

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Toscana



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

INDICE

Premessa		pag. 1
Descrizione della metodologia utilizzata		pag. 1
Riferimenti normativi		pag. 2
Inquadramento del territorio Comunale		pag. 3
	<i>Inquadramento Geografico</i>	pag. 3
	<i>Inquadramento Tettonico strutturale dell'area</i>	pag. 3
Pericolosità di Base e Eventi Sismici di Riferimento		pag. 4
	<i>Stima della Magnitudo attesa</i>	Pag. 5
Inquadramento Geologico		pag. 8
Substrato Sismico e terreni della Copertura - Definizioni		pag. 10
Inquadramento Geomorfológico		pag. 11
	Carta geomorfologica di riferimento	pag. 12
Dati Geotecnici e Geofisici		pag. 13
Modello geologico del Sottosuolo		pag. 14
Interpretazioni ed Incertezze		pag. 20
Procedura Semiquantitativa per stabilire la Qualità della Carta Mops		pag. 21
	<i>Descrizione della Procedura Utilizzata</i>	pag. 20
	<i>Definizione della qualità della cartografia delle singole aree</i>	pag. 22
Metodologia di elaborazione e Risultati		pag. 23
	<i>Elaborati cartografici</i>	pag. 23
Carta delle Indagini		pag. 25
Carta delle Frequenze Naturali dei Depositi		pag. 25
	<i>Misure di HVSR</i>	pag. 25
	<i>La frequenza di risonanza caratteristica del sito</i>	pag. 26
	<i>La frequenza fondamentale di risonanza di un edificio</i>	pag. 26
Carta geologico tecnica -CGT		pag. 29
Carta delle (Mops) -Revisione		pag. 30
	<i>Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali</i>	pag. 31
	<i>Zone di Attenzione per le instabilità</i>	pag. 32
	<i>Instabilità di versante Z_{FR} Liquefazione Z_{LQ}</i>	pag. 32
Carta della Microzonazione Sismica di Livello 2		pag. 34
	<i>Impostazione dello studio di Livello 2</i>	pag. 34
	<i>Stesura della Carta</i>	pag. 35
Appendici e Tavole		pag. 40
Bibliografia		pag. 41



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Premessa

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Palaia (determina n.122 del 09/06/2022) è stato effettuato uno studio di Microzonazione sismica di 2° livello. Lo studio interessa i seguenti centri abitati: Palaia, Montefoscoli, Forcoli, Baccanella, Montanelli, Chiecinella, Villa Saletta e Toiano.

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 da:

1. Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, finanziato dal Settore Sismica della Regione Toscana (D.D. n. 16585 del 06.11.2017). Lo studio di livello 1 copre l'intero territorio urbanizzato.
2. La cartografia del PAI del Distretto appennino Settentrionale
3. Studi geologici di supporto al Piano Strutturale intercomunale della Valdera

Descrizione della metodologia utilizzata

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

- aggiornamento del Data Base del PS, ricercando tutte le indagini sismiche e geognostiche eseguite sul territorio successivamente all'approvazione del PS.
- Esecuzione delle indagini previste nella "nota di adesione" concordata con l'ufficio sismico della Regione Toscana
- Approfondimenti e aggiornamenti, alla luce dei nuovi dati disponibili della Carta Mops di livello1, con particolare attenzione a:
 - 1) Zona 2005 area Forcoli – Chiecinella
 - 2) Aggiornamento delle aree Z_{ARF} , alla luce delle perimetrazioni del PAI approvato
- 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



Dott. Geol. Claudio Nencini

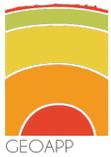
Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

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.
- 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)



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

1. INQUADRAMENTO DEL TERRITORIO COMUNALE

1.1 Inquadramento geografico

Il territorio comunale copre una superficie di circa 74 Km² ed è compreso tra la valle del Fiume Era/Roglio a sud ovest, la valle del torrente Chiecina a nord est, la vallecchia del rio Melogio a sud ed i rilievi collinari di Pontedera e Montopoli a nord.

Il sistema idrografico è costituito da due aste fluviali principali. L'asta del Torrente Roglio-Carfalo e quella del Torrente Chiecina. I due bacini sono separati da uno spartiacque passante per Villa San Michele, Palaia, Usigliano.

2.2 Inquadramento tettonico strutturale dell'area in studio

Il territorio in studio ricade all'interno del Graben della Val d'Era; di seguito è sinteticamente descritta l'evoluzione temporale della struttura tettonica.

Durante il Miocene medio una prima fase di compressione e conseguente corrugamento della crosta terrestre, nella zona in esame solleva tre dorsali, che rimangono ancora separate dal mare ed allineate in direzione NORD - SUD. Dette dorsali sono distinte nel complesso dei Monti Livornesi ad OVEST, complesso di Chianni/Casciana Terme al centro, e complesso di Iano/Montaione ad EST.

Nel Miocene superiore (7 milioni di anni fa), una successiva fase di distensione, dà origine a due fosse tettoniche (Era/Sterza/Cascina ad Est e Fine/Tora ad Ovest) nelle quali cominciano a delinearsi le strutture delle valli dei fiumi di cui sopra.

Nel Pliocene inferiore e medio si ha un innalzamento del livello del mare e quindi una sua ingressione in tali valli; in tale fase avviene la deposizione di notevoli spessori di argille (Pag), restano emerse soltanto le isole di Iano, Montecatini Val di Cecina, Orciatico e Rosignano.

Nel Pliocene medio, una nuova fase di sollevamento porta alla deposizione sabbie argillose (P2) e sabbie (P3). In questo periodo si assiste al ritiro del mare verso SUD e verso OVEST e quindi dal fondo delle valli emergono i sedimenti prima citati

Nel Pleistocene inferiore si verifica una nuova fase distensiva, con conseguente ingressione marina. La nuova trasgressione interessa un'area meno vasta rispetto a quella del Pliocene e dà origine alla deposizione delle sabbie argillose (ART - Q₂) e delle sabbie (NUG -Q₃).

Infine, sempre nel Pleistocene inferiore, una fase "epirogenetica" (lento sollevamento) interessa l'intera area meridionale delle Colline Pisane determinando l'innalzamento delle formazioni plioceniche e pleistoceniche. A partire dalla dorsale di Casciana Terme, si creano due distinti sistemi idrografici, diretti uno verso EST e l'altro verso OVEST, che danno origine rispettivamente ai fiumi Era/Sterza/Cascina (ad EST) e Tora/Fine (ad OVEST).



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Le aree più a SUD, interessate dal massimo sollevamento, sono denudate fino alla messa a giorno delle argille plioceniche e dei conglomerati di base.

I sedimenti depositisi 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.

I rilievi di campagna hanno evidenziato la presenza di faglie, prevalentemente ad andamento appenninico riconducibili al sistema delle "faglie di Villamagna". Una faglia particolarmente evidente, perché taglia sedimenti riconducibili al Pleistocene Inferiore è quella di Montefoscoli.

Alla faglia di "Villa di Usigliano – La Palazzina" può essere associato il fenomeno della "putizza" (emissioni di acido solfidrico e anidride carbonica). Il fenomeno è particolarmente evidente a Baccanella, presso il cimitero di Alica e alle Terme di Chiecinella.

Evidenze geologiche di più ampio raggio portano a stimare la presenza di una faglia al di sotto della coltre alluvionale del Roglio.

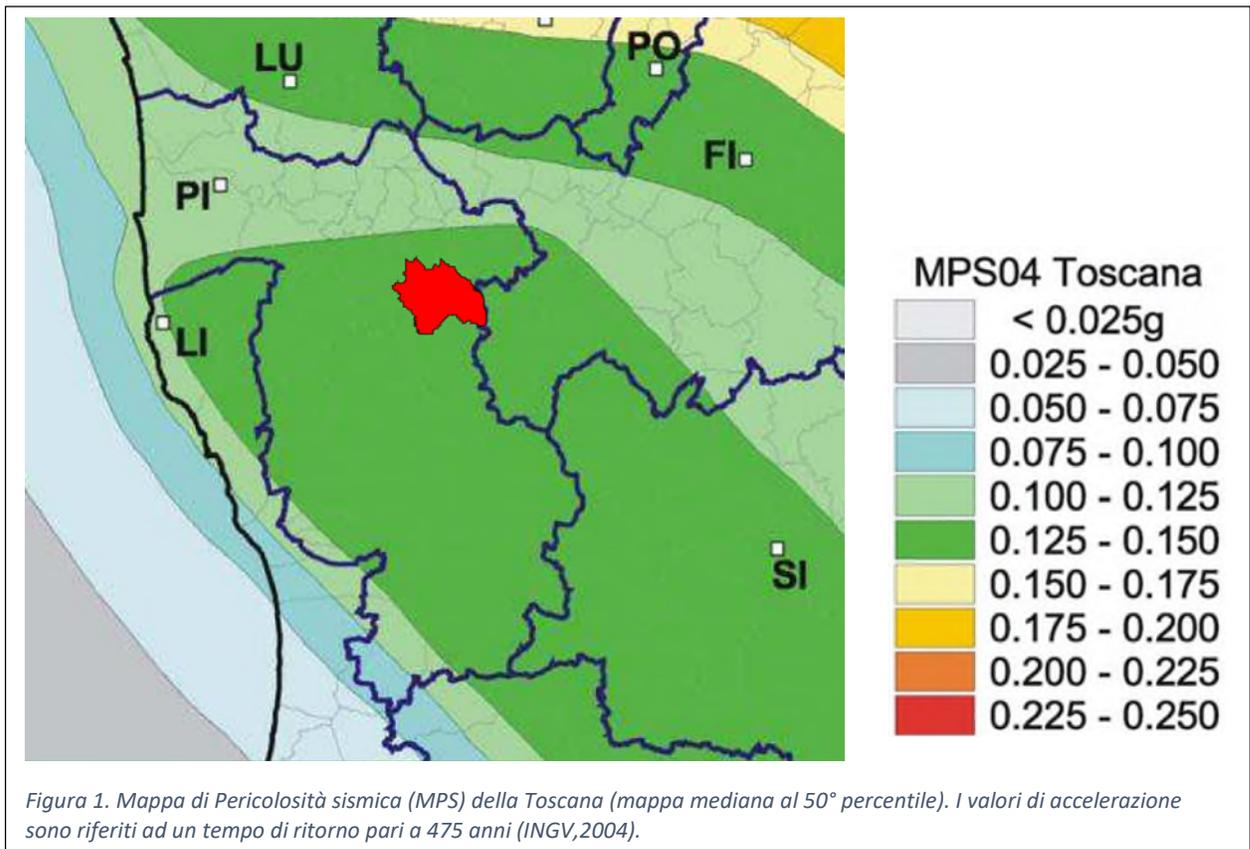
2. PERICOLOSITÀ DI BASE E EVENTI SISMICI DI RIFERIMENTO

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 Palaia 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 Palaia risultano valori di a_{max} compresi tra 0,125g e 0,150g.

