano Costa, che ha segnato di fatto la chiave di volta delle politiche di intervento per la difesa del litorale regionale, seguito da un secondo Piano nel 1993-1996; sulla base degli studi svolti sono state individuate le cause responsabili dei fenomeni erosivi, identificate nella diminuzione del trasporto solido da parte dei fiumi, nella subsidenza e nelle opere di difesa costruite a mare, negli anni del secondo dopoguerra, nel tentativo di bloccare la dinamica costiera e di proteggere la superficie territoriale e le infrastrutture che vi erano state edificate.

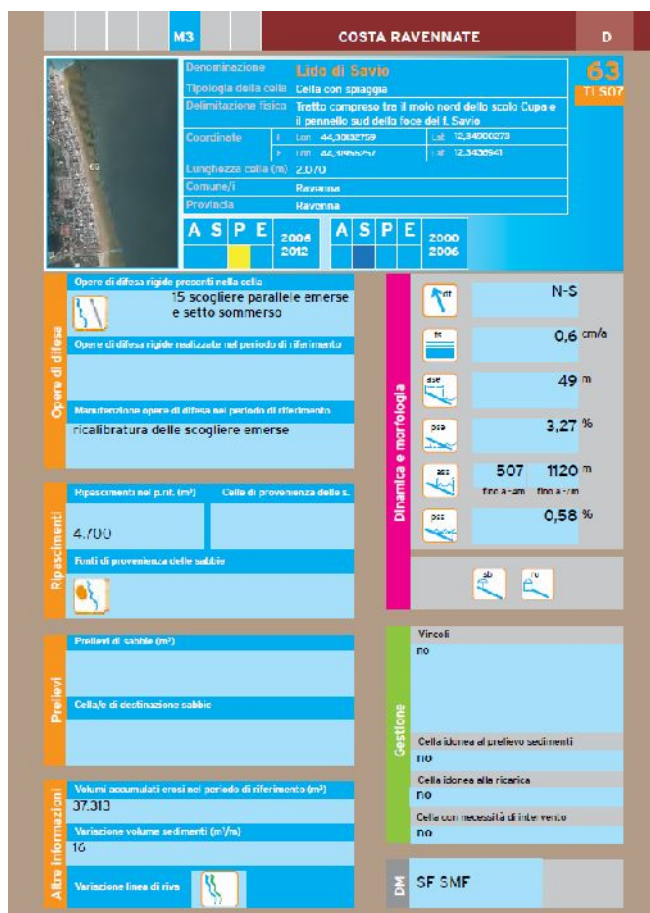
Visti gli impatti paesaggistico - ambientali di queste opere, il Piano Costa ha suggerito di abbandonare la difesa con le scogliere e di sostituirla con il ripascimento; dal momento che i fiumi non alimentavano più la spiaggia con la loro sabbia, occorre portarla artificialmente. Nel 1983 la Regione ha così dato il via al primo grande intervento di ripascimento realizzato in Italia. Pur con difficoltà e intermittenza, questa tecnica è stata portata avanti nei decenni successivi utilizzando prevalentemente sabbie di cava a terra o di altre fonti litoranee, fino al 2002, quando è stato realizzato il primo grande intervento con sabbia prelevata da accumuli sabbiosi sottomarini individuati al largo della costa fin dal 1984. Questo tipo di intervento, a basso impatto paesaggistico-ambientale, si dimostra efficace nello smorzamento del moto ondoso cui consegue una riduzione dei rischi per infrastrutture e abitati. Determina inoltre effetti positivi anche sui litorali limitrofi grazie alla redistribuzione della sabbia dalla zona d'intervento.

Per quanto riguarda la costa di Cervia, il Piano Coste del 1993-1996 evidenziava fenomeni erosivi in due zone: all'estremità settentrionale, in prossimità del confine con Ravenna e nella parte meridionale in località Tagliata, a ridosso col Comune di Cesenatico. Il fenomeno risultava presente da maggior tempo (circa un ventennio) nella zona settentrionale, nella quale, per contenere gli effetti dell'erosione, già dal 1981 il Comune di Cervia aveva predisposto un progetto di difesa basato sul ripascimento artificiale protetto, così come indicato dal Piano Coste del 1981-1993. Tale progetto fu attuato nel 1983 dalla Regione Emilia-Romagna, in corrispondenza del tratto che va dal Canalino delle Saline al Canale di Via Cupa, per una lunghezza di circa 2.2 km; tale intervento pur risultando efficiente non si è rilevato risolutivo della problematica, a causa dell'insufficienza degli interventi di manutenzione da attuare con apporti periodici di sabbia.

Le osservazioni relative alla linea di riva, nel periodo 1978, 1983 e 1991 evidenziavano per l'area di Cervia variazioni modeste, se riferite ad altre località della costa regionale, ciò è dovuto in particolare ai bassi valori del trasporto litoraneo in zona che si riducono sino ad azzerarsi a sud del porto di Cervia. Tra il 1943 ed il 1996 nella zona a nord di Milano Marittima, al confine settentrionale del territorio comunale, la linea di riva è arretrata di circa 30-35 m, nella zona della Colonia Varese. Nello stesso periodo l'arretramento della linea di costa è stato di 15-20 m, con valori in attenuazione spostandosi verso sud; tale arretramento è riconducibile principalmente alle scogliere di difesa presenti a Lido di Savio.

Nel tratto compreso tra il canale immissario delle Saline e grosso modo Pinarella, si registra al contrario, nel periodo suddetto, una progradazione della linea di costa verso il mare con valori che, a partire dal Porto Canale e lungo il litorale cittadino, raggiungono valori anche superiori a 30 m. Avvicinandosi al confine con Cesenatico, l'avanzamento della linea di costa, rispetto al 1943, diviene meno marcato.

Rilievi più recenti relativi agli anni 1996 e 2005 hanno evidenziato una complessiva stabilità della spiaggia, ad eccezione delle sole zone a nord del comune, dove l'arretramento è comunque continuato con valori di circa un metro all'anno, per un valore complessivo di circa 10 m.



Il Piano Operativo Comunale di Ravenna recentemente adottato (16/07/2015 con Delibera di CC. n. 99757/76) riporta la "Tavola delle zone in erosione Il sistema gestionale delle celle litoranee SICELL (aggiornamento 2006-2012).

La classificazione ASPE individua 4 classi di stato delle Celle (in accumulo "A", stabile "S", in equilibrio precario "P", in erosione "E") sulla base di variazioni di volume significative nel periodo considerato.

Nella scheda che descrive il piccolo tratto di costa a nord dello Scolo Cupa ricadente in territorio comunale di Cervia (vedi figura a lato) si evidenzia l'efficacia delle opere di difesa realizzate in passato (scogliere parallele emerse e setto sommerso).

In particolare se tra gli anni 2000 e 2006 si evidenzia una sostanziale stabilità ("S") del settore tra il 2006 e il 2012 si segnala un equilibrio precario ("P"). Tuttavia le opere sopra descritte fanno sì che nella cella litorale, già oggetto di ripascimenti con apporti di cave dall'entroterra non vi sia necessità di intervento in quanto considerata "stabile" (arretramenti della linea di riva inferiori a 10 mt su 100 di tratto costiero).

Dati relativi alla fascia costiera sono consultabili all'interno del "Sistema informativo geografico della costa" creato dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Tale sistema informativo è lo strumento di consultazione on-line delle principali Banche Dati cartografiche prodotte dal Servizio sulle tematiche legate alla difesa della costa, ed organizzate nel Sistema Informativo della Costa.

La Regione ha assunto, su indicazione dei Piani Costa 1981 e 1996, altre importanti iniziative a favore della costa; in particolare è stata bloccata l'escavazione di materiali inerti dagli alvei fluviali per ristabilire l'apporto solido fluviale drasticamente diminuito dagli anni 50-60 in poi, sono stati introdotti diversi interventi per contrastare il fenomeno della subsidenza, riducendo di fatto gli emungimenti di acque di falda e realizzando infrastrutture idrauliche che utilizzassero acque superficiali (Acquedotto di Romagna, CER), sono state bloccate le espansioni urbanistiche delle aree costiere, sono state introdotte politiche normative ed interventi per la salvaguardia della qualità dell'acqua marina. L'insieme di tutte queste azioni ed interventi legislativo-normativi ha portato a un netto miglioramento della situazione degli arenili, anche se resta il problema della subsidenza ancora troppo elevata, mediamente pari a circa 1 cm/anno su 100 km di costa. Questo abbassamento del terreno costituisce una seria minaccia per la stabilità del litorale nei prossimi decenni, tanto più se si verificherà il previsto innalzamento del livello del mare dovuto ai cambiamenti climatici in corso.

In particolare con riferimento ai dati di Arpa Regione Emilia-Romagna relativi al tema della subsidenza costiera, emerge come nella zona litoranea meridionale di Pinarella di Cervia, si abbiano abbassamenti di 7-8 mm/anno, con una sostanziale continuità rispetto al periodo precedente, mentre da Cervia sino al limite settentrionale, gli abbassamenti si attestano mediamente intorno a 10 mm/anno (con qualche punta di 13 mm a Milano Marittima), facendo registrare, rispetto al periodo precedente, un leggero incremento del fenomeno. Se si pensa che la subsidenza per cause naturali, al netto dell'eustatismo, in questo tratto costiero è pari a circa 1 mm/anno, si capisce come il fenomeno della subsidenza costituisca ancora un serio problema, soprattutto in ragione dell'irreversibilità che assume nelle zone costiere; il fenomeno della subsidenza, inoltre, aumenta il rischio ed i danni dell'ingressione marina, favorisce l'ingressione del cuneo salino e rende necessari onerosi interventi di difesa dal mare.

2.8 Tutela dagli episodi di ingressione marina

Anche il settore di territorio litorale di Cervia al pari degli altri delle pianure costiere italiane caratterizzate da una prisma sabbioso dolcemente digradante in mare come gran parte di quelle del Mare Adriatico centro - settentrionale sono soggette al rischio di allagamento per ingressione marina dovuta alla risalita relativa del livello medio del mare.

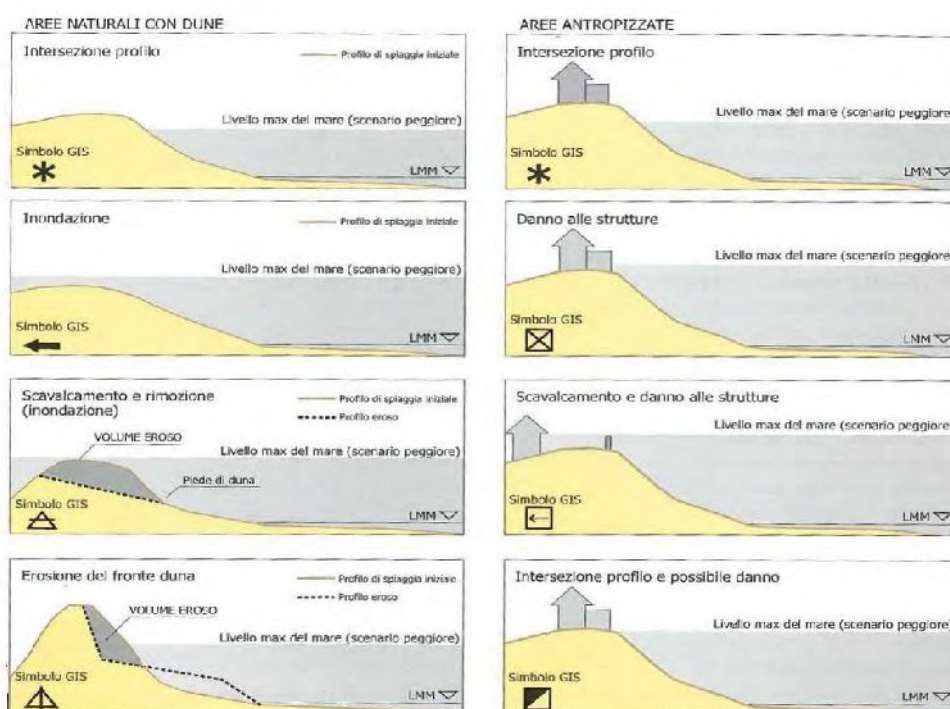
In allegato n. 4 si riportano gli stralci cartografici con alcuni dei tematismi e delle informazioni più importanti attinte dal SIT della regione Emilia Romagna ed in particolare relative alla geomorfologia costiera e alla vulnerabilità da mareggiate.

Negli anni 1949, 1951, 1963, 1977, 1978, 1979 e 1982 si sono verificati gli eventi di mareggiata più importanti. L'evento eccezionale è riconducibile alla mareggiata del 21- 22 dicembre 1979, a seguito del quale l'Amministrazione Comunale ha deliberato di preservare il cordone dunoso recente per garantire la difesa dall'ingressione marina. Nell'occasione di quella eccezionale mareggiata, l'area interessata dall'ingressione marina è quella cartografata nella Tavola B.8, allegata al PSC di Cervia in corso di elaborazione, che è considerata come l'estensione massima raggiungibile anche in futuro in seguito ad eventi di mareggiata estremi.

Un recente studio dell'impatto delle mareggiate sulla morfologia costiera (Ciavola et al., 2008) ha eseguito una previsione statistico-modellistica che tiene in conto le forzanti meteo marine, le caratteristiche topografiche e morfologiche di dettaglio delle spiagge e dei cordoni dunosi. Nello studio si considerano le peggiori condizioni possibili: massima quota di risalita del livello del medio mare (sopralzo) per effetto dell'occorrenza simultanea dei fenomeni di acqua alta (*storm surge*), marea eccezionale e *run-up*.

Per il tratto di costa che comprende anche il litorale cervese, il modello previsionale ha trovato dei profili in sostanziale sicurezza, sia in presenza di duna, sia senza duna, anche con tempo di ritorno dell'evento pari a 10 anni. Per un discreto numero di profili il modello prevede, anche per l'evento con periodo di ritorno di 100 anni, l'erosione frontale della duna, ma non il suo scavalco o la sua rimozione. Ciò testimonia che laddove le dune mantengono una quota elevata rispetto al medio mare ed una notevole estensione laterale, si verificano solo condizioni di danneggiamento delle dune stesse, le quali si dimostrano ancora in grado di fungere da protezione per le aree retrostanti.

Lo studio ha permesso di individuare tipologie di impatti dovuti alle mareggiate sia per l'ambiente naturale (dune) che per quello costruito rappresentate nel web GIS della costa della Regione Emilia-Romagna. Il successivo schema dei possibili impatti degli eventi di mareggiata associati a *surge* sui profili di spiaggia naturali e antropizzati illustra anche i simboli di impatti puntuali riportati nelle rappresentazioni planimetriche in allegato n. 4.



Ai diversi tipi di impatto è stata attribuita la seguente classificazione del grado di vulnerabilità: classe alta (inondazione del retrospiaggia, scavalcamento e rimozione della duna, danneggiamento e/o scavalcamento di struttura antropica); classe media (erosione del fronte dunare, intersezione/danneggiamento di struttura antropica) classe bassa: intersezione della spiaggia e della duna. L'infittimento dei profili di modellizzazione ha permesso di quantificare la lunghezza del litorale attribuibile alle diverse classi di vulnerabilità, attraverso l'interpolazione dei dati puntuali. Da questa elaborazione lineare (vedi allegato n. 4) emerge come per eventi con tempo di ritorno di 1 anno non vi siano situazioni critiche rilevate per quanto concerne la vulnerabilità da mareggiata. Al contrario per tempi di ritorno di 10 anni o superiori (100 anni) di si nota come la maggior parte dello sviluppo litorale presenti situazioni di elevata criticità e solo piccoli tratti a sud del porto canale presentino una "media vulnerabilità".

3 INDAGINE GEOGNOSTICA

3.1 Considerazioni generali

La campagna geognostica di riferimento si compone sia di una serie di prove in sito tratte da fonti bibliografiche, che attraverso l'esecuzione di n. 12 prove penetrometriche statiche CPTe spinte sino a profondità di 20.0-30.0 mt dal p.c.. Per il completamento delle informazioni geognostiche si è attinto da banche dati varie ovvero da privati, in fase di pianificazione urbanistica, nonché dalla Banca dati del webgis regionale relativo alla cartografia geologica della Regione Emilia Romagna. In particolare si sono utilizzati: n. 4 profili stratigrafici da sondaggi a carotaggio continuo spinti a profondità comprese tra 15.0 e 45.0 mt; n. 7 prove penetrometriche statiche CPTU con piezocono a -30.0 mt; n. 3 CPTm con punta meccanica a -15.0 mt.

L'ubicazione delle prove effettuate nell'area di studio e quelle utilizzate per correlazione è riportata in planimetria quale allegato n. 3.

Tali prove sono inserite in raccolte quali allegato n. 1 e n. 2 dell'Elaborato n. 1 associato al presente studio geologico.

L'indagine geognostica realizzata, unitamente ai sondaggi geognostici ed alle prove di laboratorio esistenti, hanno consentito di definire il quadro litostratigrafico e geomeccanico dell'area in esame.

3.2 Prove penetrometriche statiche – CPTe

L'esecuzione di n. 12 prove penetrometriche statiche con punta elettrica CPTe ha fornito una valutazione estensiva delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni dell'area in studio.

Le prove (vedi allegato n. 1 in Elaborato n. 2) eseguite con l'ausilio di penetrometro statico tipo "PAGANI" da 20 tons si spingono fino alla profondità massima di -30.0 ml dal piano campagna rilevando, in maniera continua (ogni cm), i valori di resistenza di punta "Rp" e resistenza di attrito laterale locale "Rl" (vedi Elaborato n. 1).

Le caratteristiche meccaniche della punta elettrica utilizzata dallo strumento sono le seguenti:

Angolo di apertura cono:	60°
Diametro:	36 mm
Sezione di spinta:	10 cm ²
Superficie laterale:	150 cm ²
Peso:	2,1 kg
Lunghezza:	413 mm

Una prima stima delle caratteristiche di permeabilità dei terreni, con l'ausilio di prove CPTe può essere certamente fornita dalla classificazione SBT secondo il metodo di Robertson & Wride 1998, che tramite il parametro I_c si stima gli ambiti di comportamento.

Il metodo di Robertson considera come indicativo della litologia il confronto fra i parametri Q (resistenza di punta normalizzata) e F (rapporto delle resistenze normalizzato) del terreno indagato. Robertson introduce anche il parametro I_c (Indice del tipo di comportamento del terreno) $I_c = \sqrt{3.47 - \log Q + \log F + 1.22}$ che può essere correlato empiricamente al contenuto di fine (FC) del terreno attraverso la relazione $FC\% = 1.75 I_c^{3.25} - 3.7$.

Nel paragrafo 2.5.3 viene ripreso tale metodo basato sull'indice di tipo di comportamento del terreno onde fornire una prima valutazione circa le caratteristiche di permeabilità dei terreni, con l'ausilio delle prove CPTe; lo stesso vale per le CPTu a disposizione da banca dati.

3.3 Prove in sito da banche dati: Sondaggi geognostici, Penetrometrie con piezocono CPTu, Penetrometrie meccaniche CPTm

Come premesso in paragrafo 3.1 a complemento dell'indagine e a titolo correlativo sono state impiegati: n. 4 profili stratigrafici da sondaggi a carotaggio continuo spinti a profondità comprese tra -15.0 e -45.0 mt; n. 7 prove penetrometriche statiche CPTU con piezocono a -30.0 mt; n. 3 CPTm con punta meccanica a -15.0 mt. Tali prove sono inserite in una raccolta quale allegato n. 2 dell'Elaborato n. 1 associato al presente studio geologico.

La maggior parte di esse sono state realizzate nel luglio 2013 ed utilizzate all'interno di studi geologici relativi a P.P. eseguiti dalla Pentagramma Romagna S.p.a.. La parte restante di prove in sito è tratta dalla Banca dati del webgis regionale relativo alla cartografia geologica della Regione Emilia Romagna.

I sondaggi geognostici a rotazione sono talora comprensivi di prove SPT e vane test nonché corredati da profili stratigrafici descrittivi.

Le prove statiche con piezocono CPTu, che si spingono fino a 30 mt di profondità, vengono eseguite con una attrezzatura per prove penetrometriche statiche nella quale la punta elettrica è strumentata per la misura in forma continua di quanto sotto indicato:

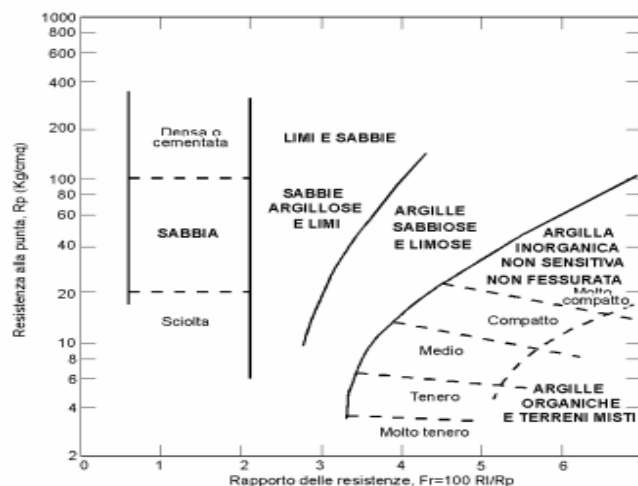
- resistenza alla penetrazione statica q_c della punta conica e resistenza per attrito laterale f_s ;
- pressione idrostatica del terreno, inclusa la sovrappressione dall'avanzamento della punta;
- dissipazione nel tempo della sovrappressione idrostatica indotta nel terreno, a quote predeterminate.

Per queste prove vale quanto espresso nel paragrafo precedente per le CPTe.

Le prove statiche con punta meccanica si spingono fino alla profondità massima di -15.0 ml dal piano campagna rilevando, con passo di 20 cm, i valori di resistenza di punta " R_p " e resistenza di attrito laterale locale " R_l " in grado di fornire una prima classificazione litologica con le metodologie di Attraverso metodologie orientative (BEGEMANN, 1965; SCHMERTMANN, 1978) è possibile avere una connotazione sulla litologia dei terreni incontrati lungo la verticale delle prove.

Il metodo di BEGEMANN considera il rapporto tra q_c (resistenza di punta) e f_s (resistenza di attrito laterale locale) come parametro indicativo delle variazioni litologiche. In particolare l'Autore suggerisce le seguenti correlazioni:

Rapporto R_p/R_l	Litologia
$R_p/R_l < 15$	Argilla organica e torba
$15 < R_p/R_l < 30$	Limo e/o argilla inorganica
$30 < R_p/R_l < 60$	Limo sabbioso e sabbia limosa
$R_p/R_l > 60$	Sabbie o sabbia più ghiaia



Il metodo di SCHMERTMANN considera come indicativo della litologia della verticale indagata la resistenza di punta q_c (R_p nel diagramma sottostante) i funzione **del rapporto delle resistenze Fr (con $Fr\% = 100 fs/q_c$)**.

Il metodo di Robertson, più recente rispetto a quelli sopra proposti, considera come indicativo della litologia il confronto fra i parametri Q (resistenza di punta normalizzata) e F (rapporto delle resistenze normalizzato) del terreno indagato. Robertson introduce anche il parametro I_c (Indice del tipo di comportamento del terreno) $I_c = \sqrt{3.47 - \text{Log}Q + \text{Log}F + 1.22}$ che può essere correlato empiricamente al contenuto di fine (FC) del terreno attraverso la relazione $FC\% = 1.75 I_c^{3.25} - 3.7$.

I log stratigrafici e penetrometrici sono riportati in allegato n. 3 dell'Elaborato n. 1.

L'utilizzo di tali stratigrafie di riferimento nell'ambito della fascia litorale limitrofa all'arenile ha consentito la verifica delle stratigrafie e litotipi rilevati nell'ambito della campagna geognostica.

4 STRATIGRAFIA E CARATTERISTICHE LITOLOGICHE

La campagna geognostica, unitamente alle prove esistenti realizzate in precedenza, ha permesso di individuare e raggruppare i terreni costituenti il primo sottosuolo in funzione delle caratteristiche litologiche e, in prima analisi, anche da quelle geomeccaniche.

Per l'identificazione dei tipi litologici ci si è avvalsi dell'osservazione dei dati provenienti dai sondaggi e dell'elaborazione dei dati delle prove penetrometriche basata sulle metodologie di Robertson (1996-2009), che classificano le terre tramite il parametro I_c ("Indice di Comportamento" SBTI) in funzione del rapporto fra i parametri R_p e R_l .

Lo spessore di terreno superficiale indagato di circa 20-30 mt riguarda quasi esclusivamente il ciclo deposizionale AES8 (Subsistema di Ravenna) che rappresenta l'unità meglio caratterizzata, fra i depositi quaternari della pianura per quanto riguarda sia la superficie che il sottosuolo.

Esso è caratterizzato dall'alternanza di depositi fini, dominati da facies di tracimazione fluviale, e da depositi grossolani, dominati da facies di riempimento di canale fluviale. Alla base di ciascun ciclo i depositi di tracimazione fluviale fanno transizione depositi deltizi e litorali (vedi "Note illustrative Carta Geologica d'Italia" a cura del Dipartimento Difesa del Suolo del Servizio Geologico d'Italia). da sedimenti sabbiosi costieri variamente alterati, rimaneggiati antropicamente e da parte della azione eolica.

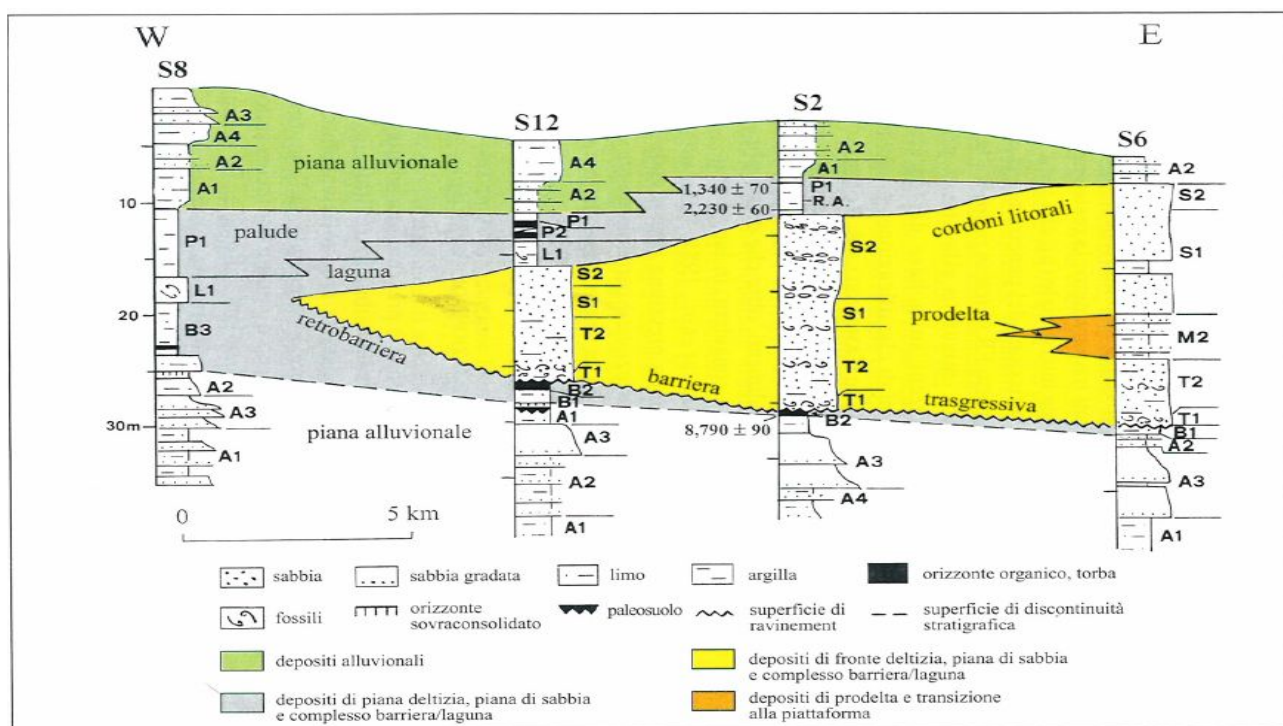


Fig. 22 - Stratigrafia dell'Allomembro di Ravenna (in colore) nel settore meridionale del Foglio Ravenna sulla base della correlazione di sondaggi a carotaggio continuo (per l'ubicazione della sezione, v. Fig. 3) (modificato da AMOROSI et al., 1999b). Le sigle (v. anche Tab. 2) si riferiscono alle associazioni di facies e alle litofacies descritte nel testo. I colori indicano gli elementi deposizionali di Tab. 2.

Nell'area costiera di interesse i depositi affioranti sono quelli dell'Unità di Modena (AES8a) che rappresenta la parte sommitale del Subsistema di Ravenna. Si tratta di sabbie, limi e argille di ambiente deltizio – litorale organizzate in corpi nastriformi tabulari e cuneiformi. Essi formano un'ampia piana di sabbia costituita da cordoni litorali, anche ghiaiosi, solo localmente interrotti dove i sistemi di canale e di argine dei fiumi principali sfociano in mare. I sedimenti sabbiosi costieri sono variamente alterati, rimaneggiati antropicamente e da parte della azione eolica.

Per la descrizione della successione stratigrafica indagata un importante riferimento può essere rappresentato dallo schema stratigrafico proposto da Amorosi ed altri ("Sedimentary response to Late quaternary sea – level changes in the Romagna coastal plain – Sedimentology, 1999) citato nelle note illustrative della Carta Geologica d'Italia nell'area di Ravenna.

