



COMUNE DI CATTOLICA
(Provincia di Rimini)



PIANO OPERATIVO COMUNALE – L.R. 20/2000 e ss.mm.ii. – art. 30

ALLEGATO 5A

RELAZIONE GEOLOGICO - SISMICA

CON INTEGRAZIONI RICHIESTE DALLA PROVINCIA DI RIMINI IN DATA 27/11/2017 (PROT. 45037/2017)

ADOZIONE: Del. C.C. n. 69 del 11/12/2015

APPROVAZIONE: Del. C.C. n..... del

MARZO 2018



COMUNE DI CATTOLICA
(Provincia di Rimini)

POC 2015

PIANO OPERATIVO COMUNALE – L.R. 20/2000 e ss.mm.ii. – art. 30

ALLEGATO 5A

RELAZIONE GEOLOGICO - SISMICA

CON INTEGRAZIONI RICHIESTE DALLA PROVINCIA DI RIMINI IN DATA 27/11/2017 (PROT. 45037/2017)

ADOZIONE: Del. C.C. n. 69 del 11/12/2015

APPROVAZIONE: Del. C.C. n..... del

Il Sindaco	L'Assessore all'Urbanistica, Lavori Pubblici, Patrimonio, Demanio, Protezione Civile	Il Segretario Generale
Mariano GENNARI	Fausto BATTISTEL	Silvia SANTATO

Responsabile	Comune di Cattolica:
dott. Geol. Samuel Sangiorgi	Gilberto FACONDINI (dirigente Urbanistica) Luca GAMUCCI (Urbanistica) Raffaella BOGA (Ambiente)

MARZO 2018

Indice generale

1	INTRODUZIONE.....	2
1.1	Aspetti metodologici.....	2
1.2	Gli interventi previsti dal POC.....	3
2	ELEMENTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI.....	5
2.1	Caratteristiche litostratigrafiche generali.....	5
2.2	Assetto litologico e strutturale.....	7
2.3	Assetto geomorfologico.....	8
3	ELEMENTI IDROGEOLOGICI E IDRAULICI.....	11
3.1	Inquadramento idrogeologico.....	11
3.2	Criticità idrauliche.....	13
4	ELEMENTI GEOTECNICI.....	17
4.1	Indagini geognostiche e geofisiche di riferimento.....	17
4.2	Classificazione geotecnica preliminare degli interventi di POC.....	20
5	PERICOLOSITA' SISMICA.....	23
5.1	Pericolosità di base ed eventi di riferimento.....	23
5.2	Ulteriori elementi di pericolosità sismica ai fini della pianificazione territoriale: la DAL regionale n.112/2007.....	29
5.3	La microzonazione sismica comunale.....	31
5.3.1	Cenni introduttivi.....	31
5.3.2	Le Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica e la microzonazione di "livello 2".....	31
5.3.3	Gli approfondimenti di "livello 3".....	37
6	CONDIZIONI DI SOSTENIBILITA' E PROPOSTA NORMATIVA.....	52
7	ELABORATI CARTOGRAFICI E ALLEGATI.....	54
7.1	Allegato 5B - Indagini.....	54
7.2	Allegato 5C - Stralci cartografie geologico-sismiche- criticità idraulica.....	54
7.2.1	Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni (stralcio 1:7.500).....	54
7.2.2	Carta delle Velocità delle Onde di Taglio S (stralcio 1:7.500).....	54
7.2.3	Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (stralcio 1:7.500).....	55
7.2.4	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (stralcio 1:7.500).....	56
7.2.5	Carta di Microzonazione Sismica Livello 3 (stralcio 1:7.500): Fa Pga.....	57
7.2.6	Carta di Microzonazione Sismica Livello 3 (stralcio 1:7.500): Fa SI (0,1-0,5s).....	57
7.2.7	Carta di Microzonazione Sismica Livello 3 (stralcio 1:7.500): Fa SI (0,5-1,0s).....	57
7.2.8	Cartografia di sintesi della pericolosità idraulica (POC).....	57
8	SCHEDE DI SINTESI.....	58

1 INTRODUZIONE

1.1 Aspetti metodologici

Lo Studio scrivente è stato incaricato di elaborare le analisi geologiche e sismiche per gli interventi inseriti nel POC 2015 del Comune di Cattolica. In tal senso, la presente Relazione riporta:

1. gli elementi geologici e sismici essenziali e utili ai fini delle valutazioni di fattibilità degli interventi previsti;
2. le valutazioni generali e/o specifiche sulla sostenibilità degli interventi previsti e la redazione di una proposta normativa funzionale alle successive fasi attuative o costruttive;
3. le schede sintetiche degli interventi, che riepilogano gli aspetti geologici e sismici essenziali, le eventuali criticità riscontrate e gli elementi prescrittivi propedeutici alla successiva fase attuativa o al permesso di costruire;
4. la descrizione degli elaborati cartografici di caratterizzazione geologico-sismica, di riferimento per tutti gli interventi di POC.

Gli elaborati geologico-sismici sono stati ordinati all'interno della complessiva documentazione tecnica a corredo del POC, con i seguenti titoli:

- ✓ ALLEGATO 5A Relazione Geologico-Sismica
- ✓ ALLEGATO 5B Relazione Geologico-Sismica – Allegati: indagini
- ✓ ALLEGATO 5C Stralci cartografie Geologico-Sismiche-Criticità Idraulica

Lo studio si è basato sugli elementi conoscitivi già disponibili per il Comune di Cattolica alla scala territoriale: il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP), il Piano Strutturale Comunale (PSC) e il precedente Piano Operativo Comunale (POC approvato con Deliberazione comunale n. 44 del 21/04/2009, scaduto e non più efficace dal 01/07/2014).

Altri elementi sono desunti dalle cartografie e dalle analisi elaborate dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS) della Regione Emilia-Romagna.

Per gli aspetti di criticità idraulica, come vedremo, si sono considerati i contenuti del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) relativo al Distretto Idrografico dell'Appennino settentrionale (di pertinenza della RER) e i contenuti del Piano di Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) del bacino Marecchia-Conca.

Un ulteriore e fondamentale riferimento conoscitivo è fornito dallo studio di microzonazione sismica di "livello 2" del territorio urbanizzato e urbanizzabile, con ulteriori approfondimenti di "livello 3" per quanto riguarda le aree del territorio comunale ricomprese in "Ambito M" della fascia mare e arenile. Tale studio è stato elaborato dallo Scrivente nel corso del 2013, secondo i criteri generali dettati

nell'OPCM 4007/2012 e secondo i criteri per gli studi di microzonazione sismica riportati negli allegati della deliberazione della Giunta Regionale (Emilia-Romagna) n. 1302 del 10/09/2012. Sono state eseguite indagini geognostiche e geofisiche di essenziale supporto anche per le analisi geologiche e sismiche di questo POC.

Si è potuto disporre, infine, di informazioni geognostiche pregresse recuperate dai seguenti archivi:

- Banca Dati delle indagini "in situ" predisposta dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS)
- Ufficio Tecnico del Comune di Cattolica (Relazioni Geologiche allegate a istanze di permessi di costruire)
- ufficio di Pianificazione del Comune di Cattolica (Relazioni Geologiche elaborate per la variante Generale al Piano Regolatore comunale – 1995 - e per ulteriori Varianti specifiche del 1996 e; 1997).

1.2 Gli interventi previsti dal POC

L'istruttoria di valutazione delle proposte ha portato all'inserimento nel POC di 31 istanze di intervento (figura 1.1), suddivise in:

- A) Interventi relativi a trasformazioni e dismissione di esercizi alberghieri (22 proposte)
- B) Interventi in Ambiti del PSC (9 proposte)

Le proposte A) rappresentano interventi puntuali, riferiti a trasformazioni residenziali/commerciali di esercizi non più in grado di rispondere agli standard richiesti oggi per una struttura alberghiera, la cui collocazione nel tessuto urbano non consente nella maggior parte dei casi ampliamenti per l'adeguamento degli spazi, e la cui dimensione media è troppo bassa per poter fornire oggi un adeguato livello di servizio. Tutte queste proposte prevedono modalità di intervento attraverso permesso di costruire convenzionato.

Le proposte B) rappresentano invece interventi che attueranno previsioni del PSC attraverso l'assegnazione di diritti edificatori per usi diversi. In questo caso, le proposte prevedono modalità di intervento attraverso permesso di costruire convenzionato oppure Piano attuativo di iniziativa privata.

Nella presente Relazione, gli interventi sono definiti con la medesima nomenclatura riportata nei documenti tecnici e descrittivi del POC.

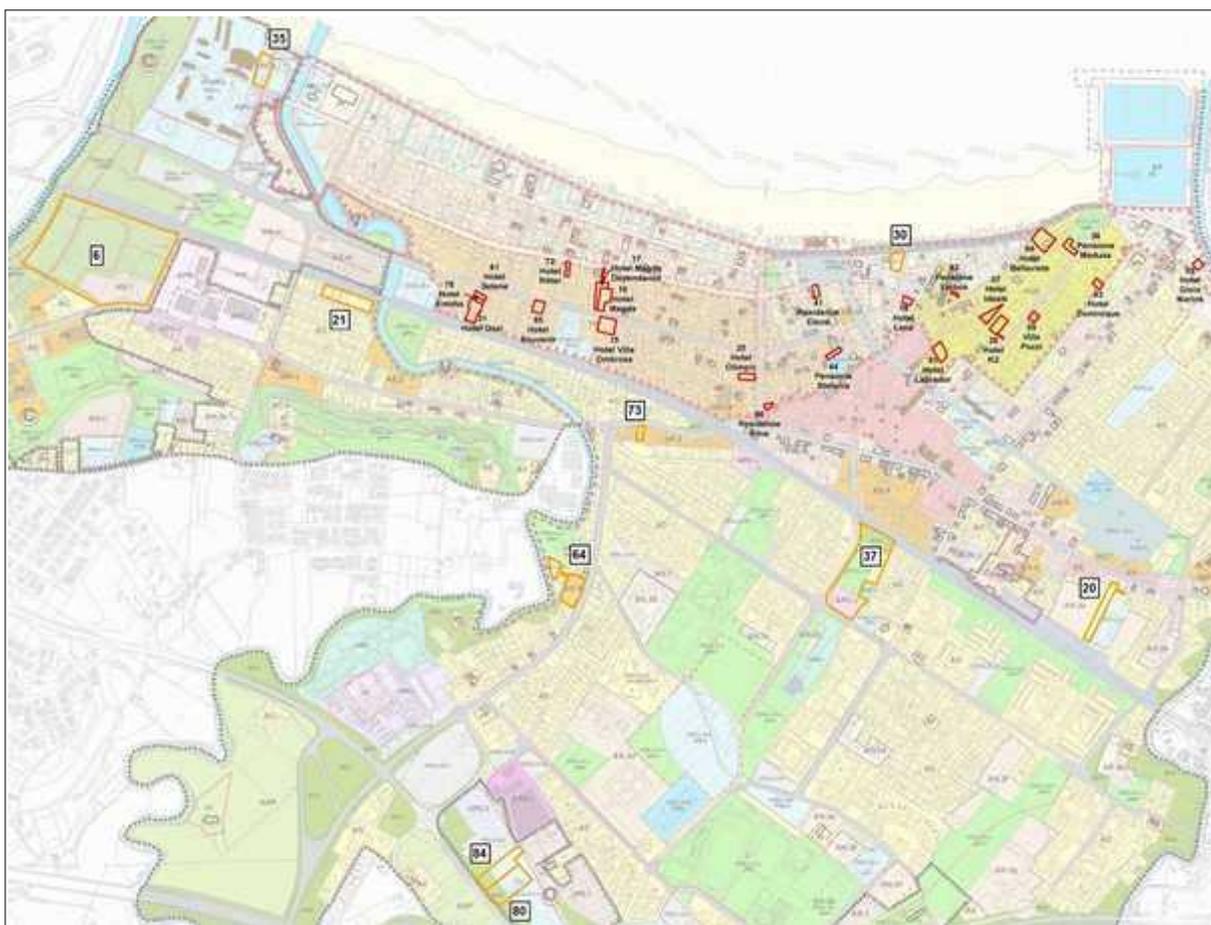


Figura 1.1 – Localizzazione degli interventi inseriti nel POC 2015. In rosso: interventi relativi a trasformazioni e dismissione di esercizi alberghieri; in arancione: interventi in Ambiti del PSC (NOTA: intervento n. 37 non inserito nel POC)

2 ELEMENTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

2.1 Caratteristiche litostratigrafiche generali

L'assetto geologico strutturale del territorio comunale di Cattolica è quello tipico del "margine appenninico" e di costa, ovvero la zona in cui l'alta pianura degli apparati distributori dei fiumi passa ad un contesto di pianura deposizionale, che in parte del territorio comunale coincide con la fascia costiera. Questa zona di passaggio, assai difficile da delimitare e definire oggettivamente, costituisce un importante "tramite" geo-morfologico tra catena e piana costiera: è qui che le valli fluviali ricevono il massimo della portata di deflusso e devono ampliare il loro letto, è al limite estremo di questa zona in cui si formano gli apici dei conoidi (apparati distributori dei sedimenti trasportati dai fiumi), apici che offrono anche il maggior contributo alla ricarica degli acquiferi dell'alta pianura.

La figura 2.1 riporta uno schema delle unità deposizionali affioranti nel territorio di Cattolica, così come riportate nella citata cartografia geologica elaborata dal SGSS regionale.

I sedimenti del substrato marino affioranti, di età compresa tra il Messiniano superiore e il Pleistocene, sono riconducibili a:

1. "Formazione delle Argille Azzurre" (identificata con la sigla "FAA" nella Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000) → affioranti nella limitata porzione di versante a ridosso di Montalbano (parte SO del Comune, verso l'Autostrada A14, esterna al territorio urbanizzato), si tratta di argille di colore grigio-azzurro con rare intercalazioni di arenarie giallastre in letti da sottili a spessi, e argille marnose e siltose grigie in letti sottili e molto sottili. Sono fossilifere, ricche in foraminiferi e macrofossili, spesso bioturbate, a stratificazione poco marcata. Sono talora diffusi slumps con olistoliti di gesso derivati da unità evaporitiche. Il limite inferiore paraconcordante sulla "Formazione a Colombacci." Depositi di scarpata e base scarpata. Potenza complessiva affiorante di circa 700 m. L'età deposizionale è attribuita al Piacenziano-Gelasiano;
2. Formazione a Colombacci (identificata con la sigla "FCO" nella Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000) → si tratta di argille, marne e marne argillose, grigie, grigio-scure, verdastre, viola o nere, in strati sottili e medi, con intercalati livelli carbonatici biancastri (colombacci), di spessore variabile, e subordinate siltiti e arenarie grigie medio-fini in sottili strati lenticolari ($A/P < 1/3$), lamine calcaree o calcareo-marnose. Nelle arenarie sono presenti frustoli carboniosi, gusci di Gasteropodi e Lamellibranchi ed evidenze di bioturbazione. Sono state distinte alcune litofacies, sulla base del rapporto arenite/pelite, intercalate a più livelli all'interno della formazione e che formano dei corpi più o meno lenticolari. È inoltre distinguibile una litofacies prevalentemente arenacea (sigla: FCOa), costituita da alternanze arenaceo-marnose in proporzioni variabili (A/P da 2/1 a 10/1), che

costituisce il bedrock affiorante nel rilievo di Monte Vici. Le arenarie, di colore grigio, sono caratterizzate da fitta laminazione piano-parallela, ondulata e incrociata, in strati medi, più raramente sottili o spessi, di colore grigio alterate in giallo o marrone. Marne e siltiti grigie in strati sottili e molto sottili, raramente medi. Formano corpi lenticolari di 2-40 m distribuiti ad altezze diverse entro FCO. L'età deposizionale è attribuita al Messiniano medio e superiore.

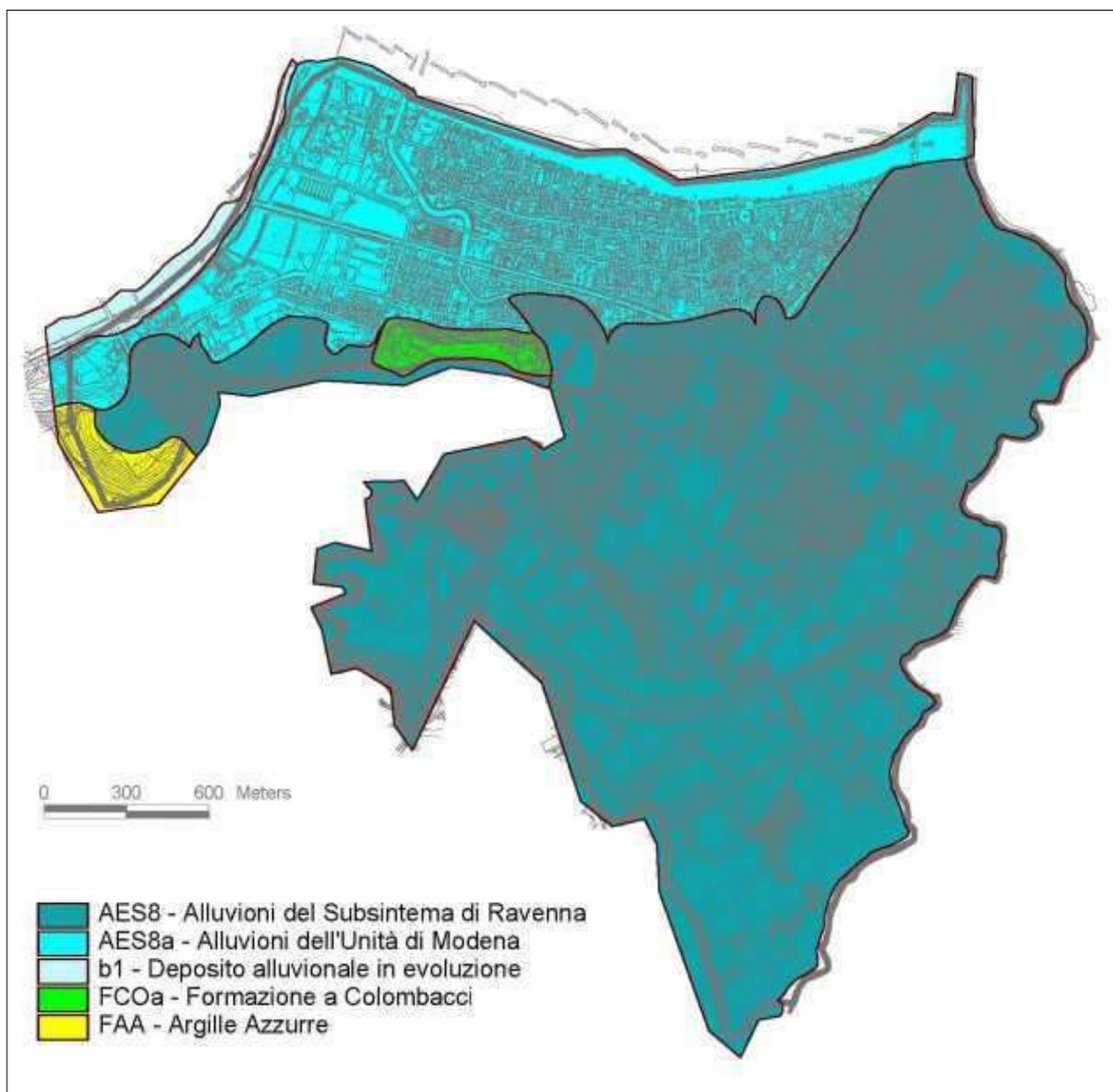


Figura 2.1– Schema dei depositi marini e alluvionali affioranti nel territorio di Cattolica (da: Carta Geologica dell'Emilia-Romagna, scala 1:10.000).

I depositi alluvionali affioranti sono invece riconducibili a:

3. “depositi alluvionali del subsistema di Ravenna” (identificati con la sigla “AES8” nella Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000) → si tratta di alluvioni eterometriche, costituite da ciottoli, sabbie e limi. Corrisponde nelle aree intravallive ai depositi terrazzati più

bassi. Rientrano in questa unità anche le alluvioni attualmente in evoluzione in alveo e quelle del primo terrazzo, talora fissate da arbusti. Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno, al tetto, colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'orizzonte decarbonatato da 0,3 ad 1 m e contengono reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. L'età deposizionale è riconducibile al Pleistocene superiore-Olocene.

La carta geologica regionale alla scala 1:10.000 distingue inoltre la seguente unità del subsistema di Ravenna:

“depositi alluvionali dell'Unità di Modena” (identificati con la sigla “AES8a” nella Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000) → sono sedimenti *alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi*. Il limite superiore è sempre affiorante e coincidente con il piano topografico, dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro al tetto. Il limite inferiore è generalmente dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive. L'età deposizionale è riconducibile all'Olocene - attuale.

2.2 Assetto litologico e strutturale

L'assetto tettonico strutturale che interessa il territorio di Cattolica è ben schematizzato nella figura 2.2, desunta dalla Relazione Geologica del PSC, che riproduce in profilo una ricostruzione molto ipotetica dell'andamento della struttura geologica più profonda come si desume dalla Carta geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano-romagnolo (A. Cerrina Ferroni et Al., 2002, RER e CNR), rielaborata da Viel & Associati (PSC 2006).

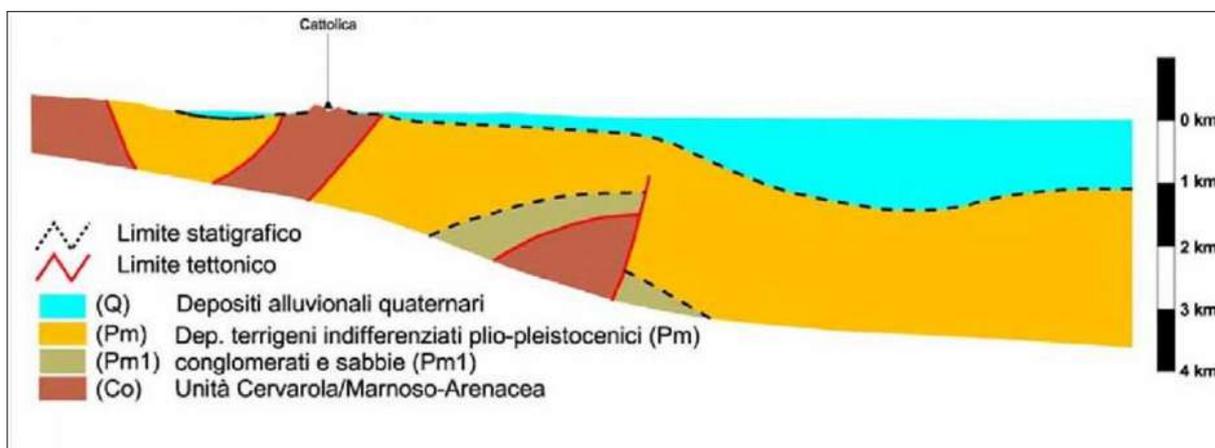


Figura 2.2 – Profilo ipotetico tracciato tra l'entroterra del Comune di Cattolica e l'antistante area "offshore".

La successione della Formazione a Colombacci/Argille azzurre del Pliocene inferiore¹, nella fase traslativa del Pliocene inferiore, si impila lungo il margine romagnolo con immersione assiale circa NW, sotto le strutture frontali della catena.

Come si può osservare le strutture tettoniche proseguono sepolte dai sedimenti anche nella zona marina, riproducendo lo stile per pieghe faglie (Adriatic Folds), caratterizzate da comportamenti fortemente disarmonici tra le successioni antiche e profonde ed i sedimenti terrigeni mio-pliocenici sovrastanti, come evidenziato da M. Pieri e G. Groppi (1981).

2.3 Assetto geomorfologico

L'assetto strutturale determina la fisiografia (assetto morfologico e climatico) del Comune di Cattolica. Il paesaggio visivo è profondamente segnato anche dall'andamento geografico, e dall'evoluzione morfologica dei maggiori corsi d'acqua che incidono la pianura alluvionale e costiera. L'andamento dei corsi d'acqua ripropone la storia dei loro rapporti con il mare e la sua capacità di "ricevere" in continuità le acque continentali, nell'immediata vicinanza delle foci, originariamente, erano presenti barre sabbiose sommerse, oggi completamente obliterate dalle difese artificiali della costa stessa.

La ricostruzione di sottosuolo conferma l'assetto morfologico fossilizzato nelle forme superficiali ancora oggi rilevabili (Viel & Associati, 2006), malgrado l'intensa urbanizzazione abbia certamente cancellato molte delle tracce fossili ancora presenti nel Milleottocento:

- la morfologia attuale presenta un significativo "berm" (vedi figura 2.3) che consente di dividere nettamente la porzione di "foreshore", di probabile età olocenica, e la porzione attualmente corrispondente alla zona costiera interessata dall'espansione urbana successiva al Millenovecentoventi. Si tratta di una scarpata di diversa altezza (da poco oltre i 6 metri a circa 3 metri) e di pendenza variabile, di difficile ricostruzione a causa delle manomissioni antropiche.

La ripa marina, è stata oggetto di numerosi studi, anche se non esistono valutazioni concordanti sull'epoca di formazione. Due sono le teorie principali sulla genesi: la prima ipotesi spiega che la scarpata si sarebbe formata durante la trasgressione "flandriana" o "versiliana" (circa 6.000 anni fa), cioè quando il mare raggiunse il suo massimo livello nel periodo di ottimo climatico neolitico (Parea, 1986, Veggiani, 1988), la seconda teoria, invece, ne attribuisce il periodo di formazione in età più recente, circa 2.000 anni fa (Coltorti, 1991, Elmi et alii, 1994).

La figura 2.4 propone una ricostruzione delle scarpate di berm ancora riconoscibili, sulla base del rilievo già pubblicato nella Relazione Geologica del PSC di Cattolica (Viel & Associati, 2006) e ulteriormente rielaborata per lo studio di microzonazione sismica (S. Sangiorgi, 2013);

¹ Nella Carta Geologico Strutturale dell'Appennino Emiliano Romagnolo (scala 1:250.000) la Formazione a Colombacci e le marne e argille affioranti nella porzione sud-ovest del territorio comunale, sono attribuite alla più generale "Unità Cervarola/Marnoso-Arenacea del Messiniano medio – pliocene inferiore.

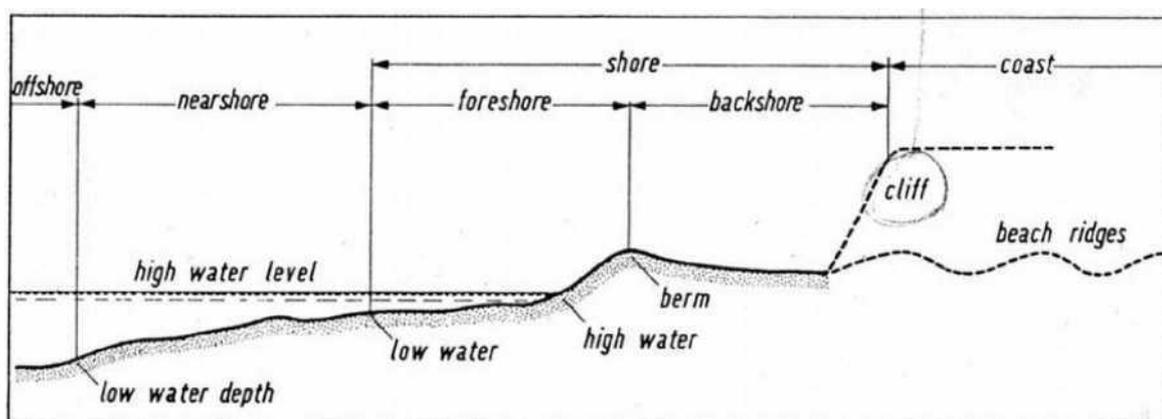


Figura 2.3 – Schema del profilo costiero e terminologia (da “Theoretical Geomorphology”, A. E. Scheidegger, 1965).

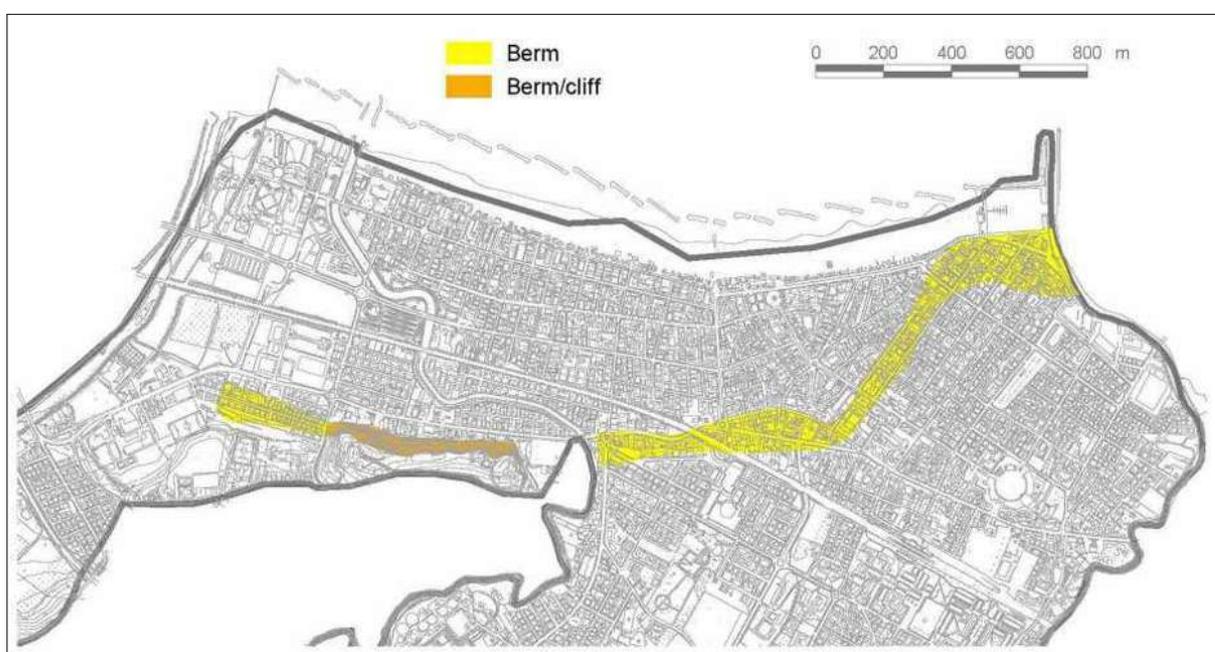


Figura 2.4– Rilievo della scarpata di “berm” e di “cliff” (Viel & Sangiorgi, 2006, rielaborata da Sangiorgi, 2013).

