



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE
TOSCANA



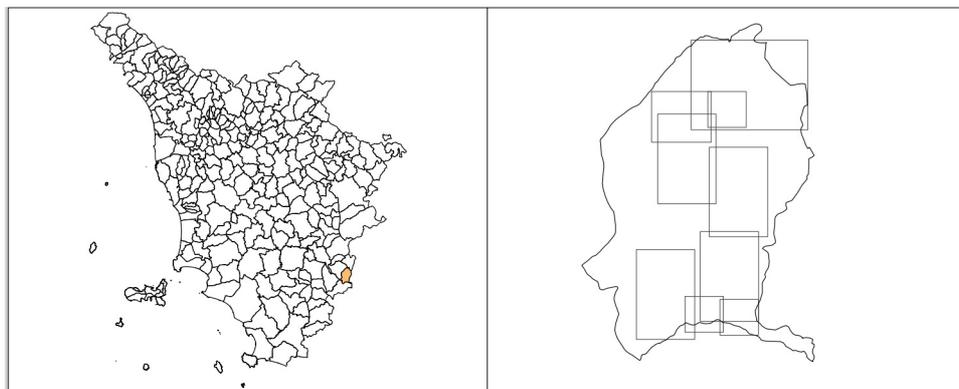
CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Toscana Comune di Cetona



Regione	Soggetto realizzatore	Data
	Dott.Geol. Andrea Massi Dott. Geol. Stefania Mencacci	Novembre 2019

INDICE

1	INTRODUZIONE	2
2	RIFERIMENTI NORMATIVI E SPECIFICHE TECNICHE	4
3	SELEZIONE E DELIMITAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE	7
4	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	8
	4.1 <i>Sismicità storica del territorio comunale di Cetona</i>	8
	4.2 <i>Analisi della disaggregazione dei valori di a(g)</i>	9
	4.3 <i>Zonazione sismica nazionale e regionale</i>	12
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	13
	5.1 <i>Inquadramento geologico regionale e locale</i>	13
	5.2 <i>Inquadramento geologico</i>	14
	5.3 <i>Inquadramento geomorfologico</i>	17
6	INDAGINI REALIZZATE E/O PREGRESSE	19
	6.1 <i>Introduzione</i>	19
	6.2 <i>Risultati delle indagini di sismica a rifrazione con onde P ed SH</i>	21
	6.3 <i>Prospezione sismica attiva con tecnica MASW</i>	21
	6.4 <i>Prospezione sismica con metodo ESAC</i>	23
	6.5 <i>Misure di rumore sismico a stazione singola HVSR</i>	24
7	MODELLO DI SOTTOSUOLO	26
	7.1 <i>Definizione delle caratteristiche litologiche e geometriche delle unità geologiche del sottosuolo</i>	26
	7.2 <i>Centro abitato di Cetona</i>	27
	7.3 <i>Centro abitato di Piazze e Località "Fabiani"</i>	28
	7.4 <i>Nucleo abitato di Camporsevoli</i>	30
	7.5 <i>Area "Boschetto - Lamaccia - Gamberaio"</i>	30
	7.6 <i>Area "Palazzo Sgarroni - Benefizio - Cardete"</i>	31
	7.7 <i>Area "Patarnione - Bargnano"</i>	32
	7.8 <i>Area "Cantina Sociale"</i>	32
	7.9 <i>Area "Casa Matera - Palazzolo - Vecciano"</i>	33
	7.10 <i>Interpretazioni ed incertezze nella definizione del modello</i>	33
	7.11 <i>Indicazione della classe di qualità</i>	34
8	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI FINALI	37
9	ELABORATI CARTOGRAFICI	38
	9.1 <i>Carta delle indagini</i>	38
	9.2 <i>Carta geologica-tecnica per la Microzonazione Sismica</i>	38
	9.3 <i>Carta delle frequenze fondamentali dei depositi</i>	41
	9.4 <i>Illustrazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)</i>	42
10	CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DAGLI EVENTI PASSATI	47
11	BIBLIOGRAFIA	48

1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione sono descritti e commentati i risultati dello studio di Microzonazione Sismica di livello 1 (MS1) del Comune di Cetona (Provincia di Siena), effettuata secondo le modalità, i criteri, le procedure ed i termini di attuazione previsti nelle *Specifiche Tecniche Regionali* approvate con D.G.R. n. 1162/2018 e, più in generale, secondo gli *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS)* approvati dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province autonome nella seduta del 13.11.2008.

Lo studio di Microzonazione Sismica ha l'obiettivo di individuare ad una scala comunale le zone in cui le condizioni geologiche, litologiche, stratigrafiche, strutturali e morfologiche possono intervenire sugli effetti di un terremoto, e causare danni differenziati alle costruzioni, alle infrastrutture e all'ambiente.

Più in dettaglio, gli studi di Microzonazione Sismica di primo livello consistono quindi in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geomorfologica, geofisica, geotecnica e idrogeologica preesistenti e/o eventualmente acquisiti attraverso nuove indagini integrative, al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico.

Pur se il livello 1 assume una valenza puramente qualitativa, ovvero senza fornire alcuna indicazione in merito alla quantificazione degli effetti amplificativi attesi, è anche vero che una corretta impostazione delle modalità operative, definita sin dalle prime fasi dello studio, riveste un ruolo determinante e cruciale per la buona riuscita del lavoro, ma anche e soprattutto per indirizzare correttamente i livelli di approfondimento successivi.

Lo studio di Microzonazione Sismica di livello 1 deve essere quindi inteso come una vera e propria ricostruzione tridimensionale del contesto geologico di un'area, definendo non solo le geometrie e gli spessori dei corpi sedimentari e la profondità del substrato geologico, ma anche altri aspetti, come la granulometria e l'addensamento dei depositi, la superficie della falda, la morfologia, i dissesti gravitativi dei versanti ed altri ancora, che possono a vario titolo condizionare la risposta sismica locale di una determinata area.

Il presente studio tiene pertanto conto dei dati relativi alle numerose indagini geognostiche e geofisiche pregresse, utilizzate anche per l'implementazione del quadro conoscitivo dello strumento di pianificazione territoriale del Comune di Cetona (attualmente in corso), integrate con nuove indagini geofisiche finalizzate all'analisi di maggiore dettaglio delle zone di interesse o non sufficientemente coperte dai dati pregressi.

Lo studio ha riguardato la porzione del territorio comunale corrispondente al Capoluogo, alla Frazione "Piazze" e alla Località "Fabiani", al nucleo abitato di Camporsevoli e alle aree extraurbane "Boschetto - Lamaccia - Gamberaio", "Palazzo Sgarroni - Benefizio - Cardete", "Patarnione - Bargnano", "Cantina Sociale" e "Casa Matera - Palazzolo - Vecciano".

Per tali aree, la sintesi dei dati e delle cartografie disponibili ha consentito di realizzare i seguenti prodotti di supporto allo studio di Microzonazione Sismica di livello 1:

- *Carta delle indagini.*
- *Carta delle frequenze fondamentali dei depositi.*
- *Carta geologico-tecnica.*
- *Sezioni geologico-tecniche.*
- *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).*

Una volta certificato, lo studio di Microzonazione Sismica di livello 1 verrà utilizzato e recepito all'interno del quadro conoscitivo dello strumento di pianificazione territoriale comunale, secondo le modalità previste nel vigente Regolamento regionale in materia di indagini geologiche (D.P.G.R. n. 53/R/2011).

2 RIFERIMENTI NORMATIVI E SPECIFICHE TECNICHE

La Regione Toscana, sulla base delle indicazioni di cui agli artt. 5 e 6 dell'O.C.D.P.C. n. 171 del 19 giugno 2014 (*Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2013*), ha predisposto le specifiche tecniche per l'elaborazione delle indagini e degli studi di Microzonazione Sismica.

Tale documento, elaborato in prima edizione con D.G.R. n. 261/2010 dal Settore Sismica regionale, è stato oggetto di numerosi aggiornamenti, anche per il recepimento di nuovi testi di riferimento tecnico e di normative, l'ultimo dei quali è stato approvato con D.G.R. n. 1162/2018 (edizione n. 6).

I principali testi di riferimento utilizzati per la stesura delle specifiche tecniche, sono:

- Istruzioni Tecniche per le indagini geologico-tecniche, geofisiche e geotecniche, statiche e dinamiche, finalizzate alla valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana - Programma VEL Toscana. D.G.R. n. 1343/2000 e s.m.i.
- Indirizzi e Criteri generali per la Microzonazione Sismica - GdL DPC/Regioni. Documento approvato dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni nella seduta del 13.11.2008.
- Manuale per l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) dell'insediamento urbano - AA.VV., BetMultimedia - Roma 2014.
- Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC) - Conferenza delle Regioni e Provincia Autonome - Presidenza Consiglio dei Ministri (DPC) - Versione 1.0 - Giugno 2015.
- Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per le Analisi CLE - Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica - Versione 3.0.1 - Settembre 2015.
- Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica - Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica - Versione 4.0b - Ottobre 2015.
- Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ) - Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica - Versione 1.0 - Marzo 2017.
- Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR) - Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica - Versione 2.1 - Gennaio 2018.