A partire dalla superficie, nel nostro caso la associazione di litofacies affioranti è la "S" (S2 e S1). Si tratta di un corpo sedimentario complesso costituito dalla giustapposizione di cordoni litorali continui la cui formazione è legata alla progradazione di un sistema deltizio (Fiume Savio) dominato dall'azione delle onde. In particolare la S2, che rappresenta la parte superiore dell'unità, è costituita da sabbie fini – grossolane con abbondanti bioclasti di molluschi mentre la S1 (parte inferiore dell'unità) è costituita da sabbie fini e finissime fossilifere (depositi di spiaggia sommersa inferiore) con intercalazioni.

Il pacco di sedimenti sabbiosi di cordone litorale (litotipi "S" ed "H" in tabella successiva) sono costituiti in prevalenza da sabbie nella misura quasi sempre superiore a 90%, con subordinata frazione fine. Si presentano di colore nocciola, con intercalazioni di lenti argilloso limose, o di livelli nerastri torbosi, o di bioclasti. Gli orizzonti sabbiosi sono monogranulari, ben cerniti, con un grado di addensamento variabile in funzione sia della collocazione areale, che della profondità; generalmente risultano mediamente addensate tuttavia talora circoscritti livelli a bassa densità relativa.

Il passaggio alla sottostante associazione di facies "M" avviene attraverso un aumento del rapporto argilla /sabbia e della diminuzione in spessore dei livelli sabbiosi. Si tratta infatti di depositi di prodelta e transizione alla piattaforma con marcata geometria cuneiforme e con uno spessore crescente verso mare. Anch'essa è composta da due litofacies M1 e M2 trattandosi di alternanze ritmiche di argille limose grigie e sabbie finissime con macrofossili marini abbondanti. Nella litofacies M2 diventa più abbondante il contenuto in argilla e presenta frammenti di legni e resti vegetali.

Nella porzione centrale della serie marina, nella parte settentrionale del territorio comunale, si distingue il Lit. "AL" (Alternanze in tabella successiva) in cui vi sono orizzonti decimetrici contraddistinti da caratteri deposizionali tipici di ambienti a minore energia, di transizione ai depositi prettamente marini, con alternanze di livelli sabbiosi e limoso-argillosi. Occasionalmente, soprattutto in prossimità delle foci a mare dei corsi d'acqua secondari, si possono rilevare orizzonti parzialmente rimaneggiati e/o maggiormente disaddensati (soprattutto in superficie) a causa della locale migrazione storica del corso d'acqua e della sua interazione con le dinamiche costiere.

L'associazione M presenta un contatto transazionale con le sottostanti sabbie trasgressive di barriera alluvionale ovvero associazione di litofacies T che quindi avviene gradualmente per aumento del contenuto sabbioso. L'associazione T è costituita da T1 ovvero da sabbie con base erosiva su cui poggia un orizzonte conchigliare che passa verso l'alto a T2 costituita da sabbie fini fossilifere con subordinati intercalazioni di argille limose ("T2").

L'associazione T poggia direttamente con contatto erosivo sui depositi alluvionali pleistocenici (associazione di litofacies A). All'interno di questa associazione abbiamo la litofacies A1 che comprende argille limose e limi argillosi con abbondante materiale organico e rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose che comprende depositi di piana inondabile e di palude/laguna. Le litofacies A2 e A4, indistinte nella carta geologica, sono interpretabili come depositi di argine o di rotta d'argine e caratterizzate da alternanze di limi e sabbie o limi e argille.

Alla base della successione sabbiosa marina si rinvengono quindi con continuità i depositi alluvionali "C" ed "L". I primi orizzonti sono generalmente rappresentati da limi ed argille sottoconsolidati olocenici (Lit. C), tipici di ambiente palustre o lagunare e ad elevata componente organica. Al di sotto si riscontrano prevalenti depositi Argillo-limosi o limo-argillosi da mediamente compatti a compatti (Lit. L), di colore dal grigio al nocciola, con presenza di livelli da decimetrici a metrici di sabbia-limosa, interclusi all'interno dei sedimenti fini e con modesta continuità laterale e occasionali livelli più compressibili ed a maggiore contenuto organico. Infine nelle penetrometrie, all'interno dei depositi alluvionali e, comunque, sino alla profondità di 20-30 mt, non sono stati rilevati orizzonti ghiaioso-sabbiosi di rilievo.

Pertanto la successione stratigrafica individuata può essere sinteticamente suddivisa in n. 6 litotipi riferendosi alle associazioni di litofacies sopra descritte; ciò sulla base di discriminanti sia litologiche che geomeccaniche derivate, in prima battuta, dalla osservazione dei logs penetrometrici. Qui di seguito si riportano le caratteristiche dei litotipi presenti distinguendo in una stratigrafia schematica la situazione litostratigrafica riscontrabile nelle penetrometrie realizzate lungo la costa sino alle profondità sondate nell'ambito della campagna geognostica.

Una sezione geolitologica "litoranea" (vedi allegato n. 7) rappresenta schematicamente i rapporti laterali tra i vari litotipi individuati nella successione stratigrafica e distinti per caratteristiche litologiche e/o geotecniche.

Di seguito si fornisce la successione suddivisa in quattro gruppi di stratigrafie distinte per omogeneità stratigrafica e per spessore comparabile del pacco di sedimenti litorali/marini (litotipi V, S, H, AL) che diminuisce a partire da nord verso sud.

N O T A	
Le quote riportate si riferiscono al piano campagna nel punto in cui è stato effettuato ciascuna penetrometria che generalmente corrisponde circa al tratto dell'arenile in cui sono collocate le attrezzature balneari alla quota compresa tra +0.9 e +1.20 mt s.l.m.	
t.p. = termine penetrometrie in A-CPTU1, CPTE1, CPTE2, A-CPTU2, CPTE3, CPTE4 = 30 mt in CPTE5, CPTE6, CPTE7, CPTU8, CPTE9, CPTE10, CPTE11, CPTE12 = 20 mt	

STRATIGRAFIA SETTORE SETTENTRIONALE

A-CPTU1 Colonia Montecatini, CPTE1, CPTE2

LIT.	Profondità min e max da mt a mt	Descrizione
V	Da 0.0 a 0.50 / 1.0	Livello superficiale Terreno sabbioso di colore nocciola con riporto antropico per regolarizzazione morfologica. A tratti orizzonti decimetrici argillosi. Possiede caratteristiche geomeccaniche variabili ma comunque generalmente scarse; soggette talora alle diversità climatiche e alla interazione con processi superficiali (moto ondoso).
S	A-CPTU1 Colonia Monte. 1.0 – 3.60 e 17.50 – 21.40 CTE1 0.50 – 3.90 e 14.10 – 19.70 CPTE2 0.60 – 3.50 e 15.10 – 19.40	Sabbie Mediamente addensate Sabbie medie e medio-fini, generalmente ben classate. Localmente si possono talora notare sottili intercalazioni limo - argillose. Le strutture sedimentarie rivelano una situazione di media-elevata energia deposizionale in ambienti di mare basso o litorale dominati dal moto ondoso e/o da correnti lungo costa. Mediamente addensate e dotate di limitata compressibilità.
H	A-CPTU1 Colonia Monte. 3.60 – 5.70 CTE1 3.90 - 9.40 CPTE2 3.50 - 10.0	Sabbie poco Addensate Di origine litorale, medie e medio – fini, grigio-giallastre, da poco a med. addensate e dotate di media compressibilità. Presenza occasionale di orizzonti decimetrici di alternanze con intercalazioni di sabbie limose fini e limo argillosi maggiormente compressibili, tipici di ambienti lagunari e/o di retrospiaggia.
AL	A-CPTU1 Colonia Monte. 5.70 – 17.50 CTE1 9.40 - 14.10 CPTE2 10.0 - 15.10	Alternanze Alternanze di sabbia da medio-fine a finissima con limo sabbioso di colore nocciola. Depositi litorali intercalati a tratti ad orizzonti prettamente alluvionali e/o di laguna, con frequenti intercalazioni da centimetriche a decimetriche franco argillose e talora organiche. Caratteristiche geomeccaniche da scarse a sufficienti e modesta compressibilità.
L	A-CPTU1 Colonia Monte. 21.40 – 23.10 e 25.40 – t.p. CTE1 19.70 – t.p. CPTE2 19.40 – t.p.	Argille-limose mediamente compatte di origine alluvionale, mediamente consistenti, con caratteristiche geotecniche sufficienti-discrete e a contenuta compressibilità; depositi attribuibili a sedimentazione in piana inondabile. Presenza di livelli decimetrici a maggiore contenuto sabbioso, di argille compressibili ed argille maggiormente compatte.
SH	A-CPTU1 Colonia Monte. 23.10 – 25.40	Sabbie limose e limi sabbioso – argillosi Orizzonte discontinuo e lenticolare di origine alluvionale in matrice limo-argillosa di sabbie med. consistenti - compatte e a compressibilità variabile da media a scarsa. Rappresentano strutture arginali e/o di paleoalveo dei corsi d'acqua principali.

STRATIGRAFIA SETTORE CENTRO - SETTENTRIONALE

A-CPTU2 II Canalino, CPTE3, CPTE4, CPTE5

LIT.	Profondità min e max da mt a mt	Descrizione
V	Da 0.0 a 0.5 / 1.30	Livello superficiale Terreno sabbioso di colore nocciola con riporto antropico per regolarizzazione morfologica. A tratti orizzonti decimetrici argillosi. Possiede caratteristiche geomeccaniche variabili ma comunque generalmente scarse; soggette talora alle diversità climatiche e alla interazione con processi superficiali (moto ondoso).
S	A-CPTU2 II Canalino 12.60 – 17.80 CPTE3 0.50 – 3.0 e 14.30 – 17.10 CPTE4 13.10 – 15.90 CPTE5 12.90 – 15.30	Sabbie Mediamente addensate Sabbie medie e medio-fini, generalmente ben classate. Localmente si possono talora notare sottili intercalazioni limo - argillose. Le strutture sedimentarie rivelano una situazione di media-elevata energia deposizionale in ambienti di mare basso o litorale dominati dal moto ondoso e/o da correnti lungo costa. Mediamente addensate e dotate di limitata compressibilità.
H	A-CPTU2 II Canalino 0.50 – 12.60 CPTE3 3.0 – 14.30 CPTE4 1.30 – 13.10 CPTE5 0.70 – 12.90	Sabbie poco Addensate Di origine litorale, medie e medio – fini, grigio-giallastre, da poco a med. addensate e dotate di media compressibilità. Presenza occasionale di orizzonti decimetrici di alternanze con intercalazioni di sabbie limose fini e limo argillosi maggiormente compressibili, tipici di ambienti lagunari e/o di retrospiaggia.
C	A-CPTU2 II Canalino 17.80 – 21.10 CPTE3 17.10 – 18.50 CPTE4 15.90 – 17.20 CPTE5 15.30 – 17.0	Argille con limo compressibili Di natura palustre/lagunare, colore grigio scuro – nerastro, di transizione a quello prettamente alluvionale, con scarse caratt. geotecniche ed elevata compressibilità.
L	A-CPTU2 II Canalino 21.10 – 26.70 e 28.60 – t.p. CTE3 18.50 – t.p. CPTE4 17.20 – t.p. CPTE5 17.0 – t.p.	Argille-limose mediamente compatte di origine alluvionale, mediamente consistenti, con caratteristiche geotecniche sufficienti-discrete e a contenuta compressibilità; depositi attribuibili a sedimentazione in piana inondabile. Presenza di livelli decimetrici a maggiore contenuto sabbioso, di argille compressibili ed argille maggiormente compatte.
SH	In A-CPTU2 26.70 / 28.60	Sabbie limose e limi sabbioso – argillosi Orizzonte discontinuo e lenticolare di origine alluvionale in matrice limo-argillosa di sabbie med. consistenti - compatte e a compressibilità variabile da media a scarsa. Rappresentano strutture arginali e/o di paleoalveo dei corsi d'acqua principali.

STRATIGRAFIA SETTORE CENTRO - MERIDIONALE

CPTE6, CPTE7, CPTE8

LIT.	Profondità min e max da mt a mt	Descrizione
V	Da 0.0 a 0.60 / 0.90	Livello superficiale Terreno sabbioso di colore nocciola con riporto antropico per regolarizzazione morfologica. A tratti orizzonti decimetrici argillosi. Possiede caratteristiche geomeccaniche variabili ma comunque generalmente scarse; soggette talora alle diversità climatiche e alla interazione con processi superficiali (moto ondoso).
S	CPTE6 12.20 – 14.30 CPTE7 0.60 – 2.30 e 11.70 – 13.80 CPTE8 0.90 – 1.80 e 10.80 – 13.40	Sabbie Mediamente addensate Sabbie medie e medio-fini, generalmente ben classate. Localmente si possono talora notare sottili intercalazioni limo - argillose. Le strutture sedimentarie rivelano una situazione di media-elevata energia deposizionale in ambienti di mare basso o litorale dominati dal moto ondoso e/o da correnti lungo costa. Mediamente addensate e dotate di limitata compressibilità.
H	CPTE6 0.70 – 12.20 CPTE7 2.30 - 11.70 CPTE8 1.80 - 10.80	Sabbie poco Addensate Di origine litorale, medie e medio – fini, grigio-giallastre, da poco a med. addensate e dotate di media compressibilità. Presenza occasionale di orizzonti decimetrici di alternanze con intercalazioni di sabbie limose fini e limo argillosi maggiormente compressibili, tipici di ambienti lagunari e/o di retrospiaggia.
C	CPTE6 14.30 – 16.0 CPTE7 13.80 - 16.20 CPTE8 13.40 - 15.0	Argille con limo compressibili Di natura palustre/lagunare, colore grigio scuro – nerastro, di transizione a quello prettamente alluvionale, con scarse caratt. geotecniche ed elevata compressibilità.
L	CPTE6 16.0 – t.p. CPTE7 16.20 – t.p. CPTE8 15.0 – t.p.	Argille-limose mediamente compatte di origine alluvionale, mediamente consistenti, con caratteristiche geotecniche sufficienti-discrete e a contenuta compressibilità; depositi attribuibili a sedimentazione in piana inondabile. Presenza di livelli decimetrici a maggiore contenuto sabbioso, di argille compressibili ed argille maggiormente compatte.

STRATIGRAFIA SETTORE MERIDIONALE

CPTE9, CPTE10, CPTE11, CPTE12

LIT.	Profondità min e max da mt a mt	Descrizione
V	Da 0.0 a 0.6	Livello superficiale Terreno sabbioso di colore nocciola con riporto antropico per regolarizzazione morfologica. A tratti orizzonti decimetrici argillosi. Possiede caratteristiche geomeccaniche variabili ma comunemente generalmente scarse; soggette talora alle diversità climatiche e alla interazione con processi superficiali (moto ondoso).
S	CPTE9 9.80 – 12.10 CPTE10 0.60 – 1.90 e 9.40 – 11.0 CPTE11 0.60 – 2.90 e 9.70 – 11.0 CPTE12 0.60 – 2.90 e 9.40 – 10.70	Sabbie Mediamente addensate Sabbie medie e medio-fini, generalmente ben classate. Localmente si possono talora notare sottili intercalazioni limo - argillose. Le strutture sedimentarie rivelano una situazione di media-elevata energia deposizionale in ambienti di mare basso o litorale dominati dal moto ondoso e/o da correnti lungo costa. Mediamente addensate e dotate di limitata compressibilità.
H	CPTE9 0.60 - 9.80 CPTE10 1.90 - 9.40 CPTE11 2.90 – 9.70 CPTE12 2.90 - 9.40	Sabbie poco Addensate Di origine litorale, medie e medio – fini, grigio-giallastre, da poco a med. addensate e dotate di media compressibilità. Presenza occasionale di orizzonti decimetrici di alternanze con intercalazioni di sabbie limose fini e limo argillosi maggiormente compressibili, tipici di ambienti lagunari e/o di retrospiaggia.
C	CPTE9 12.10 - 13.50 e 15.70 – 17.0 CPTE10 11.0 - 12.20 CPTE11 11.10 – 14.50 CPTE12 12.10 - 13.80	Argille con limo compressibili Di natura palustre/lagunare, colore grigio scuro – nerastro, di transizione a quello prettamente alluvionale, con scarse caratt. geotecniche ed elevata compressibilità.
L	CPTE9 13.50 – 15.70 e 17.70 – t.p. CPTE10 12.20 – 17.10 CPTE11 14.50 – 18.80 e 19.30 – t.p. CPTE12 13.80 – t.p.	Argille-limose mediamente compatte di origine alluvionale, mediamente consistenti, con caratteristiche geotecniche sufficienti-discrete e a contenuta compressibilità; depositi attribuibili a sedimentazione in piana inondabile. Presenza di livelli decimetrici a maggiore contenuto sabbioso, di argille compressibili ed argille maggiormente compatte.
SH	CPTE9 17.0 - 17.70 CPTE10 17.10 - 19.60 CPTE11 18.80 - 19.30	Sabbie limose e limi sabbioso – argillosi Orizzonte discontinuo e lenticolare di origine alluvionale in matrice limo-argillosa di sabbie med. consistenti - compatte e a compressibilità variabile da media a scarsa. Rappresentano strutture arginali e/o di paleoalveo dei corsi d'acqua principali.

5 VALUTAZIONI DI MICROZONAZIONE SISMICA

5.1 Premesse normative

Con obiettivo di riduzione del rischio sismico, così come specificato nell'art. 2, comma 4, dell'allegato alla L.R. 20/2000, la Regione Emilia-Romagna con Delibera di Assemblea Legislativa n.112 del 02/05/07 ha approvato il documento: "Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 – Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", seguita successivamente da una nota esplicativa redatta dai Servizi della Regione Emilia-Romagna con prot. n. 2007.0166430 del 22/06/07.

Di recente è stato approvato l'aggiornamento tecnico della DAL suindicata con Delibera di Giunta Regionale n. 2193 del 21-12-2015 che deve essere osservato per gli atti di programmazione territoriale.

In sostanza occorre valutare se il sito oggetto di studio debba contenere le analisi tecniche e gli approfondimenti di cui al terzo livello dell'allegato "A", punto 4.2, della Delibera di Giunta Regionale n.2193 del 21/12/15, ricadendo nelle situazioni qui di seguito elencate:

- a) aree soggette a liquefazione e densificazione;
- b) aree di versante instabili e potenzialmente instabili;
- c) aree con rapide variazioni della profondità del substrato rigido, come ad esempio le valli strette e profondamente incise, nelle quali il modello geologico non può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale; in questo caso sono raccomandate analisi bidimensionali;
- d) aree suscettibili di effetti differenziali (zone di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse, zone di faglia attiva e capace, zone con cavità sepolte).

5.2 Verifiche e valutazioni di microzonazione sismica

Per la verifica in oggetto se si è in presenza di aree soggette a liquefazione e densificazione, come da punto a) dell'allegato "A", punto 4.2, della Delibera di Giunta Regionale n. 2193 del 21-12-2015, si procederà nei seguenti modi:

1. esecuzione di indagini geognostiche in sito ed estese su tutta l'area soggetta a piano dell'arenile, con cadenza areale ritenuta significativa per la conoscenza litostratigrafica.
2. valutazione della presenza di caratteri predisposti alla liquefazione, con riferimento all'allegato A3, punto A1 della Delibera di Giunta Regionale n. 2193 del 21-12-2015, sulla possibilità di escludere l'occorrenza di tale fenomeno.

Ai fini delle valutazioni di cui al punto 2) sono stati utilizzati i dati stratigrafici e litologici provenienti dalle campagne geognostiche e dai dati di laboratorio reperiti.

Le curve granulometriche caratteristiche per la parte superficiale della successione stratigrafica, anche dalle stime di FC (Fine Content) basate sulle prove CPTe-CPTu ed il relativo indice "Ic" (Behaviour index), indicano come i terreni interessati dal Piano dell'Arenile siano di natura prettamente sabbiosa, di ambiente deposizionale costiero. Al contrario la parte della successione stratigrafica sottostante di natura alluvionale, è caratterizzata da depositi fini e coesivi.

Pertanto dalle indagini in sito, unitamente al raffronto con campioni prelevati in aree vicine e situazioni litostratigrafiche analoghe (nel medesimo ambito deposizionale), è possibile stabilire che i terreni superficiali appartenenti ai Lit. V-S-H-AL presentino distribuzioni granulometriche ricadenti entro le fasce granulometriche di cui alla figura 1) dell'Allegato A3 della Delibera di Giunta Regionale n. 2193 del 21-12-2015, per terreni con coefficiente di uniformità sia $U_c < 3.5$ che $U_c > 3.5$, ritenendo in particolare che i sedimenti sabbiosi costieri rientrino per oltre il 50% all'interno del campo di "possibilità di liquefazione". Diversamente i terreni presenti a maggior profondità al di sotto del cuneo sabbioso costiero (Lit. C-L) risultano esterni per oltre il 50% alle fasce granulometriche di cui sopra.

Quindi al di sotto dei Lit. V-S-H-AL non si rinvengono ulteriori depositi incoerenti sabbiosi continui e di significativo spessore sino a 20.0 mt di profondità, considerata quest'ultima la massima profondità in cui si possono manifestare in modo significativo eventuali fenomeni di liquefazione.

Pertanto, poiché l'area oggetto di studio presenta un potenziale rischio circa la possibilità di verificarsi del fenomeno di liquefazione, in ottemperanza alla normativa regionale di riferimento, è necessario eseguire una "Analisi approfondita – terzo livello di approfondimento".

Per le aree di versante instabili e potenzialmente instabili di cui al punto b) dell'allegato "A", punto 4.2, della DGR n. 2193 del 21-12-2015, le valutazioni e verifiche si sono articolate seguendo l'allegato A1 della normativa regionale di cui sopra.

In particolare si ha:

- aree instabili: aree direttamente interessate da fenomeni franosi attivi;
- aree potenzialmente instabili: aree in cui sono possibili riattivazioni (frane quiescenti) o attivazioni di movimenti franosi (tutti gli accumuli detritici incoerenti indipendenti dalla genesi, con acclività > 15°, pendii costituiti da terreni prevalentemente argillosi e/o intensamente fratturati con acclività >15°, versanti con giacitura degli strati a franapoggio con inclinazione minore o uguale a quella del pendio, aree prossime a zone instabili che possono essere coinvolte dalla riattivazione del movimento franoso, scarpate subverticali, accumuli detritici incoerenti prossimi all'orlo di scarpate).

A seguito di quanto sopra le valutazioni e verifiche sono state articolate come segue:

- 1) esame della condizione geologica, geomorfologia e litostratigrafica del territorio attraverso rilevamento diretto di superficie;
- 2) verifica con la Cartografia Regionale CTR 1:5.000 ai fini della valutazione dell'acclività dei versanti, anche ai fini delle valutazioni degli effetti della topografia di cui all'Allegato A2.2 della Delibera di Giunta Regionale n. 2193 del 21-12-2015;
- 3) verifica delle condizioni stratigrafiche e litologiche dalla Cartografia Geologica e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna redatta dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della medesima Regione.

Al termine delle analisi effettuate seguendo lo schema sopra indicato, emerge quanto segue:

- L'area risulta subpianeggiante e pertanto gli effetti topografici di amplificazione sismica possono essere trascurati;
- Il sito oggetto di studio non risulta direttamente interessata da fenomeni franosi in atto o potenziali;
- Infine non risulta esserci rischi di instabilità gravitativa in quanto non si prevedono riattivazioni di frane quiescenti o attivazioni di movimenti franosi (pendio con acclività inferiore a 15°, versanti con giacitura degli strati a traversopoggio, non coinvolgimento di aree prossime a zone instabili, assenza di scarpate subverticali e accumuli detritici incoerenti).

Pertanto il sito oggetto di studio non presenta alcun rischio né di instabilità gravitativa, né di potenziale instabilità gravitativa e non si rinvergono effetti di sito a seguito del fattore topografico.

Nel merito del punto c) dell'allegato "A", punto 4.2, della DGR n. 2193 del 21-12-2015, nel formulare le dovute valutazioni si tiene conto di:

- 1) esame della condizione geologica e geomorfologia dell'area direttamente in sito e più in generale della conoscenza geologica del territorio;
- 2) verifica delle condizioni litostratigrafiche locali direttamente attraverso la campagna geognostica eseguita e indirettamente mediante l'utilizzo della banca dati geologici reperibile presso il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna;

A conclusione delle valutazioni sopra esperite si può affermare che l'area oggetto di studio non presenta caratteristiche geologiche in alcun modo riconducibili alla situazione di "aree con rapide variazioni della profondità del substrato rigido, come ad esempio le valli strette e profondamente incise".

Per quanto concerne il punto d) dell'allegato "A", punto 4.2, della DGR n. 2193 del 21-12-2015, nel formulare le dovute valutazioni si tiene conto di:

- 1) esame della condizione geologica e geomorfologia dell'area direttamente in sito e più in generale della conoscenza geologica del territorio;
- 2) verifica delle condizioni stratigrafiche e dei rapporti laterali tra corpi sedimentari attraverso la Cartografia Geologica e le Sezioni Geologiche della Regione Emilia-Romagna redatta dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della medesima Regione;
- 3) Ricerca nel catalogo "ITHACA" dell'ISPRA delle faglie attive e capaci e dello stato delle conoscenze scientifiche in merito.
- 4) Verifica delle strutture sismogenetiche attive nell'ambito del progetto DISS 3 INGV
- 5) Verifica Carta geologica strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo alla scala 1:250.000.

A conclusione delle valutazioni sopra esperite si può affermare che l'area oggetto di studio non presenta caratteristiche geologiche in alcun modo riconducibili alla situazione di *“aree suscettibili di effetti differenziali (zone di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse, zone con cavità sepolte)”*. Inoltre nell'area oggetto di studio, allo stato della conoscenza scientifica attuale, non si rinviene la presenza certa di faglie attive e capaci, che possano essere segnalate negli studi di Microzonazione Sismica, come previsto negli I.C.M.S. (gruppo di lavoro MS 2008), nella versione 1.0 a titolo *“Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci FAC”*. In conseguenza di ciò anche in questo caso si può affermare che nel territorio oggetto di studio non vi siano situazioni accertate riconducibili a *“zone di faglia attiva e capace”* in grado di condizionare la pericolosità sismica locale.

6 STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA

La procedura messa a punto dalla normativa regionale fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) e può essere implementata considerando altri periodi di ritorno.

Il **1° livello** consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di analisi e trova le sue fondamenta nell'osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti. Il metodo di natura empirica permette di localizzare quelle zone dove gli effetti prodotti dall'azione sismica sono prevedibili con sufficiente attendibilità sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta di dati e indagini ivi realizzate. Queste sono, oltre alla cartografia topografica e geologica, anche le risultanze di indagini geognostiche, di laboratorio e geofisiche già svolte e saranno utili alla definizione delle condizioni locali.

Il **2° livello** permette la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione, di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici. Tali analisi richiedono, rispetto alle precedenti, la disponibilità di una documentazione più specifica e di maggiore dettaglio per la caratterizzazione geologico-tecnica e geomorfologica dell'area oggetto di studio; è necessario inoltre caratterizzare il sottosuolo attraverso prove geotecniche (perforazioni, trincee esplorative e prelievo di campionamenti rappresentativi e indisturbati) e indagini geofisiche.

Per le analisi di 2° livello si distinguono 3 tipi di approccio geofisico:

- **metodi basati sulla distinzione delle velocità delle onde di taglio** (relazioni empiriche che permettono di quantificare l'amplificazione generata da un deposito in funzione delle sue proprietà geofisiche), in cui vengono proposte diverse relazioni tra le quali quella di Shima (1978), quella di Midorikawa (1987), quella di Joyner and Fumal (1984) e quella di Borchardt et alii (1991);
- **metodi basati sulla classificazione dei depositi** (determinazione degli spessori, della successione degli strati e del relativo stato di addensamento o di consistenza);
- **metodi basati sulla misura dei microtremiti** (utilizzo dei metodi di Konai and Tanaka, 1961 e di Nakamura, 1989).

Il **3° livello** permette la caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi. Tali analisi richiedono, rispetto alle precedenti, una caratterizzazione più approfondita ed accurata dell'area in esame, ottenuta per mezzo di specifiche indagini geologiche e geotecniche in sito ed in laboratorio. La differenza sostanziale con i precedenti livelli di approfondimento consiste nella diretta definizione dei parametri meccanici dei terreni. Il metodo permette la valutazione degli effetti di sito per una determinata area, indipendentemente dalla geometria superficiale e profonda presente.

Per quanto riguarda la definizione del sito in esame in termini di velocità delle onde di taglio, i valori ottenuti possono essere messi in diretta relazione con la struttura stessa del sottosuolo in corrispondenza dell'opera da realizzarsi.

Al fine di calcolare i **Fattori di Amplificazione (F.A.)** richiesti nell'analisi semplificata, occorre definire lo spessore del deposito di copertura e della profondità del bedrock sismico. Conseguentemente al rilevamento della velocità equivalente delle onde di taglio sarà possibile definire rispettivamente la V_{S30} o la V_{SH} . Nella definizione di F.A. Si utilizzerà la V_{S30} nei casi in cui lo spessore della copertura sia superiore a 30 mt oppure quando la profondità del bedrock sismico superi i 30 mt; mentre si utilizzerà la V_{SH} quando lo spessore della copertura sarà inferiore a 30 mt oppure la profondità del bedrock sismico sarà inferiore a 30 mt di profondità.

Nel nostro caso tuttavia non si è proceduto alla definizione dei **Fattori di Amplificazione (F.A.)** secondo la procedura descritta nell'allegato A2 della Delibera di Assemblea Legislativa n. 112 del 02/05/07 (aggiornata con DGR 2193/2015), in quanto il territorio comunale di Cervia non è stato oggetto di precedenti studi di microzonazione sismica di II° livello.

