

COMUNE DI CARMIGNANO

REGOLAMENTO URBANISTICO

Studio di Microzonazione Sismica di I° livello
ai sensi del DPGR.n.53/R/11 e della Del.G.R.741/2012

Relazione tecnica

IL GEOLOGO

Maggio 2013

Sommario

1	Premessa.....	2
1.1	I prodotti dello studio di MS 1° livello.....	4
2	Selezione e delimitazione delle aree di indagine	5
3	La raccolta dati geognostici esistenti.....	6
3.1	Range di velocità P e S per le varie litologie	7
4	La Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica e delle indagini (Tavv.GT01/02/03/04).....	9
4.1	Bacchereto (Tav.GT01).....	11
4.2	Carmignano (Tav.GT02).....	11
4.3	Comeana (Tav.GT03).....	11
4.4	Seano (Tav.GT04)	12
5	Le prove HVSR.....	12
5.1	Brevi cenni sulla tecnica HVSR.....	12
5.2	Attrezzatura	14
5.3	Elaborazione	14
5.4	Monografie misure HVSR.....	16
5.4.1	Bacchereto.....	16
5.4.2	Carmignano	17
5.4.3	Comeana	18
5.4.4	Seano.....	21
5.4.5	Alcune considerazioni generali sui dati HVSR nelle aree indagate.....	25
6	La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), delle frequenze fondamentali e della pericolosità sismica locale Tavv.MS01/02/03/04)	25
6.1	La legenda delle carte MOPS	26
6.1.1	Zone stabili	27
6.1.2	Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.....	28
6.1.3	Zone suscettibili di instabilità.....	29
6.1.4	Frequenze fondamentali delle coperture da prove HVSR.....	30
6.2	Le carte MOPS del territorio comunale di Carmignano	32
6.2.1	Bacchereto (Tav.MS01)	32
6.2.2	Carmignano (Tav.MS02)	33
6.2.3	Comeana (Tav.MS03).....	34
6.2.4	Seano (Tav.MS04)	35

Indagini di microzonazione sismica

1 Premessa

Risulta ormai largamente riconosciuto che la microzonazione sismica (MS) è uno strumento molto utile per il governo del territorio, per la progettazione e per la pianificazione per l'emergenza ai fini della prevenzione sismica e della valutazione del rischio sismico.

La microzonazione sismica ha infatti lo scopo di individuare e riconoscere, ad una scala sufficientemente di dettaglio (comunale o sub comunale), le condizioni geologiche locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso (ampiezza dello scuotimento) o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture.

I risultati dello studio di MS sono sintetizzati in una carta del territorio nella quale sono indicate:

- le **zone stabili**, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base (valori di accelerazione indicati negli allegati alle NTC 2008 – d.m. 14.01.2008);
- le **zone stabili suscettibili di amplificazione sismica**, dove il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche (presenza di coperture sedimentarie) e/o morfometriche del territorio (pendenze versanti, creste, valli strette, ecc.), anche sepolte;
- le **zone suscettibili di instabilità**, cioè suscettibili di attivazione/riattivazione di fenomeni di deformazione permanente del terreno indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazioni superficiali, cedimenti differenziali, ecc.).

Il documento tecnico di riferimento per la realizzazione degli studi di MS è rappresentato dagli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (di seguito indicato con la sigla ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome opportunamente integrato dalle “Specifiche tecniche regionali per l’elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica” approvate con la delibera GR Toscana n.261/2011 e aggiornate con la delibera GRT n.741/2012.

Gli ICMS individuano tre livelli di approfondimento, con complessità ed impegno crescenti, in funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi degli studi di MS:

- **livello 1**, propedeutico ai successivi studi di MS, consiste in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e di informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Il prodotto finale è la carta delle “Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)”;
- **livello 2**, con il quale si introduce l’elemento quantitativo associato alle zone omogenee (MOPS) mediante metodologie di analisi numerica di tipo semplificato (abachi regionalizzati, modellazione 1D, leggi empiriche) e l’esecuzione di ulteriori e più mirate indagini. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della “Carta di Microzonazione Sismica”;
- **livello 3**, rappresenta il livello più approfondito che permette di giungere ad una microzonazione del territorio basata su metodologie analitiche di tipo quantitativo. L’elaborato conclusivo dello studio è la “Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti”.

La normativa regionale della Toscana (d.P.G.R n.53R/2011 “Regolamento di attuazione dell’art.62 della L.R. n.51/2005 in materia di indagini geologiche”) prevede, come supporto agli strumenti urbanistici, la redazione obbligatoria di uno studio di microzonazione di **livello 1 “pesante”** (Tabella 1), dove ai contenuti dello studio di primo livello degli ICMS si aggiungono misure di microtremori (HVSr) realizzate in campagna per integrare l’informazione, sostanzialmente bibliografica, con una valutazione qualitativa delle frequenze fondamentali dei depositi sedimentari e delle amplificazioni attese del moto sismico, in modo da ottenere una informazione già di buona significatività per le attività di pianificazione.

Tabella 1 – indagini, analisi ed elaborati del livello 1 di MS (da del.GRT 741/2012)

LIVELLO 1	
INDAGINI OBBLIGATORIE	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Raccolta di tutti i dati pregressi esistenti nell’area:</u> rilievi geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, indagini geofisiche, sondaggi e stratigrafie desunte da pozzi; • <u>Rilevamenti geologici di controllo sul terreno;</u> • <u>Nuove indagini: Esecuzione di ulteriori indagini geofisiche e geotecniche,</u> qualora la raccolta dei dati pregressi non consenta la ricostruzione di un quadro conoscitivo sufficientemente attendibile rispetto agli obiettivi del livello 1; • <u>Misura passive del rumore ambientale,</u> mediante tecnica a stazione singola;
ANALISI ED ELABORAZIONI	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Sintesi dei dati e delle cartografie disponibili;</u> • <u>Rilettura, sintesi dei dati ed eventuali nuovi rilievi geologici.</u>
PRODOTTI OBBLIGATORI	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Carta delle indagini</u> (sia esistenti che di nuova realizzazione); • <u>Carta geologico-technica per la microzonazione sismica</u> almeno alla scala 1:5.000-1.10.000; • <u>Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)</u> almeno alla scala 1:5.000-1.10.000; • <u>Relazione tecnica illustrativa della carta MOPS;</u> • <u>Carta delle frequenze fondamentali dei depositi.</u>

Il principale elaborato a fini pianificatori previsto nel livello 1 pesante è la “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)”, che individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in relazione all’acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geognostici e di indagini geofisiche, è possibile individuare la possibile occorrenza delle diverse tipologie di effetti prodotti dall’azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.).

Di particolare importanza a questo scopo risulta la ricostruzione del modello geologico-technico dell’area che dovrà focalizzarsi sulle “coperture” (depositi detritici, sedimenti sciolti, coltri di alterazione) e sulla individuazione dei litotipi che possono rappresentare il substrato rigido (ovvero quei litotipi caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S – convenzionalmente assunta superiore a 800 m/sec - significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti); in particolare dovrà essere realizzata una stima approssimativa della profondità del substrato rispetto al piano di campagna e del contrasto di impedenza sismica atteso all’interfaccia deposito/substrato.

Le finalità degli studi di MS di livello 1 sono quindi:

- individuare il modello geologico di sottosuolo preliminare;
- definire le tipologie di effetti attesi;
- individuare qualitativamente le aree che necessitano di approfondimenti.

L’individuazione delle microzone a diversa propensione di amplificazione della risposta sismica di base fornisce pertanto un supporto conoscitivo della pericolosità sismica locale che permette di orientare le scelte pianificatorie alla scala dello strumento urbanistico comunale e di definire in dettaglio la tipologia di indagini geologico-geofisiche che dovranno essere messe in atto per le varie tipologie di intervento edilizio.

Infine la normativa regionale accoglie e impone la proposta del Gruppo di Lavoro MS (rapporto interno del Dipartimento Protezione Civile – 2011) per una valutazione del livello di qualità della carta MOPS, attraverso una procedura semi-quantitativa multiparametrica, nella quale vengono sommati gli apporti dei vari parametri delle conoscenze di base che contribuiscono alla costruzione della carta MOPS (Tabella 2).

Tabella 2 - Quadro riassuntivo dei parametri e dei relativi indicatori con l'attribuzione dei pesi e dei punteggi (da Del. GRT n.741/2012)

Parametro (peso parametro)	Peso Indicatore	Indicatore	Valutazione indicatore (punteggio)			
			Nulla (0)	Bassa (0.33)	Media (0.66)	Alta (1)
Carta geologico-tecnica (1)	0.33	Anno rilevamento	No data	< 2000		> 2000
	0.33	Progetto	No data	Altro	Allegato piano urbanistico	Ad hoc
	0.33	Scala rilevamento	No data	50.000-26.000	25.000-11.000	10.000-2.000
Sondaggi a distruzione (0.50)	0.33	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a distruzione	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Sondaggi a carotaggio continuo (1)	0.33	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Indagini geofisiche (0.50)	0.33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da indagini	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Percentuale indagini che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Prove geotecniche in situ (Prove Penetrometriche, ecc.) e di laboratorio (0.25)	0.33	Numero di prove	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da prove	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Misure delle frequenze del sito (0.75)	0.33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Classe di affidabilità misure (Albarelo et alii)*	No data	Classe A < 33%	Classe A 34-66%	Classe A >66%

* D. Albarello, C. Cesi, V. Eulilli, F. Guerrini, E. Lunedei, E. Paolucci, D. Pileggi, L.M. Puzilli - Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macroaree abruzzesi. In stampa su Boll.Geofis.Teor.Appl.

La procedura di valutazione di qualità della cartografia è usata:

- in fase di predisposizione dello studio di MS di livello 1 dal soggetto realizzatore, al fine di poter valutare se il quadro conoscitivo desunto sia sufficiente per la redazione dello studio di MS di livello 1 o se al contrario debbano essere effettuati approfondimenti di indagine, anche in relazione alla complessità geologico-tecnica dell'area;
- in fase di controllo sui risultati prodotti, da parte del soggetto validatore (ufficio del Genio Civile competente), come strumento di ausilio e supporto in fase istruttoria.

1.1 I prodotti dello studio di MS 1° livello

Come individuato dalla normativa regionale (vedi Tabella 1) i prodotti attesi dallo studio di MS sono sostanzialmente di tipo cartografico, accompagnati da una relazione tecnica illustrativa:

- a) carta delle indagini,
- b) carta geologica-tecnica per la microzonazione sismica,
- c) carta delle frequenze fondamentali dei depositi,
- d) carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS),
- e) relazione tecnica illustrativa (il presente documento).

Rispetto agli elaborati previsti le cartografie sono state accorpate due a due, ritenendo tali accoppiamenti utili per una lettura più completa dei risultati non essendo la simbologia utilizzata eccessivamente pesante da rendere difficile la lettura: per quanto riguarda le cartografie delle “indagini” e “geologico-tecnica” è stata valutata più utile la predisposizione di un unico elaborato che permettesse una visione combinata dei due tematismi per rendere esplicita la qualità dell’informazione diretta (indagini) nella individuazione delle informazioni litologiche; la carte “frequenze”, realizzata sulla base delle misure sveditive di rumore (HVSr), è stata unita alla carta “MOPS” per una migliore visione delle caratteristiche delle microzone omogenee (unitamente alle colonne stratigrafiche tipo).

Per ciascuna delle quattro aree per gli studi di MS individuate per il territorio comunale di Carmignano (vedi capitolo successivo) sono state redatte le relative cartografie in scala 1:5.000. I capitoli seguenti illustrano le modalità di redazione dei vari elaborati previsti e le considerazioni da essi desumibili per lo specifico territorio comunale di Carmignano preso in esame, allo scopo di entrare poi nelle classi di pericolosità sismica che supportano gli studi geologici per la redazione del Regolamento Urbanistico.

2 Selezione e delimitazione delle aree di indagine

La predisposizione degli studi di dettaglio di microzonazione sismica prevede preliminarmente l’individuazione degli areali entro i quali tali approfondimenti devono essere sviluppati; infatti lo studio MS non si estende a tutto il territorio comunale, ma unicamente alle zone urbanizzate o fortemente infrastrutturate.

I criteri per la delimitazione delle aree di indagine sono contenuti nel capitolo 1B1.2 “Criteri per la delimitazione delle aree per la realizzazione della cartografia geologica, geomorfologica, litologico-tecnica” delle Istruzioni tecniche del Programma VEL e sostanzialmente combinano aspetti morfologici, geologici e antropici di interesse ai fini della valutazione degli effetti locali.

Per il territorio comunale di Carmignano le aree da studiare sono state individuate e delimitate nell’ambito della riunione del 04.04.2012 tra i professionisti incaricati e i tecnici della Regione Toscana del Coordinamento regionale prevenzione sismica e dell’Ufficio del Genio Civile di Prato, facendo riferimento alla cartografia di tipo geologico esistente e quindi in relazione alle problematiche geologiche individuate.

I principali elementi antropici, in ordine di priorità, sui quali si è ulteriormente basata la delimitazione sono i seguenti:

1. numero degli abitanti delle frazioni;
2. edifici pubblici e strategici;
3. centri storici;
4. aree industriali;
5. aree urbane in espansione;
6. viabilità.

Le aree di interesse, riportate in tutti gli elaborati cartografici, riguardano Carmignano (capoluogo) – La Serra – Santa Cristina e le frazioni di Bacchereto, Comeana e Seano.

L’incontro con i tecnici della Regione Toscana ha permesso anche di definire la tipologia ed il numero delle indagini geofisiche (misure HVSr) necessarie per poter idoneamente sviluppare una cartografia MOPS di

adeguato livello qualitativo e per la predisposizione della carta delle frequenze naturali dei terreni (come previsto per il livello 1 “pesante” normato dalla Regione Toscana).

Un successivo incontro in data 12.10.2012, a valle della campagna di indagini HVSR e del completamento della raccolta dei dati esistenti, ha permesso di validare e confermare definitivamente le indicazioni sulla delimitazione delle aree e sulle indagini di approfondimento concordate nella riunione preliminare svoltasi ad aprile.

3 La raccolta dati geognostici esistenti

La raccolta dei dati esistenti è consistita nel reperimento presso l’archivio dell’Ufficio Tecnico del Comune di Carmignano delle indagini geognostiche realizzate in tutto il territorio comunale come supporto alle pratiche edilizie del periodo 2002-2012 (quelle relative agli anni precedenti erano già disponibili come corredo agli strumenti urbanistici esistenti).

Inoltre, grazie alla disponibilità del dr.geol.Andrea Reggiannini dell’Ufficio del Genio Civile di Prato è stato possibile reperire ulteriori 26 indagini geofisiche di supporto a pratiche depositate presso il Genio Civile stesso.

Infine è stata anche interrogata la banca dati sulle perforazioni profonde e sui pozzi messa a disposizione da ISPRA, rilevando 29 stratigrafie significative per l’intero territorio comunale.

Il totale delle informazioni raccolte ed utilizzate per l’intero territorio comunale è sintetizzato nella tabella seguente.

Tabella 3 – Dati geognostici e geofisici disponibili per l’intero territorio comunale con individuazione delle prove che hanno raggiunto il substrato

	tipo indagine	num indagini	num substrato
intero territorio comunale	Penetrometria dinamica	107	5
	Penetrometria statica con punta meccanica	321	2
	Penetrometria statica con piezocono	6	
	Sondaggio a carotaggio continuo	39	24
	Pozzo profondo	28	25
	Trincea esplorativa	77	71
	Profilo sismico a rifrazione	32	27
	MASW	17	6
	Microtremore HVSR	36	

Nella successiva Tabella 4 sono riportati, per ciascuna area di approfondimento di microzonazione sismica, il relativo numero di indagini geognostiche e geofisiche presenti e di quelle che hanno raggiunto il substrato.

Come si può notare le indagini di gran lunga prevalenti sono di tipo penetrometrico (statiche o dinamiche) che forniscono di per sé una scarsa informazione ai fini della MS.

L’integrazione delle informazioni mediante la realizzazione di misure di microtremore in campagna, ha permesso di arrivare comunque ad un quadro informativo di base adeguato alla predisposizione delle carte MOPS, come testimoniato dalle valutazioni di qualità riportate nel successivo capitolo 7.

Tabella 4 – Dati geognostici e geofisici disponibili per le quattro aree di approfondimento con studi di MS, con individuazione di quelli che hanno raggiunto il substrato

zona	tipo indagine	num indagini	num substrato
Bacchereto	Penetrometria dinamica	13	
	Penetrometria statica con punta meccanica	3	
	Sondaggio a carotaggio continuo	4	4
	Trincea esplorativa	3	3
	Profilo sismico a rifrazione	5	5
	Microtremore HVSR	5	
Carmignano	Penetrometria dinamica	17	
	Penetrometria statica con punta meccanica	4	1
	Sondaggio a carotaggio continuo	4	4
	Pozzo profondo	8	8
	Trincea esplorativa	20	19
	Profilo sismico a rifrazione	5	5
	MASW	6	1
	Microtremore HVSR	8	
Comeana	Penetrometria dinamica	32	
	Penetrometria statica con punta meccanica	80	
	Penetrometria statica con piezocono	2	
	Sondaggio a carotaggio continuo	12	5
	Pozzo profondo	2	2
	Trincea esplorativa	25	23
	Profilo sismico a rifrazione	6	6
	MASW	4	2
	Microtremore HVSR	9	
Seano	Penetrometria dinamica	25	
	Penetrometria statica con punta meccanica	224	
	Sondaggio a carotaggio continuo	5	4
	Pozzo profondo	5	2
	Trincea esplorativa	9	8
	Profilo sismico a rifrazione	8	3
	MASW	4	2
	Microtremore HVSR	14	

3.1 Range di velocità P e S per le varie litologie

L'esame delle indagini geofisiche raccolte ha permesso di pervenire alla definizione di range di variabilità delle velocità delle onde P e V per le varie litologie presenti. La qualità delle indagini svolte non è apparsa sempre sufficientemente adeguata, incrociando i risultati con i dati ottenuti da altri tipi di prospezione disponibili nell'area; pertanto i valori riportati vanno considerati con prudenza soprattutto sui valori estremi o singolari.