In epoca storica il sisma più intenso registrato nella Valdera è quello del 14 Agosto 1846 che colpì la zona di Orciano Pisano, S. Luce e Lorenzana con intensità massima fino al X° grado della scala Mercalli provocando danni notevoli e numerose vittime. A Palaia la scossa fu avvertita fortemente ma non causò danni di rilievo. Le Note illustrative della Carta Geologica d'Italia del F°112 – Volterra riportano quanto segue: "...Nella valle della Chiecinella, una sorgente a temperatura ordinaria 15°C (apparsa nel 1846 dopo il terremoto)è da ricordare per l'elevato contenuto in anidride carbonica...."

Altri terremoti di intensità minore (II° - VI° grado) con epicentro nei dintorni di Pontedera si sono succeduti nel tempo; questi eventi non hanno comunque prodotto effetti di particolare rilevanza sul territorio di Palaia.



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 nei pressi dei Monti Livornesi, le più vicine all'area di studio distanti in linea d'aria circa 15-20 km (Fig.2).

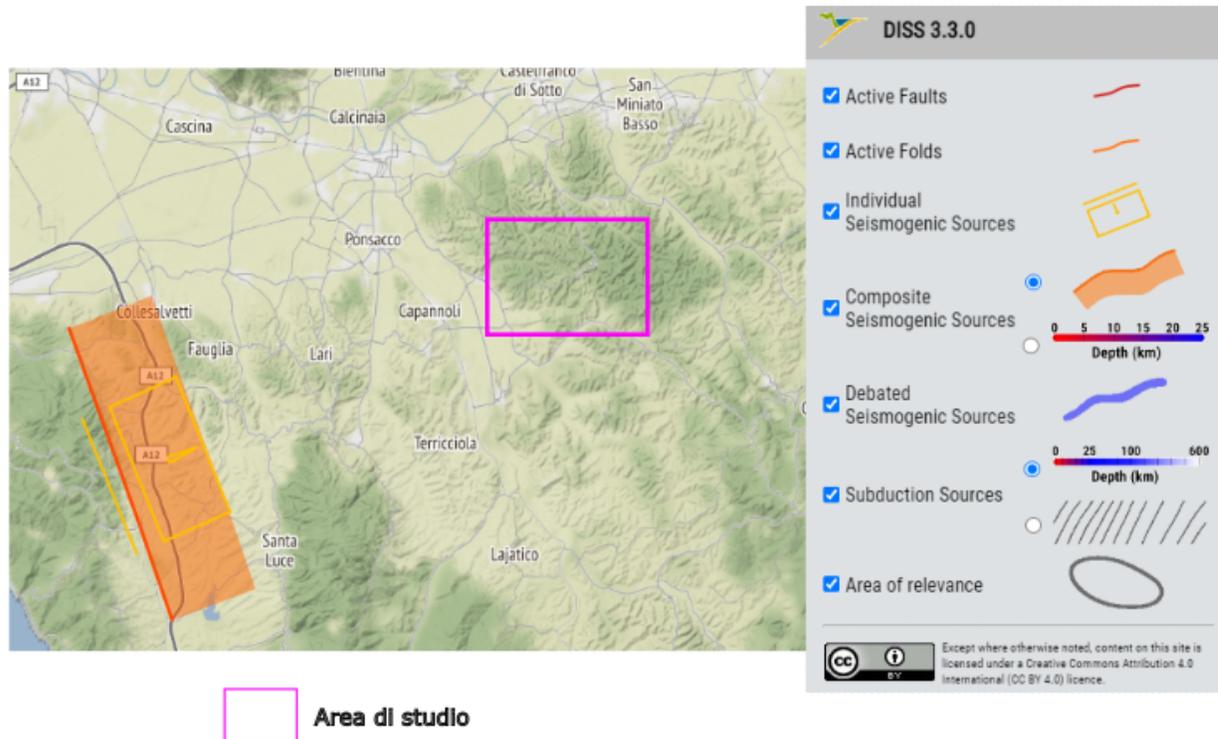


Figura 2. Ubicazione dell'area di studio nel progetto "DISS 3.3.0".

È presente la Sorgente Sismogenetica Individuale (Individual Seismogenic Sources, **ISS**) denominata "**Orciano Pisano**" (codice ITIS066). Tale sorgente è ideata per descrivere nel dettaglio le faglie o responsabili in passato di forti terremoti già avvenuti o che si ritiene possano avvenire. La Sorgente Sismogenetica Composita (Composite Seismogenic Sources, **CSS**) denominata "**Livorno Hills**" (codice ITCS088) è stata ideata per descrivere sistemi di faglia estesi, ma con un livello di dettaglio necessariamente minore. Secondo la Mappa di Pericolosità dell'I.N.G.V., l'area di Palaia presenta un valore di A_g/g pari a 0.125-0.150 (Fig. 3). Dati tali valori, la Regione Toscana ubica il comune di Palaia in classe di sismicità 2.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

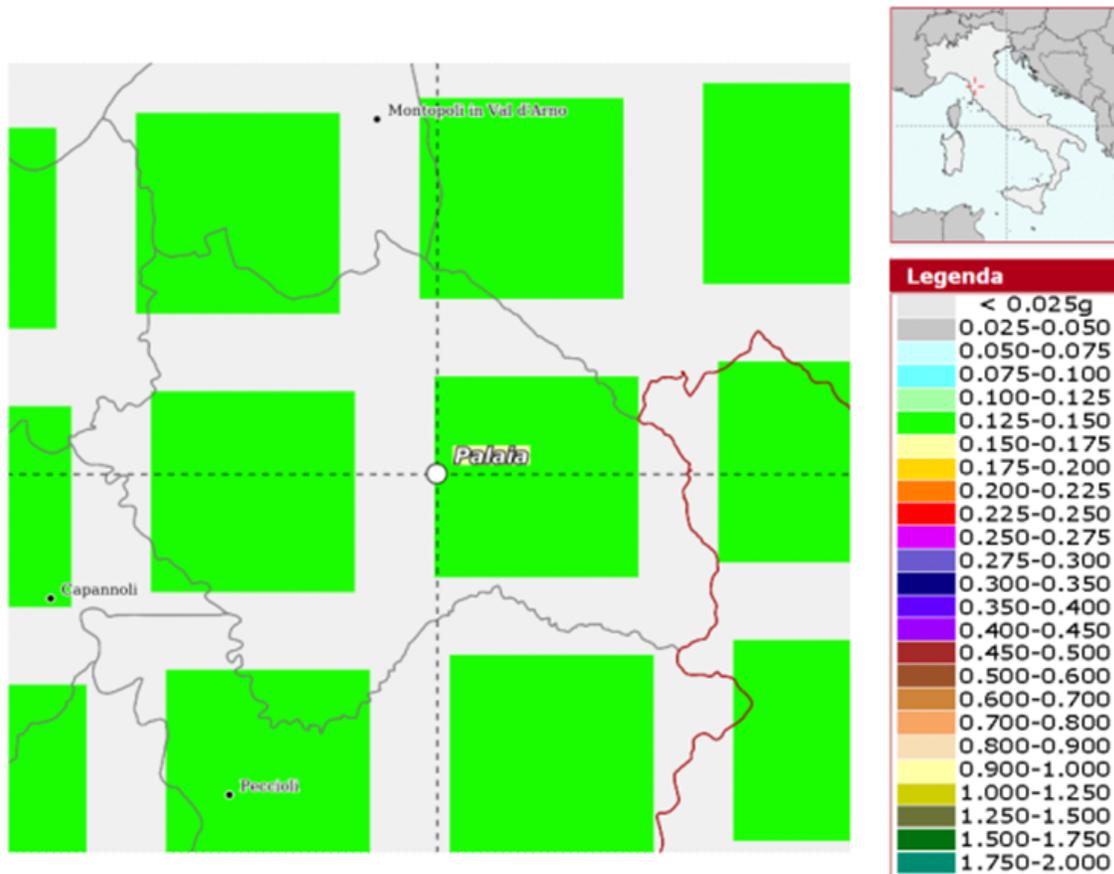


Figura 3. Mappa di pericolosità sismica (da I.N.G.V.)