Pertanto, al fine di determinare il picco di accelerazione massima in superficie $a_{max s}$ da utilizzare come dato fondamentale nelle verifiche alla liquefazione, si è reso necessario eseguire studi di analisi di risposta sismica locale (RSL), così come prevede l'allegato A3, punto A della DGR 2193/2015.

La scelta in ogni caso di eseguire studi di RSL appare comunque la più indicata per meglio definire e dettagliare la potenzialità di liquefazione intercorrente sui depositi sabbiosi costieri costituenti la totalità del Piano dell'Arenile.

7 ANALISI DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

7.1 Verifica dei casi in cui si può escludere fenomeni di liquefazione

In prima analisi, seguendo le procedure di cui all'allegato A3 della delibera dell'Assemblea legislativa progr. N° 112 – oggetto n° 3121 del 2 maggio 2007 (ripreso dalla DGR 2193/2015), si procede a verificare la possibilità di escludere, nei terreni oggetto d'indagine, la possibilità del verificarsi di fenomeni di liquefazione attraverso l'analisi di cui prevista nel capitolo A), punto 1 dell'allegato A3.

Infatti la probabilità che nei terreni sabbiosi saturi si verifichino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla se si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.1g;
3. Terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - frazione di fine, FC, superiore al 20%, con indice di plasticità $I_p > 10\%$;
 - $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$, oppure $qc_{1N} > 95$, oppure $VS_1 > 200$ m/s;
 - $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$, oppure $qc_{1N} > 160$, oppure $VS_1 > 220$ m/s;
 dove $(N_1)_{60}$, qc_{1N} , VS_1 sono i valori normalizzati dell'indice NSPT della Standard Penetration Test, della resistenza di punta qc della prova CPT e della velocità di propagazione delle onde di taglio da prove geofisiche.

In prima approssimazione tali valori possono essere calcolati con le seguenti equazioni:

$(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT, definito dalla relazione: $(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N$ in cui il coefficiente C_N è ricavabile dall'espressione $C_N = (p_a / \sigma'_{v0})^{0.5}$, essendo p_a la pressione atmosferica e σ'_{v0} la pressione efficace verticale;

$qc_{1N} = qc C_N$ in cui il coefficiente C_N è ricavabile dall'espressione $C_N = (p_a / \sigma'_{v0})^{0.5}$;

$V_{s1} = V_s (p_a / \sigma'_{v0})^{0.25}$;

essendo p_a la pressione atmosferica e σ'_{v0} la pressione efficace litostatica verticale.

4. Distribuzione granulometrica esterna per oltre il 50% al fuso indicato in Figura 1a nel caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 1b per coefficienti di uniformità $U_c > 3.5$.
5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna.

7.2 Eventi sismici attesi

La storia sismica dell'area di Cervia è stata ricavata mediante consultazione del database dell'INGV "BMI2011" di cui di seguito si riporta uno stralcio:

Storia sismica di Cervia [44.263, 12.353]

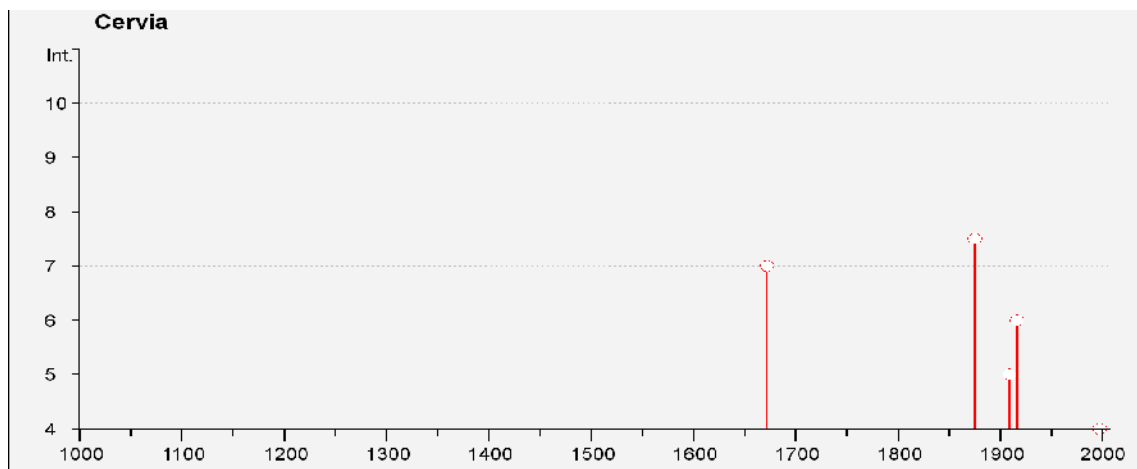
Numero di eventi: 19

Effetti	In occasione del terremoto del:					
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw	
3	1661 03 22 12:50	Appennino romagnolo	79	9	6.09	±0.16
7	1672 04 14 15:45	Riminese	92	8	5.61	±0.21
7-8	1875 03 17 23:51	Romagna sud-orientale	144		5.93	±0.16
NF	1897 12 18 07:24	Appennino umbro-marchigiano	132	7	5.13	±0.14
NF	1898 01 16 12:10	Romagna settentrionale	73	6-7	4.79	±0.33
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7	5.15	±0.14
5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53	±0.09
NF	1909 08 25 00:22	MURLO	283	7-8	5.37	±0.10
3-4	1913 07 21 22:35	VALLE DEL LAMONE	43	5-6	4.78	±0.19
6	1916 05 17 12:49	Alto Adriatico	132		5.95	±0.14
F	1916 08 16 07:06	Alto Adriatico	257		6.14	±0.14
2	1917 12 02 17:39	GALEATA	32	6-7	5.09	±0.20
3	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10	6.48	±0.09
3	1952 07 04 20:35	Appennino romagnolo	64	7	4.99	±0.18
2	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7	5.06	±0.09
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6	4.61	±0.10
4	1997 09 26 09:40	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	6.01	±0.09
3	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6	5.29	±0.09
3-4	2003 12 07 10:20	Zona Forlì	172	5	4.22	±0.09

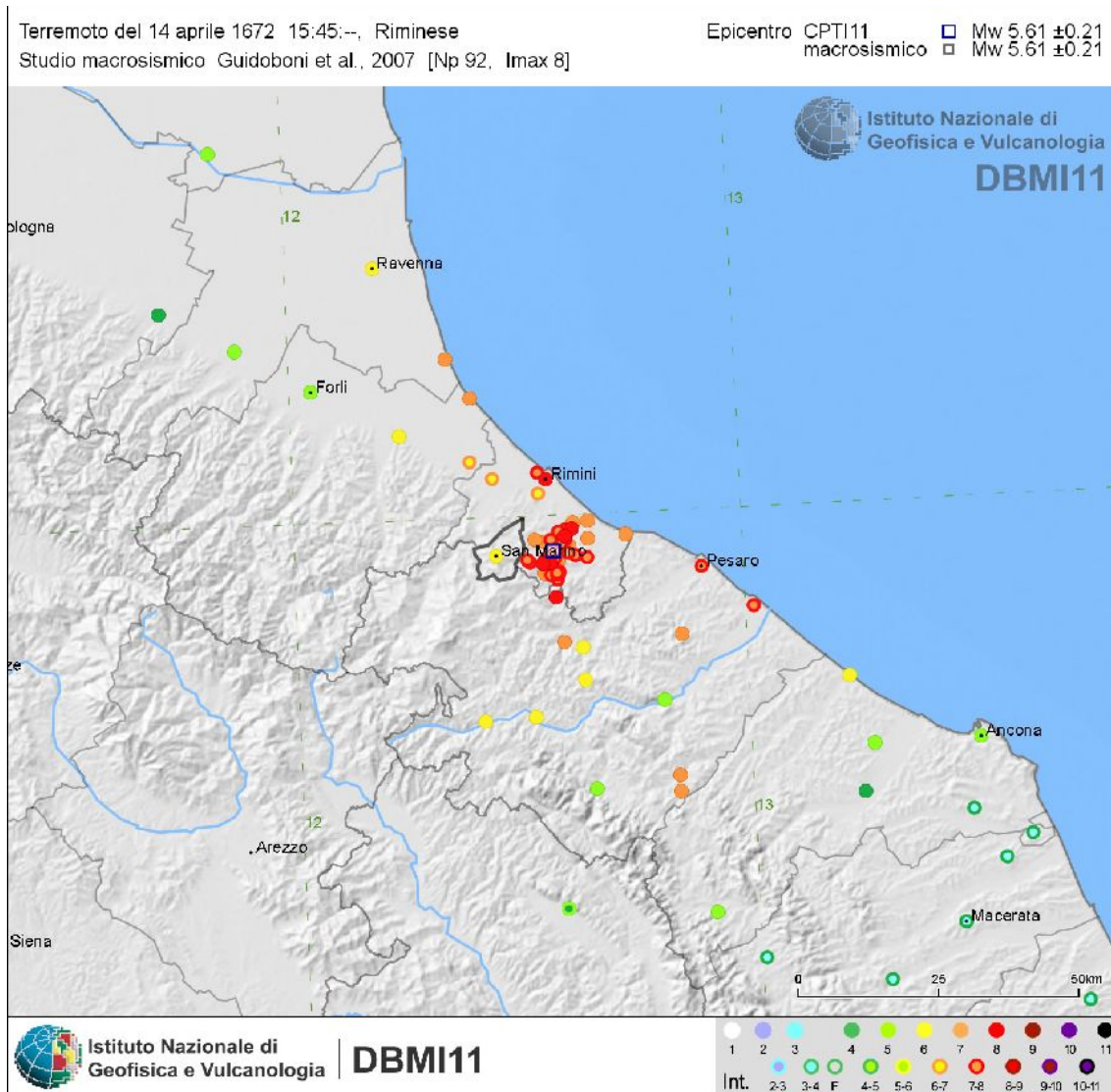
Estratto della tabella esplicativa riportante i parametri che costituiscono il formato sintetico del database

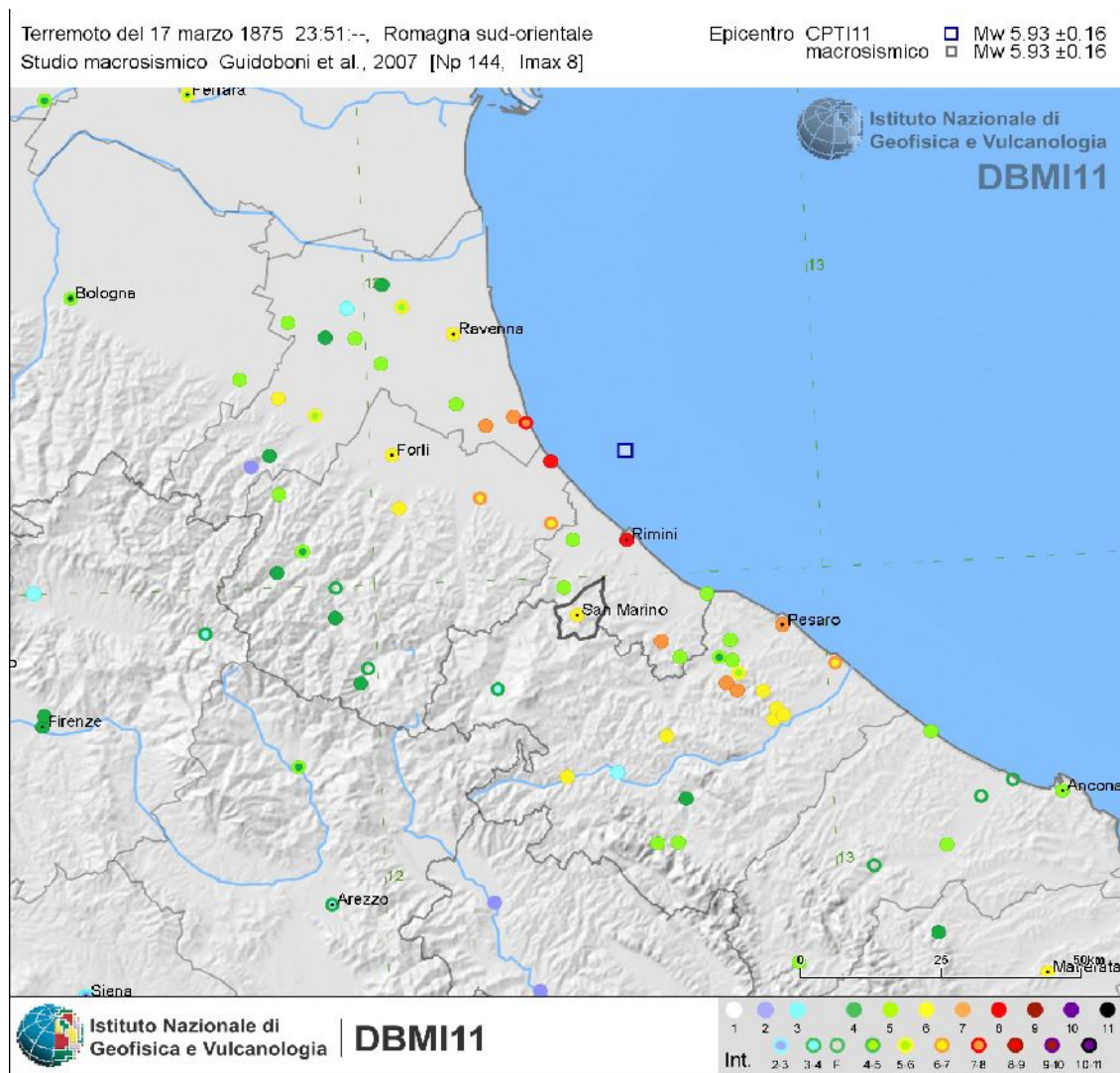
Parametro	Descrizione	Provenienza
Ax	Area epicentrale, area geografica in cui sono stati riscontrati gli effetti maggiori del terremoto	
Np	Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto	CPTI11 (N)
Io	Intensità macrosismica epicentrale, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg	CPTI11
Mw	Magnitudo momento	CPTI11 (Maw)

Distribuzione temporale degli eventi sismici nell'area di Cervia



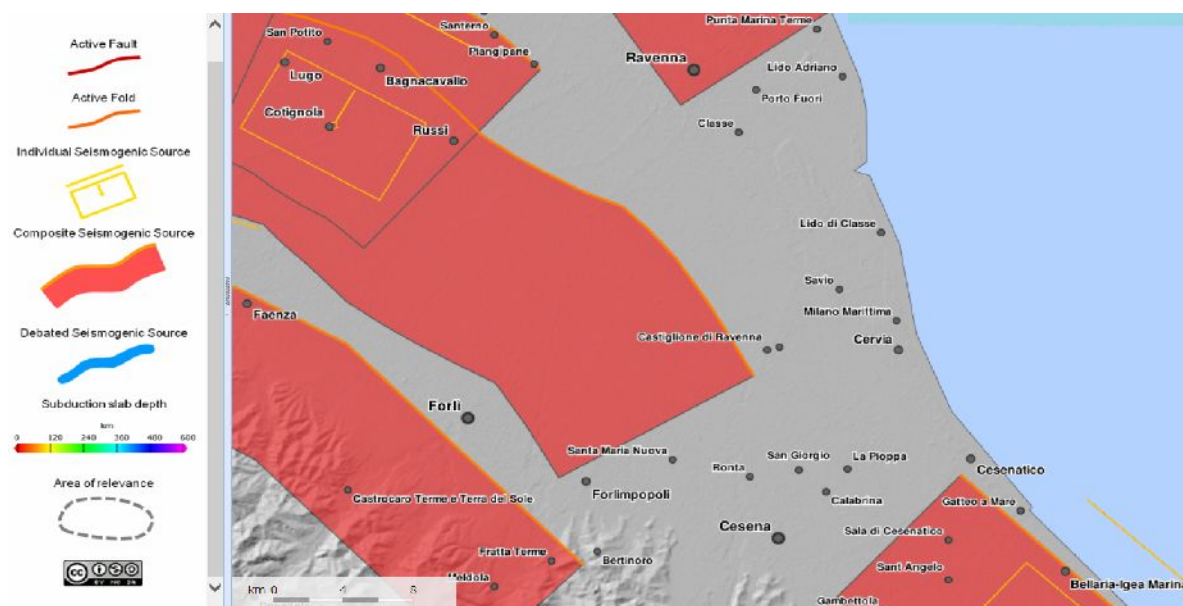
Cartografie in cui si evidenziano le intensità dei principali eventi sismici di riferimento della serie storica





Sulla scorta di tali cataloghi nonché di più approfondite informazioni storico-scientifiche e di studi su modelli geodinamici e crostali l'INGV ha sviluppato un database delle sorgenti sismogenetiche attive denominato DISS3, contenente potenziali fonti per i terremoti più grandi di 5,5 M in Italia e nelle aree circostanti:

Stralcio con distribuzione regionale degli eventi e delle sorgenti sismogenetiche - INGV_DISS 3

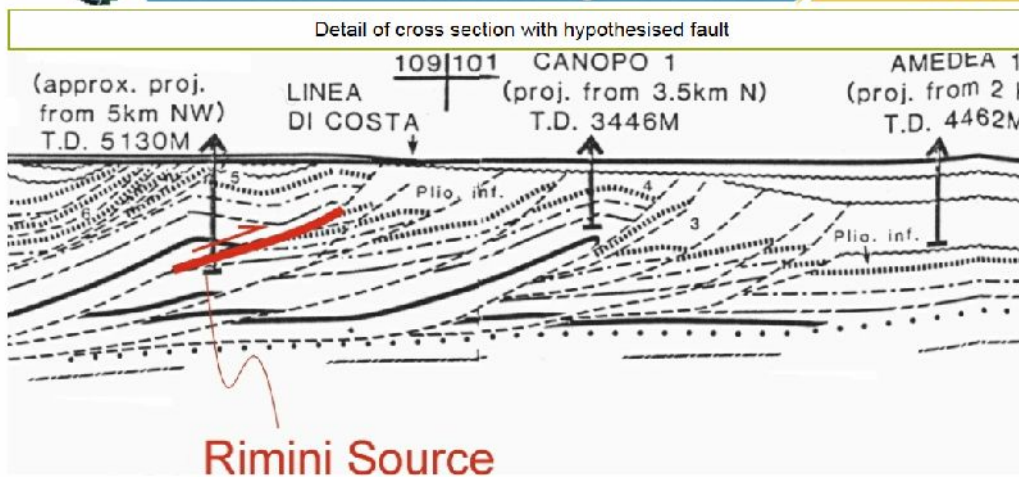


Da tale database emerge come l'area d'intervento ricada a cavallo di tre sorgenti sismo genetiche: ITCS039 (denominata "Riminese On-Shore", Basili, R., U. Fracassi and S. Mariano 2006), la più vicina all'area in oggetto delle tre, posizionata a sud – sud est e con massima magnitudo momento dedotta Mw = 5.9; ITCS011 (denominata "Ascensione – Amiata") posizionata nell'entroterra ad ovest e con Mw = 6.0; ITCS012 (denominata "Malalbergo – Ravenna") posizionata lungo la costa ravennate a nord – ovest e con Mw = 6.0. di seguito si riportano le informazioni e le sezioni geologiche correlate per ciascuna sorgente sismogenetica.

Sorgente sismogenetica ITCS039

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITCS039		
Name	Riminese onshore		
Compiler(s)	Basili R.(1), Fracassi U.(1)		
Contributor(s)	Basili R.(1), Fracassi U.(1), D'Ambrogi C.(2), Maesano F.E.(2), Toscani G.(3), Durrato P.(1)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Rome, Italy 3) Universit di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrara, 1, 27100 Pavia. Italy		
Created	17-Oct-2013		
Updated	18 Jun 2015		
Display map ...			
Related sources	ITIS035 ITIS036		
PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Min depth [km]	2.0	LD	Based on geological data from various Authors.
Max depth [km]	10.0	LD	Based on geological data from various Authors.
Strike [deg] min... max	120...140	OD	Based on geological data from various authors
Dip [deg] min... max	25...35	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	OD	Based on geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	1.0...1.07	LD	Based on geological data from Maesano et al (2015)
Max Magnitude [Mw]	5.9	LD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

LD-LITERATURE DATA; OD-ORIGINAL DATA; CR-EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR-ANALYTICAL RELATIONSHIP; CJ-EXPERT JUDGEMENT;

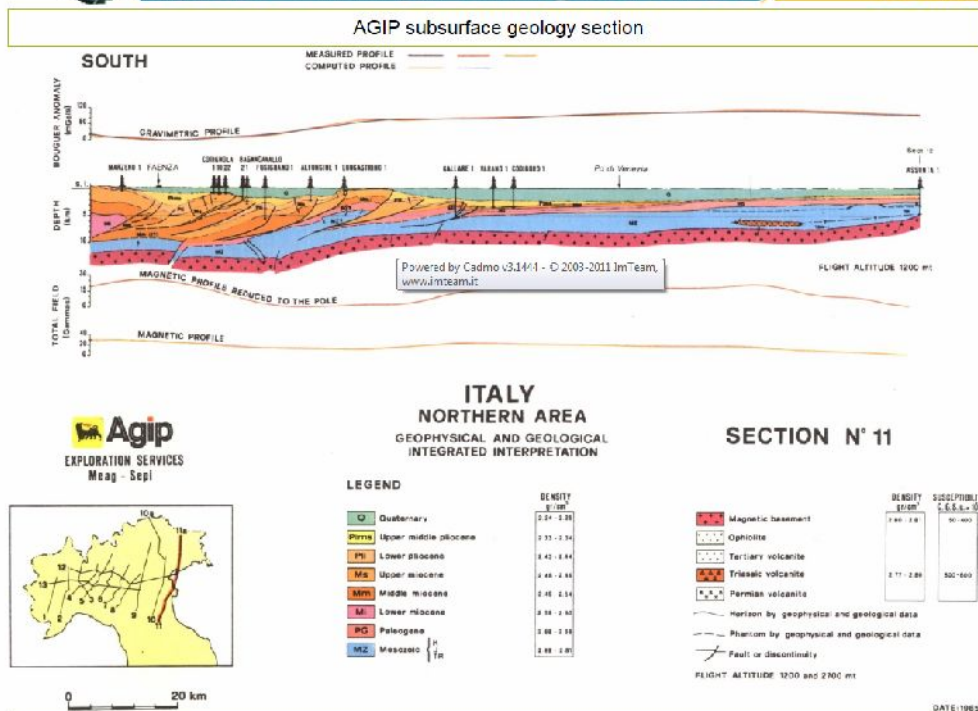


Rimini Source projected onto cross-section Amedea-Mte.Amiata of Bally et al. [1986]. Notice the coastal anticline whose growth may be driven by sustained slip along the Rimini blind thrust fault.

Sorgente sismogenetica ITCS012


GENERAL INFORMATION		
DISS-ID	ITCS012	
Name	Malalbergo-Ravenna	
Compiler(s)	Burrato P.(1)	
Contributor(s)	Burrato P.(1), D'Ambrogio C.(2), Maesano F.E.(2), Toscani G.(3), Vannoli P.(1), Valensise G.(1), Basili R.(1)	
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy 3) Universit di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrara, 1, 27100 Pavia, Italy	
Created	16-Oct-2013	
Updated	25-Jun-2015	
Display map ...		
Related sources	ITIS141	
PARAMETRIC INFORMATION		
PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	LD Based on data of instrumental seismicity.
Max depth [km]	8.0	LD Based on data of instrumental seismicity.
Strike [deg] min... max	85...150	OD Based on consideration on regional geological data.
Dip [deg] min... max	20...40	OD Based on consideration on regional geological data.
Take [deg] min... max	80...120	OD Based on geological data, constrained by orientation of T axes.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.49...0.55	LD Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	6.0	EJ Based on geological data and analysis of regional seismicity.

D=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP;EJ=EXPERT JUDGEMENT;



Oil industry geological cross-section (from Cassano et al. [1986]). The ITCS012 source is the thrust underlying the outer buried anticline north of the Longastrino 1 well, and belongs to the outermost Ferrara thrust front.

Sorgente sismogenetica ITCS011

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITCS011		
Name	Ascensione-Armaia		
Compiler(s)	Burrato P.(1), Maesano F.E.(2)		
Contributor(s)	Burrato P.(1), Maesano F.E.(2), D'Ambrogi C.(2), Toscani G.(3), Basili R.(1)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy 3) Universit di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy		
Created	15-Nov-2013		
Updated	19-Jun-2015		
Display map ...			
Related sources	ITIS100		
PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Min depth [km]	2.0	LD	Based on geological data from various Authors.
Max depth [km]	10.0	LD	Based on geological data from various Authors.
Strike [deg] min... max	110... 140	LD	Based on geological data from various Authors.
Dip [deg] min... max	25... 45	LD	Based on geological data from various Authors.
Rake [deg] min... max	80... 100	EJ	Inferred from regional tectonic data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.15... 0.33	LD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	6.0	EJ	Based on the strongest earthquake occurred in the region.
<small>LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;</small>			

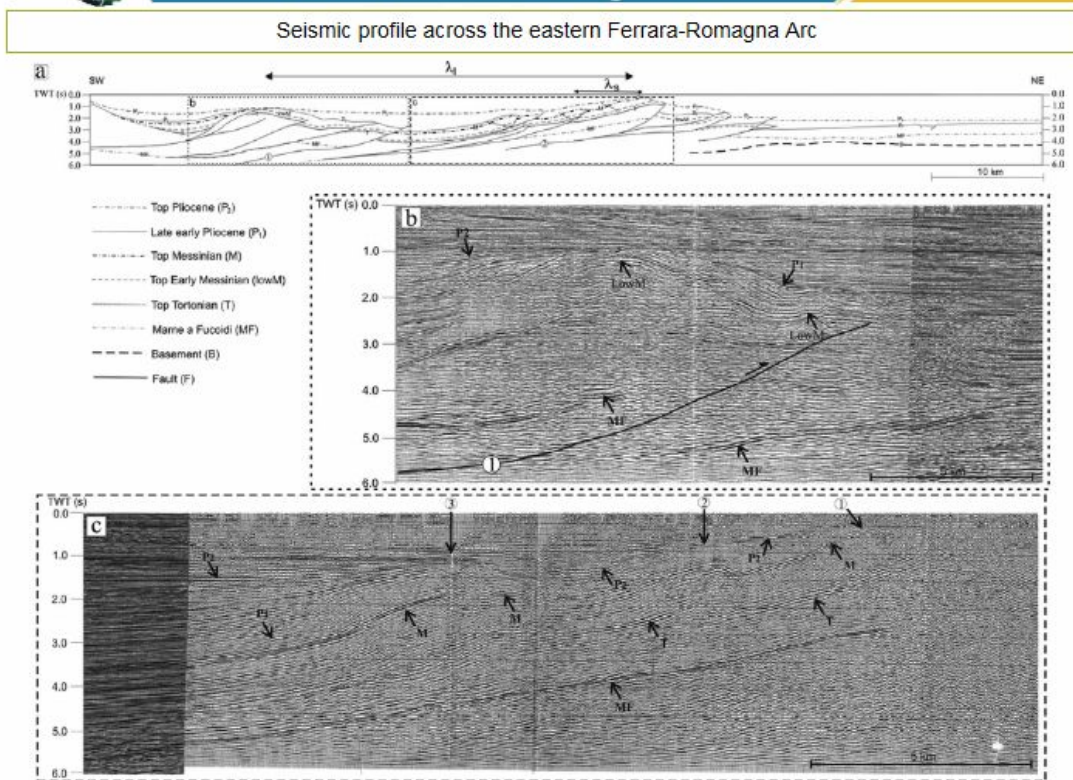
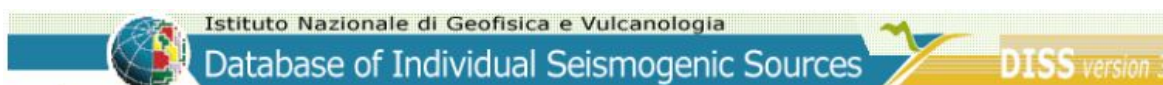


Fig. 3. (a) Line drawing of the seismic profile across the eastern part of the Ferrara-Romagna arc (see Fig. 1 for location). λ_L : wavelength of the large structures; λ_S : wavelength of the small structures; 1 and 2: major thrusts generating long-wavelength structures. (b) Seismic line of box b in (a) showing the involvement of the carbonates in the deformation (dislocation of the MF reflector). (c) Seismic line of box c in (a) showing a set of small structures (1-3) detached above the upper décollement level (MF Fin).

Seismic section across the eastern Romagna-Ferrara Arc showing the main thrusts detaching below the carbonatic sequence (from Massoli et al. [2006]).

Di conseguenza diviene necessario definire un valore di magnitudo di riferimento “ M_{wmax} ” (magnitudo momento), analogamente ai valori di accelerazione massima, in funzione della possibilità che si possano verificare, sia pure con probabilità molto basse, eventi con magnitudo pari o superiore a quelli verificatisi nel periodo di osservazione del Catalogo dei Terremoti.

Per la definizione della massima magnitudo associabile a tali sorgenti sismogenetiche, sulla base dei dati macrosismici e strumentali, è opportuno rapportarsi all’aggiornamento del catalogo DBMI-CPT111 in cui oltre ai valori di riferimento per ciascun evento vengono stimati anche i relativi ambiti di incertezza.

