

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Toscana

Comune di Fauglia



Regione	Soggetto realizzatore	Data
Regione Toscana Comune di Fauglia (PI)	Dott. Geol. Claudio Nencini Dott. Geol. Tommaso Nencini Dott.ssa Geol. Melissa Brogi	novembre 2022

INDICE

Premessa		pag. 1
Descrizione della metodologia utilizzata		pag. 1
Riferimenti normativi		pag. 1
Inquadramento del territorio Comunale		pag. 2
	<i>Inquadramento Geografico</i>	pag. 2
	<i>Inquadramento Tettonico strutturale dell'area</i>	pag. 3
Pericolosità di Base e Eventi Sismici di Riferimento		pag. 3
Inquadramento Geologico		pag. 6
Substrato Sismico e terreni della Copertura - Definizioni		pag. 8
Inquadramento Geomorfologico		pag. 10
	Carta geomorfologica di riferimento	pag. 10
Dati Geotecnici e Geofisici		pag. 10
Modello geologico del Sottosuolo		pag. 11
Interpretazioni ed Incertezze		pag. 18
Procedura Semiquantitativa per stabilire la Qualità della Carta Mops		pag. 19
	<i>Descrizione della Procedura Utilizzata</i>	pag. 19
	<i>Definizione della qualità della cartografia delle singole aree</i>	pag. 20
Metodologia di elaborazione e Risultati		pag. 21
	<i>Elaborati cartografici</i>	pag. 21
Carta delle Indagini		pag. 22
Carta delle Frequenze Naturali dei Depositi		pag. 22
	<i>Misure di HVSR</i>	pag. 23
	<i>La frequenza di risonanza caratteristica del sito</i>	pag. 25
	La frequenza fondamentale di risonanza di un edificio	pag. 25
Carta geologico tecnica -CGT		pag. 26
Carta delle (Mops) -Revisione		pag. 26
	<i>Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali</i>	pag. 27
	<i>Zone di Attenzione per le instabilità</i>	pag. 29
	<i>Liquefazione</i>	pag. 30
	Approfondimenti propedeutici al 3° livello per la liquefazione dei terreni	pag. 34
Carta della Microzonazione Sismica di Livello 2		pag. 35
	Impostazione dello studio di Livello 2	pag. 35
	Stesura della Carta	pag. 35
Appendici e Tavole		pag. 43
Bibliografia		pag. 43



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Premessa

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Fauglia (determina n.68 del 15/04/2022) è stato effettuato uno studio di Microzonazione sismica di 2° livello. Lo studio interessa gli abitati di: Fauglia, Acciaiolo, Valtriano, Fondo la Grotta, Le Vallicelle, Poggio Pallone e Torretta.

Per le località di Acciaiolo e Fondo la Grotta, limitatamente agli aspetti inerenti la liquefazione del suolo, uno studio di Microzonazione propedeutico allo studio di 3° livello.

La presente relazione illustra e riferisce gli esiti dello studio condotto nel rispetto della Del. GRT n.977 del 27/09/2021 e facendo riferimento alle direttive degli ICMS.

Il quadro conoscitivo di partenza è costituito dallo studio redatto ai sensi del DPGR n.53/R 2011 a supporto del PSI dei Comuni di Fauglia ed Orciano Pisano (Febbraio 2020).

Descrizione della metodologia utilizzata

Il lavoro si è svolto seguendo in successione i seguenti step:

- aggiornamento del Data Base del PSI, ricercando tutte le indagini sismiche e geognostiche eseguite sul territorio successivamente all'approvazione del PSI.
- Esecuzione delle indagini previste nella "nota di adesione" concordata con l'ufficio sismico della Regione Toscana
- adeguamento della Carta MOPS di primo livello agli standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica (versione 4.2).
- realizzazione dello studio di microzonazione sismica di livello 2

Riferimenti normativi

Lo studio di Microzonazione è stato condotto seguendo le indicazioni illustrate in:

- ICMS (2008). Gruppo di lavoro MS. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della protezione civile.
http://www.protezionecivile.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica. Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE). Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, Versione 2.1. Roma, giugno 2015.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

- Commissione tecnica per la microzonazione sismica. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 2015.
(<http://www.protezionecivile.gov.it/media-comunicazione/pubblicazioni/contenview/view/174616>)
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR), Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 2017.
(<http://www.centromicrozonazioneisismica.it/it/download/category/13-linee-guida-per-la-gestione-del-territorio-in-aree-interessate-da-instabilita-di-versante-cosismiche>)
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ), Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 2017.
(<http://www.centromicrozonazioneisismica.it/it/download/category/21-linee-guida-per-la-gestione-del-territorio-in-aree-interessate-da-fenomeni-di-liquefazione>)
- Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – versione 4.2.
- Microzonazione Sismica Regionale - Redazione delle specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica e prescrizioni per le analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (aggiornamento 02/10/2018)

1. INQUADRAMENTO DEL TERRITORIO COMUNALE

1.1 Inquadramento geografico

Il territorio comunale si sviluppa all'interno della depressione tettonica (graben della Val di Fine – Val di Tora) delimitata a Sud dal T. Fine ad Est dai Monti di Castellina ad Ovest dai Monti Livornesi e a Nord dalla Pianura Pisana. Il territorio di Fauglia è articolato; la parte meridionale è caratterizzata da rilievi argillosi, blandamente ondulati, con ampi dossi quasi pianeggianti e versanti caratterizzati da pendenze comprese tra il 20 e il 30%. La parte centrale, caratterizzata prevalentemente dall'affioramento di sabbie, presenta rilievi caratterizzati da versanti più acclivi, l'altezza massima è raggiunta in località Casa Perugia ed è pari a 147 m. s.l.m. La porzione settentrionale è caratterizzata dalla presenza di esili rilievi (antichi depositi fluviali reincisi) che degradano verso la Pianura Pisana.

I corsi d'acqua principali sono il T. Tora, il Morra, il F. Isola, il Rio Tavola e il Rio del Fontino; queste aste drenano le acque nel Bacino dell'Arno. Dal punto di vista morfologico, geografico ed ambientale il territorio può essere suddiviso in due sistemi principali; la collina e la pianura. **La collina** coincide con la porzione più occidentale del sistema collinare denominato "Colline Pisane Inferiori", su questi rilievi si sono sviluppati gli abitati di Luciana, S.Regolo, Fauglia e



Poggio Pallone. La pianura coincide con i depositi alluvionali dei Torrenti Tora, Morra, Isola e di altri corsi minori.

La pianura alluvionale è solcata da un reticolo idraulico superficiale che consente lo scolo delle acque alte. All'interno della Pianura alluvionale del T. Tora si sono sviluppati gli abitati di Acciaio, di Fondo alla Grotta e di Torretta Vecchia. Sempre nell'ambito della pianura possono essere inserite le ondulazioni presenti al margine meridionale della Pianura Pisana, all'interno delle quali si è sviluppato l'abitato di Valtriano.

1.2 Inquadramento tettonico strutturale dell'area in studio

Il territorio in studio ricade all'interno del Graben della Val di Fine - Val di Tora. La struttura è una depressione tettonica delimitata ad Ovest dai Monti Livornesi e ad Est dai Monti di Castellina. Il Graben è originato da un sistema di faglie dirette pressoché verticali ad andamento NS (sul bordo orientale del bacino le faglie, presentano un andamento a geometria listrica). Al centro del graben, poco più a sud dell'area in studio è riconoscibile il piccolo Horst di Poggio Valperga. L'evoluzione del Graben della Val di Fine- Val di Tora può essere così sintetizzato.

Nel Miocene Superiore una fase di distensione, da origine alla fossa tettonica del Fine/Tora all'interno della quale cominciano a delinarsi le strutture vallive dei due fiumi. Nel Pliocene Inferiore e Medio si ha un innalzamento del livello del mare e quindi una sua ingressione da prima all'interno delle valli e successivamente oltre; in questa fase avviene la deposizione delle argille (FAA), delle Sabbie (VLMs) e dei livelli riconducibili al Calcare ad Amphistegina PRL. In questa fase restano emersi i Monti Livornesi e i Monti di Castellina.

Nel Pliocene Medio, una fase di sollevamento determina il progressivo ritiro del mare verso Sud e verso Ovest e quindi dal fondo delle valli emergono i sedimenti marini che vengono in parte sottoposti ad erosione. Questa condizione si sviluppa per tutto il Pliocene Medio e Superiore. Nel Pleistocene inferiore (Calabriano) si verifica una nuova fase distensiva, con conseguente ingressione marina. La nuova trasgressione copre una superficie inferiore alla precedente, e da origine alla deposizione della Formazione di Morrona QAM (ex ART), delle Sabbie di Nugola Vecchia (NUG) e del calcare sabbioso di Luciana (QCM). Nel Calabriano avanzato si sviluppa una fase "epirogenetica" (lento sollevamento) che interessa l'intera area meridionale delle Colline Pisane determinando l'innalzamento delle formazioni plioceniche e pleistoceniche.

I sedimenti depositati durante la fase temporale descritta (riconducibili al Neoautoctono), sono disposti secondo una monoclinale ad immersione N-NE dell'ordine dei 10° con angoli di immersione stimabili in 7-8°. Questa dislocazione è attribuibile all'azione di faglie poste al margine del Monte Pisano.

2. PERICOLOSITÀ DI BASE E EVENTI SISMICI DI RIFERIMENTO

A livello regionale l'aggiornamento della classificazione sismica della Toscana, a sei anni di distanza dall'entrata in vigore della precedente classificazione, approvata con Del. GRT n° 878

del 8/10/2012 (pubblicata su BURT ParteSeconda n.43 del 24.10.2012 Supplemento n.136), ha confermato il Comune di Fauglia nella zona sismica 3 (zone a bassa sismicità).

Tale classificazione non produce dirette ripercussioni sulla progettazione di opere e sulla microzonazione sismica, la cui valutazione della pericolosità, alla luce delle vigenti norme, è cambiata da un criterio “zona-dipendente” a “sito-dipendente”. Dalla Mappa di Pericolosità Sismica realizzata dall’INGV nel 2004 (Allegato 1B dell’O.P.C.M. 3519/2006) espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005), nel territorio relativo al Comune di Fauglia risultano valori di a_{max} compresi tra 0,125g e 0,150g.

2.1 Stima della Magnitudo attesa

A partire dal 1997 è stato creato il Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane (DISS). All’interno di questo database sono riportate le principali strutture sismogenetiche italiane, tra cui ne figurano due ubicate al margine dei Monti Livornesi (Fig.1):

- Sorgente Sismogenetica Individuale (Individual Seismogenic Sources, **ISS**) denominata “**Orciano Pisano**” (codice ITIS066). Tale sorgente è ideata per descrivere nel dettaglio le faglie, responsabili in passato di forti terremoti già avvenuti o che si ritiene possano avvenire.
- Sorgente Sismogenetica Composita (Composite Seismogenic Sources, **CSS**) denominata “**Livorno Hills**” (codice ITCS088). Questa sorgente è stata ideata per descrivere sistemi di faglia estesi, ma con un livello di dettaglio necessariamente minore

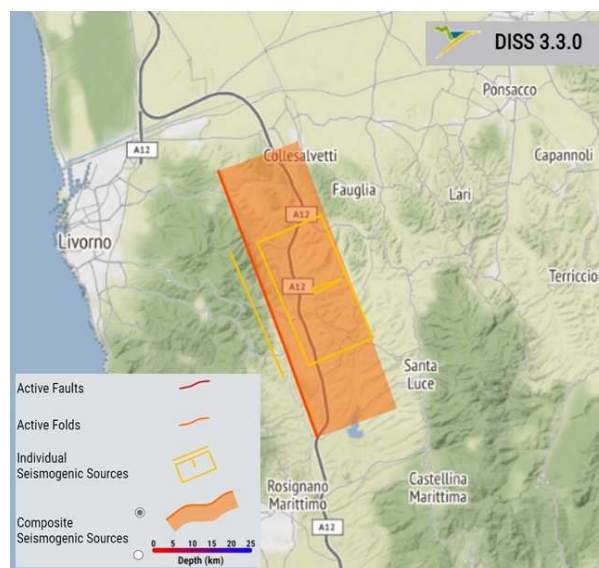


Figure 1. Principali strutture sismogenetiche nei pressi del territorio comunale di Fauglia.

La Mappa di Pericolosità dell'I.N.G.V., prevede per l'area di Fauglia un valore di A_g/g pari a 0.125-0.150 (Fig. 2). Alla luce di questi valori, la Regione Toscana colloca il comune di Fauglia in Zona Sismica 3.

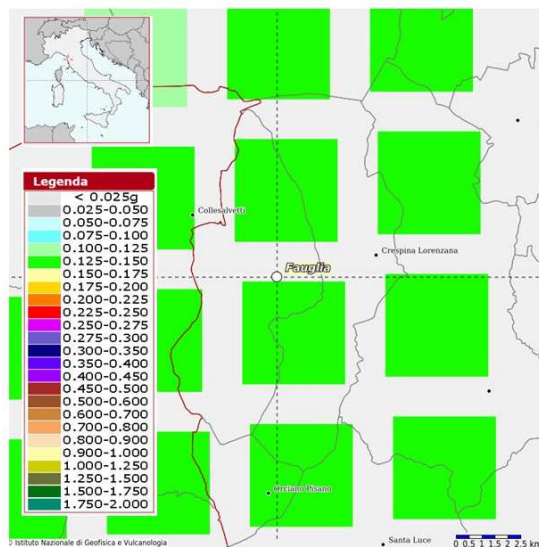


Figure 2. Mappa della Pericolosità Sismica (I.N.G.V.).

La **magnitudo attesa** per il sito specifico si ricava sempre dal sito dell'INGV: è possibile infatti ricavare il dettaglio in forma grafica e tabellare dell'analisi di disaggregazione (vale a dire il contributo delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza) della relativa $a(g)$, utilizzando lo strumento grafico di disaggregazione (Fig. 4).