- il rilievo di Monte Vici (“Torre Conca”), appare come residuale di una demolizione del substrato marino operata dall’azione combinata del Ventena, del Conca, e del moto ondoso costiero, questa struttura morfologica costituisce un vero e proprio rilievo isolato di altezza assoluta massima pari a circa 35 metri slm. Si tratta di un residuo dell’antico “cliff” che localmente coincideva con il “berm” e che doveva avere sviluppo SSE-NNO (figura 2.4);
- il corso del Ventena appare caratterizzato da meandri “ereditati”: il confronto con l’andamento delle porzioni terminali degli alvei del Conca e del Tavollo, dimostra che questo tratto di pianura costiera presentava, e presenta tutt’ora, le acclività sufficienti ad un normale sbocco a mare dei corsi d’acqua: i tratti terminali degli alvei (Conca e Tavollo) sono in sostanza rettilinei, o presentano angoli di curvatura delle anse relativamente ridotti. Il Ventena, invece, presenta un alveo fortemente meandriforme, nel lungo tratto compreso tra S. Giovanni in Marignano ed il

rilievo isolato di Torre Conca. La presenza di anse con curvature tanto accentuate in un canale così incassato entro un substrato argilloso, debolmente ghiaioso, non trova motivazioni fisiche. La formazione dei meandri risale con probabilità ad un'epoca in cui l'acclività di questo tratto di pianura era fortemente condizionata dalla presenza di una soglia, di un gradino più resistente all'erosione, che impediva l'ingresso diretto nel mare del Ventena. L'alveo del fiume ha dunque cercato verso il Tavollo il suo sbocco ed ha allungato il proprio corso con meandri per compensare le portate provenienti da monte. Nel tempo, l'azione combinata del moto ondoso, della demolizione torrentizia e dell'aggradazione del conoide, operata dai due corsi d'acqua, ha determinato la situazione attuale. I meandri che attualmente contraddistinguono il corso del Ventena sono probabilmente "ereditati" da un passato morfologico di età pre-wurmiana;



Figura 2.5– Stralcio della Carta Storica Regionale, F° 268, scala 1:50.000 (R.E.R., ed. 1999).

- una modesta incisione valliva di un corso d'acqua ormai tombato da molti decenni, evidente soprattutto da SE della Zona Artigianale Nord verso costa, fino a ridosso del "berm" nei pressi dell'incrocio di via Mazzini con via Indipendenza, forse eredità di un paleoalveo (riportato in tavola 5) del Ventena o del Tavollo. La traccia di questo piccolo rio, è ben riconoscibile nella figura 2.5, un estratto della Carta Storica Regionale (scala 1:50.000) pubblicata dalla R.E.R., ricomposta sulla base di fonti cartografiche precedenti l'unificazione d'Italia;
- la scarpata (altezza pari a circa 10 m) su cui è insediata Montalbano, al confine amministrativo di Cattolica, appare come il frutto dell'azione del Conca in un'epoca in cui anche questo fiume risentiva della presenza di una soglia morfologica relativamente rilevata, che impediva un immediato e semplice ingresso in mare.

3 ELEMENTI IDROGEOLOGICI E IDRAULICI

3.1 Inquadramento idrogeologico

Il rilevamento dei pozzi freatici distribuiti nel territorio comunale ha consentito di elaborare, a corredo del quadro conoscitivo del PSC, uno studio idrogeologico. Si rimanda alla Relazione Geologica del PSC per i dettagli esplicativi. Lo studio del PSC ha dunque permesso la ricostruzione del campo di moto dell'insieme delle falde meno profonde.

Il controllo è stato effettuato soltanto nei pozzi a largo diametro, ed in un intervallo di tempo molto ristretto, al fine di evitare eventuali disturbi dovuti a variazioni delle condizioni meteorologiche (tra il 28 febbraio ed il 4 marzo 2006), consentendo di "fotografare" la morfologia della prima falda nel periodo di ricarica stagionale. In questo limitato intervallo di tempo, è stato possibile misurare le quote d'acqua di 32 pozzi a largo diametro. Ben 11 di questi pozzi, sono stati individuati entro la zona urbana storicamente consolidata, cioè a nord dell'asse ferroviario. I pozzi controllati hanno profondità comprese tra 3 metri e 21 m, ed intercettano la falda freatica ospitata nel materasso alluvionale sovrastante il bedrock argilloso plio-pleistocenico; in alcuni casi, penetrano probabilmente anche la coltre più alterata dello stesso substrato roccioso per costituire una sorta di "pozzo serbatoio". Il campo di moto della falda freatica è stato rappresentato sulla carta con isopieze di passo pari a 2 metri.

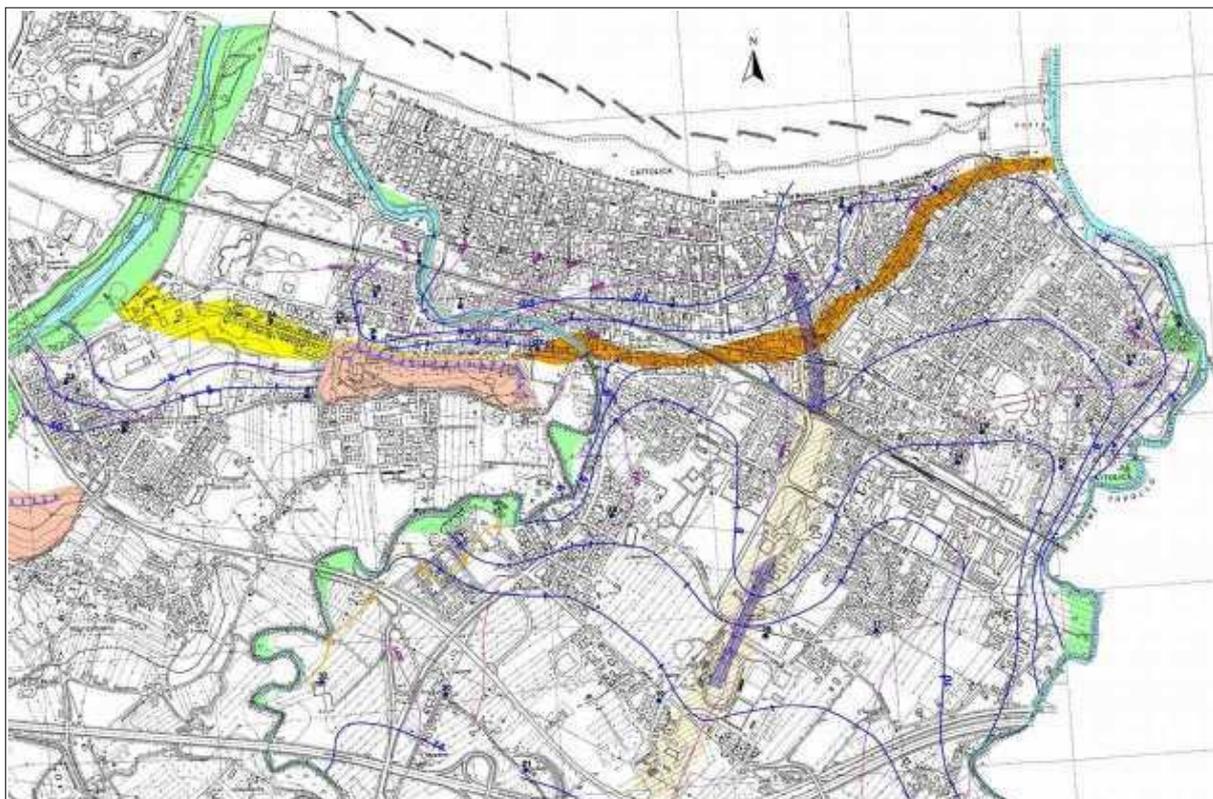


Figura 3.1 – Stralcio della Tavola 5 – Carta Idrogeologica del PSC (giugno 2006).

La figura 3.1 riporta uno stralcio della Tavola 5 “carta Idrogeologica” elaborata a corredo del PSC di Cattolica.

In sintesi, la ricostruzione idrogeologica mostra due probabili fronti di ricarica freatica, in concomitanza dei due principali rilievi del territorio comunale. Il fronte di ravvenamento più rilevante, sembra essere quello a valle dal rilievo isolato di “Torre Conca”. Il flusso sotterraneo nelle alluvioni comprese tra il Tavollo ed il Ventena risente, invece, della modesta depressione morfologica (l’incisione valliva già descritta nel precedente capitolo) che, dalla zona dello stadio comunale, si pronuncia verso nord fino al viale Fiume. Il contesto morfologico descritto, consente la formazione di un principale asse di drenaggio verso mare, in concomitanza del paleoalveo.

L’andamento delle isopieze aiuta la comprensione dei rapporti tra acque sotterranee e acque superficiali: il Ventena risulterebbe drenante nella zona alluvionale (a nord della scarpata marina), mentre verso costa perderebbe ogni rapporto con la falda. Anche il Tavollo, ancora fino al suo tratto canalizzato, si rivela drenante la falda. Per il Conca, invece, si può soltanto supporre un possibile modesto effetto infiltrante verso costa, cioè nella porzione depressa di “foreshore” a nord della via Emilia Romagna.

Assieme al controllo delle quote d’acqua, si è voluto misurare il tenore di Conducibilità Elettrica (EC) nelle acque dei pozzi rilevati. Il controllo è stato effettuato direttamente sul posto, prelevando campioni d’acqua con campionatore bailer e misurando immediatamente il tenore di EC con strumento analizzatore portatile. I bassi tenori di EC nella zona di costa, sembrano escludere il fenomeno di ingressione di acque marine nella falda più superficiale. Inoltre, il controllo ha evidenziato i tenori di conducibilità più bassi poco a nord del rilievo isolato (forse per l’effetto della diluizione indotta dal citato ravvenamento della falda) e tenori più alti a sud, in particolare in destra del Ventena, ed a valle delle zone industriali di Cattolica.

La tabella 3.1 riporta per ogni intervento inserito nel POC gli esiti di presumibile soggiacenza locale media, come preliminare parametro a supporto della prevista progettazione. Tale esito potrà essere ulteriormente confermato o aggiornato sulla base delle specifiche indagini geologiche previste per i singoli interventi. L’esito della soggiacenza media viene riportato anche nelle schede di sintesi.

Id_Intervento (in Ambiti del PSC):	Quota falda s.l.m.m.	Quota p.c. s.l.m.m.	Soggiacenza
6	2	2,6	0,6
20	9	10	1,0
21	1	2,4	1,4
30	1	2,5	1,5
35	0,5	2,7	2,2
37	7	10	3,0
64	6	8,5	2,5
73	5	6	1,0
80	13	16	3,0
84	13	16	3,0

Id. Intervento: (trasformazioni/dismissione di esercizi alberghieri)	Quota falda s.l.m.m.	Quota p.c. s.l.m.m.	Soggiacenza
7	2,5	4	1,5
9	2,5	3,5	1,0
15	0,5	2,3	1,8
16	0,5	2,3	1,8
17	0,5	2,3	1,8
19	1	2,5	1,5
25	0,5	2,3	1,8
28	4	5	1,0
31	0,5	2,1	1,6
36	4	5	1,0
41	0,5	2,5	2,0
44	0,5	2,3	1,8
59	4,5	8	3,5
61	0,5	2,1	1,6
63	4,5	6,8	2,3
69	1	3,2	2,2
72	0,5	2,2	1,7
78	0,5	2,1	1,6
81	2	4,5	2,5
83	1	3	2,0
85	0,5	2,2	1,7
86	1	2,6	1,6

Tabella 3.1 – Soggiacenze medie della falda meno profonda riferibili alle aree di intervento del POC.

3.2 Criticità idrauliche

Per quanto riguarda il contesto idraulico, il territorio di Cattolica è ascrivibile ai bacini idrografici del Conca, del Ventena e del Tavollo. Il regime idrologico che caratterizza questi bacini si può definire marcatamente torrentizio, con deflussi naturali nei periodi asciutti molto modesti per il Conca o addirittura nulli per gli altri corsi d'acqua.

Per gli aspetti più propriamente di criticità idraulica, occorre premettere che la Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni, recepita nell'ordinamento italiano con il Decreto Legislativo n. 49/2010, prevedono la predisposizione di Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) a scala di distretto idrografico e di Unità di Gestione, con l'obiettivo di <<ridurre le conseguenze negative delle alluvioni nei confronti della salute umana, del territorio, dei beni, dell'ambiente, del patrimonio culturale e delle attività economiche e sociali>> (art. 7, comma 2). Ulteriori obiettivi del PGRA sono quelli di <<adeguare

le politiche territoriali nelle aree costiere agli obiettivi di riduzione del rischio di inondazione agendo sulla vulnerabilità dell'esistente, disincentivando l'urbanizzazione delle aree pericolose e promuovendo soluzioni costruttive a basso rischio>>.

A tale scopo, nel 2014 i Comitati Istituzionali delle Autorità di Bacino Nazionali, integrati dai componenti designati dalle Regioni ricadenti nei Distretti idrografici, hanno preso atto dei Progetti di Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni predisposti dalle strutture competenti, deliberando che le Amministrazioni territorialmente ricadenti nei Distretti diano prosecuzione alle attività di perfezionamento dei Piani. Si prevede si arrivare alla stesura definitiva dei Piani entro dicembre 2015.

Per quanto riguarda il territorio della Regione Emilia-Romagna e in particolare il territorio di Cattolica, è già stato predisposto il Progetto di Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino settentrionale, comprendente anche la parte specifica dedicata al territorio già di pertinenza dell'Autorità di Bacino Interregionale Marecchia – Conca). Questo primo PGRA dovrebbe essere adottato entro dicembre 2015.

Si evince lo stretto rapporto tra Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) e PGRA, essendo quest'ultimo caratterizzato dalla condivisione dei dati sui quali si basano i rispettivi quadri conoscitivi, dei contenuti normativi e di programmazione degli interventi, ecc.. Il PGRA ha infatti definito "mappe di pericolosità e di rischio", realizzate sulla base dei contenuti del PAI². La delimitazione delle aree inondabili è stata effettuata, per i seguenti tre scenari:

- alluvioni rare di estrema intensità: tempo di ritorno fino a 500 anni dall'evento (scenario di "bassa probabilità")
- alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (scenario di "media probabilità")
- alluvioni frequenti: tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (scenario di "elevata probabilità")

In sintesi, la stima del colmo delle portate di piena è stata condotta mediante il metodo proposto nel "Progetto Speciale VA.PI." (VALutazione Piene - GNDCI-CNR, 1995/98), mentre la delimitazione delle aree inondabili è basata su sezioni trasversali dei punti di intersezione dei livelli idrici con il profilo naturale del terreno, con il supporto delle Carte Tecniche Regionali (scala 1:5.000/10.000) e di immagini satellitari. Nei tratti arginati, le aree inondabili sono state individuate nel caso di superamento degli stessi dal livello delle piene mentre non sono stati valutati scenari di cedimento/rottura dei rilevati arginali.

Sono state così definite aree a pericolosità "bassa", (scenario "P1"), "media" (scenario "P2") e "elevata" (scenario "P3"). Sono stati inoltre delimitati (a pericolosità "elevata" "P3") gli alvei del reticolo idrografico principale sulla base di criteri morfologici, comprendendo anche tutte le aree

² Per maggiori dettagli si rimanda alla specifica Relazione Tecnica sugli Aspetti Metodologici (UoM ITI021, UoM ITR081, UoM ITI01319). Si rimanda anche alla Relazione Progetto di Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale, per le Unit of Management – Reno (ITI021), Bacini Regionali Romagnoli (ITR081), Marecchia – Conca (ITI01319) - 10 giugno 2015

storicamente interessate dal deflusso delle acque e riattivabili e le aree interessate da naturali divagazioni documentabili. Gli alvei sono stati classificati a pericolosità “elevata”.

Il lavoro di elaborazione dei PGRA ha quindi consentito un ulteriore controllo e aggiornamento di quanto già riportato nel PAI Marecchia Conca, in coerenza con il D.Lgs. 49/2010.

Si rammenta che la definizione di livelli di pericolosità omogenei potrà essere completata solo a seguito di una completa rimodellazione idraulica, eventualmente da porre in essere per il successivo ciclo di attuazione della Direttiva 2007/60/CE e il conseguente aggiornamento delle mappe.

In questo senso, il Comune di Cattolica ha elaborato una cartografia di sintesi della pericolosità idraulica del proprio territorio amministrativo, basata sia sui dati conoscitivi PGRA/PAI e PTCP, sia su ulteriori elementi, quali segnalazioni pervenute all'Ufficio Tecnico riferite a problematiche più o meno puntuali di deflusso della rete scolante fognaria e altri aspetti morfologici (es. aree topograficamente depresse). Questa cartografia comunale ha quindi definito le aree di intervento di POC secondo classi di livello di pericolosità (figura 3.2) riferite ai tre scenari di probabilità di allagamento contemplati nel PGRA. Occorre peraltro evidenziare che gli esiti riportati nella cartografia di figura 3.2 non possono che risultare un inquadramento esclusivamente preliminare e cautelativo delle criticità idrauliche alla scala comunale, a supporto degli ulteriori approfondimenti idraulici da espletarsi in sede di successiva progettazione. In questo senso, le schede di sintesi riportano per i singoli interventi una classificazione di pericolosità idraulica: nel caso di attribuzione alle classi “media” e “elevata” (rispettivamente “P2” e “P3”), nelle successive fasi di pianificazione e/o intervento diretto, la progettazione dovrà risultare corredata di opportune analisi di vulnerabilità idraulica e prevedere accorgimenti tecnologici in grado di mitigare le criticità eventualmente riscontrate.

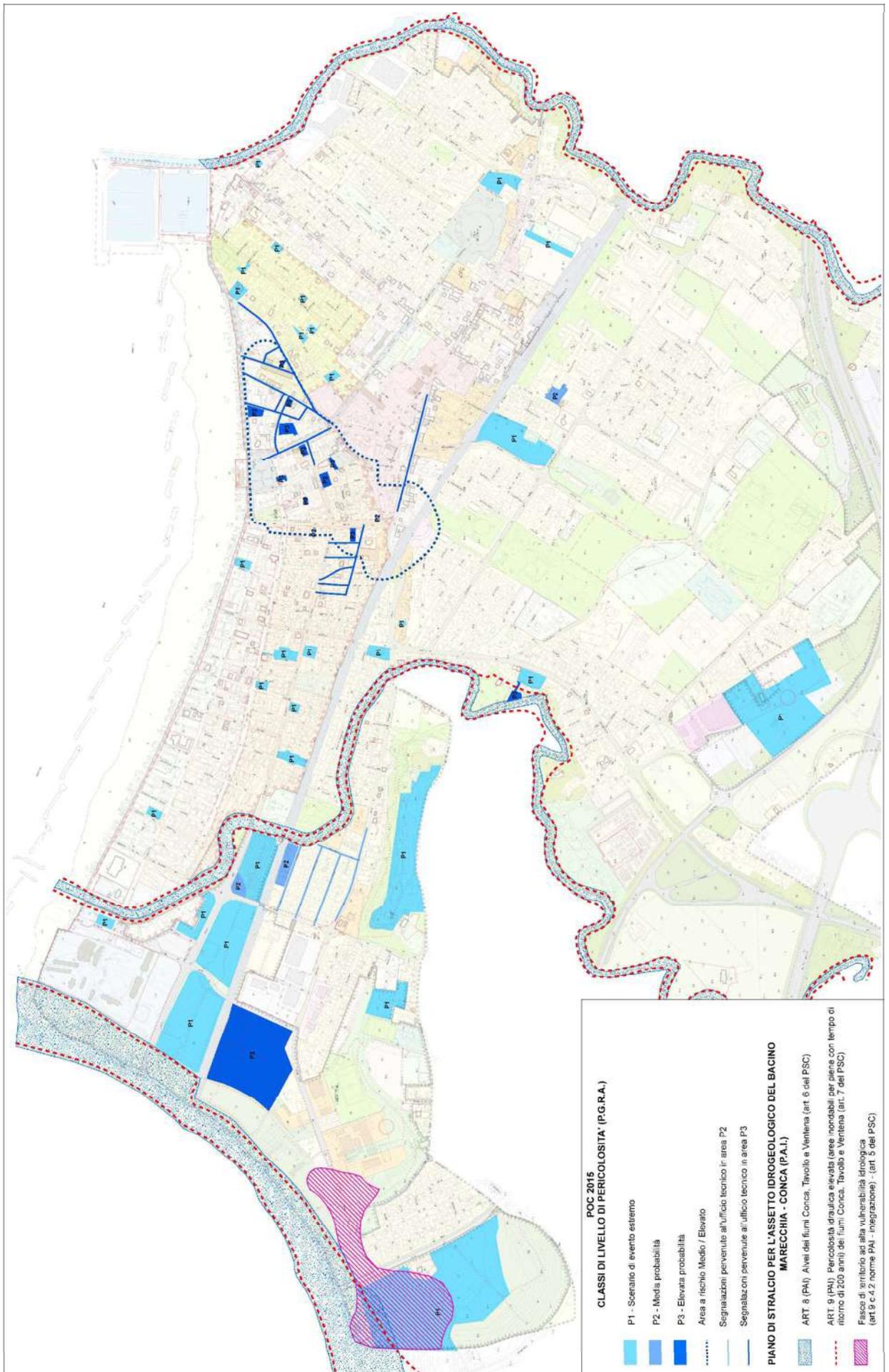


Figura 3.2 - Stralcio della Carta Storica Regionale, F° 268, Scala 1:50.000 (R.E.R., ed. 1999).

4 ELEMENTI GEOTECNICI

4.1 Indagini geognostiche e geofisiche di riferimento

Per lo studio di microzonazione sismica 2013 si è effettuato un accurato riordino e delezione delle indagini geognostiche e geofisiche realizzate nel Comune di Cattolica. Sono state eseguite ulteriori indagini finalizzate alla migliore caratterizzazione sismica del territorio comunale.

Tra le conoscenze pregresse, particolare importanza rivestono le prove geofisiche e geognostiche effettuate dalla Regione Emilia-Romagna, finalizzate ad una preliminare caratterizzazione sismica del territorio regionale e in particolare:

- una "down hole" (DH), nel foro del sondaggio "268010P503"³ realizzato fino a 48 metri di profondità sulla sponda destra del Conca, in corrispondenza dell'apparato di foce.
- due coni sismici (SCPT), realizzati rispettivamente in vicinanza alla citata DH, (spinto fino a 25 m), e sulla spiaggia immediatamente ad ovest del porto di Cattolica (fino a 14 m).
- si sono considerati anche gli esiti di due altri SCPT realizzati, sempre dalla RER, a Misano Adriatico, il primo ancora nella zona "Le Navi" (immediatamente fuori del confine di Cattolica) e spinto fino a 18 m), l'altro vicino a Piazzale Roma a Misano (fino a 26 m). Infine, un'ulteriore prova sismica DH regionale eseguita a ridosso dell'autostrada, ma anch'essa fuori dei confini di Cattolica.

Tra i dati pregressi, molto utili per la modellazione geotecnica e sismica dell' "Ambito M" sono risultati gli esiti dell'indagine geologica espletata per la riqualificazione dell'area "ex hotel Linda"⁴, in particolare, oltre a prove DPSH spinte fino a circa 16 m di profondità, venne eseguito un sondaggio a carotaggio continuo⁵, profondo 20 metri, con prelievo di tre campioni indisturbati ("Shelby") nei sedimenti argillosi sottostanti i depositi di piana costiera e determinazione dei rispettivi limiti di Atterberg. Gli esiti di laboratorio evidenziavano che tali sedimenti, sottostanti i depositi di piana deltizia, sono caratterizzati da un grado di plasticità da media ad elevata: IP =30,3 (campione prelevato a 9,0÷9,5 m); IP =25,1 (campione a 14,5÷15,0 m); IP =36,8 (campione a 19,5÷20,0 m).

Tra i dati pregressi, sono stati considerati anche gli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche espletate per il primo Piano Operativo Comunale (POC) di Cattolica. Per tale studio, vennero eseguite le seguenti prove:

³ Sigla identificativa della B/D regionale, il sondaggio è stato rinominato "P75S84" nel database predisposto per questo lavoro di microzonazione

⁴ Relazione Geologica a cura dello Studio Methodo s.r.l., 2002

⁵ Sondaggio rinominato "P47S50"

- sei penetrometrie statiche con puntale elettrico e con piezocono (CPTE/CPTU⁶), realizzate con un penetrometro dotato di spinta da 300 kN sulla punta (tipo “Gouda”), montato su semovente (peso 550 kg) con ancoraggi laterali per incrementare il contrasto durante la penetrazione profonda. Le prove hanno consentito una migliore definizione tessiturale rispetto alle tradizionali prove di repertorio (CPT e, soprattutto, penetrometrie dinamiche); sono state eseguite prevalentemente nella piana alluvionale a monte del “berm”, cioè nella piana deltizia alluvionale del Conca (CPTE4; CPTU5) e del Tavollo-Ventena (CPTU1; CPTU2; CPTE3), ovvero dove si concentravano le principali aree di nuova previsione edificatoria; la prova CPTU6 è stata comunque effettuata nella zona di piana costiera olocenica (cioè a valle del “berm”);
- due sondaggi a percussione tipo “GeoProbe”⁷ che, sebbene utilizzati prevalentemente nel campo ambientale, hanno permesso il recupero di campioni per analisi granulometriche (determinazione del fuso granulometrico per la liquefacibilità) e determinazione dei limiti di Atterberg. Le terebrazioni consentono, infatti, il recupero del sedimento attraversato all'interno di fustelle in PVC trasparente. Le prove sono state eseguite rispettivamente in zona di piana costiera, tra il Conca e il Ventena (sondaggio SP1) e nella piana alluvionale retrostante, del Tavollo (sondaggio SP2);
- tre stendimenti sismici⁸ in acquisizione sia passiva (Re.Mi.), sia attiva (MASW). La strumentazione utilizzata, in dotazione allo Studio scrivente, è composta da sismografo a 24 canali <<Abem-Ras-24>> con convertitore del segnale A/D a 24 bit. Lo stendimento è stato configurato con 24 geofoni da 4,5 Hz, posti alla distanza di 2 metri secondo la profondità di indagine voluta, e la definizione desiderata. La sorgente di rumore per la prova MASW è stata fornita da tre colpi, su una piastra con una mazza battente da 10 Kg, alle seguenti distanze dal primo geofono dell'allineamento: 5m – 12m - 17m. L'acquisizione dei dati è avvenuta con doppia registrazione con tempi di 4 secondi ed un intervallo di campionamento rispettivamente di 1ms e 2ms. I risultati ottenuti, hanno consentito di tarare le velocità delle onde di taglio da inserire nei modelli sismici dopo il confronto con quelle delle SCPT e DH regionali. Tutti i risultati convergevano nell'indicare Vs tra i 400 ed i 450 m/s a profondità superiori a 40 metri dal p.c.;
- registrazioni del rumore sismico a stazione singola, con tecnica HVSR;
- prove di laboratorio, effettuate su campioni rimaneggiati dei due sondaggi “GeoProbe”. Occorre premettere che il campionamento con tale sistema di terebrazione consente di prelevare il campione a profondità piuttosto precise rispetto ad altre metodologie e a “secco”. In particolare, nel sondaggio SP1, approfondito fino a circa 8 m ed eseguito nei sedimenti della piana costiera tra il Conca e il Ventena, sono stati raccolti 3 campioni, uno in argille (prelevato a 5,0÷5,3 m) per

⁶ Le prove penetrometriche eseguite (CPTU1; CPTU2; CPTE3; CPTE4; CPTU5; CPTU6) sono state rinominate rispettivamente: “P29CPTU32”; “P30CPTU33”; “P31CPTE34”; “P32CPTE35”; “P33CPTU36”; “P34CPTU37” nel database predisposto per lo studio di microzonazione 2013.

⁷ I due sondaggi per campionamento SP1 e SP2 sono stati rinominati rispettivamente “P44SC47” e “P45SC48”

⁸ I tre stendimenti sismici, archiviati per questo lavoro come prove Re.Mi., sono stati rispettivamente rinominati “L1REMI1”, “L2REMI2”, “L3REMI3”

definire i limiti di Atterberg (che ha evidenziato l'elevata plasticità degli intervalli argillosi, con $IP = 40$) e due (prelevati rispettivamente a 6,45÷6,55 m e 7,30÷7,60 m) per la determinazione delle granulometrie in intervalli significativi di sabbie sature: gli esiti avevano evidenziato per entrambi i campioni un fuso granulometrico predisponente la liquefazione in caso di sisma, ed elevate percentuali di sabbie fini e medie (figura 4.1).

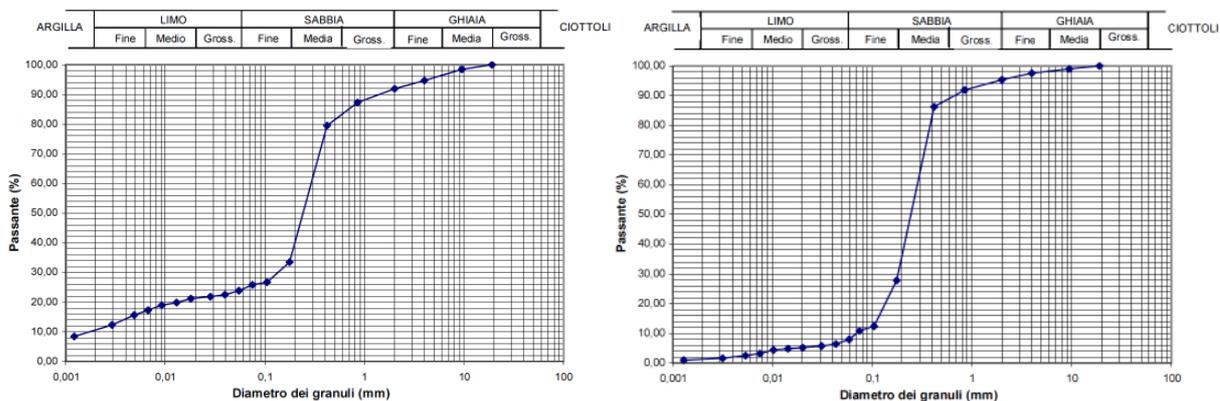


Figura 4.1 – Esiti granulometrici (campioni 2 e 3 prelevati dal sondaggio S1 eseguito per il POC 2009).

Per lo studio di microzonazione sismica 2013 sono state eseguite ulteriori indagini in sito, sia di tipo geofisico, sia di tipo geognostico. Tali indagini sono state concentrate soprattutto nella zona di massimo approfondimento (“Ambito M”), che ricade in buona parte nell'area costiera già definita di potenziale liquefacibilità. Si è pertanto deciso di eseguire prove penetrometriche di tipo elettrico, anche con piezocono (CPTe/CPTU), nella zona mare più prossima alla costa (figura 4.2). In tale zona mancano, infatti, dati da prove CPTe/CPTU in grado di fornire una buona caratterizzazione tessiturale e meccanica dei sedimenti attraversati e di stimare con un buon grado di attendibilità gli effetti di liquefacibilità dei sedimenti e la possibilità di cedimenti post-sisma.

Sul resto del territorio urbanizzato e urbanizzabile, sono state eseguite ulteriori indagini geofisiche, in particolare registrazioni del rumore sismico passivo con tecnica HVSR. La scelta di tale tipologia di prova è stata dettata e, se vogliamo, anche imposta dal contesto di intensa urbanizzazione che caratterizza l'area studiata e che ostacola altre soluzioni d'indagine; gli esiti delle prove HVSR sono stati comunque confrontati e “tarati” con i dati geofisici di riferimento pregressi già descritti.