Diversamente il metodo di “**disaggregazione**” condotto da INGV (Spallarossa e Barani; 2007) fornisce risultati ottenuti attraverso l’opera di disaggregazione della pericolosità sismica (Bazzurro e Cornell; 1999) ovvero un’operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. Tale metodo si pone come obiettivo quello di consentire in qualunque sito la stima di una coppia di riferimento magnitudo – distanza (nel seguito M-R) e pertanto **riporta una mappatura del territorio nazionale con valori di magnitudo che possono essere utilizzati per verificare le condizioni di stabilità di versante o di liquefazione per opere alle quali è associato un periodo di riferimento (RP) non superiore a quello per il quale la mappa è stata dedotta** (vedi “Indicazioni e Criteri per la Microzonazione Sismica”, 2008 a cura del Dipartimento per la Protezione civile).

Dai dati dell’analisi di disaggregazione il valore di magnitudo momento adottabile nel calcolo, al pari di quello della accelerazione, per opere ordinarie (progetti di basso-medio rischio e $V_n=50$ anni) con tempi max di ritorno di 475 anni e percentuale di superamento pari al 10%, potrebbe essere **$M_w = 5.5$** come definibile dalle Fig. 2.8.1 pag. 113 e 2.8.3 pag. 115 delle ICMS (metodo eventualmente utilizzabile solo per TR 475 anni come da indicazioni ICMS).

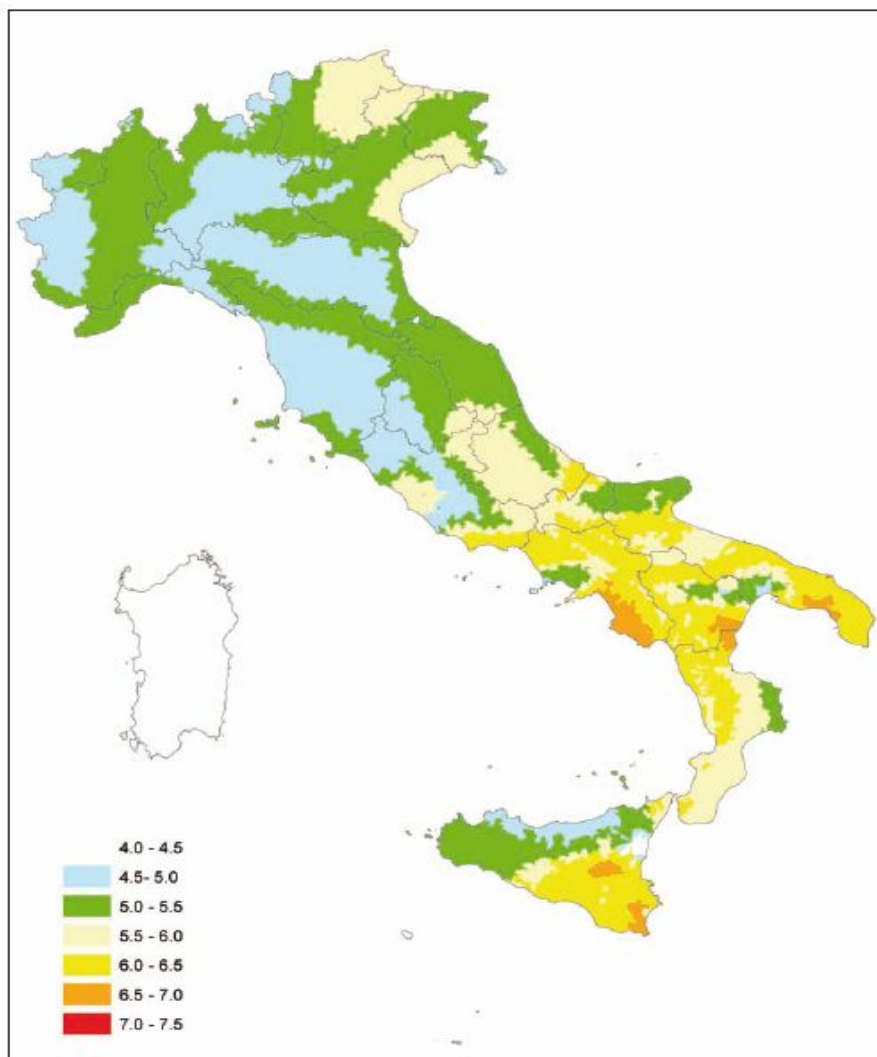
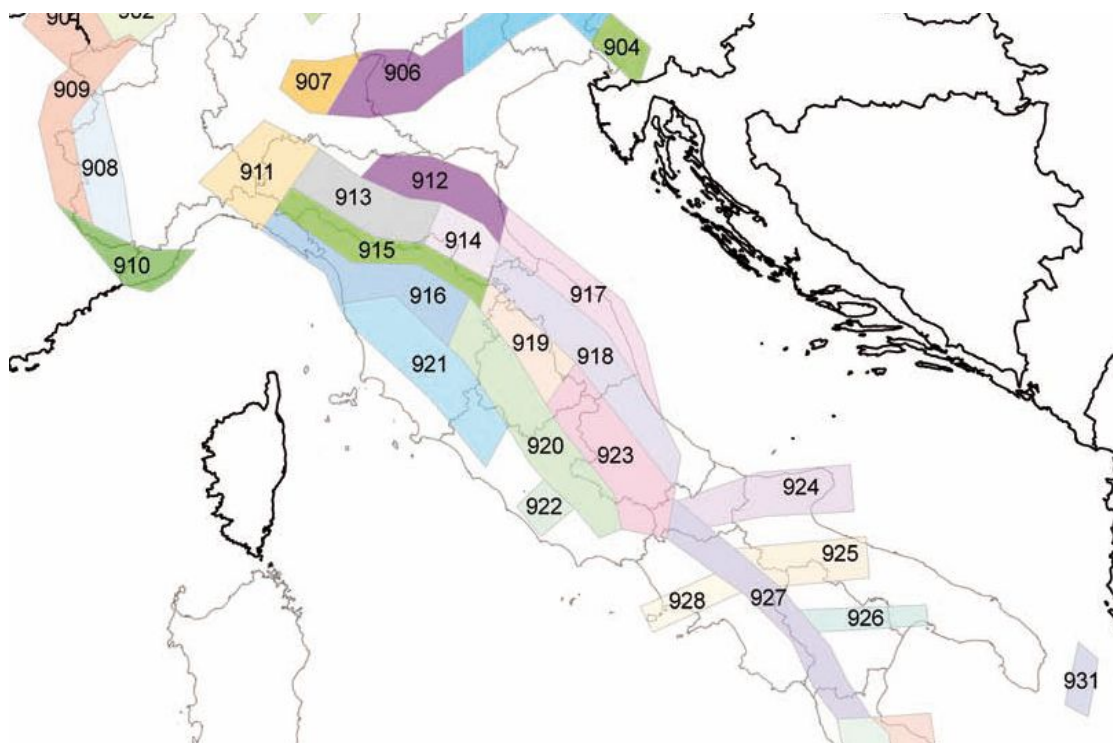


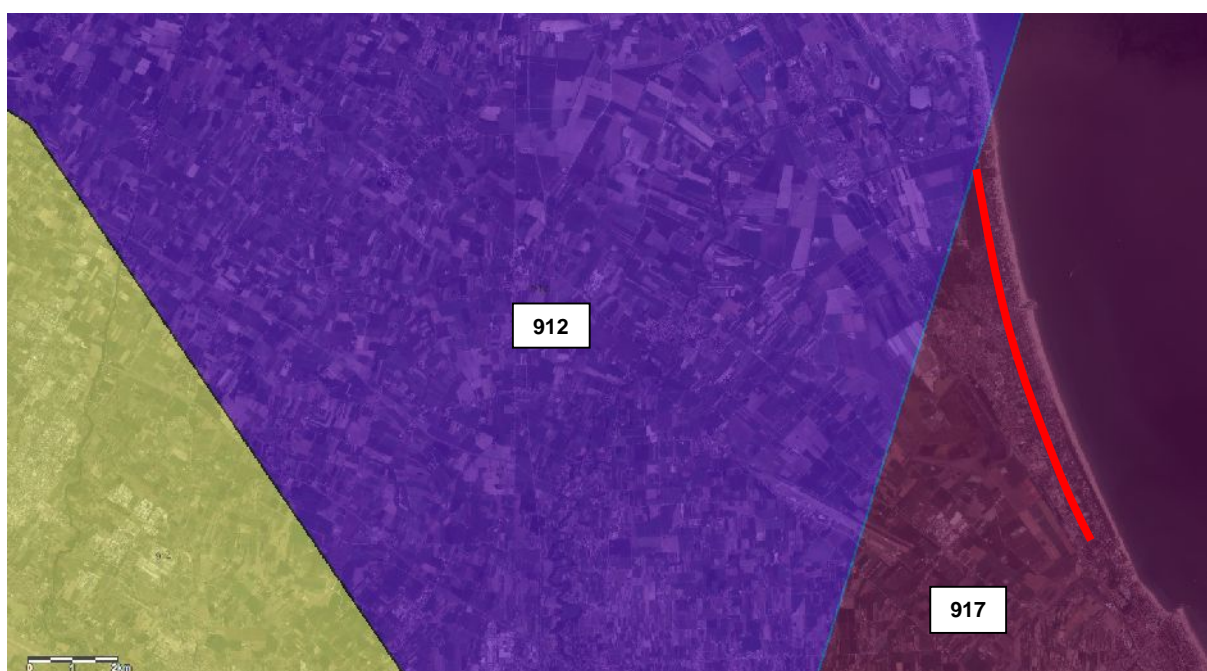
Figura 2.8-3 - Valori medi di M per comune, ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità con periodi di ritorno di 475 anni (elaborazione su dati da Spallarossa e Barani, 2007).

L'area in studio è anche inserita all'interno della **zona sismogenetica n. 917** (Rimini – Ancona), al limite con la 912 (vedi figure successive), nell'ambito della zonazione "ZS9" definita dal "Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica" dell'INGV. Nel rapporto conclusivo al paragrafo 6.3 (a pag. 36) sono stati individuati due tipi di valori (Rapporto Conclusivo GdL INGV, 2004). A tal proposito in "Indicazioni e Criteri per la Microzonazione Sismica" (anno 2008 a cura del Dipartimento per la Protezione civile) si raccomanda l'adozione del valore di **Mwmax2 = 6.14**, come richiamato al paragrafo 2.8.2, definito come **metodo semplice e in favore della sicurezza per stimare il valore della magnitudo che può essere utilizzata per le verifiche di stabilità e di liquefazione dei terreni e/o progettazione di opere.**

Stralcio zone sismo genetiche del territorio italiano



Particolare zone sismogenetiche con evidenziato il tratto costiero oggetto di studio



Si può osservare inoltre che pochi dei terremoti significativi verificatisi nella storia sismica lungo la costa del comune di Cervia hanno avuto delle magnitudo inferiori a 5/5.5 e grado di intensità MCS<7-8; di conseguenza anche la condizione al punto 1) delle norme della regione Emilia-Romagna (riportata al par. 7.1) non è verificata.

Pertanto, considerati gli studi dell'INGV, la zonazione ZS9 e le indicazioni I.C.M.S., in relazione alle diverse tipologie di opere e di intervento previste nell'areale di studio nonché alle relative condizioni di esposizione al rischio prevedibili, per le analisi di calcolo si ritiene di verificare due scenari limite adottando le **magnitudo momento max pari a Mw1=5.5 e Mw2=6.14**, derivabili rispettivamente dalle stime di disaggregazione e dalle raccomandazioni I.C.M.S., al fine di poter definire la pericolosità sismica in relazione alle caratteristiche progettuali ed alle condizioni possibili a verificarsi. Si fa presente, tuttavia che rimane in ambito discrezionale del progettista l'adozione del valore più opportuno di magnitudo ai fini delle verifiche di calcolo in funzione della tipologia di opera e delle relative classe d'uso, vita nominale ed esposizione al rischio.

7.3 Accelerazione massima attesa

In base alle indicazioni della normativa di cui sopra l'accelerazione massima attesa in superficie in condizioni di free-field dovrebbe essere minore di 0.1 g di cui al paragrafo 7.1.

Dagli studi di RSL eseguiti il valore di $a_{max\ s}$ in superficie è stato determinato in:

$a_{max\ s} = 0.236$ g per la porzione del Piano dell'Arenile che va dal confine sud con il Comune di Cesenatico sino alla zona balneare N° 194 esclusa, che per semplicità chiameremo settore meridionale (dalla CPTe12 alla CPTe7; vedi delimitazione in allegato n. 8).

$a_{max\ s} = 0.213$ g per la porzione del Piano dell'Arenile che va dalla zona balneare N° 194 inclusa sino al confine nord con il Comune di Ravenna località Lido del Savio che per per semplicità chiameremo settore settentrionale e centrale (dalla CPTe 6 alla CPTe 1; vedi delimitazione in allegato n. 8).

Pertanto risultano entrambe maggiori a quella di riferimento in condizioni di free-field di 0.1 g; pertanto la potenziale liquefacibilità non è escludibile.

7.4 Terreni con caratteristiche ricadenti in determinate categorie

In base alle categorie previste di cui al punto 3 del paragrafo..... si sono effettuate una serie di comparazioni tra i dati litostratigrafici, geomeccanici e sismici acquisiti in sito che hanno fornito valori medi sulla stessa verticale d'indagine riassunti come di seguito indicato:

FC = valore compreso tra il 23% ed il 51%;

I_p = non plastico;

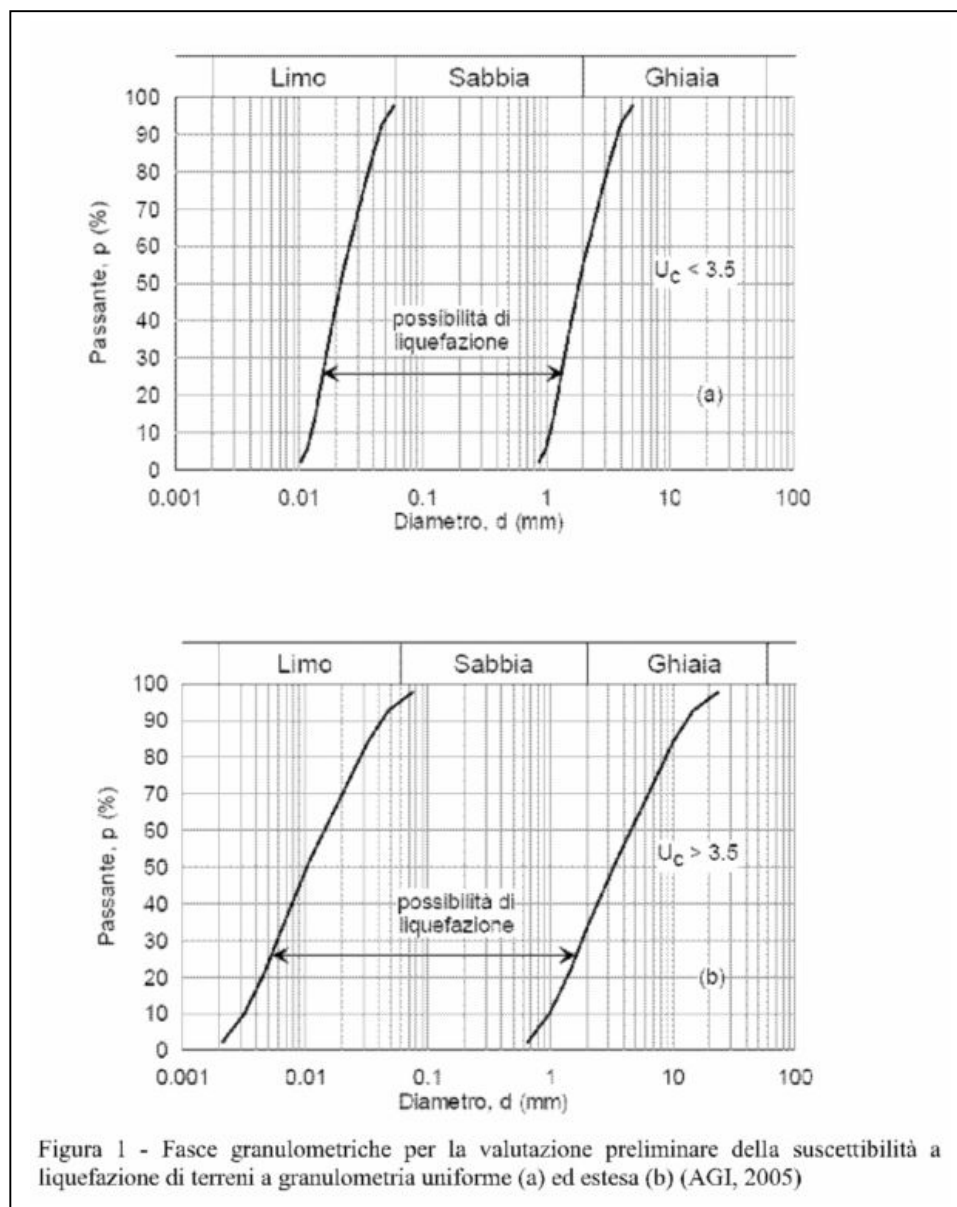
q_{c1N} = valori medi inferiori 95 Kg/cm²;

V_{s1} = valori medi inferiori 200 m/sec.

Pertanto non vengono soddisfatte alcune delle condizioni affinché si possa escludere l'occorrenza del fenomeno della liquefazione.

7.5 Distribuzione granulometrica

Per quanto riguarda il punto 4 di cui al paragrafo 7.1, è necessario considerare se le granulometrie dei terreni superficiali andranno a sovrapporsi ai fusi granulometrici di riferimento riportati nella normativa regionale (vedi figura sottostante) a seconda del coefficiente di uniformità U_c .

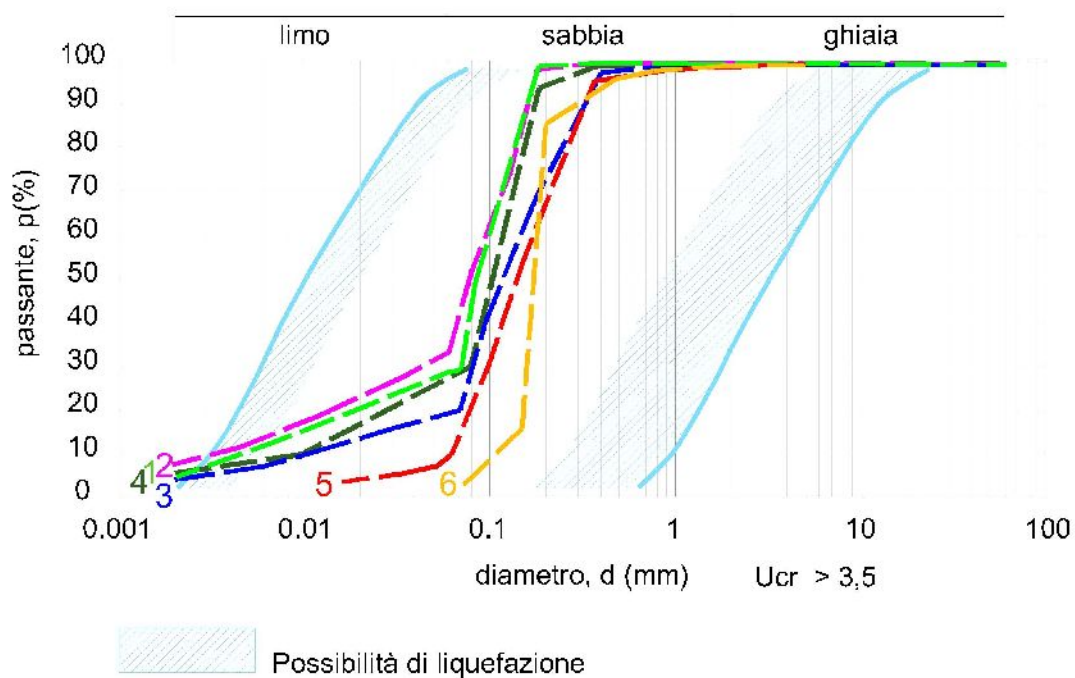


Dalle indagini in sito, unitamente al raffronto con campioni prelevati in aree vicine e situazioni litostratigrafiche analoghe (nel medesimo ambito deposizionale), è possibile stabilire che i terreni appartenenti ai Lit. V-S-H-AL presentino distribuzioni granulometriche ricadenti per oltre il 50% entro le fasce ove viene confermata la “possibilità di liquefazione”, come da figura 1b (Allegato A3 della DGR n. 2193 del 21-12-2015), essendo i terreni sabbiosi caratterizzati da $U_c > 3.5$.

Qui di seguito vengono riportate alcune curve granulometriche dei terreni granulari sciolti presenti nella successione sedimentaria costiera.

Campioni oggetto di verifica

- 1 = Campione A-S1-CR1- Milano Marittima I° Traversa, prof. 5.0 - 5.20
- 2 = Campione A-S1-CR2- Milano Marittima I° Traversa, prof. 13.40 - 13.60
- 3 = Campione A-S2-CR1- Milano Marittima I° Traversa, prof. 2.80 - 3.0
- 4 = Campione A-S2-CR2- Milano Marittima I° Traversa, prof. 9.0 - 9.20
- 5 = Campione C1 - Pinarella Bagno 111, prof. 2.0 - 2.50
- 6 = Campione C2 - Cervia Bagno 263, prof. 1.80 - 2.20



7.6 Profondità della falda

In base a quanto riscontrato durante le indagini geognostiche, attraverso misurazioni di falda eseguite nei fori di sondaggio ed in piezometri installati in aree limitrofe, nonché da monitoraggi su basi storiche eseguiti nel territorio, si evince che nella fascia che va dalle attrezzature di spiaggia fino all'arenile il livello freatico può essere collocato alla profondità compresa tra 1.0 – 2.0 m dal piano campagna ed è alimentata, ormai in misura moderata, sia da precipitazioni direttamente insistenti, sia dagli apporti infiltrati nell'area a monte. In condizioni di massimo innalzamento stagionale potrà raggiungere la profondità media di -0.5 mt suddetta con variazioni locali in funzione della conformazione morfologica dei singoli tratti investigati. Tali profondità sono decisamente inferiori a quanto riportato nella normativa (profondità media stagionale >15m).

Pertanto anche il punto 5 di cui al paragrafo 7.1 non risulta verificato.

8 STIMA DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

Secondo la DGR 2193/205 per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione possono essere impiegate le procedure che nell'Ingegneria Geotecnica Sismica sono denominate 'metodi semplificati'. Tali metodi, applicabili solo nelle condizioni di piano di campagna orizzontale o con deboli pendenze e depositi olocenici, richiedono la valutazione, fino alla profondità critica da p.c., del coefficiente di sicurezza:

$$FL = \frac{CRR_{M=7,5; \sigma'_v=1atm}}{CSR} \text{ MSF} \times K_\sigma$$

dove:

- $CRR_{M=7,5; \sigma'_v=1atm} = \frac{\tau_{ult}}{\sigma'_{v0}}$ è il rapporto di resistenza ciclica, ovvero la resistenza normalizzata rispetto alla pressione efficace verticale iniziale σ'_{v0} , per terremoto di magnitudo $M = 7.5$ e pressione efficace di riferimento $\sigma'_v = 1atm$, che può essere valutata attraverso abachi, in funzione di parametri desunti da prove SPT, CPT e da misure dirette della velocità delle onde di taglio V_s , oppure tramite specifiche relazioni adottate dai vari metodi di calcolo semplificato presenti in letteratura;
- $CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0,65 (a_{maxs} / g) \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) r_d$ è il rapporto di tensione ciclica, ovvero la tensione di taglio ciclica media indotta dall'azione sismica di riferimento, normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale σ'_{v0} e dove a_{maxs} è il picco di accelerazione al piano campagna del terremoto di riferimento; g è l'accelerazione di gravità; σ_v e σ'_v sono rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale alla profondità considerata; r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo e che può essere stimato con relazioni empiriche associate ai diversi metodi di stima di CRR (e di MSF). Il valore della tensione tangenziale media $\tau_{media} = 0.65 \tau_{max}$ al variare della profondità può essere più precisamente determinato con analisi di risposta sismica locale.
- MSF è un fattore di scala che può essere valutato in funzione della magnitudo dei terremoti attesi oppure tramite specifiche relazioni adottate dai vari metodi di calcolo semplificato presenti in letteratura. Nel caso in esame, per terremoti con $M_w < 7.5$ ed il metodo di calcolo adottato viene utilizzato il fattore consigliato da Youd 2001 come proposto da Idriss 1997 pari a: **MSF = $10^{2.24} / M_w^{2.56}$** (NCEER, 2001).
- K_σ è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata.

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

$$IPL = \int_0^{z_{crit}} F(z) w(z) dz$$

In cui:

$$w(z) = 200 / z_{crit} w(1 - (z/z_{crit}))$$

dove z_{crit} è la profondità critica, ovvero la profondità massima entro la quale può verificarsi la liquefazione, che di norma si assume pari a 20 m.

La variabile $F(z)$ vale (Sonmez, 2003):

$$\begin{aligned} F(z) &= 0 && \text{per } FL < 1.2 \\ F(z) &= 2 \cdot 106 \cdot \exp(-18.427 \cdot FL) && \text{per } 1.2 < FL < 0.95 \\ F(z) &= 1 - FL && \text{per } FL > 0.95 \end{aligned}$$

Se il fattore $FL > 1,2$ la liquefazione è da escludere; se è $FL < 1,2$ è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione, ma in ogni caso vanno verificati anche i cedimenti post-sismici sia in sabbie sature che fuori falda, nonché in argille particolarmente compressibili potenzialmente soggette a fenomeni degradazione ciclica.

9 CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Per il calcolo della potenziale liquefacibilità dei terreni sabbiosi saturi e di degradazione ciclica di quelli limo/argillosi individuati nella successione litostratigrafica, sono stati utilizzati i risultati delle prove penetrometriche CPTe realizzate con la campagna geognostica di febbraio 2016 e due prove CPTu realizzate da privati in fase di pianificazione urbanistica. Dai dati della campagna geognostica risulta che lo spessore del corpo sedimentario sabbioso costiero (rappresentato sostanzialmente dai litotipi "V", "S", "H" e "AL" costituiti di sabbie prevalenti e alternanze di livelli sabbiosi con sottili orizzonti limosi ed argillosi ma a comportamento generale prettamente incoerente) è compreso tra 10.70 e 21.40 mt.

Data la variabilità delle opere in progetto per tutte le analisi circa la potenziale liquefacibilità e la stima dei cedimenti post-sismici attesi, cautelativamente si è fatto riferimento al piano campagna medio attuale, circa in posizione mediana dell'arenile, estendendo le analisi entro i primi 20 mt dal piano di campagna, profondità oltre la quale il fenomeno è inibito dalla pressione litostatica e/o gli eventuali potenziali effetti in superficie risulterebbero di scarsa rilevanza se non del tutto ininfluenti.

In base a gran parte delle "case history" utilizzate per lo sviluppo di correlazioni e modelli semplificati, i fenomeni di liquefazione risultano sempre fortemente concentrati entro orizzonti compresi tra -1.5 e -12 mt dal p.c. (Cetin et Al., 2000) e, nelle stratigrafie analizzate, il corpo sedimentario marino incoerente presenta spessori complessivi compresi tra 10.70 e 21.40 mt, rilevando negli orizzonti alluvionali sottostanti solo occasionali livelli sabbioso-limosi, di scarso spessore e continuità (litotipo "SH").

Come già chiarito al paragrafo precedente la stima del potenziale di liquefazione deve essere effettuata in condizioni "free-field" lasciando libera scelta di utilizzare i "metodi semplificati". A tal fine la DGR 2193/2015 prevede che per ogni verticale deve essere valutato il picco di accelerazione massima in superficie a_{maxs} mediante analisi della risposta locale sotto l'azione sismica di riferimento. L'analisi di risposta sismica locale può essere omessa se nell'area sono stati già eseguiti studi di microzonazione sismica di II livello che forniscano i valori di a_{maxs} nel sito. Per il presente studio si è ritenuto di eseguire studi di Risposta Sismica Locale (RSL).

La stessa DGR 2193/2015 prevede che per ogni verticale deve anche essere valutato l'indice del potenziale di liquefazione IPL come definito al paragrafo 8. In base al valore stimato dell'indice del potenziale di liquefazione IPL_L si definiscono le seguenti classi di pericolosità (Sonmez, 2003):

$IPL = 0$	Non liquefacibile (FL = 1.2)
$0 < IPL < 2$	Potenziale basso
$2 < IPL < 5$	Potenziale moderato
$5 < IPL < 15$	Potenziale alto
$15 < IPL$	Potenziale molto alto

Le verifiche di calcolo sono state approntate con metodologie di tipo storico-empirico fra cui quelle basate su prove CPTe con particolare riferimento al metodo di "Robertson" (agg 2009-2010), specificamente raccomandato nelle Linee Guida AGI 2005 e qui, trattandosi di depositi costieri in genere ben cerniti, ritenuto maggiormente indicato.

Come verificato al precedente paragrafo 7.3 con l'ausilio degli Studi di Analisi di Risposta Simica Locale effettuati è possibile suddividere la fascia litorale in due settori individuati in funzione dell'accelerazione massima al suolo libero attesa ovvero:

- $a_{max\ s} = 0.236$ g per la porzione del Piano dell'Arenile che va dal confine sud con il Comune di Cesenatico sino alla zona balneare N° 194 esclusa, che per semplicità chiameremo settore meridionale (dalla CPTe12 alla CPTe7; vedi delimitazione in allegato n. 8).
- $a_{max\ s} = 0.213$ g per la porzione del Piano dell'Arenile che va dalla zona balneare N° 194 inclusa sino al confine nord con il Comune di Ravenna località Lido del Savio che per per semplicità chiameremo settore settentrionale e centrale (dalla CPTe 6 alla CPTe 1; vedi delimitazione in allegato n. 8).