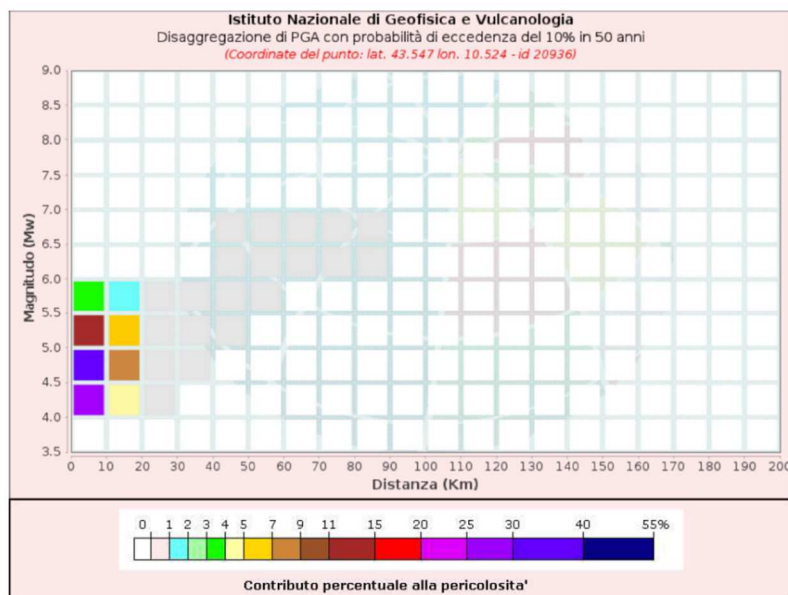


Fig.3 Diagramma di disaggregazione



Oltre al grafico, si otterranno anche i valori medi di M-D- ϵ (magnitudo, distanza, epsilon) per l'area. Nel caso di Fauglia, i valori ricavati sono i seguenti: ***Mw = 4.77 (magnitudo media attesa)***, ***distanza media attesa = 7.13 km***, ***$\epsilon = 0.853$***

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

All'interno del territorio oggetto dello studio, affiorano sedimenti riconducibili al Neautoctono; in particolare sono presenti sedimenti attribuibili al ciclo marino del Pliocene Medio – Pleistocene Inf., sui quali a partire dal Pleistocene Medio, si sono depositati sedimenti continentali di ambiente prevalentemente deltizio/fluviatile.

Di seguito sono descritte, a partire dalle più profonde, le formazioni affioranti nell'area,. Le denominazioni utilizzate, salvo alcune modifiche marginali, sono quelle proposte dal CARG.

3.1 Depositi del Pliocene Medio

Argille Azzurre - FAA

Questa formazione affiora in corrispondenza dei rilievi meridionali del territorio comunale. La formazione è costituita da argilla inorganica, di color azzurro, sovraconsolidata, cui s'intercalano livelli decimetrici di marna. La deposizione è riconducibile al Pliocene Medio. Si tratta di un sedimento di mare profondo come testimoniato dal ritrovamento di vari fossili di vertebrati marini, dalla presenza di foraminiferi planctonici e dal nanoplancton. La parte alta della formazione è caratterizzata da un costante aumento della frazione limosa. Lo spessore della formazione è stimabile in alcune centinaia di metri.

Formazione di Villamagna (VLMs)

Questi sedimenti affiorano alla base del rilievo collinari di Luciana, di Poggio alla Guardia ed alla sommità del rilievo di Postignano I°. Questa formazione comprende l'insieme dei depositi sabbiosi, argilloso-sabbiosi e sabbioso argillosi che si sono depositati durante la fase regressiva del Pliocene Medio. La formazione è costituita prevalentemente da sabbie fini di color giallo ocra, addensate, dislocate in banchi omogenei dello spessore di 4-5m, cui s'intercalano livelli decimetrici di arenarie e di calcareniti. Lo spessore della formazione è compreso tra i 10 e i 20m. La formazione è databile al Pliocene Medio.

3.2 Depositi del Pleistocene Inferiore

Sabbie ed Argille ad Arctica Islandica – ART

Questi sedimenti rappresentano il deposito di base della trasgressione marina del Pleistocene Inferiore e giacciono, in discordanza, sulle formazioni del Pliocene Medio. La formazione è caratterizzata da una notevole eterogeneità litologica, si passa da sedimenti prettamente



argillosi a livelli essenzialmente sabbiosi con ciottoli. La base della formazione è caratterizzata da strati ricchi di fossili. Gli affioramenti più estesi si ritrovano in località S.Regolo e Postignano; altri più circoscritti sono presenti al bordo di varie incisioni vallive.

Lo spessore massimo della formazione è stimabile nell'ordine dei 10m. Le associazioni fossilifere consentono di datare la formazione al Pleistocene Inferiore piano Calabriano.

Sabbie di Nugola Vecchia NUG

La formazione giace in continuità di sedimentazione sulla formazione ART e rappresenta il sedimento di chiusura del ciclo marino del Pleistocene Inferiore. La formazione è costituita da sedimenti sabbiosi, generalmente fini, finemente stratificati, cui s'intercalano livelli decimetrici di limo, di arenaria e di calcareniti. I livelli di sabbia si presentano in banchi omogenei con spessori dell'ordine dei 5m. All'interno della formazione si ritrovano strati fossiliferi ad Ostrea che possono raggiungere spessori dell'ordine dei due metri. Lo spessore complessivo della formazione s'aggira nell'ordine dei 100m. Le associazioni fossilifere presenti consentono di datare la formazione al Calabriano.

Calcare arenaceo di Luciana QCM

Questa formazione affiora in corrispondenza dell'abitato di Luciana. La QCM è un calcare arenaceo omogeneo, compatto, al cui interno si ritrovano fossili quali, brachiopodi, serpulidi, ostree e pectinidi che ne testimoniano la deposizione in un ambiente tipicamente marino costiero. Il calcare rappresenta, presumibilmente, la facies laterale della porzione più costiera delle Sabbie di Nugola Vecchia. Lo spessore della formazione si aggira nell'ordine dei 10m. Le associazioni fossilifere presenti consentono di datare la formazione al Calabriano.

3.3 Depositi del Pleistocene Medio

Conglomerati sabbie e limi di Casa Poggio ai Lecci - QPL

Questa formazione affiora alla sommità dei rilievi di Fauglia, di Poggio alla Farnia e di Poggio Pallone. I sedimenti riconducibili alla QPL, giacciono in trasgressione sulle sottostanti formazioni marine del Pleistocene Inferiore. Si tratta di una formazione d'origine continentale, d'ambiente presumibilmente fluviale-deltizio. La QPL è costituita da ciottoli arrotondati, fortemente eterometrici, immersi in una matrice sabbiosa, con clasti provenienti dalle formazioni della Serie Toscana affioranti al Monte Pisano. All'interno della formazione si ritrovano livelli di sabbia, di limo e d'argilla plastica. Il colore rossastro del sedimento è da attribuire ad un'alterazione pedogenetica, spinta sino al livello degli "alfisuoli". Il tipo d'alterazione permette di datare la formazione al Pleistocene Medio (interglaciale Riss - Wurm). Lo spessore massimo s'aggira nell'ordine dei 10-15 metri.



3.4 Depositi del Pleistocene Sup.

Sabbie e limi di Vicarello QVC

Questa formazione, di origine continentale e d'ambiente prevalentemente fluviale affiora in corrispondenza dell'abitato di Valtriano. L'affioramento coincide con gli esili rilievi ondulati che costituiscono il naturale raccordo tra le Colline Pisane e la Pianura Pisana. La formazione è costituita essenzialmente da sabbie massive, limose cui s'intercalano livelli di argilla, di limo e talvolta di torba. Sulla superficie si ritrovano argillificazioni e noduli di ferro/manganese che testimoniano l'inizio di una debole alterazione pedogenetica. Lo spessore della formazione s'aggira nell'ordine dei 30-35m. Alla base è presente un livello di ghiaia noto in bibliografia con il termine di "Conglomerati dell'Arno e Serchio da Bientina" (le ghiaie rientrano tra i terreni della copertura GM). La formazione è databile al Pleistocene Superiore.

3.5 Depositi dell'Olocene - Attuale

Alluvioni Recenti e Attuali "b"

Questa formazione, d'origine continentale e d'ambiente deposizionale fluviale, è costituita da sedimenti essenzialmente fini (sabbie, limi e argille). Alla base è generalmente presente un livello di ghiaia. Lo spessore della formazione tra gli 8 e i 30m.

4. SUBSTRATO SISMICO E TERRENI DELLA COPERTURA - DEFINIZIONI

Le formazioni precedentemente descritte sono state distinte, in prospettiva sismica, tra formazioni del substrato e formazioni della copertura.

La distinzione tra "substrato sismico" (SS) e "terreni di copertura in prospettiva sismica" (TCS) viene effettuata sulla base del valore di V_s , il cui limite è posto a 800 m/s.

All'interno del territorio in studio non sono presenti formazioni attribuibili al "substrato sismico". Rilievi sismici eseguiti nella Pianura Pisana (R. Ghelardoni, E. Giannini e R. Nardi, 1968) permettono di collocare il substrato sismico a profondità maggiori di 500m.

Le formazioni presenti sono state distinte in formazioni del "substrato geologico-non litoide" e "della "copertura in prospettiva sismica".

I sedimenti depositi nell'intervallo Pliocene Medio – Fase trasgressiva del Pleistocene Inferiore) sono stati attribuiti al "**substrato geologico**" mentre i più recenti (depositi tra la fase regressiva del Pleistocene Inferiore e l'Olocene) formano la "**copertura**".

Il “**substrato geologico**” è stato identificato con il complesso dei terreni caratterizzati da valori delle “Vs” significativamente maggiori rispetto a quelli relativi alle coperture localmente presenti.

Nella tabella che segue è illustrata la distinzione effettuata su base sismica.

Distinguendo terreni riconducibili a:

- Substrato geologico non roccioso, identificabili con le sigle CO e GR
- Depositi intermedi comunque riconducibili al substrato geologico non roccioso IS
- Terreni della Copertura

Terreni della copertura Vs < 800m/s	Terreni della copertura in prospettiva sismica	sigla	Continuum Geologico	Tipo_gt	Formazioni	gen
		Bna2	Alluvioni attuali e oloceniche	CL (**)	b Alluvioni recenti e attuali	pi
		Bnb2	Terrazzi alluvionali del Pleistocene superiore	SC (*)	QVC Sabbie e limi di vicarello	zz
			Conglomerati dell’Arno e Serchio da Bientina	GW	Ghiaie del T. Tora e Morra	dl
		Bnb1	Terrazzi alluvionali del Pleistocene medio	GM	QPL Conglomerati, sabbie e limi di casa Poggio ai Lecci	tf
		PLE	Depositi Marini e costieri pleistocenici	LC	QCM Calcare arenaceo di Luciana	sp
			Depositi Marini e costieri pleistocenici	SM	NUG Sabbie di Nugola Vecchia	sp
	Terr. substrato geologico	PLE	Depositi Marini e costieri pleistocenici	IS (***)	ART Sabbie ed Argille ad Arctica	
		FAAe	Argille Azzurre - litofacies sabbiosa	GR	VLMs -Formazione di Villamagna	
		FAA	Formazione delle Argille Azzurre	CO	p – Argille Azzurre	

(*) L’ambiente di deposizione è eterogeneo fluviale, di duna, eolico vista la complessità per comprendere tutte le possibili variabili è stato previsto di inserirla in “*altro ambiente -zz*”.

(**) la formazione è inserita in classe CL”. L’ambiente di deposizione è di “piana inondabile pi”. Alla base dei depositi alluvionali del Morra e del Tora è presente un livello di ghiaia riconducibili alla tipologia GM

(***) depositi intermedi



5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La parte meridionale del territorio comunale, è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti essenzialmente argillosi (Argille Azzurre - FAA), qui si ritrovano morfologie dolci con rilievi blandamente ondulati, con ampi dossi quasi pianeggianti e versanti di regola poco acclivi raccordati con i fondovalle. In queste condizioni geomorfologiche si sviluppano frane per colamento, scivolamento, ma le forme più diffuse sono riconducibili a "deformazioni superficiali". Lo sviluppo di queste forme oltre a fattori chimico-fisico-mineralogici, propri dell'argilla è da ricondurre anche alla conduzione agricola dei terreni.

La parte centrale del territorio comunale, è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti essenzialmente sabbiosi (formazioni VLMs, NUG, QCM, QPL). Qui i rilievi presentano delle creste strette e allungate, delimitate da scarpate acclivi, talvolta sub verticali. I versanti disposti a "franapoggio" evidenziano una predisposizione al dissesto, talvolta favorita dalla presenza di intercalazioni argillose, da emergenze idriche e da interventi antropici. In questo contesto geologico si sviluppano frane di scivolamento rotazionale.

La parte Nord del territorio è marcata da lievi ondulazioni (quote medie dell'ordine dei 15m) che costituiscono il naturale raccordo tra le Colline Pisane e La Pianura dell'Arno. Il contesto geomorfologico e la natura dei sedimenti determinano condizioni di sostanziale stabilità.

5.1 Carta geomorfologica di riferimento

La carta geomorfologica di riferimento è quella redatta a supporto del Piano Strutturale Intercomunale di Fauglia e Orciano Pisano. La carta è conforme a quella del PAI del Distretto Appennino Settentrionale, ed evidenzia le forme di maggior interesse ai fini della valutazione del grado di pericolosità del territorio comunale. Nella carta geomorfologica del PSI sono state considerate

- **Attive** le forme e i depositi legati a processi in atto all'epoca del rilevamento o ricorrenti a ciclo breve
- **Quiescenti** (con questo termine si intendono le forme inattive che possono essere riattivate dalle sue cause originarie) le forme per le quali esistono evidenze geomorfologiche o testimonianze di mobilità nell'attuale sistema morfoclimatico e morfodinamico e che non avendo esaurito la loro evoluzione hanno possibilità di riattivarsi.
- **Stabilizzate** quelle forme oggetto di interventi che ne hanno neutralizzato lo stato di attività

6. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per procedere con le analisi di Microzonazione Sismica di livello 2 è stato indispensabile effettuare:

- la raccolta, e l'archiviazione organizzata dei dati pregressi
- procedere, nel rispetto della *"nota di adesione"* concordata, all'esecuzione di nuove specifiche indagini

Punto di partenza è stato il DB del Piano Strutturale Intercomunale, privilegiando quelle indagini in grado di definire al meglio la stratigrafia del sottosuolo, escludendo le indagini esterne alle aree interessate dallo studio, quelle spinte a profondità < di 10m dal p.c.) e mettendo in opera un criterio di selezione geografico dei dati, in modo da ottenere una distribuzione omogenea delle informazioni.