In Tabella 5 sono riportati i valori riscontrati nelle varie indagini divisi per litologia e, nel caso di coperture, differenziando i materiali di copertura e di substrato (dedotti incrociando le informazioni geologiche e geologico-tecniche disponibili).

Tabella 5 – Sintesi relativa alle velocità delle onde P e S riscontrate nelle indagini geofisiche raccolte

INDAGINI GEOFISICHE COME COMUNE CARMIGNANO [Vp e Vs per litologia]

n.prova	località	formazione	litologia	substrato	tipo ind	1			2			3			4			NOTE
						h	Vp	Vs	h	Vp	Vs	h	Vp	Vs	h	Vp	Vs	
259	Bacchereto	CAOTICO	complesso caotico e olistostromi	CAOTICO	rifrazione	2	560-720		2	1100-1300		-	2000-3200					
299	Bacchereto	MACIGNO	arenarie con argilliti e siltiti	MACIGNO	rifrazione	3-5	500-600		-	1000-1100								
300	Bacchereto	MACIGNO	arenarie con argilliti e siltiti	MACIGNO	rifrazione	2-3	500-600		-	1000-1100								
362	Bacchereto	CAOTICO	complesso caotico e olistostromi	CAOTICO	MASW	2-3	620-760		-	1400-2800								
363	Bacchereto	CAOTICO	complesso caotico e olistostromi	CAOTICO	MASW	3-6	500-600		-	2600-3100								
364	Bacchereto	CAOTICO	complesso caotico e olistostromi	CAOTICO	rifrazione	1	300-400		2	620-650		-	1730-2800					
371	Seano	alluvioni recenti su mgL	limi e alluvioni recenti	MACIGNO/LONDA	rifrazione	6,3	207	3,4	207	249	3,4	346						480
375	Seano	fluvio-lacustre su Caot	sabbie e argille	SILLANO	rifrazione	2	190	1,1	309	309	4,3	371						850
387	Seano	CAOTICO	complesso caotico e olistostromi	CAOTICO	MASW	4,6	490	3,15	2,9	1400	700	2430	1100					
404	Bacchereto	GABBRI	complesso caotico e olistostromi	GABBRI	rifrazione	5,8	260			604								
421	Bacchereto	GABBRI	gabbri	GABBRI	rifrazione	2	355			1355								
422	Carmignano	MARNE S.POLO	marne e marne con argilliti	MARNE S.POLO	rifr omog	1	330-790		2,3	1510-1640								
422	Carmignano	MARNE S.POLO	marne e marne con argilliti	MARNE S.POLO	rifr omog	1	400-520		4,5	1260-1400								
470	Carmignano	CAOTICO	complesso caotico e olistostromi	CAOTICO	rifrazione	1,5	300-360		3,4	740-780								3000
504	Comeano	ALBERESE	calcarei marnosi	ALBERESE	rifrazione	1,2	130-420		2,3	900-1420								3500
537	Comeano	ALBERESE	calcarei marnosi	ALBERESE	rifrazione	1,2	230-380		3,4	920-1240								
574	Comeano	MACIGNO	arenarie con argilliti e siltiti	MACIGNO	rifrazione	1,2	420-590	170-270	5,8	1650-2750	1090-1310							
603	Comeano	ALBERESE	calcarei marnosi	ALBERESE	rifrazione	1	310-600	170-220	5,8	930-1450	420-520							
603	Comeano	ALBERESE	calcarei marnosi	ALBERESE	rifrazione	1	420-580		3,4	750-1170								
604	Comeano	ALBERESE	calcarei marnosi	ALBERESE	rifrazione	1	320-440		3,4	770-1360								
619	Comeano	fluvio-lacustre su Caot	sabbie e argille	SILLANO	rifrazione	10	400	19-20	400	800	25-30	1200						
620	Comeano	fluvio-lacustre su Caot	sabbie e argille	SILLANO	rifrazione	12-15	400	25-30	400	800	40-45	1200						
636	Comeano	fluvio-lacustre su Caot	sabbie e argille	SILLANO	MASW	11	130-250	11		300-380								
637	Seano	ALBERESE	calcarei marnosi	ALBERESE	MASW	10	230-330	4		500								
638	Comeano	CAOTICO	complesso caotico e olistostromi	CAOTICO	MASW	5	200-350			650-750								
639	Seano	alluvioni recenti su Caot	limi e alluvioni recenti	CAOTICO	rifrazione	3	300-400	4-6	1600-1970	380-410								
640	Seano	CAOTICO	complesso caotico e olistostromi	CAOTICO	MASW	8	353-446	4		667								
641	Comeano	fluvio-lacustre su Caot	sabbie e argille	CAOTICO	rifrazione	6-8	873			2152								
642	Carmignano	MACIGNO	arenarie con argilliti e siltiti	MACIGNO	MASW	7	250-300			450								
643	Seano	alluvioni recenti su mgL	limi e alluvioni recenti	MACIGNO/LONDA	rifrazione	1,5	210-380	150-180	7-10	1070-1270	230-260							
644	Seano	fluvio-lacustre su Caot	sabbie e argille	CAOTICO	rifrazione	1,5	340-370	160-190	3-4	590-1230	310-500							
646	Seano	CAOTICO	complesso caotico e olistostromi	CAOTICO	rifrazione	1	270-330	100-170	4	760-880	290-410							
647	Seano	alluvioni recenti su mgL	limi e alluvioni recenti	MACIGNO/LONDA	MASW	10	190-235	9,5		280-330								
648	Seano	alluvioni recenti su Caot	limi e alluvioni recenti	CAOTICO	rifrazione	2	250-350	110-150	4	840-1320	230-390							
650	Carmignano	MACIGNO	arenarie con argilliti e siltiti	MACIGNO	MASW	2	190			315-380								
651	Carmignano	MACIGNO	arenarie con argilliti e siltiti	MACIGNO	rifrazione	1,2	385-426		4,6	922-1482								
652	Carmignano	MACIGNO	arenarie con argilliti e siltiti	MACIGNO	rifrazione	1,2	338-450		4,6	513-574								
653	Bacchereto	GABBRI	gabbri	GABBRI	MASW	5,5	230-286	7,5		425-584								
654	Carmignano	CAOTICO	complesso caotico e olistostromi	CAOTICO	rifrazione	1	300-420	180-210	4-5	790-1370	350-660							
655	Carmignano	MARNE S.POLO	marne e marne con argilliti	MARNE S.POLO	MASW	4	223-290	7		367-489								
656	Carmignano	MACIGNO	arenarie con argilliti e siltiti	MACIGNO	rifrazione	1	100-188		2,4	805								
657	Seano	fluvio-lacustre su Caot	sabbie e argille	CAOTICO	rifrazione	1	320	200	14-18	810	430							
660	Carmignano	MACIGNO	arenarie con argilliti e siltiti	MACIGNO	MASW	6	180-240	8		358								
661	Proggio Mela	MACIGNO	arenarie con argilliti e siltiti	MASW+rif	MASW	2	220-410	186	8	644-1031	496							
664	Carmignano	MACIGNO	arenarie con argilliti e siltiti	MACIGNO	MASW	3	407	2,5		746	2,9							1263
665	Comeano	fluvio-lacustre su Caot	sabbie e argille	SILLANO	MASW	4,5	227-308	6		456								
666	Carmignano	MARNE S.POLO	marne e marne con argilliti	MARNE S.POLO	MASW	6,5	338-401	5		520								
667	Carmignano	MACIGNO	arenarie con argilliti e siltiti	MACIGNO	rifrazione	2-3	250-600	190-260	-	1500-2000	1050-1220							
668	Carmignano	CAOTICO	complesso caotico e olistostromi	CAOTICO	MASW	4	225	8		320								

Ciascuna verticale di indagine è suddivisa in max 4 orizzonti, per evidenziare i valori delle velocità delle onde P e S in eventuali orizzonti di alterazione o litologici differenti (in corrispondenza delle coperture)

In Tabella 6 sono poi riportati i range riscontrati per ciascuna litologia, che possono costituire un utile punto di riferimento nella programmazione delle indagini geofisiche (tipologia, estensione, ecc.) che dovranno accompagnare le fasi esecutive degli interventi edilizi.

I valori riscontrati per la Formazione di Sillano e per quello che viene definito Complesso Caotico sono stati raccolti insieme in quanto il Complesso Caotico rappresenta la Formazione di Sillano (o termine corrispondente, genericamente chiamato anche “Complesso di base”) là dove la stessa ha funzionato da orizzonte di sovrascorrimento per le sue elevate caratteristiche di plasticità (orizzonti prevalentemente siltitico-argilliti); poiché tutta la zona di indagine è interessata da complessi episodi di sovrascorrimento delle formazioni della Falda Toscana e della Falda Ligure, non appare possibile effettuare a priori una distinzione netta fra le zone più francamente tettonizzate (Complesso Caotico) e quelle meno disturbate (Formazione di Sillano) e quindi è parso preferibile raccogliere insieme tutti i dati disponibili segnalando la particolare variabilità di tale tipo di substrato.

Tabella 6 – Range di variabilità delle velocità P e S nei litotipi presenti nell’area di studio riscontrati dall’esame delle indagini geofisiche disponibili dalla raccolta dati esistenti

	orizzonte alterazione					roccia in posto				NOTE
	spessore	Vp min	Vp max	Vs min	Vs max	Vp min	Vp max	Vs min	Vs max	
Formazione di M.Morello [ALBERESE]	1-4 m	200	1400	200	500	1800	3500	700	1200	
Complesso Caotico e Formazione di Sillano	3-8 m	300	700	150	400	1100	3200	600	1200	
Macigno	2-4 m	200	800	170	500	1000	2400	600	1200	
Marne di S.Polo	2-6 m	300	700	200	500	1200	2900	600	800	<i>pochi dati</i>
Fluvio lacustre-alluvioni recenti [3-20 m]	1-5 m	200	400	100	250	800	2000	250	400	

4 La Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica e delle indagini (Tavv.GT01/02/03/04)

La cartografia di base geologico-tecnica per la microzonazione sismica, prevista per giungere alla definizione della carta MOPS, è stata sviluppata in scala 1:5.000 per ciascuna delle quattro aree del comune.

È stata prodotta integrando, a scala di dettaglio, le cartografie geologiche, geomorfologiche e litotecniche prodotte per lo studio di supporto al Piano Strutturale unitamente a tutti i dati litologici, stratigrafici e litotecnici acquisiti con la raccolta dati (per i dettagli descrittivi degli elaborati di Piano si rimanda alla specifica relazione illustrativa dello studio geologico).

Particolare cura è stata rivolta ad individuare, anche attraverso rilevamenti di controllo in loco, la delimitazione dei depositi di copertura (con riferimento a quelli con spessore maggiore di 3 metri) e la ricostruzione delle forme geomorfologiche (in particolare dei fenomeni gravitativi di versante e delle aree instabili) nonché nella individuazione del substrato roccioso.

Ciascuna carta è corredata da alcune sezioni geologico-tecniche orientate sia trasversalmente che longitudinalmente rispetto ai principali elementi geologico-strutturali dell’area, al fine di permettere una migliore descrizione e una più immediata comprensione del modello geologico di sottosuolo.

La legenda delle carte, studiata in prospettiva sismica, prevede l’accorpamento delle informazioni sia geologico formazionali che litologiche in unità che presentano una risposta analoga alla sollecitazione sismica; pertanto le informazioni risultano sintetizzate e il numero di “tipi” geologico-tecnici è ridotto rispetto alle carte descrittive geologiche s.l. o esplicative delle modalità di comportamento geomeccanico legate alla litologia anche a scala ridotta.

In particolare le informazioni sul substrato geologico sono state raccolte in due tipologie:

- *flysh calcarei e arenacei con alternanze di litotipi, stratificati* [ALS alternanze di litotipi, stratificati della legenda ICMS 2008 versione 2.0] che comprende tutte le formazioni francamente lapidee e che quindi presentano una risposta alla sollecitazione sismica di tipo sostanzialmente rigido, quali Formazione del Macigno, del Macigno di Londa o di Cervarola, delle Marne di S.Polo, di M.Morello (o Alberese), Gabbri, Basalti e Serpentiniti;
- *substrato non rigido, con assetto caotico, molto fratturato* [NR substrato geologico non rigido della legenda ICMS 2008 versione 2.0] – raccoglie le formazioni con litologie che presentano un comportamento “plastico” alla scala della sollecitazione sismica e che quindi possono non rappresentare un substrato sismico in termini di velocità delle onde S (Vs), quali il Complesso Caotico, la Formazione di Sillano (in zona generalmente molto fratturata) e le breccie più o meno cementate.

Per quanto riguarda le coperture, le informazioni di carattere geologico-tecnico hanno permesso di considerarle omogenee, sempre alla scala del sisma (cioè dove gli spessori di orizzonti a differente valori di rigidità e di impedenza sismica assumono significatività se superiori ai 5-10 metri e con continuità areale estesa). In particolare:

- nelle due aree di indagine dove si rilevano depositi fluvio-lacustri e alluvionali recenti (Comeana e Seano) le coperture sono state attribuite mediamente alle *sabbie argillose, miscela di sabbia e limo di bacino intramontano [SCin]* della legenda proposta negli ICMS 2008 e s.m.i.; infatti si tratta di depositi granulometricamente molto variabili, connessi ad ambienti deposizionali che hanno visto nel tempo rapide variazioni di competenza delle correnti fluide di trasporto dei sedimenti. I depositi generatisi presentano quindi una elevata variabilità sia verticale che orizzontale, in spazi ristretti, delle dimensioni granulometriche e delle tessiture che comunque alla scala della sollecitazione sismica possono essere ritenuti omogenei (come confermato anche dalle misure di microtremore che non mostrano picchi intermedi nel corpo sedimentario di copertura).
- per le zone di Bacchereto e Carmignano, le coperture sono invece costituite da falde detritiche o corpi di frana se con spessori superiori a 3m; in tal caso la granulometria dei materiali risulta più grossolana avendo subito un trasporto molto limitato e attribuibile alle *ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla* degli ICMS 2008 di falda detritica [GCfd].

La carta riporta anche l'individuazione e la natura delle indagini esistenti, integrandole con le nuove indagini di microtremore a stazione singola (HVSR) effettuate appositamente per il presente studio.

Le informazioni relative alle indagini sono state utilizzate per la verifica di qualità prevista dalla “procedura semiquantitativa” delle Specifiche tecniche regionali per la microzonazione sismica allegata alla Del.GRT.n.741/2012, come meglio dettagliato nel successivo capitolo 6.

Di seguito vengono brevemente riportate alcune considerazioni relative a ciascuna delle quattro aree del Comune.

4.1 Bacchereto (Tav.GT01)

L'abitato di Bacchereto si sviluppa in una zona complessa di sovrascorrimento ove vengono a contatto formazioni Liguridi (Formazione M.Morello, Formazione di Sillano, Complesso Caotico) con quelle della Falda Toscana (Macigno). Le formazioni in posto risultano ovunque sub-affioranti, coperte da modeste coltri di alterazione con spessori massimi di qualche metro.

Dal punto di vista morfologico l'abitato si sviluppa su una sorta di ampia cengia sub-pianeggiante orientata NO-SE, posta a mezza costa di un versante con immersione, a tratti accentuata, in direzione NE; la direzione SO-NE è anche quella delle principali linee di fratturazione e quindi anche dei maggiori impluvi del reticolo idrografico.

Le coperture detritico-colluviali sono concentrate nelle zone di impluvio a minor pendenza (spesso zone di accumulo di movimenti gravitativi che hanno interessato spessori non rilevanti della roccia in posto alterata o fratturata) e presentano spessori massimi intorno ai 3-4 metri (rilevati con prove dirette e indirette).

4.2 Carmignano (Tav.GT02)

Come per l'abitato di Bacchereto, anche Carmignano si sviluppa in una zona complessa di sovrascorrimento ove vengono a contatto formazioni Liguridi (Formazione M.Morello, Complesso Caotico) con quelle della Falda Toscana (Macigno di Londa, Marne di S.Polo).

Le aree urbanizzate si sviluppano su due crinali ortogonali principali, impostati sulle litologie più tenaci (Macigno di Londa, Marne di S.Polo, Formazione di M.Morello), mentre le parti di fondovalle, non urbanizzate, insistono sul Complesso Caotico; le scarse indagini dirette presenti nell'area, confermano la presenza di coperture detritico-colluviali di spessori modesti (dell'ordine di 1-2 metri) e solo localmente si rinvencono spessori di alterazione della roccia in posto che possono raggiungere i 7-8 metri (come anche confermato da alcune delle prospezioni di sismica attiva disponibili).