Per lo studio di microzonazione sismica 2013 sono state pertanto eseguite le seguenti prove in sito:

- cinque prove penetrometriche⁹ elettriche (CPTe) di cui due con puntale piezometrico (CPTU) realizzate con strumento penetrometrico di max contrasto pari a 200 kN. Le profondità investigate risultano comprese tra 15 metri e 20 m;
- una prova penetrometrica statica con maglio “superpesante” (nominata P17DP31) → spinta fino alla profondità di 10,6 m; Tale prova, è stata realizzata in sostituzione di una prova CPTU

⁹ Nominate per lo studio di microzonazione rispettivamente: "P1CPTe1"; "P2CPTe2"; "P3CPTe3"; "P4CPTU4"; "P5CPTU5"

(impossibile da eseguirsi per le già citate difficoltà di ancoraggio);

- registrazioni del rumore sismico con tecnica HVSR;
- sono state rielaborate con il software in dotazione dello Studio anche due delle tre acquisizioni Re.Mi. espletate per il POC di Cattolica (REMI1 e REMI3).

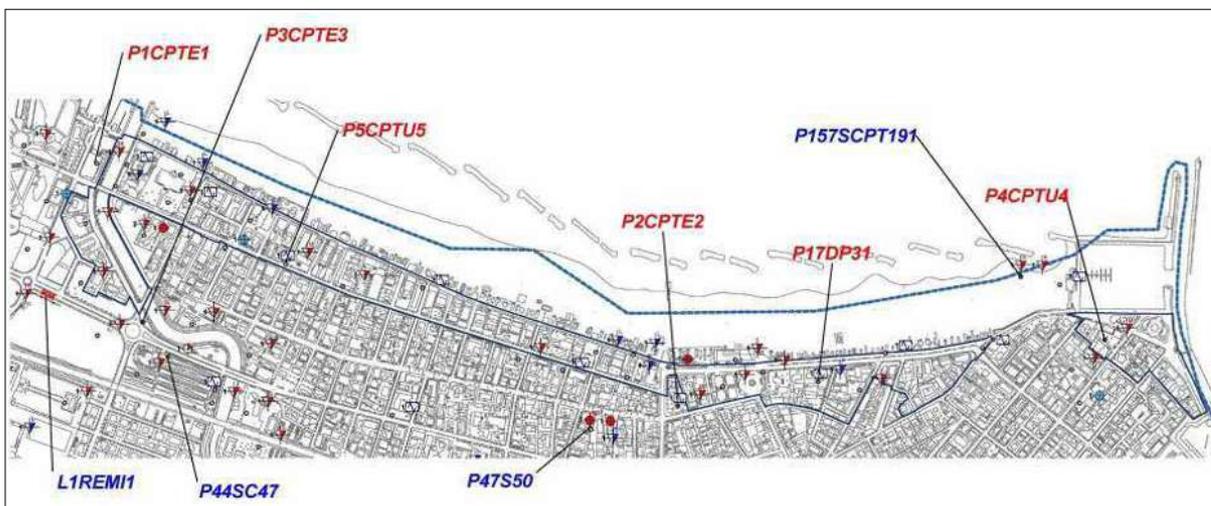


Figura 4.2 – Stralcio della <<carta delle indagini>>: prove di repertorio (etichette in blu) ed eseguite ex novo per lo studio di microzonazione (etichette in rosso), di riferimento per la caratterizzazione geotecnica e la successiva modellazione sismica dell'“Ambito M” (area degli approfondimenti di terzo livello). Le sigle corrispondono a quelle d'archivio per lo studio di microzonazione sismica 2013.

Sul resto del territorio urbanizzato e urbanizzabile, sono state eseguite ulteriori indagini geofisiche, in particolare registrazioni del rumore sismico passivo con tecnica HVSR. La scelta di tale tipologia di prova è stata dettata e, se vogliamo, anche imposta dal contesto di intensa urbanizzazione che caratterizza l'area studiata e che ostacola altre soluzioni d'indagine; gli esiti delle prove HVSR sono stati comunque confrontati e “tarati” con i dati geofisici di riferimento pregressi già descritti.

4.2 Classificazione geotecnica preliminare degli interventi di POC

Si propone una classificazione geotecnica preliminare delle aree di intervento inserite nel POC fondata sul l'approccio metodologico già riportato nello studio geologico del PSC e cioè basata sugli esiti delle penetrometrie disponibili (resistenze di punta). In sintesi, la classificazione geotecnica proposta ha considerato i due intervalli più utili ai fini edificatori per costruzioni di normale impegno costruttivo e cioè:

- da -1 a -5 metri sotto il piano campagna (p.c.) → è l'intervallo entro cui si collocano le strutture di fondazione superficiali. La conoscenza della qualità meccanica di questo intervallo è quindi importante per le valutazioni di ammissibilità delle pressioni imposte ai terreni sia in termini di “rottura” dei sedimenti, sia in termini di “interazione terreni-struttura”;

- da -5 a -10 metri sotto il p.c. → questo secondo spessore rappresenta l'intervallo di sedimenti entro cui normalmente si esauriscono i cedimenti indotti da sovrappressioni distribuite da fondazioni superficiali.

Sono state quindi distinte “classi geotecniche” caratterizzate da differenti qualità edificatorie, per fornire una “guida” preliminare alla campagna geognostica per le successive fasi di progettazione. Rispetto a quanto riportato nel PSC, si è deciso di rinominare la classificazione per una migliore e più immediata esemplificazione. La figura 4.3 propone la descrizione sintetica delle classi geotecniche considerate, contraddistinte da colori differenti così come riportato nella planimetria di figura 4.4.

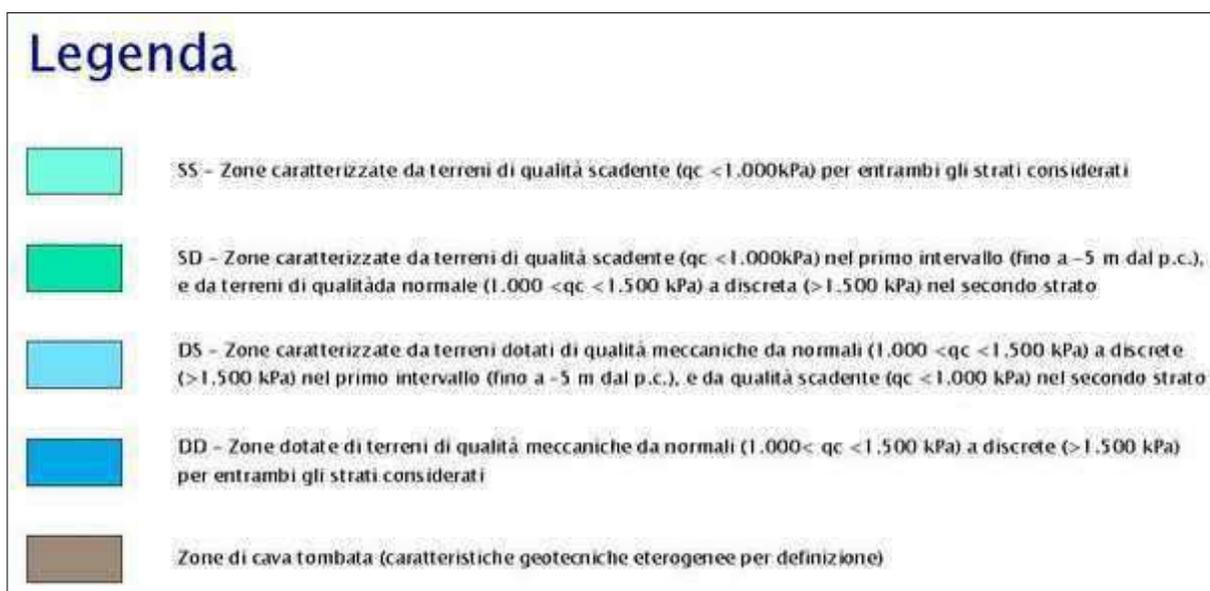
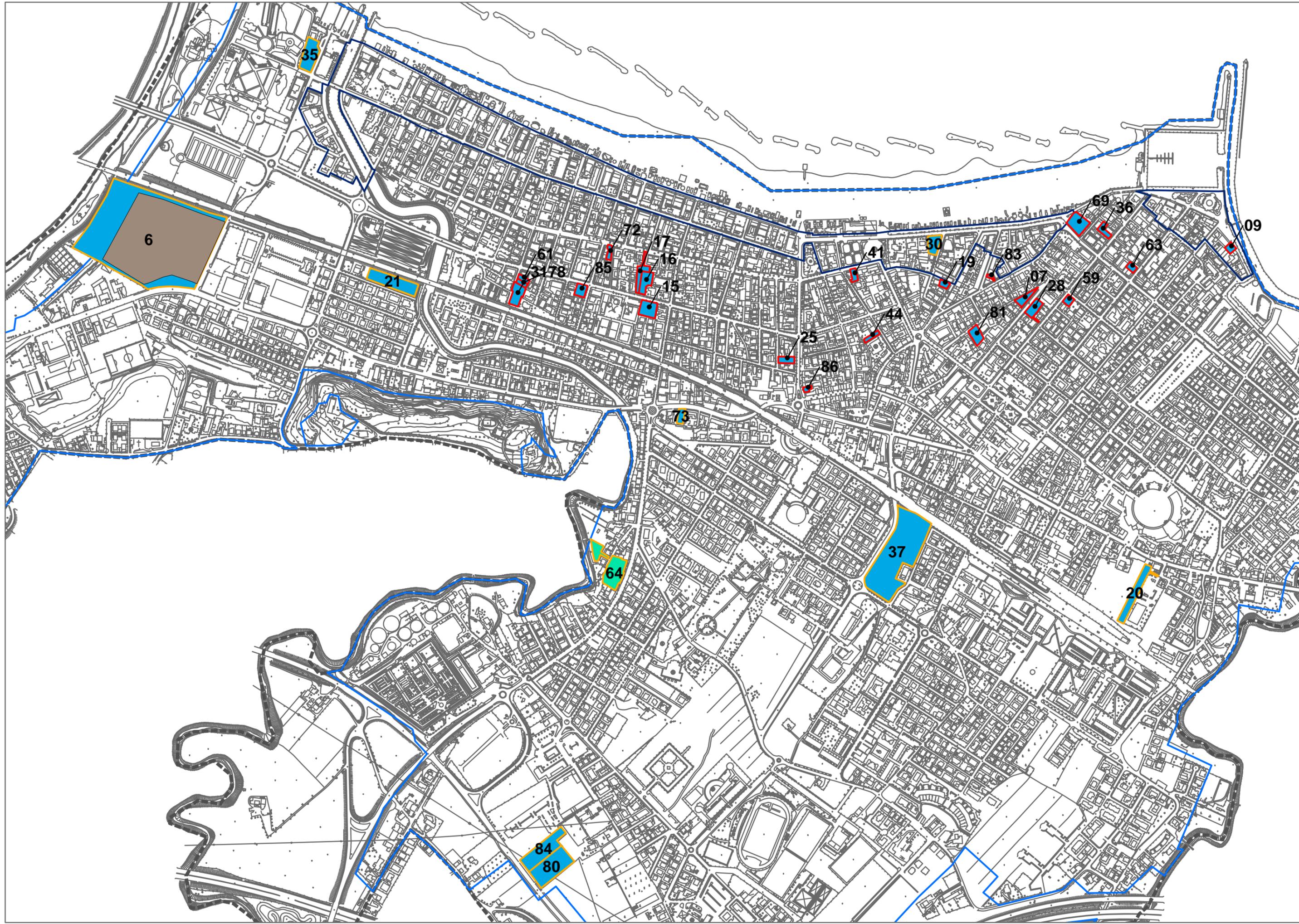


Figura 4.2 – Classificazione geotecnica del sottosuolo fino a 10 metri di profondità.

Sulla base degli esiti penetrometrici, si evince che il sottosuolo pertinente gli interventi di POC sono tutti ascrivibili alla classe “DD” ad esclusione di un'ampia porzione dell'ambito “Holiday Company”, inclusa in zone con tombamenti probabilmente eterogenei (quindi da caratterizzare più accuratamente nella fase attuativa) e dell'ambito “AR.9 Via Allende” (classificato “SD”, in quanto i sedimenti superficiali sono ascrivibili a depositi alluvionali recenti, meno addensati e/o consistenti). In conclusione, per le classi “DD” e “SD” l'edificabilità con normali tecniche costruttive è in genere assicurata. Nei casi di edifici di particolare impegno costruttivo, vi possono essere comunque limitazioni a causa dell'ammissibilità dei cedimenti assoluti o differenziali, oppure delle pressioni di esercizio. Peraltro, le verifiche geotecniche dovranno considerare anche gli aspetti di pericolosità sismica, descritti nel successivo capitolo 5.

Nelle schede di sintesi in calce alla Relazione, per ogni intervento di POC sono riportate le indagini geotecniche di riferimento, utili per i successivi approfondimenti da espletare in fase attuativa e/o di progettazione per la costruzione. Le schede riportano anche la classificazione geotecnica sopra descritta.

Figura 4.3 - Classificazione geotecnica del sottosuolo fino a 10 metri di profondità



5 PERICOLOSITA' SISMICA

5.1 Pericolosità di base ed eventi di riferimento

La Regione Emilia-Romagna, a conclusione di un lungo lavoro iniziato alla fine degli anni '70 del secolo scorso, ha prodotto la <<Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna>>, edita nel 2004 alla scala 1:250.000, che riporta gli epicentri dei terremoti noti con Magnitudo $M > 4$, le strutture attive e quelle potenzialmente sismogenetiche (della catena appenninica, del suo margine e quelle correlate alle strutture del sottosuolo padano-adriatico) ed i relativi meccanismi focali tettonici. La localizzazione degli epicentri si è basata sulla catalogazione nazionale dei terremoti CPTI¹⁰.

La figura 5.1 riporta la sovrapposizione del territorio di Cattolica con la Carta Sismotettonica regionale, mentre la figura 5.2 riporta la cartografia degli epicentri dei terremoti della regione Emilia-Romagna, desunti dal catalogo CPTI e suddivisi per classi di magnitudo.

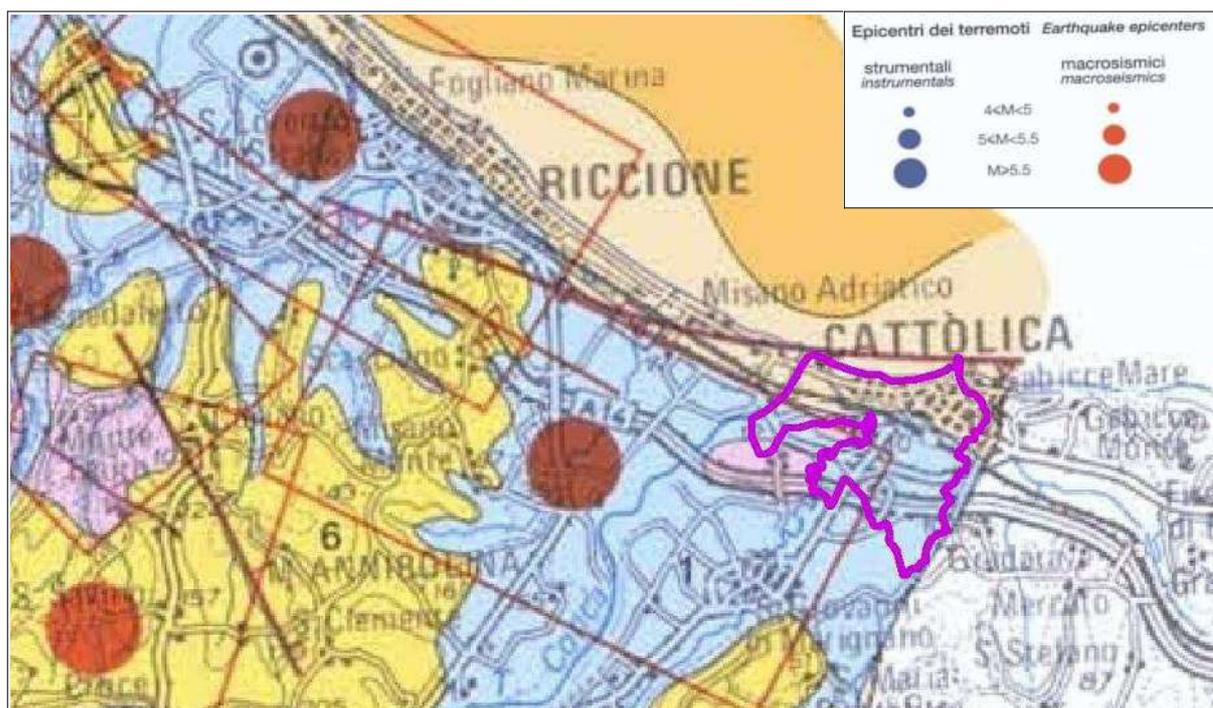


Figura 5.1– Sovrapposizione del territorio comunale di Cattolica con la Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (2004). Si riporta uno stralcio della legenda relativamente alla classificazione degli ipocentri dei terremoti strumentali di $M_w > 4$ e l'epicentro dei più significativi effetti macroseismici. La fonte regionale degli eventi sismici riportati è il catalogo parametrico nazionale dei terremoti storici (CPTI, 1999).

¹⁰ <<Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani>> (Gruppo di lavoro CPTI, 1999–2002)

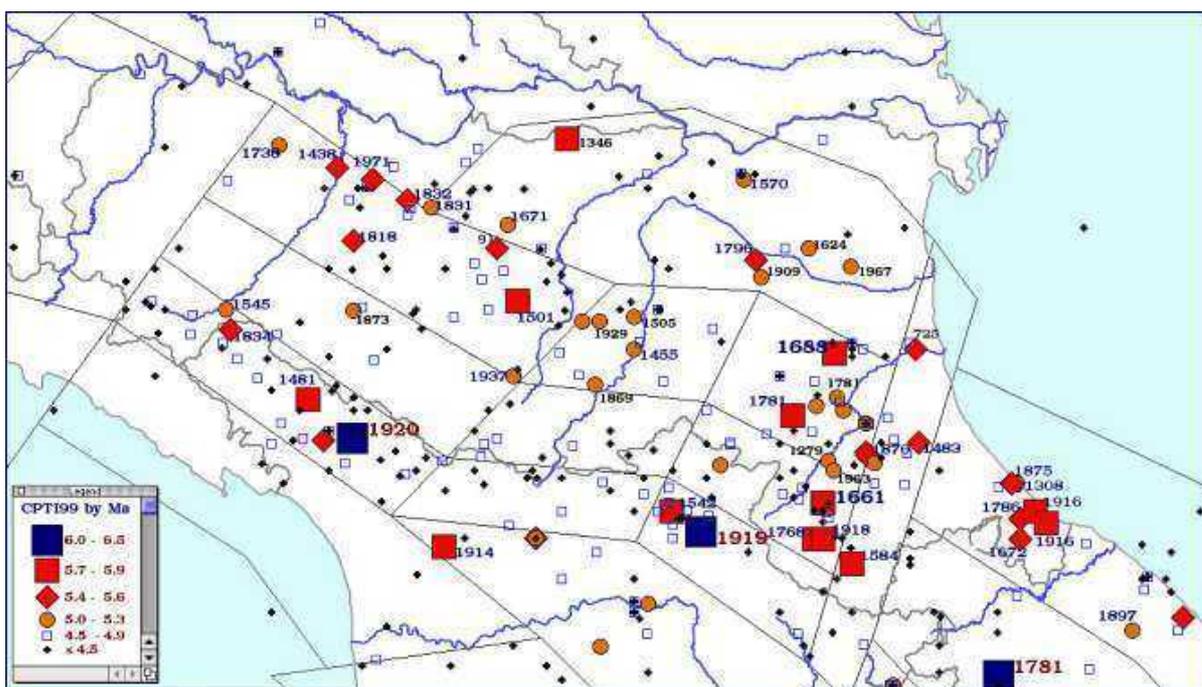


Figura 5.2 – Carta degli epicentri dei terremoti (CPTI, 1999) della Regione Emilia-Romagna per classi di magnitudo, estrapolata dal sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS) regionale.

A livello nazionale si è invece giunti, attraverso varie fasi di studi e revisioni, all’ultima zonazione sismogenica del territorio nazionale, nota con la semplice sigla “ZS9” (2004), prodotta dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questa zonazione rappresenta il più recente riferimento per gli studi di pericolosità sismica del territorio italiano, elaborata riferendosi anche ai più recenti background informativi sui terremoti ed in particolare le ultime banche dati relative alle sorgenti sismogeniche italiane: DISS¹¹ ed il già citato catalogo CPTI. Il catalogo CPTI, divulgato nel 1999 e frutto del lavoro sinergico di diversi gruppi di ricerca operativi nel settore della sismologia storica e della macrosismica (GNDT, INGV e SSN), rappresenta un catalogo parametrico dei terremoti nel territorio italiano e il primo prodotto comune di riferimento per le stime di “rischio”.

Il catalogo CPTI, pur essendo un prodotto preliminare e in seguito affiancato da un’ulteriore versione più aggiornata (2004), costituisce un riferimento fondamentale per le analisi di pericolosità e per le stime di rischio. Il database DISS offre un’ulteriore base conoscitiva per quanto riguarda localizzazione, distribuzione e informazioni note delle sorgenti sismogeniche nel contesto italiano nazionale.

La figura 5.3 propone la sovrapposizione del territorio comunale di Cattolica con la zonazione ZS9: l’area di studio ricade nella zona 917, cioè in una delle zone in cui è stato scomposto longitudinalmente l’arco appenninico settentrionale e centrale da Parma fino all’Abruzzo. Questa zona rappresenta (insieme alla zona 912) una porzione più esterna della fascia in compressione dell’arco appenninico settentrionale e include pertanto le sorgenti sismogeniche principali della fascia appenninica esterna, cui è possibile associare la sismicità della costa romagnola e marchigiana

¹¹ <<Database of Potential Sources for Earthquake Larger than M 5.5 in Italy>> (Valensise e Pantosti, 2001)

(Valensise e Pantosti, 2001), legata al regime tettonico debolmente compressivo in atto, con strutture compressive, prevalentemente “thrust”, allineate lungo la costa o a sua breve distanza.

La figura 5.3 offre anche la sovrapposizione con le sorgenti sismogeniche individuate nel database DISS e limitrofe al territorio di Cattolica:

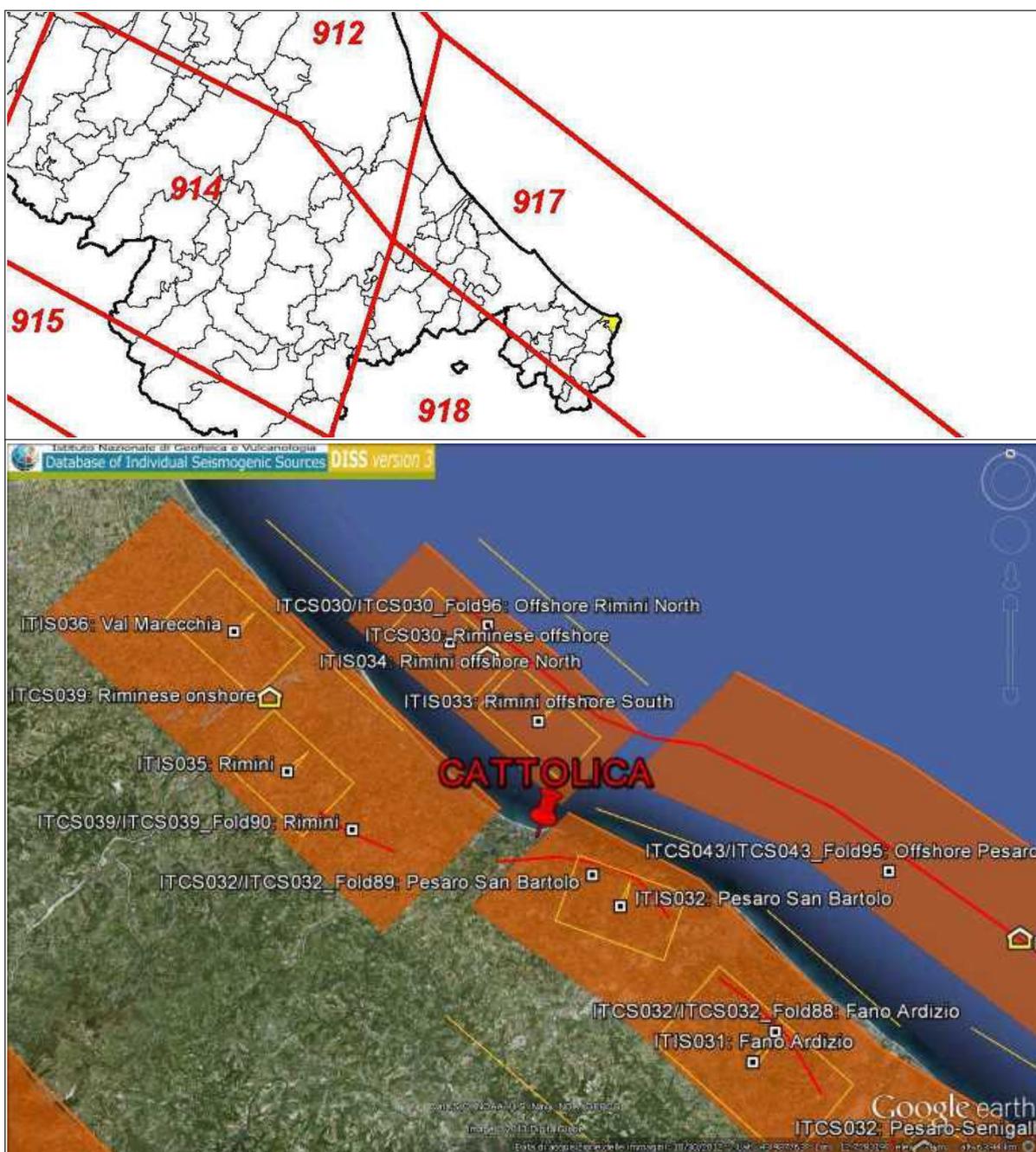


Figura 5.3 - Zonazione sismogenetica ZS9 e distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS. Foto aerea: Google Earth. Le sigle ITCS corrispondono alle “zone”, le sigle ITIS corrispondono alle “sorgenti” sismogenetiche.

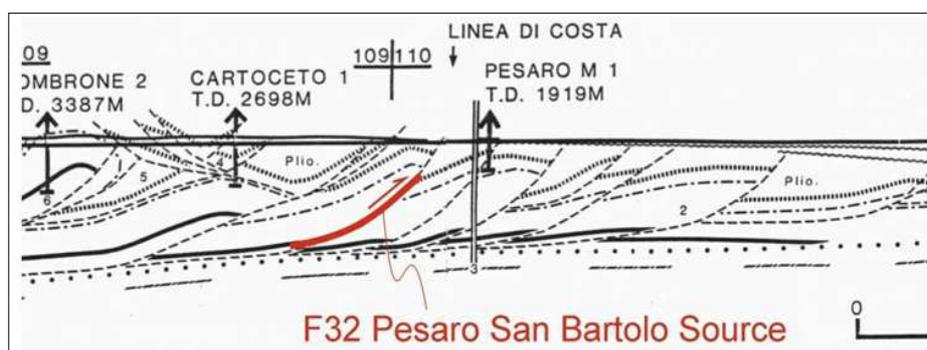
1. la <<ITCS032 – Pesaro Senigallia>> che attraversa il marchigiano da Ancona a Pesaro e fa parte del contesto tettonico di “ thrust onshore” esterno dell'Appennino Umbro-Marchigiano, caratterizzato da un sistema di faglie NE vergente al bordo orientale degli Appennini settentrionali

e parallelo alla costa delle Marche. La bibliografia scientifica (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostra pochi grandi terremoti in questa zona, tra questi gli eventi di Senigallia del 30 ottobre 1930 (Mw 5,9) e del 2 gennaio 1924 (Mw 5,6), e quello del 21 settembre 1897 (Mw 5,5, Adriatico Centrale). L'area inoltre mostra una sismicità intermedia rada ($4,5 < Mw < 5,0$). La magnitudo massima è stata assunta cautelativamente dal sisma di maggiore entità associato alla zona (Mw 6,1).

L'attività tettonica in questa zona è dominata da thrust-faults tendenti a NW-SE, immergenti a SW che controllano le pieghe blande e le deformazioni superficiali (in sintesi, vedi Vannoli et al., 2004 ed i riferimenti ivi), divisi da strutture trasversali NE-SW tendenti che possono fungere da segmenti di frontiera fra sorgenti sismogeniche. Sebbene ci sia un certo dibattito nella letteratura riguardo al regime tettonico corrente dell'area, varie prove suggeriscono fortemente che la regione stia subendo una compressione NE-SW tendente, di cui fanno parte i meccanismi focali di terremoti lungo il fronte onshore esterno (Frepoli ed Amato, 1997; Pondrelli et al., 2002). Tra gli altri elementi, lo tsunami causato dall'evento di Senigallia del 1930 (Boschi et al., 1997), insieme alle deformazioni del terrazzo e ai drenaggi anomali che apparentemente abbinano il pattern strutturale delle crescenti anticlinali subsuperficiali (vedi Vannoli et al., 2004), suggeriscono che il crescente sistema di faglie sia molto vicino alla costa.

La sorgente sismogenica più prossima al territorio studiato e compresa in questa zona ITCS032 risulta la <<ITIS032 Pesaro – San Bartolo>>. Tale sorgente non ha associati terremoti storici. La sua esistenza e posizione sono suggerite tramite le osservazioni geologiche a scala locale e regionale. L'attività sismogenica può essere correlata con una "blind thrust-plane" (figura 5.4) che determina la crescita dell'anticlinale costiera dedotta dall'analisi delle caratteristiche geomorfologiche e dalle prospezioni geofisiche. Secondo Vannoli et al. (2004) la sorgente sismogenica di Pesaro San Bartolo è localizzata tra le valli dei fiumi Foglia e Conca, pertanto interessa anche il territorio comunale di Cattolica. I terrazzi alluvionali del Foglia e del Conca sembrerebbero leggermente deformati vicino alla costa dove attraversano l'anticlinale costiera. Dato che i terrazzi alluvionali deformati sono geologicamente giovani, essi indicano che i processi di deformazione sono tuttora attivi. La geometria e la larghezza della faglia in profondità si basano sui profili sismici di riflessione forniti da Bally et al. (1986) e da De Donatis et al. (1998). A questa sorgente viene attribuita una magnitudo massima cautelativa pari a Mw =5.8;

Figura 5.4 – La sorgente "Pesaro San Bartolo" proiettata sulla Sezione Anna-Mte. Amiata (da Bally et al., 1986).