Per quanto riguarda le principali normative prese a riferimento, invece, si citano:

- EC8-1 - Design of Structures for earthquake resistance, part. 1: General rules, seismic action and rules for building.
- Legge n. 77/2009 - Interventi urgenti di Protezione Civile in materia di prevenzione del rischio sismico.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28.04.2006 - Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3907 del 13.11.2010 - Attuazione dell'articolo 11 del Decreto Legge 28.04.2009, n. 39, convertito con modificazioni, dalla Legge 24.06.2009, n. 77.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 4007 del 29.02.2012 - Attuazione dell'articolo 11 del Decreto Legge 28.04.2009, n. 39, convertito con modificazioni, dalla Legge 24.06.2009, n. 77.
- Ordinanza del Capo Dipartimento di Protezione Civile n. 52 del 20.02.2013 - Attuazione dell'articolo 11 del Decreto Legge 28.04.2009, n. 39, convertito con modificazioni, dalla Legge 24.06.2009, n. 77.
- Ordinanza del Capo Dipartimento di Protezione Civile n. 171 del 19.06.2014 - Attuazione dell'articolo 11 del Decreto Legge 28.04.2009, n. 39, convertito con modificazioni, dalla Legge 24.06.2009, n. 77.
- Ordinanza del Capo Dipartimento di Protezione Civile n. 293 del 26.10.2015 - Attuazione dell'articolo 11 del Decreto Legge 28.04.2009, n. 39, convertito con modificazioni, dalla Legge 24.06.2009, n. 77.
- Ordinanza del Capo Dipartimento di Protezione Civile n. 344 del 09.05.2016 - Attuazione dell'articolo 11 del Decreto Legge 28.04.2009, n. 39, convertito con modificazioni, dalla Legge 24.06.2009, n. 77.
- Ordinanza del Capo Dipartimento di Protezione Civile n. 532 del 12.07.2018 - Attuazione dell'articolo 11 del Decreto Legge 28.04.2009, n. 39, convertito con modificazioni, dalla Legge 24.06.2009, n. 77.
- Decreto Ministeriale Infrastrutture e Trasporti del 17.01.2018 - Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

- Circolare Esplicativa del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n. 7 del 21.01.2019 alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.
- Legge Regionale n. 56 del 30.07.1997 - Interventi sperimentali di prevenzione per la riduzione del rischio sismico.
- Legge Regionale n. 58 del 16.10.2009 - Norme in materia di prevenzione e riduzione del rischio sismico.
- Legge Regionale n. 65 del 10.11.2014 - Norme per il governo del territorio.
- D.G.R. n. 841 del 26.11.2007 - Individuazione dei Comuni a maggior rischio sismico.
- D.G.R. n. 261 del 18.04.2011 - Redazione delle specifiche tecniche regionali per la Microzonazione Sismica (annualità 2010).
- D.P.G.R. n. 53R del 25.10.2011 - Regolamento di attuazione dell'art. 62 della L.R. n. 1/2005 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche.
- D.G.R. n. 741 del 06.08.2012 - Redazione delle specifiche tecniche regionali per la Microzonazione Sismica (annualità 2011).
- D.G.R. n. 971 del 25.11.2013 - Redazione delle specifiche tecniche regionali per la Microzonazione Sismica (annualità 2012).
- D.G.R. n. 421 del 26.05.2014 - Approvazione della Classificazione sismica regionale.
- D.G.R. n. 1040 del 25.11.2014 - Approvazione del piano operativo regionale di protezione civile.
- D.G.R. n. 144 del 23.02.2015 - Redazione delle specifiche tecniche regionali per la Microzonazione Sismica (annualità 2013).

3 SELEZIONE E DELIMITAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE

Gli studi di Microzonazione Sismica vengono realizzati in corrispondenza delle aree significative che il Comune individua secondo le specifiche di cui al paragrafo 1.B.1.2 delle Istruzioni Tecniche del Programma VEL.

In pratica, vengono selezionati dapprima gli elementi più significativi, quali ad esempio i principali centri abitati, gli edifici strategici e le aree di espansione, con una copertura da definire in funzione delle peculiarità del territorio, delle problematiche sismiche, della sensibilità politica e, non ultimo, delle risorse economiche.

Una volta individuate le aree, la delimitazione delle stesse viene effettuata secondo i criteri definiti al paragrafo 3.4.2 degli ICMS, estendendone il perimetro ad un congruo intorno, scelto in base agli aspetti urbanistici, geomorfologici, geologici e geometrico-strutturali, e che possono produrre fenomeni di amplificazione sismica locale; se ad esempio, l'area di interesse è ubicata su un fondovalle piuttosto stretto, è buona norma estendere la stessa considerando anche i versanti prospicienti.

Allo stesso modo, verranno evidenziati anche gli aspetti geologici e geomorfologici delle aree poste su versante; in caso di rilievi di modesta entità è consigliabile estendere l'area dalla base alla sommità del versante, mentre per versanti con elevato sviluppo planoaltimetrico, è sufficiente estenderla sino a comprendere i corpi di frana o le placche di detrito/colluvio che possono interessare il centro abitato oggetto di studio.

Per il territorio comunale di Cetona, le aree significative nelle quali effettuare lo studio di Microzonazione Sismica sono state individuate, in accordo con l'Amministrazione comunale, nelle seguenti principali aree urbanizzate ed aree extraurbane di previsione:

- **Centro abitato di Cetona.**
- **Centro abitato di Piazze e Località "Fabiani".**
- **Nucleo abitato di Camporsevoli.**
- **Aree "Boschetto - Lamaccia - Gamberaio".**
- **Aree "Palazzo Sgarroni - Benefizio - Cardete".**
- **Aree "Patarnione - Bargnano".**
- **Area "Cantina Sociale".**
- **Aree "Casa Matera - Palazzolo - Vecciano".**

4 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

4.1 Sismicità storica del territorio comunale di Cetona

Una prima valutazione della pericolosità sismica del territorio comunale di Cetona è stata effettuata mediante acquisizione dei dati pubblicati dall'INGV nel Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>*), relativi ai terremoti che hanno interessato una data località con intensità massima ≥ 5 dall'anno 1000 al 2014.

Nella tabella seguente, estratta dal suddetto database, sono riportate, per ciascun evento, la data, l'area epicentrale, l'intensità epicentrale I_0 (in scala MCS), la magnitudo momento M_W (da correlazioni empiriche o misurata) e l'intensità al sito I_S (MCS).

Effetti	In occasione del terremoto del										
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	I_0	M_w	
5	1777	10	05	15	45		Val di Paglia	11	7	5.14	
3-4	1854	02	12	05			Valle Umbra	21	8	5.57	
6-7	1861	05	09	01	53		Val di Chiana	28	6-7	5.02	
5	1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34	
5-6	1919	09	10	16	57		Val di Paglia	67	7-8	5.36	
6-7	1940	10	16	13	17		Val di Paglia	106	7-8	5.29	
3	1958	05	30	06	26		Val di Paglia	18	5	4.05	
NF	1965	08	04	11	49	5	Alta Valtiberina	44	5	4.48	
5	1969	08	11	13	55		Lago Trasimeno	46	7	4.70	
3	1979	09	19	21	35	3	Valnerina	694	8-9	5.83	
3	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	912	8	5.86	
3	1984	05	11	10	41	4	Monti della Meta	342	7	5.47	
4-5	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66	
5	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97	
3-4	1997	10	03	08	55	2	Appennino umbro-marchigiano	490		5.22	
3	1997	10	06	23	24	5	Appennino umbro-marchigiano	437		5.47	
4	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62	
3-4	1998	04	05	15	52	2	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78	
3-4	2000	04	01	18	08	0	Monte Amiata	68	6	4.52	
3-4	2000	06	22	12	16	3	Bacino di Gubbio	107	5	4.47	
2	2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6	4.63	
NF	2005	12	15	13	28	3	Val Nerina	350	5	4.14	

Come si evince dalla precedente tabella, il territorio di Cetona è stato storicamente interessato da 22 principali eventi sismici (nel periodo compreso tra il 1777 ed il 2005), che sono però derivanti da fenomeni con zone sorgenti situate in aree geografiche contermini, ovvero con epicentri collocati in altri comuni; nel dettaglio, la massima intensità raggiunta al sito ($I_S = 6-7$) è relativa a eventi con epicentri nella Val di Chiana (1861, $M_W = 5,02$) e nella contigua Val di Paglia (1940, $M_W = 5,29$).

A questi, si devono aggiungere gli eventi più recentemente registrati entro un raggio di 15 km dal Capoluogo, riguardanti attività sismiche che hanno coinvolto la dorsale del Monte Cetona con valori di M_W fino ad un massimo di 3,4 (evento del 15.06.2019).