4.3 Comeana (Tav.GT03)

L'urbanizzazione di Comeana si sviluppa prevalentemente nella fascia di raccordo fra le ultime propaggini sud-orientali della dorsale del Monte Albano e la pianura fiorentina. La geologia di superficie della zona è attribuita ai depositi fluvio-lacustri che terminano verso SO sui rilievi impostati sulla Formazione di M.Morello. La geometria ed i rapporti reciproci tra le formazioni presenti al di sotto dei depositi fluvio-lacustri appare legata alle complesse fasi tettoniche che, nella zona, hanno portato al sovrascorrimento (embriciato e spesso con ripetizioni delle serie) dei complessi Liguridi sulle formazioni della Falda Toscana. Le sezioni geologiche disegnate trasversalmente alle strutture geologiche principali descrivono, pur con dubbi interpretativi sulla precisa localizzazione e sulle pendenze delle superfici di sovrascorrimento e dei contatti tettonici, l'andamento sepolto del substrato dei depositi lacustri. Tale ricostruzione ha tenuto conto sia del "raccordo" con i rilievi geologici dei comuni contermini (Poggio a Caiano, Signa e Lastra a Signa) sia dei purtroppo rarissimi dati di indagini dirette, sia infine della interpretazione delle prove HVSR specificatamente realizzate. Si assiste pertanto, da SO verso NE, al susseguirsi di tre "fasce" con andamento appenninico (NE-SO) costituite dalla Formazione di M.Morello, dal Complesso Caotico e dal Macigno di Londa. Lo spessore ricostruito dei depositi fluvio-lacustri, la cui base costituisce in genere l'interfaccia con il substrato sismico (meno evidente quando insistono sul Complesso Caotico), varia da qualche metro a circa 20 metri procedendo da SO verso NE. I dati diretti che evidenziano il raggiungimento del substrato sono solo 4 e tutti localizzati nel margine SO della zona ricompresa nello studio. Negli areali impostati sul substrato lapideo affiorante (dorsale sudorientale) gli spessori delle coperture detritico-colluviali raggiungono valori modesti dell'ordine di 1-2 metri.

La delicatezza della definizione delle zone di substrato caratterizzate dal Complesso Caotico (cioè da prevalenti litologie siltitico-argillitiche fortemente tettonizzate) risiede nel fatto che esso difficilmente raggiunge valori di V_s che lo facciano intendere come substrato sismico ("bedrock"), creando quindi delle zone all'interno dell'area di pianura che risponderanno in modo presumibilmente differente al sisma rispetto a zone con substrato più rigido e V_s più elevata (Formazione di M. Morello e Macigno di Londa) dove maggiore sarà l'effetto di amplificazione dello scuotimento dovuto all'elevato contrasto di impedenza.

4.4 Seano (Tav.GT04)

L'abitato principale si sviluppa sulla pianura costituita da alluvioni recenti depositatesi in sequenza su lembi residuali dei depositi fluvio-lacustri dell'ampio bacino Firenze-Prato-Pistoia. Al di sotto dei depositi, che presentano spessori mai superiori a qualche decina di metri (approfondendosi da SO verso NE), si trovano, da SO verso NE, tre fasce distinte con orientamento appenninico: una prima fascia appartenente alla Formazione del Macigno di Londa, alla quale succede una fascia impostata sul Complesso Caotico (sulla quale si sviluppa l'abitato principale di Seano) seguita infine da una fascia nuovamente impostata sul Macigno di Londa (loc. Campiglioli, Bussolaio e zona industriale). La presenza delle tre fasce è stata ricostruita sia basandosi sulla continuità del contesto geologico presente nel limitrofo comune di Poggio a Caiano, sia sulla base delle prove HVSR di seguito descritte.

5 Le prove HVSR

Come più volte ricordato, la normativa della Regione Toscana prescrive già al livello 1 della MS la predisposizione di misure di microtremore a stazione singola; infatti queste misure permettono di avere, già a questa scala di approfondimento, dati quali-quantitativi per l'individuazione di possibili fenomeni di amplificazione della sollecitazione sismica e una misura della frequenza fondamentale di vibrazione dei depositi (che costituisce una indicazione di particolare importanza per la valutazioni di possibili fenomeni di risonanza dei manufatti e quindi della necessità di assumere particolari accorgimenti progettuali o escludere particolari tipologie costruttive in aree specifiche).

La campagna di misure strumentali è stata realizzata nell'ambito dei quattro centri abitati individuati, distribuendo i punti di indagine in modo uniforme in ciascuna area in esame, tenendo altresì conto della distribuzione delle altre indagini pregresse disponibili e delle condizioni di pericolosità geologica del sito.

5.1 Brevi cenni sulla tecnica HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticali del rumore sismico ambientale misurato nelle tre direzioni ortogonali del moto. Le *frequenze di risonanza naturali* corrispondono ai massimi della curva dei rapporti spettrali in funzione della frequenza. L'ampiezza di questi massimi è qualitativamente proporzionale all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

Considerazioni quali-quantitative, derivanti da valori mediamente osservati, permettono di poter assumere (alla scala dello studio di MS Livello 1) che la frequenza di risonanza f_0 di una copertura sedimentaria di spessore H sovrapposta a un basamento rigido e 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 , (cioè $f_0 = V_s/4H$); è quindi possibile risalire dalla frequenza di risonanza misurata all'ordine di grandezza dello spessore H della copertura una volta nota la velocità delle onde di taglio (V_s) o, viceversa, a quest'ultima se lo spessore H è noto.

La misura della funzione H/V richiede l'acquisizione del rumore sismico ambientale in un singolo punto per tempi dell'ordine di diverse decine di minuti, allo scopo di garantire la misura del campo di rumore generato da una molteplicità di sorgenti dalle diverse direzioni dello spazio. La misura viene effettuata utilizzando un sistema di acquisizione tri-direzionale caratterizzato da sufficiente sensibilità. I dati raccolti sono quindi analizzati per determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore misurate sul piano orizzontale e verticale.

Sono anche stati sviluppati specifici test statistici per valutare l'adeguatezza delle condizioni sperimentali alle richieste del metodo (Sesame, 2002) ai quali si aggiungono ulteriori criteri "fisici" (D.Albarellò e S.Castellaro: *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola* – Ingegneria Sismica n.2/2011) per giungere ad una classificazione delle misure utile a fornire una indicazione immediata circa la qualità della singola misura H/V, con lo scopo di aiutare gli operatori nella fase interpretativa e nel confronto con altri dati osservati: la classificazione costituisce non tanto un elemento per scartare misure che non raggiungono requisiti ritenuti adeguati, quanto un *warning* per avvisare l'operatore sulla necessità di approfondire, attraverso correlazioni con altre misure (sia dirette sia indirette) e una visione di area più ampia, il risultato della singola prova.

L'interpretazione delle curve H/V risulta agevole in condizioni di stratificazione piano parallela e in presenza di contrasti di impedenza significativi alla base dello strato sedimentario. Il progressivo allontanamento da queste condizioni rende sempre più problematico l'utilizzo dei dati H/V per caratterizzare il sottosuolo a partire da *modelli interpretativi semplici* (da cui l'ausilio dei warning della classificazione di qualità delle misure); pertanto entrano in gioco *criteri interpretativi* che cercano di mettere a sistema tutte le informazioni geologiche dirette ed indirette disponibili per lo specifico luogo in esame.

Le misure HVSR ai fini della MS di livello 1 si prestano a due ordini di interpretazioni:

- *qualitativo* – l'insieme dei dati ottenuti permette di identificare le aree dove esistono fenomeni di risonanza sismica nel campo delle frequenze di interesse ingegneristico (0.5-10 Hz – cioè il range di frequenze di risonanza di edifici e manufatti);
- *semi-qualitativo* – alle misure sono associate stime grossolane sia dello spessore delle coperture responsabili del fenomeno della risonanza, sia dell'entità del contrasto di impedenza responsabile degli effetti osservati (vedi abachi preliminari di Tabella 7); questo tipo di risultato non sostituisce un'analisi di dettaglio, ma ha lo scopo (sotto stretto controllo geologico) di fornire indicazioni preliminari sulla struttura di sottosuolo e dare indicazioni per orientare le indagini successive di approfondimento.

Tabella 7 – Abachi preliminari per una stima semi-qualitativa dello spessore coperture (a) e dell'entità del contrasto sismico (b)

f_0 (Hz)	h (m)	
< 1	> 100	Centinaia di metri
1 – 2	50 – 100	
2 – 3	30 – 50	
3 – 5	20 – 30	Decine di metri
5 – 8	10 – 20	
8 – 20	5 – 10	
> 20	< 5	Qualche metro

a)

b)

<p>H/V >3 Alto contrasto</p> <p>2<H/V<3 Basso Contrasto</p>
--

5.2 Attrezzatura

Le prove HVSR eseguite per questo studio si è utilizzato uno specifico strumento con le seguenti caratteristiche:

- Sismografo SR04S3 GeoBox della ditta Sara Electronic Instruments di Perugia, equipaggiato con tre velocimetri con frequenza 4,5Hz.
- Alimentazione: 10-16Vdc o da batteria interna < 1W
- Numero canali: 3 a 24 bit ($\Sigma\Delta$)
- Range dinamico: 124dB (144dB, 24 bit effettivi [enob], fra 0.1 e 10Hz)
- Campionamento: simultaneo sui tre canali
- Sampling rates: da 10-600 Hz
- Real Time Clock: +/-10ppm (-20/+50°C)
- Precisione rispetto a UTC: <50 μ s
- Formato dati: protocollo binario SADC20HS
- Velocità: 115200 baud

5.3 Elaborazione

Le elaborazioni delle registrazioni effettuate sono state eseguite con il software Geopsy 2.9.0 (software opensource sviluppato e mantenuto da un team nato con il progetto internazionale Sesame e coordinato da Marc Wathelet).

Per la verifica della rispondenza ai criteri statistici definiti dal progetto Sesame in merito alla affidabilità della registrazione, opportunamente completati con i criteri definiti da Albarello-Castellaro 2011, viene utilizzato uno specifico foglio di calcolo le cui uscite sono riportate nelle schede relative a ciascuna misura effettuata (in Appendice).

L'elaborazione dei dati prevede che per ciascuna misura vengano individuati i picchi di H/V significativi da analizzare singolarmente per rilevarne la significatività anche in chiave di qualità della misura.

Le schede di output di ciascuna misura riportano le informazioni "di campagna" del sito oggetto di indagine (fig.1a, redatta sulla base degli standard proposti nel progetto Sesame), le principali assunzioni adottate per l'analisi delle registrazioni e quindi i risultati "grafici" dell'elaborazione (fig.1b) e la verifica del soddisfacimento dei criteri per giungere all'attribuzione della classe di qualità della misura e ai valori qualitativi su profondità del substrato e contrasto di impedenza (fig.1c, elaborati secondo i criteri Sesame, i criteri aggiuntivi Albarello-Castellaro e sulla base degli abachi preliminari di Tabella 7).

In accordo con i tecnici della Regione Toscana del Coordinamento regionale prevenzione sismica, dai criteri statistici proposti dal progetto Sesame è stato escluso il "V C" in quanto probabilmente formulato in maniera non corretta (le schede di output comunque riportano il calcolo di tale parametro, anche se non è tenuto in conto per la definizione della classe di qualità della misura).

Là dove siano presenti più picchi in un'unica registrazione, l'elaborazione prevede una prima scansione della registrazione su tutto il range di frequenze significative comprese fra 0.2 Hz e 50 Hz (sempre allegata al fine di rendersi conto della forma del grafico H/V), quindi una successiva scansione con range di frequenze campionate più ristretto (intorno al picco relativo) per evidenziare le caratteristiche dello specifico picco di interesse e valutare la qualità della misura in quello specifico range.

SEANO - prova 2

località: **SEANO** data: **26/07/2012** ora: **17:55:31**

operatore: **Peruzzi - Mantovani**

latitudine: **43,83262N** longitudine: **11,02968E** quota s.l.m.: **37,5**

nome stazione: **prova 2** orientamento strumento rispetto al Nord: **59°**

tipo stazione: **SARA SR04HS** tipo sensori: **velocimetri 4,5 Hz**

nome file: **MT_20120726_175531.SAF**

gain: _____ freq.campion.[Hz]: **300** durata rec. [mm:ss]: **30.00**

condizioni meteo

VENTO assente debole (5m/s) medio forte Misurato _____

PIOGGIA assente debole medio forte Misurato _____

temperatura (°C approx) _____ Note: _____

natura terreno appoggio

terra dura soffice ghiaia sabbia roccia erba bassa alta

asfalto cemento calcestruzzo pavimentato altro _____

suolo asciutto suolo umido Note: _____

accoppiamento artificiale al suolo: no si, tipologia _____

densità edifici: nessuno dispersi addensati altro, tipologia _____ capannoni industriali _____

transienti:

	nessuno	pochi	moderati	molto	molto densi	distanza [m]
automobili						5
camion		X				5
pedoni	X					5
altro						

fonti di rumore monocromatico (fabbriche, cantieri lavori, pompe, corsi d'acqua, ecc.): no si, tipologia _____ probabile pompa _____

strutture nelle vicinanze: (descrizione, altezza, distanza) aerei, sondaggi, edifici, ponti, strutture sotterranee, ...

note:

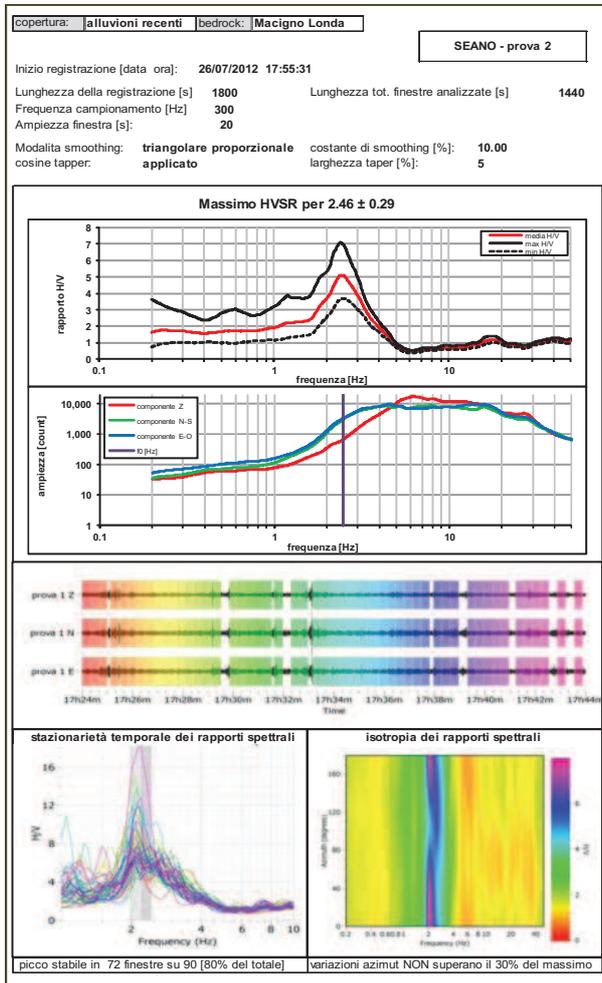
- si sente il rumore di una pompa ma non si riesce ad individuare; sembra che non interferisca significativamente;

- raffiche di vento



a)

Figura 1 – schede di output dell'elaborazione misure HVSR



b)

SEANO - prova 2

CRITERI PROGETTO SESAME

Criteri per una curva HVSR affidabile [R]
[devono essere soddisfatti tutti]

i R	$f_0 > 10 / L_w$	2.47	>	0.50	ok
ii R	$n_c(f_0) > 200$	3554	>	200	ok
iii R	$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	eccede su 0		251 punti	ok

Criteri per un picco HVSR chiaro [C]
[è stato escluso il criterio vC: almeno 4 su 5 devono essere soddisfatti]

i C	esiste f' in $[f_0/4, f_0]$ $A_{HV}(f') < A_0 / 2$	1.661	Hz		ok	
ii C	esiste f'' in $[f_0, 4f_0]$ $A_{HV}(f'') < A_0 / 2$	3.542	Hz		ok	
iii C	$A_0 > 2$	5.09		>	2	ok
iv C	$f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.026		<	0.05	ok
v C	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.29344		<	0.12342	no
vi C	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.388		<	1.58	ok

L_w	larghezza della finestra [s]	20
n_w	numero di finestre utilizzate per l'analisi [num]	72
$n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$	numero di cicli significativi [num]	3554
f_0	frequenza di picco HV [Hz]	2.47
f	frequenza	
σ	deviazione standard della frequenza di picco di HV [Hz]	± 0.29
$\varepsilon(f_0)$	valore soglia per condizioni di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ - vedi tabella sotto	0.12
A_0	ampiezza del picco HV alla frequenza f_0	5.09
$A_{HV}(f)$	ampiezza della curva HV alla frequenza f	
f^-	frequenza fra $f_0/4$ e f_0 per la quale $A_{HV}(f^-) < A_0/2$	
f^+	frequenza fra f_0 e $4f_0$ per la quale $A_{HV}(f^+) < A_0/2$	
$\sigma_A(f_0)$	deviazione standard di A_0	± 1.38
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{HV}(f)$	
$\sigma_{logHV}(f)$	deviazione standard della curva log $A_{HV}(f)$	
$\theta(f_0)$	valore soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ - vedi tabella sotto	1.58

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $s_A(f_0)$	3	2.5	2	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logHV}(f_0)$	0.48	0.4	0.3	0.25	0.2

[specifiche da Guidelines for the implementation of the HV spectral ratio technique on ambient vibrations - measurements, processing and interpretations. SESAME European research project, deliverable D23.12, 2005.]

ULTERIORI CRITERI Del.GRT n.261/2011
(vedi D. Altairello et alii "Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macroaree abruzzesi" - Boll. Geofis. Teor. Appl.)

1. Stazionarietà temporale	ok	CLASSE A
2. Isotropia	ok	
3. Assenza disturbi elettromagnetici	ok	SOTTOCLASSE Tipo 1
4. Plausibilità fisica	ok	
5. Robustezza statistica (*)	ok	Valutazioni qualitative prof. contrasto: 30-50 m [decine di metri] contrasto: ALTO
6. Durata	ok	

(*) su roccia o alluvioni con basamento sismico molto profondo, non avendo picco tale condizione non è soddisfatta, ma si può considerare la misura attendibile se confermata da ripetizione misura

c)

5.4 Monografie misure HVSR

Nei paragrafi seguenti si discutono sinteticamente gli aspetti significativi, le considerazioni e le valutazioni che emergono dall'esame delle misure effettuate per le quattro aree comunali interessate dall'indagine di MS.