2. la <<ITCS039 Riminese on-shore>> situata fra le Marche e la Romagna, intorno alla città di Rimini. Questa sorgente è costituita da un sistema di faglie NE vergente al bordo orientale degli Appennini settentrionali, parallelo alla costa. La bibliografia scientifica (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostra numerosi terremoti distruttivi che si sono manifestati nel settore centrale e a sud dell'area. Gli eventi principali sono quelli del 17 maggio ed il doppio terremoto del 16 agosto 1916 (entrambi Mw 5,9 nell'Alto Adriatico, i loro epicentri probabilmente si trovano appena al largo questa area), il sisma del 14 aprile 1672 (Mw 5,6), gli eventi del 25 dicembre 1786 (Mw 5,7) ed i terremoti del 17 marzo 1875 (Mw 5,7). L'area inoltre mostra ($4,5 < Mw < 5,0$) una sismicità intermedia rada.

Varie prove suggeriscono che la regione stia subendo una compressione NE-SW, di cui fanno parte i meccanismi focali di terremoto (Frepoli ed Amato, 1997) ed i dati dei pozzi trivellati (Montone et al., 2004) che hanno illustrato un'asse minore di deformazione NW-SE tendente. Sebbene attualmente i dati disponibili siano ancora poco chiari, la fonte sismogenica onshore Riminese può essere pensata come il possibile settore nord del thrust settentrionale delle Marche, per cui la blind thrust-fault è stata riconosciuta come il meccanismo tettonico attivo responsabile della sorgente sismogenica. Due segmenti di questa sorgente sono stati associati ai terremoti del 1786 e del 1875. La magnitudo massima è stata assunta cautelativamente dall'evento sismico di maggiore intensità (Mw 5,7). La sorgente sismogenica più prossima al territorio studiato e compresa in questa zona risulta la <<ITIS035 Rimini>>, correlata con il terremoto riminese del 25 dicembre 1786 (figure 5.5 e 5.6).

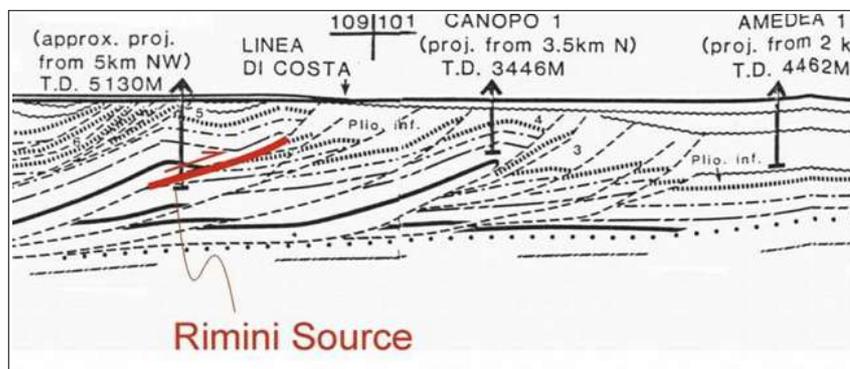


Figura 5.5 – La sorgente “Rimini” proiettata sulla Sezione Amedea-Mte. Amiata (da Bally et al., 1986).

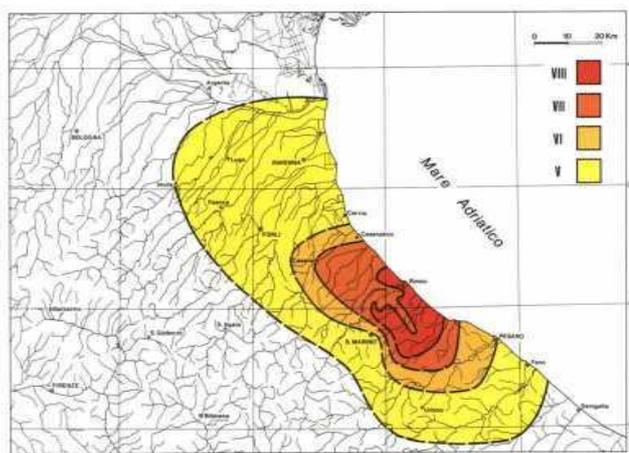


Figura 5.6 – Carta delle isosisme dell'evento del 25 dicembre 1786. Si noti la caratteristica propagazione degli effetti in prevalente direzione parallela alla costa (da Ferrari, 1986).

3. la <<ITCS030 Riminese off-shore>> Questa zona attraversa il mare Adriatico subito ad est della città di Rimini ed fa parte del thrust offshore esterno più a sud dell'Appennino Umbro-Marchigiano. Questo fronte è costituito da un sistema di faglie NE vergente al bordo orientale degli Appennini settentrionali, parallelo alla costa delle Marche. La bibliografia (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostra numerosi terremoti distruttivi sulla terraferma.

L'attività tettonica di questa regione non è ancora documentata adeguatamente: varie analisi suggeriscono che la regione onshore stia subendo una compressione NE-SW tendente, compreso i meccanismi focali di tutti i terremoti lungo il fronte onshore esterno (Frepoli ed Amato, 1997).

I due segmenti principali di questa fonte sono stati associati con i terremoti del 1916 e la magnitudo massima è stata assunta dal sisma di maggiore intensità (Mw 5,7).

La sorgente sismogenica associata a tale zona e più prossima al territorio studiato risulta la <<ITIS033 Rimini offshore south>>, correlata con il terremoto dell'Alto Adriatico del 16 agosto 1916 (Mw = 5,6). Questa sorgente fonte sismogenica è stata correlata con la "blind thrust-fault" che determina lo sviluppo dell'anticlinale offshore ed è stata individuata da Bally et al. (1986) con le prospezioni geofisiche (figura 5.7).

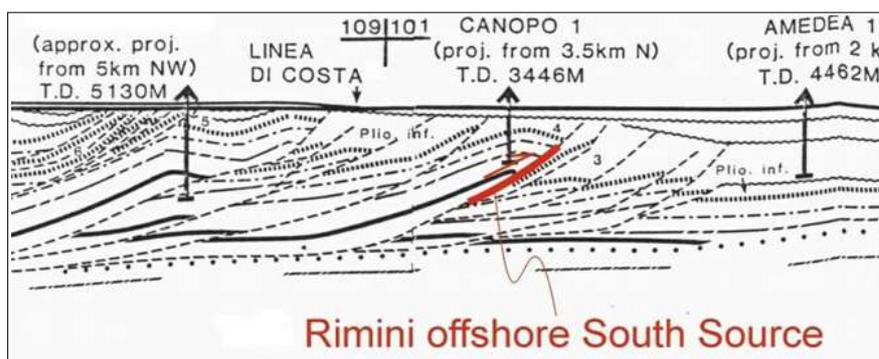


Figura 5.7 – La sorgente "Rimini offshore south" proiettata sulla Sezione Amedea-Mte. Amiata (da Bally et al., 1986).

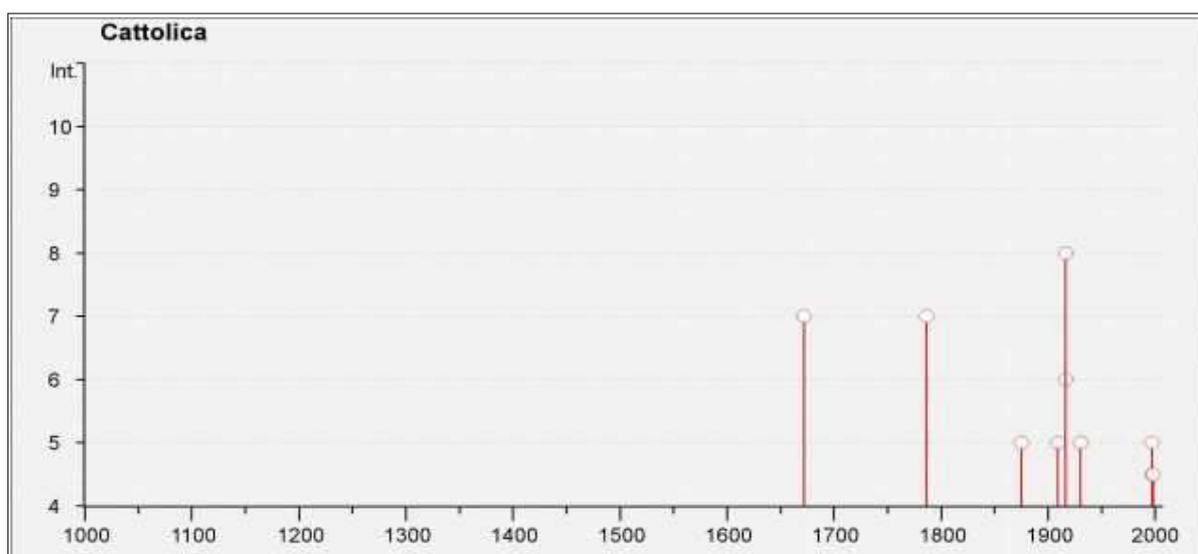


Figura 5.8 – Distribuzione dei terremoti significativi per il Comune di Cattolica e macrointensità stimata (fonte: INGV – Database Macrosismico Italiano 2011).

In conclusione sia gli studi nazionali che quelli regionali attribuiscono al territorio studiato una pericolosità "media", con terremoti locali moderatamente forti ed epicentri storici che hanno interessato località limitrofe, non direttamente il territorio di Cattolica. In questo senso, la figura 5.8 riporta un grafico della distribuzione temporale dei terremoti più significativi che hanno coinvolto il territorio di Cattolica e la relativa intensità macrosismica stimata sulla base dei danni e degli effetti percepiti nel territorio in questione: le intensità massime stimate raggiungono l'ottavo grado, stimata in particolare per il terremoto già descritto del 1916 (Rimini).

5.2 Ulteriori elementi di pericolosità sismica ai fini della pianificazione territoriale: la DAL regionale n.112/2007

La Regione Emilia-Romagna ha elaborato ed approvato (con Delibera dell'Assemblea Legislativa n.112 del maggio 2007) gli <<Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica>>, in coerenza con la L.R. n.20/2000 <<Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio>>.

Gli Indirizzi, sono stati elaborati sulla scorta degli esiti delle indagini sismiche che la Regione Emilia-Romagna ha effettuato nel territorio regionale a partire dalla fine degli anni '70 del secolo scorso e assumendo come riferimento, per la pianificazione, la pericolosità di base elaborata da INGV (recepita a livello nazionale dall'OPCM 3519/2006). In questo senso, la delibera fornisce tabelle e formule propedeutiche alla valutazione semplificata (secondo livello) dell'amplificazione locale, dati che tengono conto delle caratteristiche sismiche riscontrate nel contesto regionale.

L'amplificazione viene quantificata secondo i seguenti parametri FA riferiti alla superficie e riferiti a modellazioni con periodo di ritorno $T_r = 475$ anni e con smorzamento $\zeta = 5\%$:

- FA_{PGA} → rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ($a_{max,r}$) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ($a_{max,s}$) alla frequenza f . Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento D e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito;
- FA_{SI} - Intensità spettrale di Housner → indicatore della pericolosità sismica, è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità, nel nostro caso si sono determinati i fattori di amplificazione per i due intervalli di frequenze, rispettivamente da $0.1 < T_0 < 0.5$ s e da $0.5 < T_0 < 1$ s ($FA_{0,1-0,5s}$ e $FA_{0,1-0,5s}$)

I fattori di amplificazione sopra descritti, sono desunti dagli abachi riportati nella DAL 112/2007 (Allegato A2), riferiti a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche che tengono conto delle caratteristiche litologiche e morfologiche e della profondità del bedrock sismico.

La DAL n. 112/2007 fornisce anche i dati fondamentali per valutazioni più accurate della risposta

sismica di terzo livello da considerare nelle analisi sismiche per la pianificazione (PSC; POC; PUA): lo spettro di risposta normalizzato per l'Emilia-Romagna (per $T_r = 475$ anni cioè con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni e con smorzamento $\zeta = 5\%$), riportato in figura 5.9, e i valori di Pga anch'essi normalizzati (riferiti al suolo rigido) per ogni Comune ed i tre accelerogrammi di riferimento, selezionati dalla Banca dati IESD attraverso una procedura che valuta la similarità tra la forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali.

È così possibile ricavare lo spettro di risposta e gli accelerogrammi di riferimento per ogni Comune riscaldando lo spettro normalizzato di figura 5.9 con la a_{refg} attribuita allo stesso Comune (figura 5.10). Per il territorio amministrativo di Cattolica, la a_{refg} attribuita dalla Regione Emilia-Romagna risulta pari a 0,183g (vedi Allegato A4 della DAL 112/2007).

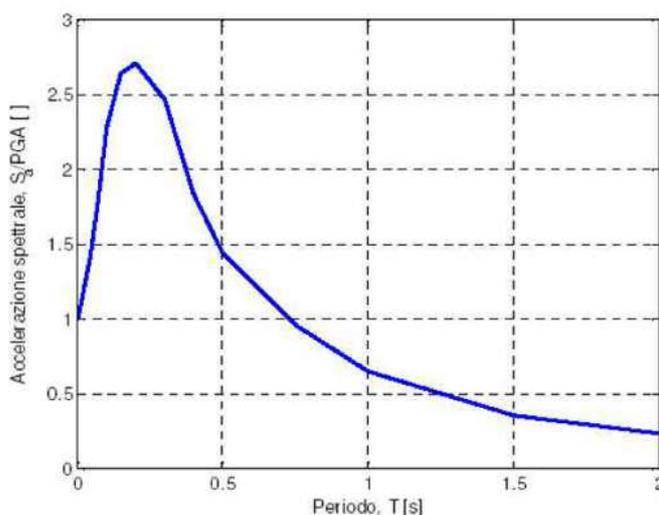


Figura 5.9– Spettro di risposta normalizzato impiegato per la selezione dei segnali di riferimento dalla banca dati accelerometrica IESD.

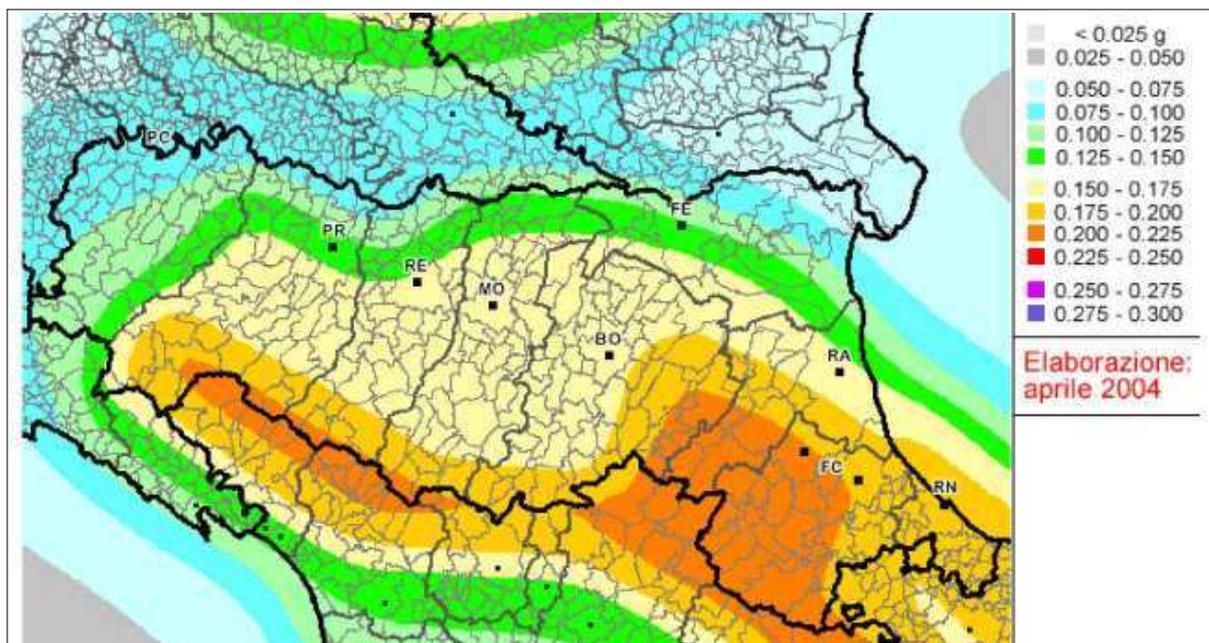


Figura 5.10– Pericolosità sismica di base: valori di PGA al suolo rigido (10% di probabilità di superamento in 50 anni) secondo la OPCM 3519/2006.

5.3 La microzonazione sismica comunale

5.3.1 Cenni introduttivi

Il Comune di Cattolica dispone di un recente aggiornamento dello studio di microzonazione sismica (MS) di “livello 2” del territorio urbanizzato e urbanizzabile. Tale studio è stato elaborato nel corso del 2013, secondo i criteri generali dettati nell'OPCM 4007/2012 e secondo i criteri per gli studi di microzonazione sismica riportati negli allegati della deliberazione della Giunta Regionale (Emilia-Romagna) n. 1302 del 10/09/2012. L'aggiornamento della MS ha consentito di espletare ulteriori approfondimenti di “livello 3” per quanto riguarda le aree del territorio comunale ricomprese in “Ambito M” della fascia mare e arenile.

In sintesi, lo studio di MS 2013 ha consentito la suddivisione del territorio urbanizzato/urbanizzabile nelle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) e la scomposizione del territorio in base all'amplificazione attesa, calcolata secondo procedure semplificate (“livello 2”) e con analisi di maggior dettaglio, cioè con modellazioni numeriche di risposta sismica locale e verifiche della liquefacibilità dei sedimenti granulari e/o poco coesivi per quanto riguarda l'“Ambito M” della fascia mare e arenile. Lo studio di MS ha consentito di redigere i seguenti elaborati cartografici:

- Carta delle Indagini (scala 1.5.000)
- Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (scala 1.5.000)
- Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni
- Carta delle Velocità delle Onde di Taglio S (scala 1.5.000)
- Carte di Microzonazione Sismica (scala 1.5.000)

Per lo studio di POC, sono stati riproposti stralci delle cartografie sopra citate (Geologico tecnica; frequenze naturali; Velocità delle onde S; Microzonazione Sismica) alla scala 1:7.500 con riportati tutti gli interventi inseriti nel Piano (vedi Allegato 5C). Per ulteriori elementi descrittivi si rimanda anche al capitolo 7.

5.3.2 Le Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica e la microzonazione di “livello 2”

Lo studio di microzonazione sismica 2013 ha consentito un ulteriore aggiornamento delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) riscontrate nel territorio urbanizzato/urbanizzabile di Cattolica. Il territorio studiato è stato classificato in “zone suscettibili di amplificazioni locali” e in “zone suscettibili di instabilità”. Si evidenzia che non sono state individuate zone “stabili” dal punto di vista sismico (cioè prive di effetti locali qualsiasi natura).

Per le zone suscettibili di amplificazioni locali si sono inoltre definiti i parametri di amplificazione (FA Pga; Fa SI) semplificati (microzonazione sismica di “livello 2”) indicati dalla DAL n. 112/2007.

ZONE SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Le zone suscettibili di amplificazioni locali sono state distinte con la seguente numerazione progressiva:

ZONA 1 ≡ Coperture di conoide alluvionale argilloso-limose e argille ghiaiose o sabbiose

si tratta di sedimenti di facies attribuibili a piana di conoide alluvionale del Conca e del Tavollo, prevalentemente argillosi e di consistenza che aumenta progressivamente con la profondità (stato di normalconsolidazione o modesta sovraconsolidazione); i sondaggi più profondi hanno riscontrato intervalli granulari di modesto spessore (potenza massima: alcuni metri) e di tessitura prevalentemente sabbiosa e in alcuni casi di ghiaie immerse in abbondante matrice argillosa. I sondaggi più profondi rilevano ancora la presenza di ghiaie (ancora con abbondante matrice argillosa) alla base dello spessore alluvionale, sovrastanti il bedrock marino pliocenico, collocato alla profondità di 50 metri.

Oltre ai dati diretti forniti dai sondaggi che hanno raggiunto il bedrock, il contesto litostratigrafico così definito è desunto anche dalle numerose registrazioni dei microtremiti con tecnica HVSR eseguite. Tutte le tromografie evidenziano picchi di amplificazione a frequenze comprese tra 1,2 Hz e 2,0 Hz (figura 5.11), riconducibili al tetto del bedrock marino pliocenico (riflettore sismico più significativo).

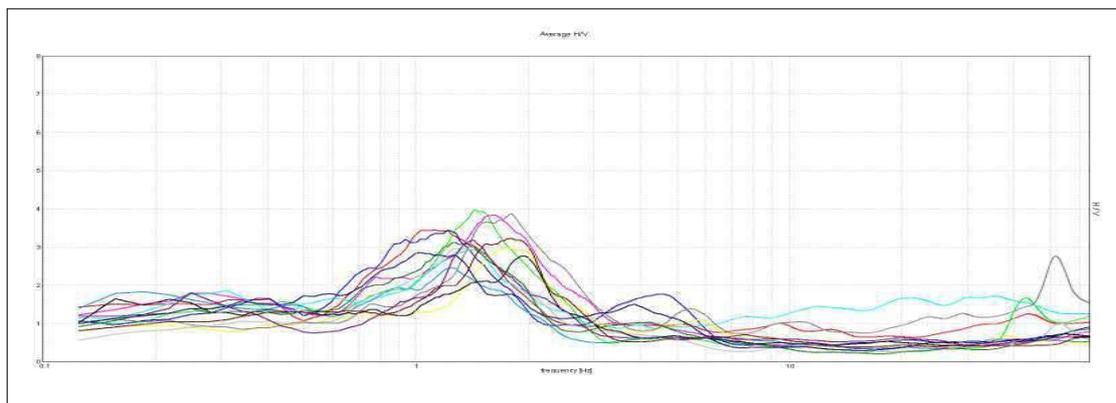


Figura 5.11 – Sovrapposizione degli spettri H/V ricavati dalle registrazioni tromografiche eseguite nel contesto di piana alluvionale di Cattolica (a monte del “berm” olocenico)

Gli esiti delle indagini tromografiche, in particolare lo spettro H/V, indicano una marcata amplificazione (alto contrasto di impedenza) a tali frequenze, con ampiezze del segnale HVSR ≥ 3 anche per la “zona 2” e la “zona 3”. Pertanto, si è attribuita la zona al contesto di “Margine Appenninico-Padano” con spessore delle coperture H =40 m: questa classificazione appare la più rappresentativa e cautelativa per le zone in questione. La distribuzione equivalente delle velocità delle onde sismiche di taglio, è stimata sulla base delle indagini geofisiche (Re.Mi.) eseguite per il POC di Cattolica. In conclusione, la “zona 1” è stata così caratterizzata dal punto di vista della risposta sismica locale semplificata (DAL RER 112/2007 – Allegato 2):

H	VsH	Contesto morfologico	F.A. PGA	F.A. S.I. (0,1s<To<0,5s)	F.A. S.I. (0,5s<To<1s)
40	300	Margine Appenninico-Padano con substrato marino caratterizzato da Vs <800 m/s	2,0	2,3	2,8

Per questa zona, non si sono riscontrate particolari condizioni di amplificazione indotte da effetti della topografia.

ZONA 2 \equiv *Coperture di conoide alluvionale argilloso-limose e argille ghiaiose o sabbiose*

si tratta di sedimenti di facies attribuibili a piana di conoide alluvionale del Conca e del Tavollo, prevalentemente argillosi e di consistenza che aumenta progressivamente con la profondità (stato di normalconsolidazione o modesta sovraconsolidazione); i sondaggi più profondi hanno riscontrato intervalli granulari di modesto spessore (potenza massima: alcuni metri) e di tessitura prevalentemente sabbiosa. I sondaggi più profondi rilevano ancora presenza di ghiaie (ancora con abbondante matrice argillosa) alla base dello spessore alluvionale, sovrastanti il bedrock marino pliocenico, collocato alla profondità di 50÷45 metri.

Come già scritto per la “zona 1” le tomografie evidenziano picchi di amplificazione a frequenze comprese tra 1,2 Hz e 2,0 Hz (figura 5.11), riconducibili al tetto del bedrock marino pliocenico (riflettore sismico più significativo), con una marcata amplificazione a tali frequenze ($H/V \geq 3$). Pertanto, si è attribuita anche questa zona al più cautelativo contesto di “Margine Appenninico-Padano” con spessore delle coperture $H = 40$ m. La distribuzione equivalente delle velocità delle onde sismiche di taglio, è stimata sulla base delle indagini geofisiche (Re.Mi.) eseguite per il POC di Cattolica. In conclusione, la “zona 2” è stata così caratterizzata dal punto di vista della risposta sismica locale semplificata (DAL RER 112/2007 – Allegato 2):

H	VsH	Contesto morfologico	F.A. PGA	F.A. S.I. (0,1s<To<0,5s)	F.A. S.I. (0,5s<To<1s)
40	300	Margine Appenninico-Padano con substrato marino caratterizzato da Vs <800 m/s	2,0	2,3	2,8

Anche per questa zona, non si sono riscontrate particolari condizioni di amplificazione indotte da effetti della topografia.

ZONA 3 \equiv *Coperture di conoide alluvionale argilloso-limose e argille ghiaiose o sabbiose*

si tratta di sedimenti di facies attribuibili a piana di conoide alluvionale del Conca , prevalentemente argillosi e di consistenza che aumenta progressivamente con la profondità (stato di normalconsolidazione o modesta sovraconsolidazione); i sondaggi più profondi rilevano la presenza di ghiaie (con abbondante matrice argillosa) alla base dello spessore alluvionale, sovrastanti il bedrock marino pliocenico, collocato alla profondità di 40 metri.

Come già scritto per la “zona 1” e la “zona 2”, le tomografie evidenziano picchi di amplificazione a frequenze comprese tra 1,2 Hz e 2,0 Hz (figura 5.11), riconducibili al tetto del bedrock marino pliocenico (riflettore sismico più significativo), con una marcata amplificazione

a tali frequenze ($H/V \geq 3$). Pertanto, si è attribuita anche questa zona al più cautelativo contesto di "Margine Appenninico-Padano" con spessore delle coperture $H = 40$ m. La distribuzione equivalente delle velocità delle onde sismiche di taglio, è stimata sulla base delle indagini geofisiche (Re.Mi.) eseguite per il POC di Cattolica. In conclusione, la "zona 3" è stata così caratterizzata dal punto di vista della risposta sismica locale semplificata (DAL RER 112/2007 – Allegato 2):

H	VsH	Contesto morfologico	F.A. PGA	F.A. S.I. (0,1s<To<0,5s)	F.A. S.I. (0,5s<To<1s)
40	300	Margine Appenninico-Padano con substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s	2,0	2,3	2,8

Anche per questa zona, non si sono riscontrate particolari condizioni di amplificazione indotte da effetti della topografia.

ZONA 4 ≡ Coperture di conoide alluvionale argilloso-limose e argille ghiaiose o sabbiose

si tratta di sedimenti di facies attribuibili a piana di conoide alluvionale del Conca/Tavollo (e/o Ventena?), prevalentemente argillosi e di consistenza che aumenta progressivamente con la profondità (stato di normalconsolidazione o modesta sovraconsolidazione). Le penetrometrie e le indagini geofisiche rilevano per questa zona una profondità del bedrock marino pliocenico a circa 9 metri. La registrazione dei microtremori HVSR indica la presenza di un forte contrasto di impedenza a circa 5,7 Hz (figura 5.12), dovuto probabilmente al bedrock marino sepolto dalle coperture alluvionali di modesta potenza.

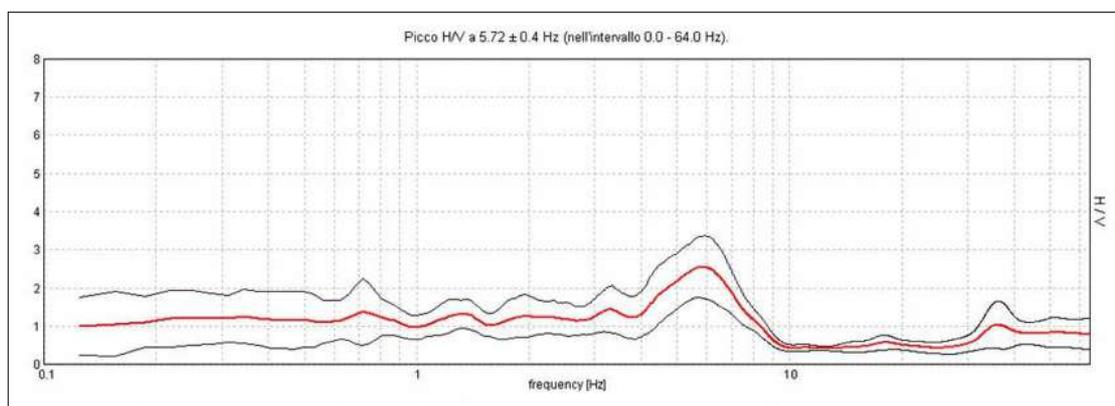


Figura 5.12– Spettro H/V della registrazione tromografica eseguita tra il Monte Vici e l'alveo del Ventena e ricostruzione della distribuzione delle Vs).

ZONA 5 ≡ Substrato roccioso non rigido affiorante (Formazione a Colombacci). Acclività 5°-10°

si tratta della "Formazione a Colombacci", localmente costituita da alternanze arenaceo-marnose in proporzioni variabili (A/P da 2/1 a 10/1), che costituisce il bedrock affiorante nel rilievo di Monte Vici. Le arenarie, di colore grigio, sono caratterizzate da fitta laminazione piano-parallela, ondulata e incrociata, in strati medi, più raramente sottili o spessi, di colore grigio alterate in giallo o marrone. Marne e siltiti grigie in strati sottili e molto sottili, raramente

medi. L'età deposizionale è attribuita al Messiniano medio e superiore. Le caratteristiche geologiche, includono tale bedrock sismico nel <<substrato geologico non rigido stratificato - NRS>>, come confermato dalle indagini geofisiche eseguite per lo studio di microzonazione sismica ($V_s = 450$ m/s).

Sul bedrock affiorante è stata eseguita una registrazione dei microtremori sismici HVSR che ha evidenziato una traccia dello spettro H/V relativamente piatta (figura 5.13), sebbene con rapporto che si mantiene superiore a 1 a dimostrazione della blanda amplificazione di tale substrato.