Alle indagini del PSI, sono state aggiunte, seguendo il criterio sopra esposto, le prove geognostiche e geofisiche eseguite sul territorio dall'approvazione del PSI ad oggi (è stato consultato il portale regionale Portos).

Il DB è stato poi arricchito dall'esecuzione delle nuove indagini previste dalla nota di adesione che comprendono, una linea sismica a rifrazione SR, una indagine sismica ESAC, quattro indagini MASW, 13 indagini di sismica passiva HVSR, e due prove CPTU.

Le indagini disponibili nelle aree in studio sono riportate nella tabella che segue, le indagini riportate hanno tutte raggiunto il substrato geologico.

Area	HVSR	MASW	DH	RE.MI	SR	ESAC	CPT	CPTU	ERT	Sond
Valtriano- Meleto	4	4	1		1		10			3
P.Pallone	1	2								
Vallicelle	1	1								
Acciaiole	8	3	1	1			16	6		10
Luciana	5	4							2	1
Fauglia,	9	12	1		1		22		1	12
Fondo alla Grotta	11	3	1		3	1	6	5		7
Torretta	2	1	1		1		4			5

7. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

La carta geologica redatta a supporto del PSI, le informazioni puntuali ricavate dall'elaborazione delle indagini geofisiche e geognostiche acquisite, permettono di ricostruire il modello geologico del sottosuolo. La distribuzione delle informazioni e le profondità raggiunte nel corso delle indagini consentono di attribuire al modello un elevato grado di affidabilità.

Il modello nelle linee generali, prevede la presenza di sedimenti continentali e marini (*depostisi a partire dalla fase regressiva del Pleistocene Inferiore all'Olocene*) sovrapposti ai livelli riconducibili al substrato geologico (*sedimenti depostisi durante il Pliocene Medio*).

Le informazioni acquisite confermano *la dislocazione dei sedimenti secondo superfici piano parallele (monoclinale) a debole inclinazione ($7 - 8^\circ$) a N-NE*. Detti sedimenti non sono interessati da faglie attive significative.

7.1 Area di Torretta

L'area è posta al margine orientale della Pianura alluvionale del T.Morra. La pianura alluvionale del Morra, presenta una larghezza dell'ordine dei 500m ed è delimitata dai rilievi di Postignano e Castell'Anselmo. I rilievi sono caratterizzati dall'affioramento di sedimenti attribuibili al Pliocene Medio. Le indagini sismiche e i sondaggi disponibili nell'area, permettono di stimare lo spessore della coltre alluvionale (terreni della copertura CLpi) tra 10 (stimati in corrispondenza del margine della collina di Postignano) e 27m (area stabilimento Continental).

Al di sotto si ritrovano sedimenti essenzialmente argillosi attribuibili alla formazione FAA (substrato geologico CO) caratterizzati da valori di VP (1500-1800 m/s) e Vs (300÷450 m/s).

Al contatto tra depositi alluvionale e depositi è presente un banco di ghiaia.

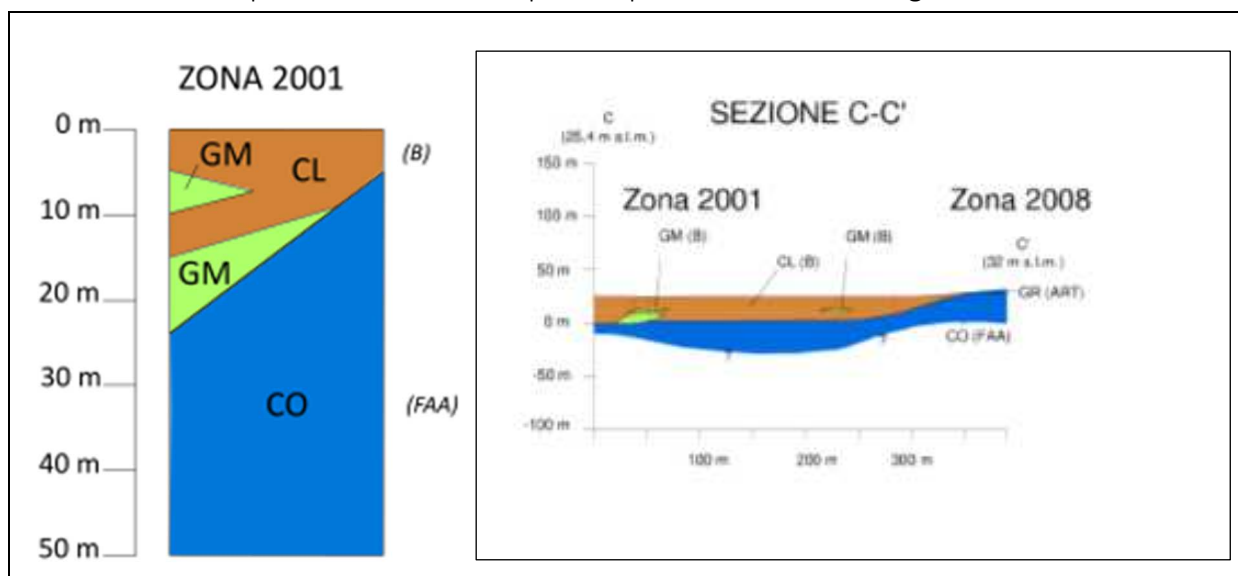


Fig. n.4 Colonna Zona MOPS e Sezione geologico – tecnica area di Torretta

7.2 Area Centrale Enel – Fondo alla Grotta

L'area si sviluppa interamente al margine ovest della pianura alluvionale del T.Tora. L'area è caratterizzata dalla presenza di sedimenti continentali di ambiente fluviale sovrapposti a sedimenti di ambiente marino riconducibili al Pliocene Medio. In particolare in corrispondenza dell'area delle centrale Enel i sedimenti alluvionali si sovrappongono a quelli prevalentemente argillosi (formazione FAA). Nell'area di Fondo alla Grotta -Campo sportivo i sedimenti alluvionali sembrano (dati ricavati dalla stratigrafia di pozzi) sovrapporsi alla Formazione di Villamagna. I sondaggi, le stratigrafie dei pozzi e le indagini sismiche a disposizione, evidenziano spessori significativi della coltre alluvionale anche in corrispondenza del margine della pianura. 10-15m nell'area della centrale Enel, 20 al campo sportivo di Acciaiolo.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

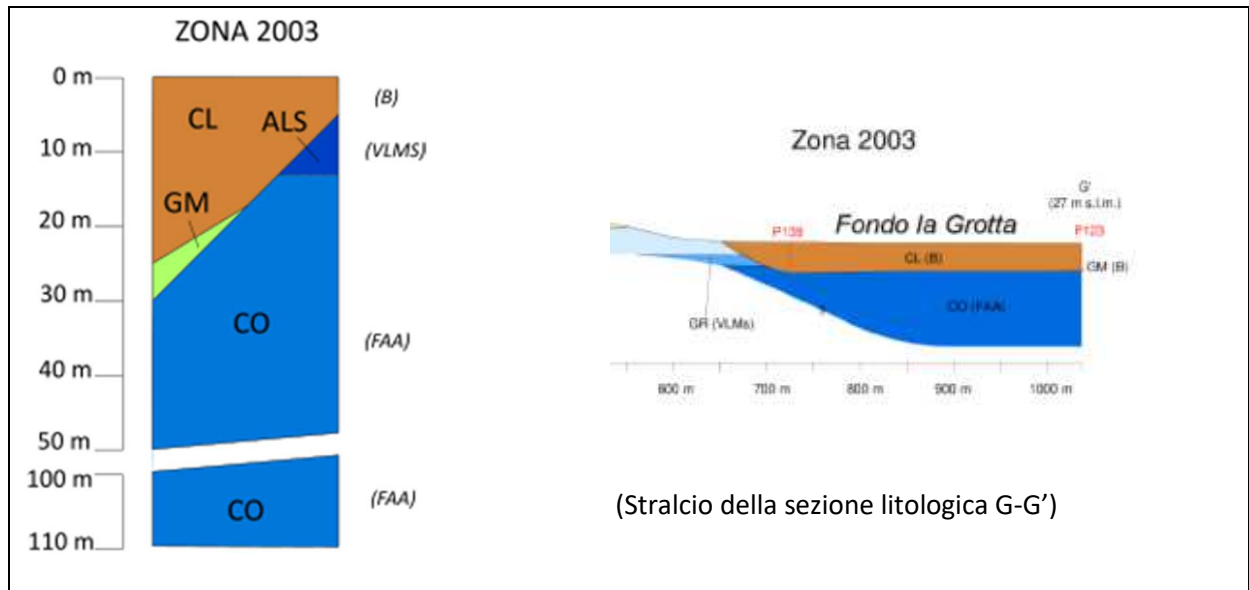


Fig.5 Colonna Zona MOPS e Sezione geologico-tecnica area di Acciaiolio

7.2.a Valle del Torrente Fiocina

Quest'area, geograficamente inserita nel contesto sopra descritto presenta una specificità; si tratta di una valle stretta incisa all'interno di sedimenti riconducibili alle formazioni ART- FAA (substrato geologico IS – CO).

I sedimenti alluvionali riconducibili alla formazione "b" (terreni della copertura CLpi) presentano uno spessore dell'ordine dei 10-13m. Le indagini sismiche HVSR presenti mostrano un picco significativo (frequenza 2.4 (Hz): ampiezza 6.5). Il picco, presumibilmente, è da ricondurre al passaggio tra sedimenti della copertura e quelli della formazione FAA.

7.3 Acciaiole

L'area ricade interamente al margine sud della pianura alluvionale del T.Tora ed è compresa tra il corso d'acqua ed i rilievi collinari di Poggio alla Guardia - Luciana. L'area è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti continentali di ambiente fluviale (terreni della copertura CLpi) sovrapposti a sedimenti argillosi riconducibili alla formazione FAA (substrato geologico CO). Il contatto tra le due formazioni è marcato dalla presenza di un livello di ghiaia. Le indagini consentono di stimare lo spessore della coltre alluvionale è stimabile nell'ordine dei 25m.

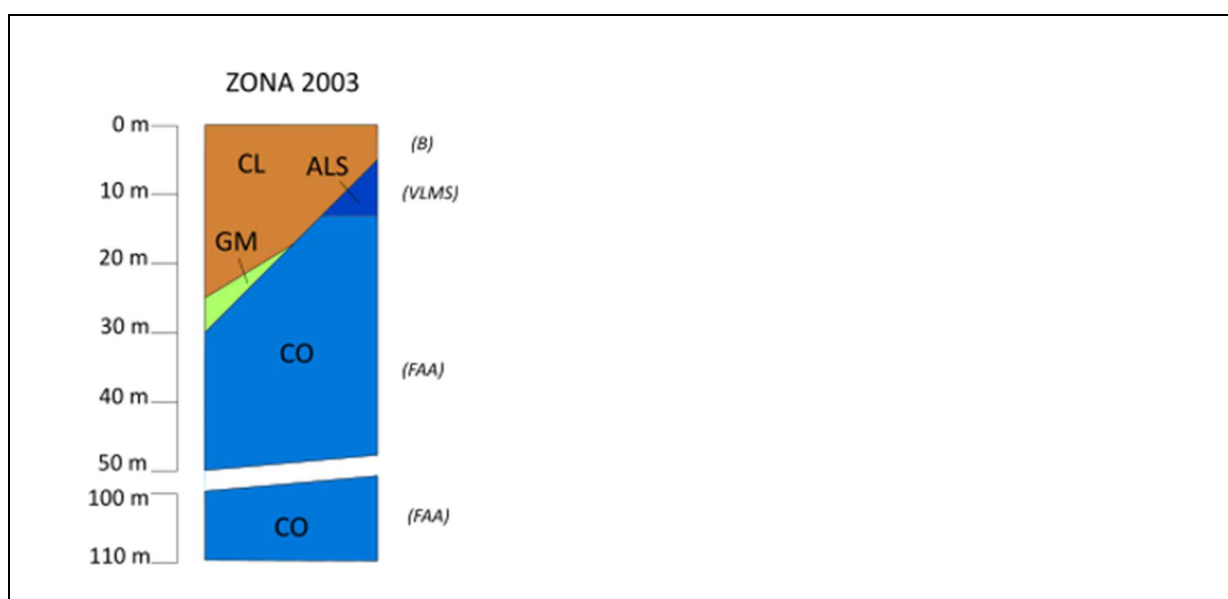


Fig.6 Colonna Zona MOPS e Sezione geologico – tecnica area di Acciaiole



7.4 Luciana

L'area ricopre pressoché per intero il rilievo collinare di Luciana. Nell'area affiorano sedimenti marini del Pleistocene Inferiore riconducibili a terreni della copertura "litoide cementato LC", (le indagini penetrometriche mostrano la presenza di un suolo alterato con spessore inferiore a 2m) sovrapposto a livelli arenacei più o meno consolidati. La formazione giace in continuità stratigrafica con la NUG.

Le indagini sismiche evidenziano il progressivo aumento della velocità delle V_s con la profondità. Le HVSR non mostrano picchi di frequenza significativi.