La visione d'insieme per ciascuna area permette di inquadrare correttamente ciascuna singola misura nel contesto più ampio e quindi con il contributo di una interpretazione svolta su più punti e con più riferimenti connessi alle stratigrafie da indagini dirette disponibili (sebbene purtroppo non numerose).

Le considerazioni sono di carattere "stratigrafico", inquadrando le risposte delle prove con le conoscenze geologiche disponibili (individuazione di modeste coperture e zone di detensionamento superficiale per alterazione), ma divengono sostanziali, dal punto di vista "ingegneristico", là dove i picchi di risonanza rientrano nel range di frequenze di vibrazione di edifici e manufatti (0.5-10 Hz) per le implicazioni dirette che possono avere con fenomeni di risonanza delle strutture.

5.4.1 Bacchereto

L'areale di indagine comprende la frazione di Bacchereto (734 abitanti), posta nella porzione nord-occidentale del territorio comunale.

Totale misure effettuate: 5

Geologia: L'abitato di Bacchereto si sviluppa in una zona complessa di sovrascorrimento ove vengono a contatto formazioni Liguridi (Formazione M.Morello, Formazione di Sillanno, Complesso Caotico) con quelle della Falda Toscana (Macigno); morfologicamente si tratta di una sorta di ampia cengia sub-pianeggiante orientata NO-SE, posta a mezza costa di un versante con immersione, a tratti accentuata, in direzione NE; la direzione SO-NE è anche quella delle principali lineazioni e quindi degli impluvi; le coperture detritico-colluviali sono concentrate nelle zone di impluvio a minor pendenza e presentano spessori massimi (rilevati con prove dirette e indirette) intorno ai 3-4 metri.

Interpretazione delle misure:

assunzioni generali: la presenza di litotipi lapidei sub-affioranti e di spessori di coperture modesti ha indotto ad impostare le elaborazioni delle prove concentrando l'attenzione sugli eventuali picchi presenti alle alte frequenze per caratterizzare i depositi superficiali e gli orizzonti di alterazione.

prova 1: misura affidabile (classe A1), massimo risonante evidente intorno a 17.5 Hz con contrasto di impedenza basso ($A_0=2.34$); in accordo con le evidenze di superficie e dei dati diretti disponibili, la modesta "copertura", dell'ordine dei 5-10 metri, può essere interpretata come orizzonte di alterazione della roccia in posto rappresentata dai calcari-marnosi della Formazione di M.Morello.

prova 2: misura affidabile (classe C, ma senza picco su substrato in affioramento), l'elaborazione evidenzia un massimo relativo, fortemente direzionale, alle basse frequenze che non rappresenta comunque un picco significativo, ma appare riconducibile agli effetti 2D di versante; l'orizzonte di alterazione sul substrato litoide, rappresentato dal Complesso Caotico, appare di spessore irrilevante ai fini sismici.

prove 3 e 4: analoghe alla prova 2, anche se in questo caso il substrato è costituito dal Macigno. Nella prova 4 si evidenzia un picco a frequenze molto alte (44.17 Hz) che si riferisce alla esigua copertura di alterazione, ma che assume una connotazione direzionale connessa presumibilmente alla morfologia di "cresta" del sito di misura.

prova 5: misura di classe B2 (affidabile considerando il contesto), massimo risonante intorno a 14.6 Hz con contrasto di impedenza molto basso ($A_0=1.83$); in accordo con i dati disponibili, la copertura dell'ordine di 5-10 metri può essere ricondotta all'orizzonte di alterazione della formazione in

posto del Complesso Caotico; l'elaborazione evidenzia un secondo massimo relativo, fortemente direzionale, alle basse frequenze che non rappresenta comunque un picco, ma appare riconducibile agli effetti 2D di versante.

considerazioni conclusive: le misure effettuate confermano la presenza in tutto l'areale di "bedrock" sub-affiorante, con spessori di coltre di alterazione/colluvium che localmente possono raggiungere la potenza di qualche metro, come confermato anche dai dati delle indagini sismiche e geognostiche presenti nell'area; non risultano presenti effetti di amplificazione significativi dovuti agli orizzonti di alterazione, che presentano frequenze di risonanza al di fuori del "range" significativo per gli edifici ed i manufatti (nell'intervallo "ingegneristico" non sono di fatto presenti amplificazioni).

I picchi marcatamente direzionali e generalmente molto "frastagliati" presenti alle basse frequenze (che danno caratteristiche figure ad "occhio") appaiono riconducibili ad effetti 2D connessi alla morfologia particolarmente direzionale della zona (creste e valli) e presumibilmente alla presenza delle superfici di sovrascorrimento che mettono a contatto substrati lapidei a comportamento relativamente differente (una sorta di "morfologia" sepolta).

5.4.2 Carmignano

L'areale di indagine comprende le frazioni di Carmignano capoluogo (1.960 abitanti), La Serra (596 abitanti) e S.Cristina (467 abitanti). I tre abitati principali, collegati da una serie di località minori, si sviluppano lungo la viabilità principale su crinali interni al territorio comunale, disposti a formare una sorta di V rovesciata.

Totale misure effettuate: 8

Geologia: Come per l'abitato di Bacchereto, anche Carmignano si sviluppa in una zona complessa di sovrascorrimento ove vengono a contatto formazioni Liguridi (Formazione M.Morello, Complesso Caotico) con quelle della Falda Toscana (Macigno di Londa, Marne di S.Polo); le aree urbanizzate si sviluppano su due crinali ortogonali principali, impostati sulle litologie più tenaci (Macigno di Londa, Marne di S.Polo, Formazione di M.Morello), mentre le parti di fondovalle, non urbanizzate, insistono sul Complesso Caotico; le scarse indagini dirette presenti nell'area, confermano la presenza di coperture detritico-colluviali di spessori modesti (dell'ordine di 1-2 metri) e solo localmente si rinvencono spessori di alterazione della roccia in posto che possono raggiungere i 7-8 metri (come anche confermato da alcune delle prospezioni di simica attiva disponibili).

Interpretazione delle misure:

assunzioni generali: anche in questo caso, la presenza di litotipi lapidei sub-affioranti e di spessori di coperture modesti ha indotto ad impostare le elaborazioni delle prove concentrando l'attenzione sugli eventuali picchi presenti alle alte frequenze per caratterizzare i depositi superficiali.

prova 1: misura affidabile considerando il contesto (classe B1), massimo risonante evidente intorno a 32-33 Hz con contrasto di impedenza basso ($A_0=2.87$); l'elaborazione ha confermato, in accordo con le evidenze di superficie e dei dati diretti disponibili, che la modesta "copertura" dell'ordine dei 5 metri può essere interpretata come orizzonte di alterazione della roccia in posto rappresentata dalle Marne di S.Polo.

prova 2: misura affidabile considerando il contesto (classe B2), l'elaborazione evidenzia un modesto massimo relativo, ma sostanzialmente il diagramma è piatto, confermando la condizione di roccia in posto affiorante (Marne di S.Polo).

prove 3: classe B2, analoga alla prova 1, però con picco relativo molto poco accentuato ($A_0=1.48$) alla frequenza di 13-14 Hz, riconducibile alla fascia di alterazione del Macigno di Londa che sembrerebbe raggiungere uno spessore relativamente maggiore che nelle altre prove.

prova 4: misura di classe C (affidabile considerando il contesto), con massimo risonante alle alte frequenze (intorno a 50 Hz) molto direzionale proprio a causa della superficialità dell'interfaccia copertura/bedrock impostata alla quota di passaggio colluvium/Macigno di Londa.

prova 5: misura di classe C (affidabile considerando il contesto), con picco risonante sostanzialmente assente (quello evidenziato dall'elaborazione appare correlabile ad effetti 2D ben evidenti su tutto il tracciato compreso fra 2 e 20 Hz); prova su bedrock affiorante costituito da Macigno di Londa.

prova 6: misura affidabile di classe A1, con picco risonante alle frequenze di 7-8 Hz non particolarmente accentuato ($A_0=2.21$); presente un disturbo elettromagnetico intorno ai 20 Hz che sembrerebbe influenzare i rapporti H/V nella fascia limitrofa di frequenze (abbassamento); le evidenze di campagna confermano che la prova si sviluppa su bedrock affiorante (Formazione di M.Morello), il picco apparirebbe riconducibile al passaggio litologico fra termini siltitico-marnosi e i sottostanti più francamente calcarei (individuato anche nel vicino pozzo n°564) o ad una fascia di detensionamento dovuta a fratturazione dei materiali dell'ordine della decina di metri di spessore.

prova 7: misura affidabile di classe A1, con picco risonante a 20 Hz ben evidente ($A_0=4.82$); la parziale direzionalità del picco appare riconducibile alla estrema superficialità del contrasto (qualche metro) attribuibile al passaggio fra alterazione/colluvium e bedrock costituito dal Complesso Caotico; misura sostanzialmente piatta.

prova 8: misura affidabile considerando il contesto (B2), con picco evidente intorno a 10 Hz ($A_0=3.47$) all'interfaccia fra porzione alterata e bedrock costituito dal Complesso Caotico; la sequenza di picchi minori alle frequenze inferiori a 10 Hz potrebbe essere riconducibile all'assetto complesso rilevabile nel Caotico (come appare anche in altre misure effettuate sulla medesima unità formazionale nelle varie zone di indagine del comune – vedi Comeana e Seano).

considerazioni conclusive: le misure effettuate confermano la presenza in tutto l'areale di bedrock sub affiorante, con spessori di coltre di alterazione che localmente possono raggiungere valori di qualche metro, come confermato anche dai dati delle indagini sismiche e geognostiche presenti nell'area; non risultano presenti effetti di amplificazione significativi dovuti agli orizzonti di alterazione.

I picchi marcatamente direzionali e generalmente molto "frastagliati" presenti in quasi tutte le misure alle basse frequenze (che danno caratteristiche figure ad "occhio") appaiono riconducibili ad effetti 2D connessi alla morfologia particolarmente direzionale della zona (creste e valli) e presumibilmente alla presenza delle superfici di sovrascorrimento che mettono a contatto substrati lapidei a comportamento relativamente differente (una sorta di "morfologia" sepolta).

5.4.3 Comeana

L'area di indagine comprende tutta la porzione di pianura dell'abitato di Comeana, oltre alle località che si spingono sulla dorsale che borda la pianura a SO (Il Cortile, Cerveta, Le Farnete, Le Falene, Le Corti, Il Colombaione, Le Fonti, La Rivolta) per un totale di 2.531 abitanti.

Totale misure effettuate: 9

Geologia: L'abitato di Comeana si sviluppa prevalentemente nella fascia di raccordo fra le ultime propaggini sud-orientali della dorsale del Monte Albano e la pianura fiorentina. La geologia di superficie della zona è attribuita ai depositi fluvio-lacustri che terminano verso SO sui rilievi impostati sulla Formazione di M.Morello. La geometria ed i rapporti reciproci tra le formazioni presenti al di sotto dei depositi fluvio-lacustri appare legata alle complesse fasi tettoniche che, localmente, hanno portato al sovrascorrimento

(embriciato e spesso con ripetizioni delle serie) dei complessi Liguridi sulle formazioni della Falda Toscana. Le sezioni geologiche disegnate trasversalmente alle strutture geologiche principali descrivono, pur con dubbi interpretativi sulla precisa localizzazione e sulle pendenze delle superfici di sovrascorrimento e dei contatti tettonici, l'andamento del substrato dei depositi lacustri. La ricostruzione ha tenuto conto sia del "raccordo" con i rilievi geologici dei comuni contermini (Poggio a Caiano, Signa e Lastra a Signa) sia dei purtroppo rarissimi dati di indagini dirette, sia della interpretazione delle prove HVSR. Si assiste pertanto, da SO verso NE, al susseguirsi di "fasce" con andamento appenninico costituite da Formazione di M. Morello, Complesso Caotico e Macigno di Londa. Lo spessore ricostruito dei depositi fluvio-lacustri, la cui base costituisce in genere l'interfaccia con il substrato sismico (meno evidente quando insistono sul Complesso Caotico), varia da qualche metro a circa 20 metri procedendo da SO verso NE. I dati diretti che evidenziano il raggiungimento del substrato sono solo 4 e tutti localizzati nel margine SO della zona ricompresa nello studio. Nelle porzioni impostate su substrato lapideo affiorante (dorsale sudorientale) gli spessori delle coperture detritico-colluviali raggiungono spessori modesti (dell'ordine di 1-2 metri). La delicatezza della definizione delle zone di substrato caratterizzate dal Complesso Caotico (cioè da prevalenti litologie siltitico-argillitiche fortemente tettonizzate) risiede nel fatto che esso difficilmente raggiunge valori di V_s che lo facciano intendere come substrato sismico, creando quindi delle zone all'interno dell'area di pianura che risponderanno in modo presumibilmente differente al sisma rispetto a zone con substrato più rigido e V_s più elevata (Formazione di M. Morello e Macigno di Londa).

Interpretazione delle misure:

assunzioni generali: le scarse informazioni dirette sul sottosuolo e la complessa geologia locale (spesso ricostruita con interpretazioni non particolarmente concordi nei diversi fogli del CARG consultati) hanno indotto a cercare di trovare risposte nella attenta interpretazione delle misure HVSR, valutate anche sulla base di considerazioni sviluppate per la zona di Seano (vedi paragrafo successivo) dove più chiari appaiono i confini fra formazioni in posto con V_s sismicamente bassa (Complesso Caotico) e con V_s elevata (Formazione di M. Morello, Macigno di Londa). In particolare diviene rilevante, mantenendo il più possibile criteri standard di acquisizione e analisi delle misure per avere risultati confrontabili, utilizzare i valori di ampiezza di picco per poter discriminare fra substrati differenti al di sotto dei sedimenti di copertura della porzione di pianura.

Occorre infine aggiungere che la forte e diffusa concentrazione industriale, soprattutto di aziende di filature e tessiture con cicli lavorativi continui h24 che producono significativi disturbi di frequenza ai valori di interesse ingegneristico, ha reso particolarmente difficoltosa l'acquisizione di misure sufficientemente chiare per un'analisi pienamente soddisfacente.

prove 1 e 9: misure affidabili di classe A1, delle quali la seconda (9) è stata realizzata fuori dall'area di indagine proprio per allontanarsi dal disturbo elettromeccanico dei telai industriali per avere conferma di quanto osservato nella prova 1. Il massimo risonante è ben evidente intorno a 3-5 Hz (testimoniando un graduale approfondimento passando dalla 1 alla 9, in concordanza con il modello di sottosuolo ipotizzato), con contrasto di impedenza ben marcato ($A_0 > 5$); l'elaborazione conferma le ipotesi di ricostruzione del sottosuolo, dove l'interfaccia fra litotipi a risposta sismica francamente differente (alto contrasto) risulta a profondità comprese tra 20-30 metri con approfondimento verso il centro della pianura. Gli alti valori del rapporto H/V indicano la presenza di un substrato che, in accordo con le interpretazioni geologiche di superficie, fanno propendere per la Formazione del Macigno di Londa (ancorchè non esistano riscontri diretti).

prove 2 e 10: misure molto differenti benchè sviluppate nello spazio di circa 100 metri. La 2, di classe C, non presenta un picco netto e mostra ampie evidenze direzionali riconducibili ad effetti 2D presumibilmente riconducibili anche a morfologie sepolte (particolare l'estrema somiglianza della

misura con la prova 3, impostata su Formazione di M.Morello affiorante su crinale di dorsale); la 10, effettuata successivamente come verifica alla 2, risulta una misura affidabile di classe A1 e presenta un picco "largo" evidente intorno a 7 Hz (un picco circoscritto e poco intenso appare intorno a 15 Hz, ma è riconducibile a un disturbo elettromagnetico – come confermato anche dalla spiccata direzionalità) e un andamento complessivo della registrazione che sembrerebbe indicare il comportamento rilevato nelle aree di conclamata presenza di Complesso Caotico. La complessa storia tettonica della zona potrebbe forse spiegare la coesistenza delle due misure nel ristretto spazio di un centinaio di metri. Mancando però qualunque riscontro diretto di sottosuolo, l'interpretazione geologica effettuata correlando i rilievi geologici dei comuni di Poggio a Caiano, Carmignano, Lastra a Signa e Signa (per cercare di trovare riferimenti anche nelle aree contermini a Comeana) indurrebbe ad interpretare come più plausibile la misura 10 che indicherebbe la presenza di Complesso Caotico al di sotto di un modesto spessore (dell'ordine della decina di metri) di depositi fluvio-lacustri.

prove 3 e 4: misure sostanzialmente "piatte" (anche se la 4 presenta un picco molto superficiale – 42 Hz - da ricondurre alla coltre di alterazione/colluvium di qualche metro di spessore); entrambe appaiono affidabili se considerate nel contesto; confermano la presenza della roccia sub-affiorante della Formazione di M.Morello e la presenza locale di modestissime coltri di alterazione/colluvium.

prova 5: misura affidabile considerando il contesto (B2), con picco evidente intorno a 8 Hz ($A_0=2.6$) all'interfaccia fra deposito fluvio-lacustre e bedrock costituito dal Complesso Caotico (ad una profondità di poco superiore alla decina di metri, come risulterebbe anche dalle sezioni interpretative); la sequenza di picchi minori alle frequenze inferiori potrebbe essere riconducibile all'assetto complesso rilevabile nel Caotico (come appare anche in altre misure fatte in zona sulla medesima unità formazionale).

prova 6: misura affidabile nel contesto (B2), molto simile alla precedente anche se il picco appare meno accentuato; la frequenza del picco a circa 7 Hz è plausibile con la profondità attesa dell'interfaccia depositi fluvio-lacustri Complesso Caotico; l'ampiezza del rapporto H/V di picco ($A_0=3.07$) conferma la presenza dell'interfaccia ad una profondità dell'ordine della decina di metri, plausibile con il contesto interpretativo locale.

prova 7: ancora una misura affidabile nel contesto (B2), con la caratteristica forma dello spettro delle aree con bedrock costituito dal Complesso Caotico (sequenza di piccoli picchi alle medie frequenze); presenta un picco superficiale (48 Hz) di intensità $A_0=3.36$. Salvo il più modesto spessore della copertura, che qui è dell'ordine di qualche metro, la forma appare molto simile a tutte le altre prove (5, 6 e 10) effettuate sul medesimo contesto.

prova 8: la prova appare molto disturbata dalla presenza delle attività industriali; successivi tentativi per ottenere un risultato più soddisfacente non hanno permesso di ottenere registrazioni migliori (attività industriale h24). Viene comunque riportata perché, se analizzata nel contesto generale dell'area di indagine, assume un suo significato di conferma delle indicazioni provenienti dai rilievi geologici di superficie. La forma del grafico dello spettro H/V infatti conferma la forma a picchi modesti ricorrenti per frequenze inferiori a 10 Hz caratteristica del Complesso Caotico, mentre la porzione a frequenze superiori appare affetta da disturbi che rendono una interpretazione della misura francamente poco affidabile.

considerazioni conclusive: le misure effettuate confermano la presenza nella porzione sudorientale dell'area indagata (che insiste sulla Formazione di M.Morello) di bedrock sub affiorante, con spessori di coltre di alterazione che localmente possono raggiungere lo spessore di qualche metro, come confermato

anche dai dati delle indagini sismiche e geognostiche presenti nell'area; non risultano presenti effetti di amplificazione significativi dovuti agli orizzonti di alterazione.