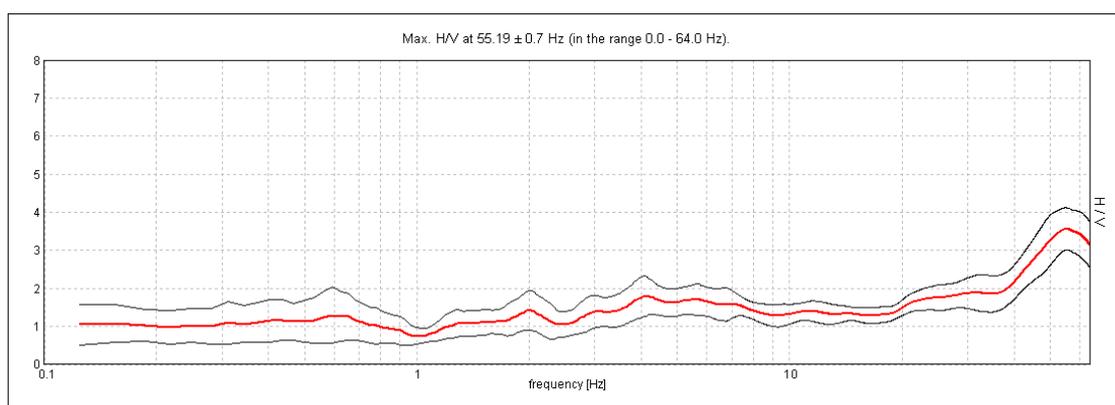


Figura 5.13 – Spettro H/V della registrazione tromografica eseguita sul Monte Vici (bedrock marino affiorante – “Formazione a Colombacci”).

La seguente tabella riassume gli esiti di risposta sismica locale semplificata (DAL RER 112/2007 – Allegato 2) attribuita a questa zona:

Vs30	Contesto morfologico	F.A. PGA	F.A. S.I. (0,1s<To<0,5s)	F.A. S.I. (0,5s<To<1s)
450	Substrato marino caratterizzato da Vs <800 m/s affiorante	1,4	1,4	1,5

Per l'area in oggetto, non si sono riscontrate particolari condizioni di amplificazione indotte da effetti della topografia.

ZONA 6 ≡ *Substrato roccioso non rigido affiorante (Formazione a Colombacci). Acclività 15°-25° (piede del pendio)*

si tratta della “Formazione a Colombacci”, localmente costituita da alternanze arenaceo-marnose in proporzioni variabili (A/P da 2/1 a 10/1), che costituisce il bedrock affiorante nel rilievo di Monte Vici. Le arenarie, di colore grigio, sono caratterizzate da fitta laminazione piano-parallela, ondulata e incrociata, in strati medi, più raramente sottili o spessi, di colore grigio alterate in giallo o marrone. Marne e siltiti grigie in strati sottili e molto sottili, raramente medi. L'età deposizionale è attribuita al Messiniano medio e superiore. Le caratteristiche geologiche, includono tale bedrock sismico nel <<substrato geologico non rigido stratificato - NRS>>, come confermato dalle indagini geofisiche eseguite per lo studio di microzonazione sismica ($V_s = 450$ m/s).

Sul bedrock affiorante è stata eseguita una registrazione dei microtrempi sismici HVSR che ha evidenziato una traccia dello spettro H/V relativamente piatta (figura 5.13), sebbene con rapporto che si mantiene superiore a 1 a dimostrazione della blanda amplificazione di tale substrato.

La seguente tabella riassume gli esiti di risposta sismica locale semplificata (DAL RER 112/2007 – Allegato 2) attribuita a questa zona:

Vs30	Contesto morfologico	F.A. PGA	F.A. S.I. (0,1s<To<0,5s)	F.A. S.I. (0,5s<To<1s)
450	Substrato marino caratterizzato da Vs <800 m/s affiorante	1,4	1,4	1,5

Per l'area in oggetto, non si sono riscontrate particolari condizioni di amplificazione indotte da effetti della topografia.

ZONE SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Le zone suscettibili di instabilità sono aree nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre ai fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio. Per il territorio di Cattolica, le ulteriori indagini geognostiche di repertorio e quelle espletate per lo studio di microzonazione sismica hanno permesso una migliore definizione delle aree potenzialmente suscettibili alla liquefazione. La carta delle MOPS ha perimetrato le seguenti aree suscettibili di instabilità, che necessariamente dovranno essere oggetto di ulteriori approfondimenti sismici di terzo livello:

[1] Aree suscettibili di liquefazioni – sabbie pulite e sabbie ghiaiose di spiaggia.

comprendono depositi prevalentemente granulari di spiaggia recente caratterizzate da sabbie medie e fini prevalenti, talvolta con livelli ghiaiosi. Nella carta delle MOPS vengono contraddistinte rispetto alle altre aree suscettibili di instabilità con il numero arabo 1. In tale area, sono indispensabili approfondimenti sismici di terzo livello, relativamente a verifiche quantitative della liquefazione/densificazione, dei cedimenti post-sisma e della risposta sismica locale con modello numerico;

[2] Aree suscettibili di liquefazioni – Sabbie di cordone litoraneo e/o di spiaggia profonde fino a 8÷10 m

comprendono depositi prevalentemente granulari di facies deposizionale costiera, in particolare di cordone litorale e/o di spiaggia, con sabbie medie e fini prevalenti, di densità medio-alta nei primi 4÷5 metri di profondità e moderatamente addensate più in profondità (DR >45%). Lo spessore complessivo di questa sequenza è di circa 8÷10 metri. Nella carta delle MOPS vengono contraddistinte rispetto alle altre aree suscettibili di instabilità con il numero arabo 2. In tale area sono indispensabili approfondimenti sismici di terzo livello, relativamente a verifiche quantitative della liquefazione/densificazione, dei cedimenti post-sisma e della risposta sismica locale con modello numerico;

[3] Aree suscettibili di liquefazioni – sabbie e sabbie argillose di piana deltizia profonde 8÷10 metri

si tratta di sedimenti olocenici, di prevalente facies deposizionale di piana deltizia del Conca ai quali si intercalano depositi di facies costiera (cordone litorale). Lo spessore complessivo di questa sequenza è di circa 8÷10 metri. Le caratteristiche tessiturali e geotecniche di questo intervallo sono variabili in funzione del contesto deposizionale predominante. Le sabbie di cordone marino (in genere di granulometria prevalentemente media e spessori inferiori a 150÷200 cm) sono caratterizzate da moderato grado di addensamento ($DR >45\%$), mentre gli intervalli prevalentemente argillosi (depositi alluvionali) appaiono caratterizzati da un grado di plasticità medio-alta ($IP >20$). Tra le due situazioni tessiturali descritte, si rilevano intervalli caratterizzati da tessiture e caratteristiche meccaniche intermedie. Seguono in profondità sedimenti prevalentemente argillosi di piana alluvionale, (moderatamente sovraconsolidati) fino al bedrock marino pliocenico, collocato nell'area studiata a una profondità media di circa 35 metri. Nella carta delle MOPS vengono contraddistinte rispetto alle altre aree suscettibili di instabilità con il numero arabo 3. In tale area sono indispensabili approfondimenti sismici di terzo livello, relativamente a verifiche quantitative della liquefazione/densificazione, dei cedimenti post-sisma e della risposta sismica locale con modello numerico;

Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti: aree suscettibili di liquefazioni con tombamenti di ex cava

si tratta di ex cave ora tombate di profondità incerta e con caratteristiche di ripristino ignote situate nel contesto di piana deltizia del fiume Conca, già caratterizzata da suscettibilità alla liquefazione/densificazione. In queste aree sono indispensabili approfondimenti sismici di terzo livello, relativamente a verifiche quantitative della liquefazione/densificazione, dei cedimenti post-sisma e della risposta sismica locale con modello numerico, se del caso anche bi-tridimensionale.

5.3.3 Gli approfondimenti di “livello 3”

Il contesto di pericolosità sismica della piana costiera di Cattolica, legata alla potenziale liquefacibilità dei sedimenti, impone approfondimenti sismici che consentano anche la valutazione più accurata della risposta sismica locale (RSL) finalizzata a quantificare anche gli effetti di amplificazione indotti da sisma. In questo senso, lo studio di microzonazione sismica 2013 ha consentito di espletare per l'“Ambito M” (che comprende parte della zona urbanizzata più prossima alla costa, in gran parte occupata da strutture alberghiere) analisi di modellazione numerica della RSL e verifiche numeriche di liquefazione.

MODELLAZIONI NUMERICHE DI RSL

Sono stati elaborati due specifici modelli numerici di risposta sismica locale, rispettivamente distinti con la sigla “Cattolica 1” e “Cattolica 2”. La figura 5.14 ripropone la sezione geologica di riferimento (3-3') per le elaborazioni numeriche: il modello “Cattolica 1” è rappresentativo del contesto di

sottosuolo che caratterizza la porzione ovest dell'“Ambito M” ove i sedimenti meno profondi (fino a circa 10 metri) sono attribuibili a facies deposizionale di delta del torrente Conca; il modello “Cattolica 2” è invece rappresentativo della porzione costiera centrale dell'“Ambito M” ove i sedimenti meno profondi (8 metri circa) sono attribuibili a facies deposizionale di cordone marino e spiaggia.

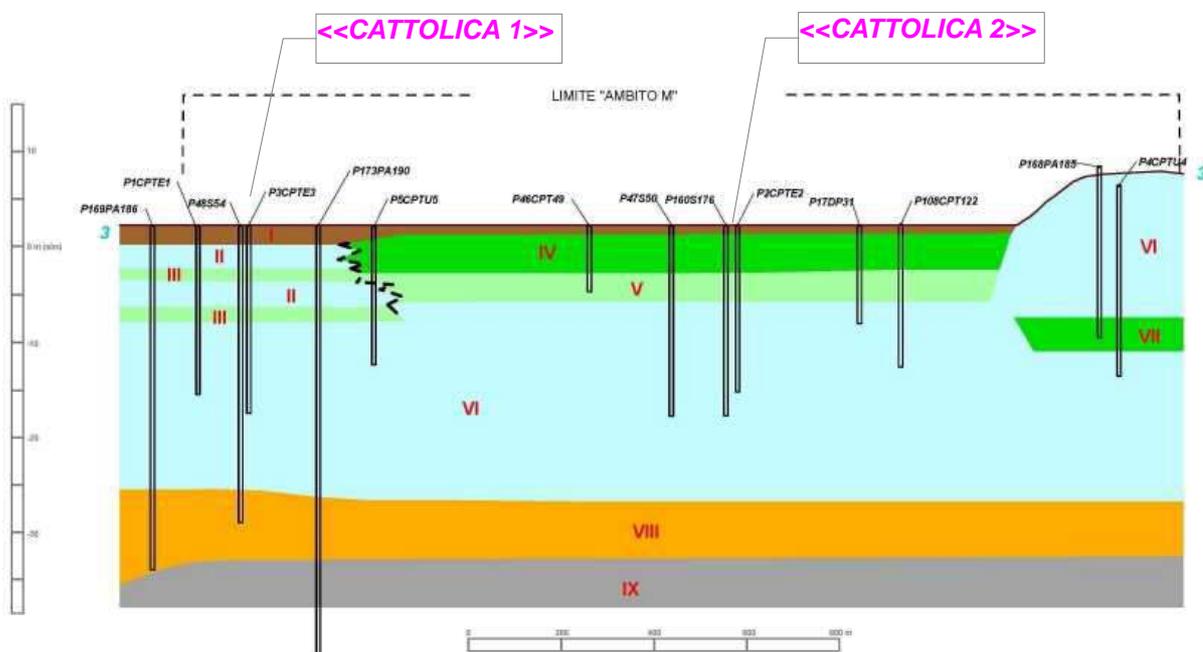


Figura 5.14 – Sezione 3-3' ed estrapolazione della modellazione numerica di risposta sismica locale di terzo livello per l'area oggetto di approfondimenti sismici (“Ambito M”).

Per la modellazione numerica ci si è basati sul noto codice di calcolo “SHAKE 2000”, un programma di calcolo realizzato per verifiche monodimensionali, in grado di raggiungere, tramite una sequenza di analisi lineari complete, valori di rigidezza G e di smorzamento D compatibili con le caratteristiche delle colonne litologiche oggetto di studio.

Le elaborazioni numeriche sono state impostate sui tre accelerogrammi di riferimento, forniti dalla regione Emilia-Romagna, selezionati dalla Banca Dati accelerometrica ISESD attraverso una procedura che valuta la similarità tra la forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali. La Regione Emilia-Romagna fornisce anche lo spettro di risposta normalizzato (10% di probabilità di superamento in 50 anni, sulla base di dati INGV) e la PGA anch'essa normalizzata per ogni Comune.

È così possibile ricavare lo spettro di risposta e gli accelerogrammi di riferimento, ossia scalati per ogni Comune. Si tratta di tre tipologie di segnali, già “scalati” per il territorio comunale a cui si riferiscono e sono rappresentati dai tre differenti accelerogrammi di progetto riprodotti della figura 5.15 ovvero:

- 1) impulsivo
- 2) con ampio contenuto in frequenze
- 3) con componente predominante alle alte frequenze.

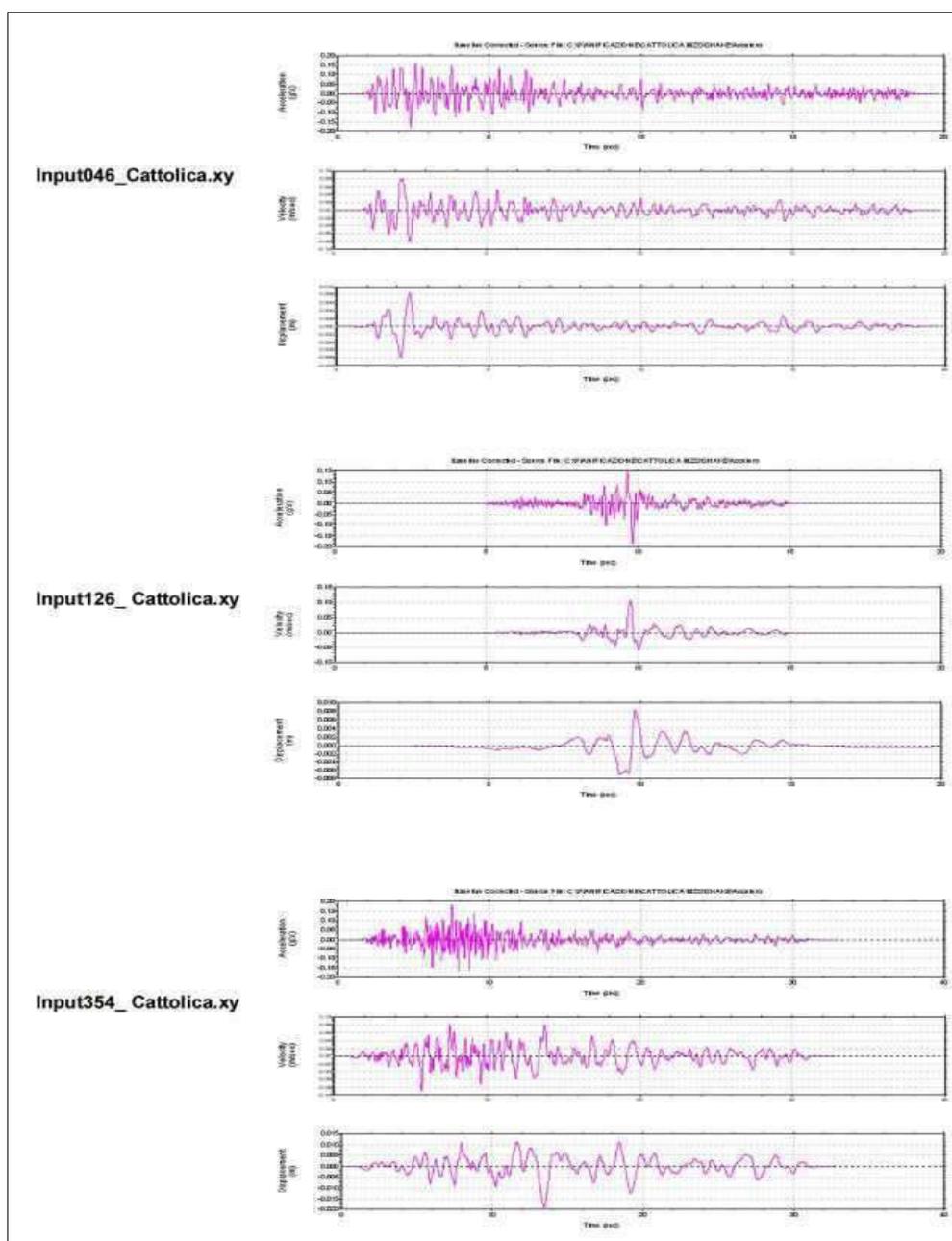


Figura 5.15 – Accelerogrammi di riferimento per il Comune di Cattolica e utilizzati per la modellazione numerica espletata con SHAKE 2000.

La verifica monodimensionale dell'amplificazione locale tramite l'utilizzo del software SHAKE 2000 consente di determinare i parametri di amplificazione richiesti dalla DAL regionale 112/2007 ovvero FA (PGA), FA $SI_{0,1-0,5s}$ e FA $SI_{0,5-1s}$.

Per il modello "Cattolica 1" (figura 5.16) il bedrock sismico è stato impostato a 35 m di profondità dal p.c., al tetto del substrato marino pliocenico, sebbene come già evidenziato, le Velocità delle onde di taglio sottostanti tale quota risultino certamente inferiori a 800 m/s.

La modellazione ha consentito la valutazione dell'amplificazione locale intesa come rapporto PGA/PGA_0 ossia come rapporto dell' ag_{max} al suolo (calcolata con SHAKE 2000) rispetto all' ag_{refg} al

suolo rigido FA (PGA). Si rammenta che per il Comune di Cattolica la DAL 112/2007 (allegato A4) attribuisce una $a_{g_{refg}}$ al suolo rigido pari a 0,183g.

Gli esiti hanno dimostrato discrepanze fra le risposte del modello di sottosuolo in relazione ai diversi input sismici assegnati: il rapporto PGA/PGA_0 più cautelativo al suolo è ottenuto con l'input 354: la a_g di picco ricavata al suolo risulta infatti pari a 0,31g (figura 5.17) con un $FA(PGA) = 1,7$.

Figura 5.16 – Modellazione stratigrafica di riferimento utilizzata per la modellazione sismica con SHAKE2000 "Cattolica 1".

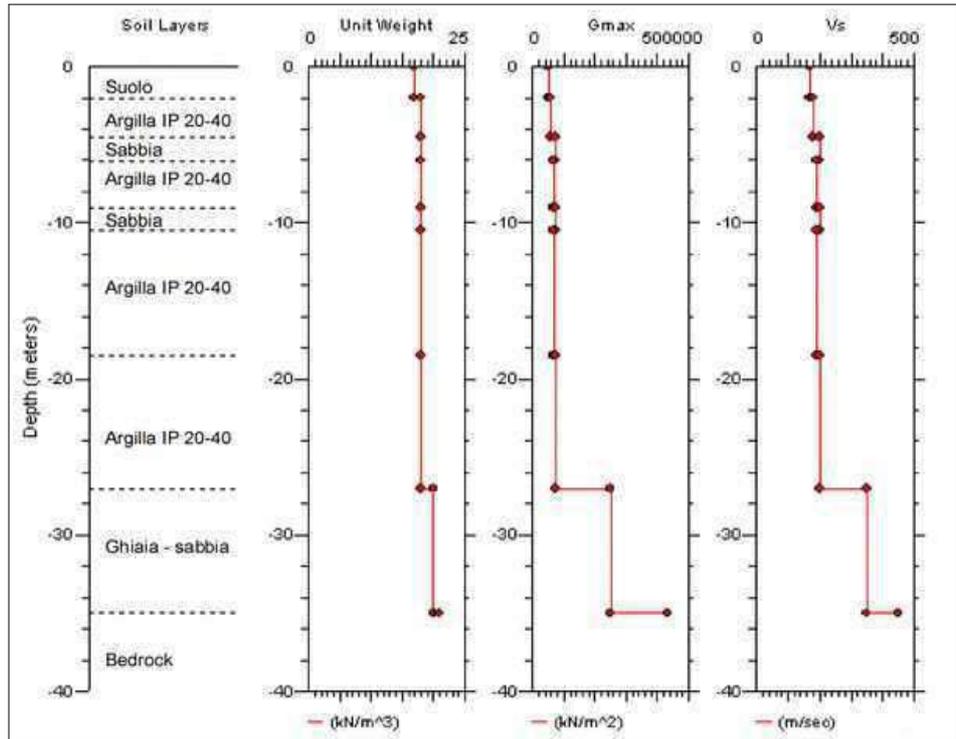
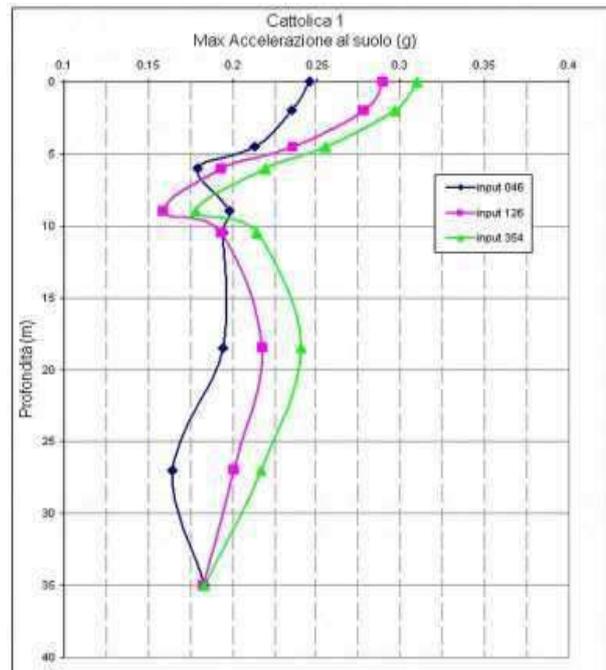


Figura 5.17 – Distribuzione delle accelerazioni orizzontali di picco per i tre input sismici di riferimento (modello "Cattolica 1").



Per quanto riguarda la stima dell'intensità spettrale di Housner (SI), intesa come rapporto fra gli spettri PSV al suolo e PSV al bedrock, la modellazione espletata con SHAKE 2000 ha permesso di ricavare i seguenti parametri di amplificazione nei due intervalli temporali considerati, rispettivamente di 0,1s ÷ 0,5s e 0,5s ÷ 1,0s (figura 5.18):

<i>INPUT_046_Cattolica.xy</i>	<i>INPUT_126_Cattolica.xy</i>	<i>INPUT_354_Cattolica.xy</i>
F.A. SI/SI0 [0.1s-0.5s] = 1,5	F.A. SI/SI0 [0.1s-0.5s] = 1,5	F.A. SI/SI0 [0.1s-0.5s] = 1,4
F.A. SI/SI0 [0.5s-1.0s] = 3,2	F.A. SI/SI0 [0.5s-1.0s] = 4,1	F.A. SI/SI0 [0.5s-1.0s] = 3,1

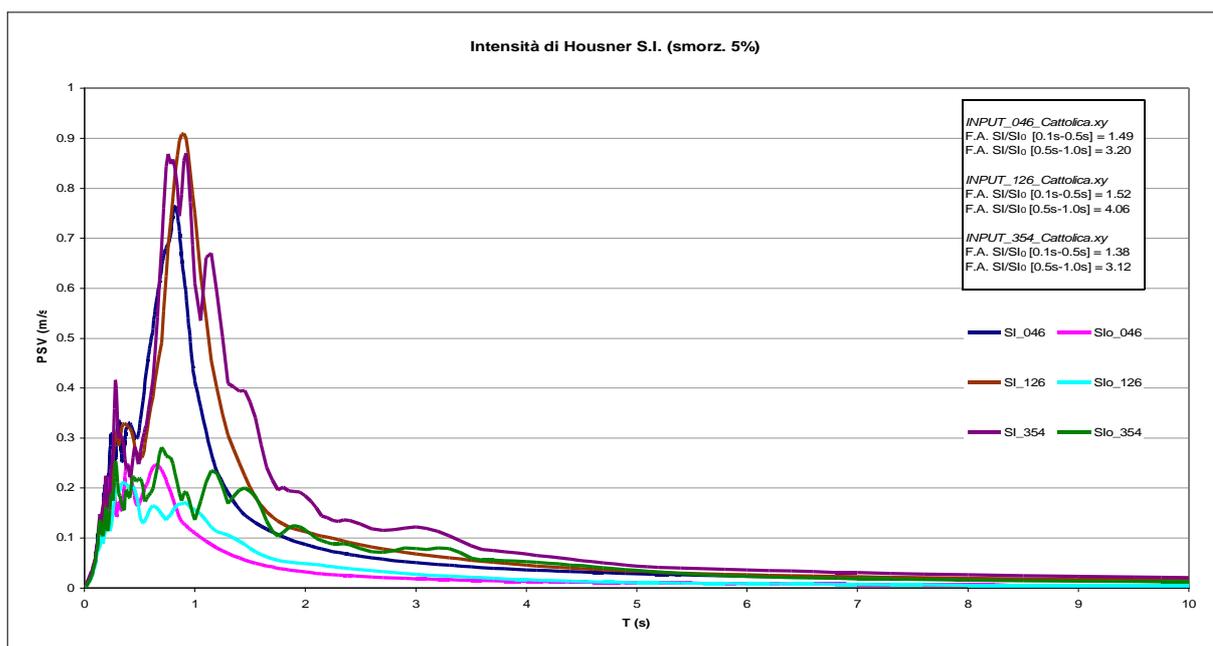


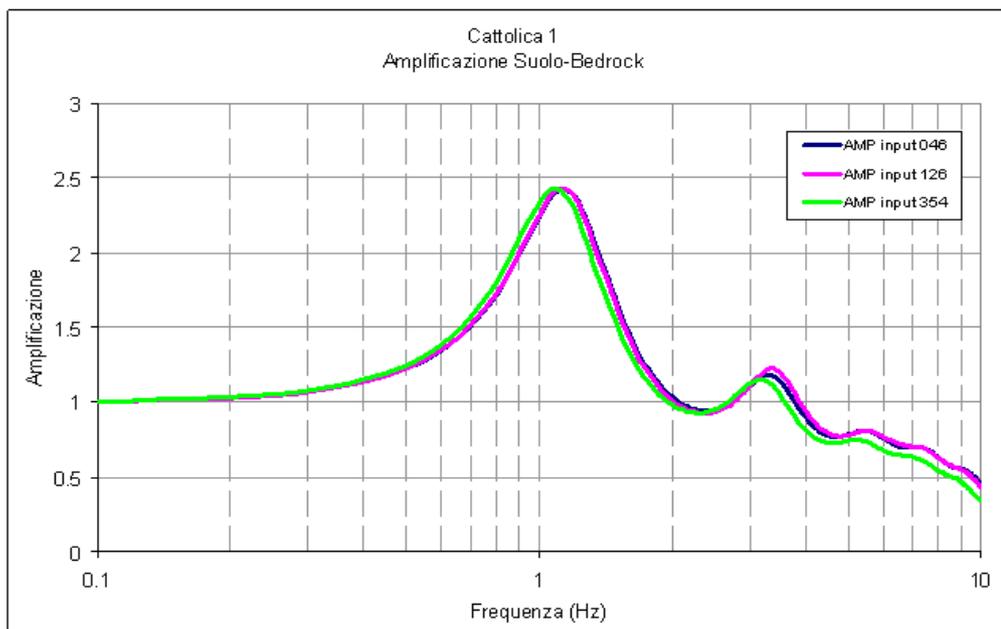
Figura 5.18 – Intensità di Housner SI riferite al bedrock e al suolo per i tre input sismici di riferimento (modello “Cattolica 1”).

Il software SHAKE 2000 consente la valutazione della risposta sismica locale anche in funzione delle amplificazioni del moto di vibrazione (frequenze dell'impulso sismico), considerando i fattori di smorzamento D e i rapporti tra le impedenze sismiche dei sismostrati. La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione A(f) della colonna sismo stratigrafica. Il moto sismico può dunque essere amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, corrispondenti alle frequenze naturali f_n di vibrazione della colonna stratigrafica (figura 5.19). In questo senso, molto importante risulta la prima frequenza naturale di vibrazione f_1 (indicata anche come f_0), denominata frequenza fondamentale, in corrispondenza della quale la funzione di amplificazione assume un valore massimo.

Dalle funzioni di amplificazione ricavate dalle elaborazioni sui tre input, risulta che la frequenza fondamentale assume un valore locale pari a circa 1,1÷1,15 Hz. Un'ulteriore possibile risonanza si ottiene a 3,2÷3,4 Hz, sebbene tale amplificazione risulti poco significativa:

$$F_0 = 1,10 \div 1,15 \text{ Hz} \rightarrow \text{amplificazione} = 2,4 \quad F_1 = 3,2 \div 3,4 \text{ Hz} \rightarrow \text{amplificazione} = 1,2$$

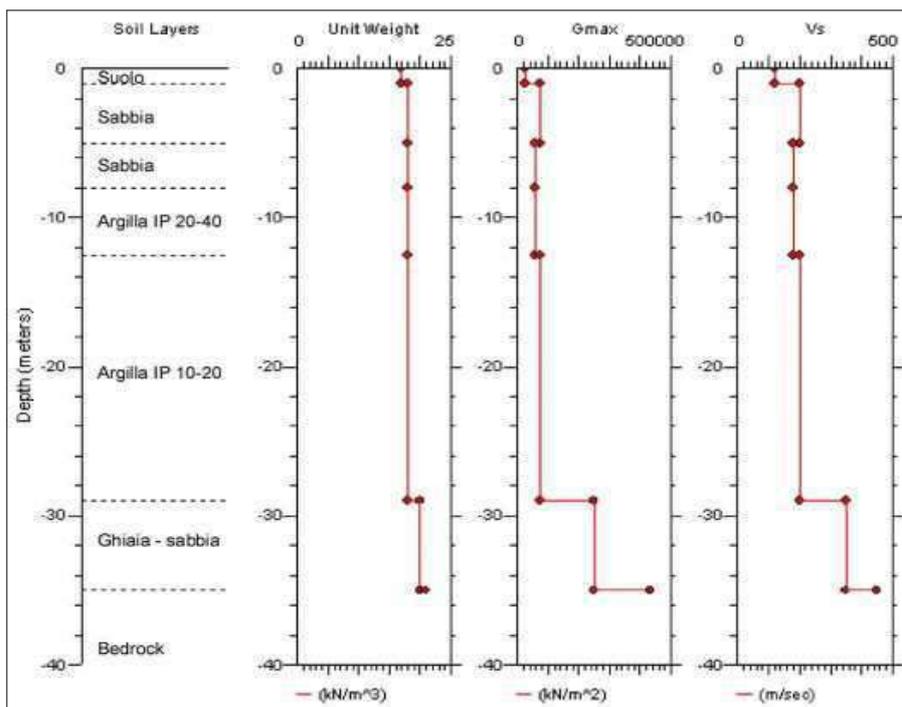
Figura 5.19 – Funzione di trasferimento del moto oscillatorio del sisma lungo tutta la colonna litologica tipo per ogni input sismico di riferimento (modello "Cattolica 1")



Si precisa che la modellazione numerica elaborata dal software SHAKE 2000 è stata limitata alla stima dell'amplificazione entro i 10 Hz, limite più utile ai fini ingegneristici per le analisi delle interazioni sottosuolo/strutture.