Le verifiche di calcolo, riportate in Elaborato n. 2 sono state effettuate come da normativa attraverso l'utilizzo di un software personale strutturato con fogli in Excell messi a punto riferendosi al software CLiq vers. 1.7.5.27 della software house Geologismiki e delle prove CPTe effettuate in sito e di due prove CPTU di archivio (A-CPTU1 Colonia Montecatini e A-CPTU2 Prima Traversa vedi ubicazione in allegato n. 2) onde garantire un passo mediamente compreso tra 600 e 800 mt; esse, da un raffronto correlativo con le altre prove in sito, sono ritenute rappresentative della situazione locale e sufficientemente profonde, discretizzando la stratigrafia secondo strati di 10 cm (mediando su letture in avanzamento pari 1 cm) nonché avvalendosi di formule semplificate (metodologia di Robertson - Wride modificata, 2009) rapportabili a parametri probabilistici. La verifica è stata condotta in considerazione di un **livello di falda pari a -1.0 mt dal p.c.** (valor medio nella stagione di massimo innalzamento stagionale) in base ai singoli contesti topografici riscontrati nei punti d'indagine.

In relazione alle diverse tipologie di opere e di intervento previste nell'areale di studio, nonché alle relative condizioni di esposizione al rischio prevedibili, per le analisi di calcolo si ritiene di verificare due scenari limite adottando le **magnitudo max pari a Mw1=5.5 e Mw2=6.14**, derivabili rispettivamente dalle stime di disaggregazione e dalle raccomandazioni I.C.M.S. per la zona ZS9 (vedi par. 7.2). L'analisi è stata eseguita utilizzando uno dei metodi più accreditati dal mondo accademico e scientifico, basato su un proprio fattore caratteristico di scala della magnitudo (MSF) e propri coefficienti riduttivi (Rd-K -K) atti a determinare i valori di CRR (cyclic resistance ratio) e CSR (cyclic stress ratio) per ciascuno strato, necessari a definirne il rispettivo FL (fattore di sicurezza) rispetto ad una soglia limite di riferimento prefissata (nel caso in esame FL = 1.20).

Il piano di riferimento adottato nelle analisi è stato indicativamente riferito al piano campagna, in quanto la Variante al Piano dell'Arenile interessa svariate tipologie di opere e manufatti inerenti la sistemazione dei percorsi e per la gestione dell'arenile, le attrezzature e servizi di spiaggia, in cui le strutture sono generalmente di scarsa rilevanza strutturale e fondate sugli orizzonti più superficiali di terreno.

In aggiunta ed in funzione del FL calcolato sono stati determinati, altresì, le deformazioni massime (v_{max} - LDI) ed i cedimenti attesi (v - Si) nei terreni sia in falda che fuori falda (Zhang, 2004), siano essi incoerenti che coerenti (rispettivamente per deformazione volumetrica /riaddensamento e riconsolidazione; Robertson metodo "all soil, 2009").

Nel caso in esame, dato il grado di conoscenza della stratigrafia, di affidabilità delle prove e dei dati utilizzati, nonché del grado di conoscenza delle caratteristiche dei terreni in esame, si è fatto riferimento ad una soglia limite di riferimento per la sicurezza pari a $FL = 1.20$, come indicato nella Delibera della Giunta Regionale 2193/2015, nonché da diversi autori dei metodi semplificati in funzione del grado di sicurezza atteso.

Come indicatore di rischio complessivo, oltre al valore di F_L per ciascun singolo strato, viene stimato anche il potenziale di liquefazione "IPL" lungo la colonna stratigrafica fino alle profondità sondate secondo il metodo di Iwasaki et Al. 1982 recentemente rivisto ed aggiornato da Sonmez (2003), integrando in modo pesato il potenziale di liquefazione di ciascuno strato su tutto il profilo stratigrafico indagato.

Tuttavia diversi autori (Lee 2003, Toprak-Holzer 2005, Papathanassiou et Al. 2008-2010) hanno verificato che il valore di IPL è fortemente condizionato sia dal metodo di calcolo che dalla tipologia di prove utilizzati. Inoltre accade, soprattutto a magnitudo medio/basse, che si riscontri una minore correlabilità tra lo scenario di danno atteso (inteso come entità delle manifestazioni superficiali e danni alle strutture - Tonkin&Taylor Limited 2013) ed il valore d IPL stimato.

Tale bassa correlabilità e la relativa dispersione dei dati (vedi figure seguenti), soprattutto a medio - bassa magnitudo, sembra imputabile proprio al fatto che il metodo di Iwasaki sia stato sviluppato soprattutto sulla scorta di analisi con metodi SPT (caratterizzati da minor risoluzione stratigrafica e sensibilità strumentale nonché su terremoti prettamente ad elevate magnitudo).

A supporto del giudizio complessivo possono essere valutati anche altri indicatori di riferimento per una stima del rischio per liquefazione e dei conseguenti effetti sulla stabilità del terreno e delle strutture.

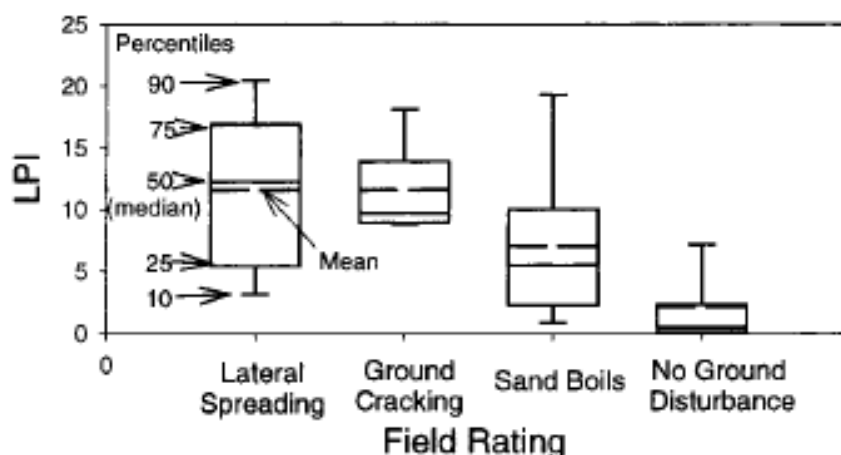
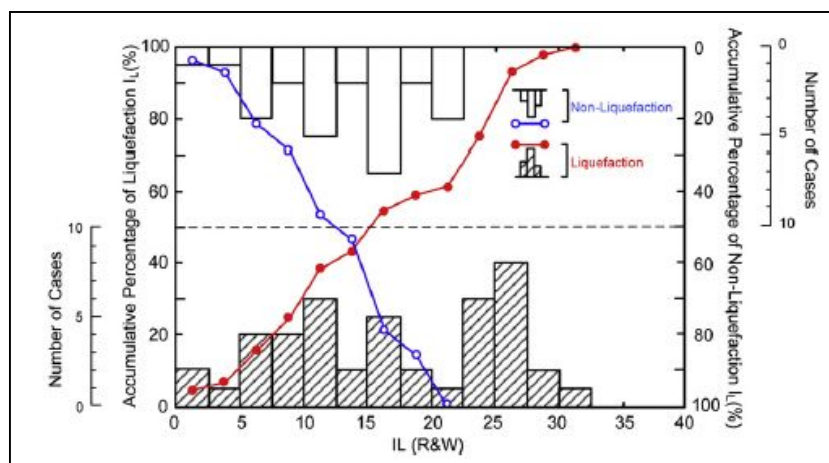


Fig. 5. Correlation of LPI values with surface effects for the 1989 Loma Prieta Earthquake: (a) LPI values and (b) percentiles



Distribution of calculated LPI (or I_L) of liquefied group and non-liquefied group of cases using the Robertson and Wride method (reproduced from Lee et al. 2004).

Per una stima del rischio complessivo sull'intera colonna stratigrafica, in termini probabilistici, il PL (Probability Liquefaction – Juang 2005/2006) ed LSN (Liquefaction Severity Number - H. Cowan e Tonkin&Taylor Limited 2012/2013) evidenziano rispettivamente le probabilità di accadimento ed entità dei fenomeni attesi in conseguenza dell'innescio di fenomeni di liquefazione.

Tali indicatori, illustrati nelle tabelle parametriche delle prove (Elaborato n. 2), stimano degli scenari di deformazione/danno attesi in superficie sulla base dell'assetto stratigrafico rilevato e del rapporto fra orizzonti liquefacibili/non liquefacibili, consentendo di valutare più approfonditamente i range di IPL cui fare riferimento nel caso specifico.

Il valore PL, quale probabilità complessiva riferita alla stima di IPL, viene calcolato con la seguente formulazione (Papathanassiou et Al. 2008-2010):

$$PL=100*(1/(1+\exp(-(-3.092+0.218*IPL))))$$

da cui l'autore definisce una soglia di accadimento/suscettibilità a probabilità elevata ("very high" in tabella "Overall probability" in elaborato n. 2) del fenomeno per PL>54%.

Invece il valore di PL_L riferito al singolo strato ed al relativo F_L può essere definito attraverso la

formulazione di Juang et Al. 2011 $P_L = 1 - \Phi \left[\frac{0.102 + \ln(F_L)}{0.276} \right]$ per cui a valori di FL =1.00 - 1.20 - 1.25 corrisponde una probabilità di accadimento rispettivamente pari a PL=35.6% - 15% - 12%.

La suscettibilità alla liquefazione di ogni strato può essere stimata tramite i seguenti intervalli generali di probabilità:

Valori di PL	Classe	Probabilità di liquefazione
0,85 ≤ PL < 1,00	5	Liquefazione quasi certa
0,65 ≤ PL < 0,85	4	Liquefazione probabile
0,35 ≤ PL < 0,65	3	Liquefazione incerta
0,15 ≤ PL < 0,35	2	Liquefazione improbabile
0,00 ≤ PL < 0,15	1	Non liquefazione quasi certa

da Juang 2000-2008 modificato, Facciorusso 2008

Diversamente il valore di LSN viene ricavato tramite l'integrazione, su tutta la colonna stratigrafica, del coefficiente "ev" - "vertical reconsolidation strain" - calcolato con il metodo di Zhang et Al., 2002 ed attraverso cui vengono definiti i seguenti scenari di riferimento:

LSN Range	Predominant performance
0 – 10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10 – 20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20 – 30	Moderate expression of liquefaction, with sand boils and some structural damage
30 – 40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40 – 50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlement of structures
>50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction at surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

$$LSN = 1000 \int \frac{\epsilon_v}{z} dz$$

Gli scenari di danno stimabili con il parametro LSN risultano significativamente condizionati dal rapporto tra strati liquefacibili/non liquefacibili e la relativa deformabilità; cosa che il metodo, sulla scorta di prove ad alta risoluzione (quali CPTe/CPTU), riesce a discriminare con buona attendibilità.

Sulla base dello spessore degli strati liquefacibili/non liquefacibili ed il relativo rapporto spessore-profondità anche altri autori (Crespellani et. Al., 1988 e metodo Ishihara, 1985 + Youd e Garri 1994/95 – schema in allegato n. 9) schematizzano la possibilità di propagazione e di manifestazioni superficiali verso l'alto. Nel caso in esame si constata che la possibilità di propagazione e quella di manifestazioni superficiali verso l'alto risulti generalmente non impedita, in quanto lo spessore degli orizzonti non liquefacibili soprastanti è sempre generalmente minore o uguale e, dunque, per innescare e propagare il fenomeno della liquefazione, l'entità delle accelerazioni stimate appare coerente. Pertanto alla luce di tale schematizzazione tale evenienza non può essere esclusa per via del generale modesto addensamento degli strati sabbiosi superficiali, unitamente all'alto livello freatico ed al generale ridotto spessore della "crosta" superficiale.

Nel caso specifico, visti i valori di resistenza alla liquefazione (terreni incoerenti) ed alla degradazione ciclica (terreni coesivi), nell'ipotesi di condizioni free-field (campo libero), si può valutare come il potenziale di liquefazione dei terreni (riferito al piano campagna attuale) vari arealmente (vedi planimetria in allegato n. 8).

Gli indicatori di riferimento considerati presentano i seguenti valori limite in relazione agli scenari di scuotimento a cui ci si è riferiti:

VERIFICHE DI LIQUEFACIBILITA' CON IPOTESI DI DIFFERENTI AZIONI SISMICHE		
SETTORE SETTENTRIONALE E CENTRALE ($a_{max s} = 0.213$)		
PENETROMETRIA N.	Ipotesi 1° Mw = 6.14	Ipotesi 2° Mw = 5.5
	Zona sismo genetica n. 917 in "Indicazioni e Criteri per la Microzonazione Sismica" (anno 2008 a cura del Dipartimento per la Protezione civile).	"Metodo Disaggregazione" in Indicazioni e Criteri per la Microzonazione Sismica" (anno 2008 a cura del Dipartimento per la Protezione civile).
A-CPTU1 Colonia Montecatini	IPL = 15.88 - LSN = 40.80 Stot = 34.60	IPL = 6.30 - LSN = 28.30 Stot = 23.70
CPTE1	IPL = 15.35 - LSN = 38.40 Stot = 34.30	IPL = 6.35 - LSN = 27.70 Stot = 25.10
CPTE2	IPL = 19.61 - LSN = 51.20 Stot = 45.70	IPL = 7.92 - LSN = 36.20 Stot = 34.30
A-CPTU2 Prima traversa	IPL = 22.67 - LSN = 54.90 Stot = 46.30	IPL = 9.73 - LSN = 41.10 Stot = 35.60
CPTE3	IPL = 25.15 - LSN = 63.10 Stot = 50.80	IPL = 12.49 - LSN = 51.0 Stot = 44.0
CPTE4	IPL = 25.74 - LSN = 73.50 Stot = 49.60	IPL = 12.70 - LSN = 54.80 Stot = 42.30
CPTE5	IPL = 26.59 - LSN = 71.30 Stot = 49.50	IPL = 12.98 - LSN = 57.20 Stot = 40.70
CPTE6	IPL = 20.64 - LSN = 55.80 Stot = 36.80	IPL = 8.48 - LSN = 38.10 Stot = 28.10

SETTORE MERIDIONALE ($a_{max s} = 0.236$)		
PENETROMETRIA N.	Ipotesi 1° Mw = 6.14 Zona sismo genetica n. 917 in "Indicazioni e Criteri per la Microzonazione Sismica" (anno 2008 a cura del Dipartimento per la Protezione civile).	Ipotesi 2° Mw = 5.5 "Metodo Disaggregazione" in Indicazioni e Criteri per la Microzonazione Sismica" (anno 2008 a cura del Dipartimento per la Protezione civile).
CPTE7	IPL = 26.85 - LSN = 58.30 Stot = 39.30	IPL = 14.81 - LSN = 48.0 Stot = 34.20
CPTE8	IPL = 25.90 - LSN = 56.60 Stot = 39.20	IPL = 14.40 - LSN = 46.60 Stot = 33.70
CPTE9	IPL = 21.73 - LSN = 50.30 Stot = 31.10	IPL = 11.20 - LSN = 38.0 Stot = 25.80
CPTE10	IPL = 19.85 - LSN = 49.20 Stot = 31.90	IPL = 10.04 - LSN = 36.80 Stot = 25.60
CPTE11	IPL = 18.22 - LSN = 39.40 Stot = 25.10	IPL = 8.78 - LSN = 29.80 Stot = 20.30
CPTE12	IPL = 17.31 - LSN = 37.30 Stot = 23.50	IPL = 7.79 - LSN = 28.80 Stot = 19.0

Riepilogando, i valori più significativi delle verifiche effettuate sono inclusi nei seguenti ambiti suddivisi per settori:

SETTORE SETTENTRIONALE E CENTRALE			
MW1: 15.35<IPL<26.59	38.40<LSN<73.50	56.30<PL<93.73	34.30< H<50.80 cm
MW2: 6.30<IPL<12.98	27.70<LSN<57.20	15.20<PL<43.47	23.70< H<44.00 cm
SETTORE MERIDIONALE			
MW1: 17.31<IPL<26.85	37.30<LSN<58.30	66.39<PL<94.06	23.50< H<39.30 cm
MW2: 7.79<IPL<14.81	28.80<LSN<48.00	19.89<PL<53.41	19.00< H<34.20 cm

Sia nel primo che nel secondo caso (MW1 e MW2) diversi orizzonti sabbioso/limosi, talora con spessori anche metrici, evidenziano $FL \ll 1.0$ con una suscettibilità di liquefazione superiore al 50% (Juang et Al., 2001-2011), soprattutto in corrispondenza del Lit. "H", caratterizzato da sabbie e sabbie limose poco addensate a basso medio contenuto in fine (FC fine content) che può essere ritenuto come quello maggiormente soggetto a liquefazione.

Anche il litotipo AL è da ritenersi critico, anche se meno soggetto a liquefazione, in quanto, oltre alle sabbie poco addensate, le intercalazioni limo/argillose a bassa permeabilità potrebbero ostacolare in diversa misura la rapida dissipazione delle sovrappressioni ciclicamente indotte.

Livelli argillosi potenzialmente soggetti a degradazione ciclica vengono riscontrati solo occasionalmente ed in sottili e discontinui orizzonti appartenenti al lit. C.

Gli ambiti di IPL (Sonmez, 2003 - Facciorusso, 2008 – Juang, 2011) indicano un potenziale di liquefazione da "alto" a "molto alto" e, per i siti in esame, probabilità generali di innesco della liquefazione (PL) da elevate a molto elevate che derivano anche da un PL riferito ai singoli strati sovente compreso tra 0.35 e 0.65 e talvolta superiore 0.65. Inoltre si può notare che, nonostante il maggiore spessore di depositi litorali, la parte settentrionale (vedi prove A-CPTU1 Colonia Montecatini, CPTE1, CPTE2) sia quella caratterizzata dai valori di IPL più bassi, in quanto la presenza del litotipo "AL" fa sì che l'aumento medio della frazione in fluisca sull'indice di comportamento del materiale e quindi sul potenziale di liquefazione.

Si riscontra altresì un trend di diminuzione dei valori di IPL verso sud che tuttavia all'altezza della prova CPTe7 si interrompe a causa del valore più alto di accelerazione al suolo ($a_{max} = 0.236$ g della parte meridionale contro $a_{max} = 0.213$ g di quella settentrionale) utilizzata nei calcoli ed individuata dalla risposta sismica locale.

In allegato n. 8 viene altresì illustrata anche la distribuzione areale dei cedimenti post-sismici attesi "Stot" ovvero H, cumulativa sia per terreni incoerenti che coesivi, i quali presentano gli ambiti di variabilità areale sopraindicati.

I due scenari di analisi MW1 e MW2, relativamente alla norma regionale di riferimento, configurano situazioni generali in cui è possibile definire che:

- **Mw1**: la totalità dei punti di indagine presenta valori di $IPL > 15$ indicando un rischio "Molto Alto".
- **Mw2**: la totalità dei punti di indagine presenta valori di $5 < IPL < 15$ indicando un rischio "Alto".

Tuttavia a titolo indicativo, i limiti di rischio inizialmente stabiliti da Iwasaki (1978), sulla base di prove SPT, sono stati ricalibrati anche su database di prove CPTe tramite vari metodi semplificati tra cui quello di Robertson e Wride - agg. Youd, 2001 (Lee et al., 2003), stimando delle nuove soglie di riferimento per cui con $IPL < 13$ si ha un "rischio basso", per $13 < IPL < 21$ un "rischio alto" e per $IPL > 21$ un "rischio molto alto"; nell'ambito di tale verifica degli autori solo circa il 10% dei casi di liquefazione presentava un $IPL < 5$.

Pertanto alla luce di ciò i due scenari assumerebbero connotazioni differenti:

- MW1 vedrebbe una equipartizione tra le situazioni a "rischio alto" (A-CPTU1 Colonia montecatini, CPTe1, CPTe2, CPTe6, CPTe10, CPTe11, CPTe12) e quella a "rischio molto alto" (A-CPTU2 prima traversa, CPTe3, CPTe4, CPTe5, CPTe7, CPTe8, CPTe9) e comunque in tutti i casi verrebbe rivisitato in un'ottica di rischio inferiore.
- MW2 andrebbe nella maggior parte dei casi letto (eccettuate le prove CPTe7 e CPTe8 con $IPL > 14$ ovvero "rischio alto") in un'ottica di rischio "basso" e comunque in tutti i casi assumerebbe una connotazione di rischio inferiore.

Il ruolo fondamentale, nello scenario di rischio complessivo e di danno atteso, sembrerebbe essere determinato, oltre che dalla suscettibilità/probabilità di innesco del fenomeno, dalla possibilità o meno che si possano verificare manifestazioni superficiali rilevanti. Queste ultime risultano condizionate dalla presenza o meno in superficie di orizzonti di spessore apprezzabile di sabbie maggiormente addensate, in grado di offrire una resistenza ciclica superiore e mitigare/inibire la propagazione del fenomeno verso l'alto.

E' in quest'ottica infatti che le performance migliori, anche in termini di LSN, sono sempre rappresentate dalle prove CPTe1, CPTe3, CPTe4, CPTe7, CPTe4 e CPTe10 in cui lo spessore del Lit. S, costituito da sabbie mediamente addensate ed a tratti dense, presenta spessori maggiori, spingendosi fino ad una profondità di -3.3/-3.8 dal p.c..

Invece l'analisi complessiva dei cedimenti postsismici attesi evidenzia che le verticali potenzialmente soggette a minori cedimenti, in entrambe le situazioni di scuotimento ipotizzato, risultano essere CPTe1, CPTe6, CPTe7 e CPTe10 rimanendo, comunque, sempre molto prossime e/o superiori al limite di 10 cm.

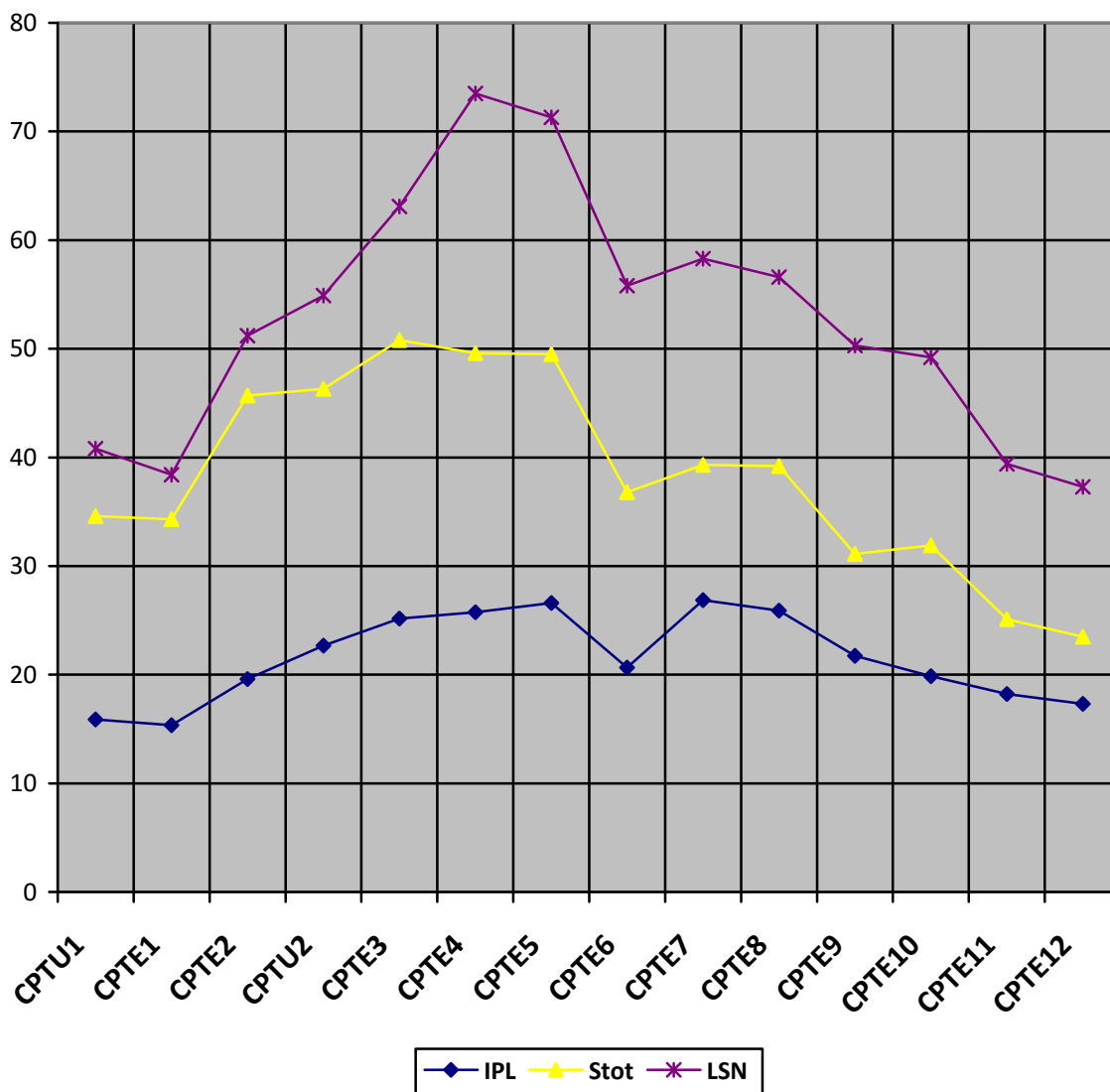
In tal caso Ishihara e Yoshimine (1992) in relazione ai cedimenti stimati ed al grado di danneggiamento/effetti sul suolo attesi identificano tre ambiti di riferimento secondo cui:

- $H < 10$ cm "Light to no damage"
- $10 < H < 30$ cm "Medium damage"
- $H > 30$ cm "Extensive damage"

In ogni caso, si deve evidenziare che gli orizzonti incoerenti potenzialmente liquefacibili, risultano spesso caratterizzati da un valore di resistenza espresso in n. di colpi Spt $(N1)_{60-cs} > 10$, il che rappresenta una certa garanzia nei confronti del potenziale innesco di fenomeni di liquefazione totale o di flusso.

In entrambi gli scenari di pericolosità sismica MW1 (diagramma in basso a sinistra) e MW2 (in basso a destra) l'osservazione dei diagrammi comparativi dell'andamento dei parametri IPL, LSN e Stot conduce a valutazioni interessanti.

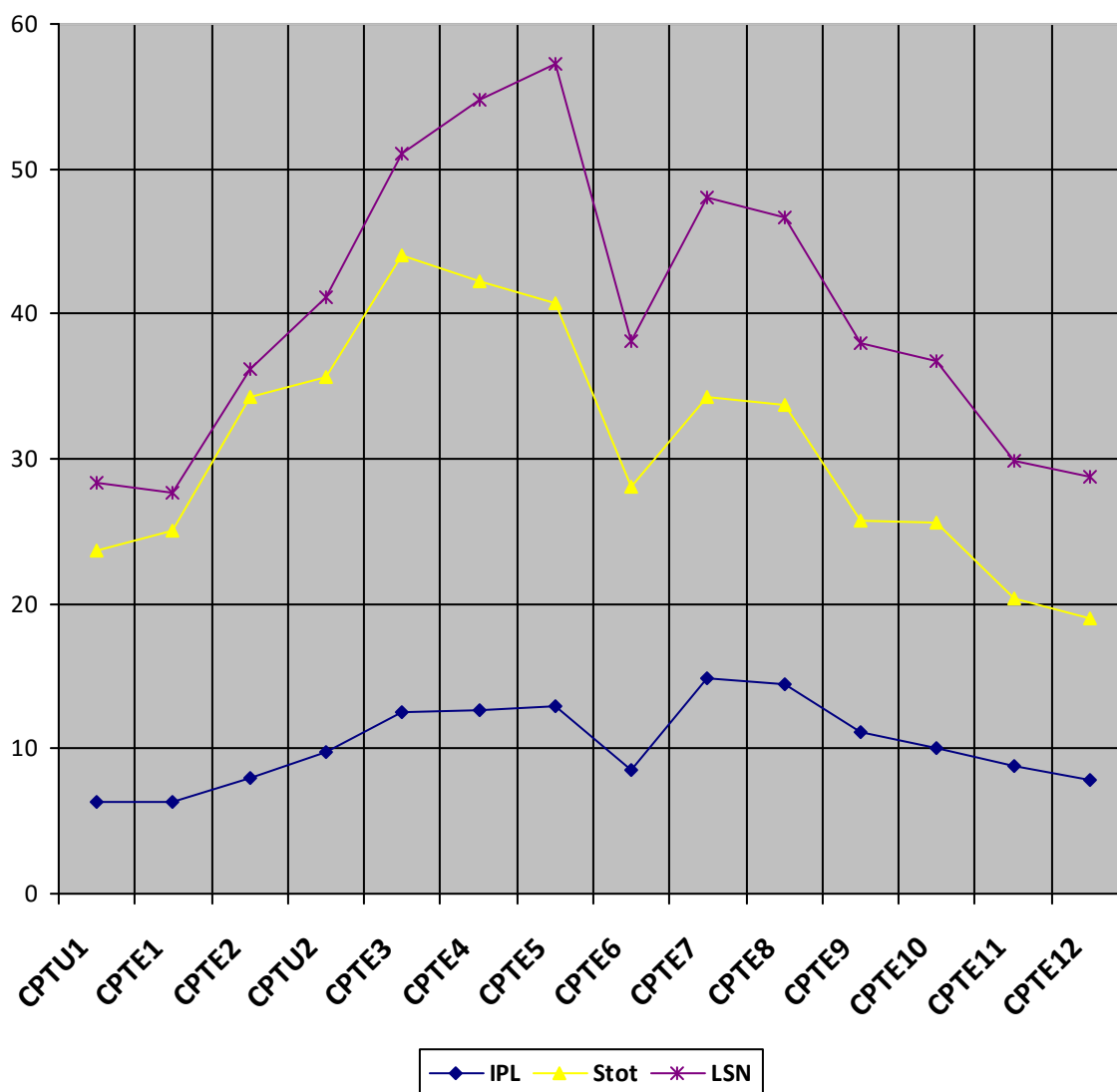
MW1 – Magnitudo di riferimento 6,14



DIAGRAMMI COMPARATIVI DEI PARAMETRI

IPL = (INDICE DI POTENZIALE LIQUEFAZIONE)
 Stot = (CEDIMENTI TOTALI POST- CICLICI)
 LSN = (DEFORMAZIONE VERTICALE DA RICONSolidAZIONE)

MW2 – Magnitudo di riferimento 5,50



DIAGRAMMI COMPARATIVI DEI PARAMETRI

IPL = (INDICE DI POTENZIALE LIQUEFAZIONE)
Stot = (CEDIMENTI TOTALI POST- CICLICI)
LSN = (DEFORMAZIONE VERTICALE DA RICONSolidAZIONE)

In entrambi gli scenari di pericolosità sismica MW1 e MW2 l'osservazione dei diagrammi parametrici comparativi evidenzia una situazione secondo cui, mentre l'indicatore IPL sembra presentare andamenti piuttosto simili e coerenti lungo tutto l'areale costiero, talora a valori di IPL "relativamente bassi" possono corrispondere valori di LSN o cedimento post ciclico "Stot" elevati e viceversa. Ovvero la variazione di Stot e LSN non è sempre proporzionale a quella di IPL.