Data e Ora (Italia) 📅🕒	Magnitudo 📏	Zona 📍	Profondità 📏	Latitudine	Longitudine
2006-06-07 16:31:05	ML 2.1	4 km N San Casciano dei Bagni (SI)	5	42.91	11.86
2012-12-30 17:10:05	ML 2.2	3 km W San Casciano dei Bagni (SI)	7	42.86	11.85
2019-04-15 05:03:07	ML 2.5	3 km W Cetona (SI)	6	42.96	11.87
2019-06-13 11:00:46	ML 2.7	3 km W Cetona (SI)	7	42.95	11.86
2019-06-13 11:37:49	ML 2.1	5 km SW Cetona (SI)	8	42.94	11.85
2019-06-15 19:31:30	Mw 3.4	3 km SW Cetona (SI)	7	42.95	11.88
2019-06-15 19:36:46	ML 2.1	3 km W Cetona (SI)	3	42.96	11.86
2019-06-15 19:47:58	ML 2.2	3 km W Cetona (SI)	6	42.95	11.86
2019-06-15 19:59:40	ML 2.2	3 km W Cetona (SI)	5	42.96	11.87
2019-06-15 20:00:55	ML 2.2	2 km S Sarteano (SI)	3	42.97	11.87
2019-06-15 20:01:58	ML 2.1	4 km SW Cetona (SI)	7	42.95	11.86
2019-06-17 07:41:41	ML 2.6	3 km SW Cetona (SI)	7	42.95	11.87
2019-06-17 08:04:37	ML 2.5	4 km SW Cetona (SI)	8	42.94	11.87

Da notizie localmente raccolte, sembra che il sima più forte, percepito chiaramente anche nei contigui Comuni di Sarteano, Chiusi e San Casciano dei Bagni, abbia prodotto dei danni non trascurabili su alcuni edifici rurali situati sui versanti della Montagna di Cetona.

4.2 Analisi della disaggregazione dei valori di $a(g)$

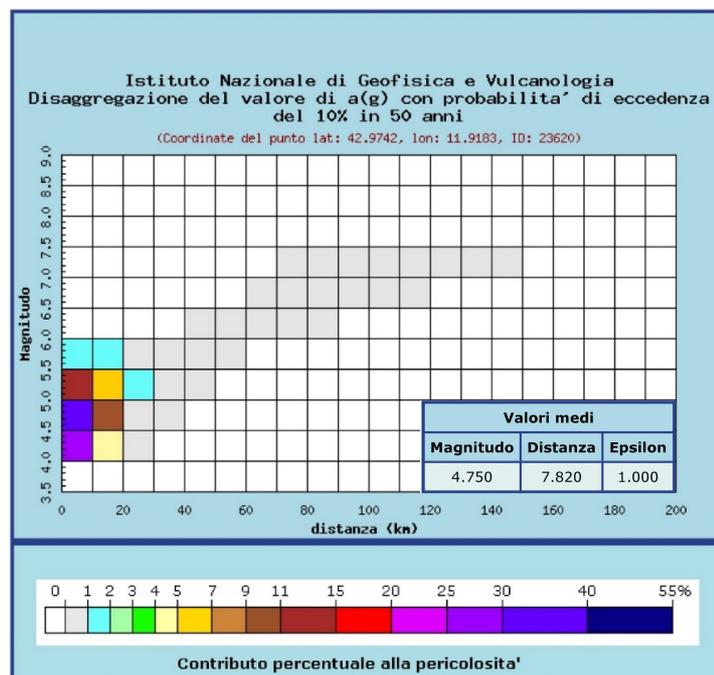
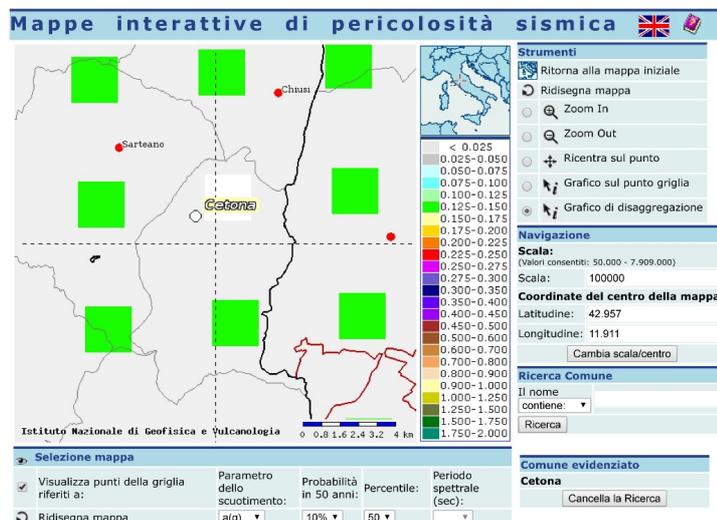
Per la definizione della pericolosità sismica del territorio, è prassi effettuare l'analisi dei dati di disaggregazione dei valori di accelerazione orizzontale massima del suolo $a(g)$.

Questo tipo di analisi è utile nell'individuazione della sorgente sismogenetica che contribuisce maggiormente a produrre il valore di scuotimento stimato in termini probabilistici, ed è utile in analisi di microzonazione.

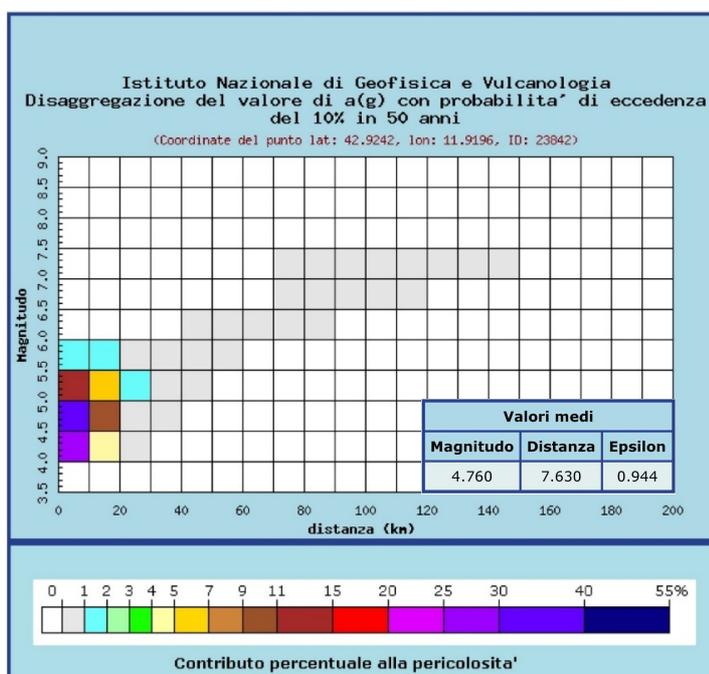
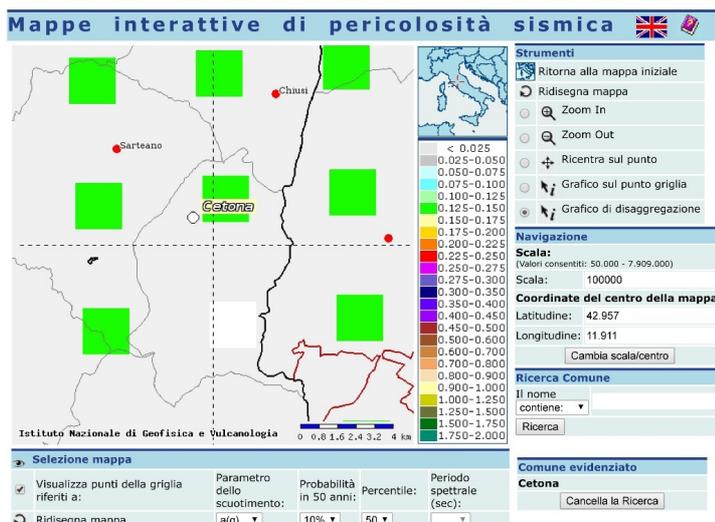
La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R), la quale permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M; espresso in altri termini, il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario), inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

Nelle immagini alle pagine seguenti sono riportate le analisi effettuate per i nodi della griglia sismica più vicini ai centri abitati di Cetona e della Frazione "Piazze".

Nucleo abitato di Cetona



Nucleo abitato di Piazze



In base ai diagrammi di disaggregazione per TR di 475 anni, si rileva che i contributi significativi alla pericolosità sismica del territorio comunale di Cetona sono attribuiti a zone sorgenti comprese entro 30 Km dai principali nuclei abitati; la magnitudo media attesa è molto stabile su tutto il territorio, ed è compresa tra 4,750 e 4,760, mentre le distanze epicentrali variano tra 7,6 e 7,8 km.

Questi dati, scaturiti dall'elaborazione di innumerevoli serie storiche e registrazioni strumentali di eventi sismici, non indicano la certezza che l'evento atteso sia l'unico possibile, ma solo che sia il più probabile.