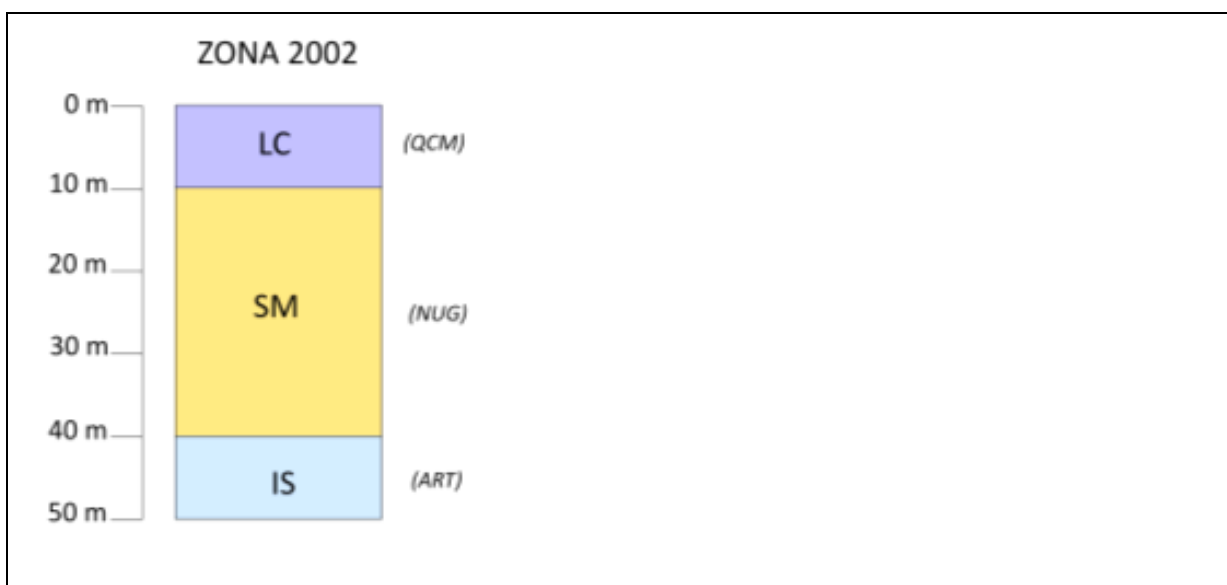
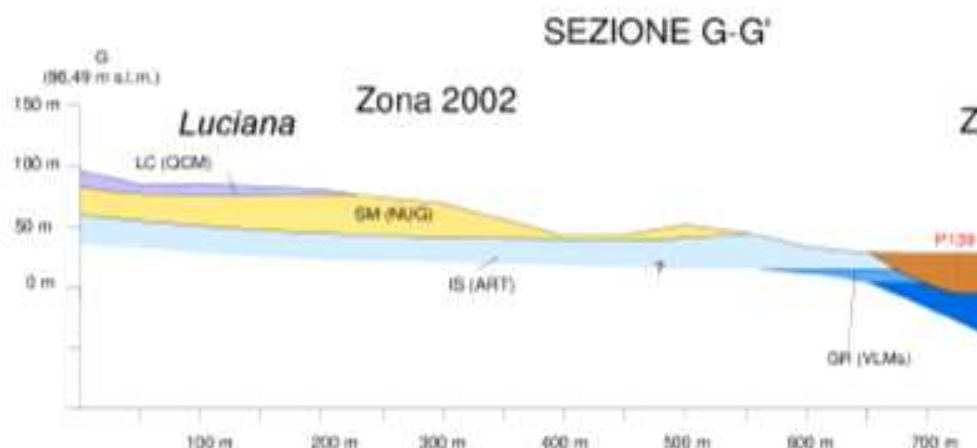


Fig.7 Colonna Zona MOPS e Sezione geologico – tecnica area di Luciana



7.5 Fauglia

L'area ricopre pressoché per intero il rilievo collinare di Fauglia e i rilievi collinari ad esso collegati. Nell'area affiorano sedimenti marini riconducibili alla fase regressiva del Pleistocene Inferiore, cui si sovrappongono sedimenti continentali databili al Pleistocene Medio. Detti sedimenti sono entrambi riconducibili a depositi della copertura:

- La formazione NUG riconducibile al "tipo_{gt} SM" (sabbie limose, miscela di sabbia e limo)
- La formazione QPL riconducibile al "tipo_{gt} GM" (Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo)

Le formazioni sono dislocate secondo una monoclinale a debole immersione a N-NE. Le indagini sismiche evidenziano il progressivo aumento della velocità delle V_s con la profondità. Le HVSR non mostrano picchi di frequenza significativi

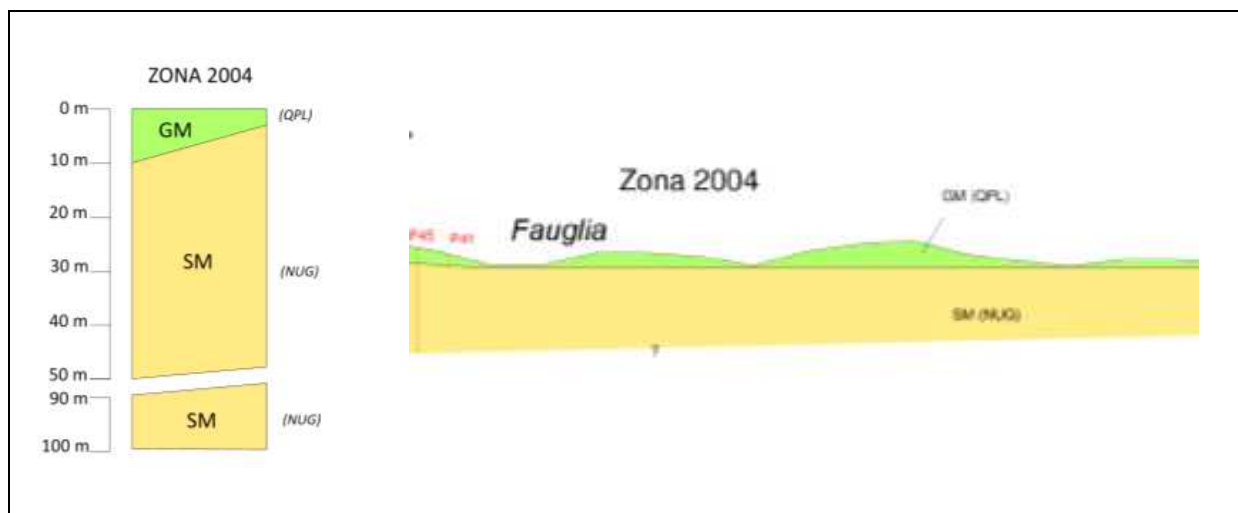


Fig.8 Colonna Zona MOPS e Sezione geologico – tecnica area di Fauglia

7.6 Valtriano - Zona Meleto

L'area copre una superficie pressoché pianeggiante caratterizzata dall'affioramento di sedimenti continentali attribuibili alla formazione "QVC – Sabbie e limi di Vicarello". Lo spessore dei sedimenti s'aggira nell'ordine dei 30m. Alla base è presente un livello di ghiaia denominato "Conglomerati dell'Arno e Serchio da Bientina". I sedimenti della QVC sono riconducibili ai terreni della copertura in particolare al "tipo_gt SC Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla". L'ambiente di deposizione è eterogeneo fluviale, di duna, eolico vista la complessità del sedimento per comprendere tutte le possibili variabili è stato previsto di inserirla in "altro ambiente -zz". Le indagini sismiche evidenziano il progressivo aumento della velocità delle V_s con la profondità. Le HVSR non mostrano picchi di frequenza significativi.



Fig. 9 Colonna Zona MOPS e Sezione geologica – tecnica area di Valtriano



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

8. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Lo studio di microzonazione sismica è stato svolto nel rispetto di:

- Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica, Gruppo di lavoro MS; -Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3907 del 13 novembre 2010 – Attuazione dell’articolo 11 del decreto legge 28 aprile 2009 n°39, convertito con modificazioni dalla legge 24 giugno 2009 n°77. Allegato A delle specifiche tecniche regionali per l’elaborazione di indagini e studi di Microzonazione Sismica;
- Istruzioni tecniche per le indagini geologico-tecniche, geofisiche e geotecniche, finalizzate alla valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana Programma VEL Toscana – Del. GRT n. 1343 del 18 dicembre 2000 e s.m.e.i.;
- Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – versione 4.2;

Lo studio ha permesso di approfondire le conoscenze degli aspetti sismici dei centri indicati nella nota di adesione.

Tutte le indagini presenti all'interno delle aree in studio, sono state inserite nel software SoftMS e riportate nella carta delle indagini. Il grado di incertezza dello studio di microzonazione scaturisce dalla qualità del database così costruito e può essere valutato attraverso l'analisi quali-quantitativa del “fattore di qualità”.

L'analisi più approfondita delle cartografie prodotte (meglio descritte nei capitoli seguenti), e del modello geologico descritto nel capitolo precedente, permette di formulare alcune considerazioni più specifiche:

Come osservabile dalla carta geologico tecnica i terreni riconducibili alla copertura sono stati individuati in:

- Sedimenti della pianura alluvionale del Tora del Morra
- Sedimenti continentali affioranti in prossimità del lembo meridionale della Pianura Pisana.
- Sedimenti marini attribuibili alla fase regressiva del Pleistocene Inferiore
- Sedimenti continentali attribuibili al Pliocene Medio

Le indagini (HVSr), non hanno evidenziato, salvo la circoscritta area del Fiocina, la presenza di picchi rilevanti nel grafico del rapporto H/V.

Le creste collinari, si sviluppano su litologie prevalentemente sabbiose e l'analisi delle frequenze di picco non rivelano particolari contrasti di impedenza sismica i grafici generalmente mostrano un andamento piatto.



In merito alle zone instabili per franosità presenti queste interessano prevalentemente la coltre superficiale, nella maggior parte dei casi siamo in presenza di “forme” non sempre è presente un vero e proprio corpo di frana soggetto a riattivazione in presenza di sisma.

Le zone di attenzione per liquefazione sono state oggetto di approfondimenti che hanno portato alla definizione di una cartografia propedeutica a studi di terzo livello

9. PROCEDURA SEMIQUANTITATIVA PER STABILIRE LA QUALITÀ DELLA CARTA MOPS

Nei paragrafi seguenti verrà descritta la procedura di analisi qualitativa introdotta dagli Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica, mirata alla verifica del grado di qualità e di conseguenza affidabilità della cartografia prodotta.

9.1 Descrizione della Procedura Utilizzata

Il presente studio applica al quadro conoscitivo sin qui descritto, una procedura semplificata che, attraverso alcune trasformazioni semiquantitative, fornisce una valutazione di attendibilità della carta di Microzonazione Sismica (MS). Tale procedura è stata pubblicata sia in Albarello et alii. (nel Supplemento alla rivista Ingegneria Sismica, Anno XXVIII – n.2 – 2011), sia dal Genio Civile di Firenze in Allegato 1 al G.R.T. 431/2011, con riferimento ai precedenti Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (Dipartimento di Protezione Civile, 2008).

La procedura ha consentito di definire, per le aree MOPS individuate, un “fattore di qualità (FQ)” espresso in percentuale, al quale è associata una determinata classe di qualità.

Nello specifico la procedura ha visto le seguenti fasi operative:

E' stato costruito un reticolo di celle quadrate aventi lato di 250 m. Queste ultime sono state orientate, in modo da assecondare l'andamento delle aree MOPS, nella prospettiva di rappresentare al meglio l'effettiva densità di indagini.

Per ogni cella è stato attribuito un valore booleano (Vero- Falso) che identifica o meno la presenza, all'interno della propria estensione areale, di: sondaggi a distruzione di nucleo, sondaggi a carotaggio continuo, indagini geofisiche, prove geognostiche (prove penetrometriche, analisi geotecniche di laboratorio etc.), misure delle frequenze di risonanza di sito.

Ad ognuna delle aree MOPS sono stati attribuiti 18 campi descrittivi. Questi ultimi sono stati compilati attraverso metodologie semiautomatiche in ambiente GIS, utilizzando anche gli attributi delle “Celle”. I campi così realizzati hanno permesso di stimare i seguenti elementi:

1. Anno rilevamento della carta geologica,
2. Progetto di appartenenza della carta geologica,
3. Scala di rilevamento della carta geologica,
4. Numero di sondaggi a distruzione,

5. Percentuale di celle dell'Area MOPS occupate da sondaggi a distruzione,
6. Numero sondaggi a distruzione che arrivano al substrato rigido,
7. Numero di sondaggi a carotaggio continuo
8. Percentuale di celle dell'Area MOPS occupate da sondaggi a carotaggio continuo,
9. Numero di sondaggi a carotaggio continuo che arrivano al substrato rigido,
10. Numero di indagini geofisiche,
11. Percentuale di celle dell'Area MOPS occupate da indagini geofisiche,
12. Percentuale di indagini effettuate nell'Area MOPS che arrivano al substrato rigido,
13. Numero prove geotecniche in situ e di laboratorio,
14. Percentuale di celle dell'Area MOPS occupate da prove
15. Percentuale di prove effettuate nell'Area MOPS che arrivano al substrato rigido,
16. Numero di misure delle frequenze di sito,
17. Percentuale di celle dell'Area MOPS occupate da misure di frequenze di sito
18. Classe di affidabilità delle misure di frequenza secondo Albarello et alii.

Per mezzo di un foglio elettronico è stata attribuita una valutazione numerica ad ognuno dei 18 parametri descrittivi dell'Area MOPS e, attraverso una serie di “pesi” (detti “Peso indicatore” e “Peso parametro”), è stato calcolato il valore percentuale del Fattore di Qualità FQ derivante dalla seguente formula:

$$FQ = \left[\frac{100}{\sum_{i=1}^I P_i} \right] \sum_{i=1}^I P_i \left(\sum_{j=1}^{J_i} \frac{S_{ij}}{J_i} \right) = \left[\frac{100}{4} \right] \sum_{i=1}^I P_i \left(\sum_{j=1}^{J_i} \frac{S_{ij}}{J_i} \right)$$

I=Numero di Parametri
 J=Numero di Indicatori relativi al parametro i-mo
 P_i = peso del Parametro i-mo
 S_{ij}=Punteggio relativo all'Indicatore j-mo del Parametro i-mo
 FQ = Fattore di qualità (%)

Una volta ottenuto il fattore di Qualità (FQ) è stata assegnata alla cartografia di microzonazione sismica (MS) di ogni Area MOPS una classe di qualità:

FQ ≥ 75%	Classe A (carta di livello 1 di ottima qualità)
50 ≤ FQ < 75%	Classe B (migliorare almeno uno dei parametri)
25 ≤ FQ < 50%	Classe C (programmare nuove indagini)
FQ < 25%	Classe D (carta di livello 1 di scarsa qualità, non risponde ai requisiti minimi richiesti dagli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica)

9.2 Definizione della qualità della cartografia delle singole aree

Nella tabella che segue è riportato il valore di qualità delle aree Mops

AREA	CENTRI INTERESSATI	F. FQ	Classe
Rilievi collinari Nord	Valtriano / Zona Ind. Meleto	52.1	B
Rilievi collinari OVEST	Poggio Pallone (*)	39.1	C
	Vallicelle (*)	37.7	C



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Rilievi Collinari di Luciana	Luciana (*)	45.9	C
Rilievo Collinare di Fauglia	Fauglia / CasaFerri / Sorbo	58.9	B
Pianura alluvionale del Tora	Acciaiole	57.4	B
Pianura alluvionale del Tora- Morra	Fondo alla Grotta / Torretta	63.8	B

(*) Le cartografie ricadono in classe C in quanto si tratta di centri storici e/o di aree scarsamente edificate e quindi prive di indagini pregresse. Le indagini disponibili permettono comunque di definire in modo chiaro gli aspetti sismici delle località indagate.