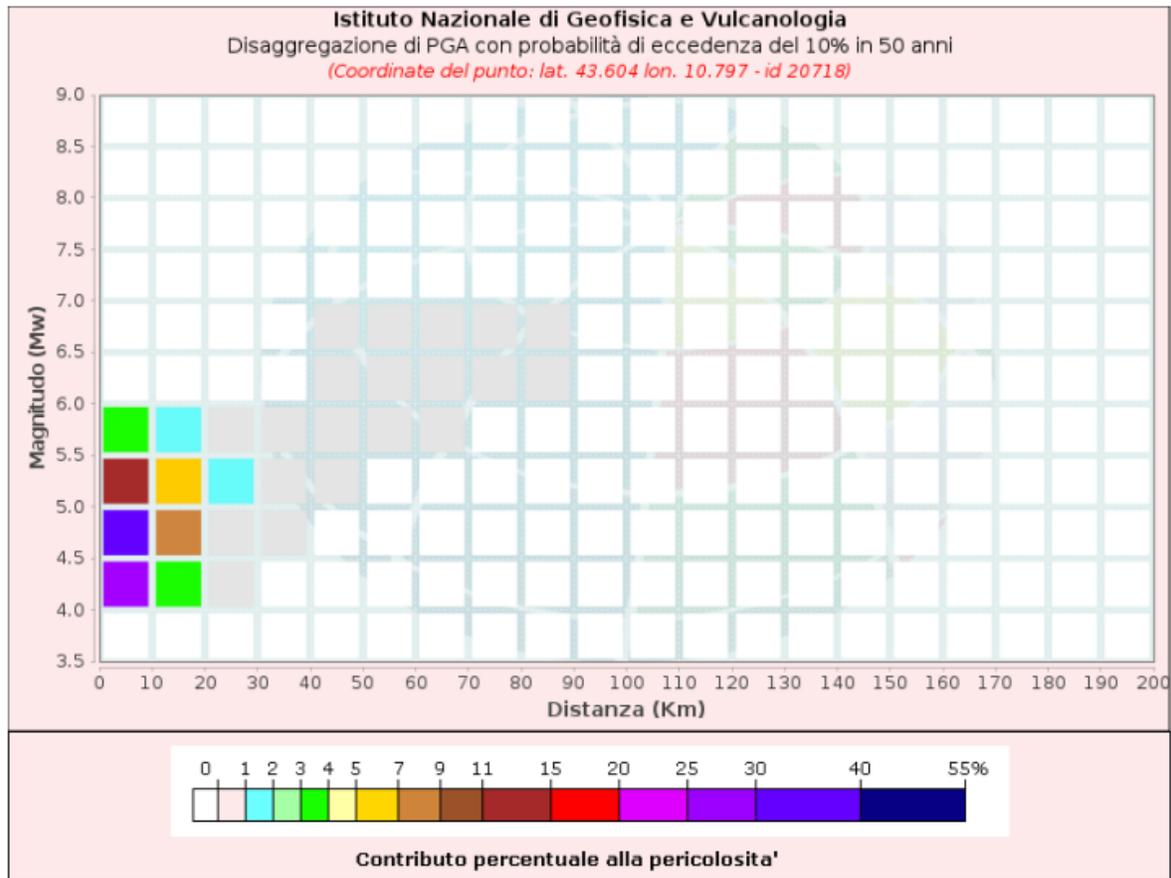
La **magnitudo attesa** per il sito specifico si ricava sempre dal sito dell'INGV tramite l'analisi di disaggregazione (vale a dire il contributo delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza) della relativa $a(g)$, utilizzando lo strumento grafico di disaggregazione (Fig. 4).



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi



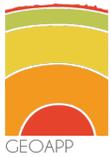
Oltre al grafico, si otterranno anche i valori medi di M , D , ϵ (magnitudo, distanza, epsilon) per l'area. Nel caso di Palaia, i valori medi sono i seguenti:

- magnitudo = 4.77;
- distanza = 7.28;
- epsilon = 0.865.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

All'interno del territorio in studio affiorano le formazioni geologiche di seguito descritte. Le formazioni sono state classificate, salvo alcune modifiche marginali, utilizzando la legenda proposta dal CARG.

Le formazioni affioranti sono tutte riconducibili al Neautoctono; in particolare sono presenti sedimenti attribuibili al ciclo marino del Pliocene Medio – Pleistocene Inf.; sui quali a partire dal Pleistocene Superiore, si sono depositati sedimenti continentali di ambiente prevalentemente fluviale.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

3.1. Depositi del Pliocene Medio

Argille Azzurre (FAA)

Questa formazione affiora nei rilievi più meridionali del territorio comunale. La formazione è costituita da argilla inorganica, di color azzurro, sovraconsolidata, cui s'intercalano livelli decimetrici di marna. Si tratta di un sedimento di mare profondo come testimoniato dalle associazioni fossilifere presenti ritrovamento di vari fossili di vertebrati marini e dalla presenza di foraminiferi planctonici e dal nanoplancton. Nel territorio comunale affiora la parte alta della formazione caratterizzata da un costante aumento della frazione limosa. Lo spessore della formazione è stimabile in alcune centinaia di metri. Le analisi biostratigrafiche consentono di datare la formazione all'intervallo Pliocene Inferiore - Medio

Formazione di Villamagna (VLMs)

La formazione "VLMs", costituisce il sedimento di chiusura (fase regressiva), del ciclo marino apertosi durante il Pliocene Inferiore. Questa formazione è costituita da sabbie generalmente fini, suddivise in grossi banchi omogenei, cui si intercalano livelli più grossolani a cemento calcareo-aranaceo e intercalazioni di limo e di sabbie argillose. La formazione è databile al Pliocene Medio.

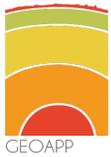
Formazione di Villamagna (VLMa)

Questa formazione è costituita da sabbie fini, di color azzurro, caratterizzate da una notevole matrice siltoso-argillosa, la frazione fine, in alcuni orizzonti può divenire preponderante. I livelli riconducibili alla "VLMa", sono normalmente caratterizzati da una notevole concentrazione di fossili. La formazione è databile al Pliocene Medio.

3.2 Depositi del Pleistocene Inferiore

Sabbie e Argille ad Arctica "ART"

Questa formazione costituisce il sedimento basale, della trasgressione marina del Pleistocene Inferiore gli affioramenti sono discontinui, coprono porzioni limitate del territorio comunale e sono concentrate al margine nord occidentale del territorio comunale, tra le località della Montacchita a Sud e di Cerreto a Nord. E' una formazione caratterizzata da una notevole eterogeneità litologica, sono presenti livelli prettamente sabbiosi e orizzonti francamente argillosi. Lo spessore massimo della formazione oscilla tra 5 e 10 metri.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Sabbie di Nugola Vecchia "NUG"

La formazione "NUG" costituisce il sedimento di chiusura (fase regressiva), del ciclo marino apertosi durante il Pleistocene Inferiore. E' costituita da sabbie fini, finemente stratificate, ben addensate, generalmente dislocate in banchi di spessore compreso tra 5 e 10 metri. Intercalati alle sabbie si ritrovano livelli di arenaria, di calcareniti di limi e di argille sabbiose. Localmente lo spessore della formazione può raggiungere i 40-50 metri. Gli affioramenti, costituiti da lembi molto limitati, si ritrovano nel medesimo areale della formazione precedentemente descritta

3.3 Depositi del Pleistocene Sup. / Olocene

Alluvioni recenti e attuali "b"

Questa formazione, d'origine continentale e d'ambiente deposizionale fluviale è costituita da sedimenti fini, deposti dal Torrente Roglio e dai corsi d'acqua minori Tosola, Tosolino, Carfalo, Chiecina, Chiecinella, Ricavo. Tali depositi si addentrano nelle vallate minori fin quasi a raggiungerne la testata. La formazione è costituita da sedimenti fini (Sabbie e Limi) provenienti dal dilavamento dei rilievi circostanti. Alla base dei depositi alluvionali del Roglio, si ritrovano banchi 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 depostisi nell'intervallo Pliocene Medio – Fase trasgressiva del Pleistocene Inferiore) sono stati attribuiti al "**substrato geologico**" mentre i più recenti (depostisi 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 " V_s " significativamente maggiori rispetto a quelli relativi alle coperture localmente presenti.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Nella tabella che segue è illustrata la distinzione delle formazioni 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 $V_s < 800\text{m/s}$	Copertura	sigla	Continuum Geologico	Tipo_gt (*)	Formazioni	gen
		Bna2	Alluvioni recenti e attuali	ML	b Alluvioni recenti e attuali	pi
				SC		pi
	GP			pi		
Substrato geologico	PLE	Depositi Marini e costieri pleistocenici	IS (**)	ART Sabbie ed Argille ad Arctica		
FAAe	Argille Azzurre - litofacies sabbiosa	GR	-Formazione di Villamagna VLMs e VLMA			
FAA	Formazione delle Argille Azzurre	CO	p – Argille Azzurre			

(*) Le stratigrafie dei pozzi presenti nell'area hanno permesso di distinguere all'interno dei depositi alluvionali tre distinte unità:

ML -Sabbie fini limose o argillose limi argillosi di bassa plasticità

SC - Sabbie argillose miscela di sabbia e ghiaia

GP - Ghiaie miscela di sabbia e ghiaia

(**) *depositi marini intermedi*

5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area collinare del territorio di Palaia presenta una fragilità intrinseca legata all'acclività dei versanti e alla geologia dell'area. La geologia è caratterizzata da una alternanza tra livelli sabbiosi e limoso argillosi, sovrapposti a sedimenti essenzialmente argillosi, queste condizioni portano, specialmente in corrispondenza dei versanti a "franapoggio", ad una predisposizione naturale al dissesto, localmente amplificata da interventi antropici non sempre rispettosi delle condizioni ambientali dei luoghi. L'alternanza tra livelli argillosi e sabbiosi, genera la tipica morfologia a gradini che caratterizza l'intera Valdera.