In particolare nella parte settentrionale fino, verso sud, a CPTe3 vi sono valori elevati di cedimenti Stot anche a fronte di valori di IPL bassi. Da CPTe4 i valori dei cedimenti proporzionalmente si abbassano. Tale tendenza, meno evidente nello scenario MW2, è determinata dal fatto che i cedimenti post sismici sono governati da un maggior spessore di sabbie (litotipi S, H, e AL) nei primi 20 mt (spessore ove si effettua il calcolo del potenziale di liquefazione). Mentre nella parte centrale e meridionale a valori talora di IPL più alti corrispondono cedimenti più bassi per il motivo precedentemente menzionato.

L'inflessione brusca tra CPTe6 e CPTe7 è determinata dal cambio di accelerazione a_{max} utilizzata per il calcolo ovvero 0.213g, nel settore settentrionale e centrale, 0.236g in quello meridionale.

Un'altra notazione interessante è quella che aumenti di IPL sono governati maggiormente dal rapporto tra R_p e F_s e quindi dal contenuto maggiore o minore in frazione fine limosa. L'aumento di quest'ultima determina un abbassamento del valore di IPL come avviene nella CPTe6 a discapito delle CPTe7 e CPTe8. Ciò a prescindere dalla presenza o meno nel primo sottosuolo del livello sabbioso più addensato (litotipo S) che, non avendo spessori consistenti, generalmente non influisce sull'andamento dell'IPL.

Le valutazioni sopra effettuate rappresentano un utile inquadramento sull'andamento del pericolo di liquefazione e dei fattori parametrici ad esso correlabili. Tuttavia in sede progettuale esecutiva sarà opportuno valutare puntualmente la compatibilità e la ricaduta delle risultanze di ulteriori verifiche sull'esposizione al "rischio", i piani di posa dei manufatti, le caratteristiche delle strutture (geometriche, in elevazione e fondazionali) e realizzative (dimensionamento geotecnico, modalità operative, eventuali interventi di mitigazione, drenaggio, miglioramento dei terreni, ecc.), le prestazioni attese dalle opere e la relativa funzionalità.

10 EDIFICABILITA' DELL'AREA

10.1 Considerazioni generali

Il Comune di Cervia dispone di un Piano Particolareggiato dell'arenile approvato, con Delibera di C.C. n. 92 del 12.12.2002, che deve essere adeguato ai sopravvenuti indirizzi dettati dalla L.R. E.R. 9/2002 e s.m.i., nonché dalle Direttive n. 468 del 06.03.2003 e n. 1461/2003.

Il Piano dell'arenile disciplina gli interventi e gli allestimenti di natura edilizia e infrastrutturale e le modalità d'uso dell'arenile, in attuazione a quanto previsto dal PRG e si applica all'arenile e alle aree adiacenti ad esso integrate.

Nello specifico il Piano suddivide l'arenile in diverse zonizzazioni, per ciascuna delle quali detta le modalità di intervento. Tale suddivisione prevede:

una fascia di libero transito di circa 5 m ubicata immediatamente a ridosso della battigia, quale grande corridoio ambientale per il transito pedonale (a contatto del mare) lungo l'intero arenile;

una zona da destinare ad ombreggio, utilizzabile per l'ubicazione di allestimenti temporanei nella sola stagione balneare, di larghezza variabile in funzione della profondità della fascia di spiaggia;

una zona di attrezzature da spiaggia nella quale ricade la quasi totalità dei manufatti realizzati e realizzabili nell'arenile destinati in prevalenza agli stabilimenti balneari, di larghezza fissa, pari a 25 m a nord del Canale Cupa e 32 m nella gran parte del litorale cervese;

una fascia di verde attrezzato, di larghezza variabile lungo l'arenile, ubicata ad ovest della zona delle attrezzature da spiaggia, che consente di ricucire l'arenile vero e proprio con la zona edificata retrostante: tale zona è destinata in parte alla realizzazione di percorsi longitudinali, con funzione di "passeggiata" e di asse generale di distribuzione degli accessi ai bagni e alle relative attrezzature ed in parte è affidata in concessione ai titolari degli stabilimenti balneari e può essere utilizzata per la realizzazione di aree verdi di accesso agli stabilimenti o per l'insediamento di piccole attrezzature sportive;

diverse aree di spiaggia libera variamente dislocate lungo il litorale cervese;

alcune zone di protezione naturalistica, laddove è stata riscontrata la presenza di dune, nelle quali è favorita la conservazione dell'habitat originario con interventi di salvaguardia e valorizzazione ambientale che mirino ad assecondare la ricostruzioni delle caratteristiche peculiari naturali, quali cordoni dunosi e vegetazione litoranea, anche con l'inserimento delle appropriate essenze arboree e di sottobosco;

un'area di rinaturalizzazione, ubicata nella zona nord di Milano Marittima, riservata alla ricostruzione anche graduale dell'habitat originario della spiaggia, nella quale è consentita per gli stabilimenti balneari esistenti, la realizzazione di interventi che traggano obiettivi di rinaturalizzazione attraverso strutture a basso impatto ambientale;

una zona di potenziamento delle attività ludico-sportive, ubicata a Pinarella e Tagliata, nella quale si intendono creare dei poli attrattivi per la collettività per la realizzazione di iniziative e manifestazioni a carattere ludico-sportivo.

Il piano individua specificatamente una serie di "cannocchiali visivi" che attraversano da mare a monte l'intero arenile, con andamento co-assiale alle strade di penetrazione dal tessuto urbano, al fine di garantire la visuale libera verso mare in corrispondenza di determinati "ingressi" all'arenile e di assicurare ampi corridoi pedonali di raccordo alla battigia.

Sono inoltre individuati i percorsi di accesso all'arenile pedonali e ciclabili: nella zona di Milano Marittima l'ingresso avviene tramite le traverse che permettono di raggiungere la fascia retrostante gli stabilimenti balneari; nella zona di Cervia il principale percorso è costituito dalla pista ciclabile e dal percorso pedonale che affianca il lungomare, dal quale è possibile accedere ai singoli stabilimenti balneari; nella zona di Pinarella e Tagliata l'ingresso alla spiaggia avviene dalla Pineta attraverso una serie di stradelli che la attraversano.

Il Piano provvede inoltre a disciplinare l'accesso carrabile alla spiaggia, con l'individuazione dei varchi che potranno essere utilizzati dai mezzi per le operazioni di pulizia ordinaria e straordinaria, nonché di vigilanza. Infine sono individuati i punti di deposito delle imbarcazioni e di noleggio natanti, nonché le aree in cui è possibile svolgere attività connesse agli sport acquatici (sci nautico, kite-surf e wind-surf), le postazioni di primo soccorso e l'area di atterraggio dell'eliambulanza.

All'interno del perimetro del Piano è inoltre specificatamente individuata l'area del porto turistico di Cervia, per la cui disciplina si rimanda agli indirizzi del Piano del Porto: in tale area sono insediate le principali attività connesse alla nautica (circolo velico e cantieri navali) operanti nel territorio cervese.

L'operazione di adeguamento del Piano dell'Arenile è finalizzata in primo luogo a recepire gli indirizzi della L.R. 9/2002 e s.m.i. e delle relative direttive, in secondo luogo punta ad attualizzare alcuni dei contenuti del previgente piano, in funzione delle nuove esigenze e problematiche emerse connesse alla gestione della spiaggia. Inoltre al fine di promuovere la realizzazione di stabilimenti balneari eco-compatibili nell'ottica di realizzare uno sviluppo sostenibile delle attività turistiche vengono incentivate interventi volti al risparmio delle risorse idriche ed energetiche, attraverso la riduzione dei consumi e la produzione di energia da fonti rinnovabili, nonché l'impiego di tecnologie sostenibili che modificano le modalità di gestione ed i servizi offerti.

Pertanto le opere prese in considerazione sono essenzialmente riferibili ad una rimodulazione di manufatti e volumetrie preesistenti nell'ambito degli stabilimenti balneari, ad infrastrutture lineari per con percorsi ciclo-pedonali, alla rinaturalizzazione di aree ed a zone di protezione naturalistica, aree a verde attrezzato, due aree per attività ludico-sportivo, che sono qualificabili come opere di modesta rilevanza strutturale. Conseguentemente la bassa consistenza dell'opera diminuisce l'esposizione al rischio.

10.2 Indicazioni realizzative delle opere

I terreni sabbiosi e le alternanze limo-sabbiose e limo-argillose presenti nell'area (piana costiera) si presentano, in condizioni statiche, generalmente come discreti/buoni terreni di fondazione; tuttavia la significativa saturazione di tali depositi, il grado di permeabilità ed il loro comportamento in condizioni dinamiche determina la necessità di effettuare le opportune verifiche ai fini del potenziale di liquefazione di tali terreni..

In relazione alle diverse tipologie di opere e di intervento previste nell'areale di studio, nonché alle relative condizioni di esposizione al rischio prevedibili, sono stati verificati due scenari limite di scuotimento atteso, adottando valori di **magnitudo momento max pari a MW1=5.5 e MW2=6.14**, derivabili rispettivamente dalle stime di disaggregazione e dalle raccomandazioni I.C.M.S. per la zona ZS9 (vedi par. 7.2).

L'analisi di microzonazione sismica di III° livello di approfondimento per la verifica del potenziale di liquefacibilità ai sensi della DGR n. 2193 del 21-12-2015, viene condotta sulla base di azioni sismiche definite mediante studi di analisi di risposta sismica locale, effettuati su due diversi scenari geologici e sismici identificati nella zona nord e sud, in condizioni di **free field e con riferimento al p.c. attuale**. Riepilogando, i valori più significativi delle verifiche effettuate sono inclusi nei seguenti ambiti suddivisi per settori:

SETTORE SETTENTRIONALE E CENTRALE			
MW1: 15.35<IPL<26.59	38.40<LSN<73.50	56.30<PL<93.73	34.30< H<50.80 cm
MW2: 6.30<IPL<12.98	27.70<LSN<57.20	15.20<PL<43.47	23.70< H<44.00 cm
SETTORE MERIDIONALE			
MW1: 17.31<IPL<26.85	37.30<LSN<58.30	66.39<PL<94.06	23.50< H<39.30 cm
MW2: 7.79<IPL<14.81	28.80<LSN<48.00	19.89<PL<53.41	19.00< H<34.20 cm

In allegato n. 8 viene altresì illustrata anche la distribuzione areale sia dei valori di IPL che dei cedimenti post-sismici stimati nelle verticali di calcolo.

Come si evince dallo specchio sopra riportato la scelta della magnitudo di riferimento influenza fortemente le risultanze finali. Fermo restando che la normativa regionale lascia discrezionalità sulla scelta della magnitudo, è opportuno comunque che tale scelta sia motivata tecnicamente ed adeguata in funzione anche degli interventi previsti nell'area oggetto di studio e del rischio che si è disposti ad accettare. La condizione di $M_w = 6,14$ è senz'altro quella più tutelante ma anche la più onerosa ed impattante per le eventuali opere di mitigazione del rischio da realizzare. La condizione di $M_w = 5,50$ prevede da una parte una condizione di accettabilità di un maggior rischio ma dall'altra parte porta a valori di IPL più moderati, che alla luce delle seguenti considerazioni appare condivisibile. E' opportuno ricordare che l'accettabilità del rischio è in funzione anche delle tipologie di interventi da realizzare e dell'esposizione di vite umane.

Un altro elemento importante nella scelta della magnitudo di riferimento è la qualità ed il livello di approfondimento che lo studio geologico eseguito nel contesto territoriale considerato ha raggiunto. Infatti sicuramente maggiore è lo standard qualitativo dello studio geologico e minori sono i margini di incertezza delle risultanze finali e quindi il medesimo è da ritenersi maggiormente rappresentativo del territorio. A tal scopo si precisa che:

- la campagna geognostica eseguita è di ottima qualità ed esaustiva sia per la densità di verticali d'indagine che per la tipologia delle prove effettuate (CPTe);
- il valore di input fondamentale che si identifica nell'accelerazione al suolo in condizioni di "free field", $a_{max s}$ è stato determinato con la miglior precisione possibile mediante analisi di Risposta Sismica Locale (RSL), che utilizza prospezioni geofisiche sia dirette che indirette e determinato sulle due parti del territorio che presentano alcune peculiarità distintive;
- le verifiche di calcolo lungo le verticali, estese su tutto il territorio e adeguatamente rappresentative, forniscono un quadro complessivo dall'andamento omogeneo che fotografa al meglio la situazione reale;
- nelle verifiche di calcolo, così come richiesto dalla DGR 2193/2015, si tiene già conto di un fattore di sicurezza di 1,2, nei confronti del quale il calcolo del IPL ne subisce i debiti incrementi;
- tutte le verifiche di liquefacibilità eseguite hanno fornito valori sempre inferiore a $IPL = 15$, quindi senza mai sconfinare nella categoria di rischio molto alto e per porzioni ampie di territorio con valori inferiori a $IPL = 13$ che secondo altri autori identifica un rischio basso.

Lo studio geologico pertanto si ritiene idoneo a fornire una adeguata conoscenza geologico-geofisica del territorio che permette di ritenere valide le risultanze raggiunte anche con valori di magnitudo inferiori, quali quello di $M_w = 5,50$. Inoltre occorre considerare che:

- l'area oggetto di studio da un punto di vista naturalistico, paesaggistico e turistico è di grande importanza e molto sensibile e richiede di intervenire con tecniche di basso – bassissimo impatto, possibilmente amovibili e comunque operando per la preservazione dei valori ambientali in genere, evitando la messa in opera di interventi invasivi ed imponenti;
- gli interventi previsti sono in genere molto modesti o addirittura di nessuna rilevanza strutturale, comunque tali da non richiedere normalmente eccessive misure di tutela dal rischio di possibile liquefazione.

Pertanto in base alle valutazioni complessive sopra citate, considerate le tipologie degli interventi previsti ed in merito agli effetti di sito inerenti il potenziale di liquefazione, è ragionevolmente ipotizzabile utilizzare le risultanze derivanti dall'approccio con $M_w = 5,50$, definendo due tipologie d'intervento per le opere da realizzare:

- **Per manufatti precari, per manufatti permanenti di modeste dimensioni e ritenuti di scarsa rilevanza strutturale, per percorsi ciclo-pedonali e passeggiate, per attrezzature di spiaggia, per la normale attività balneare di spiaggia, per attrezzature dedicate ad attività ludico-sportive-ricreative, per modesti rilevati stradali, per infrastrutture tecnologiche ordinarie (non strategiche), per opere di rinaturalizzazione e di tutela delle aree a verde si ritiene ammissibile intervenire tramite fondazioni dirette. L'incastro ed il corretto dimensionamento delle opere fondali sarà determinato in sede di progettazione esecutiva tenendo conto oltre che della tipologia dell'opera anche dei cedimenti potenziali. In ogni caso una idonea valutazione circa le metodologie di intervento più appropriate a garantire un grado di sicurezza adeguato per il sistema opera/terreno dovrà essere condotta dal Progettista incaricato in fase esecutiva in funzione dell'esposizione al rischio dell'opera e del tempo di vita nominale.**
- **Per manufatti permanenti, di maggiori dimensioni e ritenuti di rilevanza strutturale, per infrastrutture tecnologiche strategiche e condizioni di significativa esposizione al rischio di vite umane, al fine di inibire/mitigare la suscettibilità alla liquefazione dei depositi incoerenti e di omogeneizzarne il comportamento geomeccanico, occorrerà valutare l'approntamento di interventi preliminari di miglioramento, di consolidamento e/o di drenaggio dei terreni di fondazione nel volume di interesse. In tal caso potranno essere adottate fondazioni superficiali di tipo diretto da dimensionare in funzione delle prestazioni attese e del grado di incremento delle caratteristiche geomeccaniche ottenuto nel volume di terreno di interesse per le specifiche opere. In mancanza di altre soluzioni percorribili e/o come precisa scelta progettuale nella fase esecutiva, si potrà ricorrere all'utilizzo di fondazioni profonde su pali adeguatamente dimensionati alle azioni di taglio ed alla mancanza di adesione laterale negli orizzonti denominati Lit. V-H-S-AL; andranno tenuti in debito conto possibili effetti di attrito negativo/trascinamento a seguito del riaddensamento dei terreni potenzialmente liquefacibili e/o coesivi soggetti a degradazione ciclica.**

Naturalmente in fase esecutiva, rimane in ambito discrezionale del progettista l'adozione del valore più opportuno di magnitudo ai fini delle verifiche di calcolo ed analisi geotecniche in funzione della tipologia di opera e delle relative classi d'uso, vita nominale, esposizione al rischio. Inoltre le valutazioni andranno approfondite puntualmente in relazione alle quote dei piani di posa, ai carichi insistenti nonché alle modalità realizzative delle opere in progetto e delle prestazioni attese dalle stesse e, pertanto, anche in base a quanto espresso al paragrafo 7.11.3.4.3 delle NTC *"L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista"*.

Anche la scelta delle tipologie fondazionali e dei piani di posa delle fondazioni, nonché degli approcci metodologici corretti per gli sbancamenti, le opere di drenaggio e di contenimento, saranno effettuati in sede di progettazione esecutiva, tenendo conto di quanto soprariportato ed in base sia alle problematiche di dettaglio che si presenteranno nel sito di intervento, nonché alle caratteristiche tecniche dell'opera da realizzare e della presenza di edifici o altri manufatti sensibili nelle adiacenze.

Nelle aree litorali oggetto di studio non sussiste pericolo di esondabilità né da parte dei corsi d'acqua maggiori, né da parte della rete scolante minore presente nell'area.

Rimini, maggio 2016

ALLEGATO N.1
"INQUADRAMENTO GEOGRAFICO"

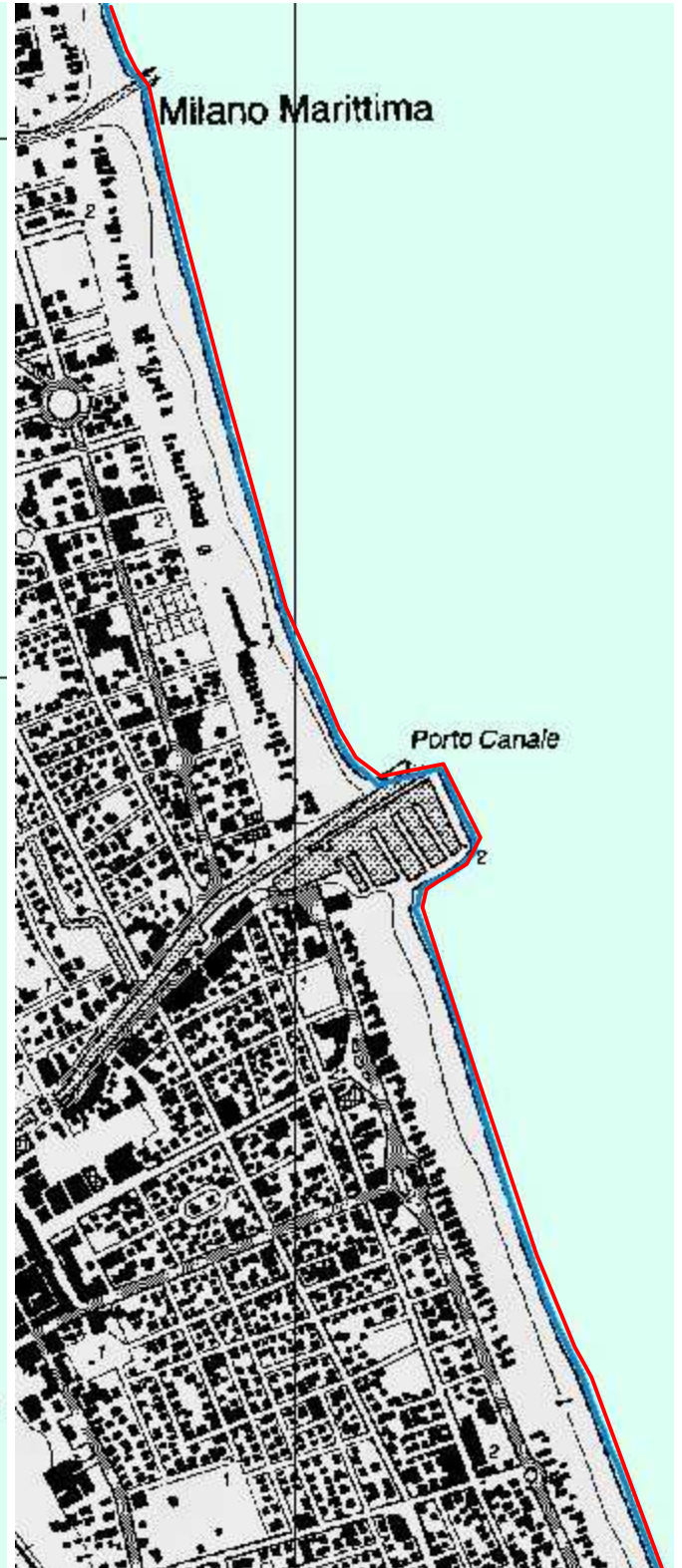


GEOPROGET

Studio di Geologia
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464
E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
copiolicarlo@libero.it



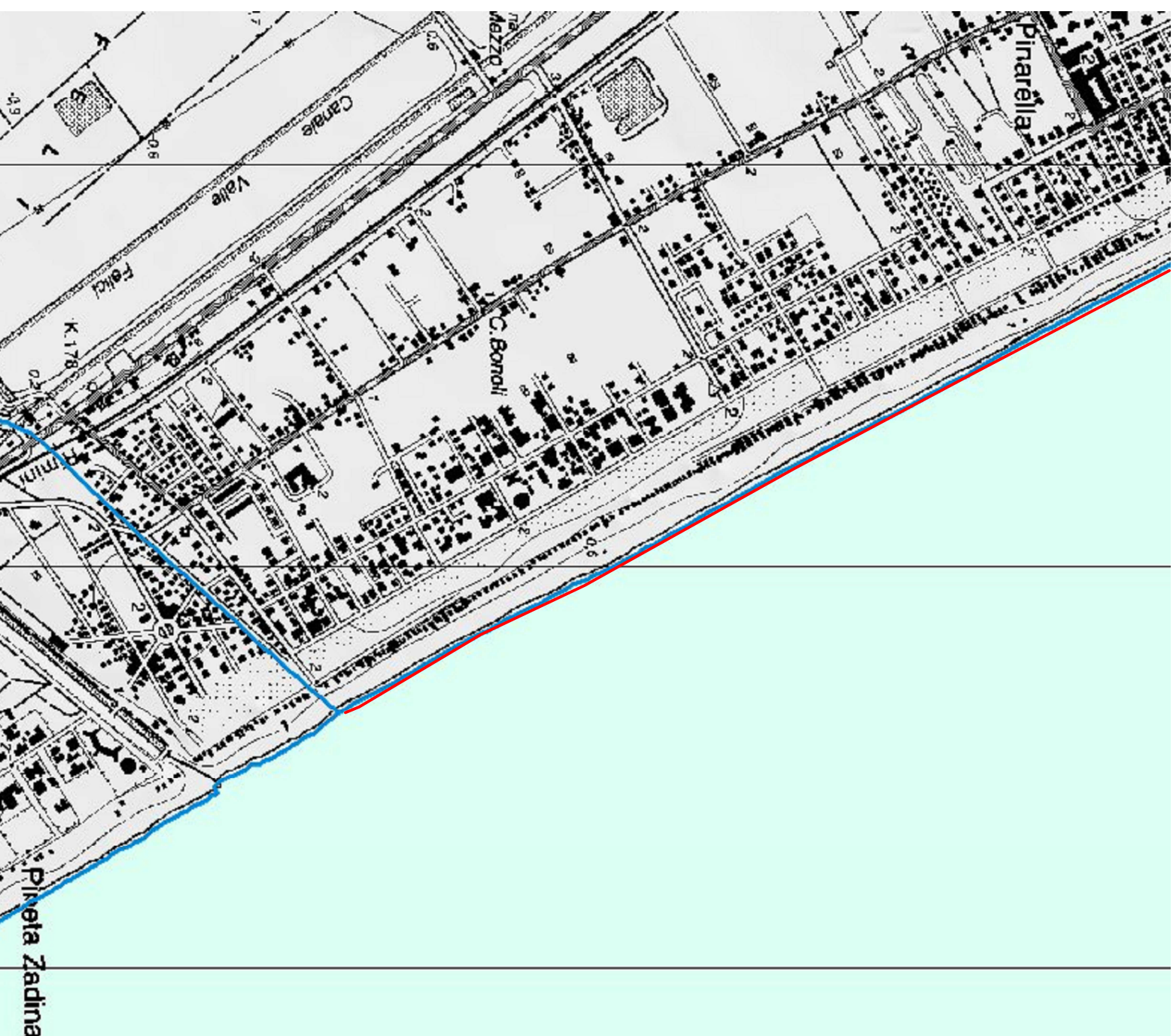
Tratto settentrionale



Tratto centro - settentrionale



Tratto centro - meridionale



Tratto meridionale

ALLEGATO N.2
"CARTA GEOLOGICA"



GEOPROGET

Studio di Geologia
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464
E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
copioicarlo@libero.it

LEGENDA

Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano



AES8a - Unità di Modena

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, talora organizzate in corpi a geometrie lenticolari, nastriformi, tabulari e cuneiformi. Depositi alluvionali intravallivi, terrazzati (primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive), deltizi, litorali, di conoide e, localmente, di piana inondabile. Nella costa e nel Mare Adriatico sabbie di cordone litorale e di fronte deltizia passanti ad argille e limi di prodelta e di transizione alla piattaforma. Limite superiore coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (meno di 100 cm). Può ricoprire resti archeologici di età romana del VI secolo d.C. Lo spessore massimo dell'unità è generalmente di alcuni metri, talora plurimetrico.