10. METODOLOGIA DI ELABORAZIONE E RISULTATI

I dati geognostici, geofisici e geologici derivanti dal rilevamento di campagna sono stati raccolti ed organizzati in una banca dati geografica (GIS). Questa metodologia consente di poter gestire un quantitativo ingente di informazioni provenienti da diverse discipline e di integrare tali dati in modo oggettivo e dinamico, in modo da poterli modificare e aggiornare nel corso del progetto ed utilizzarli per scopi diversi, quali la semplice rappresentazione cartografica, l'estrazione dei dati sulla base di specifiche richieste dell'utente.

La banca dati si sviluppa con due tecniche differenti tra loro collegate:

- con tecniche GIS è stata creata la cartografia digitale geografica, geologica e sismica;
- col software SoftMS v 4.2 è stata generata la banca dati delle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche come database formato mdb. L'elaborazione dei dati geologici è stata effettuata seguendo le direttive degli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" (versione 4.2) del Dip.to della Protezione Civile Nazionale prodotto dalla "Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica" costituita ai sensi dell'art. 5 comma 7 dell'OPCM 3907/2010. Le entità cartografate col software Qgis 3.26 sono state ricondotte a tre tipi di elementi geometrici: punti, linee e poligoni.
- Ogni strato informativo è costituito da una tipologia di elementi geometrici (solo punti, solo linee, solo poligoni) connessi ad elementi descrittivi (tabelle). Nel caso della carta delle indagini attraverso le suddette tabelle è possibile il collegamento con le informazioni raccolte nel data base .mdb creato con SoftMS. Con lo stesso software è stato possibile creare specifici layout di stampa per produrre, sempre seguendo gli standard di rappresentazione 4., le tavole in formato ".Pdf " che verranno descritte nei capitoli seguenti.

10.1 Elaborati Cartografici

Di seguito si riportano gli elaborati cartografici prodotti, presentati in formato PDF e posizionati all'interno della cartella "Plot\MS\" come indicato dagli Standard di Microzonazione sismica 4.2.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

- Carta delle Indagini.
- Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica.
- Sezioni litologiche e Colonne Stratigrafiche.
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.
- Carta delle Frequenze.
- Carta delle Microzonazione sismica di livello 2, Tavola 1 [relativa all'intervallo 0,1-0,5s (FA0105)];
- Carta delle Microzonazione sismica di livello 2, Tavola 2 [relativa all'intervallo 0,4- 0,8s (FA0408)];
- Carta delle Microzonazione sismica di livello 2, Tavola 3 [relativa all'intervallo 0,7-1,1s (FA0711)].
- Carta di Microzonazione sismica – Approfondimento propedeutico al 3°livello per liquefazione dei terreni (FA0105).
- Carta di Microzonazione sismica – Approfondimento propedeutico al 3°livello per liquefazione dei terreni (FA0408).
- Carta di Microzonazione sismica – Approfondimento propedeutico al 3°livello per liquefazione dei terreni (FA0511).

10.2 Relazione prodotte

- Relazione sulle indagini
- Relazione tecnica illustrativa

Il database geognostico e geofisico di quadro conoscitivo e di nuova realizzazione, utilizzato, è riportato in formato PDF nella cartella “Indagini\Documenti\” come prescritto dagli Standard.

11. CARTA DELLE INDAGINI

Il database geognostico e geofisico precedentemente descritto è stato rappresentato graficamente, seguendo le direttive degli Standard di Microzonazione 4.2., nella Carta delle Indagini . Ad ogni indagine è stato abbinato un codice identificativo, che consente di risalire al relativo pdf all’interno della raccolta delle indagini. I codici in rosso sono relativi alle indagini lineari, mentre i codici in nero sono relativi alle indagini puntuali.

12. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI DEPOSITI

La “Carta delle frequenze naturali dei depositi” è costituita da una base topografica su cui sono riportate le misure di rumore, rappresentate da cerchi. La differente colorazione dei cerchi indica le diverse classi di frequenza identificate, mentre le sigle indicano:



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

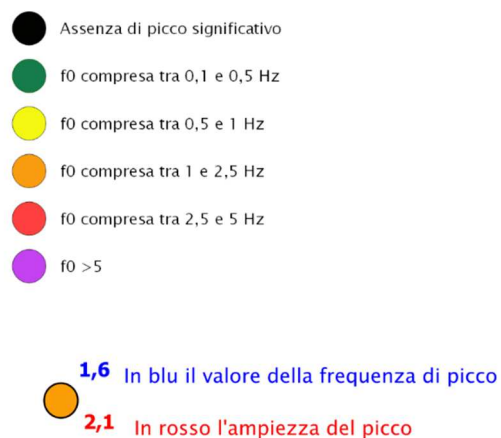
- la sigla in blu il valore di frequenza del picco registrato.
- la sigla in rosso il valore dell'ampiezza del picco.

È da segnalare che alcune indagini sono state contrassegnate da valori = 0, sia per quanto concerne le frequenze che le ampiezze: tali valori derivano da due differenti ragionamenti. Il primo ragionamento è relativo a curve HVSR prive di picchi significativi, "piatte". Il secondo ragionamento deriva da curve in cui si sono identificati picchi di frequenza, ma questi non si presentano come significativi: rientrano in questa classe tutte quelle indagini che presentano, ad esempio, picchi a frequenze molto elevate (> 8 Hz) con ampiezze variabili. Tali picchi sono compatibili con assetti superficiali, non interessanti ai fini dell'indagine.

I valori ottenuti sono stati ulteriormente indagati, analizzati e interpretati ai fini della determinazione del fattore di FA, considerando l'andamento dei valori su scala areale.

Legenda

Punti di misura di rumore ambientale



I dati di frequenza coprono tutte le aree previste dal progetto. Nell'area indagata sono disponibili 45 misure di rumore.

12.1 Misure di HVSR

Queste acquisizioni vengono effettuate mediante indagini di sismica passiva, utilizzando strumenti tipo TROMINO espressamente progettati per misure di microtremore. La strumentazione per eseguire misure di sismica passiva può operare in spazi ridotti, non necessita di energizzazioni e permette di indagare profondità molto elevate. I tempi di esecuzione sono relativamente brevi.



La sismica passiva utilizza il microtremore sismico ambientale (rumore sismico). Il rumore sismico ambientale deriva dalla composizione di molte sorgenti che agiscono in tempi diversi e in zone diverse.

Alle basse frequenze predominano le sorgenti naturali, che hanno carattere stazionario tra cui microterremoti, perturbazioni atmosferiche, onda stazionaria sulla linea di costa; alle alte frequenze dominano le sorgenti antropiche o naturali a scala locale, maggiormente soggette a variazioni temporali.

Le singole misure sono state soggette, utilizzando i criteri del protocollo *SESAME*, a valutazioni sulla “robustezza” statistica del dato

CLASSE A quando soddisfano tutti i criteri, fatta eccezione per gli spettri piatti che ovviamente disattendono i criteri *SESAME* per assenza di picchi significativi;

CLASSE B quando ne disattendono almeno uno ma mantengono buona leggibilità;

CLASSE C quando contengono elementi di disturbo invalidanti ai fini della corretta interpretazione.

L'indagine HVSR permette di stimare

La frequenza di risonanza caratteristica del sito

La frequenza fondamentale di risonanza di un edificio

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi tra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticali del rumore sismico ambientale. La misura va effettuata utilizzando un sistema di acquisizione tri-direzionale caratterizzato da sufficiente sensibilità.

La misura della funzione H/V richiede l'acquisizione del rumore sismico ambientale in un punto per tempi dell'ordine di diverse decine di minuti. Questa durata ha lo scopo di garantire la misura del campo di rumore generato da una molteplicità di sorgenti dalle diverse direzioni dello spazio.

I dati raccolti vengono analizzati per determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore misurate sui piani orizzontale e verticale. A questo scopo, la serie di rumore ambientale viene suddivisa in segmenti di durata simile per ciascuna delle quali viene determinato lo spettro del moto. Dopo un opportuno lisciamento, le ordinate spettrali del moto sul piano orizzontale, ottenuto mediando opportunamente i valori ottenuti nelle due direzioni principali, vengono divise per quelle ottenute nella direzione verticale. Per definire la qualità delle misure vengono anche valutate le variazioni temporali e azimutali dei rapporti spettrali nel corso della sessione



di misura. L'assenza di massimi della funzione H/V suggerisce l'assenza di fenomeni di amplificazione sismica dovuti a fenomeni di risonanza.

12.2 La frequenza di risonanza caratteristica del sito

La campagna di misure passive del rumore sismico ambientale ha avuto come obiettivo quello di individuare possibili fenomeni di risonanza sismica e misurare la corrispondente frequenza di vibrazione. Queste misure forniscono indicazioni sul rapporto fra la velocità media delle onde S nella copertura e la profondità del basamento sismico. Si può dimostrare che la frequenza di risonanza f_0 di una copertura sedimentaria di spessore H sovrapposta ad un basamento rigido ed in condizioni di stratificazione piana è data dal rapporto fra la velocità media delle onde S nel sedimento V_s e 4 volte lo spessore H :

La presenza di un picco nella curva H/V può essere ricondotto ad un fenomeno di risonanza, causato da una variazione di velocità delle onde sismiche nel terreno, e quindi da passaggi stratigrafici caratterizzati da un notevole contrasto tra le velocità delle onde. L'indagine è mirata alla verifica di eventuali picchi di risonanza in grado di interagire con le frequenze degli edifici.

12.3 La frequenza fondamentale di risonanza di un edificio

Questo parametro può essere stimato eseguendo misurazioni all'interno dell'edificio. Il dato ottenuto se confrontato con quello del terreno permetterà una più puntuale valutazione del rischio sismico attribuibile all'edificio. Il rischio sarà più elevato laddove risultino coerenti i valori della frequenza di sito e quelli della struttura in studio.

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

$$\text{Freq. Naturale edificio} \div 10\text{Hz/ numero dei piani}$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura ad essere particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione sismica.

Nella figura che segue è riportato un grafico che illustra la possibile relazione tra altezza dell'edificio in c.a e la frequenza di risonanza del sito.

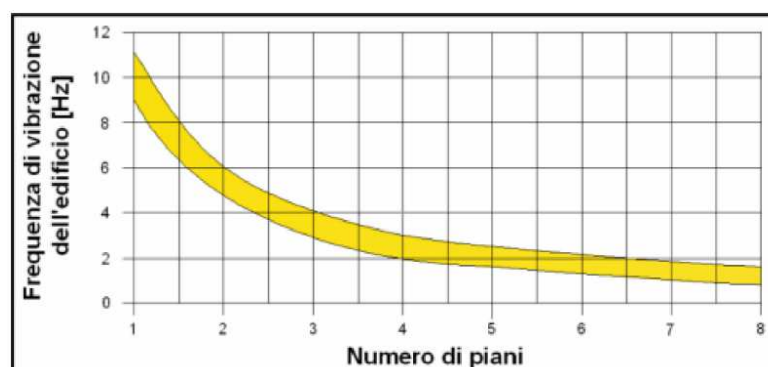


Figura 10.

La fascia gialla indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni della doppia risonanza. La stima della frequenza caratteristica di sito attraverso misure dirette di microtremore sismico può quindi essere di estremo aiuto nella fase di progettazione della struttura.

13 CARTA GEOLOGICO-TECNICA - CGT

La carta geologico tecnica, costituisce l'elemento base per le successive valutazioni di microzonazione sismica. La Carta riassume e sintetizza tutte le informazioni acquisite (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche), punto di riferimento privilegiato è stato lo studio geologico di supporto al PSI, redatto secondo gli indirizzi del DPGRT 53R e conforme al PAI vigente. L'elemento più rilevante della CGT è la distinzione tra i *"Sedimenti della Copertura"* e del *"substrato geologico"*. I criteri adottati per la distinzione sono stati illustrati al paragrafo 4.

Nella CGT sono evidenziate, seguendo le indicazioni riportate dagli Standard ICMS, le zone di attenzione per instabilità di versante, distinte sulla base del loro stato di attività.

Nella tabella che segue è riportata la correlazione tra formazione geologica affiorante e tipologia dell'elemento CGT

	sigla	Formazioni	Tipo_gt	gen
Terreni della copertura	b	Alluvioni recenti e attuali	CL (**)	pi
	QVC	Sabbie e limi di vicarello	SC	zz
	GW	Conglomerati dell'Arno e Serchio da Bientina	GW	dl
	QPL	Conglomerati, sabbie e limi di casa Poggio ai Lecci	GM	tf
	QCM	Calcare arenaceo di Luciana	LC	sp
	NUG	Sabbie di Nugola Vecchia	SM	sp
substrato geologico	ART	Sabbie ed Argille ad Arctica	IS	
	VLMs	Formazione di Villamagna	GR	
	p	Argille Azzurre	CO	

14 CARTA DELLE (MOPS) -Revisione

Alla luce delle nuove informazioni acquisite si è proceduto ad una verifica della carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS - elaborato previsto per il Livello1). L'individuazione delle Microzone è stata effettuata attribuendo i caratteri di stabilità o instabilità ai diversi contesti geologici e geomorfologici rappresentati nella CGT.