Anche per il modello "Cattolica 2" (figura 5.20), il bedrock sismico è stato impostato a 35 m di profondità dal p.c., al tetto del substrato marino pliocenico. Per questo secondo modello, la valutazione dell'amplificazione locale intesa come rapporto PGA/PGA_0 ossia come rapporto dell' ag_{max} al suolo (calcolata con SHAKE 2000) rispetto all' ag_{refg} al suolo rigido FA (PGA), evidenzia le solite discrepanze fra le risposte del modello di sottosuolo in relazione ai diversi input sismici assegnati: il rapporto PGA/PGA_0 più cautelativo al suolo è ottenuto in questo caso dall'input 126, sebbene per poche frazioni: la ag di picco al suolo risulta pari a 0,30g (figura 5.21) con FA (PGA) = 1,6.

Figura 5.20 – Modellazione stratigrafica di riferimento utilizzata per la modellazione sismica con SHAKE2000 "Cattolica 2.



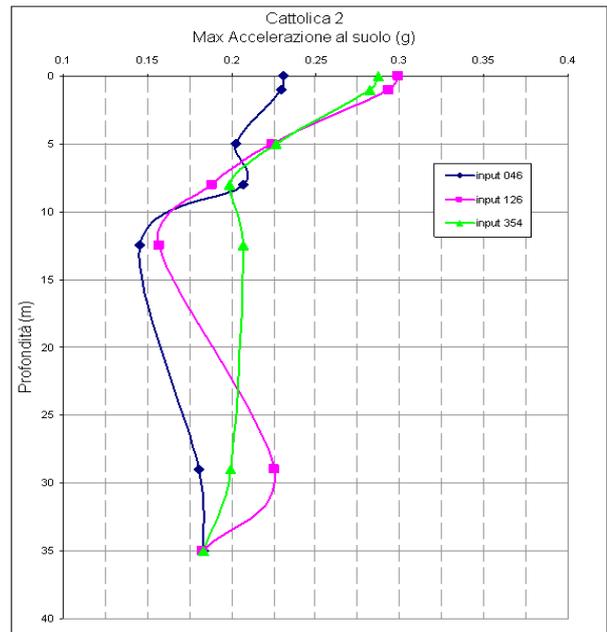


Figura 5.21 – Distribuzione delle accelerazioni orizzontali di picco per i tre input sismici di riferimento (modello "Cattolica 2").

Per quanto riguarda la stima dell'intensità spettrale di Housner (SI), intesa come rapporto fra gli spettri PSV al suolo e PSV al bedrock, la modellazione espletata con SHAKE 2000 ha permesso di ricavare i seguenti parametri di amplificazione nei due intervalli temporali considerati, rispettivamente di 0,1s ÷ 0,5s e 0,5s ÷ 1,0s (figura 5.22):

<i>INPUT_046_Cattolica.xy</i>	<i>INPUT_126_Cattolica.xy</i>	<i>INPUT_354_Cattolica.xy</i>
F.A. SI/SI ₀ [0.1s-0.5s] = 1,5	F.A. SI/SI ₀ [0.1s-0.5s] = 1,6	F.A. SI/SI ₀ [0.1s-0.5s] = 1,4
F.A. SI/SI ₀ [0.5s-1.0s] = 3,2	F.A. SI/SI ₀ [0.5s-1.0s] = 4,0	F.A. SI/SI ₀ [0.5s-1.0s] = 3,2

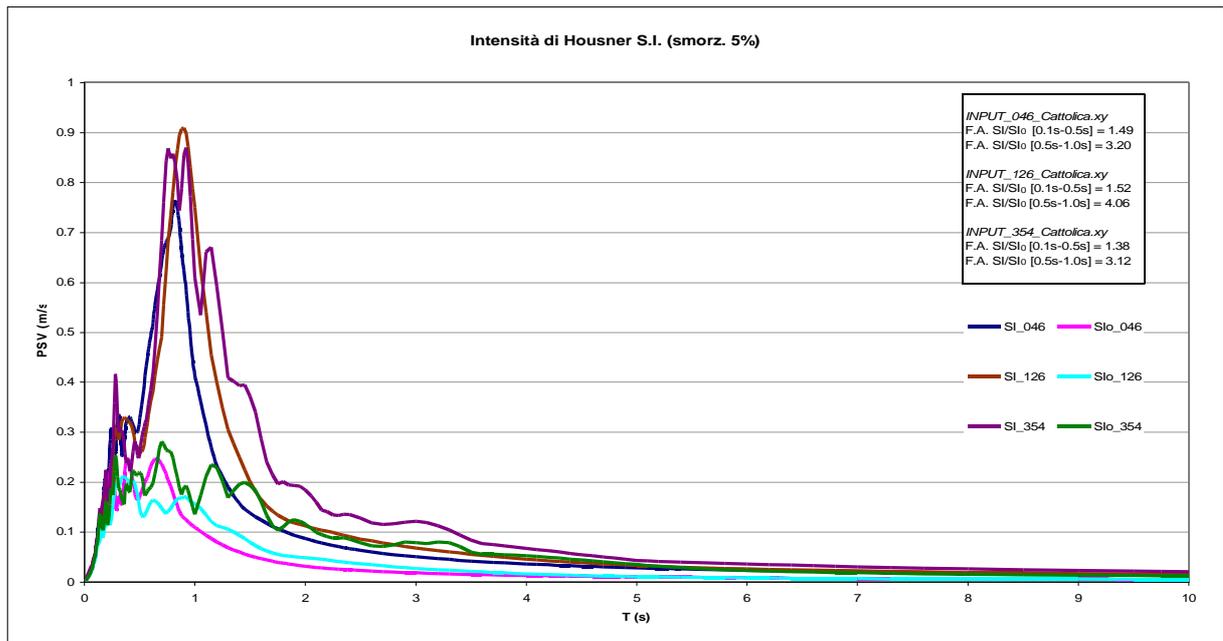


Figura 5.22 – Intensità di Housner SI riferite al bedrock e al suolo per i tre input sismici di riferimento (modello "Cattolica 2").

Anche per questo modello, il software SHAKE 2000 consente la valutazione della risposta sismica locale in funzione delle amplificazioni del moto di vibrazione (figura 5.23). Dalle funzioni di amplificazione ricavate dalle elaborazioni sui tre input, anche per questo modello risulta che la frequenza fondamentale assume un valore locale pari a circa 1,1÷1,15 Hz. Un'ulteriore possibile risonanza si ottiene a 3,1÷3,3 Hz, sebbene tale amplificazione risulti poco significativa:

$F_0 = 1,10 \div 1,15 \text{ Hz} \rightarrow \text{amplificazione} = 2,5$ $F1 = 3,2 \div 3,4 \text{ Hz} \rightarrow \text{amplificazione} = 1,3$

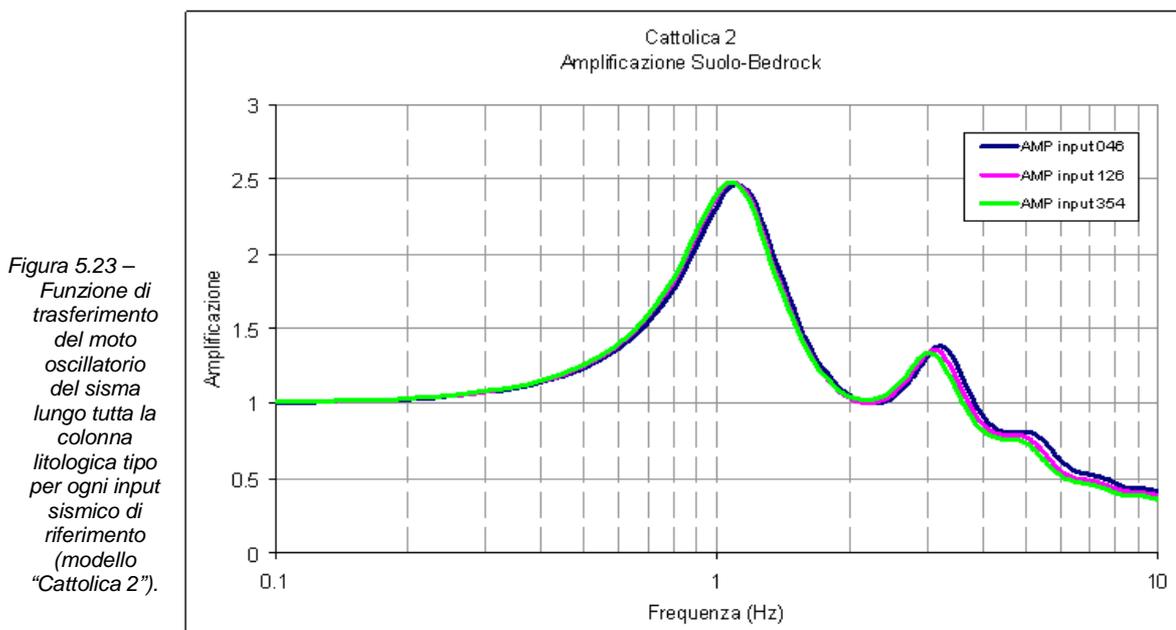


Figura 5.23 – Funzione di trasferimento del moto oscillatorio del sisma lungo tutta la colonna litologica tipo per ogni input sismico di riferimento (modello “Cattolica 2”).

Anche in questo caso la modellazione numerica elaborata dal software SHAKE2000 è stata limitata alla stima dell’amplificazione entro i 10 Hz, limite più utile ai fini ingegneristici per le analisi delle interazioni sottosuolo/strutture.

VERIFICHE DI LIQUEFAZIONE E DEI CEDIMENTI POST SISMA

Per liquefazione si intende l’annullamento di resistenza al taglio di terreni granulari saturi sotto sollecitazioni di taglio cicliche, in conseguenza delle quali il sedimento raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di un liquido viscoso. Il meccanismo di liquefazione è governato da molti fattori e tra questi i principali sono: caratteristiche dell’impulso sismico; (magnitudo $M > 5$); densità relativa ($DR < 50 \div 60\%$); pressioni di confinamento (non sono riportati casi in letteratura di liquefazione in strati granulari profondi oltre 15-20 metri); fuso granulometrico; falda superficiale.

Occorre anche evidenziare che la liquefazione di sedimenti saturi non sempre produce perdita di funzionalità o collasso delle strutture degli edifici. Riduzioni rilevanti di capacità portante e cedimenti significativi sono generalmente funzione:

- x dell’ampiezza e tempo del carico ciclico del sisma;
- x dello spessore ed estensione dello strato in liquefazione;
- x dello spessore dei sedimenti non soggetti a liquefazione interposti tra fondazioni e strato in

densificazione/liquefazione;

- x delle condizioni morfologiche al contorno (acclività; presenza di scarpate o di variazioni di pendenza; vuoti di cava; incisioni fluviali; maceri).

In condizioni di sisma, vi possono dunque essere effetti di "riordino", con possibilità di cedimenti anche significativi e che possono coinvolgere sia i depositi granulari poco addensati e recenti (olocenici), sia i sedimenti coesivi poco plastici e poco consistenti. I cedimenti verticali post-sisma possono essere causati da riconsolidazione oppure da deformazioni di taglio associate a spostamenti laterali dei sedimenti, sebbene questi ultimi possano ritenersi improbabili nel territorio comunale di Cattolica in quanto non risultano storicamente documentati fenomeni di dislocazione laterale per contesti morfologici di piana subpianeggiante come quello di studio, in particolare per sismi di magnitudo $M < 6$ (Bartlett e Yuod, 1992).

Per quanto detto, gli studi di pericolosità sismica più recenti hanno iniziato a elaborare procedure di stima delle potenziali deformazioni post-sisma anche nei sedimenti fini (limi e argille a comportamento "non drenato", poco plastici e poco consistenti), provocate da perdite di resistenza. Quest'ultimo fenomeno è noto con il termine "cyclic softening" ed è stato ben descritto da Idriss & Boulanger (2004; 2007).

Le verifiche di propensione alla liquefazione e dei cedimenti potenziali indotti da sisma possono essere valutati utilizzando correlazioni empiriche basate sui risultati delle prove CPTU/CPTU. Il vantaggio dell'uso delle penetrometrie statiche è da ricercarsi nella maggiore accuratezza e ripetibilità della CPTU/CPTU rispetto ad altre prove, nella loro relativa economicità e, soprattutto, nella possibilità di avere profili continui con la profondità e che forniscono informazioni dettagliate anche sulla stratigrafia. Come già scritto, per lo studio di MS 2013 le nuove indagini CPTU sono state concentrate nella zona di costa (figura 5.24) in quanto già considerata potenzialmente liquefacibile. Tale zona risultava, all'epoca delle analisi, piuttosto sguarnita da prove di questa tipologia. Si rammenta, inoltre, che altre indagini CPTU/CPTU sono state eseguite nelle aree di previsione in occasione dello studio per il primo POC comunale.

Per lo studio di microzonazione sismica 2013, la procedura di verifica della liquefacibilità si è basata sull'approccio aggiornato di Robertson & Wride (1998) e inoltre sulla valutazione dell'indice del potenziale di liquefazione LI o LPI (Iwasaki et al, 1978).

Il metodo di Robertson & Wride (1998), è stato recentemente aggiornato dallo stesso Robertson (2009; 2010)¹² per la valutazione della liquefazione e delle condizioni di "cyclic softening" dei sedimenti

¹² P.K. Robertson, 2009. "Performance based earthquake design using the CPT", Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering – from case history to practice, ISTokyo, June 2009.

Robertson, P.K. and Lisheng, S., 2010, "Estimation of seismic compression in dry soils using the CPT" FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT ADVANCES IN GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING AND SOIL DYNAMICS, Symposium in honor of professor I. M. Idriss, San Diego, CA

poco coesivi, sulla base dei concetti descritti da Boulanger e Idriss (2004; 2007), verificati da casi storici recenti (terremoti di Loma Prieta, Chi-Chi, Kocaeli). Il metodo è stato esteso per includere anche i terreni argillosi e a comportamento simile a quelli argillosi ("clay-like-soil") sulla base dei concetti descritti da Boulanger e Idriss (2004; 2007).

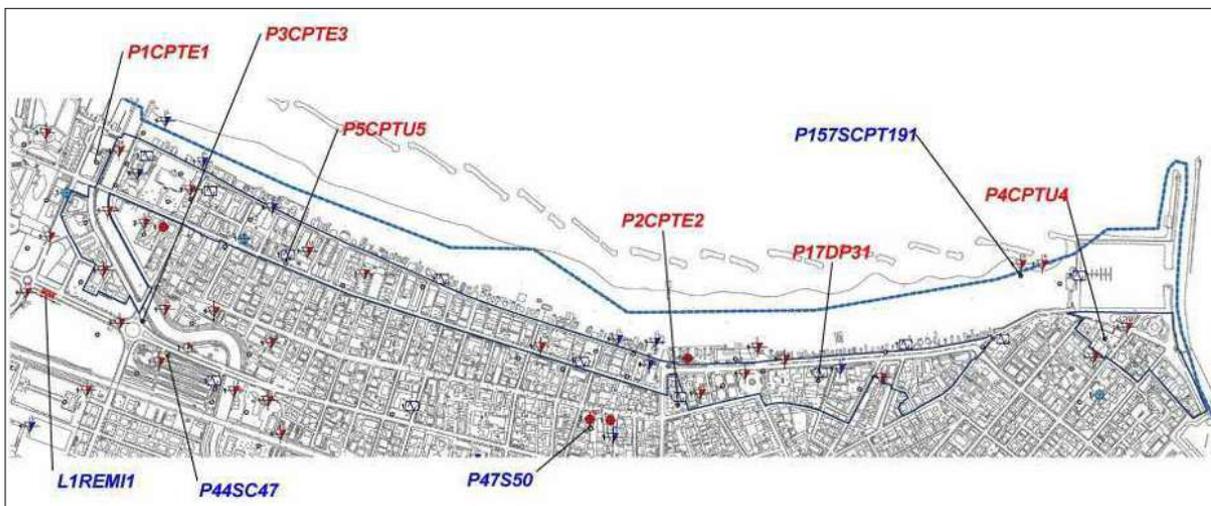


Figura 5.24 – Stralcio della <<carta delle indagini>>: prove di repertorio (etichette in blu) ed eseguite ex novo per lo studio di microzonazione (etichette in rosso), di riferimento per la caratterizzazione geotecnica e la successiva modellazione sismica dell'“Ambito M” (area degli approfondimenti di terzo livello). Le sigle corrispondono a quelle d'archivio per lo studio di microzonazione sismica 2013.

Occorre inoltre precisare che il metodo di Robertson & Wride (1998) e il suo aggiornamento si riferisce a prove penetrometriche elettriche CPTe/CPTu e non a prove meccaniche CPT: per la differente geometria della punta meccanica rispetto a quella elettrica, i valori misurati di resistenza alla punta non si equivalgono perfettamente mentre differiscono sensibilmente le resistenze laterali per l'adesione terreno-manicotto; nelle prove CPT le resistenze laterali risultano sempre maggiori di quelle misurate da prove con punta elettrica e nelle sabbie il valore di f_s può essere più del doppio rispetto a quello ricavato da prove CPTe, fornendo esiti poco cautelativi.

La procedura di verifica della liquefacibilità e la stima dei cedimenti post sisma nei sedimenti sia granulari che fini poco coesivi, si è basata sulla stima della propensione alla liquefazione del sedimento attraverso il calcolo del fattore di sicurezza $FL = (CRR_{(7,5)} / CSR_{(7,5)}) * MSF$ con:

- CSR = sollecitazione tangenziale ciclica (Cyclic Stress Ratio) prodotta da un sisma e stimata sulla base di correlazioni empiriche dalle caratteristiche del terremoto, magnitudo e accelerazione tangenziale del suolo. Il CSR viene calcolato dalla nota equazione semiempirica proposta da Seed e Idriss (1971) per terremoti di $M = 7,5$. La a_{max} di ingresso per la valutazione semplificata del CSR è ricavata utilizzando i dati della modellazione numerica di risposta sismica locale elaborata con SHAKE 2000;
- MSF = coefficiente correttivo per eventi sismici di magnitudo differente da 7,5 (come nel nostro caso). Fra le equazioni proposte, le raccomandazioni NCEER consigliano di utilizzare per terremoti di $M < 7,5$ i valori correttivi di Andrus e Stokoe (1997). Per le verifiche di MS 2013, a scopo ulteriormente cautelativo si è assunto come riferimento correttivo l'equazione proposta da Idriss (1986), che fornisce i valori di MSF più bassi raccomandati dal NCEER;
- CRR = resistenza alla liquefazione ciclica (Cyclic Resistance Ratio) dei sedimenti attraversati, ricavata dagli esiti penetrometrici secondo la procedura empirica proposta da Robertson & Wride, 1998 per terremoti di $M = 7,5$. La procedura si fonda su equazioni che determinano i valori di CRR

dei sedimenti con diverso contenuto di fini dai dati delle prove CPT, attraverso la normalizzazione a 100 kPa (pressione atmosferica) delle resistenze alla punta penetrometrica e la correzione in funzione delle caratteristiche granulometriche (desunte dalla classificazione dei terreni di Robertson, 1990).

Si è quindi proceduto al calcolo automatico della liquefacibilità e dei cedimenti post sisma con il software "Cliq", sviluppato dalla GeoLogiki Geotechnical Engineers in collaborazione con lo stesso P.K. Robertson, utilizzando i seguenti dati di input di pericolosità sismica:

- ✓ magnitudo del terremoto Mw =6,1
- ✓ a_{max} suolo = calcolata con la modellazione numerica di RSL elaborata con il software SHAKE 2000, cioè 0,31g (per le prove ascrivibili al contesto di risposta sismica locale "Cattolica 1", ovvero: P1CPTE1 e P3CPTE3 e 0,30g (per le prove ascrivibili al contesto di risposta sismica locale "Cattolica 2", ovvero P2CPTE2 e P5CPTU5 per la porzione dell'"Ambito M" più a est e che ricade nel contesto di piana alluvionale, pertanto in zona <<stabile suscettibile di amplificazione>>, la a_{max} suolo è invece ricavata dai parametri sismici della microzonazione di secondo livello, cioè $0,183g \cdot FA(Pga) = 0,37g$
- ✓ come condizioni idrogeologiche pre-sisma si sono considerate le quote d'acqua del freatico, mentre come condizioni in caso di sisma si è imposta, a titolo cautelativo, una soggiacenza della quota piezometrica pari a un metro.

Lo studio di approfondimento sulla liquefacibilità dei sedimenti della zona di piana costiera ha inoltre valutato l'indice di potenziale liquefazione (PLI) definito da Iwasaki (1982). La stima di questo indice viene applicato ai metodi che prevedono il calcolo del fattore di sicurezza FS e consente una valutazione del rischio di liquefazione in funzione della profondità degli intervalli liquefacibili. L'indice PLI è ricavato dalla seguente equazione:

$$LPI = \int_0^{20} (10 - 0,5z) \times FL \times dz$$

dove:

FL = 1 -FS (z) quando FS risulta <1

FL = 0 quando FS risulta >1

z = profondità espressa in metri

Lo profondità di stima dell'indice di potenziale liquefazione viene convenzionalmente definita pari a 20 metri (oltre a tale quota sono da escludersi fenomeni di liquefazione). Il valore di LPI può dunque variare da 0 (quando nessun livello risulta liquefacibile) a 100 (tutto lo spessore considerato è caratterizzato da FL <1). Sulla base degli esiti ottenuti, Iwasaki ha proposto le seguenti classi di rischio di liquefazione in funzione del valore di LPI:

LPI =0 → rischio di liquefazione molto basso

0 <LPI ≤5 → rischio di liquefazione basso (moderato)

5 <LPI ≤15 → rischio di liquefazione alto

LPI >15 → rischio di liquefazione molto alto

La seguente figura 5.25 propone lo schema grafico della procedura di calcolo di LPI.

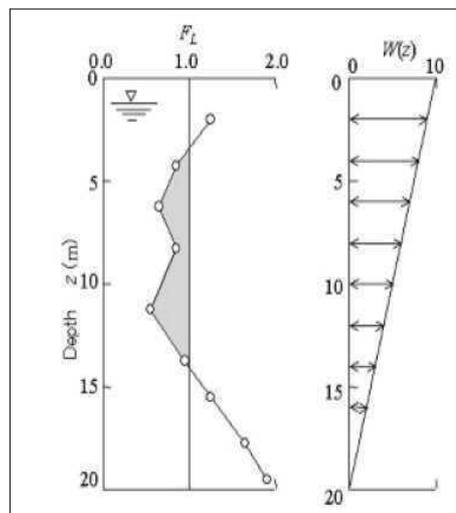


Figura 5.25 - Rappresentazione grafica della procedura di calcolo dell'indice di potenziale liquefazione (LPI).

Per quanto riguarda la stima dei cedimenti post-sisma, nei sedimenti saturi a comportamento granulare, in particolare, si è proceduto alla stima automatica dei cedimenti utilizzando la recente procedura di Robertson (2009) e Zhang et. al. (2007). L'approccio si basa sulla valutazione delle deformazioni volumetriche post-cicliche e calcola i cedimenti sulla base dell'entità del fattore di sicurezza alla liquefazione FL calcolato (se <1,20) e sulla base degli esiti di densità relativa DR desunti dalle resistenze di punta (qc1N)cs come riportato in figura 5.26.

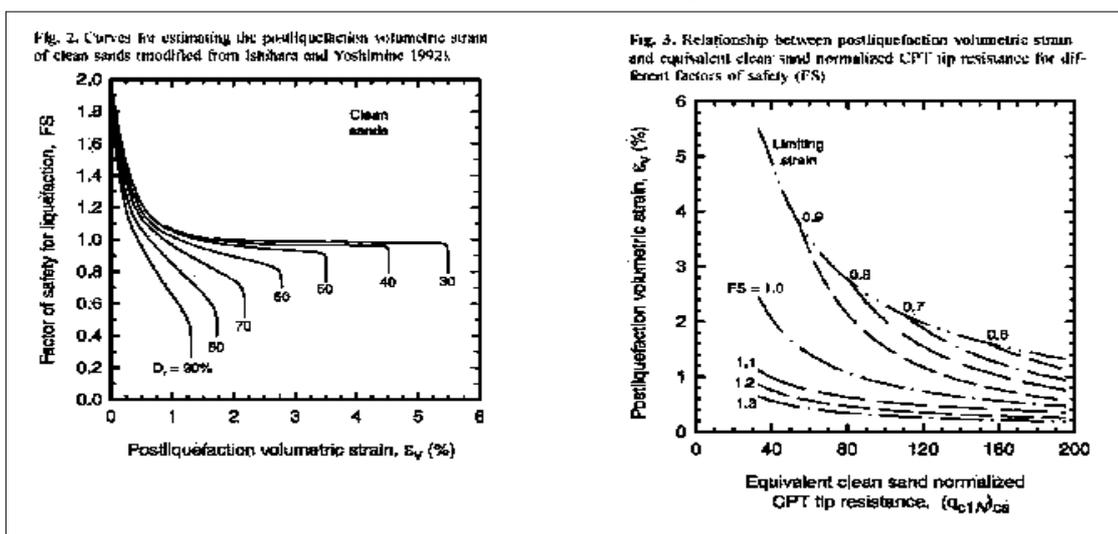


Figura 5.26 – Diagrammi di correlazione per la stima dei cedimenti di post-liquefazione nelle sabbie saturate da prove CPT (da Zhang et Al., 2007)

Per i sedimenti fini coesivi a comportamento fine (zone “B” e “C” della carta di comportamento di P. K. Robertson,1990), il cedimento è causato principalmente da fenomeni di riconsolidazione conseguenti alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto e al manifestarsi di deformazioni da taglio indotte dalle sollecitazioni cicliche. Generalmente, le deformazioni di

riconsolidazione post-sisma sono ritenute molto più piccole di quelle osservate nei sedimenti granulari ed i cedimenti rilevati in seguito a sismi recenti (Loma Prieta; Chi-Chi; Kocaeli) risultano statisticamente modesti anche per potenti intervalli di depositi di argille compressibili (Boulanger and Idriss, 2007).

Nella letteratura scientifica, si reputa che le deformazioni volumetriche medie di strati a grana fine siano contenute entro l'1%. Le recenti esperienze empiriche hanno dimostrato che le deformazioni per riconsolidamento nelle argille sono controllate principalmente dallo sforzo di taglio massimo, funzione di un fattore di sicurezza $FS_v=3\% = CRR_M/CSR_M = CRR_{7,5}/CSR_{7,5}$ (Boulanger & Idriss, 2007) e dello stato tensionale dei sedimenti OCR. Il fattore di sicurezza è stato dunque calcolato come $FS_v= 3\% = CRR_{6,1}/CSR_{6,1}$ con fattore di scala della magnitudo per argille (secondo Idriss, pari a 1,1). Le deformazioni volumetriche sono state calcolate secondo il metodo di Robertson (2009), utilizzando le seguenti correlazioni:

$$\epsilon_{vol} = [0.8 - 2.66 \log (FS)] / [0.33 A (Q_{ln})^3]$$

$$A = 10 - 9 \log (OCR)$$

When $FS \leq 0.84$ set $\tau_u = 1.0$ & limit $\epsilon_{vol} \leq 1\%$

Il plottaggio degli esiti penetrometrici CPTE/CPTU sul diagramma Qtn-F di classificazione di P. K. Robertson (figura 5.27), offre una prima analisi sulla possibilità di liquefazione e di cedimenti post-sisma dei sedimenti investigati: i depositi a comportamento granulare ricadono chiaramente nel campo "A1" e in minor misura nel campo "A2", entrambi suscettibili di liquefazione ciclica. In particolare i sedimenti che ricadono nella zona "A2", risultano più suscettibili a perdite significative di resistenza in caso di sisma. I terreni poco coesivi e argillosi ricadono in modo preponderante nel campo "B" e in minor misura anche in "C": entrambe queste zone sono sensibili a "cyclic softening" e in particolare i sedimenti che ricadono in "C" possono risultare suscettibili a perdite di resistenza in funzione della plasticità, sensitività e resistenza di taglio.

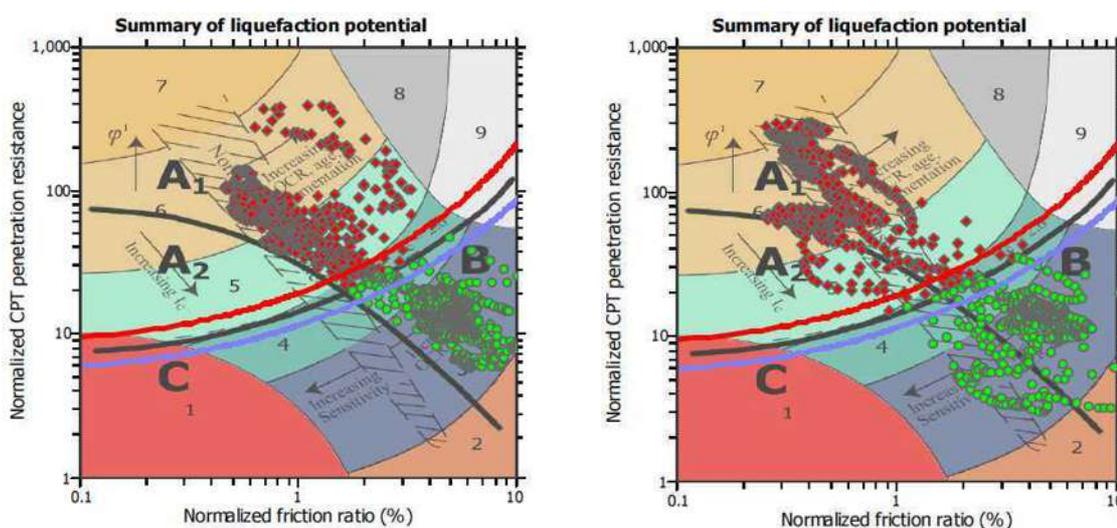


Figura 5.27- Plottaggio degli esiti penetrometrici P1CPTE1 (a sinistra) e P2CPTE2 (a destra) sulla carta della classificazione di P.K. Robertson (2009). Le due prove sono rispettivamente rappresentative del contesto deposizionale meno profondo attribuibile a facies deltizia del Conca e dei depositi marini di cordone/spiaggia

La stima della propensione alla liquefazione (figura 5.28), attraverso il calcolo del fattore di sicurezza FS evidenzia per tutte le prove la possibilità di liquefazione ($FS < 1$) fino alla profondità di 8÷10 metri, cioè fino a profondità dei sedimenti che corrispondono alla deposizione sabbiosa della trasgressione marina “flandriana” e ai depositi di foce deltizia del Conca. Più in profondità le terebrazioni riscontrano sedimenti argillosi sovraconsolidati, plastici e con buone caratteristiche di resistenza alla liquefacibilità e a deformazioni post-sisma (cedimenti). Per quanto riguarda la porzione di costa studiata (“Ambito M”), ricadente nel contesto di cordone marino sub-affiorante, gli esiti evidenziano una maggiore resistenza alla liquefacibilità dei sedimenti più addensati ($DR > 60\%$), attraversati dalle prove nei primi 4÷5 metri di profondità. Ciò si traduce in un esito di “potenziale di liquefazione” di minore gravità rispetto alla porzione di costa che risulta invece attribuita al contesto deposizionale del torrente Conca (porzione ovest dell’“Ambito M”).