L'area della pianura è costituita da ampie superfici pianeggianti che si addentrano, anche in corrispondenza di corsi minori, sino alla testata delle vallate. Alcune aree, poste allo sbocco delle vallate sono soggette, a fenomeni di esondazione e ristagno.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

5.1 Carta geomorfologica di riferimento

La carta geomorfologica di riferimento è quella redatta a supporto del Piano Strutturale Intercomunale della Valdera. 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. Nello studio di Microzonazione sismica trovano una particolare attenzione gli elementi di morfologia gravitativa. Nella stesura della carta geomorfologica 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 – Bonificate** quelle forme sulle quali si è intervenuti con progetti organici di risanamento e/o consolidamento.

5.1.1 tipologie di frana riscontrate

In generale si sviluppano forme che possono essere definite “frane complesse” dove è possibile riconoscere alla base (*terreni argilloso-limosi*) forme riconducibili a scorrimento-colamento associate e forme di crollo alla sommità del rilievo (*localizzate nel banco sabbioso sommitale per scalzamento alla base*).

Altra tipologia riscontrata è quella di “scorrimento”. In corrispondenza delle scarpate di sabbia più sviluppate in altezza possono aver luogo fenomeni di crollo. I crolli si sviluppano nei terreni sabbiosi per scalzamento alla base delle sottostanti argille.

Impluvi con tendenza all'approfondimento si ritrovano in corrispondenza dell'affioramento di litotipi facilmente erodibili, I fenomeni più estesi si manifestano in corrispondenza dei versanti esposti a Nord coincidenti con una dislocazione a “franapoggio” degli strati.

Forme denominate “Deformazioni superficiali” si sviluppano principalmente nei rilievi argillosi caratterizzati dall'affioramento della formazione FAA. I sedimenti riconducibili alle FAA presentano una notevole permeabilità per imbibizione della massa alterata e per il riempimento delle fessure che si generano, all'interno dello strato più superficiale, nel periodo estivo. In presenza di



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

precipitazioni diffuse, all'interno del suolo si origina un aumento del peso di volume e un lento deflusso ipodermico. L'acqua determina un decadimento del coefficiente d'attrito, provocando la formazione di soliflussi e colate. I fenomeni descritti sono estremamente superficiali e si sviluppano all'interno del livello del suolo. Le forme possono essere facilmente nascoste nel corso delle lavorazioni agricole.

6. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per procedere con lo studio di Microzonazione Sismica di livello 2 è stato indispensabile effettuare:

- La raccolta, e l'archiviazione organizzata dei dati pregressi
- eseguire nuove specifiche indagini in aree che necessitavano di ulteriori approfondimenti

Il punto di partenza è stato rappresentato dal DB delle indagini utilizzate per lo studio di microzonazione di livello1 a queste si sono aggiunte le indagini geognostiche e geofisiche eseguite sul territorio dalla chiusura dello studio ad oggi (è stato consultato il portale regionale Portos). Il DB è stato inoltre arricchito dalle nuove indagini previste dalla "nota di adesione" (8 Indagini sismiche tipo MASW, 4 indagini di sismica passiva HVSR)

Nell'ambito del territorio oggetto dello studio, sono presenti le seguenti indagini:

Dati Geofisici

- n.25 Masw
- n.44 HVSR
- n.1 Down Hole
- n.12 SR
- n. 7 Tomografie elettriche

Dati geognostici

- n. 23 prove penetrometriche CPT
- n. 1 prove penetrometriche CPTU
- n. 14 sondaggi a distruzione
- n. 7 sondaggi a carotaggio continuo

La distribuzione delle indagini all'interno delle singole aree MOPS è la seguente:



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Area	Centri inclusi	HVSR	MASW	DH	SR	CPT	CPTU	SEV	Sond_cont	Sond_distr
Pianura del Roglio	Forcoli	8	7		1	8				4
	Baccanella	2	1							
	Montanelli	4	3		1	4	1			7
Colline del Carfalo	Montefoscoli	6	4					1		2
	Toiano	1		1	9	10		3	8	
Colline Centrali	Palaia, Partino	20	6		1	1		3	4	
	Villa Saletta,	1	2						5	
Pianura della Chiecina	Chiecina	2	2							1

7. MODELLO GEOLOGICO TECNICO DEL SOTTOSUOLO

Le informazioni derivanti dallo studio di MS1 e quelle ricavate dall'elaborazione delle nuove 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, conferma quanto già emerso nello studio di livello 1, che prevede la presenza di sedimenti continentali di recente deposizione (sedimenti depositi nell'intervallo Pleistocene Sup. - Olocene) sovrapposti ai livelli riconducibili al substrato geologico (sedimenti depositi nell'intervallo Pliocene Inferiore – Pliocene Medio).

Le informazioni confermano la dislocazione dei livelli attribuibili al substrato geologico, secondo superfici piano parallele a debole inclinazione (7 – 8°) a NE.

I rilievi geologici permettono di individuare almeno due faglie significative; la Faglia di Montefoscoli e quella di "Usigliano – La Palazzina" (entrambe ad andamento appenninico e riconducibili al sistema delle "faglie di Villamagna). Alla faglia di Usigliano può essere associato il fenomeno della "putizza" particolarmente evidente a Baccanella, al cimitero di Alica e alle Terme di Chiecina.

I sedimenti della copertura, costituiti da depositi continentali di ambiente fluviale, ricoprono le incisioni vallive dei corsi d'acqua minori e costituiscono il margine orientale della Pianura del Torrente Roglio. Nella Pianura del Roglio, il passaggio tra i sedimenti della copertura e quelli del substrato geologico, è generalmente marcato dalla presenza di un letto di ghiaie. Lo spessore dei sedimenti della copertura oscillano tra i 10m (delle valli minori e del margine della Pianura del Roglio posta a ridosso dei rilievi collinari e i 40m registrati in corrispondenza del campo pozzi di Molino del Roglio.

Quanto detto trova ampia illustrazione nelle sezioni geologiche prodotte.

7.1 Area di Forcoli

L'area è posta al margine orientale della Pianura alluvionale del Roglio (Fig.6). Qui i depositi alluvionali sono attribuibili sia ai depositi del Roglio che alla conoide del T.Tosola. Si tratta di sedimenti fini generalmente limi, il cui spessore varia da 20 a 40m. Al di sotto si ritrovano sedimenti addensati attribuibili ai depositi sabbiosi del Pliocene Medio. Marginalmente nel settore collinare nei pressi dell'abitato di Montacchita, è presente la Zona MOPS 2008, caratterizzata dall'affioramento delle Sabbie di Nugola Vecchia (NUG). Le indagini sismiche condotte nell'area di Forcoli evidenziano il progressivo aumento della velocità delle V_s con la profondità. Alcune HVSR evidenziano la presenza di picchi di frequenza significativi.

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

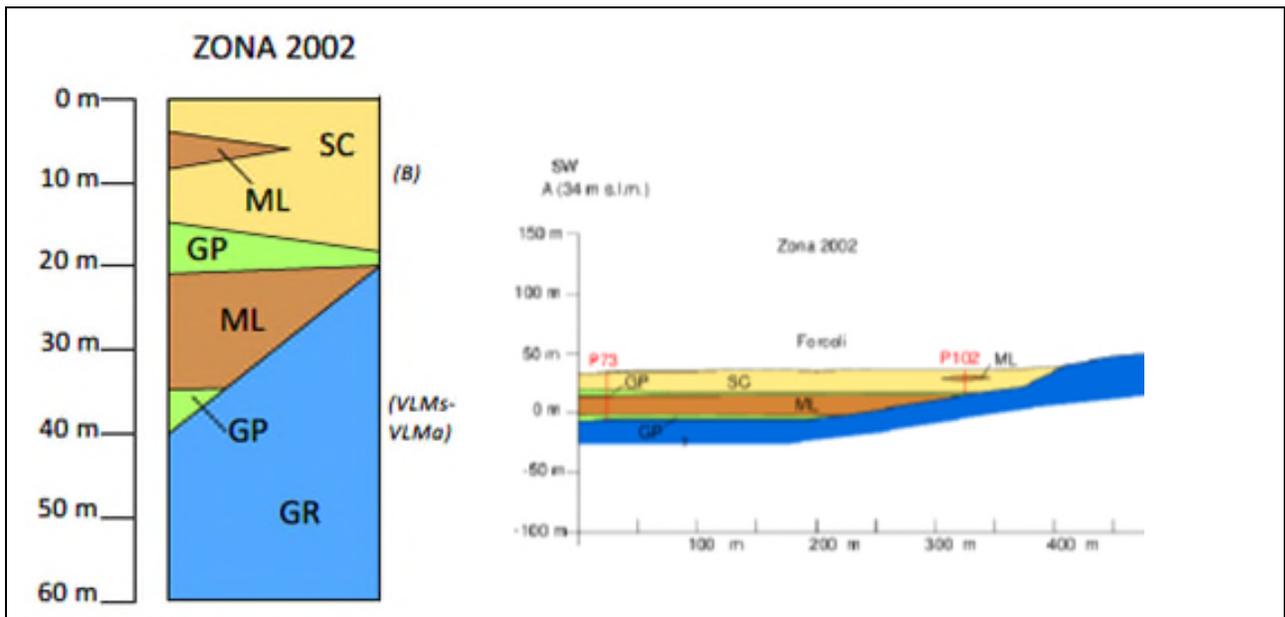


Fig. n. 6 Colonna Zona MOPS 2002 e Sezione geologica – tecnica area di Forcoli

7.2 Area di Baccanella - Montanelli

L'area è posta al margine orientale della Pianura alluvionale del Roglio. Qui affiorano sedimenti della copertura costituiti da depositi alluvionali la cui deposizione è riconducibile alla esondazioni del Roglio e in subordine del torrenti minori che scorrono dalle colline. Lo spessore si aggira nell'ordine dei 40m. Al di sotto si ritrovano sedimenti marini sabbiosi del Pliocene Medio. Le indagini sismiche evidenziano il progressivo aumento della velocità delle V_s con la profondità. Le HVSR non evidenziano picchi di frequenza significativi