I picchi marcatamente direzionali alle basse frequenze appaiono riconducibili ad effetti 2D connessi alla morfologia particolarmente direzionale della zona (dorsale).

Per quanto riguarda invece l'ampia porzione a pendenza minore e più densamente urbanizzata, dove affiorano i depositi fluvio-lacustri, poiché il substrato appare prevalentemente rappresentato da Complesso Caotico – Formazione di Sillano, non appaiono evidenti significativi picchi a testimoniare amplificazioni nel range delle frequenze ingegneristiche; solo nell'estrema porzione nord-orientale dell'areale di indagine, in corrispondenza di un bedrock più rigido (presumibilmente rappresentato dalla Formazione del Macigno di Londa), si assiste a fenomeni di amplificazione nelle coperture che possono assumere una valenza significativa anche in considerazione delle tipologie costruttive degli edifici industriali presenti e delle loro altezze.

Rimane comunque poco caratterizzata tutta la fascia di presunto affioramento dei depositi fluvio-lacustri sul Caotico: infatti nonostante le scarse indagini presenti e la non particolarmente chiara interpretazione del segnale in molte delle misure HVSR, sembrerebbe possibile indicare che il substrato Caotico-Sillano possa localmente essere sub-affiorante a testimoniare una morfologia articolata in promontori all'epoca della deposizione lacustre, che quindi si sarebbe realizzata non in modo uniforme su tutta l'area.

I picchi marcatamente direzionali e generalmente molto "frastagliati" presenti in quasi tutte le misure alle basse frequenze (che danno caratteristiche figure ad "occhio") appaiono riconducibili ad effetti 2D connessi alla morfologia particolarmente direzionale della zona (creste e valli) e presumibilmente alla presenza delle superfici di sovrascorrimento che mettono a contatto substrati lapidei a comportamento relativamente differente (una sorta di "morfologia" sepolta).

L'area di indagine, ancorché non siano generalmente presenti picchi significativi nel range di frequenze ingegneristiche nelle prove HVSR effettuate, mostra una variabilità di "risposta sismica" delle coperture molto accentuata anche nel raggio di poche decine di metri (passando anche bruscamente da condizioni senza un picco evidente ad altre con picchi in campi di frequenze di interesse dell'edilizia, anche se a contrasto di impedenza non particolarmente elevato), testimoniando un assetto di sottosuolo complesso. Appare possibile già in questa sede affermare che la variabilità che si realizza in distanze molto brevi e la scarsità di informazioni dirette che aiutino nella interpretazione generale dell'area devono presumere per tutta l'ampia area di affioramento dei depositi fluvio-lacustri un livello di approfondimento sulla risposta sismica locale nelle fasi di indagini legate alla progettazione di nuove strutture edilizie.

5.4.4 Seano

L'areale di indagine comprende tutta la pianura sulla quale si sviluppa l'abitato di Seano e le frazioni presenti a S-SO sui rilievi collinari che bordano la pianura. Complessivamente nell'area risiedono 5.111 abitanti, risultando il nucleo più grande del comune.

Totale misure effettuate: 14

Geologia: L'abitato principale si sviluppa sulla pianura costituita da alluvioni recenti depositatesi in sequenza con lembi residuali dei depositi fluvio-lacustri dell'ampio bacino Firenze-Prato-Pistoia. Al di sotto dei depositi, che presentano spessori mai superiori a qualche decina di metri (approfondendosi da SO verso NE), si trovano, da SO verso NE, tre fasce distinte con orientamento appenninico: una prima fascia appartenente alla Formazione del Macigno di Londa, alla quale succede una fascia impostata sul Complesso Caotico (sulla quale si sviluppa l'abitato principale di Seano) seguita infine da una fascia nuovamente impostata sul Macigno di Londa (loc.Campiglioli, Bussolaio e zona industriale). La presenza delle tre fasce è

stata ricostruita sia basandosi sulla continuità del contesto geologico presente nel limitrofo comune di Poggio a Caiano, sia sulla base delle prove HVSR di seguito descritte.

Interpretazione delle misure:

assunzioni generali: l'area di indagine ha interessato, nella porzione SO zone con presenza di litotipi lapidei sub-affioranti e di spessori di coperture modesti dove le elaborazioni delle prove sono state impostate concentrando l'attenzione sugli eventuali picchi presenti alle alte frequenze per caratterizzare i depositi superficiali; nella più ampia zona di pianura, ove maggiore risulta l'urbanizzazione, le elaborazioni sono state sviluppate prevalentemente allo scopo di individuare gli spessori delle coperture (disponendo di poche indagini dirette che raggiungono il substrato) e l'ampiezza del contrasto di impedenza fra substrato e coperture, al fine di fornire una valutazione qualitativa dell'amplificazione attesa alle frequenze del range di interesse ingegneristico.

Anche in questo caso per avere risultati confrontabili con le altre zone studiate del comune, sono stati mantenuti il più possibile criteri standard di acquisizione e analisi delle misure, utilizzando i valori di ampiezza di picco per poter discriminare fra substrati differenti al di sotto dei sedimenti di copertura della porzione di pianura.

Come per Comeana, la forte e diffusa concentrazione industriale, soprattutto di aziende (filature e tessiture) che producono significativi disturbi di frequenza ai valori di interesse ingegneristico e che hanno cicli continui h24, ha reso particolarmente difficoltosa l'acquisizione di misure sufficientemente chiare per un'analisi pienamente soddisfacente soprattutto nella fascia di pianura impostata sul Complesso Caotico dove il contrasto di impedenza è meno spiccato. Proprio a seguito di tale difficoltà le misure in alcune localizzazioni sono state ripetute più volte in ore e giorni differenti (prova bis, ter) per poi assumere quella il cui risultato appariva relativamente più chiaro per l'interpretazione.

prove 1, 2, 5 e 6: misure affidabili (classe A1), massimo risonante molto evidente intorno a 2-2.5 Hz con contrasto di impedenza elevato ($A_0=3.9-6.9$); buona rispondenza con le profondità attese della interfaccia coperture-substrato che anche da indagini dirette risulterebbe intorno a 30 m dal p.c.; le prove appaiono confermare e ben rappresentare la presenza nell'area di una copertura sostanzialmente omogenea (non sono presenti picchi secondari) che poggia su una formazione rigida quale quella del Macigno di Londa (la cui presenza si ricostruisce dalla geologia del comune di Poggio a Caiano). Le condizioni di prova appaiono quelle ideali di giacitura sub orizzontale ed alto contrasto di impedenza.

prova 4: misura affidabile considerando il contesto (classe B2), strettamente correlata alle precedenti dal punto di vista della interpretazione di sottosuolo, con picco a 3,7 Hz e $A_0=4.3$; l'interpretazione appare analoga alle misure precedenti, ma si evidenzia la presenza di un picco secondario alle basse frequenze, molto direzionale (figura ad "occhio" nel grafico isotropia dei rapporti spettrali) riconducibile a un probabile effetto 2D connesso alla vicina discontinuità tettonica che mette in contatto il Macigno di Londa con il Complesso Caotico (confermando l'effetto tipo "morfologia" sepolta visto anche nelle aree di indagine esaminate nei precedenti paragrafi, anche se impostate su contesti differenti – sui rilievi in assenza di coperture).

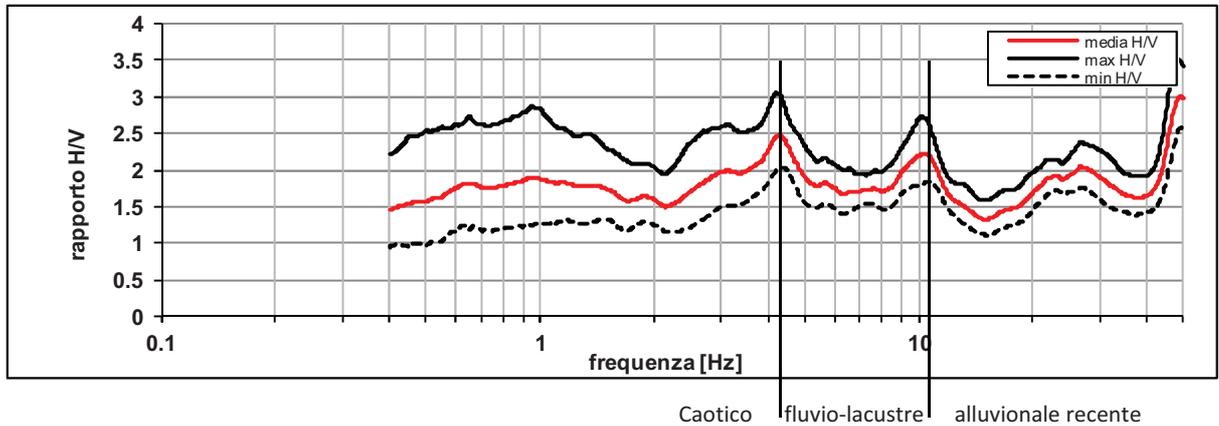
prove 3 e 3bis: misure affidabili considerando il contesto (classe B2), entrambe con picco intorno a 3-4 Hz (a testimoniare un approfondimento del substrato passando dalla 3 alla 3bis; contrasto abbastanza accentuato ($A_0=3.4$ in entrambe) ma inferiore alle prove precedenti; le prove appaiono affette da rumori presumibilmente connessi al traffico, che nell'elaborazioni si è cercato di filtrare; particolare è lo sviluppo della "coda" alle frequenze inferiori al picco: la presenza di una sequenza di ondulazioni nello spettro di frequenza anche se con variazioni di ampiezza modeste appare molto caratteristico e sembrerebbe riconducibile alla presenza del Complesso Caotico come

bedrock (è una forma del grafico che in zona si ritrova quasi sempre in corrispondenza del Caotico-Sillano, come già osservato per Comeana e in parte per Carmignano).

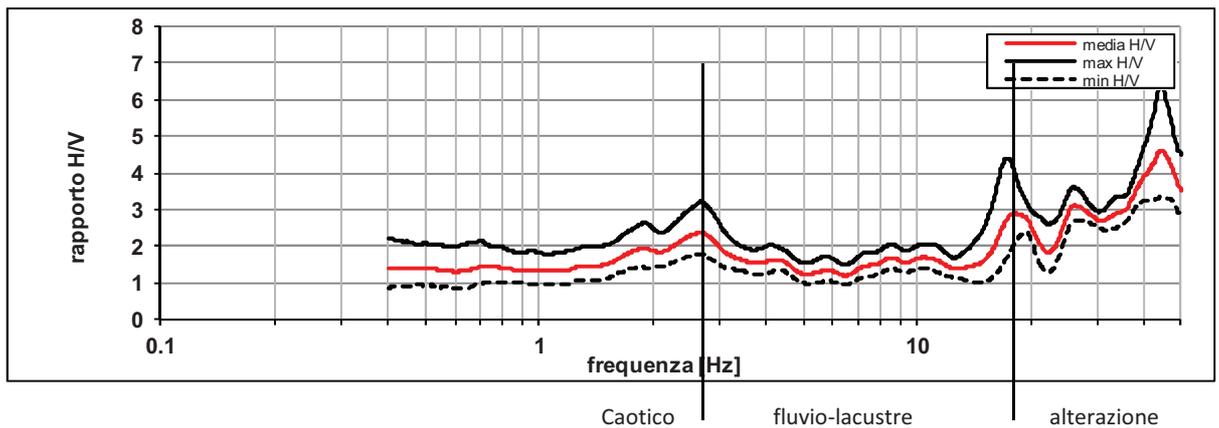
prove 7 e 9ter: misure che presentano un doppio picco, riconducibile alla presenza di una distinzione localmente più netta all'interno delle coperture, come interpretato nella successiva *Figura 2*.

Figura 2 – prove con doppio picco.

Prova 7



Prova 9ter



In entrambi i casi il picco significativo dal punto di vista ingegneristico è quello alle frequenze più basse, relativo al passaggio copertuta-Caotico che fornisce in entrambi i casi una classe di misura affidabile considerando il contesto (classe B2); la frequenza dei picchi più profondi, fra 3 e 4 Hz, appare compatibile con la ricostruzione stratigrafica dell'area; l'ampiezza $A_0=2.4-2.5$ risulta indicare un contrasto di impedenza non particolarmente elevato, confermando ancora la presenza del Complesso Caotico come substrato.

prove 8bis: misura molto disturbata ma che è stato possibile interpretare avendo verificato nel contesto generale che la frequenza molto ben delineata del disturbo dei telai non impediva comunque una interpretazione del picco stratigrafico (in linea con quanto osservato nelle altre misure effettuate nell'area); tagliando l'interpretazione dell'acquisizione al di sopra dei 7 Hz la misura risulterebbe affidabile considerando il contesto (classe B2); l'ampiezza del picco ($A_0=2.27$) conferma la presenza del Complesso Caotico come substrato; anche la "coda" del grafico alle frequenze inferiori al picco appare confermare la forma che tipicamente è stata rilevata in zona per il substrato Caotico.

prova 10bis: misura affidabile (classe A1), massimo risonante molto evidente intorno a 5.5 Hz con contrasto di impedenza elevato ($A_0=5.98$); buona rispondenza con le profondità attese della interfaccia coperture-substrato; la prova confermerebbe la presenza nell'area di una copertura sostanzialmente omogenea (non sono presenti picchi secondari) che poggia su una formazione rigida quale quella del Macigno di Londa (la cui presenza si ricostruisce dalla geologia dei rilievi limitrofi). Le condizioni di prova appaiono quelle ideali di giacitura sub orizzontale ed alto contrasto di impedenza.

prova 11: misura affidabile considerando il contesto (classe B2), con picco intorno a 23-25 Hz non particolarmente isolato e chiaro e con ampiezza $A_0=2.0$, riconducibile al passaggio da orizzonte alterato a roccia in posto; si nota la presenza di disturbi elettromagnetici presumibilmente connessi ai telai (intorno a 7 Hz) presenti nell'area; si riesce comunque ad individuare la forma tipica del grafico relativo a prove effettuate sul Complesso Caotico, confermato dalle evidenze geologiche superficiali della zona.

prova 12: come la precedente è stata effettuata su substrato affiorante; tale evenienza è confermata dalla classe C della misura che può essere comunque considerata affidabile considerando il contesto; si nota il disturbo dei telai alla frequenza di 7 Hz, che comunque non inficia l'interpretazione della misura opportunamente contestualizzata dal punto di vista geologico. Alle frequenze basse nel grafico della isotropia dei rapporti spettrali appare una blanda figura ad "occhio" da ricondurre agli effetti 2D, già osservati per altre misure, connessi alla vicina discontinuità che mette in contatto il Caotico con le formazioni più rigide del Macigno di Cervarola e delle Marne di S.Polo. Appare quindi confermata la presenza di un substrato affiorante.

prova 13: misura affidabile considerando il contesto (classe B2), con picco intorno a 32-33 Hz e con ampiezza $A_0=2.14$, riconducibile al passaggio da orizzonte alterato a roccia in posto; la misura conferma la presenza di roccia sub affiorante, in particolare del Macigno di Londa (come da rilievo geologico); presenza di figure fortemente direzionali che indicano la presenza di effetti 2D riconducibili ad effetti morfologici relativi alla posizione sul terminale di un crinale piuttosto accentuato.

considerazioni conclusive: per quanto riguarda i rilievi presenti nella porzione sud-occidentale dell'area indagata, le misure effettuate confermano la presenza bedrock sub affiorante, con spessori di oltre di alterazione che localmente possono raggiungere lo spessore di qualche metro, come confermato anche dagli scarsi dati delle indagini geognostiche presenti nell'area; non risultano presenti effetti di amplificazione significativi dovuti agli orizzonti di alterazione.

I picchi marcatamente direzionali alle basse frequenze appaiono riconducibili ad effetti 2D connessi sia alla morfologia particolarmente direzionale della zona (dorsale) sia alle significative discontinuità tettoniche che mettono a contatto rocce con caratteristiche elastiche sostanzialmente differenti (Complesso Caotico e Sillano da una parte e complessi flyshoidi stratificati rigidi – Macigno di Londa e Marne di S.Polo – dall'altro).