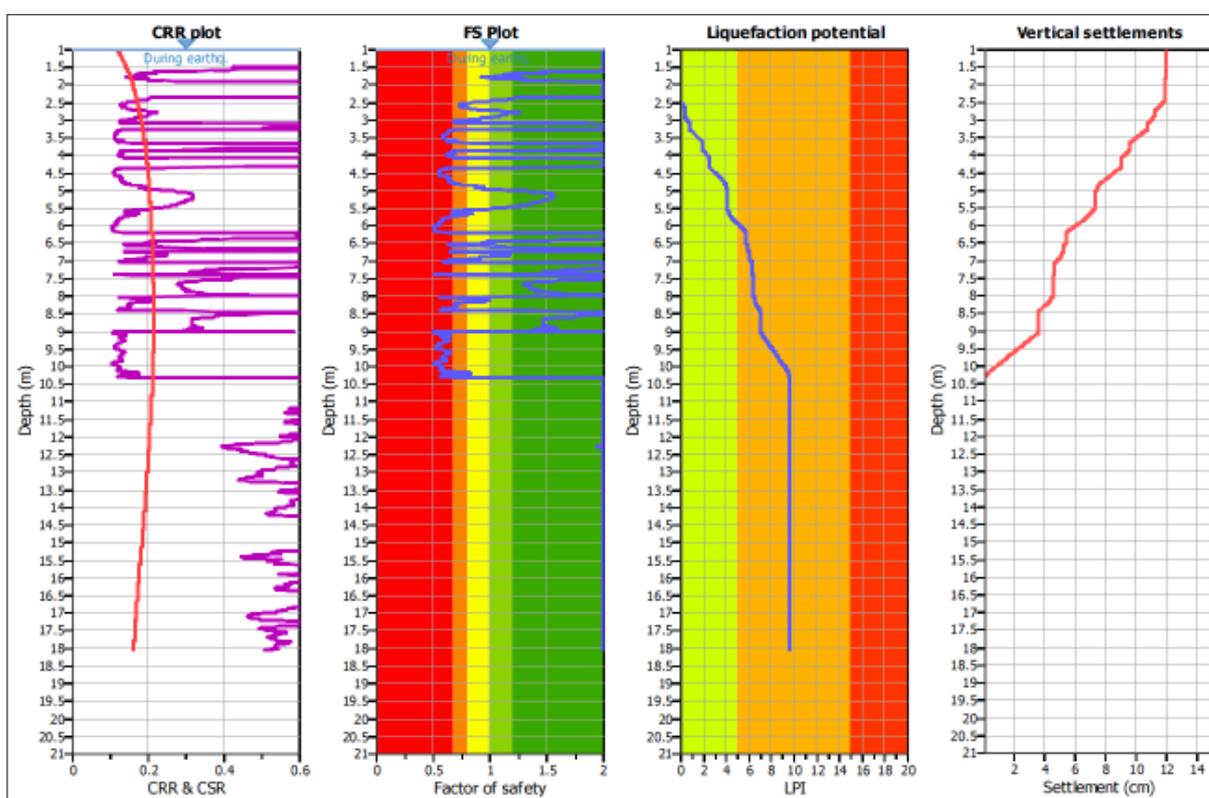


Figura 5.28 - Plottaggio delle verifiche di liquefacibilità e cedimenti relativi alla prova penetrometrica P1CPTE1

In conclusione, per la porzione di costa studiata, il rischio di liquefazione risulta “alto”, con i seguenti indici LPI stimati:

- LPI \cong 5÷10 per la sub-zona ricadente nel contesto di cordone marino sub-affiorante;
- LPI \cong 10÷15 per la sub-zona ricadente nel contesto deposizionale deltizio del Conca.

Si segnala che la prova P4CPTU4, eseguita nei sedimenti a monte del “berm” flandriano (cioè nel contesto di conoide alluvionale attribuibile al fiume Tavollo), la liquefacibilità viene valutata trascurabile (rischio “basso” con $LPI < 2$), come d'altronde atteso per le caratteristiche litotecniche dei sedimenti

attraversati. Ciò è confermato, inoltre, dalle verifiche effettuate nelle prove CPTE/CPTU eseguite per il precedente POC di Cattolica.

Per quanto riguarda la stima dei cedimenti, le verifiche quantitative evidenziano esiti di cedimenti molto significativi per gli spessori granulari e fini poco coesivi attraversati fino a circa 8÷10 metri, valori compresi tra 5 cm e 13 cm per la zona costiera. Occorre però rammentare che si tratta di una stima del cedimento cumulativo, espletata in campo libero ("free field") e quindi senza considerare, per gli edifici esistenti, gli effetti positivi delle sovrappressioni scaricate nei sedimenti sottostanti le fondazioni.

Si evidenzia, inoltre, che il "rischio" è anche funzione del grado di vulnerabilità dei bersagli (edifici) presenti nell'area in questione. In questo senso, la possibilità di liquefazione in strati più profondi è certamente un fattore di maggior sicurezza per edifici con fondazioni molto superficiali, mentre per edifici più impegnativi, presumibilmente con fondazioni ancora superficiali ma incastrate a maggiori profondità ciò può essere un ulteriore fattore di rischio per la maggiore interazione fondazione/sedimenti. In prospettiva di progettazione geotecnica, il contesto di pericolosità legato alla liquefazione impone comunque indagini puntuali (sito specifiche) in funzione delle caratteristiche tecniche e prestazionali degli edifici da prevedere. Per manufatti di maggior impegno costruttivo, appare sin da ora evidente prevedere fondazioni profonde, incastrate nei sedimenti coesivi e moderatamente consistenti sottostanti i depositi granulari e fini flandriani post-flandriani, riscontrati fino alla profondità di 8÷10 metri.

Gli esiti dello studio di liquefazione (indice di potenziale liquefazione) sono riportati nella cartografia di microzonazione sismica livello 3. Per ulteriori approfondimenti si rimanda alla Relazione Descrittiva dello studio di MS 2013.

6 CONDIZIONI DI SOSTENIBILITA' E PROPOSTA NORMATIVA

Gli interventi inseriti nel POC risultano complessivamente sostenibili, in considerazione delle criticità geologiche, idrauliche e sismiche evidenziate localmente. In questo senso, nel capitolo 8 si riportano le schede riferite agli interventi di POC, in grado di fornire una sintesi per quanto riguarda gli aspetti geologici e sismici descritti nella Relazione. Si rammenta che la fattibilità è comunque vincolata all'esecuzione di ulteriori approfondimenti d'indagine e/o d'analisi (come riportato nelle schede al capitolo 8) e agli eventuali accorgimenti progettuali di "mitigazione".

Per quanto riguarda lo specifico tema del rischio sismico, sulla base degli esiti dei recenti approfondimenti sismici (microzonazione sismica 2013 di "livello 2", con approfondimenti di "livello 3"), si propone la seguente normativa sismica propedeutica all'attuazione degli interventi di POC:

“Art. ?? Prescrizioni relative alla fattibilità geologica e agli approfondimenti e verifiche da effettuare in fase di progettazione urbanistica attuativa ed esecutiva in relazione al rischio sismico”

1. La Relazione Geologica allegata al POC riepiloga e approfondisce gli aspetti conoscitivi di carattere geologico e sismico di interesse per gli interventi inseriti nel POC. Per gli aspetti specifici di rischio sismico, la Relazione Geologica del POC si riferisce agli esiti dello studio di microzonazione sismica di "livello 2" del territorio comunale urbanizzato/urbanizzabile (con ulteriori approfondimenti di "livello 3" espletati per l' "Ambito M" della fascia mare e arenile). Tale studio, aggiornato al 30/05/2013, viene recepito dal PSC e costituisce specifico riferimento tematico per gli strumenti di pianificazione urbanistica alla scala comunale. La relazione Geologica del POC allega gli stralci delle cartografie di microzonazione sismica 2013 comprendenti gli interventi di interesse.
2. Gli interventi inseriti nel POC sono soggetti alle prescrizioni, alle condizioni e ai limiti di fattibilità geologica e sismica contenute nella Relazione Geologica allegata al POC e ulteriormente sintetizzate nelle schede urbanistiche per gli interventi negli ambiti di PSC (4.1 e 4.2).
3. Gli interventi inseriti nel POC e soggetti a successivi Piani Attuativi Urbanistici, sono tenuti a riferirsi alla pericolosità definita nello studio di microzonazione sismica 2013. Gli interventi ricadenti nelle "zone suscettibili di instabilità" (§ stralcio <<Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica>>), in sede di PUA sono tenuti ad espletare gli ulteriori approfondimenti sismici di "livello 3", ai sensi della DAL n.112/2007.
4. Gli interventi inseriti nel POC e attuabili attraverso "permesso di costruire convenzionato" sono tenuti ad espletare gli approfondimenti geologici e sismici ai sensi delle Norme tecniche per le Costruzioni (NTC), in relazione alle effettive caratteristiche prestazionali dei manufatti di progetto (vita nominale; classe d'uso, periodo di riferimento per l'azione sismica, ecc.). Tali interventi sono altresì tenuti a riferirsi alla pericolosità definita nello studio di microzonazione sismica 2013. Gli

interventi ricadenti nelle “zone suscettibili di instabilità” (§ stralcio <<Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica>>), devono essere preventivamente inclusi nella categoria aggiuntiva “S2” come previsto dalle NTC vigenti.

5. Gli esiti dello studio di microzonazione sismica 2013 impongono la massima attenzione per quanto riguarda le analisi della liquefacibilità da espletare ove tale fenomeno cosismico è stato potenzialmente riscontrato. In questo senso, nella predisposizione del “piano delle indagini” per gli interventi di progetto si consiglia la scelta di prove penetrometriche CPTe/CPTU per effettuare le opportune verifiche speditive. Si raccomanda particolare attenzione anche per quanto riguarda le analisi di risposta sismica locale: il bedrock sismico poco profondo riscontrato nel territorio comunale può indurre evidenti effetti di amplificazione e in tal senso si consigliano valutazioni approfondite riguardo ai possibili fenomeni di “risonanza” tra sottosuolo e strutture in elevazione.

7 ELABORATI CARTOGRAFICI E ALLEGATI

7.1 Allegato 5B - Indagini

L'allegato 5B riporta stralci cartografici della <<Carta delle Indagini>> alla scala 1:5.000 elaborata per lo studio di microzonazione sismica 2013. Tali stralci comprendono tutti gli interventi inseriti nel POC, riportati anche sulla stessa cartografia. Le indagini sono localizzate e distinte con opportuna simbologia e con un codice univoco convenzionale, definito secondo gli standard di MS.

L'allegato contiene i principali grafici delle indagini archiviate, allo scopo di fornire un ulteriore e utile supporto conoscitivo per i professionisti che avranno incarico delle ulteriori analisi geologiche e sismiche da espletare per la fase di PUA oppure per la progettazione di costruzione.

7.2 Allegato 5C - Stralci cartografie Geologico-Sismiche-Criticità Idraulica

7.2.1 Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni (stralcio 1:7.500)

Lo stralcio della <<carta delle frequenze naturali dei terreni>>, localizza tutti i punti di misura dei microtremori sismici registrati a stazione singola (con tecnica HVSR) per lo studio di microzonazione sismica. Ad ogni punto nella cartografia viene indicato il valore stimato di F_0 (valore del "picco" più significativo e a più bassa frequenza, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale), inoltre ulteriori "picchi" a maggiori frequenze, oppure indicazione dell'assenza di picchi). In sintesi, l'area di studio è stata suddivisa nelle seguenti zone, in termini di frequenze naturali:

1. zone con assenza di fenomeni di risonanza significativi (bedrock affiorante)
2. zone con fenomeni di risonanza significativi per $1 \text{ Hz} < F_0 < 2 \text{ Hz}$. In particolare, la carta evidenzia per gli interventi di POC:
 - le zone caratterizzate da una più chiara frequenza fondamentale misurata a 1,2 Hz
 - le zone caratterizzate da frequenza fondamentale a 1,2 Hz ma con altri alti massimi misurati fino a circa 2 Hz
3. zone con fenomeni di risonanza significativi per $F_0 < 5 \text{ Hz}$. Si tratta della sola zona riscontrata tra il Monte Vici e l'alveo del fiume Ventena, spiegabile per la presenza di bedrock meno profondo.

7.2.2 Carta delle Velocità delle Onde di Taglio S (stralcio 1:7.500)

Lo stralcio della <<carta delle velocità delle onde di taglio>>, localizza tutti i punti di misura di V_s con indicazione, per ogni punto di misura, del valore di V_sH (in m/s) e H (spessore delle coperture).

Nel caso di Cattolica, sono state eseguite indagini sismiche (Down-Hole; SCPT) che non hanno

raggiunto il bedrock sismico: ciò viene comunque evidenziato anche nella cartografia, nell'etichetta creata per ogni singola prova di riferimento, riportando anche il valore di Vs per l'intervallo comunque attraversato.

7.2.3 Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (stralcio 1:7.500)

Lo stralcio della <<carta geologico-tecnica>> rappresenta cartograficamente tutti gli elementi geologici e morfologici che si ritengono potenzialmente in grado di modificare il moto sismico. In particolare, la cartografia ha permesso di perimetrare le aree caratterizzate da substrato affiorante (in realtà, nell'area di studio, solamente il rilievo di Monte Vici) e le aree interessate da coperture significative dal punto di vista sismico. La cartografia riporta:

1. i terreni di copertura, discriminati in unità litologiche in base alle prevalenti caratteristiche tessiturali corrispondenti al suo spessore e in particolare allo spessore meno profondo (nel caso delle coltri di maggiore potenza). I terreni di copertura sono stati suddivisi nelle seguenti unità litologiche:
CL ≡ Argille limose moderatamente consistenti e argille ghiaiose o sabbiose
RI ≡ Terreni contenenti resti di attività antropica
SC ≡ Sabbie argillose e poco addensate
SW ≡ Sabbie pulite e ben assortite moderatamente addensate
2. le aree con substrato geologico affiorante. Per l'area oggetti di studio si tratta della "Formazione a Colombacci", localmente costituita da alternanze arenaceo-marnose in proporzioni variabili (A/P da 2/1 a 10/1), che costituisce il bedrock affiorante nel rilievo di Monte Vici. Le caratteristiche geologiche, includono tale bedrock sismico nel <<substrato geologico non rigido stratificato - NRS>>, come confermato dalle indagini geofisiche eseguite per lo studio di microzonazione sismica.
3. le forme di superficie, che per l'area di studio sono riconducibili a orli di scarpata di terrazzo fluviale (di altezza compresa tra 10÷20 metri) e di scarpata prevalentemente morfologica (solamente la ripa di Monte Vici, con acclività media di circa 35°)
4. le tracce delle sezioni geologiche considerate di riferimento per questo lavoro, ovvero le sezioni RER 1-1' e 2-2' e la sezione geologico-tecnica 3-3', ricostruita per la modellazione geotecnica e sismica dell'area oggetto degli approfondimenti di terzo livello ("Ambito M)
5. la localizzazione delle terebrazioni che hanno raggiunto il bedrock sismico e le terebrazioni che non lo hanno raggiunto
6. la localizzazione dei pozzi freatici rilevati nell'area di piana costiera/piana deltizia e relativa soggiacenza (in metri) della falda misurata

7.2.4 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (stralcio 1:7.500)

Lo stralcio della <<carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica>> (MOPS) riporta tutte le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari. In questo senso, la cartografia delle MOPS classifica il territorio studiato di Cattolica nelle seguenti zone¹³:

1. zone stabili suscettibili di amplificazioni nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale. In particolare, all'interno di questo gruppo sono state distinte le seguenti microzone:

ZONA 1 ≡ Coperture di conoide alluvionale argilloso-limose e argille ghiaiose o sabbiose

ZONA 2 ≡ Coperture di conoide alluvionale argilloso-limose e argille ghiaiose o sabbiose

ZONA 3 ≡ Coperture di conoide alluvionale argilloso-limose e argille ghiaiose o sabbiose

ZONA 4 ≡ Coperture di conoide alluvionale argilloso-limose e argille ghiaiose o sabbiose

ZONA 5 ≡ Substrato roccioso non rigido affiorante (Formazione a Colombacci). Acclività 5°-10°

ZONA 6 ≡ Substrato roccioso non rigido affiorante (Formazione a Colombacci). Acclività 15°-25° (piede del pendio)

2. zone suscettibili di instabilità nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre ai fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio. In particolare, per il territorio di Cattolica, le ulteriori indagini geognostiche di repertorio e quelle espletate per lo studio di microzonazione sismica hanno permesso una migliore definizione delle aree potenzialmente suscettibili alla liquefazione. La carta delle MOPS, pertanto, perimetra anche le seguenti aree suscettibili di instabilità, che necessariamente dovranno essere oggetto di ulteriori approfondimenti sismici di terzo livello:

- *Aree suscettibili di liquefazioni* (sabbie pulite e sabbie ghiaiose di spiaggia; sabbie di cordone litoraneo e/o di spiaggia profonde fino a 8÷10 metri; sabbie e sabbie argillose di piana deltizia profonde 8÷10 metri)
- *Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti* (aree suscettibili di liquefazioni con tombamenti di ex cava)

La carta delle MOPS riporta anche le forme di superficie, che per l'area di studio della microzonazione sono riconducibili a orli di scarpata di terrazzo fluviale (di altezza compresa tra 10÷20 metri) e di scarpata prevalentemente morfologica (solamente la ripa di Monte Vici, con acclività media di circa 35°).

Si riportano, inoltre, le tracce delle sezioni geologiche considerate di riferimento per questo lavoro, ovvero le sezioni RER 1-1' e 2-2' e la sezione geologico-tecnica 3-3', ricostruita per la modellazione geotecnica e sismica dell'area oggetto degli approfondimenti di terzo livello ("Ambito M").

¹³ Si rimanda al paragrafo 5.3.2 per la descrizione più dettagliata delle microzone omogenee.

7.2.5 Carta di Microzonazione Sismica Livello 3 (stralcio 1:7.500): Fa Pga

Lo stralcio della <<carta di microzonazione sismica livello 3>> riporta:

1. per le zone stabili suscettibili di amplificazione già individuate nella carta delle MOPS, gli esiti di amplificazione in termini di Fa Pga ricavati tramite procedura semplificata ("livello 2") ovvero desunti dagli abachi riportati nella DAL 112/2007 (Allegato A2);
2. le zone suscettibili di instabilità e per quelle oggetto degli approfondimenti di "livello 3" (Ambito "M") anche gli esiti di amplificazione in termini di Fa Pga ricavati da modellazione numerica di risposta sismica locale e gli esiti numerici di "rischio" di liquefazione (LI).

7.2.6 Carta di Microzonazione Sismica Livello 3 (stralcio 1:7.500): Fa SI (0,1-0,5s)

Lo stralcio della <<carta di microzonazione sismica livello 3>> riporta:

1. per le zone stabili suscettibili di amplificazione già individuate nella carta delle MOPS, gli esiti di amplificazione in termini di Fa SI per l'intervallo $0,1s < T_0 < 0,5s$ ricavati tramite procedura semplificata ("livello 2") ovvero desunti dagli abachi riportati nella DAL 112/2007 (Allegato A2);
2. le zone suscettibili di instabilità già individuate nella carta delle MOPS e per quelle oggetto degli approfondimenti di "livello 3" (Ambito "M") anche gli esiti di amplificazione in termini di Fa SI per l'intervallo $0,1s < T_0 < 0,5s$ ricavati da modellazione numerica di risposta sismica locale e gli esiti numerici di "rischio" di liquefazione (LI).

7.2.7 Carta di Microzonazione Sismica Livello 3 (stralcio 1:7.500): Fa SI (0,5-1,0s)

Lo stralcio della <<carta di microzonazione sismica livello 3>> riporta:

1. per le zone stabili suscettibili di amplificazione già individuate nella carta delle MOPS, gli esiti di amplificazione in termini di Fa SI per l'intervallo $0,5s < T_0 < 1,0s$ ricavati tramite procedura semplificata ("livello 2") ovvero desunti dagli abachi riportati nella DAL 112/2007 (Allegato A2);
2. le zone suscettibili di instabilità già individuate nella carta delle MOPS e per quelle oggetto degli approfondimenti di "livello 3" (Ambito "M") anche gli esiti di amplificazione in termini di Fa SI per l'intervallo $0,5s < T_0 < 1,0s$ ricavati da modellazione numerica di risposta sismica locale e gli esiti numerici di "rischio" di liquefazione (LI).

7.2.8 Cartografia di sintesi della pericolosità idraulica (POC)

Lo stralcio cartografico riporta dati conoscitivi del PGRA/PAI e del PTCP, inoltre ulteriori elementi, quali segnalazioni pervenute all'Ufficio Tecnico riferite a problematiche più o meno puntuali di deflusso della rete scolante fognaria e altri aspetti morfologici (es. aree topograficamente depresse). La cartografia classifica le aree di intervento di POC secondo classi di livello di pericolosità riferite ai tre scenari di probabilità di allagamento contemplati nel PGRA.

8 SCHEDE DI SINTESI

Si riportano di seguito le schede riferite agli interventi di POC, che riassumono sinteticamente gli aspetti geologici e sismici considerati per le valutazioni di fattibilità. In particolare, sono state elaborate schede singole per ogni intervento in ambiti del PSC (9 interventi/schede). Per quanto riguarda gli interventi riferiti a trasformazione/dismissione di alberghi, sono state elaborate schede che accorpano più proposte secondo il criterio della omogeneità degli elementi geologico sismici che li caratterizzano. In conclusione sono state elaborate le seguenti schede:

SCHEDE DI SINTESI PER GLI INTERVENTI IN AMBITI DEL PSC (schede singole)

6	HOLIDAY COMPANY
20	COLL-L.C VIA QUARTO
21 (21bis)	AC.A VIA UMBRIA
30	BIOHOTEL
35	PARCONAVI
64	AR.9 - VIA ALLENDE
73	AR.3 VIA EMILIA-ROMAGNA
80	AN EX SCHEDA D PROGETTO DIAMANTE – OSPEDALE
84	AN EX SCHEDA D PROGETTO DIAMANTE - OSPEDALE

SCHEDA DI SINTESI N.1 PER TRASFORMAZIONI E DISMISSIONE ALBERGHI

15	Hotel Villa Ombrosa
16	Hotel Magda
17	Hotel Magda Dependance
31	Hotel Oasi
61	Hotel Selene
72	Hotel Ritter
78	Hotel Amhoa
85	Hotel Souvenir

SCHEDA DI SINTESI N.2 PER TRASFORMAZIONI E DISMISSIONE ALBERGHI

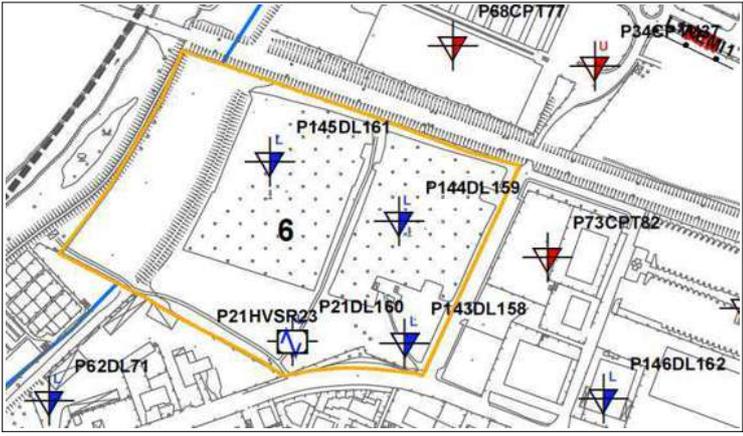
19	Hotel Lena
25	Hotel Olympic
41	Residence Elena
44	Pensione Stefania
83	Hotel Lisboa
86	Residence Arno

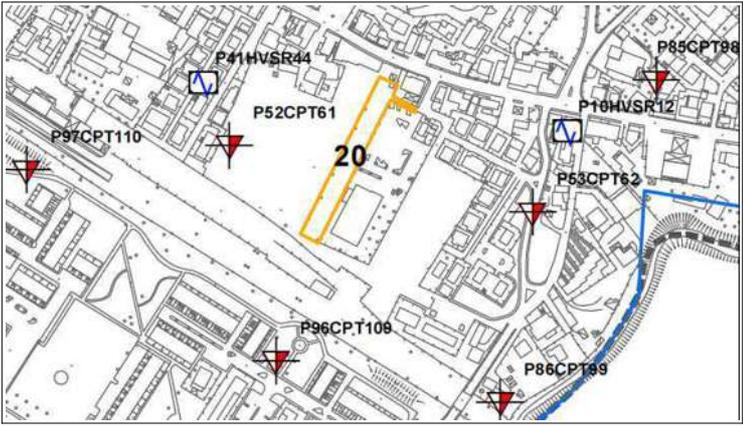
SCHEDA DI SINTESI N.3 PER TRASFORMAZIONI E DISMISSIONE ALBERGHI

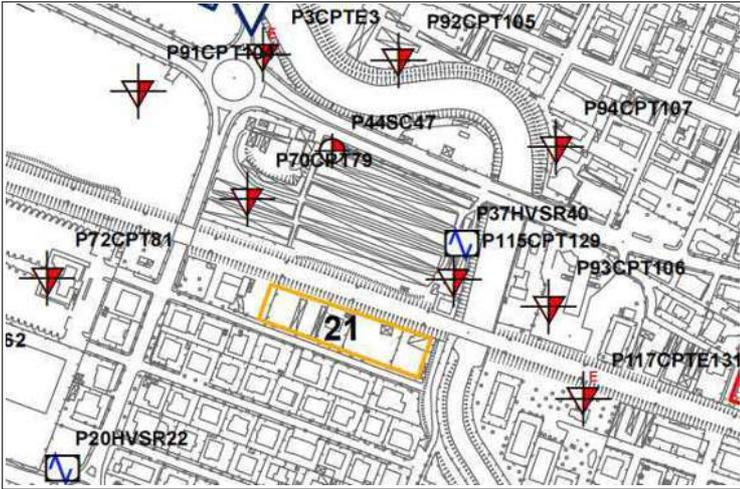
7	Hotel Ideale
81	Hotel Labrador

SCHEDA DI SINTESI N.4 PER TRASFORMAZIONI E DISMISSIONE ALBERGHI

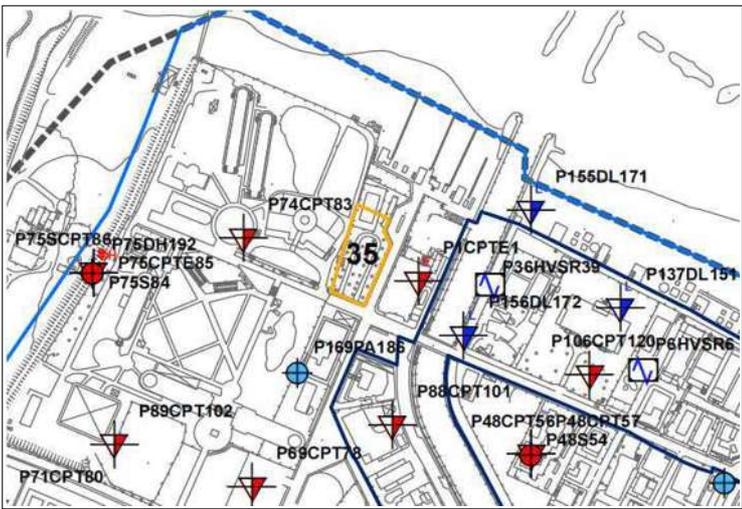
9	Hotel Gioia Marina
28	Hotel K2
36	Pensione Medusa
59	Villa Pozzi
63	Hotel Dominique
69	Hotel Bellavista

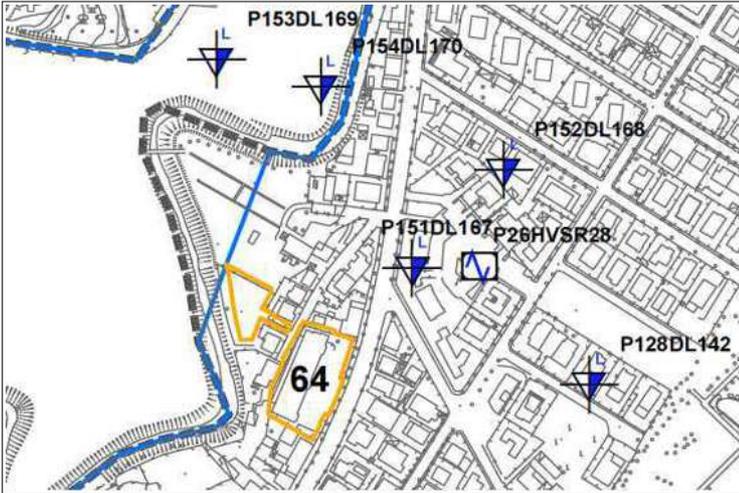
Proposta n. 6	HOLIDAY COMPANY	AN
Localizzazione	Area tra via Emilia-Romagna e via Pietro Gori; limitata a nord dalla linea ferroviaria	
Obiettivi del PSC	Ambito D – “Porta del Parco” della tav. 7.1 e scheda normativa del PSC. L'intervento è definito strategico in quanto finalizzato alla realizzazione di un tratto significativo del parco pubblico del Conca, e in quanto concorre interamente all'obiettivo dell'edilizia residenziale sociale	
Funzioni ammesse	Residenza e usi complementari	
Indagini geognostiche/geofisiche di riferimento (MS 2013 e Allegato 5B)		
Elementi geologi e geomorfologici	Contesto geologico: Sabbie e sabbie argillose di piana deltizia profonde 8-10 metri. Area interessata da tombamenti di ex cava	
Elementi idrogeologici e idraulici	Soggiacenza media falda: 0,6 metri Pericolosità idraulica: “P3 – elevata probabilità”	
Elementi geotecnici	Classe geotecnica da verificare (DD?): area interessata da tombamenti	
Elementi di pericolosità sismica (microzonazione sismica 2013)	“zone suscettibili di instabilità”. Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti (liquefazioni e amplificazione). Rischio liquefazione “alto” Fenomeni di risonanza significativi a basse frequenze (2,0 Hz).	
Condizioni di sostenibilità e mitigazioni di carattere geologico	Approfondimenti sismici di “Livello 3” (verifiche di liquefazione/densificazione; cedimenti post-sisma; analisi numeriche di RSL). Attenzione ai fenomeni di possibile risonanza per edifici >4 piani Analisi idraulica locale e valutazione degli interventi di mitigazione	

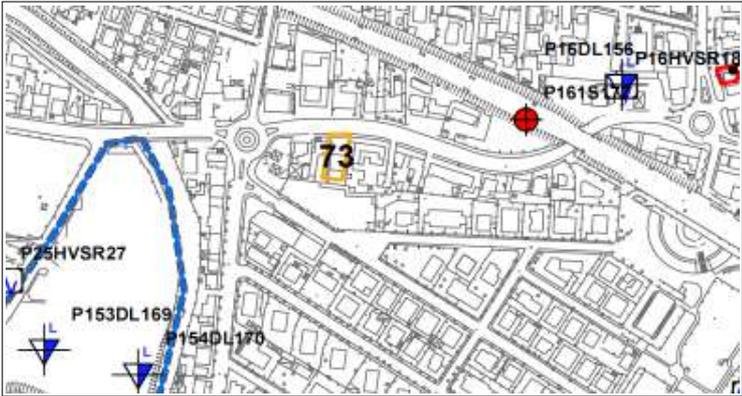
Proposta n. 20	VIA QUARTO	AC COLL-L.c
Localizzazione	Via Quarto	
Obiettivi del PSC	Ambito urbano consolidato soggetto a intervento unitario con concentrazione dei diritti edificatori su una parte dell'area e cessione gratuita della parte restante al Comune per integrazione area a parco pubblico	
Funzioni ammesse	Residenza e usi complementari	
Indagini geognostiche/geofisiche di riferimento (MS 2013 e Allegato 5B)		
Elementi geologi e geomorfologici	Contesto geologico: coperture di conoide alluvionale argilloso-limose e argille ghiaiose o sabbiose	
Elementi idrogeologici e idraulici	Soggiacenza media falda: 1,0 metri Pericolosità idraulica: "P1 - scenario di evento estremo" (bassa probabilità)	
Elementi geotecnici	Classe geotecnica: "DD" zone dotate di terreni di qualità meccaniche da normali (1.000 kPa < qc < 1.500 kPa) a discrete (>1.500 kPa)	
Elementi di pericolosità sismica (microzonazione sismica 2013)	"zone stabili suscettibili di amplificazione" (ZONA 2). Rischio liquefazione "molto basso" o "basso". Fattori di amplificazione "livello 2" (DAL 112/2007): FA Pga =2,0 FA Sl _{0,1-0,5} =2,3 Sl _{0,5-1,0} =2,8. Fenomeni di risonanza significativi a basse frequenze (1,2 ÷ 2,0 Hz).	
Condizioni di sostenibilità e mitigazioni di carattere geologico	Nessun elemento geologico-sismico escludente o limitativo. Attenzione ai fenomeni di possibile risonanza per edifici >4 piani	

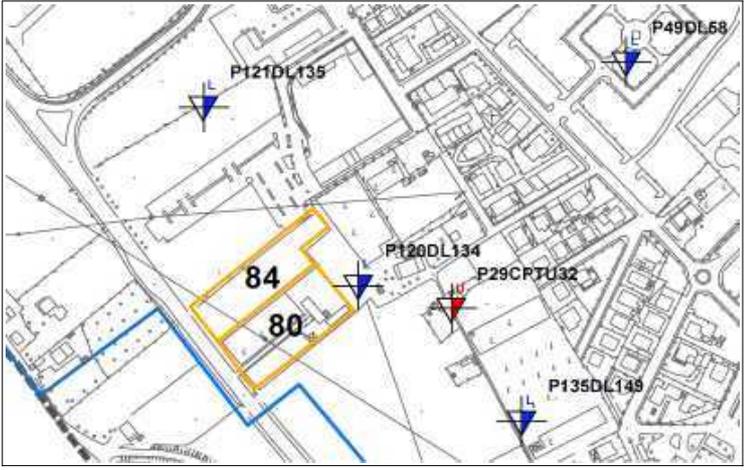
Proposta n. 21	VIA UMBRIA	AC.a
Localizzazione	Via Umbria	
Obiettivi del PSC	Ambito urbano consolidato soggetto a intervento unitario coordinato	
Funzioni ammesse	Residenza e usi complementari	
Indagini geognostiche/geofisiche di riferimento (MS 2013 e Allegato 5B)		
Elementi geologi e geomorfologici	Contesto geologico: Sabbie e sabbie argillose di piana deltizia profonde 8-10 metri.	
Elementi idrogeologici e idraulici	Soggiacenza media falda: 1,4 metri Pericolosità idraulica: "P2 – media probabilità"	
Elementi geotecnici	Classe geotecnica: "DD" zone dotate di terreni di qualità meccaniche da normali (1.000 kPa < q _c < 1.500 kPa) a discrete (>1.500 kPa)	
Elementi di pericolosità sismica (microzonazione sismica 2013)	"zone suscettibili di instabilità". Liquefazioni. Rischio liquefazione "alto" Fenomeni di risonanza significativi a basse frequenze (2,0 Hz)	
Condizioni di sostenibilità e mitigazioni di carattere geologico	Approfondimenti sismici di "Livello 3" (verifiche di liquefazione/densificazione; cedimenti post-sisma; analisi numeriche di RSL). Attenzione ai fenomeni di possibile risonanza per edifici >4 piani. Analisi idraulica locale e valutazione degli interventi di mitigazione.	