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

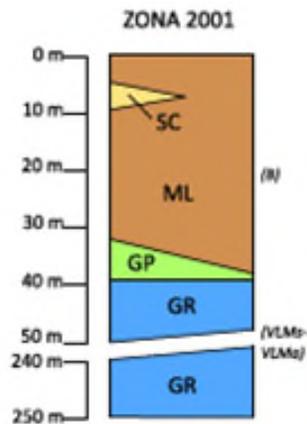
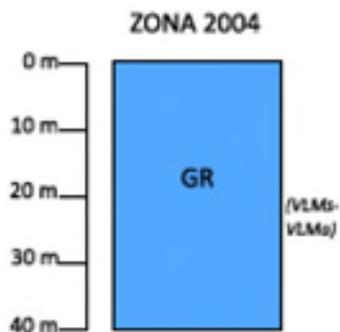


Fig. n.7 Colonna Zona MOPS 2001

7.3 Area di Villa Saletta

Quest'area coincide con il crinale collinare ed è dislocata ad una quota di circa 132 metri sul livello del mare. In quest'area, al di sotto di una esigua coltre di suolo (spessore inferiore ai 3m) si ritrovano sedimenti sabbiosi addensati di origine marina attribuibili alla formazione di Villamagna VLMs e VLMA (substrato GR). Lo spessore della formazione di Villamagna si aggira nell'ordine dei 100m. Le indagini sismiche evidenziano il progressivo aumento della velocità delle V_s con la profondità. Le HVSR non evidenziano picchi di frequenza significativi



7.4 Area di Chiecinella

L'area copre una superficie pressoché pianeggiante caratterizzata dall'affioramento di sedimenti continentali di origine fluviale attribuibili ai depositi della Chiecinella. Lo spessore dei sedimenti alluvionali s'aggira nell'ordine dei 10m. Al di sotto si ritrovano sedimenti sabbiosi di origine marina attribuibili alla formazione VLMs (GR).

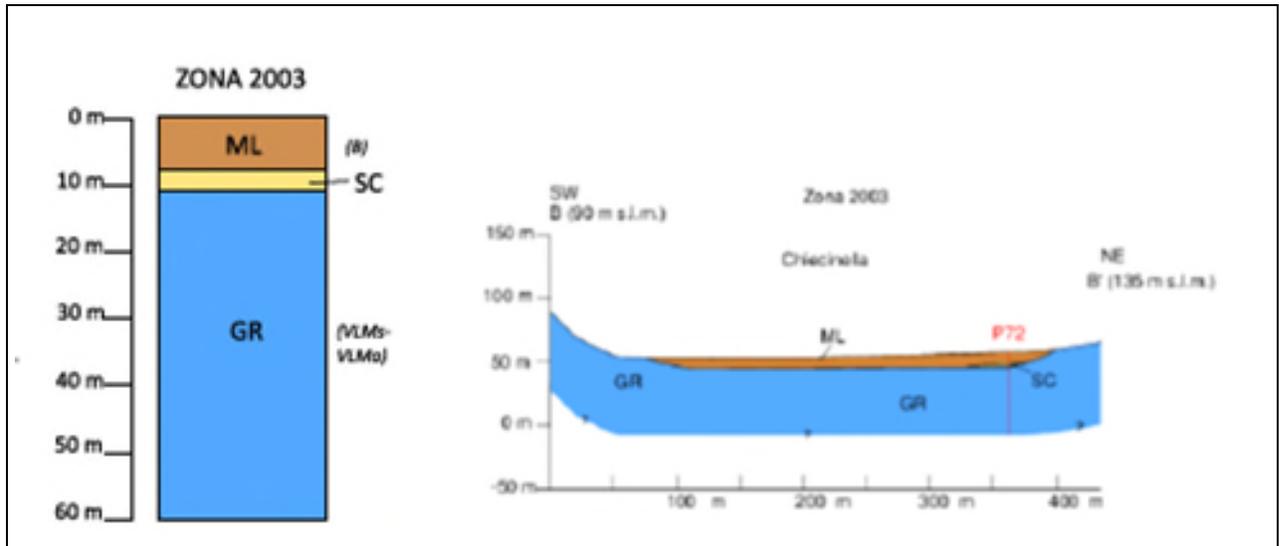


Fig. n.8. Colonna Zona MOPS e Sezione geologico – tecnica area Chiecina

7.5 Area di Partino - Palaia - Montefoscoli

Quest'area coincide con il crinale collinare su cui sorgono gli abitati. In quest'area, al di sotto di una esigua coltre di suolo (spessore inferiore ai 3m) si ritrovano sedimenti sabbiosi addensati di origine marina attribuibili alla formazione di Villamagna VLMs (substrato GR). All'interno delle sabbie di Villamagna si ritrovano sedimenti prevalentemente coerenti riconducibili alla formazione VLMA (argille sabbiose di San Ciprian). Lo spessore della formazione di Villamagna si aggira nell'ordine dei 150m. Le indagini sismiche evidenziano il progressivo aumento della velocità delle Vs con la profondità. Le HVSR non evidenziano picchi di frequenza significativi.

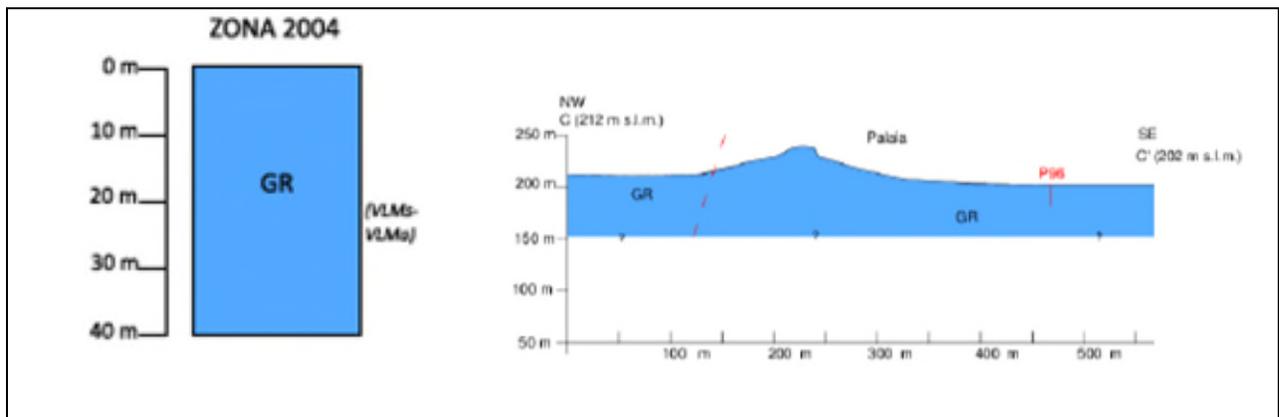


Fig. n.9 Colonna Zona MOPS e Sezione geologico – tecnica area di Palaia

7.6 Area di Toiano

Nell'area di Toiano sono riconoscibili tre zone. In corrispondenza dell'abitato di Toiano al di sotto di una esigua coltre di suolo, (spessore inferiore ai 3m) si ritrovano sedimenti sabbiosi addensati di origine marina attribuibili alla formazione di Villamagna VLMs (substrato GR). Lo spessore di questi sedimenti s'aggira nell'ordine dei 20m. Al di sotto si ritrovano livelli argillosi attribuibili alla formazione FAA (substrato CO). Lo spessore della formazione FAA- argille azzurre s'aggira nell'ordine dei 100m. Il corpo di frana presente in corrispondenza del versante SW di Toiano si sviluppa al di sopra delle formazioni di Villamagna e delle Argille azzurre. Le indagini sismiche evidenziano il progressivo aumento della velocità delle V_s con la profondità. Le HVSR non evidenziano picchi di frequenza significativi.