La prima distinzione porta all'individuazione di:



Zone Stabili : per le quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo (substrato in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata - pendii con inclinazione inferiore a 15°). Nell'area in studio non sono presenti aree stabili.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali; nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;

Zone di attenzione per le instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto). Nelle aree indagate sono presenti instabilità per:

- instabilità di versante;
- liquefazioni;
- cedimenti differenziali.

Sulla base della successione litologica ad ogni zona è attribuito un codice formato da 4 cifre che descrive la tipologia della zona: Tipo_z = 1000 nel caso di Zone stabili e Tipo_z = 2000 nel caso di Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.

Per quanto riguarda le Zone di attenzione per instabilità, queste vengono definite attraverso l'attribuzione di un codice Tipo_i, che nel caso specifico, consiste in 8 cifre dove le prime quattro descrivono la tipologia di instabilità mentre le ultime quattro la tipologia della zona sulla base della successione litologica.

Per il territorio comunale di Fauglia, le Zone di Attenzione corrispondono a quelle aree dove, nella CGT, sono state cartografate delle instabilità di versante (**ZA_{FR}**) e dove sono state verificate, sulla base di dati pregressi, le condizioni predisponenti per il fenomeno della liquefazione (**ZA_{LQ}**).

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali; Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali corrispondono alle aree caratterizzate da substrato affiorante o sub-affiorante con pendenze maggiori di 15°, caratterizzato da $V_s < 800$ m/sec od alle aree caratterizzate da terreni di copertura. Su base stratigrafica, dopo aver analizzato le varie problematiche geologiche è stato possibile definire 11 microzone omogenee. Per ognuna di esse è stata proposta una "colonna stratigrafica tipo" evidenziata nella tavola allegata.

Le colonne stratigrafiche tipo mostrano una successione di terreni semplificata, rappresentativa di una vasta area e quindi, per sua natura, non rappresentativa di un sito specifico. Per la realizzazione delle colonne, sono state di fondamentale importanza le stratigrafie delle perforazioni sia a distruzione di nucleo che a carotaggio continuo, spinte profondità significative dal punto di vista sismico e che forniscono di per sé una informazione



semplificata sulla stratigrafia del sito. Tali dati hanno rappresentato il punto di partenza per la stesura delle colonne stratigrafiche.

Zona 2001 Coincide con aree caratterizzate dall'affioramento di sedimenti riconducibili a terreni della copertura, di origine fluviale SC con intercalazioni di ghiaia GM deposti dal Torrente T Morra. Questi sedimenti presentano spessori compresi tra 10 e 27m. Al di sotto si ritrovano sedimenti marini attribuibili alla formazione FAA, riconducibili al substrato geologico (CO)

Zona 2002 Coincide con aree caratterizzate dall'affioramento di sedimenti riconducibili alla copertura "tipo_gt LC e SM" sovrapposti a terreni del substrato attribuibili alla formazione ART "tipo_gt IS". I terreni riconducibili alla copertura presentano uno spessore dell'ordine dei 40m.

Zona 2003 Coincide con aree caratterizzate dall'affioramento di sedimenti riconducibili a terreni della copertura, di origine (terreni CLpi) sovrapposti a sedimenti argillosi riconducibili alla formazione FAA (substrato geologico CO). Il contatto tra le due formazioni è marcato dalla presenza di un livello di ghiaia. Le indagini consentono di stimare lo spessore della coltre alluvionale in 25m. Alla base della coltre alluvionale si ritrovano intercalazioni di ghiaia GM la cui deposizione è da attribuire a depositi dal Torrente T Tora databili al Pleistocene superiore.

Zona 2004: individua aree al cui interno, per uno spessore di circa 100-150m si ritrovano sedimenti riconducibili alla copertura. In particolari si ritrovano sedimenti attribuibili alla formazione QPL – tipo_gt GM (spessore massimo dell'ordine dei 10m) cui seguono, per uno spessore dell'ordine dei 60-70m, sedimenti prevalentemente sabbiosi di origine marina attribuibili alla formazione NUG– tipo_SM.

Zona 2005: comprende corpi sedimentari interamente riconducibili al sistema della copertura. Nei primi 20-25m si ritrovano sedimenti depositi nel corso del Pleistocene Sup. formazione QVC "tipo_gt SC". Al di sotto si ritrovano sedimenti marini (*formazione NUG "tipo_gt SM"*). *Il contatto tra i due sistemi è marcato da un livello di ghiaia (Conglomerato dell'Arno e Serchio da Bientina).*

Zona 2006: è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti della copertura riconducibili alla formazione NUG - tipo_gt SM. Questi livelli presentano uno spessore dell'ordine dei 40m cui seguono sedimenti attribuibili al substrato geologico coincidenti con la formazione ART "tipo_gt IS" .

Zona 2007: è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti attribuibili alla copertura e riconducibili alla formazione NUG "tipo_gt SM". In questa zona detti sedimenti presentano uno spessore superiore ai 50m.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Zona 2008: è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti riconducibili al "substrato geologico"; in particolare si ritrovano, per uno spessore dell'ordine dei 10m, livelli attribuibili alla formazione ART "tipo_gt IS". Cui seguono livelli attribuibili alla formazione FAA "tipo_gt CO".

Zona 2009: è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti riconducibili al substrato geologico. In particolare si ritrovano sedimenti attribuibili alla formazione di Villamagna VLMS "tipo_gt GR" (spessore stimabile tra i 320 e i 30m), sovrapposti alle Argille Azzurre FAA "tipo_gt CO".

Zona 2010: interessa le aree di fondovalle dei rilievi collinari di Fauglia ed è caratterizzata da sedimenti alluvionali (terreni della copertura CLpi) sovrapposti a sedimenti sabbiosi di ambiente marini riconducibili alla formazione NUG "tipo_gt SM". Lo spessore massimo della coltre alluvionale è stimabile nell'ordine dei 12m.

Zona 2011: caratterizza l'area di pianura posta al margine settentrionale del territorio comunale. In quest'area affiorano sedimenti riconducibili alla copertura caratterizzati da sedimenti alluvionali di (CLpi) sovrapposti a sedimenti, anch'essi riconducibili alla copertura attribuibili alla formazione QVC "tipo_gt SC".

Le indagini condotte nell'ambito dello Studio di Livello 2 hanno fornito indicazioni in linea con quanto emerso nello studio di primo livello. Le indagini confermano il modello geologico-tecnico definito nello studio di primo livello e permettono una migliore definizione stratigrafica dei terreni della copertura.

Zone di Attenzione per le instabilità

Nel territorio in studio, le Zone di Attenzione sono legate a:

- instabilità di versante (ZAFR)
- Liquefazione (ZALQ).

Le zone di attenzione per instabilità di versante (ZAFR) interessano le aree collinari più acclivi. I rilievi eseguiti non hanno quasi mai portato all'individuazione di un corpo di frana ben definito. Generalmente siamo in presenza di "forme" che testimoniano l'evidenza di dissesti ma il corpo di frana è difficilmente riconoscibile o perché eroso/dilavato o perché obliterato dalle successive pratiche agricole.

In sintesi raramente sono individuabili corpi di frana/volumi di materiale movimentabili in presenza di sisma.



Liquefazione (ZALQ)

Studio della problematica della liquefazione in loc. Fondo la Grotta e Acciaiolo.

La problematica della liquefazione per le località di Acciaiolo e Fondo la Grotta è stata analizzata nel presente studio a partire da un lavoro di Tesi svolto nel 2021 (Brogi, 2021): si tratta pertanto di un approfondimento propedeutico al vero e proprio livello 3 di Microzonazione Sismica. In questo approfondimento sono state analizzate numerose verticali: prove penetrometriche con punte meccanica e con piezocono. L'analisi di tali prove mediante l'uso di metodi semplificati ha permesso di ricostruire l'Indice di Potenziale Liquefazione (IL o IPL o LPI) delle verticali esaminate, per decretare eventuali zone di suscettibilità e di rispetto (queste ultime, necessiterebbero di ulteriori approfondimenti, propri del livello 3 di Microzonazione Sismica).

Studi pregressi

La carta MOPS del Piano Strutturale Intercomunale di Fauglia e Orciano Pisano individua una ampia fascia della pianura alluvionale del T.Tora (compresa tra Acciaiolo e Fondo La Grotta), come *“Zona di attenzione alla liquefazione – ZALQ”*. In quest'area infatti sono stati storicamente documentati, fenomeni di liquefazione del suolo in occasione del terremoto di Orciano Pisano (1846). Tellini (1846) e Pilla (1846a, 1846b) hanno documentato episodi di liquefazione in loc. Fondo la Grotta e loc. Acciaiolo, come riportano le loro memorie:

“...Giunsi in tal guisa osservando fino al podere posto in fondo alla grotta al piede della salita cui fa ombra una doppia fila di cipressi che conduce a Luciana; in questo podere di pertinenza del Signor Angiolo della Longa nel piano detto di Conella, vi sono in più campi coltivati alcune strisce rilevate di terreno di un colore di piombo, in mezzo a cui si sono aperte certe cavità in forma di imbuti regolari di diversa dimensione, la maggiore delle quali non oltrepassa la misura di un piede, che gettano acqua quasi che potabile... quattro sono i campi interessati da questi pollini...” (Tellini, 1846).

“... pollini aperti nel podere detto Acciaioli, vicino Luciana” Pilla (1846b).

Oltre all'evidenza storica, la determinazione della Zona di Attenzione per Liquefazione è stata possibile in quanto sussistono i seguenti fattori:

- Nell'area si sono sviluppati terremoti di magnitudo momento $M_w \geq 5$. Il terremoto di Orciano Pisano ha evidenziato una M_w compresa tra 5.9 (Rovida et al., 2011) e 6.04 (Rovida et al., 2019).
- L'accelerazione massima in superficie in condizioni di campo libero (a_{max}) attesa nell'area supera 0.10g. Il territorio di Fauglia è caratterizzato già in partenza da accelerazioni a_g pari a 0.125-0.150g, pertanto la valutazione di una eventuale a_{max}



sarà certamente incrementata rispetto al dato di partenza: generalmente, da stime preliminari il valore di a_{max} si aggira attorno a 0.21g.

- Presenza di sedimenti sabbiosi-limoso sabbiosi saturi poco addensati, individuati all'interno di lenti nei primi 20 m di profondità. Tuttavia, è da segnalare che la gran parte dei sedimenti presenti, desunti da stratigrafie, sono caratterizzati da limi argillosi/argille limoso-sabbiose. La loro predisposizione al fenomeno è certamente minore rispetto alle sabbie e ai limi sabbiosi, in quanto la coesione è una caratteristica che favorisce la resistenza alla liquefazione di un terreno. Tuttavia, recenti studi non escludono la possibilità che tale fenomeno possa verificarsi anche in questi sedimenti, in assenza di analisi di laboratorio specifiche su limite liquido, l'indice di plasticità e talvolta anche l'umidità naturale per stabilire l'effettiva suscettibilità o meno alla liquefazione dei sedimenti. (Andrews e Martin, 2000; Bray et al., 2004; Boulanger e Idriss, 2005; Bray e Sancio, 2006; Pehlivan, 2009).

Oltre alle evidenze messe in luce precedentemente, è stato condotto un lavoro di Tesi che ha approfondito la tematica della liquefazione all'interno della Val di Tora, interessando non solo le aree vallive del Comune di Fauglia ma anche di Lorenzana (Comune di Crespina Lorenzana). È stata analizzata la problematica della liquefazione utilizzando cinque metodologie semplificate differenti:

- NCRR (2001).
- Robertson (2009).
- Juang et al. (2010).
- Idriss e Boulanger (2008).
- AGI (2005).

Le verifiche a liquefazione si sono svolte in tre differenti condizioni di falda, due reali e uno simulato: falda di magra (misurata a settembre 2020), falda di morbida (misurata a gennaio 2021) e falda a piano campagna (simulazione). Gli stralci delle due carte piezometriche realizzate sulla base di dati reali sono riportati in Figg. 12 e 13 (carta piezometrica di magra) e in Figg. 14 e 15 (carta piezometrica di morbida).

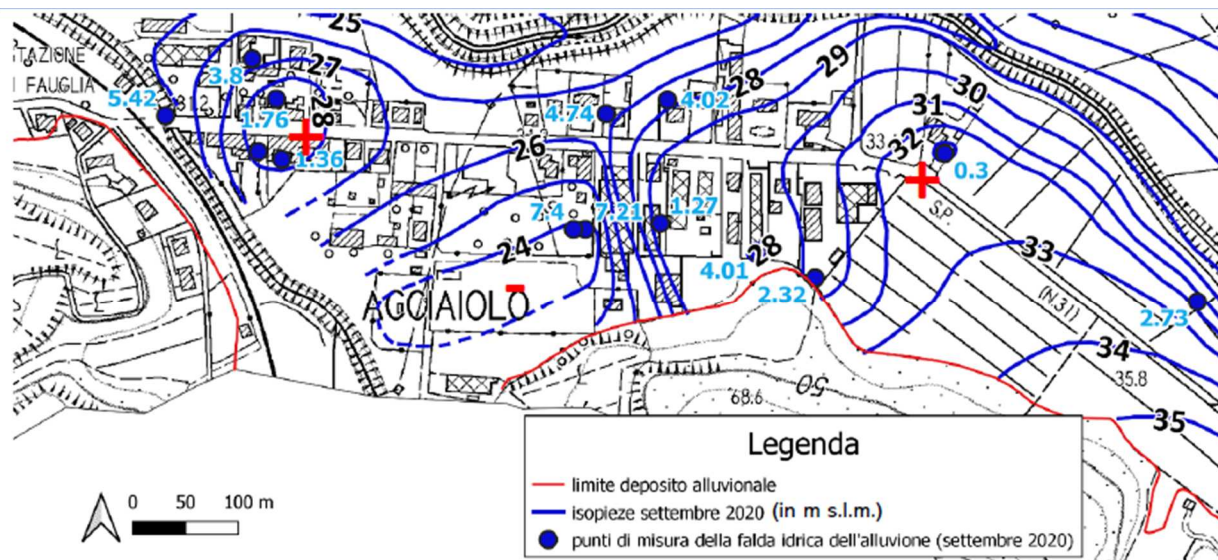


Figura 12. Carta piezometrica di magra per l'area di Acciaiole (da Brogi, 2021).