4.3 Zonazione sismica nazionale e regionale

In adempimento all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, l'INGV ha redatto la Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale, basata sulla individuazione di quattro zone secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo il seguente schema:

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g]	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio allo spettro di risposta elastico [a_g]
1	$0,25 < a_g \leq 0,35$ g	0,35 g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25$ g	0,25 g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15$ g	0,15 g
4	$\leq 0,05$ g	0,05 g

Dalla Mappa di Pericolosità Sismica redatta dall'INGV, si rileva che il territorio comunale di Cetona è inserito tra quelli con valori di a_g , riferiti ad un tempo di ritorno di 475 anni, compresi tra 0,125 e 0,150 g, ovvero nella zona sismica 2.

In conseguenza di tale zonazione, la Giunta Regionale della Toscana ha provveduto alla riclassificazione del proprio territorio, confermando dapprima l'attribuzione del Comune di Cetona alla zona sismica 2 (D.G.R. n. 604/2003) e successivamente alla zona 3S (D.G.R. n. 431/2006).

Con l'entrata in vigore del D.M. 14.01.2008 e, più recentemente, del D.M. 17.01.2018, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido, non viene più definita con criterio "zona-dipendente", ma piuttosto con un approccio "sito-dipendente", rendendo di fatto la vecchia classificazione regionale scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto.

Con la successiva D.G.R. n. 878/2012 (*Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14.01.2008 - Revoca della D.G.R.T. n. 431/2006*), la Giunta Regionale provvedeva ad approvare la nuova classificazione del territorio, revocando la sussistenza della zona sismica 3S, **ed attribuendo definitivamente il Comune di Cetona alla zona sismica 3**, confermata anche con il più recente aggiornamento approvato con D.G.R. n. 421/2014.

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

5.1 *Inquadramento geologico regionale e locale*

Il territorio comunale di Cetona si sviluppa nella fascia di territorio compresa tra la dorsale del Monte Cetona ed il margine orientale del bacino della Val di Chiana.

La genesi di questa zona è legata al quadro strutturale della Toscana meridionale, che si è evoluto attraverso una serie di fasi tettoniche, dapprima di tipo compressivo, e quindi a carattere distensivo, con la conseguente formazione di zone depresse e dorsali rialzate (sistema Horst e Graben).

L'evento più antico, di tipo compressivo, provocò sostanzialmente l'impilamento dei terreni appartenenti al dominio ligure, e si esaurì nell'Oligocene superiore, durante il quale si attivarono regimi distensivi in due distinte fasi.

La prima, datata fra il tardo Oligocene e il tardo Tortoniano, vede la messa in posto delle liguridi al di sopra del complesso dei terreni della Falda Toscana, attraverso la formazione di faglie normali a basso angolo, i cui orizzonti di scollamento e avanscorrimento sono localizzati alla base delle formazioni liguri e all'interno della stessa Successione Toscana.

Tale fenomeno produce una riduzione di spessore, o addirittura una completa elisione, di interi termini della Falda Toscana, dando luogo alla cosiddetta "serie ridotta"; nel Comune di Cetona, tale fenomeno si riscontra in corrispondenza delle formazioni della Scaglia, che appaiono infatti in spessori molto variabili, e del Macigno, che è presente solo in rari e piccoli lembi localizzati.

Durante la prima fase distensiva, e successivamente alla messa in posto dell'unità di Santa Fiora, si origina la struttura plicativa del Monte Cetona, che coinvolge le formazioni della Successione Toscana e parte di quelle dei flysch liguri, dando luogo a strutture deformative e tettoniche che ne mutano sensibilmente la giacitura ed i rapporti stratigrafici.

A partire dal Miocene medio si attiva un secondo evento distensivo, caratterizzato da deformazioni fragili che si sviluppano attraverso una serie di faglie dirette che dislocano tutte le strutture del substrato preneogenico.

Le faglie si sviluppano con direzione NNW e SSE sui due fianchi del massiccio carbonatico del Monte Cetona, contribuendo alla formazione delle depressioni tettoniche del bacino di Radicofani ad Ovest e della Val di Chiana ad Est.

All'inizio del Pliocene, la Toscana meridionale subiva importanti cambiamenti paleogeografici per effetto di un innalzamento del livello del mare a scala globale, determinando un ciclo di trasgressione e regressione marina tale da interessare ambienti fino a quel momento a prevalente sedimentazione continentale e lacustre; la trasgressione pliocenica interessò, tra gli altri, anche il bacino della Val di Chiana, instaurando un ambiente marino distale di media profondità.

L'ingressione marina si conclude quindi nel Pliocene medio-superiore, quando in tutta la Toscana si è innescato un fenomeno generalizzato di sollevamento tettonico; il livello del mare subì un nuovo trend regressivo, modificando ancora una volta l'ambiente deposizionale, dapprima in una facies poco profonda prossima alla linea costiera, e quindi fino ai suoi attuali confini.

Il bacino della Val di Chiana è stato successivamente caratterizzato da una serie di ampi laghi e paludi, che sono state bonificate solo in tempi più recenti ed a più riprese con la costruzione di imponenti opere idrauliche (canali di drenaggio e colmate).

5.2 Inquadramento geologico

L'assetto stratigrafico del territorio comunale è legato alle alterne vicissitudini tettoniche che hanno condizionato dapprima le modalità deposizionali dei litotipi, e successivamente la loro disposizione ed i rapporti reciproci.

Le formazioni affioranti nel territorio sono state riferite a quattro principali complessi, dei quali si riporta una sintetica descrizione, a partire dai termini più recenti ai più antichi.

Depositi continentali del Quaternario

Sono generalmente rappresentati da litotipi ghiaiosi, sabbiosi e limoso-argillosi disposti in modo eteropico, con giustapposizione sottoforma di lenti o livelli e con prevalenza dell'una o dell'altra granulometria costituente, in funzione dell'ambiente deposizionale di origine e dei processi evolutivi subiti; essi sono stati differenziati nelle seguenti unità formazionali:

- *Depositi antropici (h5)*: sono costituiti da materiali eterogenei per dimensioni e natura, e sono riconducibili esclusivamente ad attività antropiche antiche o recenti; per questo, si rinvencono principalmente a ridosso dei centri abitati e nelle opere infrastrutturali.
- *Depositi di versante (aa, ab)*: si tratta di coltri detritiche costituite da materiali eterogenei provenienti dal disfacimento delle formazioni geologiche limitrofe e sottostanti.

- *Detriti di falda (a3a, a3b)*: sono rappresentati da un conglomerato in matrice terrigena, con clasti carbonatici spigolosi ed eterometrici provenienti dalle formazioni della successione toscana; si rinvencono nel fianco orientale del Monte Cetona, circa all'altezza della S.P. n. 89 della Montagna, dove sono stati anticamente oggetto di coltivazione.
- *Depositi eluvio-colluviali (b2a)*: si tratta di depositi residuali derivanti dall'alterazione dei termini calcarei mesozoici e dei travertini continentali; sono costituiti da detrito calcareo disperso in matrice argillosa e sabbiosa, conosciuti anche col nome di "terre rosse".
- *Accumuli eterometrici di blocchi e brecce calcaree in matrice argilloso-sabbiosa (br)*: sono costituiti da accumuli di blocchi e materiali detritici provenienti dal disfacimento degli orizzonti di travertino, e si collocano quasi sempre ai margini delle bancate in posto, sovrapposti ai termini argillosi e sabbiosi pliocenici. La genesi è probabilmente collegata ai cedimenti differenziali e/o a fenomeni di scivolamento planare sul substrato pliocenico, che hanno causato la fratturazione, la dislocazione ed il crollo dei litotipi sottoforma di elementi di dimensioni anche ciclopiche.
- *Depositi alluvionali attuali (b)*: caratterizzano buona parte dei corsi d'acqua principali e minori presenti sul territorio; sono rappresentati da ghiaie, sabbie e livelli o lenti limose e argillose in rapporti variabili principalmente in funzione delle dinamiche fluviali e della conformazione morfologica degli alvei.
- *Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati (bna, bnb)*: tali depositi sono osservabili all'interno degli alvei dei principali corsi d'acqua in approfondimento, sia nelle pianure alluvionali che, a varie altezze, sui versanti vallivi prospicienti. La granulometria è molto variabile, e dipende anche in questo caso dal regime dei corsi d'acqua; in generale, sono costituiti da ghiaie bene evolute, ma anche da sabbie, limi e argille.
- *Depositi lacustri, lagunari, palustri, torbosi e di colmata (ea)*: caratterizzano una piccola porzione nel margine orientale del territorio, nella zona che si apre alla Val di Chiana; si tratta di depositi costituiti da limi sabbiosi e limi argillosi di ambiente palustre e di colmata, sovrapposti in continuità deposizionale al substrato pliocenico.
- *Travertini e calcari continentali (f1b)*: il travertino si rinviene sulla sommità del centro storico del Capoluogo, ed almeno in altri due affioramenti localizzati sulle pendici orientali del Monte Cetona; in tutti i casi, essi poggiano sulle formazioni plioceniche sabbiose e argillose, e si presentano frequentemente in forma detritica ed intensamente fratturata, tanto che in alcuni casi si è potuta individuare la presenza di antiche frane di crollo innescate probabilmente da meccanismi di scivolamento planare.