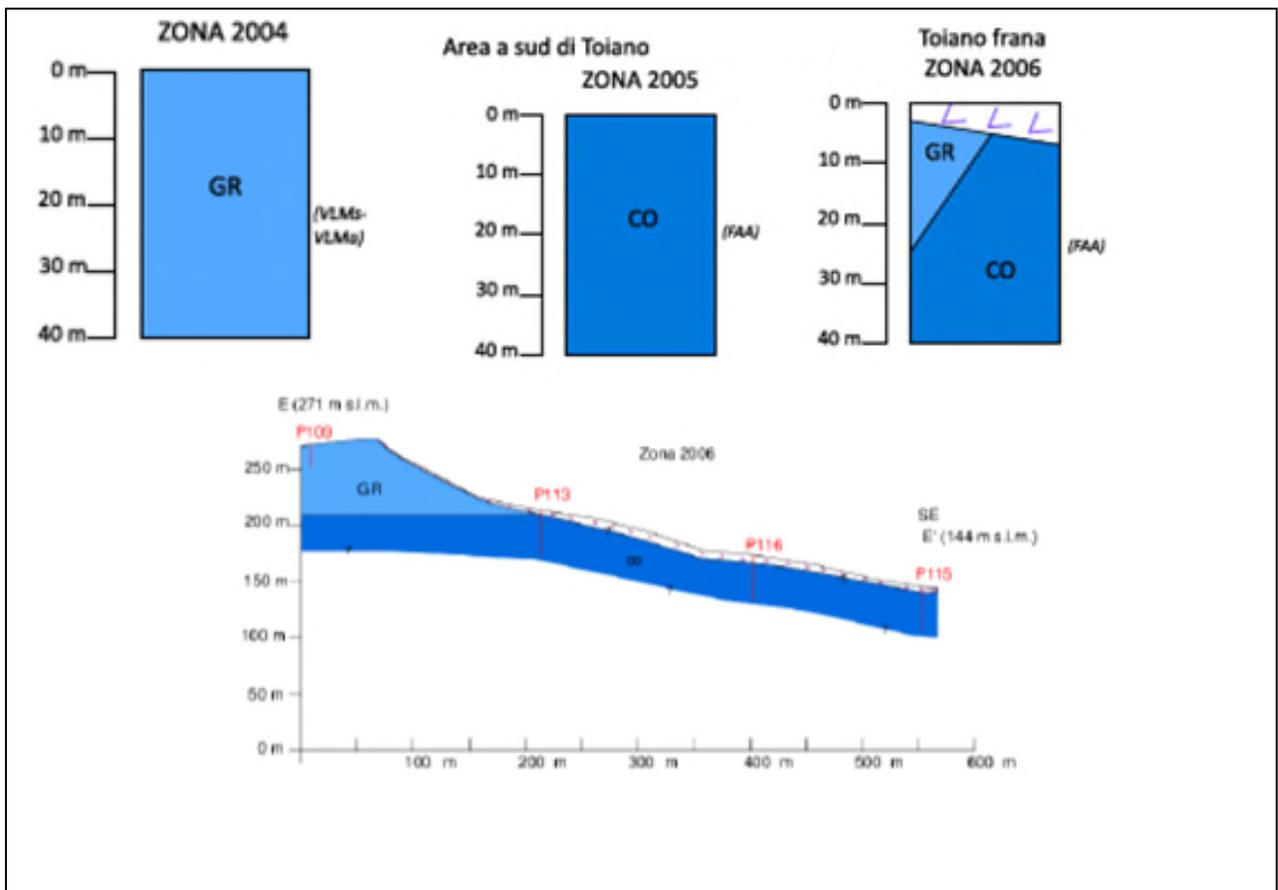
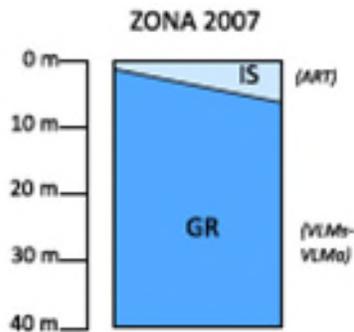


Fig. n.10 Colonna Zona MOPS area di Toiano

7.6 *Area di Montacchita*

In quest'area i sedimenti riconducibili alla formazione di Villamagna VLMs (substrato GR), sono ricoperti da sedimenti a comportamento intermedio IS attribuibili alla formazione di origine marina ART.



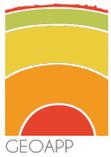
8. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

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 del "fattore di qualità", delle cartografie delle singole zone.

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:



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Le indagini (HVSR), tranne alcune aree circoscritte all'abitato di Forcoli, non hanno evidenziato la presenza di picchi significativi nel grafico del rapporto H/V.

Le creste collinari, si sviluppano su litologie prevalentemente sabbiose. Generalmente le analisi delle frequenze di picco non rivelano particolari contrasti di impedenza sismica i grafici normalmente mostrano un andamento piatto. Unica eccezione è costituita da una fascia ristretta coincidente con il centro storico di Palaia.

In merito alle zone instabili per franosità presenti queste interessano prevalentemente la coltre superficiale, nella maggior parte dei casi siamo in presenza di "forme-morfologie di frana" raramente è riconoscibile un vero e proprio corpo di frana soggetto a riattivazione in presenza di sisma. Tra queste ritroviamo la frana presente sul versante settentrionale di Palaia e quella interessante il versante sud di Toiano.

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 di 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 sei 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 tre 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



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

penetrometriche, analisi geotecniche di laboratorio etc.) misure delle frequenze di risonanza di sito.

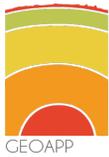
- Ad ognuna delle aree MOPS sono stati attribuiti 18 campi descrittivi. Questi ultimi sono stati compilati attraverso metodologie semiautomatiche in ambiente GIS, utilizzando anche gli attributi delle “Celle”. I campi così realizzati hanno permesso di stimare i seguenti elementi:
 1. Anno rilevamento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



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

$FQ \geq 75\%$	Classe A (carta di livello 1 di ottima qualità)
$50 \leq FQ < 75\%$	Classe B (migliorare almeno uno dei parametri)
$25 \leq FQ < 50\%$	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 delle singole aree MOPS

Nella tabella che segue è riportato il valore di qualità delle singole aree Mops l'elaborato di calcolo è riportato in allegato.

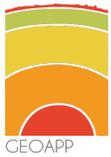
Area	Centri Interessati	Fattore FQ	Classe di Qualità
Pianura del Roglio	Forcoli	69.9	B
	Baccanella		
	Montanelli		
Colline del Carfalo	Montefoscoli	52.1	B
	Toiano	63	B
Colline Centrali	Villa Saletta,	59	B
	Partino,	52.1	B
	Palaia		
Pianura del Chiecina	Chiecinella	51.5	B

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, permettendo di modificarli e aggiornarli nel corso del progetto ed utilizzarli per scopi diversi, quali la semplice rappresentazione cartografica.

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



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

“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 4.2, 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.

- Carta delle Indagini;
- Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica
- Carta delle Sezioni Geolitologiche;
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica
- Carta delle Colonne Stratigrafiche;
- Carta delle Frequenze,
- Carta delle Microzonazione sismica di livello 2, relativa all'intervallo 0,1 - 0,5s(FA0105);
- Carta delle Microzonazione sismica di livello 2, relativa all'intervallo 0,4 - 0,8s (FA0408);
- Carta delle Microzonazione sismica di livello 2, relativa all'intervallo 0,7 - 1,1s (FA0511)

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.

10.2 Relazione prodotte

- Relazione sulle indagini
- Relazione tecnica illustrativa
- banca dati generata col software SoftMS v 4.2

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



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

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:

- la sigla in blu indica il valore di frequenza del picco registrato.
- la sigla in rosso indica 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.

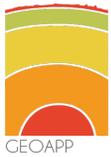
I valori ottenuti sono stati ulteriormente indagati, analizzati e interpretati ai fini della determinazione del fattore di FA, considerando l'andamento dei valori su scala areale.

Legenda

Punti di misura di rumore ambientale

- Assenza di picco significativo
- f0 compresa tra 0,1 e 0,5 Hz
- f0 compresa tra 0,5 e 1 Hz
- f0 compresa tra 1 e 2,5 Hz
- f0 compresa tra 2,5 e 5 Hz
- f0 >5

- 1,6 In blu il valore della frequenza di picco
- 2,1 In rosso l'ampiezza del picco



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

I dati di frequenza coprono tutte le aree previste dal progetto. Nell'area indagata sono disponibili 44 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;

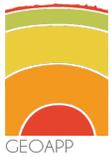
CLASSE C quando contengono elementi di disturbo invalidanti ai fini della corretta interpretazione.

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.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

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 lisciamiento, 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 al di sotto del punto di osservazione. 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.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

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. 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.

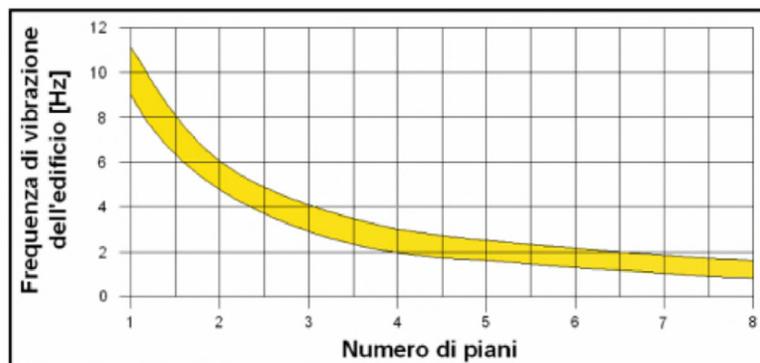


Fig. n.11

12.4 Osservazioni sulle indagini svolte

In linea generale in tutto il territorio indagato non sono stati rilevati picchi di particolare rilevanza. In particolare le misure effettuate in ambito collinare non hanno evidenziato alcun picco di frequenza.