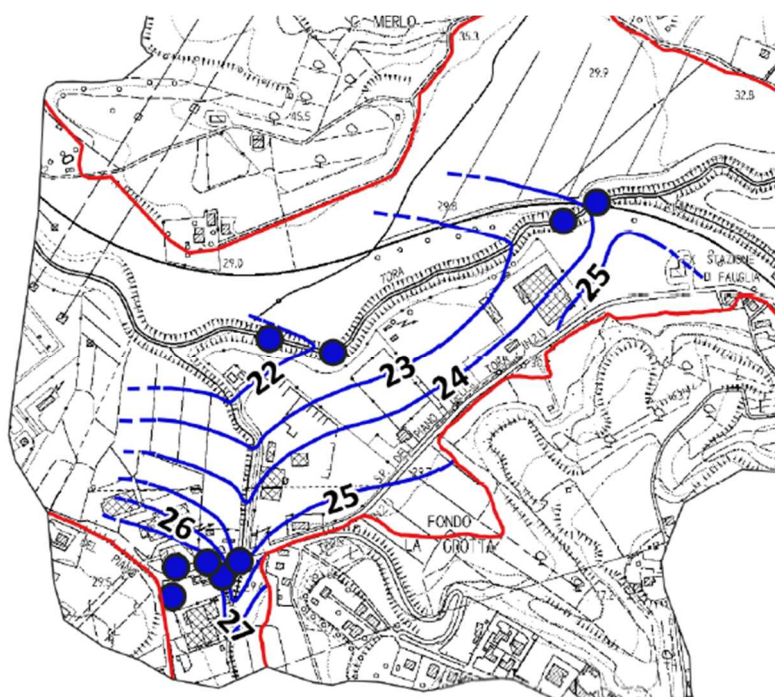


Figura 13. Carta piezometrica di magra per l'area di Fondo la Grotta (da Brogi, 2021).

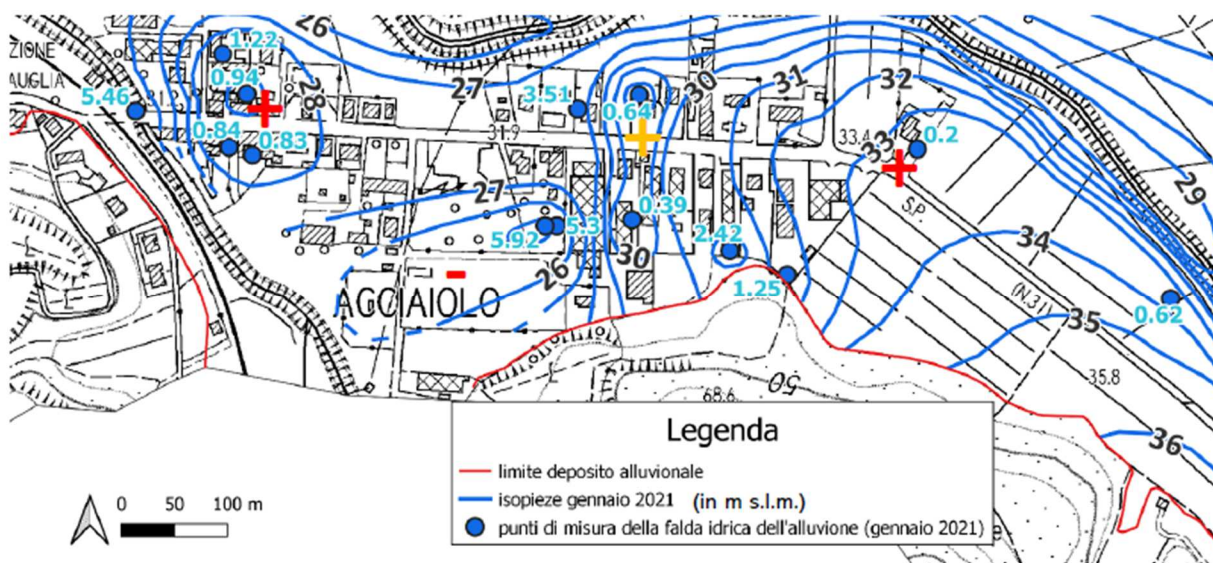


Figura 14. Carta piezometrica di morbida per l'area di Acciaiole (da Brogi, 2021)

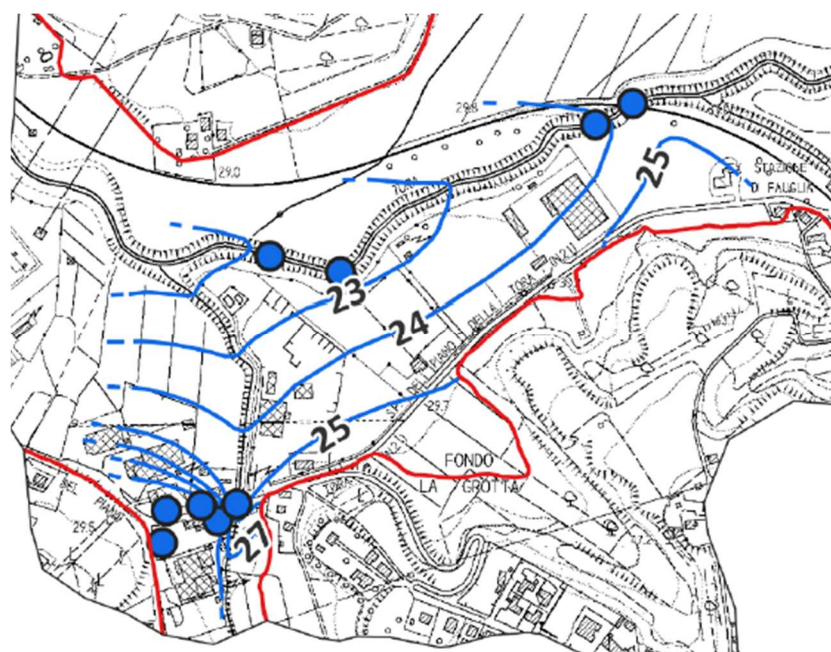


Figura 15. Carta piezometrica di morbida per l'area di Fondo la Grotta (da Brogi, 2021).

Per quanto concerne le aree di studio della presente microzonazione, dal lavoro di Brogi (2021) è emerso che sia l'area di Acciaiole che Fondo la Grotta non presentano particolari criticità, se

non in condizioni simulate. La simulazione a piano campagna mostra alcune verticali con potenziali criticità, ma non in condizioni di falda reali.

Approfondimenti propedeutici al 3° livello per la liquefazione dei terreni

Le indagini raccolte all'interno della zona Z_{ALQ} di MS1 riassumibili in: 25 prove CPT e 11 prove CPTU, hanno permesso mediante l'applicazione di "metodi di analisi semplificati" di individuare le "Zone di Suscettibilità alla liquefazione Z_{SLQ} " e di fornire una stima quantitativa della Pericolosità. Non sono state analizzate tutte le prove, in quanto:

- alcune raggiungono profondità limitate (< 10 m dal p.c.) ai fini della liquefazione.
- Alcune aree sono ricche di prove molto ravvicinate tra loro, sono state considerate le più significative.

La stima della Pericolosità è stata effettuata con analisi semplificate, attraverso la determinazione dell'Indice del Potenziale di liquefazione medio: sono state usate le metodologie di Robertson e Wride (1998) e Idriss e Boulanger (2014), presenti all'interno del software Liqueur. I valori di IL sono raggruppati in quattro classi:

IL	CLASSI
$0 < IL \leq 2$	Nulla- Basso
$2 < IL \leq 5$	Moderato
$5 < IL \leq 15$	Alto
$IL > 15$	Molto Alto

Le zone prive di informazioni, già perimetrate in occasione degli studi di MS1, sono state mantenute nelle zone di attenzione per la liquefazione. Le zone in cui sono stati rilevati valori di "IL" medi compresi tra 2 e 15 compongono le "Zone di Suscettibilità alla liquefazione Z_{SLQ} ". Detta zona è suddivisa in una zona a media pericolosità ($2 < IL \leq 5$) e in una ad alta pericolosità ($5 < IL \leq 15$).

Le zone con $IL > 15$ sono inserite tra le "Zone di Rispetto alla liquefazione Z_{RLQ} ". Le zone di rispetto dovranno essere confermate attraverso applicazione di "metodi avanzati". È stata realizzata una cartografia mirata alla problematica della liquefazione per ciascun FA. Laddove le indagini CPT/CPTU hanno evidenziato IL inferiori a 2, le aree sono state declassate. Laddove sono presenti aree in cui o vi sono poche informazioni in proporzione all'area esaminata o le informazioni sono del tutto assenti, l'area è stata mantenuta come "zona di attenzione".



Cartografie prodotte

Le cartografie ottenute hanno evidenziato due zone suscettibili alla problematica della liquefazione:

- Area ubicata nei pressi di Fondo la Grotta, dove IL medio è pari a 2,7 secondo la metodologia di Robertson e Wride (1998).
- Area ubicata nel settore occidentale di Acciaiolo, dove IL medio è di poco inferiore a 2 secondo Idriss e Boulanger (2014). In via cautelativa, si è deciso di delimitare un'area di suscettibilità al fenomeno.

La restante area di Acciaiolo interessata dalla presenza di CPT e CPTU ha evidenziato valori di $IL < 2$: tale area è stata pertanto deperimetrata.

15. CARTA DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2

15.1 Impostazione dello studio di Livello 2

L'analisi è stata condotta a partire dallo studio di livello 1 implementato e rivisto sulla base delle indagini eseguite successivamente alla stesura della MOPS di primo livello, e alla luce dell'esecuzione delle indagini concordate nella nota di adesione concordata con l'Ufficio del Servizio Sismico della Regione Toscana.

La caratterizzazione sismica delle aree coinvolte dallo studio di livello 2 si basa su:

- 44 Indagini HVSR
- 34 Indagini MASW
- 6 Indagini Down-hole
- 1 Indagine Remi
- 1 Indagine ESac
- 7 indagini di sismica a rifrazione

La stratigrafia del sottosuolo è stata ricostruita attraverso elementi ricavati da:

- 77 prove cpt
- 11 prove CptU
- 43 Sondaggi

15.2 Stesura della Carta

La Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2. ha riguardato solamente i centri riportati nella nota di adesione. La realizzazione della carta di MS è stata possibile solamente in seguito alla

verifica di congruenza tra il modello di geologico reale e quello definito nello studio di primo e secondo livello.

Il modello geologico ricostruito (sedimenti dislocati secondo una monoclinale a debole immersione) permette la definizione del fattore di amplificazione sismica, facendo ricorso all'uso di abachi regionali che, tramite approccio semplificato, consentono di quantificare l'amplificazione attesa nelle zone stabili suscettibili di amplificazione. Per l'utilizzo degli abachi è indispensabile la disponibilità di dati (f_0 e V_s).

Gli abachi si differenziano sulla base dei seguenti fattori:

- 1) Area geografica
- 2) Tipologia dell'input sismico
- 3) Presenza di substrato sismico a profondità maggiore di 30m
- 4) Tipo di fattore di amplificazione

Per la realizzazione della Carta MS si è pertanto proceduto ad assegnare alle varie Microzone individuate nello studio di Livello 1 e confermate nel livello 2, i valori del Fattore di Amplificazione seguendo la procedura indicata nelle Specifiche Tecniche Regionali.

Il Comune di Fauglia rientra nella Macroarea Toscana Interna e le aree in studio ricadono nella fascia ag 475 anni $\geq 0,125g$, così come indicato nella griglia dei valori INGV, con profondità del substrato maggiore di 30 m.

In sintesi, per ciascuna Microzona sono state definite le condizioni al contorno (Ag e profondità del substrato) ed individuate le misure di rumore presenti nonché le indagini sismiche utili alla definizione della V_s necessarie alla determinazione delle classi di frequenza e velocità per l'utilizzo degli abachi.

Zona 2001 substrato <30

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P131	2.5	2.7	2.5	Torretta	P46	271	300
P124	No picco		2.5*	Torretta	P197	298	300

(*) per osservazioni

$0.1 < FHa < 0.5 \text{ s}$	1.8
$0.4 < FHa < 0.8 \text{ s}$	2.5
$0.7 < FHa < 1.1 \text{ s}$	1.5

Zona 2002

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P145	No picco		1.5*	luciana	L39	363	300

(*) per osservazioni

$0.1 < FHa < 0.5 \text{ s}$	1.4
$0.4 < FHa < 0.8 \text{ s}$	1.8
$0.7 < FHa < 1.1 \text{ s}$	2.0

Zona 2002

Per questa zona una volta verificata la variabilità dei valori di frequenza e di VS, è stato ritenuto opportuno procedere all'individuazione di una sottozona in quanto più rappresentativa delle le nuove informazioni acquisite..

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P146	No picco		1.5*	luciana	L38	403	500
P145	No picco		1.5*	luciana	L39	363	300

(*) per osservazioni

La prova MASW F37L per estensione e tipo di indagine (24 canali invece di 12) è stata ritenuta anche alla luce della geologia dell'area, meglio rappresentativa della zona 2002. Pertanto prima di procedere all'individuazione di sottozone è stato ritenuto più opportuno attribuire alla zona il fattore di amplificazione derivante dall'indagine F37L

$0.1 < FHa < 0.5 \text{ s}$	1.3
$0.4 < FHa < 0.8 \text{ s}$	1.6
$0.7 < FHa < 1.1 \text{ s}$	1.7



Zona 2003

Per questa zona una volta verificata la variabilità dei valori di frequenza e di VS, è stato ritenuto opportuno procedere all'individuazione di tre sottozone in quanto avrebbero meglio rappresentato le nuove informazioni acquisite..