(Olocene)

Simboli Convenzionali

Geomorfologia linee:



cordone litorale



linea di riva alla data del rilevamento

Risorse:



sondaggio esplorativo

Tessiture:



Argilla Limosa



Argilla Sabbiosa



Ghiaia Sabbiosa



Sabbia Limoso Argillosa



Sabbia

ALLEGATO N.3

"PLANIMETRIA CON UBICAZIONE CAMPAGNA GEOGNOSTICA "

LEGENDA

- **A-CPTU:** Prova penetrometrica statica - Archivio Comune di Cervia
- **A-Sondaggio S1:** Sondaggio a carotaggio continuo - Archivio Comune di Cervia
- **A-CPT:** Prova penetrometrica statica - Banca dati Regione Emilia Romagna
- **A-Sondaggio P403:** Sondaggio a carotaggio continuo - Banca dati Regione Emilia Romagna
- **CPTE1:** Prova penetrometrica statica
- **C1:** Prelievo di campione

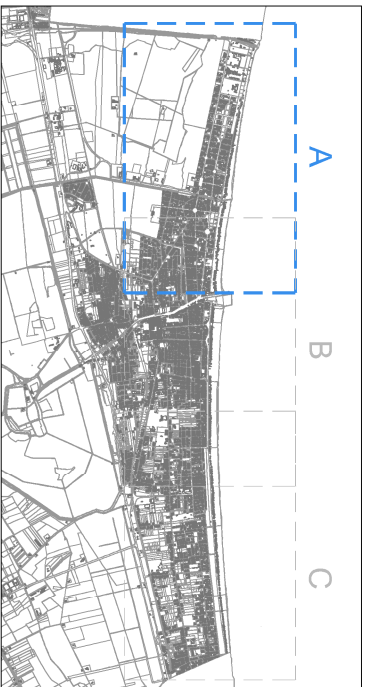


----- Limite Piano dell'Arenile



GEOPROGET

Studio di Geologia
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464
E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
copolicarlo@libero.it



Keyplan

Planimetria con ubicazione indagini in sito
Stralcio "A" - Scala 1:10.000



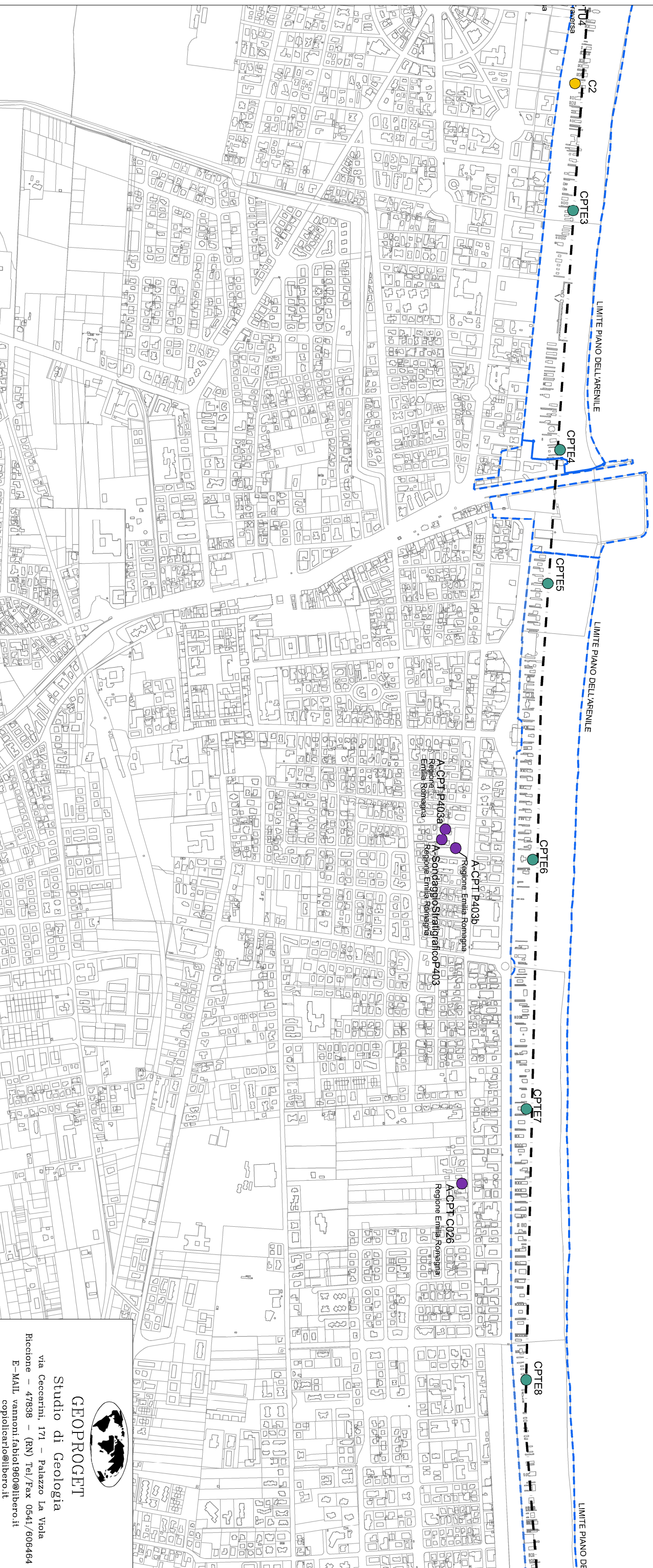
GEOPROGETT
Studio di Geologia
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
Riccione - 47838 - (RN) Tel./Fax 0541/606464
E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
copiolearte@libero.it



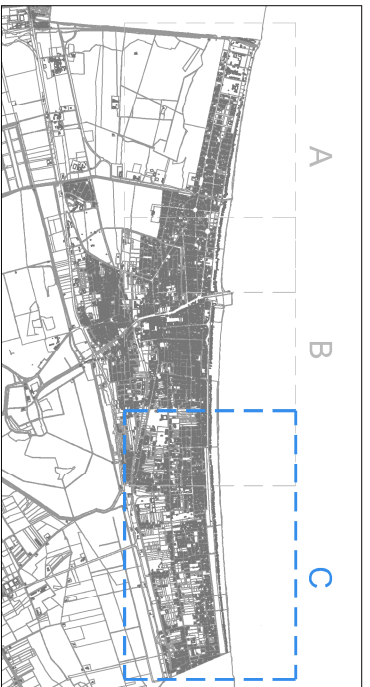
Key plan

Planimetria con ubicazione indagini in sito

Stralcio "B" - Scala 1:10.000



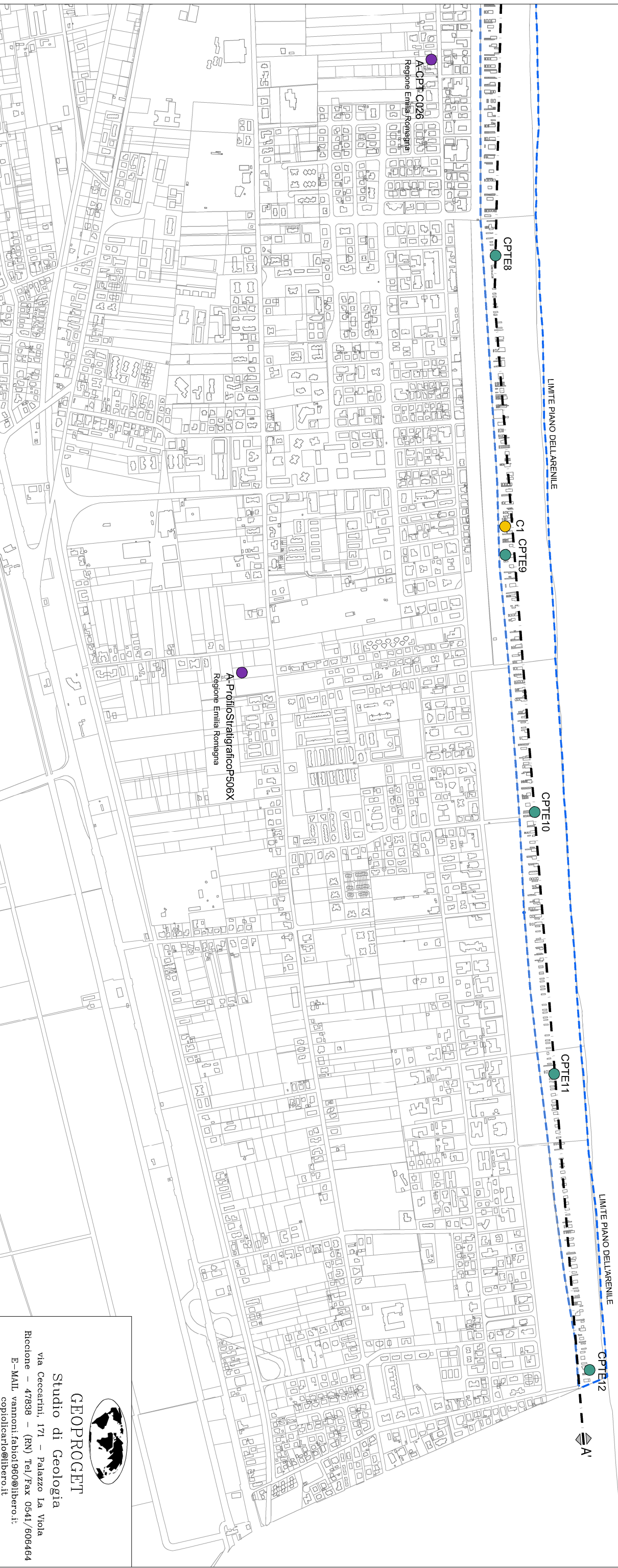
GEOPROGETT
 Studio di Geologia
 via Ceccerini, 171 - Palazzo La Viola
 Riccione - 47838 - (RN) Tel./Fax 0541/606464
 E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
 coppiolcario@libero.it



Keyplan

Planimetria con ubicazione indagini in sito

Stralcio "C" - Scala 1:10.000



GEOPROGETT

Studio di Geologia

via Ceccerini, 171 - Palazzo La Viola

Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464

E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
coppiolcarlo@libero.it

ALLEGATO N.4
"DINAMICA DELLA LINEA DI COSTA"




GEOPROGET

Studio di Geologia
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464
E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
copiolicarlo@libero.it

LEGENDA

Eventi di impatto mareggiata T1 (puntuale) 


Eventi di impatto mareggiata T10 (puntuale) 

Eventi di impatto mareggiata T100 (puntuale) 


Vulnerabilità mareggiata T10 (lineare)
alta vulnerabilità 


media vulnerabilità 


Opere 2005

 Difesa longitudinale aderente


 Difesa mista soffolta


 Difesa trasversale


 Foce armata


 Pennello


Geomorfologia 2005 (1:5.000)


 Barra di foce


 Basso fondo a barre


 Basso fondo a ridosso di opere trasversali


 Basso fondo di foce fluviale


 Basso fondo generico


 Basso fondo misto


 Difesa longitudinale distaccata


 Difesa mista soffolta


 Difesa trasversale


 Duna semi-stabilizzata


 Foce armata

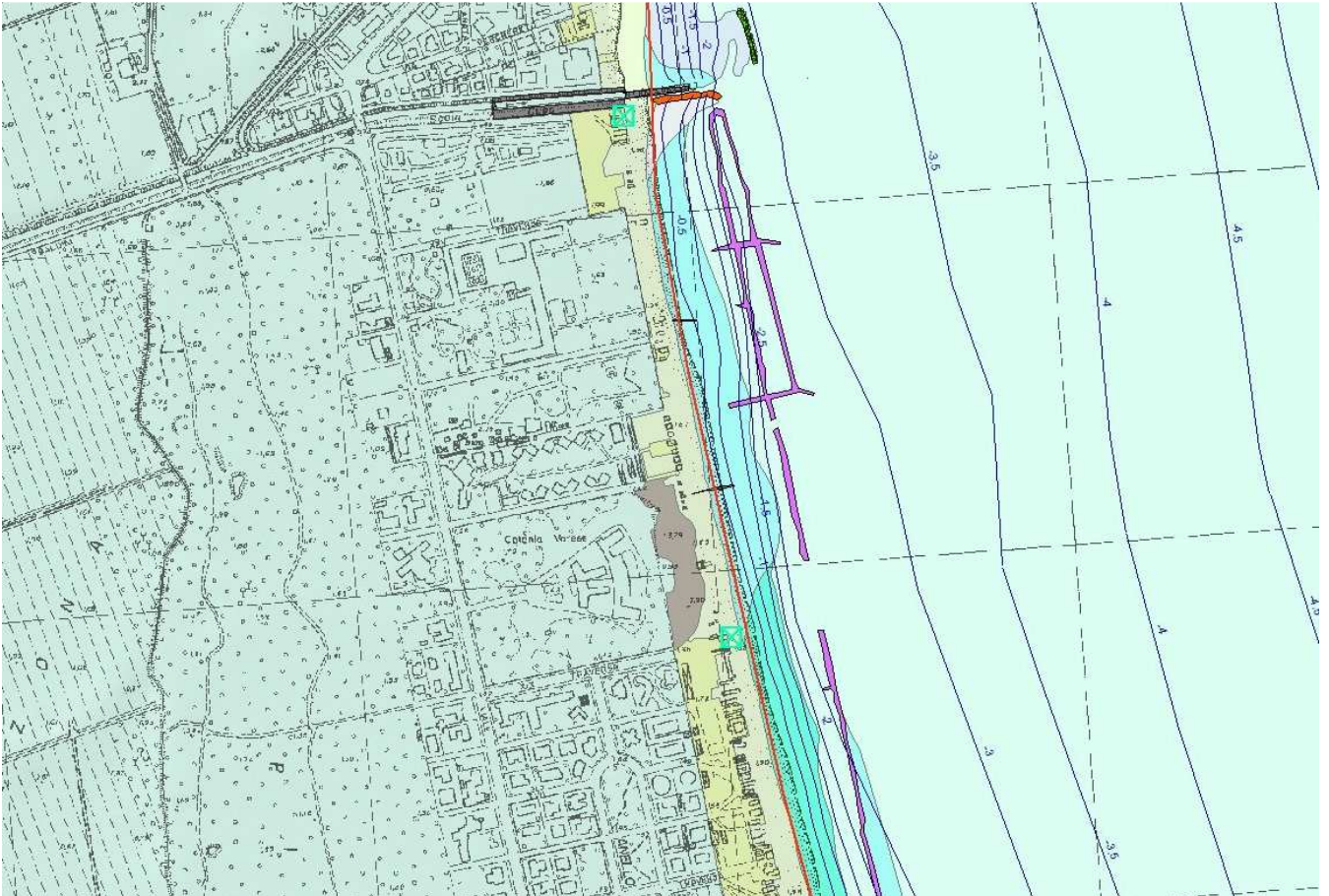
 Molo

 Pennello

 Spiaggia con infrastrutture

 Spiaggia emersa

 Terrazzo di bassa marea



ALLEGATO N. 4

ZONA SETTENTRIONALE – MILANO MARITTIMA

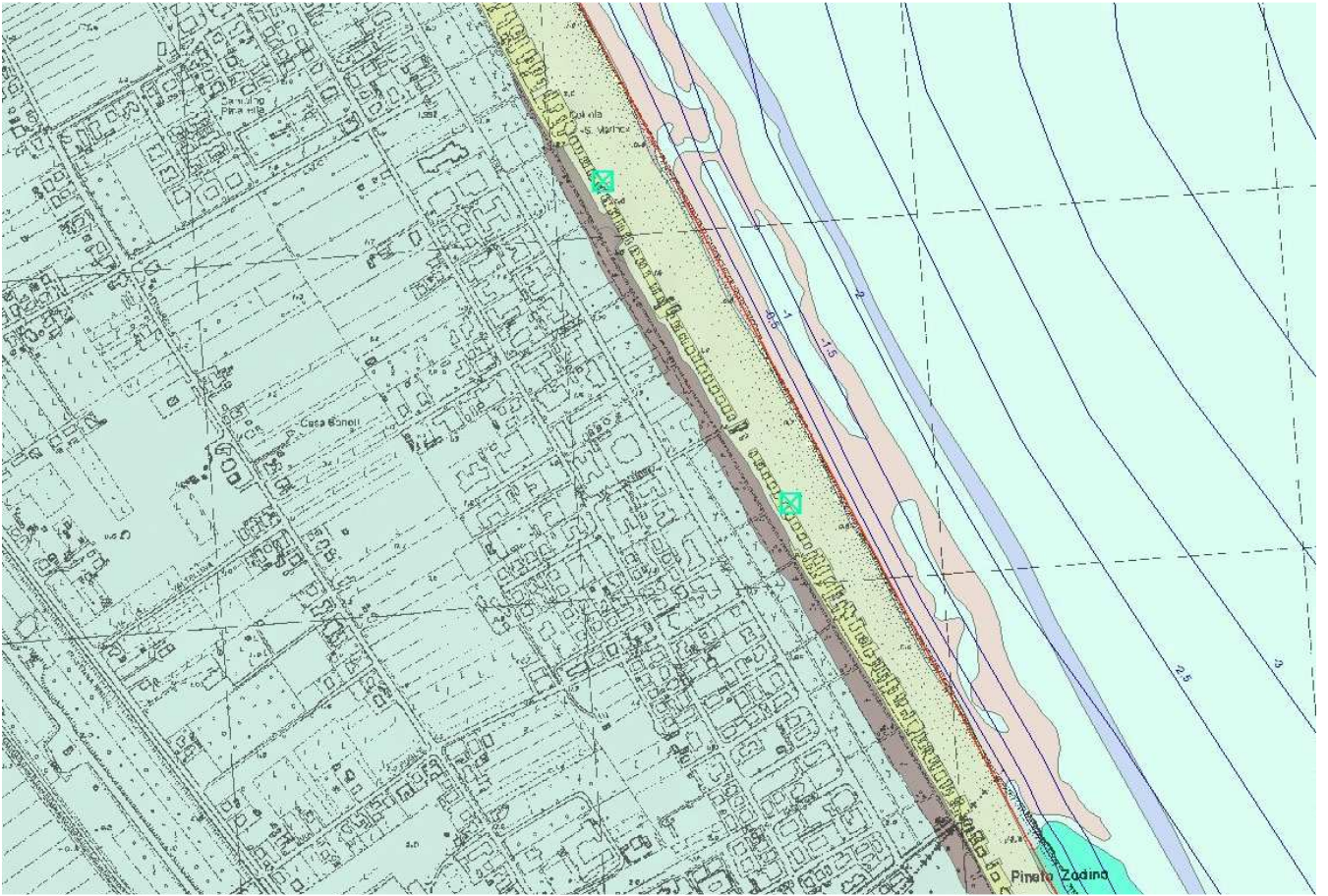




ALLEGATO N. 4

ZONA CENTRALE - PINARELLA DI CERVIA





ALLEGATO N. 4

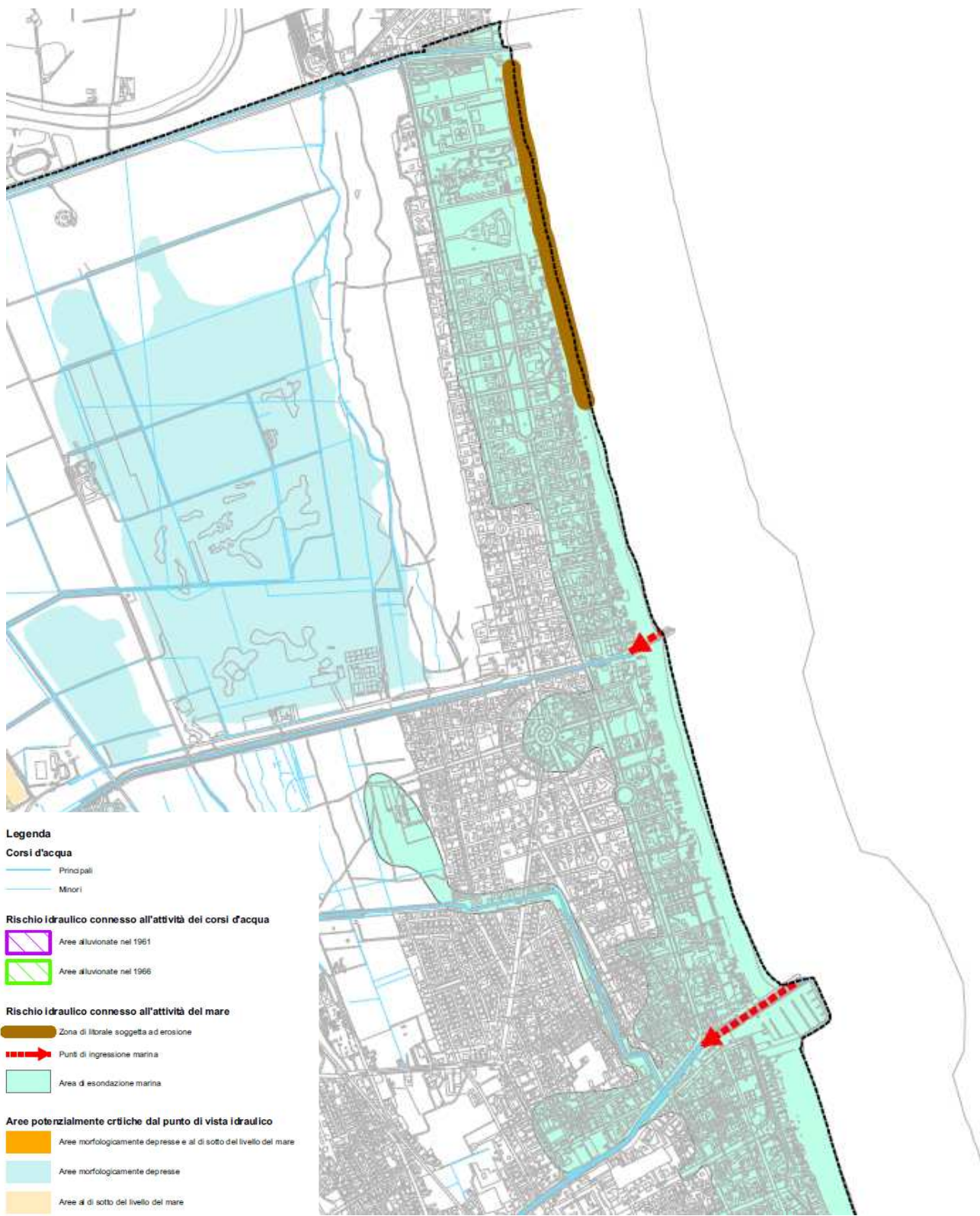
PINARELLA DI CERVIA - ZONA MERIDIONALE

ALLEGATO N.5
"STRALCIO PSC - CARTA DEL RISCHIO IDRAULICO "

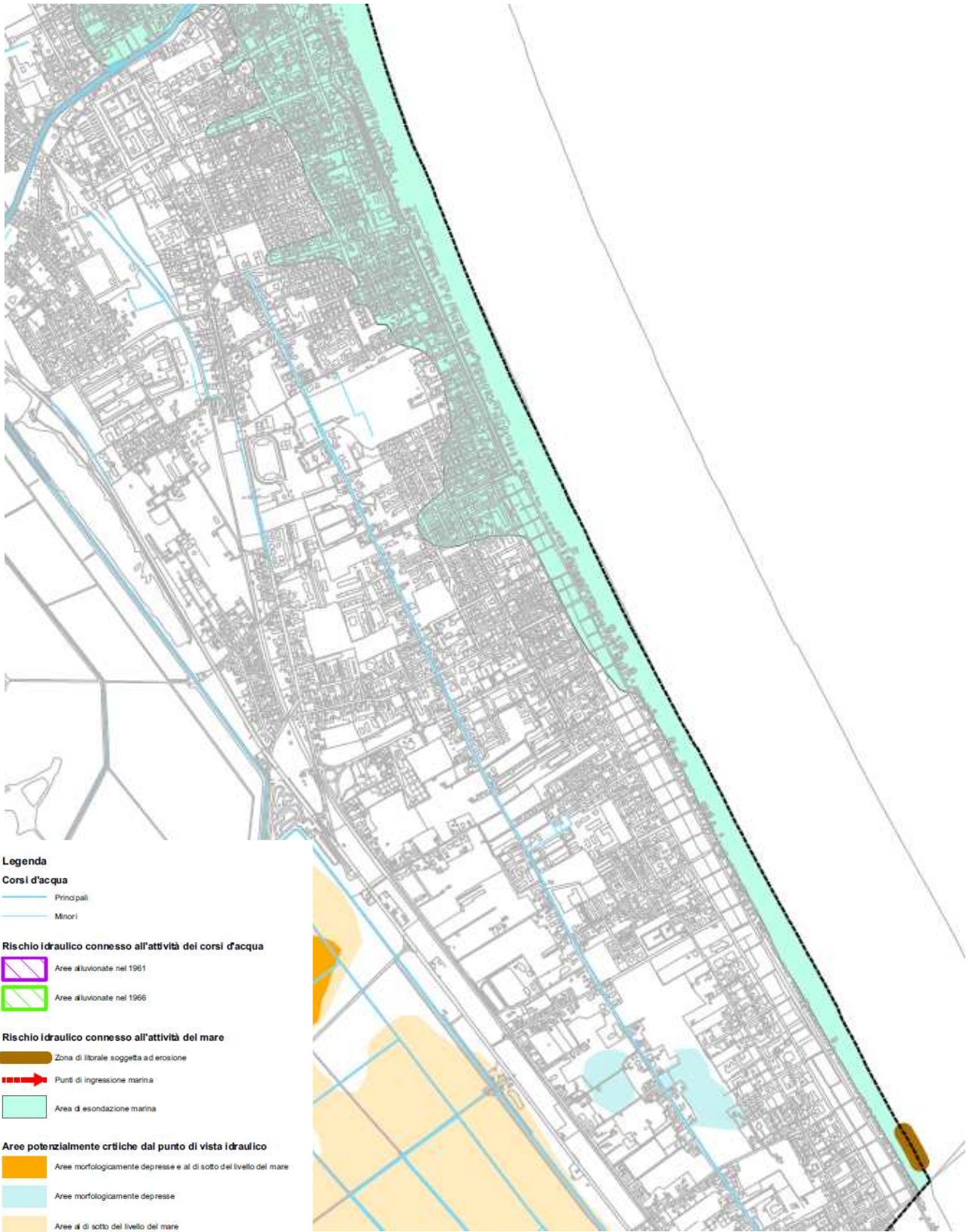


GEOPROGET

Studio di Geologia
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464
E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
copioicarlo@libero.it



FASCIA COSTIERA SETTENTRIONALE



FASCIA COSTIERA MERIDIONALE

ALLEGATO N.6
"DATI PLUVIOMETRICI - ELABORAZIONI STATISTICHE "



GEOPROGET

Studio di Geologia
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
Riccione - 47838 - (RN) Tel./Fax 0541/606464
E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
copiolicarlo@libero.it



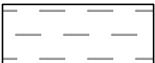

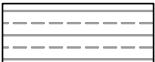

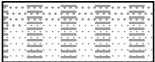
Zona di pianura fra Savio e Pisciatello-Rubicone

Stazione di Cervia

anno	SCROSCI [mm]			PIOGGE ORARIE [mm]				
	15'	30'	45'	1 h	3h	6h	12 h	24 h
1991	6.2	12.0	17.4	21.2	33.0	33.4	43.8	78.2
1992	10.0	14.2	18.2	22.2	27.2	28.6	46.6	59.0
1993	9.8	15.6	21.4	28.6	59.6	66.6	67.2	67.2
1994	11.8	15.2	18.6	21.4	38.2	58.4	86.2	109.8
1995	11.2	18.4	23.8	29.0	34.4	37.0	48.4	76.2
1996	11.2	17.0	19.6	28.8	47.0	69.0	104.2	140.0
1997	6.8	11.8	15.4	18.4	32.4	49.8	85.2	95.4
1998	9.2	14.2	18.4	21.4	35.0	43.8	46.8	47.0
1999	18.2	23.6	28.4	34.4	55.2	64.2	68.6	98.8
2000	4.8	8.4	11.4	13.0	28.0	45.0	53.8	55.8
2001	16.2	30.6	36.0	47.0	87.6	93.2	103.2	103.2
2002	12.8	17.4	22.0	22.4	24.6	28.4	46.0	57.4
2003	18.4	28.4	31.0	32.4	41.2	41.2	64.4	67.0
2004	10.0	12.8	15.4	18.2	26.0	42.2	43.2	44.2
2005	6.2	10.2	13.0	15.4	30.6	46.6	75.8	96.6
2006	13.0	20.8	27.8	31.8	40.4	49.2	60.2	65.4
2007	9.8	18.4	20.6	22.2	27.6	29.8	35.5	46.6
2008	22.4	23.2	23.8	24.6	24.8	24.8	33.2	46.2

ALLEGATO N.7
"SEZIONE GEOLITOLOGICA -LITORANEA-"
Scala 1:10.000/1:200

LEGENDA

- V**  **Livello superficiale**
Terreno sabbioso di colore nocciola con riporto antropico. A tratto orizzonti decimetrici argillosi. Caratteristiche geomeccaniche scarse.
- S**  **Sabbie mediamente addensate**
Sabbie medie e medio/fini ben classate con locali intercalazioni limo-argillose. Mediamente addensate e dotate di limitata compressibilità.
- H**  **Sabbie poco addensate**
Di origine litorale, medie e medio-fini, grigio giallastre, da poco a med. addensate e dotate di media compressibilità. Presenza occasionale di orizzonti decimetrici di alternanze con intercalazioni di sabbie limose fini e limo argillosi.
- AL**  **Alternanze**
Alternanze di sabbia da medio-fine a finissima con limo sabbioso di colore nocciola. Frequenti intercalazioni da centimetriche a decimetriche franco argillose e talora organiche. Caratteristiche geomeccaniche da scarse a sufficienti e modesta compressibilità.
- L**  **Argille-limose mediamente compatte**
di origine alluvionale con caratteristiche geotecniche sufficienti-discrete e a contenuta compressibilità. Presenza di livelli decimetrici a maggior contenuto sabbioso, di argille compressibili ed argille mediamente compatte.
- SH**  **Sabbie limose e limi sabbioso-argillosi**
Orizzonte discontinuo e lenticolare di origine alluvionale in matrice limo-argillosa di sabbie med. consistenti-compatte e a compressibilità variabile da media a scarsa.
- C**  **Argille con limo compressibili**
Di natura palustre/lagunare, colore grigio scuro-nerastro con scarse caratteristiche geotecniche ed elevata compressibilità.