Depositi marini pliocenici

I depositi del ciclo neautoctono toscano affiorano principalmente nei due bacini tettonici di Radicofani ad Ovest e della Val di Chiana ad Est, separati dalla dorsale triassica Rapolano - Trequanda - Monte Cetona, sulla quale poggiano in discordanza.

Sono rappresentati da formazioni di ambiente marino costituite da ghiaie eterometriche in matrice sabbiosa e limosa, sabbie sottili e sabbie argillose, limi e argille, e costituiscono il substrato sul quale si sono sovrainposti i depositi continentali precedentemente descritti.

- *Brecce poligeniche (PLId)*: si tratta di brecce ad elementi di Serie Toscana prevalente; si rinvengono principalmente a ridosso o addirittura in sovrapposizione ai termini carbonatici della dorsale del Monte Cetona.
- *Calcareniti e calciruditi bioclastiche (PLIc)*: affiorano sul versante orientale del Monte Cetona, direttamente sul substrato carbonatico o sui livelli conglomeratici, sabbiosi o argillosi; sono costituite da un calcare ad elevata componente organogena (calcare bioclastico), debolmente stratificato e con livelli sabbiosi, rappresentativo di un ambiente deposizionale tipicamente costiero.
- *Sabbie e arenarie gialle (PLIs)*: l'unità è prevalente nel settore collinare compreso tra la dorsale del Monte Cetona e la pianura alluvionale del Torrente Astrone; è composta da sedimenti prevalentemente granulari, nei quali può sovente prevalere, o divenire significativa, la componente limosa e argillosa. Le sabbie sono disposte in strati o banchi variamente addensati ed intervallati da livelli o lenti decimetrici e metrici di argille limose o sabbiose e addirittura di conglomerati.
- *Argille e argille siltose grigio-azzurre (FAA)*: questa unità è composta prevalentemente da limi argillosi di colore grigio-turchino al taglio fresco e grigio chiaro sulle superfici alterate; nel territorio di Cetona, tali litotipi affiorano sottoforma di potenti intercalazioni entro la formazione delle *Sabbie e arenarie* a valle del toponimo "Conicchio di Sopra", dove costituiscono elemento predisponente a fenomeni gravitativi molto estesi.
- *Argille sabbiose, limi e argille siltose con intercalazioni sabbiose fossilifere (FAAb)*: sono materiali prettamente coesivi, sebbene contenenti anche una notevole frazione sabbiosa sottile; costituiscono generalmente la parte basale dei rilievi collinari prospicienti alla valle del Torrente Astrone, soprattutto nel settore meridionale del territorio comunale.
- *Conglomerati marini poligenici (PLIb)*: sono costituiti da clasti ben arrotondati con dimensioni variabili fino a 8-10 cm, immersi in matrice sabbiosa a cemento carbonatico; si rinvengono sottoforma di livelli e lenti nelle formazioni delle sabbie e delle argille.

Dominio Ligure

- *Formazione di Sillano (SIL)*: nel suo insieme, la formazione può essere considerata come una facies pelitico-arenacea costituita da una frazione gradata (calcareniti gradate o arenarie calcarifere a grana fine e silt, calcari a grana fine, calcari marnosi e marne, diaspri neri sottilmente stratificati) e da una frazione argillitica e calcilutitica, di norma prevalente. Affiora piuttosto estesamente nel settore Sud-occidentale del territorio comunale, tra la Frazione "Piazze" e la parte basale della dorsale carbonatica del Monte Cetona, sulla quale è sovrapposta per sovrascorrimento tettonico.

Dominio Toscano

Le formazioni del Dominio Toscano affiorano esclusivamente sulla dorsale del Monte Cetona, oltre a costituirne l'ossatura, e non interessano pertanto le aree oggetto dello studio di Microzonazione Sismica; di conseguenza, si omette in questa sede la descrizione delle unità rappresentative, rimandando per maggiori approfondimenti allo studio geologico di supporto al vigente strumento di pianificazione territoriale comunale.

5.3 Inquadramento geomorfologico

Il territorio comunale presenta, sotto l'aspetto morfologico, una varietà di paesaggio conseguente alle complesse azioni dinamiche esogene ed endogene che hanno caratterizzato questa porzione della Toscana fin dal periodo tardo miocenico.

Il paesaggio collinare, impostato prevalentemente sui terreni argillosi e limosi pliocenici, caratterizza principalmente la parte Sud-orientale del territorio, ed è dominato da forme di rilievo piuttosto dolci e regolari, poste a quote comprese all'incirca tra 250 e 500 metri.

Al passaggio con i depositi più tipicamente sabbiosi, la morfologia dei sistemi vallivi si fa più netta, con versanti a maggiore pendenza che terminano spesso su valli a fondo piatto; i versanti, in questi contesti, possono assumere le caratteristiche di vere e proprie "rottture di pendio", interrompendo la regolarità del territorio con dislivelli di notevole altezza.

Nella genesi di queste morfologie assumono un ruolo decisivo i fenomeni gravitativi, per i quali costituisce un elemento predisponente la continua alternanza di sabbie e argille.

In corrispondenza delle formazioni carbonatiche della Successione Toscana, il paesaggio assume caratteri più marcatamente montuosi, e le quote aumentano rapidamente fino alla vetta del Monte Cetona (1148 metri s.l.m.).

In corrispondenza degli affioramenti delle facies liguri, ovvero nel settore meridionale del Comune di Cetona, i versanti assumono forme molto irregolari, come anche l'andamento dei corsi d'acqua, in quanto legati all'alternanza delle frazioni argillitiche e calcaree.

Lungo il corso del Torrente Astrone, infine, in un contesto chiaramente alluvionale, si sviluppa un paesaggio di pianura, i cui limiti laterali verso Est e verso Ovest si presentano frastagliati da un sistema di valli secondarie attraversate da un reticolo idrografico completamente regimato e canalizzato.

Per quanto riguarda la propensione all'instabilità del territorio, si rileva che la quasi totalità dei dissesti franosi attivi si localizza sui terreni pliocenici sabbiosi e argillosi, in primo luogo a causa delle scadenti caratteristiche litotecniche, ma anche per le elevate pendenze in cui spesso si dispongono; alcune frane per scorrimento rotazionale si impostano invece sui terreni a comportamento litoide presenti lungo le pendici occidentali del Monte Cetona.

Sono state riferite a movimenti gravitativi anche numerose morfologie tipiche dei terreni in facies ligure; si tratta presumibilmente di scivolamenti inattivi o di vere e proprie paleofrane, talvolta molto estese, innescatesi in condizioni climatiche diverse da quelle odierne.

Di minore importanza areale sono invece le frane di crollo che interessano, come forme relitte, i travertini affioranti presso il toponimo "Belverde", a Nord-Est dell'abitato di Cetona.

Le frane per colamento ed i soliflussi sono invece ubicati prevalentemente nei bacini neogenici; essi si caratterizzano per il lento movimento, che dà luogo a corpi di frana generalmente superficiali e di piccole dimensioni, identificabili in base alla tipica formazione di dossi, ondulazioni e contropendenze.

Anche i fenomeni erosivi e deposizionali legati al ciclo delle acque costituiscono un elemento centrale nella morfogenesi dei terreni pliocenici; sui terreni argillosi, la bassa permeabilità contribuisce alla presenza di un reticolo di drenaggio più fitto, che si imposta sui versanti collinari scavandoli con forme piuttosto incise, mentre nei depositi sabbiosi, le valli si presentano meno incise ed il reticolo idrico secondario è meno pervasivo.

Tra le forme morfologiche del territorio, infine, si citano le forme carsiche della dorsale carbonatica del Monte Cetona (doline di dissoluzione), e gli elementi antropici, come le cave inattive, gli argini artificiali, gli sbarramenti, i rilevati stradali e, non ultimo le strutture sotterranee complesse (cunicoli e cantine) che caratterizzano il centro storico di Cetona.

6 INDAGINI REALIZZATE E/O PREGRESSE

6.1 Introduzione

Le informazioni riportate nelle cartografie geologiche dello strumento di pianificazione territoriale comunale, ed in quelle più recenti elaborate per la formazione del nuovo Piano Operativo comunale sono state criticamente analizzate, con particolare riferimento alla individuazione di tutti gli elementi che possono avere rilevanza ai fini dell'implementazione dello studio di Microzonazione Sismica.

Per questo, particolare attenzione è stata posta nella individuazione dell'estensione e dello spessore dei terreni di copertura che caratterizzano le aree urbanizzate, dal momento che tali aspetti sono determinanti per definire i limiti tra le zone stabili e le zone suscettibili di amplificazione locale.

Il recupero e l'analisi dei dati pregressi relativi alle indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio esistenti nel territorio ha avuto una fondamentale importanza ai fini della programmazione delle ulteriori indagini necessarie all'implementazione dello studio di Microzonazione Sismica.