Unico picco di particolare rilevanza è stato rilevato nell'ambito dell'area di Forcoli, qui alla frequenza di 1.4 Hz è stato rilevato un picco significativo d'ampiezza pari a 3.5. Il picco evidenzia la presenza di un brusco passaggio tra la coltre alluvionale ed il sottostante substrato geologico ALS di seguito è riportato l'elaborato grafico della suddetta prova. Questa interpretazione trova conferma anche nelle indagini HVSR realizzate in prossimità della scuola materna di Forcoli.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max. HV of 1.47 ± 0.01 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz)

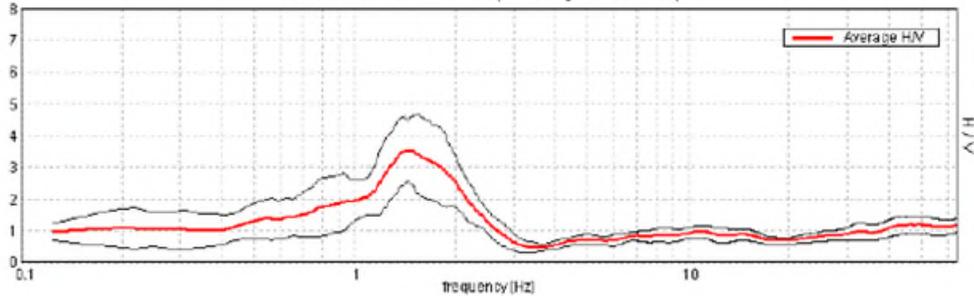


Figura 12

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), con particolare riferimento allo studio di MS1 e alla cartografia del PAI. L'elemento più rilevante della CGT è la distinzione tra i "Sedimenti della Copertura" e quelli del "substrato geologico" i criteri adottati per la distinzione sono stati illustrati al paragrafo 4.

Nella CGT sono riportate le zone di attenzione per instabilità di versante distinte sulla base del loro stato di attività e della tipologia di movimento secondo le indicazioni riportate dagli Standard ICMS

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

Terreni della copertura	sigla	Formazioni	Tipo_gt	gen
	b	Alluvioni recenti e attuali	ML, SC,GP	pi
Terreni del substrato geologico	ART	Sabbie ed Argille ad Artica	SFCO	
	VLMs/VLMa	Formazione di Villamagna	ALS	
	FAA	Argille Azzurre	CO	

13.1 Modifiche apportate rispetto alla CGT di livello 1

Come già anticipato al paragrafo 7, Il modello geologico tecnico proposto conferma nelle grandi linee quanto emerso nello studio di primo livello.

Le modifiche apportate riguardano:



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

- I sedimenti affioranti nell'area collinare, sono costituiti da una alternanza tra livelli sabbiosi e limoso sabbiosi riconducibili alle formazioni di Villamagna formazioni VLMs (livelli sabbiosi) e VLMA (livelli argillosi). Con il termine VLMA sono stati individuati i livelli prevalentemente argillosi, dislocati in strati e lenti, all'interno della formazione VLMs (generalmente lo spessore delle VLMA è più contenuto rispetto alla VLMs). Per questa ragione è sembrato opportuno accorpate le due formazioni inquadrando all'interno del substrato geologico **GR**.
- I sedimenti riconducibili alla formazione ART (databili al Pleistocene Inferiore) per analogia con altri studi di Microzonazione sono stati inseriti nel "substrato geologico" e classificati come terreni intermedi **IS**.
- Le stratigrafie dei pozzi hanno permesso una distinzione all'interno dei sedimenti della copertura individuando in corrispondenza del conoide del T. Tosola orizzonti essenzialmente sabbiosi.

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:

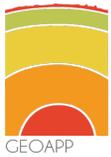
Zone Stabili : per le quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo (substrato in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata - pendii con inclinazione inferiore a 15°). Nell'area in studio non sono presenti aree stabili.

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;

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.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Per quanto riguarda le Zone di attenzione per instabilità, queste vengono definite attraverso l'attribuzione di un codice Tipo, 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 Palaia, le Zone di Attenzione corrispondono a quelle aree dove, nella CGT, sono state cartografate delle instabilità di versante (**ZAFR**) e le aree di fondovalle coinvolte da problematiche legate alla liquefazione dei suoli (**ZALQ**).

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 Vs < 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 7 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 la piana alluvionale del T.Roglio ed è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti riconducibili a terreni della copertura. Si tratta di sedimenti di origine fluviale classificate prevalentemente come **ML** (Sabbie fini limose o argillose limi argillosi di bassa plasticità) e subordinatamente come **SC** (Sabbie argillose, miscela di sabbia e ghiaia) alla base della coltre alluvionale è generalmente presente un livello di ghiaia **GP** (Ghiaie miscela di sabbia e ghiaia). Lo spessore complessivo della coltre alluvionale si aggira nell'ordine dei 30-40m. Al di sotto si ritrovano sedimenti marini riconducibili al substrato geologico **GR**.

Zona 2002

Coincide con il tratto della piana alluvionale del T.Roglio, posta allo sbocco del T.Tosola. È caratterizzata dall'affioramento di sedimenti riconducibili a terreni della copertura. Si tratta di sedimenti di origine fluviale classificate prevalentemente come **SC** - (Sabbie argillose, miscela di sabbia e ghiaia). I depositi del T.Tosola portano ad un incremento della frazione sabbiosa. Subordinatamente si ritrovano livelli **ML** (Sabbie fini limose o argillose limi argillosi di bassa plasticità). Alla base della coltre alluvionale è all'interno della stessa, è presente un livello di ghiaia **GP** (Ghiaie miscela di sabbia e ghiaia). Lo spessore complessivo della coltre alluvionale si aggira tra i 20 e i 40 m. Al di sotto si ritrovano sedimenti marini riconducibili al substrato geologico **GR**.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Zona 2003 Coincide con la piana alluvionale del Chiecinella ed è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti riconducibili a terreni della copertura. Sono sedimenti di origine fluviale classificate prevalentemente come **ML** (Sabbie fini limose o argillose limi argillosi di bassa plasticità). E subordinatamente come **SC**. Lo spessore complessivo della coltre alluvionale si aggira nell'ordine dei 10m.

Al di sotto si ritrovano sedimenti marini riconducibili al substrato geologico **GR**.

Zona 2004: Individua quelle aree, dove al di sotto di una coltre detritica superficiale (spessore inferiore ai 3m) si ritrovano sedimenti marini attribuibili al substrato geologico **GR**. Substrato caratterizzato dall'alternanza tra sedimenti riconducibili alla formazioni VLMs e VLMA.

Il substrato ALS presenta spessori maggiori di 40ms.

Zona 2005: È presente in un'area ristretta posta in prossimità dell'abitato di Toiano e individua quelle aree, dove al di sotto di una coltre detritica superficiale (spessore inferiore ai 3m) si ritrovano sedimenti marini attribuibili al substrato geologico **CO**. Substrato caratterizzato dall'affioramento di sedimenti argillosi compatti riconducibili alla Formazione FAA. Il substrato presenta spessori maggiori di 40m.

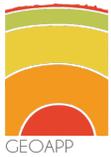
Zona 2006: coincide con il corpo di frana sottostante l'abitato di Toiano. Il corpo di frana mostra uno spessore compreso tra 3 e 10m. La frana si sviluppa su terreni riconducibili sia al substrato **GR** che **CO**.

Zona 2007 Individua quelle aree, dove al di sotto di una coltre detritica superficiale (spessore inferiore ai 3m) i sedimenti marini attribuibili al substrato geologico **IS** (coincidente con l'affioramento della formazione ART) si sovrappongono a quelli del substrato **GR**. I sedimenti riconducibili alla formazione ART presentano spessori inferiori a 10m.

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

Come già detto, per il territorio in studio, le Zone di Attenzione sono connesse all'instabilità di versante (ZAFR).



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

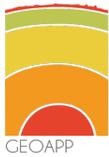
Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Instabilità di Versante (ZAFR)

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)

La problematica della liquefazione è stata affrontata per le località di Forcoli e Montanelli, poste all'interno della pianura alluvionale del fiume Tosola del T. Roglio e di altri corsi minori che scendono dalle colline. La coltre alluvionale, mostra spessori maggiori di 30 metri ed una componente limo-sabbiosa legata alle dinamiche fluviali. Come emerso nella Carta Geologico Tecnica, l'area di Forcoli è caratterizzata da una coltre alluvionale con componente a carattere sabbioso dominante, mentre per l'area di Montanelli la componente limoso argillosa risulta predominante. Nell'area non si hanno notizie storiche di fenomeni di liquefazione. Lo studio di MS1 non ha evidenziato la necessità di individuare "Zona di attenzione alla liquefazione – $ZALQ$ ". Il presente studio di MS2, mediante l'analisi di più verticali con metodi semplificati, approfondisce ulteriormente l'analisi del fenomeno valutando per ciascuna verticale il valore di IPL (Indice di Potenziale Liquefazione) secondo due differenti metodologie proposte dal Software "Liquiter": Idriss e Boulanger (2014) e Robertson e Wride (1997). Le verticali di indagine (CPT) sono state individuate sia nel centro abitato di Forcoli che nell'area industriale di Montanelli: esse raggiungono profondità limitate per la problematica della liquefazione, in quanto solo raramente si oltrepassano i 15 m di profondità delle prove: la problematica dovrebbe essere indagata fino a 20 m, tuttavia l'indagine è stata comunque svolta con le verticali disponibili. I parametri sismici utilizzati fanno riferimento al sisma di Orciano Pisano del 1846. Le verticali individuate e analizzate hanno prodotto i seguenti risultati:



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Codice identificativo prova e Luogo	Prof. Prova (m)	Prof. falda da p.c. (m)	I.P.L. – Idriss e Boulanger (2014)	I.P.L. – Robertson e Wride (1997)
P92	10 m	2 m	1.04	0
P95	11 m	2 m	1.57	0
P134	8 m	2.2 m	2.08	0.24
P131	8 m	1.8 m	0.6	0
P90	15.8 m	2.5 m	3.71	0.02
P91	13.2 m	1.5 m	4.16	0.5
P132	8 m	1.5 m*	1.38	0
P131	10 m	1.5 m*	0.43	0
P130	10 m	1.5 m*	0.51	0

* Falda non rilevata dalle prove ma stimata.