Nell'ampia zona di pianura, densamente urbanizzata, dove affiorano i depositi fluvio-lacustri e fluviali, si osservano con particolare evidenza i comportamenti nettamente differenti delle due tipologie di substrato presenti (ancora Complesso Caotico e Macigno di Londa): le misure presentano in ogni caso un picco con frequenza strettamente correlata alla profondità dell'interfaccia coperture substrato, ma viene messa in evidenza dall'ampiezza del rapporto H/V la significativa differenza di contrasto di impedenza sismica. La forma pulita del grafico dello spettro H/V mostra una sostanziale omogeneità di comportamento della copertura che può essere considerata similmente omogenea; unica eccezione si ha in corrispondenza del modesto rilievo che limita a NO l'abitato di Seano (zona del cimitero) dove le misure 7 e 9ter mostrano un picco secondario all'interno della copertura.

Le misure HVSR effettuate sull'area di pianura hanno permesso di ricostruire con buona approssimazione l'andamento delle formazioni del substrato, completando il lavoro preliminare di ricostruzione basato sul rilievo geologico di superficie che forniva però informazioni piuttosto incomplete sulla geometrie di raccordo fra gli affioramenti presenti a NO (comune Quarrata) e a SO (comune Poggio a Caiano).

In corrispondenza del bedrock più rigido (rappresentato dalla Formazione del Macigno di Londa), si assiste a fenomeni di amplificazione nelle coperture che possono assumere una valenza significativa anche in considerazione delle tipologie costruttive degli edifici presenti e delle loro altezze.

5.4.5 Alcune considerazioni generali sui dati HVSR nelle aree indagate

Sulla scorta delle misure effettuate e della loro combinazione con evidenze geologiche di superficie e di sottosuolo derivanti dalla interpretazione delle indagini dirette ed indirette presenti, si possono dedurre alcune considerazioni di carattere generale per le aree indagate che possono aiutare nella interpretazione dei dati geofisici il progettista che si troverà ad operare su specifici progetti "puntuali":

1. le coperture sedimentarie recenti (fluvio-lacustri e alluvionali) non presentano significative variazioni di impedenza sismica che possano indurre fenomeni di amplificazione locale degne di modellazione a livello di dettaglio;
2. sono spesso presenti, comunque a basse frequenze che non appaiono interferire con il campo di interesse ingegneristico nelle normali opere edilizie, fenomeni di amplificazione 2D molto direzionali legati sia ad effetti morfologici di superficie (creste e valli) sia alla presenza su tutto il territorio di imponenti fenomeni di sovrascorrimento che hanno messo in contatto substrati a rigidità molto differente (flysh arenacei e carbonatici con flysh siltitico-argillitici tettonizzati); questi ultimi si rilevano anche nelle prove effettuate nelle aree interessate dai depositi di copertura (prova 4 Seano);
3. il Complesso Caotico e la Formazione di Sillano rispondono alle sollecitazioni da microtremori con spettri H/V che presentano alle medio basse frequenze andamenti caratteristici che ne consentono generalmente un facile riconoscimento (una sorta di "firma sismica") nelle zone di pianura con presenza di depositi di copertura (prove 8 Carmignano, 5-7-8-10 Comeana, 3-8-11 Seano); ciò si associa a valori di amplificazione A_0 inferiori a 3.5-4, che invece sui substrati più rigidi presentano valori decisamente superiori a 4.

6 La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), delle frequenze fondamentali e della pericolosità sismica locale Tavn.MS01/02/03/04)

Questo elaborato rappresenta la principale sintesi dello studio di microzonazione di livello 1 in quanto individua gli areali (microzone) dove, sulla base di osservazioni geologiche, geomorfologiche, dei dati geognostici e geofisici, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.). Per una migliore lettura delle problematiche sismiche si è scelto di completare questa cartografia sia con le misure delle frequenze fondamentali che con la classificazione della pericolosità sismica locale. Infatti la valutazione della presenza di fenomeni di amplificazione è stata di fatto inserita nella delimitazione delle zone MOPS, dove la distinzione delle "colonne stratigrafiche tipo" oltre alla litologia ha preso in considerazione anche i valori di frequenza.

Di fondamentale importanza diviene quindi l'individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato rigido (ovvero delle litologie caratterizzate da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S –

convenzionalmente superiori a 800 m/sec - significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti), accompagnata dalle informazioni che abbiamo visto nel capitolo precedente sulla frequenze fondamentali dei depositi (stima approssimativa della profondità del contrasto di impedenza sismica e della intensità attesa).

Chiaramente assume particolarmente rilievo l'individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte potenzialmente in grado di causare inversioni della velocità di propagazione delle onde di taglio ed effetti di risposta sismica locale bi e tri-dimensionali.

Le modalità di redazione della carta sono quelle indicate al capitolo 2.3 degli ICMS 2008, integrate con le specifiche di legenda contenute nei successivi documenti relativi agli standard di rappresentazione ed archiviazione informatica predisposti dalla "Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica" (Dipartimento Protezione Civile).

La carta è realizzata per ottenere un adeguato dettaglio, utile per il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- caratterizzazione del substrato geologico,
- caratterizzazione dei terreni di copertura,
- ricostruzione delle aree potenzialmente interessate da deformazioni permanenti in caso di evento sismico,
- definizione di forme geomorfologiche di superficie e sepolte, particolarmente importanti per problematiche sismiche.

La sintesi delle informazioni e la perimetrazione delle zone all'interno della "carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", permette di:

1. valutare le condizioni di pericolosità sismica ai sensi del DPGR n.53R/2011;
2. identificare le aree per le quali sono necessari ulteriori studi e indagini ed i relativi livelli di approfondimento;
3. definire gli interventi ammissibili in una data area e le eventuali modalità di intervento nelle aree urbanizzate (condizioni o criteri costruttivi connessi al valore delle frequenze fondamentali delle coperture).

Poiché gli ICMS definiscono fra le *zone suscettibili di instabilità* quelle interessate da potenziali fenomeni di liquefazione definite come "aree con terreni sabbiosi, sabbioso-limosi o sabbioso-ghiaiosi e con superficie della falda freatica e delle eventuali falde in pressione < 15 metri dal piano campagna", tutte le aree di pianura del comune, sviluppate sui depositi fluvio-lacustri e alluvionali recenti, rientrerebbero in questa classe. Per evitare che la rappresentazione cartografica di tale fenomeno di fatto "nasconda" altri aspetti interessanti connessi alle *zone stabili suscettibili di amplificazioni locali* (come vedremo per Seano e Comeana, legati alla presenza di due tipologie di substrato marcatamente differenti) si è deciso, in accordo con i tecnici della Regione, di non usare una retinatura per mappare in carta le aree con potenziali fenomeni di liquefazione, ma di evidenziarle semplicemente con un contorno poligonale.

6.1 La legenda delle carte MOPS

La definizione della legenda delle carte MOPS deriva dalle indicazioni contenute negli ICMS 2008 e nei documenti successivi relativi agli standard predisposti dal Dipartimento della Protezione Civile.

Rispetto alle ultime indicazioni ad oggi disponibili (*Standard di rappresentazione e archiviazione informatica* versione 2.0 del giugno 2012) si è preferito mantenere nella legenda in carta la rappresentazione con le colonne stratigrafiche, poiché ci sembra risultare più intuitiva e capace di rendere maggiormente leggibile

l'elaborato anche da parte delle professionalità che dovranno utilizzarne i risultati a fini pianificatori o di progettazione di dettaglio.

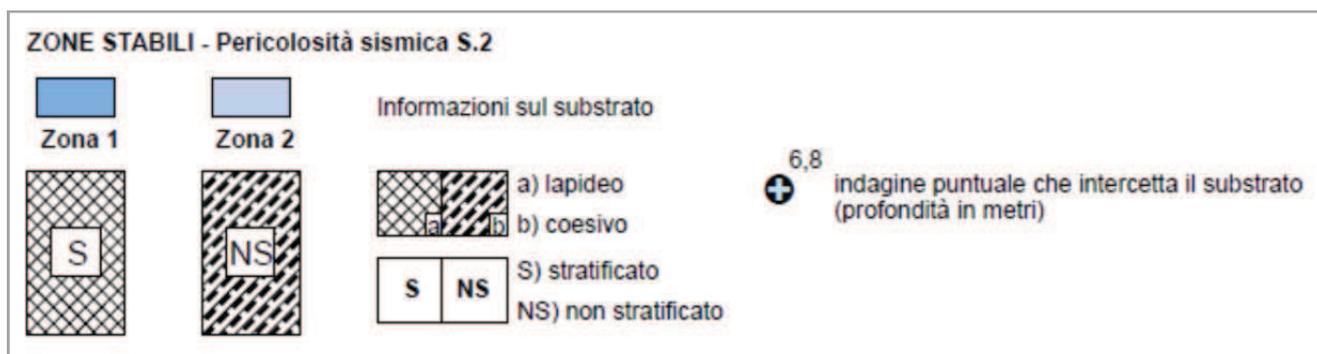
Inoltre, per ciascuna *zona* è stata attribuita anche la notazione di pericolosità sismica ai sensi dell'Allegato A del DPGR n.53/R in modo che lo stesso elaborato costituisca anche la "carta della pericolosità sismica", non più previsto dal Regolamento, ma necessario per l'applicazione delle norme tecniche di attuazione relative alla fattibilità degli interventi.

Come più volte richiamato nei capitoli precedenti, le carte MOPS accorpano in tre tipologie di zone le modalità di risposta alla sollecitazione sismica che ci si può attendere dalle caratteristiche del substrato:

- le *zone stabili*, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli calcolati dagli studi di pericolosità di base che forniscono i valori di accelerazione indicati per la categoria A di sottosuolo negli allegati alle NTC 2008 – d.m. 14.01.2008;
- le *zone stabili suscettibili di amplificazione sismica*, dove il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche (presenza di coperture sedimentarie) e/o morfometriche del territorio (pendenza dei versanti, creste, valli strette, ecc.), anche sepolte. In questo caso, si dovrà indagare, alla scala del progetto di dettaglio, l'effetto di amplificazione connesso alla risposta sismica locale utilizzando gli abachi delle NTC 2008 – categorie di sottosuolo - o provvedendo attraverso specifiche indagini ed analisi dove gli abachi semplificati non sono applicabili;
- le *zone suscettibili di instabilità*, cioè passibili di attivazione/riattivazione di fenomeni di deformazione permanente del terreno indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazioni superficiali, cedimenti differenziali, ecc.) da indagare con specifiche indagini geotecniche e geofisiche in relazione allo stato di attività in accordo alle prescrizioni dettate per le aree a diversa pericolosità geologica.

La definizione della legenda segue quindi l'articolazione delle suddette zone.

6.1.1 Zone stabili



Ricomprendono le zone dove affiorano le formazioni rocciose in posto, con spessori di eventuali coltri di alterazione o depositi colluviali inferiori a 3 metri (spessore che non comporta fenomeni di amplificazione dell'onda sismica rilevanti per le strutture edilizie ed i manufatti in genere).

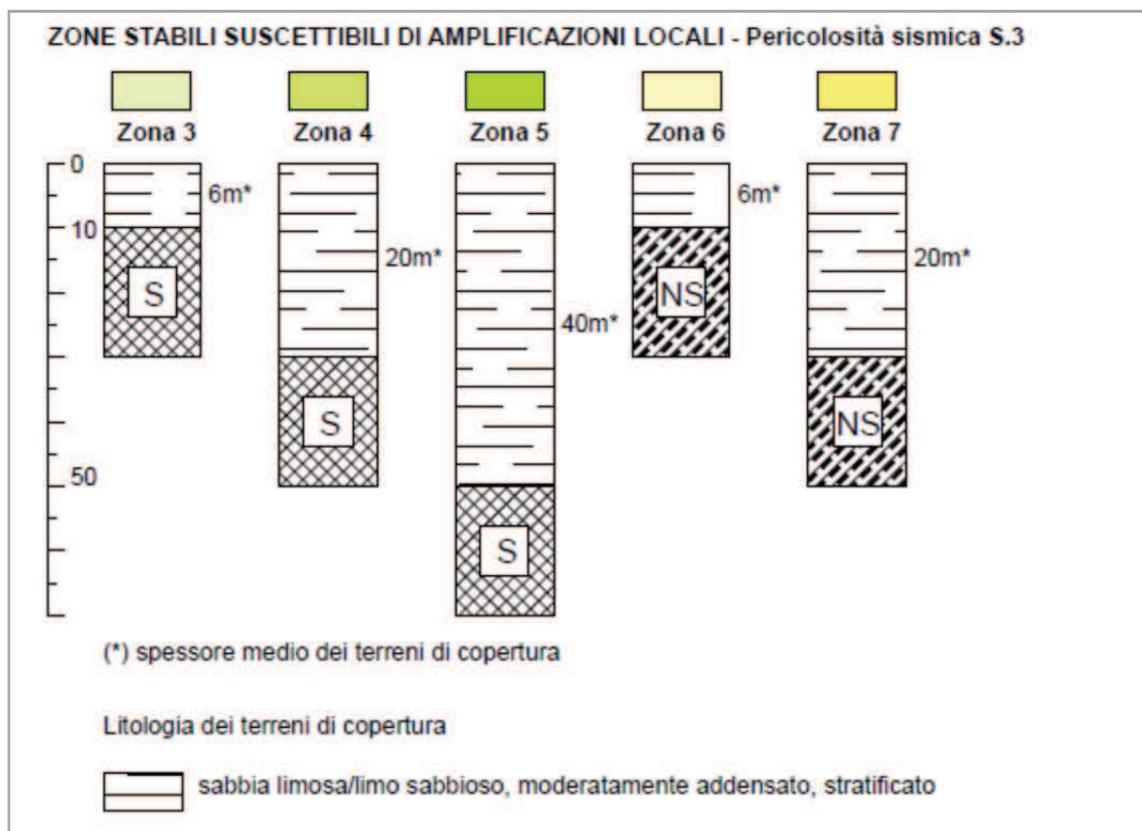
Nelle quattro aree indagate la legenda si presenta sostanzialmente identica, accorpano (come già visto per la carta geologico-tecnica in prospettiva sismica) i litotipi a risposta francamente rigida con V_s maggiore di 800 m/sec e quelli con una V_s che in superficie non raggiunge il valore standard di 800 m/sec (che viene comunque raggiunta progressivamente in profondità ma in modo graduale senza bruschi salti di impedenza sismica – quindi senza generare fenomeni di amplificazione locale). I primi sono definiti come *substrato*

lapideo stratificato e ricomprendono tutti i flysh arenacei o carbonatici della Falda Toscana e dei Complessi Liguri presenti; i secondi, denominati *substrato coesivo non stratificato*, comprendono le formazioni flyshoidi a componente siltitico-argillitica largamente prevalente e interessati da significativi fenomeni di tettonizzazione più o meno spinti (Complesso Caotico o di Base, ma anche Formazione di Sillano).

Sono poi riportate, con apposita simbologia, le indagini puntuali che intercettano il substrato; l'informazione completa la lettura della carta sia nelle aree stabili sia in quelle stabili suscettibili di amplificazione (paragrafo successivo) fornendo a colpo d'occhio gli elementi che hanno permesso la verifica dell'interpretazione stratigrafica altrimenti dedotta dalle sole evidenze di superficie.

Ai sensi del DPGR 53/R/2011 la relativa categoria di pericolosità è la S.2 tenendo in considerazione che si tratta di zone stabili, ma che presentano generalmente pendenze anche significative in un contesto dove le amplificazioni dovute ad effetti 2D sia topografici che di discontinuità nel substrato possono creare effetti di amplificazione al momento attuale valutabile solo qualitativamente (come visto al paragrafo 5.4.5).

6.1.2 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Raccolgono le zone dove si hanno terreni di copertura di spessore maggiore di 3 metri e con valori di V_s significativamente inferiori a quelli del substrato geologico; in tale condizione infatti si assiste a fenomeni di amplificazione dello scuotimento sismico in superficie collegati alla presenza di una interfaccia fra materiali con una significativa differenza di impedenza sismica.

Poiché gli effetti di amplificazione sulle costruzioni esistenti (tipologie e altezze degli edifici) sono legati allo spessore delle coperture, sono state individuate tre classi, anche secondo le indicazioni contenute nel vademecum delle "Specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica", da mettere in relazione alle possibili frequenze di risonanza dei terreni:

- assenza di fenomeni di risonanza significativi, ovvero nessun massimo relativo significativo della frequenza di picco (f_0) nell'intervallo 0,1-10Hz di interesse ingegneristico per spessori delle coperture ben oltre i cento metri;
- presenza di fenomeni di risonanza, distinti come $f_0 < 2$ Hz per spessori delle coperture maggiori di 30 metri, $2\text{ Hz} < f_0 < 8$ Hz per spessori compresi tra 30 e 10 metri, $f_0 > 8$ Hz per spessori minori di 10 metri.