La prima fase di reperimento dei dati è stata effettuata presso i seguenti enti:

- Servizio Geologico d'Italia e Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), relativamente alle seguenti basi conoscitive: indagini del sottosuolo (Legge n. 464/84) e catalogo delle faglie capaci (ITHACA);
- Archivi della Regione Toscana, del Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica Ambientale (LaMMA) e del Sistema Informativo Regionale Ambientale della Toscana (SIRA), relativamente alle seguenti basi conoscitive: banca dati pozzi e derivazioni; banca dati indagini geotematiche, banca dati dei corpi idrici sotterranei, carta geologica regionale, banca dati frane e coperture.

Il quadro delle indagini è stato inoltre completato consultando l'archivio comunale in riferimento alle pratiche edilizie o urbanistiche ed agli interventi effettuati dal Settore LL.PP.

Nel complesso, sono stati quindi preventivamente analizzati i dati relativi a 253 indagini tra sondaggi, prove penetrometriche statiche e dinamiche, saggi esplorativi e pozzi per acqua, ai quali si aggiungono prove di laboratorio su 26 campioni; per quanto riguarda le indagini geofisiche, invece, sono state prese a riferimento 4 prove down-hole, 3 analisi di sismica passiva HVSr, 2 indagini MASW e 25 stendimenti di sismica a rifrazione.

6.2 Risultati delle indagini di sismica a rifrazione con onde P ed SH

L'indagine di sismica a rifrazione (codice "L36" nella citata *Carta delle indagini*, corrispondente al codice "32_SR" nella *Relazione sulle indagini geofisiche integrate*) è stata effettuata nel margine occidentale della Frazione "Piazze", tra i toponimi "Podere Ulivo" e "Cimitero"; in tale contesto, lo stendimento è stato strutturato predisponendo 24 geofoni con distanza intergeofonica di 5 metri, per una lunghezza complessiva di 115 metri.

Tralasciando le basi teoriche della metodologia utilizzata, per le quali si rimanda all'allegata relazione specialistica, ci si limita in questa sede a riportare i risultati del processo di elaborazione effettuato sui dati di campagna, con il quale è stato possibile discretizzare il sottosuolo in tre principali sismostrati in funzione dei valori di velocità delle onde P e SH.

STESA SISMICA	ONDE	SPESSORE SISMOSTRATO 1 [m]	VELOCITA' SISMOSTRATO 1 [m/s]	SPESSORE SISMOSTRATO 2 [m]	VELOCITA' SISMOSTRATO 2 [m/s]	SPESSORE SISMOSTRATO 3 [m]	VELOCITA' SISMOSTRATO 3 [m/s]
32_SR	P	3÷4	494 ÷ 649	11÷15	1545÷ 1871	ND	2443 ÷ 3349
32_SR	S	0÷5	198 ÷ 231	9 ÷ 17	309÷ 340	ND	749 ÷1310

L'analisi dei dati permette di definire i sismostrati superficiale ed intermedio come "coperture", sebbene costituiti dai terreni in facies di flysch riconducibili alla Formazione di Sillano (SIL), mentre il sismostrato profondo, rappresentato dai medesimi terreni, ma in stato di alterazione e fratturazione meno evidente, è stato interpretato come "substrato rigido", in quanto caratterizzato da valori del parametro Vs compresi tra 750 m/s e 1310 m/s.

6.3 Prospezione sismica attiva con tecnica MASW

Per le prospezioni sismiche con tecnica MASW sono stati realizzati sei profili attrezzati con 24 geofoni disposti con distanza intergeofonica variabile tra 2,5 e 5 metri, per lunghezze di stendimento comprese tra 57,5 e 115 metri.

Dai risultati riportati nelle successive tabelle, si rileva che solo in corrispondenza dello stendimento "L32" (corrispondente all'indagine "33_MASW" nella *Relazione sulle indagini geofisiche integrate*), eseguito nel margine occidentale dell'abitato di Piazze (nella medesima posizione dell'indagine di sismica a rifrazione "L36"), è stata confermata la presenza del substrato sismico riconducibile alla Formazione di Sillano inalterata.

Stendimento L27 (11_MASW)

PROF. (m)	SPESSORE (m)	Vsv (m/s)	Vsh (m/s)	Vp (m/s)	ρ (kg/mc)	ν
1.23	1.23	162	167	393	1830	0.40
7.11	5.88	228	240	555	1910	0.40
14.15	7.04	291	307	691	1960	0.39
17.83	3.68	487	511	1111	2080	0.38
-	-	641	672	1647	2170	0.41

Stendimento L28 (35_MASW)

PROF. (m)	SPESSORE (m)	Vsv (m/s)	Vsh (m/s)	Vp (m/s)	ρ (kg/mc)	ν
6.75	6.75	217	225	606	1930	0.43
11.56	4.81	275	285	696	1970	0.41
18.57	7.01	358	373	831	2010	0.39
24.11	5.54	466	485	1090	2070	0.39
-	-	625	630	1552	2160	0.40

Stendimento L29 (42_MASW)

PROF. (m)	SPESSORE (m)	Vsv (m/s)	Vsh (m/s)	Vp (m/s)	ρ (kg/mc)	ν
7.2	7.2	202	202	530	1900	0.42
13.89	6.69	367	373	1012	2060	0.42
18.59	4.7	418	408	1088	2070	0.41
24.03	5.44	409	420	1010	2060	0.40
-	-	508	518	1365	2130	0.42

Stendimento L30 (43_MASW)

PROF. (m)	SPESSORE (m)	Vsv (m/s)	Vsh (m/s)	Vp (m/s)	ρ (kg/mc)	ν
3.19	3.19	147	150	342	1790	0.39
9.83	6.64	249	261	596	1930	0.39
17.5	7.67	399	411	996	2050	0.40
24.02	6.52	423	408	971	2050	0.38
-	-	546	543	1364	2130	0.40

Stendimento L31 (27_MASW)

PROF. (m)	SPESSORE (m)	Vsv (m/s)	Vsh (m/s)	Vp (m/s)	ρ (kg/mc)	ν
4.75	4.75	149	153	369	1810	0.40
17.52	12.77	336	330	754	1980	0.38
28.25	10.73	441	429	1148	2080	0.41
37.74	9.49	518	516	1222	2090	0.39
-	-	548	559	1210	2090	0.37

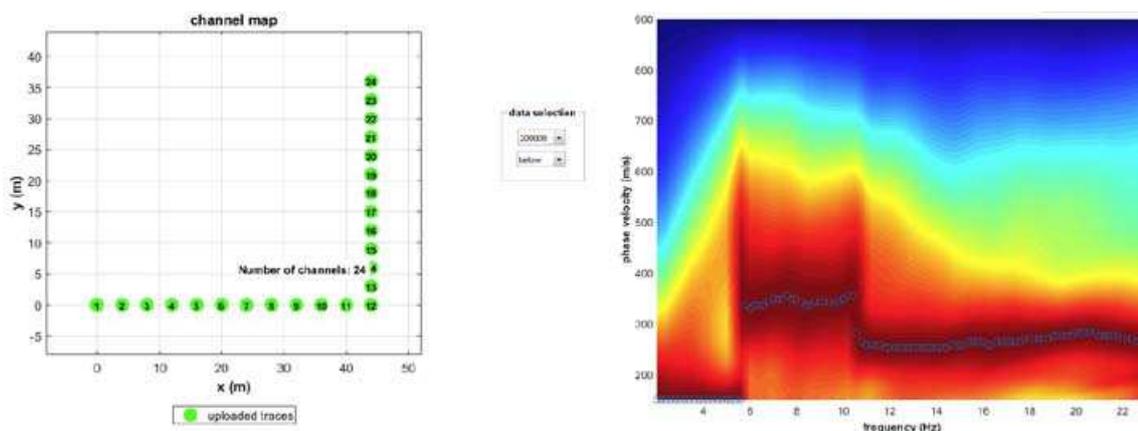
Stendimento L32 (33_MASW)

PROF. (m)	SPESSORE (m)	Vsv (m/s)	Vsh (m/s)	Vp (m/s)	ρ (kg/mc)	ν
3.84	3.84	171	165	411	1840	0.40
13.22	9.38	203	212	577	1920	0.43
21.66	8.44	367	383	1005	2050	0.42
27.35	5.69	677	664	1494	2150	0.37
-	-	876	865	2051	2230	0.39

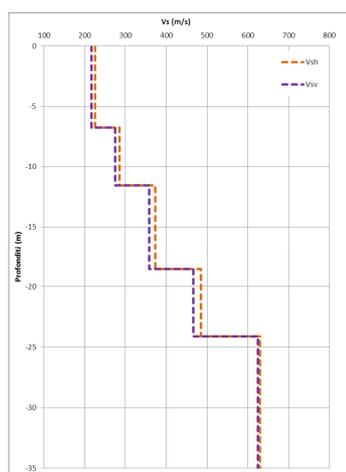
6.4 Prospezione sismica con metodo ESAC

Si tratta di una procedura sperimentale per la determinazione del profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo a partire da misure di vibrazioni ambientali condotte con geofoni verticali posizionati con una geometria conosciuta (antenna sismica o seismic array).