Le verticali analizzate per le due località mostrano una variabilità del valore di IPL a seconda del metodo utilizzato: Idriss e Boulanger (2014) mostra valori di IPL più elevati, mentre secondo la metodologia di Robertson e Wride (1997) non si riscontrano criticità, dati gli IPL riscontrati, compresi tra 0,5 e 0. Ciò definisce un rischio di liquefazione che nel complesso si presenta come medio-basso: secondo le classi di rischio definite dal metodo di Iwasaki et al. 1982, il rischio di liquefazione si presenta come basso, mentre secondo le classi proposte da Sonmez (2003) il rischio si presenta come moderato: pertanto, dati i valori di IPL ottenuti secondo la metodologia di Idriss e Boulanger (2014), più cautelativa tra le due, sia l'area di Forcoli che l'area di Montanelli sono state inserite tra le "Zona di attenzione alla liquefazione – ZA_{LQ} ".

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
- 25 Indagini MASW
- 1 Indagini Down-hole
- 1 Indagine ESac
- 12 indagini di sismica a rifrazione
- 7 tomografie elettriche



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

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

- 23 prove cpt
- 1 prova CptU
- 21 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 livello.

Il modello geologico ricostruito 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:

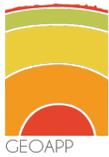
- 1) Area geografica
- 2) Tipologia dell'input sismico
- 3) Presenza di substrato sismico a profondità maggiore di 30m
- 4) Tipo di fattore di amplificazione

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 Palaia rientra nella Macroarea Toscana Interna e le aree in studio ricadono nella fascia $ag \geq 475$ 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 (si applica abaco <30)

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



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

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

Sottozona 1

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P86	No picco		1.5*	Montanelli	L27	187	<200
P127	1.1	1.7	1.5	Montanelli	L48	184	<200

(*) per osservazioni

$0.1 < FH_a < 0.5 \text{ s}$	1.5
$0.4 < FH_a < 0.8 \text{ s}$	2.3
$0.7 < FH_a < 1.1 \text{ s}$	2.4

Sottozona 2

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P53	1.1	2.9	1.5	Montanelli	L5	214	300

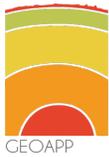
$0.1 < FH_a < 0.5 \text{ s}$	1.3
$0.4 < FH_a < 0.8 \text{ s}$	2.1
$0.7 < FH_a < 1.1 \text{ s}$	2.0

Zona 2002 (si applica abaco <30)

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

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

Sottozona 1



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P68	1.25	3.1	1.5	Forcoli	L30	217	300
P87	1.7	2.5	1.5	Forcoli	L3	380	300
P69	1.4	2.5	1.5	Forcoli	L17	221	300
P104	1.25	3.8	1.5	Forcoli	L31	255	300
P106	1.25	4.5	1.5	Forcoli	L31	255	300
P126	1.4	2.5	1.5	Forcoli	L28	221	300

$0.1 < FH_a < 0.5 \text{ s}$	1.3
$0.4 < FH_a < 0.8 \text{ s}$	2.1
$0.7 < FH_a < 1.1 \text{ s}$	2.0

Sottozona 2

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P67	1.28	3.1	1.5	Forcoli	L2	181	<200
P105	1.25	5	1.5	Forcoli	L32	185	<200

$0.1 < FH_a < 0.5 \text{ s}$	1.5
$0.4 < FH_a < 0.8 \text{ s}$	2.3
$0.7 < FH_a < 1.1 \text{ s}$	2.4

Zona 2003

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P3	No picco		1.5	Chiecinella	L12	269	300
P2	No picco		1.5	Chiecinella	L45	291	300



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

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

Zona 2004

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 meglio rappresentative delle problematiche sismiche del sottosuolo.

	Sottozona 1	Sottozona 2	Sottozona 3
Classe Abaco	1.5	1.5	>8
Classe Vs	300	400	300

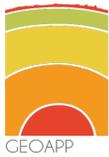
Sottozona 1

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P82	No picco		1.5*	Forcoli	L19	237	300
P37	No picco		1.5	Montefoscoli	L7	326	300
P36	No picco		1.5	Montefoscoli	L24	329	300
P35	No picco		1.5	Montefoscoli	L47	339	300
P35	No picco		1.5	Montefoscoli	L52	279	300
P31	No picco		1.5	Villa Saletta	L44	365	300
P50	1.7	3	1.5	Toiano	P100	359	300

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

Sottozona 2

Coincide con il sottosuolo del centro abitato di Palaia, in quest'area il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di sedimenti prevalentemente sabbiosi addensati, i livelli limosi mostrano spessori più ridotti ciò determina un sensibile aumento nella velocità delle Vs. La sottozona individua un'area di cresta potenzialmente interessata da fenomeni di amplificazione stratigrafica. La prova HVSR di riferimento P45, mostra un picco potenzialmente riferibile ad amplificazione topografica.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P47	No picco		1.5	Palaia	L14	443	500
P15	No picco		1.5	Palaia	L13	493	500
P45	4	3	4.5	Palaia	L13	493	500

(*) per osservazioni

$0.1 < FH_a < 0.5 \text{ s}$	1.7
$0.4 < FH_a < 0.8 \text{ s}$	1.9
$0.7 < FH_a < 1.1 \text{ s}$	1.1

Sottozona 3

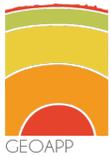
Coincide con il sottosuolo dell'area della Pieve, qui le indagini HVSR evidenziano importanti picchi alle alte frequenze, compatibili con la presenza di terreni superficiali degradati come testimoniato anche dai dissesti che hanno coinvolto la pieve stessa.

INDAGINI HVSR				LOCALITÀ	INDAGINI SISMICHE		
HVSR	Fo	Ao	Classe Abaco		Numero	Vs	Classe abaco
P81	9.3	2	>8	Palaia	L 29	342	300
P98	9	2.8	>8	Palaia	L 25	363	300
P99	9.7	2.7	>8	Palaia	L 25	363	300

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

Zone di attenzione per instabilità

Nelle aree instabili per frana, fatta eccezione per le due aree di Palaia e Toiano, non sono presenti linee sismiche né misure di rumore. Per l'attribuzione del fattore di amplificazione, considerata



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

anche l'assenza, pressoché generalizzata di un vero e proprio corpo di frana, sono stati considerati i valori delle microzone in cui ricadono.

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)].
- Corrispondenza codici indagini



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

BIBLIOGRAFIA

ALBARELLO D., CESI C., EULILLI V., GUERRINI F., LUNEDEI 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 PALAIA. Indagini geologiche di supporto al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico.

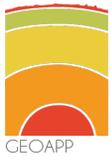
PIANO STRUTTURALE INTERCOMUNALE DELLA VALDERA

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.



Dott. Geol. Claudio Nencini

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

LAZZAROTTO A., NENCINI C. (1990b). *Geologia e geomorfologia de i Comuni di Livorno e Collesalvetti*. 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., CARACCILO 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>

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., LUNEDEI 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

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1 DEL COMUNE DI PALAIA

Fauglia Dicembre 2022

Dr.Geol. Claudio Nencini

Dr. Geol. Tommaso Nencini

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

CORRISPONDENZA CODICI IND. LINEARI	
CODICI INTERNI (PxxxL)	CODICI STANDARD (050014xxxx)
1	L41
2	L39
3	L36
4	L37
5	L34
6	L35
7	L21
8	L33
10	L22
11	L3
12	L20
13	L46
14	L15
15	L48
16	L12
17	L5
19	L8
21	L2
22	L14
23	L49
24	L50
25	L16
26	L17
27	L18
28	L19
30	L13
31	L44
32	L43
33	L40
34	L42
35	L51
36	L7
38	L6
39	L4
41	L38
42	L24
43	L47
44	L26
45	L25
46	L28
47	L27
48	L30
49	L29
50	L25
51	L29
52	L32
53	L31

CORRISPONDENZA CODICI IND. PUNTUALI

CODICI INTERNI (PxxxP)	CODICI STANDARD (050014xxxx)
1	P77
2	P114
3	P116
4	P109
5	P112
6	P111
7	P113
8	P115
9	P78
10	P73
11	P72
12	P96
13	P127
15	P101
16	P102
18	P103
19	P108
20	P107
21	P110
22	P124
23	P123
24	P125
25	P74
26	P118
27	P117
28	P120
29	P119
30	P122
31	P121
33	P2
34	P3
35	P41
36	P62
38	P14
39	P15
40	P16
41	P17
42	P18
43	P45
44	P46
45	P47
46	P19
47	P20
48	P21
49	P22

50	P50
51	P67
52	P68
53	P69
54	P52
55	P29
56	P53
57	P30
58	P54
59	P31
60	P35
61	P36
62	P37
63	P38
64	P39
65	P82
66	P105
67	P104
68	P106
69	P126
70	P87
71	P86
72	P135
73	P136
74	P137
75	P138
76	P139
77	P140
78	P141
79	P142
106	P71
108	P80
109	P83
110	P84 e P97 (hvsr)
111	P85
112	P90
113	P89
115	P90
116	P91
119	P128
120	P129
123	P92
124	P93
125	P94
126	P95
131	P81
132	P98
133	P99
134	P100