 **CPTe-1** Prove penetrometriche statiche in sezione

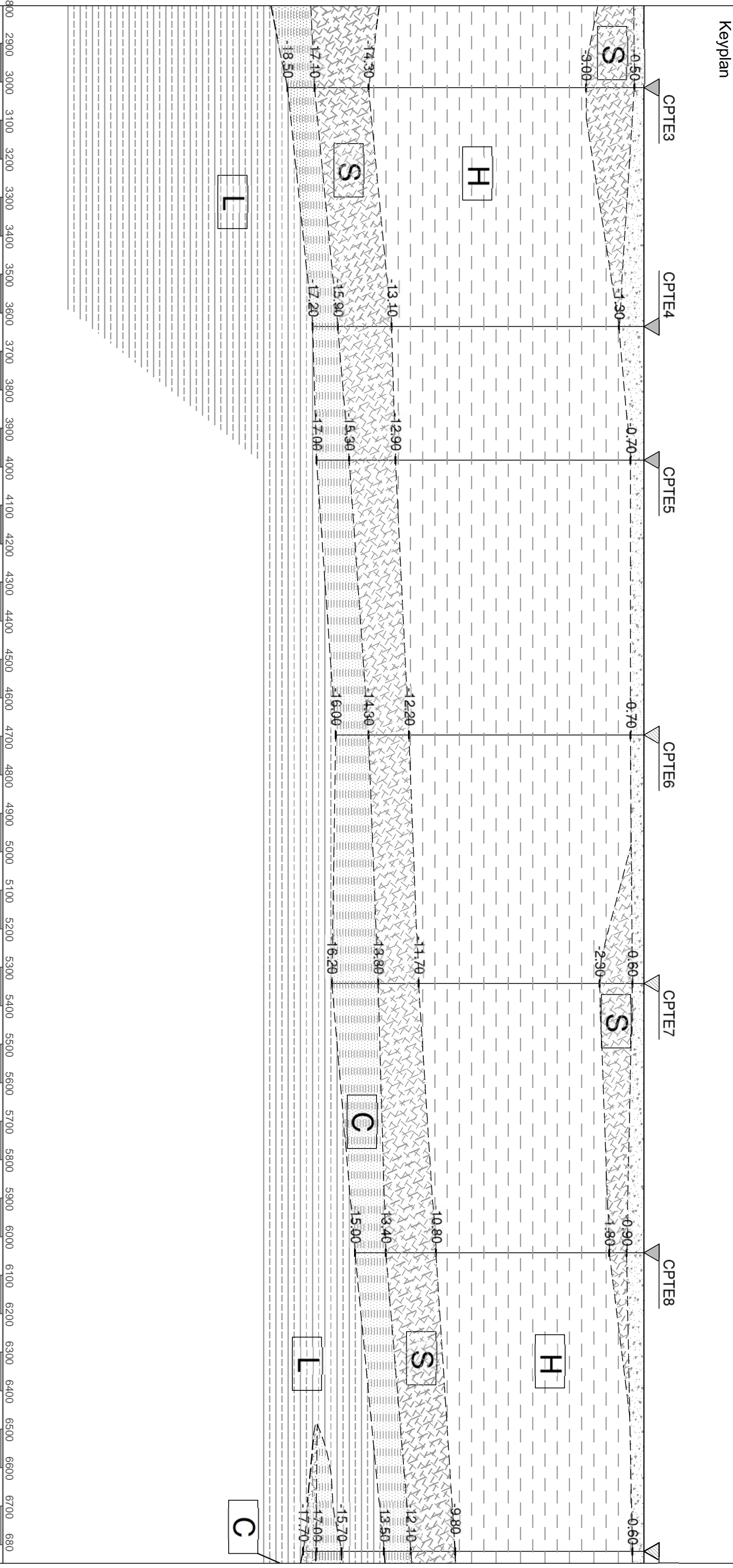
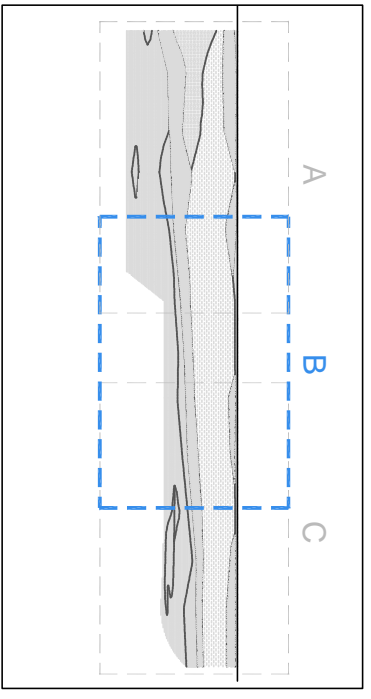
 **CPTe-1** Prove penetrometriche statiche in proiezione



GEOPROGET

Studio di Geologia
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464
E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
copiolcarlo@libero.it

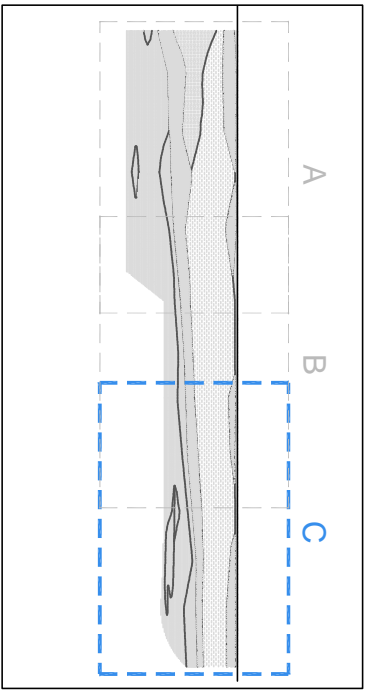
Sezione litostratigrafica
Stralcio "B" - Scala 1:10.000



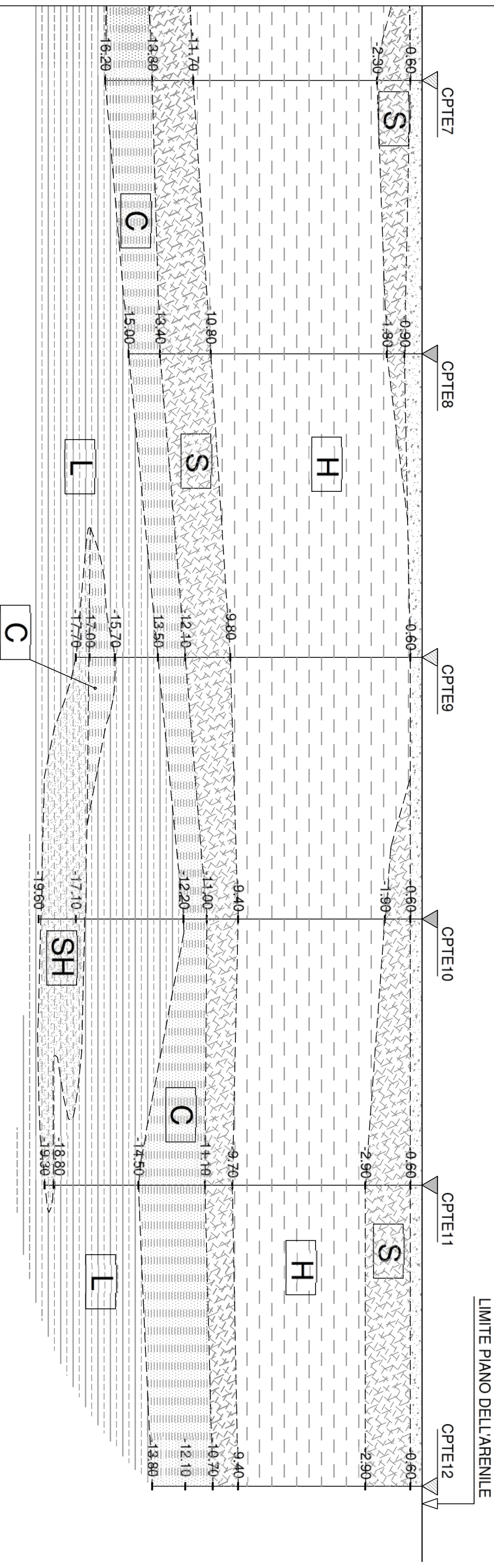
GEOPROGETT
Studio di Geologia

via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
Riccione - 47838 - (RN) Tel./Fax 0541/806464
E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
copiofficina@libero.it

Sezione litostratigrafica
Stralcio "C" - Scala 1:10.000



Keyplan



5200 5300 5400 5500 5600 5700 5800 5900 6000 6100 6200 6300 6400 6500 6600 6700 6800 6900 7000 7100 7200 7300 7400 7500 7600 7700 7800 7900 8000 8100 8200 8300 8400 8500 8600 8700 8800 8900 9000



GEOPROGETT
Studio di Geologia
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
Riccione - 47838 - (RN) Tel./Fax 0541/806464
E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
copiofficario@libero.it

ALLEGATO N.8a

"CARTA DELL'INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E DEI
CEDIMENTI SISMICI ATTESI PER MW = 5,50"

LEGENDA

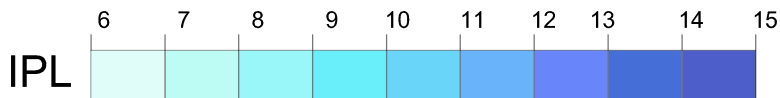
● CPTE1- Verticali per la verifica di liquefacibilità (Mw=5,50)

----- Limite Piano dell'Arenile

IPL Indice di Potenziale Liquefazione

LSN Entità dei fenomeni di deformazione

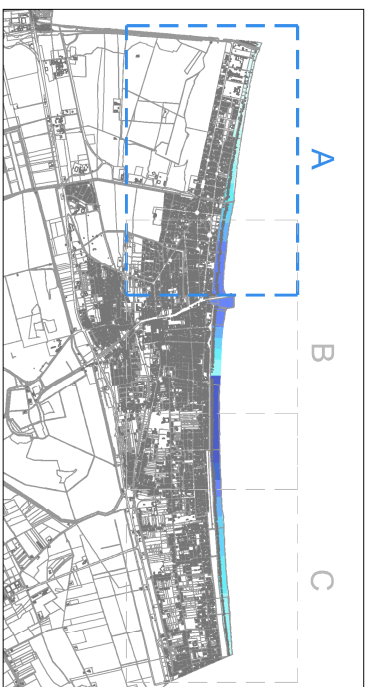
Stot Cedimenti totali



GEOPROGET

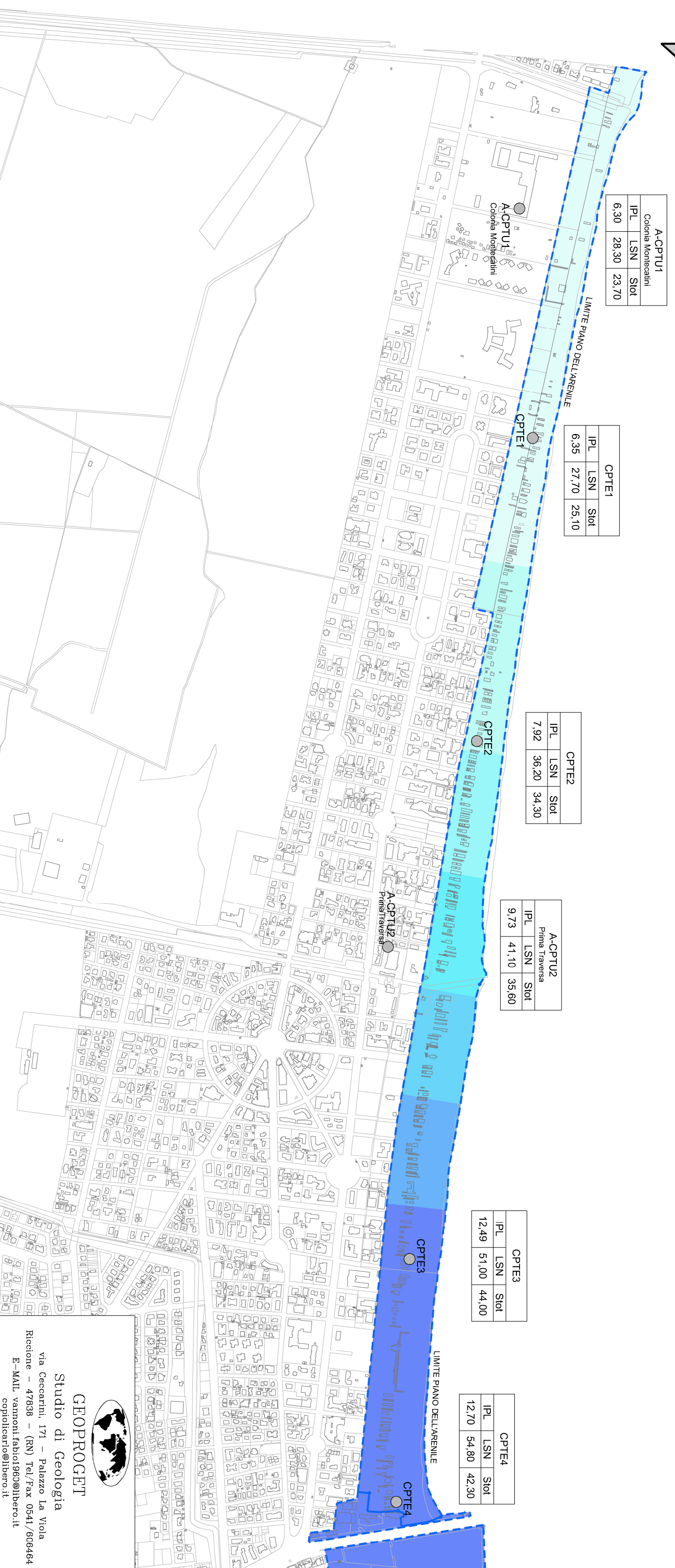
Studio di Geologia
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464
E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
copiolicarlo@libero.it

Carta del potenziale di liquefazione e dei cedimenti sismici attesi per $M_w = 5,50$
Stralcio "A" - Scala 1:10.000



Keyplan

Settore Settentrionale Centrale a $m_{ax} s = 0,213$ g in condizione di "Free fields"



GEOPROGETT

Studio di Geologia

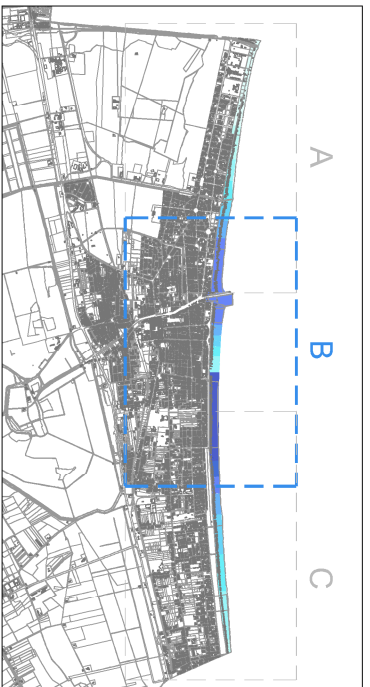
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola

Riccione - 47838 - (RN) Tel./Fax 0541/606464

E-MAIL vannoni.fabio1963@libero.it

coppiolcarlo@libero.it


A B C



Keyplan

Carta del potenziale di liquefazione e dei cedimenti sismici attesi per $M_w = 5,50$

Stralcio "B" - Scala 1:10.000

Settore Settentrionale Centrale $a_{max\ s} = 0,213\ g$ in condizione di "Free fields"  Settore Meridionale $a_{max\ s} = 0,236\ g$ in condizione di "Free fields"






GEOPROGETT
 Studio di Geologia
 via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
 Ricerche - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464
 E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
 coppiolcarlo@libero.it

Carta del potenziale di liquefazione e dei cedimenti sismici attesi per Mw = 5,50
 Stralcio "C" - Scala 1:10.000



Keyplan

Settore Meridionale $a_{max} s = 0.236$ g in condizione di "Free fields" 

GEOPROGETT
 Studio di Geologia
 via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
 Riccione - 47838 - (RN) Tel./Fax 0541/606464
 E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
 copioficario@libero.it

ALLEGATO N.8b

"CARTA DELL'INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E DEI
CEDIMENTI SISMICI ATTESI PER MW = 6,14"

LEGENDA

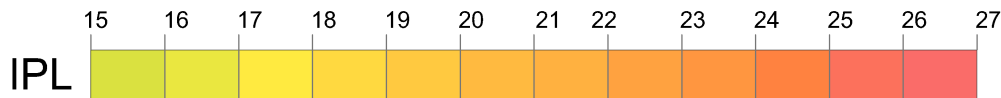
● CPTE1- Verticali per la verifica di liquefacibilità (Mw=6,14)

----- Limite Piano dell'Arenile

IPL Indice di Potenziale Liquefazione

LSN Entità dei fenomeni di deformazione

Stot Cedimenti totali

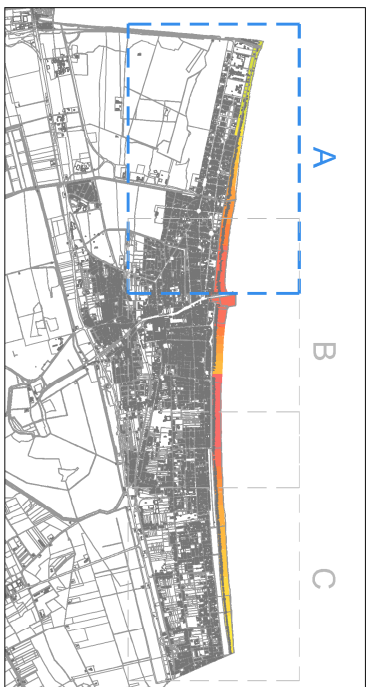


GEOPROGET

Studio di Geologia
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464
E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
copiolicarlo@libero.it

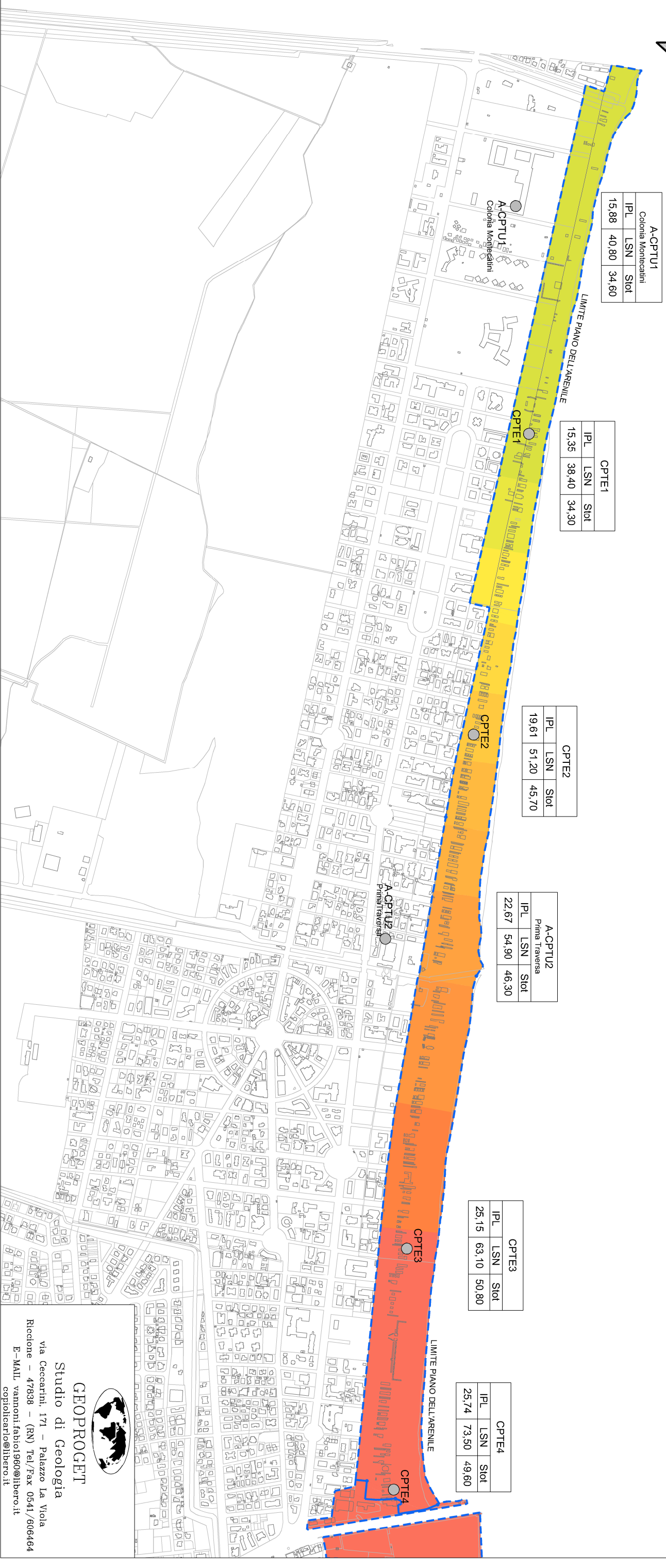
Carta del potenziale di liquefazione e dei cedimenti sismici attesi per Mw = 6,14

Stralcio "A" - Scala 1:10.000



Keyplan

Settore Settentrionale Centrale a $\max s = 0.213$ g in condizione di "Free fields"



GEOPROGETT
Studio di Geologia

via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
Riccione - 47838 - (RN) Tel./Fax 0541/606464
E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
copliocarri@libero.it

Carta del potenziale di liquefazione e dei cedimenti sismici attesi per Mw = 6,14
 Stralcio "B" - Scala 1:10.000



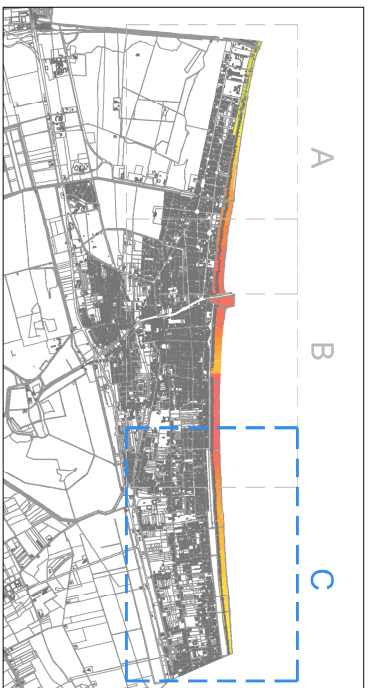
Keyplan

Settore Settentrionale Centrale $a_{max\ s} = 0.213\ g$ in condizione di "Free fields" Settore Meridionale $a_{max\ s} = 0.236\ g$ in condizione di "Free fields"




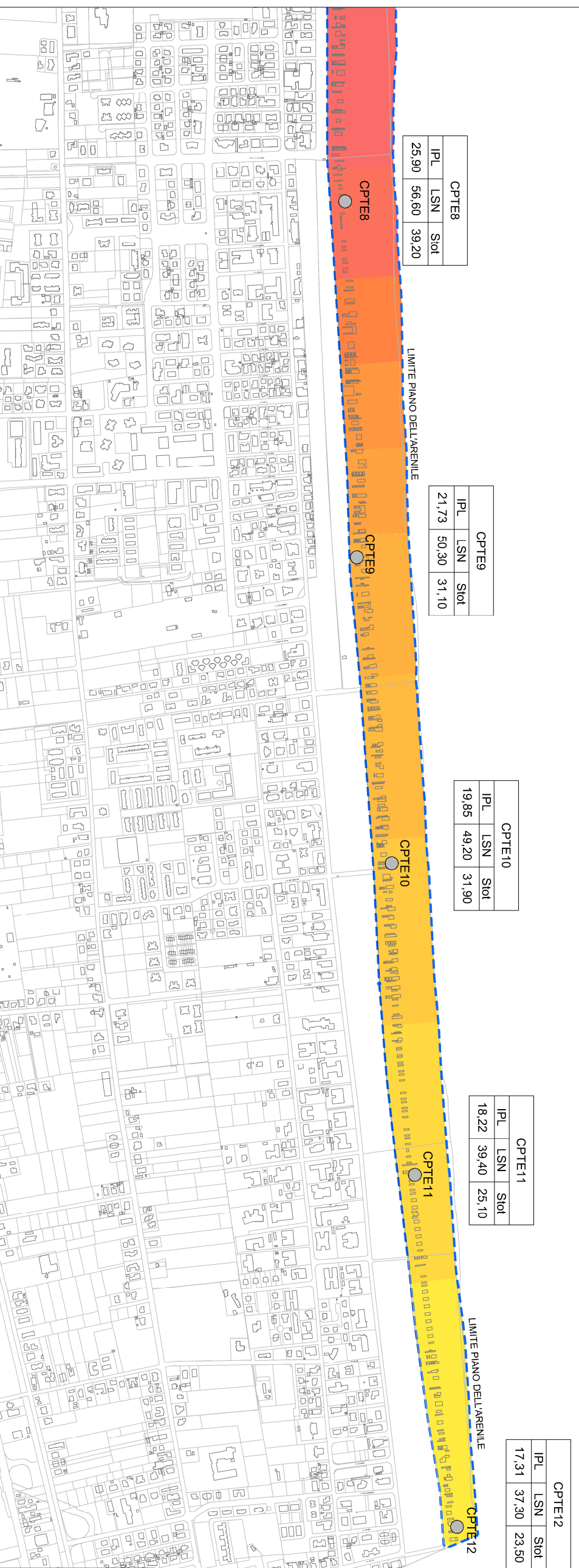
GEOPROGETT
 Studio di Geologia
 via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
 Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/608464
 E-MAIL vannoni.fabio@geoprogett.it
 copilot@geoprogett.it

Carta del potenziale di liquefazione e dei cedimenti sismici attesi per Mw = 6, 14
 Stralcio "C" - Scala 1:10.000



Keyplan

Settore Meridionale $a_{max} s = 0.236 g$ in condizione di "Free fields" 



**Studio di Geologia
 GEOPROGET**
 via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
 Roccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464
 E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
 copiolivari@libero.it

ALLEGATO N.9
"MANIFESTAZIONI SUPERFICIALI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE"

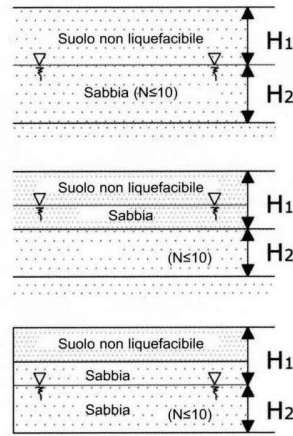
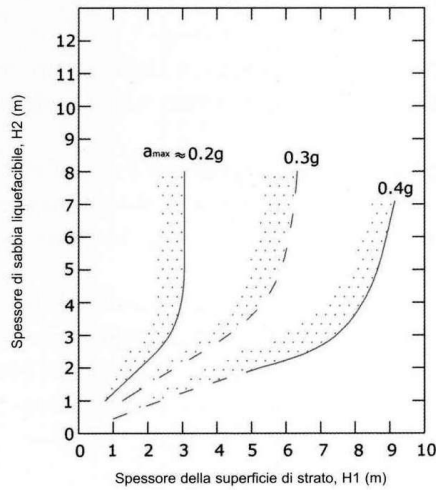


GEOPROGET

Studio di Geologia
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464
E-MAIL vannoni.fabio1960@libero.it
copiolicarlo@libero.it

Valutazione delle manifestazioni superficiali in funzione del rapporto fra lo spessore dello strato superficiale non liquefacibile e quello sottostante liquefacibile

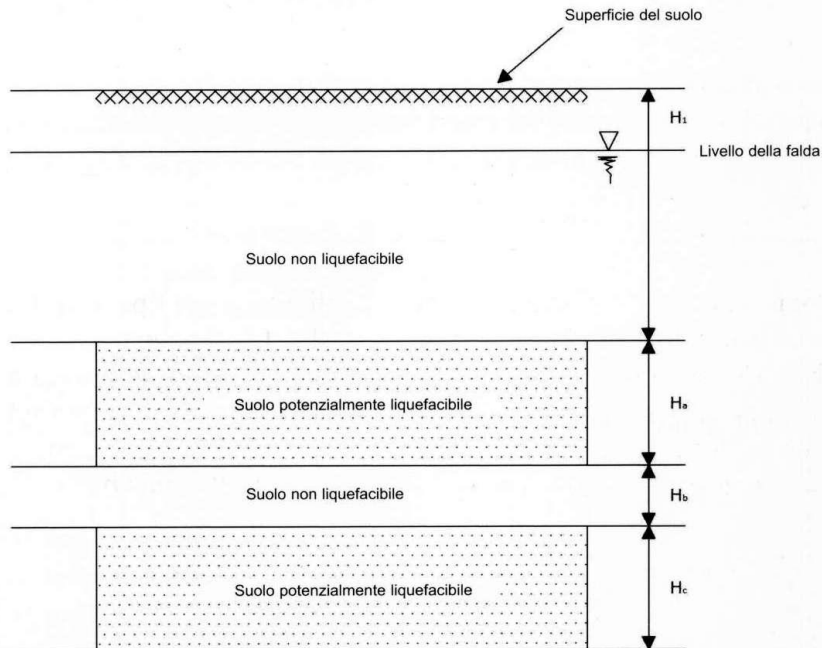
Accelerazione [gal] 1 gal = 1 cm/s ²	Condizione	Propagazione della liquefazione verso l'alto	Manifestazioni superficiali
200	$h_1 \geq 3 \text{ m e } h_2 < 3 \text{ m}$	IMPEDITA	NO
	$h_1 \leq 3 \text{ m e } h_2 > 3 \text{ m}$	NON IMPEDITA	SI
300	$h_1 < 5 \text{ m e } h_2 > 4 \text{ m}$	NON IMPEDITA	SI
	$h_1 > 5 \text{ m e } h_2 < 4 \text{ m}$	IMPEDITA	NO
400 - 500	$h_1 < 7 \text{ m e } h_2 > 3 \text{ m}$	NON IMPEDITA	SI
	$h_1 > 7 \text{ m e } h_2 < 3 \text{ m}$	IMPEDITA	NO



(a)

(a)

Relazione fra lo spessore dello strato liquefacibile e lo spessore dello strato sovrapposto (Ishihara, 1985)



se $h_b \leq h_c$ $h_2 = h_a + h_b + h_c$

se $h_b > h_c$ $h_2 = h_a$

Diagramma schematico per la determinazione di h_1 e h_2