L'acquisizione è stata effettuata nel settore occidentale del centro abitato di Cetona (indagine "P288"), ed è stata analizzata congiuntamente alla prospezione MASW "L28".



La sovrapposizione degli spettri di velocità derivati dall'analisi MASW con la curva di dispersione ottenuta attraverso l'indagine ESAC ha permesso di ottenere l'andamento della velocità delle onde di taglio V_s nel sottosuolo, graficizzato nell'immagine seguente; da questa, è possibile osservare un incremento regolare di V_s all'aumentare della profondità.



Si può quindi concludere che la zona studiata con l'indagine ESAC non presenta particolari discontinuità sismostratigrafiche, ed è caratterizzata da assenza di frequenza di risonanza.

6.5 Misure di rumore sismico a stazione singola HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios), basata sulla misura dei rapporti medi tra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontale e verticale del rumore sismico ambientale, ha permesso di determinare le frequenze fondamentali di risonanza del sotto-suolo su ciascuna delle verticali indagate.

Anche in questo caso, si rimanda all'allegata *Relazione sulle indagini geofisiche integrate* per qualsiasi considerazione di carattere teorico, limitandoci in questa sede a riportare in forma tabellare i risultati delle singole misure HVSR acquisite.

CODICE INDAGINE	ID DATABASE	LOCALITÀ	FREQUENZA DI PICCO (Hz)	AMPIEZZA	CLASSE
01_HVSR	052008P253	CETONA	5,72	2,42	B2
02_HVSR	052008P254		ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI		A2
03_HVSR	052008P255		19,06	2,47	A2
04_HVSR	052008P256		ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI		A2
05_HVSR	052008P257		4,92	2,44	A2
06_HVSR	052008P258		ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI		A2
07_HVSR	052008P259		ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI		A2
08_HVSR	052008P260		ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI		A2
09_HVSR	052008P261		19,00	3,71	A1
10_HVSR	052008P262		ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI		A2
12_HVSR	052008P263		ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI		A2
13_HVSR	052008P264		ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI		A2
14_HVSR	052008P265		ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI		A2
15_HVSR	052008P266		ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI		A2
16_HVSR	052008P267		1,66	1,98	A2
17_HVSR	052008P268		2,41	2,20	A2
18_HVSR	052008P269		LAMACCIA	3,91	2,22
19_HVSR	052008P270	PALAZZO SGARRONI	4,47	2,43	A2
20_HVSR	052008P271	PIAZZE	ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI		A2
21_HVSR	052008P272		14,34	3,13	A2
22_HVSR	052008P273		24,38	3,39	A1
23_HVSR	052008P274		4,58	1,74	A2
24_HVSR	052008P275		ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI		A2
25_HVSR	052008P276		1,17	1,64	A2
26_HVSR	052008P277		1,34	1,78	A2
28_HVSR	052008P278		13,13	2,85	A2
29_HVSR	052008P279		12,11	2,39	A2
30_HVSR	052008P280		1,25	2,32	A2
31_HVSR	052008P281		12,42	2,61	A2
34_HVSR	052008P282	CAMPORSEVOLI	ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI		A2
36_HVSR	052008P283	VECCIANO	ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI		A2
37_HVSR	052008P284	MATERA	5,16	2,00	A2
38_HVSR	052008P285	PALAZZOLO	ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI		A2
39_HVSR	052008P286	CASALE DEL PINO	16,56	2,45	A2
40_HVSR	052008P287	PATARNIONE	2,03	2,03	A2

L'analisi delle indagini HVSR ha permesso di determinare in quasi tutti i casi ampiezze di picco non particolarmente elevate, o addirittura l'assenza di picchi significativi.

Le uniche eccezioni si verificano nelle postazioni di prova "P261" (limite Sud-orientale del centro abitato di Cetona), "P272" e "P273" (limite orientale della Frazione "Piazze"), dove sono stati determinati valori di ampiezza compresi tra 3,1 e 3,7, sebbene con frequenze di picco tra 14,3 e 24,4 Hz, dimostrando la presenza di "riflettori sismici" relativamente superficiali (mediamente, tra due e quattro metri dal p.c.).

I punti di indagine sono stati riportati graficamente nella "*Carta delle frequenze fondamentali dei depositi*", con cerchi di raggio variabile in funzione del massimo valore del rapporto H/V e con una colorazione dipendente dal range di frequenza in cui ricadono, coerentemente a quanto previsto negli *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica* della Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (Versione 4.0b - Ottobre 2015).

7 MODELLO DI SOTTOSUOLO

7.1 Definizione delle caratteristiche litologiche e geometriche delle unità geologiche del sottosuolo

Ai fini dello studio di Microzonazione Sismica, è necessario creare un modello geologico-tecnico di sintesi nel quale, oltre alle caratteristiche litostratigrafiche, devono essere evidenziati tutti gli altri elementi in grado di interagire con le azioni sismiche, come ad esempio la morfologia, l'assetto strutturale, i caratteri geotecnici e geofisici e le caratteristiche idrogeologiche del sottosuolo.

Nella *Carta geologico-tecnica* redatta a supporto dello studio viene pertanto effettuata una discretizzazione del modello geologico, accorpendo quei terreni e quei substrati che presentano caratteristiche tra loro simili, e ponendo particolare attenzione alla ricostruzione dei rapporti geometrici tra le varie unità; tale fase di accorpamento si rende necessaria per poter passare dalla classica cartografia geologica all'elaborato finale degli studi di Microzonazione Sismica di livello 1, ovvero alla *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica* (MOPS).

Per tale operazione sono risultati fondamentali i dati relativi ai numerosi pozzi per acqua presenti nelle aree urbanizzate; essi, infatti, avendo un notevole sviluppo verticale, hanno consentito in qualche sporadico caso il raggiungimento del substrato sismico (7 pozzi sui 56 presi a riferimento), diversamente dai sondaggi stratigrafici e dalle prove penetrometriche, che non lo hanno mai intercettato.

Per tale motivo, le indagini geofisiche con tecnica della sismica attiva e/o passiva sono risultate particolarmente utili nella determinazione degli spessori delle coperture, oltreché per stimare le velocità di propagazione delle onde sismiche V_p e V_s negli strati superficiali e profondi.

Nel seguito, vengono illustrati e descritti i modelli di sottosuolo ricostruiti per ciascuna delle aree oggetto dello studio di Microzonazione Sismica; si precisa, comunque che a causa delle inevitabili incertezze legate alla naturale eterogeneità laterale e formazionale dei terreni che costituiscono le coperture plioceniche ed oloceniche, i modelli di seguito indicati sono da intendersi rappresentativi unicamente alla scala dello studio effettuato, e non possono pertanto essere utilizzati per interventi di progettazione esecutiva.

7.2 Centro abitato di Cetona

Il centro abitato di Cetona si colloca nel settore Nord-occidentale del territorio comunale, in una zona caratterizzata dalla presenza di estesi affioramenti di terreni riconducibili pressoché esclusivamente ai depositi sabbiosi in facies marina del Pliocene (PLIs).

Il corpo sedimentario è rappresentato di norma da sabbie fini, sabbie limose e sabbie argillose con frequenti livelli e lenti prettamente limosi ed argillosi, e con spessore formazionale variabile mediamente fino ad un massimo di 30-40 metri.

La formazione delle sabbie è sovrapposta in continuità stratigrafica alla potente formazione delle argille sabbiose e limose del Pliocene (FAAb), delle quali è localmente possibile osservare affioramenti solo nelle porzioni basali dei rilievi collinari prossimi alla valle del Torrente Astrone; lo spessore della formazione argillosa pliocenica, ipotizzato per analogia con altri simili contesti geologici, è almeno dell'ordine delle centinaia di metri.