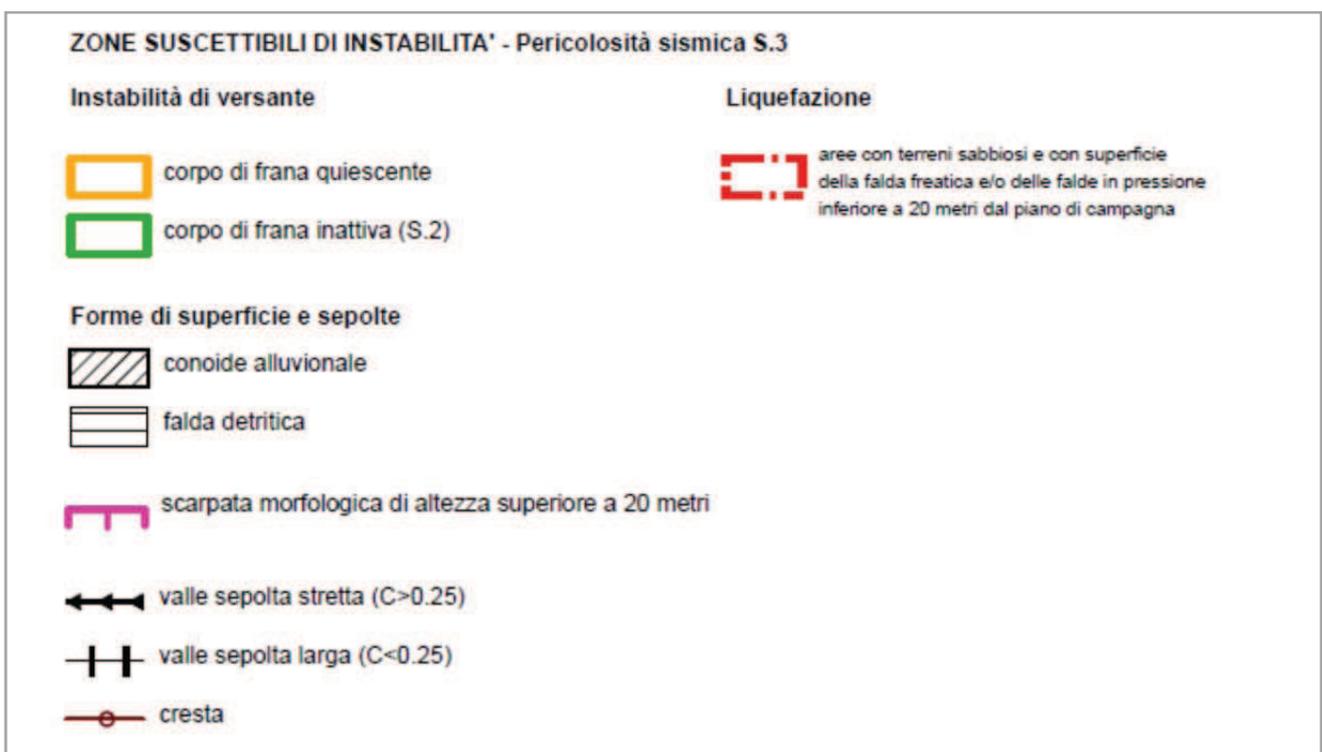
Le combinazioni di due substrati (lapideo stratificato "S" e coesivo non stratificato "NS") e i tre diversi intervalli degli spessori delle coperture forniscono sei possibili zone che caratterizzano il territorio di Carmignano. In ciascuna carta MOPS sono riportate in legenda solo le zone effettivamente presenti nell'areale considerato.

Tutte le coperture, come ricordato, sono state considerate come omogenee; in particolare nelle due aree di indagine dove si rilevano depositi fluvio-lacustri e alluvionali recenti (Comeana e Seano) le coperture sono state attribuite mediamente alle sabbie limose/limo sabbioso della legenda proposta negli ICMS 2008 e s.m.i.; infatti si tratta di depositi granulometricamente molto variabili, connessi ad ambienti deposizionali che hanno visto nel tempo rapide variazioni di competenza delle correnti fluide di trasporto dei sedimenti: i depositi generatisi presentano quindi una elevata variabilità sia verticale che orizzontale, in spazi ristretti, delle dimensioni granulometriche e delle tessiture che comunque alla scala della sollecitazione sismica possono essere ritenuti qualitativamente omogenei (come confermato anche dalle misure di microtremore).

Per le zone di Bacchereto e Carmignano, le coperture sono invece costituite da falde detritiche o corpi di frana, se con spessori superiori a 3 metri, dove la granulometria dei materiali risulta più grossolana (ghiaia sabbiosa/sabbia ghiaiosa) avendo subito un trasporto molto limitato.

Realizzandosi in genere una situazione di *alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri* e comunque essendo tutte le coperture fluvio-lacustri caratterizzate da potenziale di liquefazione, ai sensi del DPGR 53/R/2011, gli viene attribuita una pericolosità S.3.

6.1.3 Zone suscettibili di instabilità



Sono qui raccolte tutte le porzioni di territorio dove si hanno evidenze geomorfologiche di fenomeni che possono essere attivati o riattivati dall'evento sismico.

Nelle aree indagate non sono state rilevate situazioni mappabili, alla scala degli elaborati, relative a cedimenti differenziali per differenti capacità di addensamento dei terreni a seguito di fenomeni di scuotimento sismico; infatti, come anche rilevato nei capitoli precedenti, le coperture "addensabili" non sono state articolate al loro interno a seguito della variabilità granulometrica in spazi ristretti (e in ogni caso tale occorrenza appare assai remota). Le indagini di dettaglio, alla scala progettuale del singolo intervento, dovranno comunque verificare tale aspetto, congiuntamente a quello legato ai fenomeni di liquefazione che, come ricordato in premessa, sono di fatto potenzialmente possibili in corrispondenza di tutti i depositi di copertura rilevati nelle quattro aree di indagine.

La legenda sottolinea anche quelle forme di superficie che possono indicare l'insorgenza di fenomeni 2D connessi alla presenza di strutture fortemente direzionali (creste e valli, anche sepolte) che possono focalizzare l'onda sismica relativamente alla particolare morfologia locale.

Per le zone suscettibili di instabilità il DPGR 53/R/2011 prevede un inserimento in classe di pericolosità S.3 che diventa S.2 nel solo caso si tratti di un corpo di frana inattiva.

6.1.4 Frequenze fondamentali delle coperture da prove HVSR

HVSR - FREQUENZE FONDAMENTALI																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 90%;">f₀ (hz)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>★</td> <td>nessuna risonanza</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>0.1 < f₀ < 0.5</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>0.5 < f₀ < 1.0</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>1.0 < f₀ < 2.5</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>2.5 < f₀ < 5.0</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>5.0 < f₀ < 7.5</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>7.5 < f₀ < 10.0</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>10.0 < f₀ < 15.0</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>15.0 < f₀ < 20.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>f₀(hz)=frequenza di picco</p>		f ₀ (hz)	★	nessuna risonanza	●	0.1 < f ₀ < 0.5	●	0.5 < f ₀ < 1.0	●	1.0 < f ₀ < 2.5	●	2.5 < f ₀ < 5.0	●	5.0 < f ₀ < 7.5	●	7.5 < f ₀ < 10.0	●	10.0 < f ₀ < 15.0	●	15.0 < f ₀ < 20.0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 90%;">A₀</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>★</td> <td>nessuna risonanza</td> </tr> <tr> <td>⊗</td> <td>1.1 < A₀ < 2.0</td> </tr> <tr> <td>⊗</td> <td>2.0 < A₀ < 3.0</td> </tr> <tr> <td>⊗</td> <td>3.0 < A₀ < 5.0</td> </tr> <tr> <td>⊗</td> <td>5.0 < A₀</td> </tr> </tbody> </table> <p>A₀=ampiezza di picco</p>		A ₀	★	nessuna risonanza	⊗	1.1 < A ₀ < 2.0	⊗	2.0 < A ₀ < 3.0	⊗	3.0 < A ₀ < 5.0	⊗	5.0 < A ₀
	f ₀ (hz)																																
★	nessuna risonanza																																
●	0.1 < f ₀ < 0.5																																
●	0.5 < f ₀ < 1.0																																
●	1.0 < f ₀ < 2.5																																
●	2.5 < f ₀ < 5.0																																
●	5.0 < f ₀ < 7.5																																
●	7.5 < f ₀ < 10.0																																
●	10.0 < f ₀ < 15.0																																
●	15.0 < f ₀ < 20.0																																
	A ₀																																
★	nessuna risonanza																																
⊗	1.1 < A ₀ < 2.0																																
⊗	2.0 < A ₀ < 3.0																																
⊗	3.0 < A ₀ < 5.0																																
⊗	5.0 < A ₀																																

Poiché è stato scelto di rappresentare in un unico supporto cartografico sia le MOPS che le frequenze fondamentali delle coperture, la parte terminale della legenda descrive le informazioni derivate dalle misure HVSR effettuate.

Per ciascun punto di misura (individuato sulla carta con un numero cui corrisponde la relativa scheda in Appendice) sono riportati, con una simbologia che combina colori e dimensione del "marker", il valore f₀ del picco fondamentale e l'ampiezza del picco A₀ (qualitativamente correlabile al contrasto di impedenza fra deposito e substrato).

La simbologia adottata non è in questo caso standardizzata negli ICMS; è stata comunque utilizzata una rappresentazione ritrovata spesso in bibliografia e che risulta di facile lettura e quindi utile per completare l'informazione immediata che si può avere dalle rappresentazioni cartografiche.

Vengono quindi assunti colori differenti del simbolo (\otimes) della misura HVSR per individuare le classi di frequenza del picco di risonanza (e quindi della frequenza fondamentale del terreno), mentre la dimensione del simbolo individua il valore A_0 dell'ampiezza del picco che è correlata direttamente al contrasto di impedenza fra copertura e substrato e che fornisce un'informazione qualitativa sul valore dell'amplificazione attesa in caso di sisma che si sviluppa nell'attraversamento del terreno da parte dell'onda sismica.

L'informazione fornisce quindi in modo diretto, anche se semi-quantitativo, indicazioni sui possibili effetti attesi di amplificazione della sollecitazione sismica. Infatti dalla formula molto semplificata proposta da G.Pratt (da utilizzare solamente in prima approssimazione) che mette in correlazione il periodo proprio di vibrazione di un edificio con la sua altezza è possibile orientativamente individuare quale tipologia di edifici si potrebbe trovare a vibrare a frequenze simili a quelle riscontrate nei terreni e quindi subire i pericolosi effetti di risonanza.

Il grafico seguente (Figura 3), utilizzando la correlazione empirica

$$T_{ed} \cong Ch_{ed}^{3/4}$$

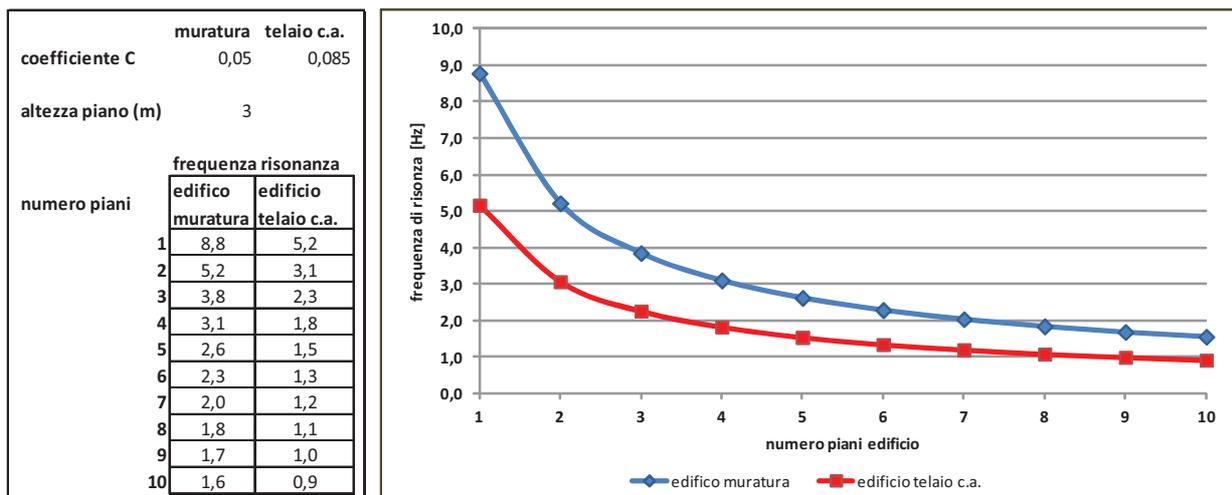
dove: T_{ed} indica il periodo proprio di vibrazione dell'edificio espresso in secondi,
 C è un coefficiente che dipende dalla tipologia costruttiva dell'edificio (muratura o telaio c.a.)
 h_{ed} è l'altezza dell'edificio in metri

e ricordando che la frequenza è l'inverso del periodo

$$f = \frac{1}{T}$$

permette di valutare in modo speditivo le tipologie di edifici che possono risentire degli effetti di massima amplificazione connessi alla frequenza fondamentale di vibrazione espressa dal terreno (quando le due frequenze corrispondono si hanno effetti di risonanza catastrofica).

Figura 3 – rapporti indicativi fra numero dei piani di un edificio e sua frequenza di vibrazione



6.2 Le carte MOPS del territorio comunale di Carmignano

Di seguito si riporta una descrizione delle carte sviluppate per ciascun centro abitato esaminato, sottolineando gli aspetti interpretativi che hanno condotto alla ricostruzione proposta e quindi la valutazione della qualità delle cartografie sviluppata secondo quanto indicato nella deliberazione GRT n.741/2012 (tenendo conto sia dei dati di indagini pregresse, sia delle nuove prove HVSR sviluppate nel presente studio).

6.2.1 Bacchereto (Tav.MS01)

La maggior parte dell'abitato si sviluppa su substrato sub-affiorante, mentre le coperture dovute a corpi detritici con spessori superiori a 3 metri, ma sempre inferiori ai 10 metri, sono limitate a modeste porzioni anche se urbanizzate.

Le prove HVSR non evidenziano picchi significativi per la frequenza fondamentale dei depositi/coltri di alterazione, mostrando per tutto il territorio una sostanziale assenza di amplificazione del segnale sismico. Sono evidenti alcuni picchi molto direzionali alle basse frequenze, probabilmente riconducibili sia alla morfologia di superfici che alle interfacce di tipo tettonico fra i substrati delle zone 1 e 2; tale evenienza sembra però incidere nel campo di frequenze distanti da quelle ingegneristiche, almeno per le tipologie costruttive che possono essere immaginate per l'abitato di Bacchereto.

Non appaiono pertanto necessarie particolari prescrizioni e/o raccomandazioni da inserire nelle norme tecniche di attuazione relativamente alla fattibilità degli interventi ammessi dal R.U. salvo quelle previste dalle norme tecniche sulle costruzioni (NTC 2008 e DPGR 36/R/2009).

6.2.1.1 Livello di qualità della carta MOPS

Il livello di qualità finale della carta, basato sulle specifiche della delibera GRT n.741/2012 viste in premessa, risulta **B** (vedi Figura 4); il calcolo è stato sviluppato sulla maglia di celle sovrapposta a tutto l'abitato esaminato (non solo alle porzioni interessate dalle coperture come previsto dalla metodologia, in quanto le porzioni di territorio con copertura simicamente significativa risultano praticamente assenti).

Figura 4 – valutazione qualità carta MS livello 1 dell'abitato di Bacchereto

comune: CARMIGNANO		centro abitato: BACCHERETO		VALUTAZIONE QUALITA' CARTA MS LIVELLO 1 [Del.G.R.T. 261/2011]							VALORI			
parametro	peso p	indicatore	peso i	valutazione indicatore - punteggio							ind	par	contributo FQ	
				nulla	0	bassa	0,33	media	0,66	alta				1
carta geologico-tecnica	1	anno rilevamento	0,33	no data		< 2000				>2000	1	0,33	0,99	24,8
		progetto	0,33	no data		altro		allegato P.Urb.		ad hoc	1	0,33		
		scala rilevamento	0,33	no data		50.000+26.000		25.000+11.000		10.000+2.000	1	0,33		
sondaggi a distruzione	0,5	numero sondaggi distr.	0,33	no data	1	1+5		6+10		>10		0,00	0,00	0,0
		% celle occupate	0,33	no data	1	1+33%		34+66%		>66%		0,00		
		num. sondaggi raggiungono substrato	0,33	no data	1	1+5		6+10		>10		0,00		
sondaggi a carotaggio continuo	1	numero sondaggi c.c.	0,33	no data		1+5	1	6+10		>10		0,11	0,33	8,2
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%	1	34+66%		>66%		0,11		
		num. sondaggi raggiungono substrato	0,33	no data		1+5	1	6+10		>10		0,11		
indagini geofisiche	0,5	numero di misure	0,33	no data		1+5	1	6+10		>10		0,11	0,55	6,8
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%	1	34+66%		>66%		0,11		
		% indagini raggiungono substrato rigido	0,33	no data		1+33%		34+66%		>66%	1	0,33		
prove geotecniche in situ e di laboratorio	0,25	numero di prove	0,33	no data		1+5		6+10		>10	1	0,33	0,77	4,8
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%	1	34+66%		>66%		0,11		
		% prove raggiungono substrato rigido	0,33	no data		1+33%		34+66%		>66%	1	0,33		
misure delle frequenze del sito	0,75	numero di misure	0,33	no data		1+5	1	6+10		>10		0,11	0,33	6,1
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%	1	34+66%		>66%		0,11		
		classe affidabilità misure (*)	0,33	no data		classe A 1+33%	1	classe A 34+66%		classe A >66%		0,11		

(*) - D.Albarelli et alii "Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macroaree abruzzesi" - Boll. Geofis. Teor. Appl.

FQ [%] **50,7**
Classe **B**

6.2.2 Carmignano (Tav.MS02)

L'abitato di Carmignano e sue frazioni, che si sviluppa totalmente su dorsali morfologiche piuttosto accentuate, è impostato quasi esclusivamente sulla zona 1 comprendente *substrato lapideo stratificato*.

Pertanto anche in questo caso, come per Bacchereto, fenomeni di potenziale amplificazione della sollecitazione sismica si presenterebbero unicamente nelle modeste porzioni di accumulo di corpi di frana quiescenti con spessori superiori ai 3 m ma generalmente inferiori a 10 m.

Nella frazione di Santa Cristina a Mezzana, dove si hanno contatti tettonici fra la zona 1 e la zona 2, risulterebbero più evidenti fenomeni di amplificazione 2D fortemente direzionali legati sia ai rilievi geomorfologici sia ai contatti "bruschi" fra le due zone che caratterizzano il substrato; come per Bacchereto si sviluppano in campi di frequenza non di stretto interesse ingegneristico (almeno per le tipologie edilizie che si possono ipotizzare per questa zona).