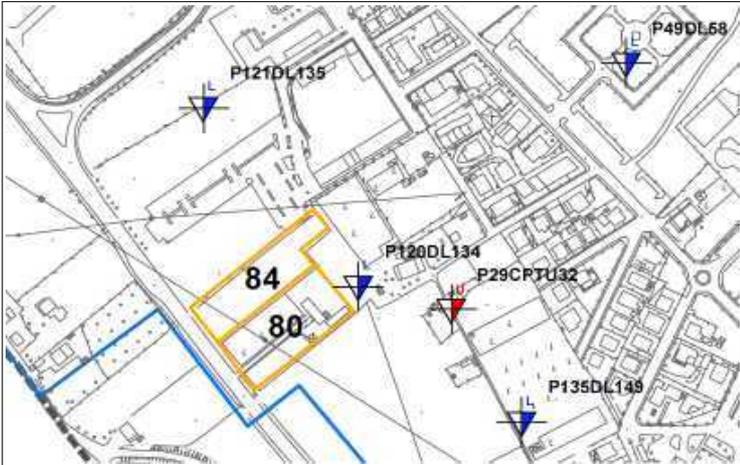
Proposta n. 30	BIOHOTEL	“RIQ”
Localizzazione	Lungomare Rasi Spinelli angolo via A.Volta	
Obiettivi del PSC	Promuovere la qualificazione dell’offerta alberghiera.	
Funzioni ammesse	Esercizio alberghiero, pubblici esercizi di somministrazione	
Indagini geognostiche/geofisiche di riferimento (MS 2013 e Allegato 5B)		
Elementi geologi e geomorfologici	Contesto geologico: Sabbie di cordone litoraneo e/o di spiaggia profonde 8-10 metri.	
Elementi idrogeologici e idraulici	Soggiacenza media falda: 1,5 metri Pericolosità idraulica: “P3 – elevata probabilità”.	
Elementi geotecnici	Classe geotecnica: “DD” zone dotate di terreni di qualità meccaniche da normali (1.000 kPa <qc <1.500 kPa) a discrete (>1.500 kPa)	
Elementi di pericolosità sismica (microzonazione sismica 2013)	“zone suscettibili di instabilità”. Liquefazioni. Rischio liquefazione “alto” Fattori di amplificazione “livello 3” (Ambito M): FA Pga =1,6 FA SI _{0,1-0,5} =1,6 SI _{0,5-1,0} =4,0. Fenomeni di risonanza significativi a basse frequenze (1,2 Hz).	
Condizioni di sostenibilità e mitigazioni di carattere geologico	Permesso di costruire subordinato a verifiche di liquefazione/densificazione; cedimenti post-sisma; analisi numeriche di RSL). Attenzione ai fenomeni di possibile risonanza per edifici >4 piani. Analisi idraulica locale e valutazione degli interventi di mitigazione.	

Proposta n. 35	PARCONAVI
Localizzazione	Via G.Carducci – via Francia
Obiettivi del PSC	L'area è inserita nell'Ambito H Parco Le Navi del più vasto Progetto del Parco del Conca, che rappresenta uno dei progetti strategici del PSC.
Funzioni ammesse	Residenza e usi complementari
Indagini geognostiche/geofisiche di riferimento (MS 2013 e Allegato 5B)	
Elementi geologi e geomorfologici	Contesto geologico: Sabbie e sabbie argillose di piana deltizia profonde 8-10 metri.
Elementi idrogeologici e idraulici	Soggiacenza media falda: 2,2 metri Pericolosità idraulica: "P1 - scenario di evento estremo" (bassa probabilità).
Elementi geotecnici	Classe geotecnica: "DD" zone dotate di terreni di qualità meccaniche da normali (1.000 kPa < q _c < 1.500 kPa) a discrete (>1.500 kPa)
Elementi di pericolosità sismica (microzonazione sismica 2013)	"zone suscettibili di instabilità". Liquefazioni. Rischio liquefazione "alto" Fenomeni di risonanza significativi a basse frequenze (1,2 ÷ 2,0 Hz).
Condizioni di sostenibilità e mitigazioni di carattere geologico	Permessi di costruire subordinati a verifiche di liquefazione/densificazione; cedimenti post-sisma; analisi numeriche di RSL). Attenzione ai fenomeni di possibile risonanza per edifici >4 piani.

Proposta n. 64	VIA ALLENDE		AR.9
Localizzazione	Via Salvador Allende		
Obiettivi del PSC	Definizione di un progetto di ridisegno complessivo dell'area, con trasformazione degli usi e creazione di un punto qualificato di attestamento verso il percorso del Ventena		
Funzioni ammesse	Residenza e terziari complementari		
Indagini geognostiche/geofisiche di riferimento (MS 2013 e Allegato 5B)			
Elementi geologi e geomorfologici	Contesto geologico: coperture di conoide alluvionale argilloso-limose e argille ghiaiose o sabbiose.		
Elementi idrogeologici e idraulici	Soggiacenza media falda: 2,5 metri Pericolosità idraulica: "P3 – elevata probabilità".		
Elementi geotecnici	Classe geotecnica: "SD" zone caratterizzate da terreni di qualità scadente ($q_c < 1.000$ kPa) nel primo intervallo (fino a -5 m) e da terreni di qualità da normale (1.000 kPa $< q_c < 1.500$ kPa) a discrete (> 1.500 kPa) nel secondo strato (da -5 m a -10 m).		
Elementi di pericolosità sismica (microzonazione sismica 2013)	"zone stabili suscettibili di amplificazione" (ZONA 2). Rischio liquefazione "molto basso" o "basso". Fattori di amplificazione "livello 2" (DAL 112/2007): FA Pga =2,0 FA Sl _{0,1-0,5} =2,3 Sl _{0,5-1,0} =2,8. Fenomeni di risonanza significativi a basse frequenze (1,2 ÷ 2,0 Hz).		
Condizioni di sostenibilità e mitigazioni di carattere geologico	Nessun elemento geologico-sismico escludente o limitativo. Attenzione ai fenomeni di possibile risonanza per edifici >4 piani. Analisi idraulica locale e valutazione degli interventi di mitigazione.		

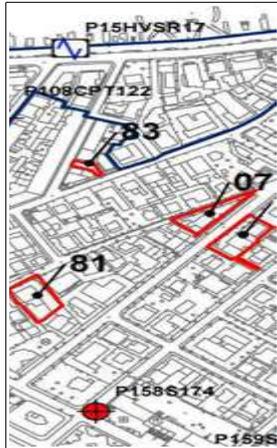
Proposta n. 73	VIA EMILIA-ROMAGNA	AR.3
Localizzazione	Via Emilia-Romagna	
Obiettivi del PSC	Promuovere un progressivo riordino e un miglioramento dell'immagine urbana lungo un asse di accesso prossimo al centro città	
Funzioni ammesse	Residenza, usi terziari	
Indagini geognostiche/geofisiche di riferimento (MS 2013 e Allegato 5B)		
Elementi geologi e geomorfologici	Contesto geologico: coperture di conoide alluvionale argilloso-limose e argille ghiaiose o sabbiose.	
Elementi idrogeologici e idraulici	Soggiacenza media falda: 1,0 metri Pericolosità idraulica: "P1 - scenario di evento estremo" (bassa probabilità).	
Elementi geotecnici	Classe geotecnica: "DD" zone dotate di terreni di qualità meccaniche da normali (1.000 kPa q_c <math><1.500\text{ kPa}</math>) a discrete (>1.500 kPa).	
Elementi di pericolosità sismica (microzonazione sismica 2013)	"zone stabili suscettibili di amplificazione" (ZONA 2). Rischio liquefazione "molto basso" o "basso". Fattori di amplificazione "livello 2" (DAL 112/2007): FA Pga =2,0 FA SI _{0,1-0,5} =2,3 SI _{0,5-1,0} =2,8. Fenomeni di risonanza significativi a basse frequenze (1,2 ÷ 2,0 Hz).	
Condizioni di sostenibilità e mitigazioni di carattere geologico	Nessun elemento geologico-sismico escludente o limitativo. Attenzione ai fenomeni di possibile risonanza per edifici >4 piani.	

Proposta n. 80	DIAMANTE - OSPEDALE GIOVANNETTI	AN
Localizzazione	Area a nord della S.S. 16, tra questa e via Frescobaldi	
Obiettivi del PSC	Finalità del PSC è definire il nuovo assetto viabilistico di collegamento tra SS16, viabilità urbana e polo logistico-produttivo, e realizzare un nuovo disegno urbanistico di aree marginali attraverso una quota di interventi residenziali e in parte terziario, completato da attrezzature di quartiere e da una fascia verde boscata di mitigazione.	
Funzioni ammesse	Residenza e usi complementari	
Indagini geognostiche/geofisiche di riferimento (MS 2013 e Allegato 5B)		
Elementi geologi e geomorfologici	Contesto geologico: coperture di conoide alluvionale argilloso-limose e argille ghiaiose o sabbiose.	
Elementi idrogeologici e idraulici	Soggiacenza media falda: 3,0 metri Pericolosità idraulica: "P1 - scenario di evento estremo" (bassa probabilità).	
Elementi geotecnici	Classe geotecnica: "DD" zone dotate di terreni di qualità meccaniche da normali (1.000 kPa < q _c < 1.500 kPa) a discrete (>1.500 kPa).	
Elementi di pericolosità sismica (microzonazione sismica 2013)	Microzonazione sismica: "zone stabili suscettibili di amplificazione" (ZONA 2). Rischio liquefazione "molto basso" o "basso". Fattori di amplificazione "livello 2" (DAL 112/2007): FA P _{ga} =2,0 FA S _{l0,1-0,5} =2,3 S _{l0,5-1,0} =2,8. Fenomeni di risonanza significativi a basse frequenze (1,2 Hz).	
Condizioni di sostenibilità e mitigazioni di carattere geologico	Nessun elemento geologico-sismico escludente o limitativo. Attenzione ai fenomeni di possibile risonanza per edifici >4 piani.	

Proposta n. 84	DIAMANTE - OSPEDALE CERRI	AN
Localizzazione	Area a nord della S.S. 16, tra questa e via Frescobaldi	
Obiettivi del PSC	Finalità del PSC è definire il nuovo assetto viabilistico di collegamento tra SS16, viabilità urbana e polo logistico-produttivo, e realizzare un nuovo disegno urbanistico di aree marginali attraverso una quota di interventi residenziali e in parte terziario, completato da attrezzature di quartiere e da una fascia verde boscata di mitigazione.	
Funzioni ammesse	Area non edificabile.	
Indagini geognostiche/geofisiche di riferimento (MS 2013 e Allegato 5B)		
Elementi geologi e geomorfologici	Contesto geologico: coperture di conoide alluvionale argilloso-limose e argille ghiaiose o sabbiose.	
Elementi idrogeologici e idraulici	Soggiacenza media falda: 3,0 metri Pericolosità idraulica: "P1 - scenario di evento estremo" (bassa probabilità).	
Elementi geotecnici	Classe geotecnica: "DD" zone dotate di terreni di qualità meccaniche da normali (1.000 kPa < q _c < 1.500 kPa) a discrete (>1.500 kPa).	
Elementi di pericolosità sismica (microzonazione sismica 2013)	Microzonazione sismica: "zone stabili suscettibili di amplificazione" (ZONA 2). Rischio liquefazione "molto basso" o "basso". Fattori di amplificazione "livello 2" (DAL 112/2007): FA P _{ga} =2,0 FA S _{I_{0,1-0,5}} =2,3 S _{I_{0,5-1,0}} =2,8. Fenomeni di risonanza significativi a basse frequenze (1,2 Hz).	
Condizioni di sostenibilità e mitigazioni di carattere geologico	Nessun elemento geologico-sismico escludente o limitativo.	

Scheda alberghi n. 1	
Proposte n.:	
15	Hotel Villa Ombrosa
16	Hotel Magda
17	Hotel Magda Dependance
31	Hotel Oasi
61	Hotel Selene
72	Hotel Ritter
78	Hotel Amhoa
85	Hotel Souvenir
Indagini geognostiche e geofisiche di riferimento (MS 2013 e Allegato 5B)	
Elementi geologi e geomorfologici	Contesto geologico: sabbie di cordone litoraneo e/o di spiaggia profonde fino a 8 – 10 metri.
Elementi idrogeologici e idraulici	Soggiacenza media falda: da 1,6 m a 1,8 metri. Pericolosità idraulica: “P1 - scenario di evento estremo” (bassa probabilità).
Elementi geotecnici	Classe geotecnica: “DD” zone dotate di terreni di qualità meccaniche da normali (1.000 kPa < q _c < 1.500 kPa) a discrete (>1.500 kPa).
Elementi di pericolosità sismica (microzonazione sismica 2013)	“zone suscettibili di instabilità”. Liquefazioni. Rischio liquefazione “alto” Fenomeni di risonanza significativi a basse frequenze (1,2 ÷ 2,0 Hz).
Condizioni di sostenibilità e mitigazioni di carattere geologico	Permesso di costruire subordinato a verifiche di liquefazione/densificazione; cedimenti post-sisma; analisi numeriche di RSL). Attenzione ai fenomeni di possibile risonanza per edifici >4 piani.

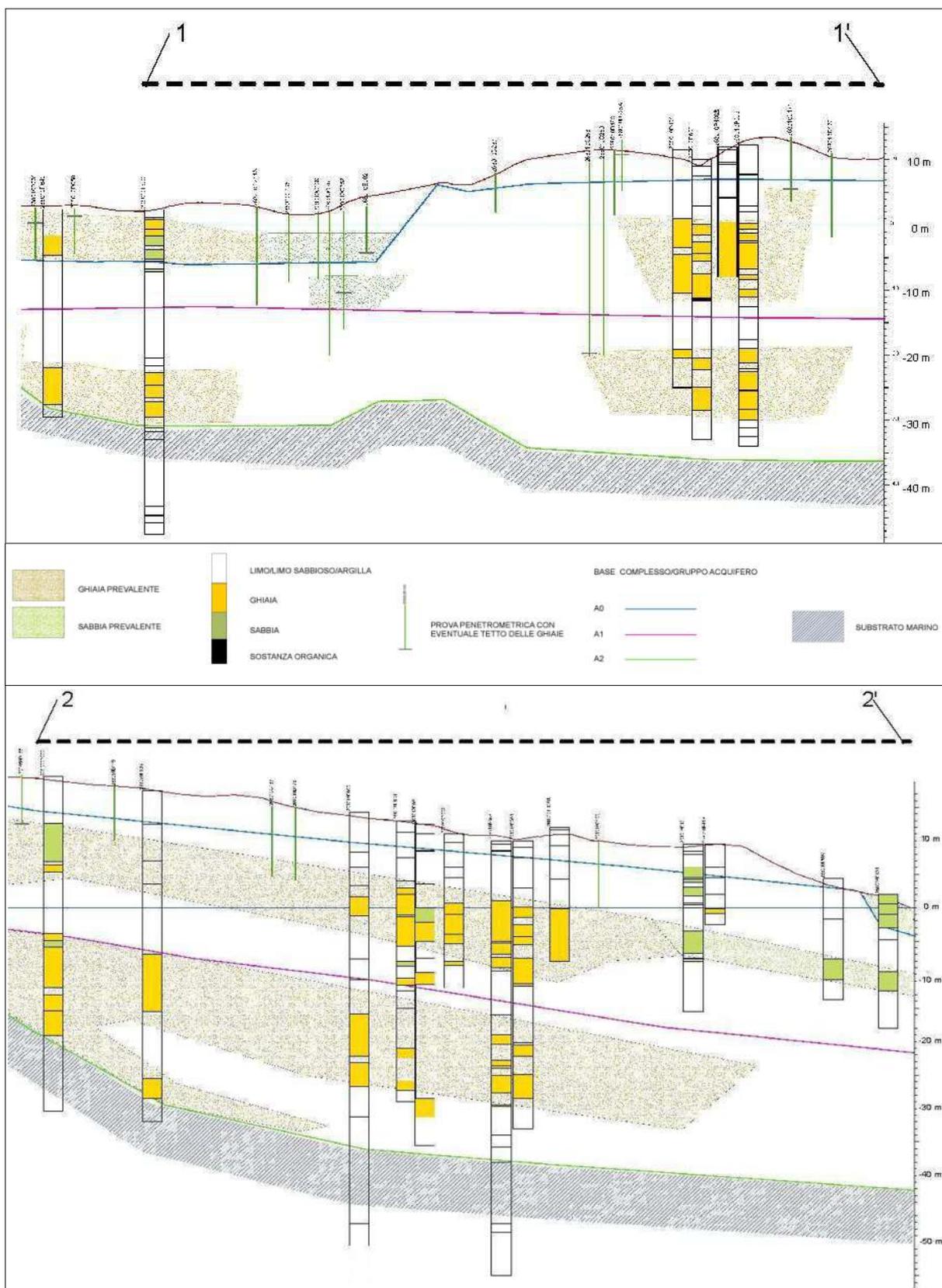
Scheda alberghi n. 2	
Proposte n.:	
19	Hotel Lena
25	Hotel Olympic
41	Residence Elena
44	Pensione Stefania
83	Hotel Lisboa
86	Residence Arno
Indagini geognostiche e geofisiche di riferimento (MS 2013 e Allegato 5B)	
Elementi geologi e geomorfologici	Contesto geologico: sabbie di cordone litoraneo e/o di spiaggia profonde fino a 8 – 10 metri.
Elementi idrogeologici e idraulici	Soggiacenza media falda: da 1,5 m a 2,0 metri. Pericolosità idraulica: “P3 – elevata probabilità”.
Elementi geotecnici	Classe geotecnica: “DD” zone dotate di terreni di qualità meccaniche da normali (1.000 kPa q_c <math><1.500\text{ kPa}</math>) a discrete (>1.500 kPa).
Elementi di pericolosità sismica (microzonazione sismica 2013)	“zone suscettibili di instabilità”. Liquefazioni. Rischio liquefazione “alto” Fenomeni di risonanza significativi a basse frequenze (1,2 ÷ 2,0 Hz).
Condizioni di sostenibilità e mitigazioni di carattere geologico	Permessi di costruire subordinati a verifiche di liquefazione/densificazione; cedimenti post-sisma; analisi numeriche di RSL). Attenzione ai fenomeni di possibile risonanza per edifici >4 piani. Analisi idrauliche locali e valutazione degli interventi di mitigazione.

Scheda alberghi n. 3	
Proposte n.:	
7 81	Hotel Ideale Hotel Labrador
Indagini geognostiche e geofisiche di riferimento (MS 2013 e Allegato 5B)	
Elementi geologi e geomorfologici	Contesto geologico: sabbie di cordone litoraneo e/o di spiaggia profonde fino a 8 – 10 metri.
Elementi idrogeologici e idraulici	Soggiacenza media falda: da 1,5 m a 2,5 metri. Pericolosità idraulica: “P1 - scenario di evento estremo” (bassa probabilità).
Elementi geotecnici	Classe geotecnica: “DD” zone dotate di terreni di qualità meccaniche da normali (1.000 kPa q_c <math><1.500</math> kPa) a discrete (>1.500 kPa).
Elementi di pericolosità sismica (microzonazione sismica 2013)	“zone suscettibili di instabilità”. Liquefazioni. Rischio liquefazione “alto” Fenomeni di risonanza significativi a basse frequenze (1,2 Hz).
Condizioni di sostenibilità e mitigazioni di carattere geologico	Permesso di costruire subordinato a verifiche di liquefazione/densificazione; cedimenti post-sisma; analisi numeriche di RSL). Attenzione ai fenomeni di possibile risonanza per edifici >4 piani.

Scheda alberghi n. 4	
Proposte n.:	
9	Hotel Gioia Marina
28	Hotel K2
36	Pensione Medusa
59	Villa Pozzi
63	Hotel Dominique
69	Hotel Bellavista
Indagini geognostiche e geofisiche di riferimento (MS 2013 e Allegato 5B)	
Elementi geologi e geomorfologici	Contesto geologico: coperture di conoide alluvionale argilloso-limose e argille ghiaiose o sabbiose
Elementi idrogeologici e idraulici	Soggiacenza media falda: da 1,0 m a 3,5 metri. Pericolosità idraulica: "P1 - scenario di evento estremo" (bassa probabilità).
Elementi geotecnici	Classe geotecnica: "DD" zone dotate di terreni di qualità meccaniche da normali (1.000 kPa q_c <math><1.500\text{ kPa}</math>) a discrete (>1.500 kPa).
Elementi di pericolosità sismica (microzonazione sismica 2013)	"zone stabili suscettibili di amplificazione" (ZONA 2). Rischio liquefazione "molto basso" o "basso" ¹⁴ . Fattori di amplificazione "livello 2" (DAL 112/2007): FA Pga =2,0 FA Sl _{0,1-0,5} =2,3 Sl _{0,5-1,0} =2,8. Fenomeni di risonanza significativi a basse frequenze (1,2 ÷ 2,0 Hz).
Condizioni di sostenibilità e mitigazioni di carattere geologico	Nessun elemento geologico-sismico escludente o limitativo. Attenzione ai fenomeni di possibile risonanza per edifici >4 piani.

¹⁴ Per l'intervento n. 69 (Hotel Bellavista) si è considerato il sedime dell'edificio esistente.

ALLEGATI: SEZIONI GEOLOGICHE



Sezioni geologiche interessanti l'area di studio e riportate sulla cartografia di microzonazione. La traccia 1-1' corrisponde alla sez. n.128, mentre la traccia 2-2' corrisponde alla sez. n. 127, entrambe pubblicate dal SGSS Regione Emilia-Romagna.

✓ UNITA' I ≡ corrisponde all'intervallo più superficiale e costituita da argille e argille ghiaiose di potenza variabile 1-2 metri; si tratta di un intervallo fortemente rimaneggiato dalle attività antropiche (suolo) che risulta generalmente asciutto (sopra la falda freatica). In questo senso, le indagini geognostiche riscontrano resistenze alla penetrazione anche elevate (>1,5 MPa), spiegabili per lo stato di essiccamento dell'intervallo considerato. Questo primo intervallo risulta comunque di scarsa importanza dal punto di vista sismico, per la sua modesta profondità (spesso inferiore alla quota di incastro delle fondazioni anche superficiali degli edifici presenti);

✓ UNITA' II ≡ è costituita da argille generalmente di plasticità medio-alta (IP >20) e di scarsa consistenza (<0,8 MPa). Sono sedimenti attribuibili, dal punto di vista deposizionale ai sovralluvionamenti recenti (ultimi 2.000-6.000 anni?) di delta del Torrente Conca. Si intercalano alle sabbie di rideposizione marina (unità III) di spiaggia in funzione del contesto deposizionale predominante.

✓ UNITA' III ≡ rappresentata da intervalli a prevalente tessitura granulare (sabbie medie e fini; sabbie limose), di facies deposizionale di spiaggia, intercalate ai sedimenti argillosi che costituiscono l'unità II. Le sabbie dell'unità III sono generalmente caratterizzate da un moderato grado di addensamento (DR >45%, con valori anche maggiori) e con resistenze alla punta che possono superare anche i 6-8 MPa. Lo spessore è metrico: la ricostruzione di sottosuolo nella sezione 3-3' evidenzia due intervalli principali sabbiosi attribuibili all'unità III.

✓ UNITA' IV ≡ corrisponde a un intervallo caratterizzato da sabbie medie/fini di tipica facies di cordone marino. Il suo spessore è di circa 4 metri, come risulta dalle terebrazioni in zona costiera. I depositi sono caratterizzati da densità medio-alta (DR >60%), con resistenze alla punta frequentemente superiore a 10 MPa.

✓ UNITA' V ≡ corrisponde all'intervallo più profondo (fino a 8-10 metri) dei depositi litorali costieri della trasgressione marina flandriana (6.000 anni?), generalmente costituita da sabbie più fini e con intervalli ancora limoso-argillosi. Risultano generalmente di moderato addensamento (DR >45%), con resistenze alla punta che possono comunque superare anche i 6-8 MPa.

✓ UNITA' VI ≡ comprende depositi alluvionali prevalentemente argillosi e plastici attribuibili alla piana di conoide alluvionale (precedenti alla trasgressione flandriana) e risultano caratterizzati da un grado di consistenza che aumenta progressivamente con la profondità (stato da normalconsolidazione a modesta sovraconsolidazione). Le resistenze alla punta ricavate dalle prove CPTE/CPTU (eseguite per lo studio di microzonazione) misurano una resistenza media alla penetrazione per lo spessore attraversato di circa 2 MPa. Le terebrazioni più profonde indicano uno spessore complessivo di questa unità di circa 20 metri;

✓ UNITA' VII ≡ comprende livelli sabbiosi alluvionali (con probabili ghiaie fini) risultate penetrabili dalla prova P4CPTU4, sebbene con valori di resistenza alla punta che superano i 20 MPa. Queste sabbie appaiono attribuibili all'apparato distributore del Tavollo, (paleo argine?), e risultano di scarso interesse dal punto di vista sismico (non offrono contrasti d'impedenza significativi) come dimostrato dalle registrazioni HVSR eseguite nella zona limitrofa.

✓ UNITA' VIII ≡ rappresenta lo spessore prevalentemente ghiaioso rilevato dalle terebrazioni più profonde al letto del materasso alluvionale, caratterizzato da abbondante matrice argillosa. Lo spessore medio risulterebbe di circa 7-10 metri, sebbene non si abbiano informazioni sufficienti sulla continuità o meno di questo intervallo ghiaioso verso est (fiume Tavollo); i sondaggi a monte del "barr", più a SE e le ricostruzioni geologiche delle sezioni 1-1' e 2-2' confermerebbero, comunque, la continuità laterale verso est.

✓ UNITA' IX ≡ costituisce il bedrock sismico marino pliocenico, costituito da argille e marna stratificate e sovraconsolidate. Nell'area di interesse ("Ambito M") appare raggiunto dalla terebrazione denominata P173PA190

In conclusione, la sezione geo-litologica (o se vogliamo litotecnica) "3-3'" evidenzia un contesto deposizionale più profondo (dal bedrock fino alla profondità di circa 8-10 m) sostanzialmente omogeneo, confermato dagli esiti geofisici (registrazioni HVSR), mentre nello spessore sovrastante si denota una netta demarcazione di facies deposizionale, che da tipico contesto di ambiente di cordone/spiaggia litorale, diviene verso ovest (poco oltre la prova P5CPTU5), passa a un contesto attribuibile al fronte delizivo del Torrente Conca.