	Sottozona 1	Sottozona 2	Sottozona 3
Classe Abaco	1.5	2.5	1.5
Classe Vs	300	300	<200

Sottozona 1

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P104	1.5	2.2	1.5*	F. Grotta	L32	248	300
P135	No picco		1.5 *	F. Grotta	L36	321	300
P96	No picco		1.5*	Acciaiolo	L24	212	300
P84	No picco		1.5*	Acciaiolo	L25	267	300
P73	No picco		1.5*	Acciaiolo	L26	239	300
P68	No picco		1.5*	Acciaiolo	L23	217	300

(*) per osservazioni

$0.1 < FHa < 0.5 \text{ s}$	1.4
$0.4 < FHa < 0.8 \text{ s}$	1.8
$0.7 < FHa < 1.1 \text{ s}$	2.0

Sottozona 2 substrato <30

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P140	2.4	6.5	2.5	Polifra	P139	205	300

$0.1 < FHa < 0.5 \text{ s}$	1.8
$0.4 < FHa < 0.8 \text{ s}$	2.2
$0.7 < FHa < 1.1 \text{ s}$	1.5

Sottozona 3

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P118	No picco		1.5 *	Area Terna	L29	193	<200
P121	No picco		1.5*		L31	184	<200
P122	No picco		1.5*		L31	184	<200
P117	No picco		1.5*		L28	187	<200
P109	No picco		1.5*		L30	197	<200
P111	No picco		1.5*		L27	198	<200
P116	No picco		1.5*		L27	198	<200

(*) per osservazioni

$0.1 < FHa < 0.5 \text{ s}$	1.3
$0.4 < FHa < 0.8 \text{ s}$	1.9
$0.7 < FHa < 1.1 \text{ s}$	2.5

Zona 2004

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P26	No picco		<1 *	Fauglia	L10	301	300
P49	No picco		<1 *	Fauglia	L16	272	300
P49	No picco		<1 *	Fauglia	L15	367	300
P37	No picco		<1 *	Fauglia	L12	235	300
P60	No picco		<1 *	Fauglia	L20	353	300
P86	No picco		<1 *	P.Pallone	L6	392	300

(*) per osservazioni

$0.1 < FHa < 0.5 \text{ s}$	1.1
$0.4 < FHa < 0.8 \text{ s}$	1.4
$0.7 < FHa < 1.1 \text{ s}$	1.5



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Zona 2005

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P7	No picco		1.5*	P.Meleto	L1	251	300
P5	No picco		1.5*	P.Meleto	L1	251	300
P17	1.8	2.8	1.5	Valtriano	L4	282	300
P3	1.8	2.7	1.5	Valtriano	P10	264	300

(*) per osservazioni

$0.1 < FHa < 0.5 \text{ s}$	1.4
$0.4 < FHa < 0.8 \text{ s}$	1.8
$0.7 < FHa < 1.1 \text{ s}$	2.0

Zona 2006

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P148	No picco		1.5*	Luciana	L40	391	300

(*) per osservazioni

$0.1 < FHa < 0.5 \text{ s}$	1.4
$0.4 < FHa < 0.8 \text{ s}$	1.8
$0.7 < FHa < 1.1 \text{ s}$	2.0



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Zona 2007

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P21	No picco		<1*	Fauglia	L9	339	300
P22	No picco		<1*	Fauglia	L14	294	300
P20	No picco		<1*	Vallicelle	L8	375	300

(*) per osservazioni

Zona 2008

La zona 2008 interessa per lo più aree al di fuori del contesto urbano, per la definizione della Vs necessaria all'utilizzo dell'abaco, è stato fatto riferimento ad una un'indagine (MASW 7F del PSI) ubicata in un analogo contesto geologico esterna all'area in studio. (**valore Vs30 pari a 271 m/s**) Per la definizione del fattore di amplificazione 2 è stato utilizzato il valore riportato negli abachi in corrispondenza della colonna "75° perc." Per quel determinato range di Vs₃₀

0.1 < FH _a < 0.5 s	1.1
0.4 < FH _a < 0.8 s	1.7
0.7 < FH _a < 1.1s	1.8

Zona 2009

La zona 2009 interessa per lo più aree al di fuori del contesto urbano, residuali generalmente boscate e non coperte da indagini di natura sismiche di alcune tipo. Con i dati a disposizione non è possibile definire un fattore di amplificazione.

Zona 2010

La zona 2011 interessa aree al di fuori del contesto urbano, per la definizione della Vs necessaria all'utilizzo dell'abaco, è stato fatto riferimento ad una un'indagine (18F MASW del PSI) ubicata in un analogo contesto geologico (alluvioni di fondo valle del T. Rio) che ha dato un valore di **Vs30 pari a 233 m/s**. Per la definizione del fattore di amplificazione 2 è stato utilizzato il valore riportato negli abachi in corrispondenza della colonna "75° perc." Per quel determinato range di Vs₃₀

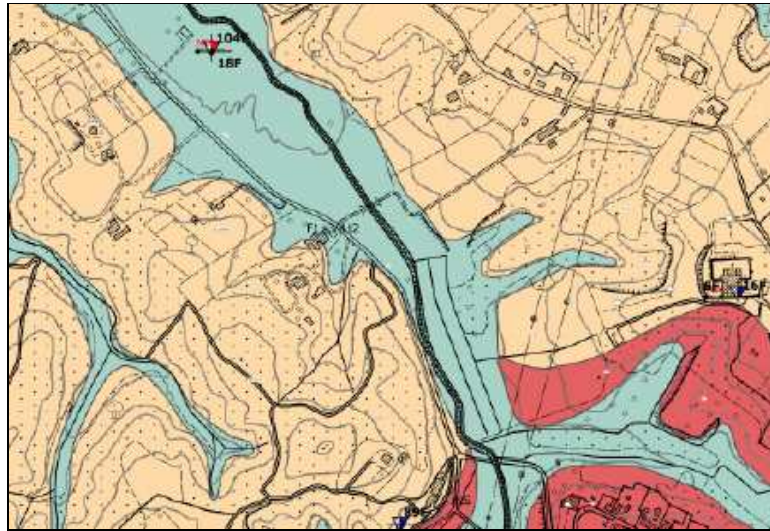


Fig. Ubicazione Masw estratta da Carta Litotecnica del PSI dei Comuni di Fauglia e Orciano Pisano

$0.1 < FH_a < 0.5 \text{ s}$	1.4
$0.4 < FH_a < 0.8 \text{ s}$	1.7
$0.7 < FH_a < 1.1 \text{ s}$	1.8

Zona 2011

La zona 2001 interessa per lo più aree al di fuori del contesto urbano, per la definizione della V_s necessaria all'utilizzo dell'abaco, è stato fatto riferimento ad una un'indagine (MASW 13F del PSI) ubicata in un analogo contesto geologico ma esterna all'area in studio. (**valore V_{s30} pari a 203 m/s**) Per la definizione del fattore di amplificazione 2 è stato utilizzato il valore riportato negli abachi in corrispondenza della colonna "75° perc." Per quel determinato range di V_{s30}

$0.1 < FH_a < 0.5 \text{ s}$	1.4
$0.4 < FH_a < 0.8 \text{ s}$	1.7
$0.7 < FH_a < 1.1 \text{ s}$	1.8

Zone di attenzione per instabilità

Nelle aree instabili per frana, non sono presenti linee sismiche né misure di rumore. Per l'attribuzione del fattore di amplificazione, considerata anche l'assenza, pressoché generalizzata di un vero e proprio corpo di frana, sono stati considerati i valori delle microzone in cui ricadono.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Anche per quanto riguarda le zone di attenzione per liquefazione, sono stati attribuiti gli stessi parametri di amplificazione delle corrispondenti microzone.

16. APPENDICI E TAVOLE

Sono parte integrante dello studio le seguenti carte ed appendici.

- Carta delle Indagini.
- Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica.
- Sezioni litologiche e Colonne Stratigrafiche.
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.
- Carta delle Frequenze.
- Carta delle Microzonazione sismica di livello 2, Tavola 1 [relativa all'intervallo 0,1-0,5s (FA0105)];
- Carta delle Microzonazione sismica di livello 2, Tavola 2 [relativa all'intervallo 0,4- 0,8s (FA0408)];
- Carta delle Microzonazione sismica di livello 2, Tavola 3 [relativa all'intervallo 0,7-1,1s (FA0711)].
- Carta di Microzonazione sismica – Approfondimento propedeutico al 3°livello per liquefazione dei terreni (FA0105).
- Carta di Microzonazione sismica – Approfondimento propedeutico al 3°livello per liquefazione dei terreni (FA0408).
- Carta di Microzonazione sismica – Approfondimento propedeutico al 3°livello per liquefazione dei terreni (FA0511).

Appendice

Risultati Verifiche a liquefazione

Fauglia Novembre 2022

Dr.Geol. Claudio Nencini

Dr. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Melissa Brogi



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

BIBLIOGRAFIA

ALBARELLO D., CESI C., EULILLI V., GUERRINI F., LUNEDI E., PAOLUCCI E., PILEGGID., PUZZILLI L.M. (2011). *The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzoning: an example from the area damaged by the 26th April 2009 l'Aquila*

(Italy) earthquake. Boll. Geofis. Teor. Appl., 52, 3, 513-538, doi:10.4430/bgta0013.

ALBARELLO D., CASTELLARO S. (2011). *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*. Ingegneria Sismica, Anno XXVII, 2 (Suppl.), 32-63.

BOCCALETTI, M., BONINI, M., MORATTI, G. & SANI, F. (1999) - *Compressive Neogene-Quaternary tectonics in the Hinterland area of the Northern Apennines*. Journal of Petroleum Geology, v. 22 (1), p. 37-60.

CERRINA FERONI A., MARTINELLI P., PERILLI N. (1989) - *La fase tettonica del Pliocene inferiore nel settore Nord-orientale delle Colline Livornesi in Toscana*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mam. serie A, Vol. XCVI

COMMISSIONE TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (2017). *Microzonazione sismica. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 4.1*. 4.0 Roma, ottobre 2017

COMUNE DI FAUGLIA (Febbraio 2020). *Cartografia Geologica e Geomorfologica del Piano Strutturale Intecomunale*.

FANCELLI R., GRIFONI R., MAZZANTI R., MENCHELLI S., NENCINI C., PASQUINUCCI M. & TOZZI C. (1986) – *Il contesto geomorfologico*. In "Terre e Paduli", Pisa: 23-39.

ISPRA (1994). Quaderno n. 4 - Carta geomorfologica d'Italia 1:50.000 - Guida al Rilevamento. Servizio Geologico di Stato, Roma.

LAMMA-REGIONE TOSCANA (2012). Continuum territoriale geologico della Toscana. <http://www.geologiatoscana.unisi.it/>

LAZZAROTTO A., MAZZANTI R., NENCINI C. (1990a). *Carta Geologica dei comuni di Livorno e di Collesalveti in scala 1:25:000*. Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno, 11.

LAZZAROTTO A., NENCINI C. (1990b). *Geologia e geomorfologia de i Comuni di Livorno e Collesalveti*. Suppl. 2 ai Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno, 11, 1-85.

LOCATI M., CAMASSI R., ROVIDA A., ERCOLANI E., BERNARDINI F., CASTELLI V., CARACCIOLO C.H., TERTULLIANI A., ROSSI A., AZZARO R., D'AMICO S., CONTE S., ROCCHETTI E. (2016). *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi :<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

M. MARRONI, R. MAZZANTI; C. NENCINI (1990) Nuovi elementi negli studi di Scienze della Terra nelle Colline Pisane in Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno, volume 11 Supplemento n.1

PAOLUCCI E., ALBARELLO D., D'AMICO S., LUNEDI E., MARTELLI L., MUCCIARELLI M., PILEGGI D. (2015). *A large scale ambient vibration survey in the area damaged by May-June 2012 seismic sequence in Emilia Romagna, Italy*. Bull. Earthquake Eng., 13(11): 3187-3206, DOI: 10.1007/s10518-015-9767-5.

ICMS - PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI (2009). Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Dipartimento per la Protezione Civile, Roma.

ICMS - PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI (2012). Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica ICMS. Dipartimento per la Protezione Civile, Roma

RISULTATI VERIFICHE A LIQUEFAZIONE

Area di Acciaio

Codice identificativo	Tipologia prova	Quota p.c. (m)	Prof. falda dal p.c. (gennaio 2021)	LPI (Robertson e Wride, 1998)	LPI (Boulanger e Idriss, 2014)
F143P	CPT	30.80	4.8	0	0
F144P	CPT	31.18	2.18	0	0
F142P	CPT	23.03	0.53	0.02	0.77
F139P	CPT	28.71	1.41	0	0
F154P	CPTU	30.43	5.63	1.51	0.22
F170P	CPT	29.89	1.39	0	0
F169P	CPT	29.89	1.39	0	1.12
F150P	CPT	29.82	1.39	0	0
F149P	CPT	31.74	4.24	0	0
F44P	CPT	30.37	2.87	0	0
F35P	CPT	32.23	1.23	0	0
F146P	CPT	34.06	5.96	0	0
F148P	CPT	30.32	5.32	0	1.45
F147P	CPT	29.3	5.32	3.26	6.76
F151P	CPTU	30.35	3.05	1.48	0
F145P	CPT	30.30	3	0	0

Area di Fondo la Grotta

Codice identificativo	Tipologia prova	Quota p.c. (m)	Prof. falda dal p.c. (gennaio 2021)	LPI (Robertson e Wride, 1998)	LPI (Boulanger e Idriss, 2014)
F197P	CPT	29.5	1.2	0.09	0.88
F196P	CPT	29.51	1.2	0.29	0
F8P	CPT	29.4	1.1	10.16	1.05
F160P	CPT	27.82	1.82	2.99	0.72
F159P	CPT	28.28	4.08	0	0
F161P	CPT	27.08	5.6	0	0
F205P	CPTU	27.07	3.77	0	0
F204P	CPTU	27	3.73	0.16	0
F190P	CPTU	25	2	0.34	0.36
F188P	CPTU	25	2	0.59	0