Anche in questo caso non appaiono pertanto necessarie particolari prescrizioni e/o raccomandazioni da inserire nelle norme tecniche di attuazione relativamente alla fattibilità degli interventi ammessi dal R.U. salvo quelle previste dalle norme tecniche sulle costruzioni (NTC 2008 e DPGR 36/R/2009).

6.2.2.1 Livello di qualità della carta MOPS

Il livello di qualità finale della carta, basato sulle specifiche della delibera GRT n.741/2012 viste in premessa, risulta **C** (vedi Figura 4); il calcolo è stato sviluppato sulla maglia di celle sovrapposta a tutto l'abitato esaminato (non solo alle porzioni interessate dalle coperture come previsto dalla metodologia, in quanto le porzioni di territorio con copertura sismicamente significativa risultano praticamente assenti). La presenza di substrato affiorante appartenente prevalentemente alla Formazione del Macigno con chiare evidenze di superficie (affioramenti delle bancate arenacee) ha fatto sì che le indagini anche per le costruzioni più recenti si siano limitate a saggi con escavatore; inoltre la posizione sostanzialmente di crinale di tutto l'abitato esaminato non ha neanche indotto alla terebrazione di pozzi per acqua (il livello acquifero sfruttabile si trova sicuramente a notevole profondità), perciò risultano praticamente assenti indagini dirette e geofisiche.

Figura 5 – valutazione qualità carta MS livello 1 dell'abitato di Carmignano

comune: CARMIGNANO centro abitato: CARMIGNANO-LA SERRA-S.CRISTINA															
VALUTAZIONE QUALITA' CARTA MS LIVELLO 1 [Del.G.R.T. 261/2011]															
parametro	peso p	indicatore	peso i	valutazione indicatore - punteggio						VALORI					
				nulla	0	bassa	0,33	media	0,66	alta	1	ind	par	FQ	
carta geologico-tecnica	1	anno rilevamento	0,33	no data		< 2000				>2000	1	0,33	0,99	24,8	
		progetto	0,33	no data		altro		allegato P.Urb.		ad hoc	1	0,33			
		scala rilevamento	0,33	no data		50.000+26.000		25.000+11.000		10.000+2.000	1	0,33			
sondaggi a distruzione	0,5	numero sondaggi distr.	0,33	no data		1+5	1		6+10		>10	0,11	0,33	4,1	
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%	1		34+66%		>66%	0,11			
		num. sondaggi raggiungono substrato	0,33	no data		1+5	1		6+10		>10	0,11			
sondaggi a carotaggio continuo	1	numero sondaggi c.c.	0,33	no data	1	1+5			6+10		>10	0,00	0,00	0,0	
		% celle occupate	0,33	no data	1	1+33%			34+66%		>66%	0,00			
		num. sondaggi raggiungono substrato	0,33	no data	1	1+5			6+10		>10	0,00			
indagini geofisiche	0,5	numero di misure	0,33	no data	1	1+5			6+10		>10	0,00	0,00	0,0	
		% celle occupate	0,33	no data	1	1+33%			34+66%		>66%	0,00			
		% indagini raggiungono substrato rigido	0,33	no data	1	1+33%			34+66%		>66%	0,00			
prove geotecniche in situ e di laboratorio	0,25	numero di prove	0,33	no data		1+5			6+10		>10	1	0,33	0,88	5,5
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%			34+66%	1	>66%	0,22			
		% prove raggiungono substrato rigido	0,33	no data		1+33%			34+66%		>66%	0,33			
misure delle frequenze del sito	0,75	numero di misure	0,33	no data		1+5			6+10	1	>10	0,22	0,44	8,2	
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%	1		34+66%		>66%	0,11			
		classe affidabilità misure (*)	0,33	no data		classe A 1+33%	1		classe A 34+66%		classe A >66%	0,11			

(*) - D. Albarello et alii "Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macroaree abruzzesi" - Boll. Geofis. Teor. Appl.

FQ [%] **42,5**
Classe **C**

6.2.3 Comeana (Tav.MS03)

L'area di indagine di Comeana presenta una zonazione MOPS in quattro fasce orientate NO-SE.

La prima fascia, partendo da SO e procedendo verso NE, è totalmente ricompresa nella zona 1 relativa a zone stabili impostate su *substrato lapideo stratificato*; la presenza del substrato sub-affiorante comporta l'assenza di fenomeni di amplificazione del segnale sismico e quindi gli scuotimenti attesi sono desumibili dai valori di accelerazione indicati negli allegati alle NTC 2008 – d.m. 14.01.2008 per la categoria di sottosuolo A.

Le tre fasce successive, corrispondenti alle zone 3, 4 e 5 di legenda, sono tutte impostate su coperture che variano nello spessore e nel tipo di substrato.

La zona 3 comprende le aree dove le coperture presentano spessori compresi tra 3 e 10 metri su *substrato coesivo non stratificato*. Gli spessori delle coperture appaiono molto variabili e non definibili in dettaglio alla scala del presente studio a seguito del rilievo morfologico attuale molto articolato (incisioni vallive con direzione SO-NE, anche molto accentuate) e della presumibile morfologia, anch'essa molto articolata, dell'interfaccia fra roccia in posto (costituita da Complesso Caotico – Formazione di Sillano) e coperture, ereditata dallo sviluppo topografico di bordo bacino precedente alla sedimentazione fluvio-lacustre del bacino Firenze-Prato-Pistoia.

La presenza di un substrato poco rigido (il Complesso Caotico o di Base presenta spesso velocità V_s inferiori agli 800 m/sec) e di coperture piuttosto compatte e addensate, comporta contrasti di impedenza sismica non particolarmente elevati all'interfaccia fra coperture e roccia in posto.

La zona 4 comprende una fascia meno incisa della precedente, dove lo spessore delle coperture varia fra 10 e 20 metri, sempre su substrato poco rigido. Anche in questo caso gli spettri H/V non presentano picchi significativi, a testimonianza di valori di impedenza sismica confrontabili fra substrato e depositi di copertura. La presenza dell'area industriale/artigianale, con aziende attive 24 ore al giorno e sette giorni su sette, non rende agevoli le registrazioni HVSR (disturbo dei telai su frequenze prossime a quelle di risonanza del terreno).

Infine la zona 5, presente nell'estrema porzione nord-orientale dell'area indagata, comprende depositi con spessori fra 10 e 20 metri su *substrato lapideo stratificato* (Macigno di Londa). La ricostruzione è stata realizzata in modo indiretto attraverso l'esame della geologia nelle aree contermini (comune di Poggio a Caiano) e sulla base delle indagini HVSR che forniscono delle risposte molto chiare e ben interpretabili (anche in analogia con quanto misurato nell'area di Seano, geologicamente meglio definita); mancano invece pozzi o sondaggi che possano permettere un riscontro diretto. In questo caso i contrasti di impedenza sismica fra substrato e coperture appaiono molto elevati come testimoniato dall'ampiezza dei picchi H/V ($A_0 > 5$).

Per la zona 1 non appaiono necessarie particolari raccomandazioni o prescrizioni da attuare, relativamente agli aspetti di pericolosità sismica, salvo quelle previste dalle norme sulle costruzioni (NTC 2008 e dPGR 36/R/2009).

Per le zone 3 e 4 diviene invece necessario indagare, a livello di strumento attuativo o di singolo progetto, la possibile insorgenza di fenomeni di liquefazione connessi a livelli a granulometria prevalentemente sabbiosa sotto falda. Per quanto riguarda possibili effetti di amplificazione locale dovuti a contrasti di impedenza, benché appaia generalizzata l'assenza di valori alti, la complessità della storia geologica non permette di escludere la presenza, al di sotto delle coperture, di ampie porzioni di substrato ad alta rigidità (blocchi delle formazioni flyshoidi arenacee all'interno del Complesso Caotico – come peraltro abbastanza evidente nel conterminare territorio comunale di Poggio a Caiano); pertanto risulta necessario approfondire tale eventualità a livello del singolo progetto di intervento, associando alle indagini geofisiche e

geotecniche di cui alle norme per le costruzioni (NTC 2008 e dPGR 36/R/2009), anche delle misure di HVSR che, come verificato, ben discriminano le caratteristiche dei possibili substrati presenti nell'area.

Infine per la zona 5 occorre prevedere, sempre a livello di strumento attuativo o di singolo progetto, approfondimenti in merito alla possibile insorgenza di fenomeni di liquefazione e una valutazione dell'amplificazione dello scuotimento legata al forte contrasto di impedenza presente al passaggio substrato rigido e coperture; stante la presenza dell'interfaccia ad una profondità compresa fra 20 e 30 metri, nel caso di interventi di maggiori dimensioni (che rientrano nelle classi di indagine 3 e 4 così come definite nel DPGR 36/R/2009) risulta opportuno arrivare ad indagare in modo diretto la profondità di tale interfaccia.

6.2.3.1 Livello di qualità della carta MOPS

Il livello di qualità finale della carta, basato sulle specifiche della delibera GRT n.741/2012 viste in premessa, risulta **B** (vedi Figura 6); il calcolo è stato sviluppato sulla maglia di celle sovrapposta a tutto l'abitato esaminato per coerenza con i centri abitati di Bacchereto e Carmignano.

Figura 6 – valutazione qualità carta MS livello 1 dell'abitato di Comeana

comune: CARMIGNANO		centro abitato: COMEANA		VALUTAZIONE QUALITA' CARTA MS LIVELLO 1 [Del.G.R.T. 261/2011]							VALORI		contributo		
parametro	peso p	indicatore	peso i	valutazione indicatore - punteggio							ind	par	FQ		
				nulla	0	bassa	0,33	media	0,66	alta				1	
carta geologico-tecnica	1	anno rilevamento	0,33	no data		< 2000					>2000	1	0,33	0,99	24,8
		progetto	0,33	no data		altro		allegato P.Urb.			ad hoc	1	0,33		
		scala rilevamento	0,33	no data		50.000+26.000		25.000+11.000			10.000+2.000	1	0,33		
sondaggi a distruzione	0,5	numero sondaggi distr.	0,33	no data		1+5	1	6+10			>10		0,11	0,33	4,1
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%	1	34+66%			>66%		0,11		
		num. sondaggi raggiungono substrato	0,33	no data		1+5	1	6+10			>10		0,11		
sondaggi a carotaggio continuo	1	numero sondaggi c.c.	0,33	no data		1+5		6+10			>10	1	0,33	0,66	16,4
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%	1	34+66%			>66%		0,11		
		num. sondaggi raggiungono substrato	0,33	no data		1+5		6+10	1		>10		0,22		
indagini geofisiche	0,5	numero di misure	0,33	no data		1+5		6+10	1		>10		0,22	0,54	6,8
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%	1	34+66%			>66%		0,11		
		% indagini raggiungono substrato rigido	0,33	no data		1+33%		34+66%	1		>66%		0,22		
prove geotecniche in situ e di laboratorio	0,25	numero di prove	0,33	no data		1+5		6+10			>10	1	0,33	0,66	4,1
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%		34+66%	1		>66%		0,22		
		% prove raggiungono substrato rigido	0,33	no data		1+33%	1	34+66%			>66%		0,11		
misure delle frequenze del sito	0,75	numero di misure	0,33	no data		1+5		6+10	1		>10		0,22	0,44	8,2
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%	1	34+66%			>66%		0,11		
		classe affidabilità misure (*)	0,33	no data		classe A 1+33%	1	classe A 34+66%			classe A >66%		0,11		

(*) - D.Albarelli et alii "Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macroaree abruzzesi" - Boll. Geofis. Teor. Appl.

FQ [%] **64,3**
Classe **B**

6.2.4 Seano (Tav.MS04)

Anche l'area di indagine di Seano presenta una zonazione MOPS in fasce orientate NO-SE, connesse sostanzialmente all'alternarsi di substrato con caratteristiche elastiche differenti al quale si sovrappongono depositi sciolti sedimentati su una precedente morfologia di valle debolmente incisa (da ricondurre alle dinamiche morfologiche antecedenti la sedimentazione fluvio-lacustre del bacino Firenze-Prato-Pistoia).

Nella porzione meridionale dell'area indagata, affiorano i substrati di tipo *lapideo stratificato* e *coesivo non stratificato* (zone 1 e 2); in entrambi i casi si tratta di situazioni per le quali non si hanno picchi evidenti nel range di frequenze di interesse ingegneristico (0.5-10 Hz), pertanto si può assumere come assente un'amplificazione sismica. In queste zone, salvo le porzioni interessate da movimenti gravitativi quiescenti o inattivi, non appaiono necessarie particolari raccomandazioni o prescrizioni da attuare oltre quelle previste dalle norme sulle costruzioni (NTC 2008 e dPGR 36/R/2009). Per le modeste aree interessate dai fenomeni franosi quiescenti o inattivi, qualora vi insistessero previsioni di strumento attuativo o di singolo progetto, dovranno essere effettuate indagini di dettaglio che meglio ne circoscrivano le geometrie e i possibili meccanismi di riattivazione.

Le zone 3, 4 e 5 si riferiscono a porzioni di territorio dove i depositi di copertura giacciono sul substrato rigido lapideo stratificato. In carta sono evidenziate da tonalità di verde crescite di intensità a sottolineare l'aumento di spessore dei depositi. Il forte contrasto di impedenza sismica fra depositi fluvio-lacustri e substrato lapideo comporta l'insorgenza di picchi di amplificazione del rapporto H/V molto significativi proprio nel range delle frequenze ingegneristiche.

Per tutte queste zone diviene pertanto necessario prevedere, alla scala dello strumento attuativo o del singolo progetto, un'attenta valutazione della risposta sismica locale che permetta la definizione di uno spettro di risposta adeguato alla reale situazione riscontrata attraverso indagini geofisiche spinte fino alla profondità dell'interfaccia sedimenti-substrato (facilmente desumibile dalle carte allegate). Sono queste, infatti, le situazioni non ricomprese nell'abaco semplificato delle categorie di sottosuolo delle NTC 2008.

A ciò si aggiunge la necessità di verificare il rischio di insorgenza di fenomeni di liquefazione, elemento di attenzione presente in tutte queste zone.

Per le zone 6 e 7 i fenomeni di amplificazione del segnale sismico appaiono meno significativi a seguito del più basso contrasto di impedenza sismica fra substrato coesivo non stratificato e depositi fluvio-lacustri.

La scala del presente studio non ha comunque permesso una individuazione di dettaglio dei limiti fra queste zone e quelle del gruppo precedente (3, 4 e 5), pertanto risulta necessario approfondire a livello del singolo progetto di intervento la reale natura del substrato associando alle indagini geofisiche e geotecniche di cui alle norme per le costruzioni (NTC 2008 e DPGR 36/R/2009), anche delle misure di HVSr che ben discriminano le caratteristiche dei possibili substrati presenti nell'area. Qualora l'approfondimento riconducesse a collocare l'area di progetto su una zona a substrato lapideo stratificato, valgono le prescrizioni delle zone 3, 4 e 5.

Anche in questo caso si aggiunge la necessità di indagare la possibile insorgenza di fenomeni di liquefazione.

6.2.4.1 Livello di qualità della carta MOPS

Il livello di qualità finale della carta, basato sulle specifiche della delibera GRT n.741/2012 viste in premessa, risulta **B** (vedi Figura 7); il calcolo è stato sviluppato sulla maglia di celle sovrapposta a tutto l'abitato esaminato per coerenza con i centri abitati di Bacchereto e Carmignano.

Figura 7 – valutazione qualità carta MS livello 1 dell'abitato di Seano

comune: CARMIGNANO		centro abitato: SEANO		VALUTAZIONE QUALITA' CARTA MS LIVELLO 1 [DeI.G.R.T. 261/2011]							VALORI		contributo FQ	
parametro	peso p	indicatore	peso i	nessuna	0	bassa	0,33	media	0,66	alta	1	ind		par
carta geologico-technica	1	anno rilevamento	0,33	no data		< 2000				>2000	1	0,33	0,99	24,8
		progetto	0,33	no data		altro		allegato P.Urb.		ad hoc	1	0,33		
		scala rilevamento	0,33	no data		50.000+26.000		25.000+11.000		10.000+2.000	1	0,33		
sondaggi a distruzione	0,5	numero sondaggi distr.	0,33	no data		1+5	1	6+10		>10		0,11	0,33	4,1
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%	1	34+66%		>66%		0,11		
		num. sondaggi raggiungono substrato	0,33	no data		1+5	1	6+10		>10		0,11		
sondaggi a carotaggio continuo	1	numero sondaggi c.c.	0,33	no data		1+5	1	6+10		>10		0,11	0,33	8,2
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%	1	34+66%		>66%		0,11		
		num. sondaggi raggiungono substrato	0,33	no data		1+5	1	6+10		>10		0,11		
indagini geofisiche	0,5	numero di misure	0,33	no data		1+5	1	6+10		>10		0,11	0,33	4,1
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%	1	34+66%		>66%		0,11		
		% indagini raggiungono substrato rigido	0,33	no data		1+33%	1	34+66%		>66%		0,11		
prove geotecniche in situ e di laboratorio	0,25	numero di prove	0,33	no data		1+5		6+10		>10	1	0,33	0,77	4,8
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%		34+66%		>66%	1	0,33		
		% prove raggiungono substrato rigido	0,33	no data		1+33%	1	34+66%		>66%		0,11		
misure delle frequenze del sito	0,75	numero di misure	0,33	no data		1+5		6+10		>10	1	0,33	0,55	10,3
		% celle occupate	0,33	no data		1+33%	1	34+66%		>66%		0,11		
		classe affidabilità misure (*)	0,33	no data		classe A 1+33%	1	classe A 34+66%		classe A >66%		0,11		

(*) - D. Albarello et alii "Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macroaree abruzzesi" - Boll. Geofis. Teor. Appl.

FQ [%] **56,2**
Classe **B**