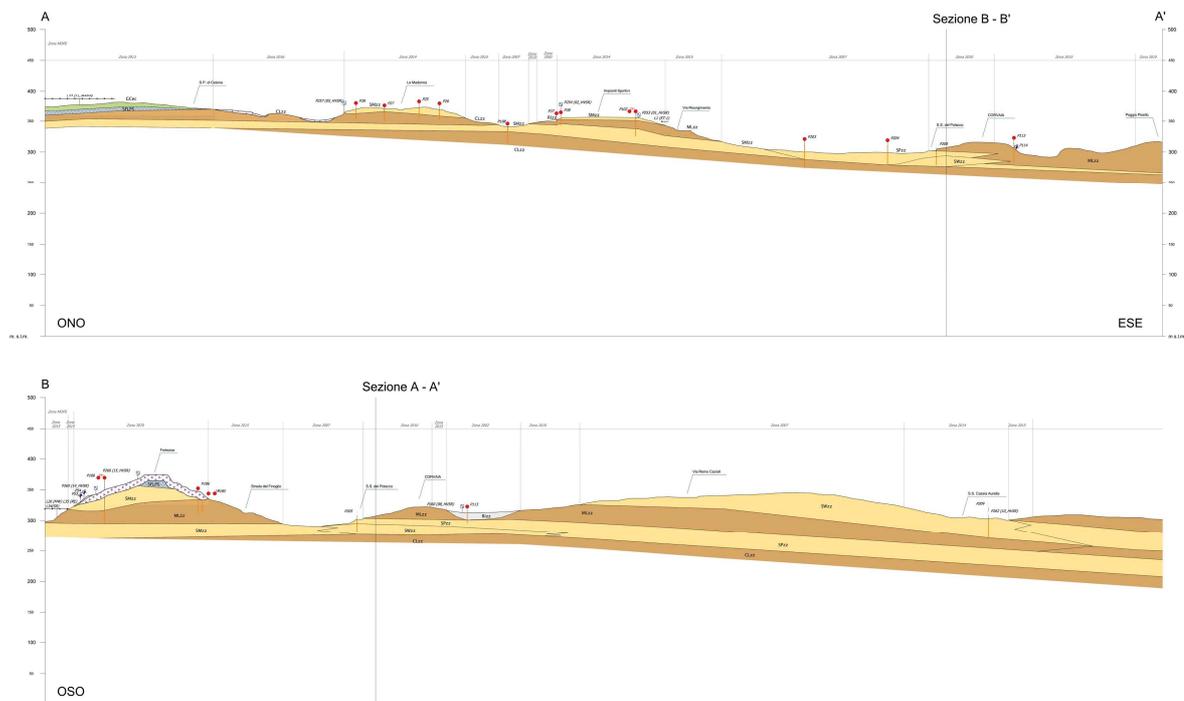
Coerentemente con tale contesto, le indagini geognostiche e sismiche effettuate nel centro abitato di Cetona e nelle zone immediatamente contermini non hanno mai evidenziato la presenza di un substrato rigido entro la profondità di almeno 80-100 metri dal p.c.

Si rileva, invece, che sui termini sabbiosi ed argillosi del Pliocene, si sono localmente sovrainposte delle placche di travertino (f1b) riconducibili ad antiche emergenze idrotermali; queste, in particolare, si rinvennero sulla sommità del rilievo nel quale si erge il centro storico di Cetona ed in buona parte del territorio circostante al toponimo "San Francesco", a partire da alcune centinaia di metri dal margine Nord-occidentale del Capoluogo.

Nonostante la natura lapidea del travertino, il fatto che lo stesso si presenti quasi sempre in una facies molto porosa, oltretutto intensamente tettonizzato, fratturato, dislocato ed alterato, ha suggerito di inserirlo tra i terreni di "copertura", anche perché quasi sempre caratterizzato da valori del parametro Vs inferiori a 800 m/s.

Da segnalare, per quanto riguarda ulteriori situazioni che hanno risvolti sullo studio di Microzonazione Sismica, la presenza, in tutta la porzione del centro storico, di numerose cavità di origine antropica impostate sul substrato sabbioso pliocenico (cunicoli e cantine interrate); di queste, non si ha attualmente una completa stima del numero, dell'ubicazione e delle dimensioni, e per questo devono essere tenute in debita considerazione, almeno a livello qualitativo, per la loro possibile interferenza con la stabilità dell'edificato.

Nell'immagine seguente è riportato un estratto delle sezioni geologico-tecniche realizzate secondo direttrici NW-SE (A-A') e SW-NE (B-B') attraverso il centro abitato di Cetona.



7.3 Centro abitato di Piazze e Località "Fabiani"

La Frazione "Piazze" e la Località "Fabiani" si collocano nel margine meridionale del territorio comunale, al confine con i Comuni di San Casciano dei Bagni e Città della Pieve.

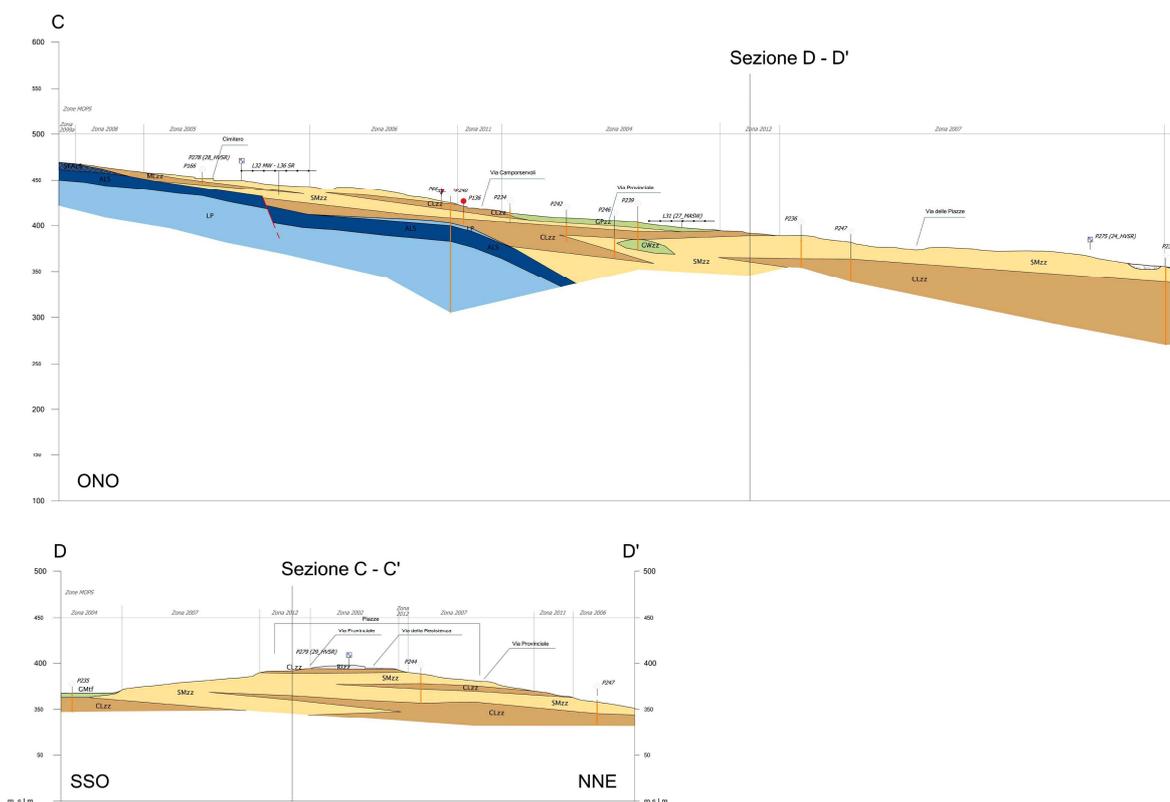
L'abitato di Piazze vede in affioramento la presenza pressoché generalizzata di termini sabbiosi e limoso-sabbiosi, sempre riconducibili alla facies marina pliocenica (PLIs).

A differenza del Capoluogo, in questa porzione del territorio, molto vicina agli affioramenti della Formazione di Sillano (SIL), il substrato è in parte costituito da litotipi argillitici e calcilitici intercalati da calcareniti, arenarie calcarifere, calcari, calcari marnosi e marne a consistenza pseudolapidea e lapidea.

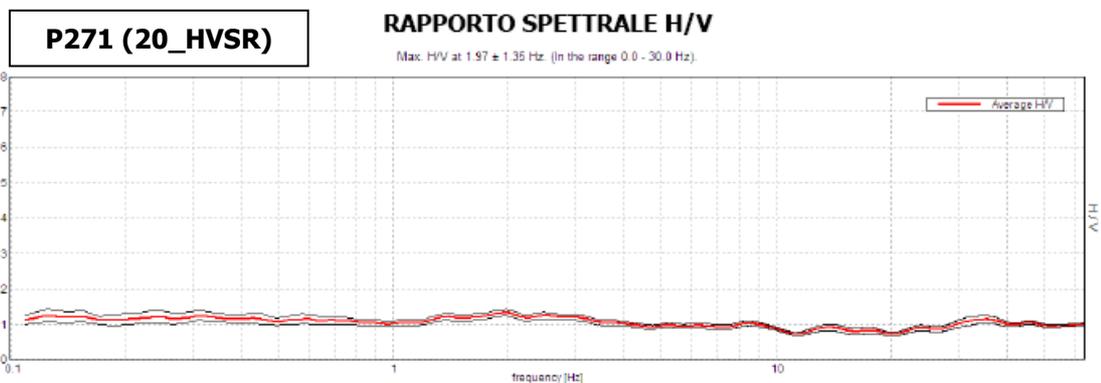
Tali depositi affiorano, in condizioni di elevata alterazione e fratturazione, a partire da poche centinaia di metri a monte del toponimo "Cimitero", ed anche lungo il versante Sud-occidentale della dorsale nella quale si sviluppa l'abitato di Piazze, fino ed oltre il corso del Torrente Fossalto, dove sono parzialmente obliterati dalle più recenti coperture alluvionali.

Le indagini eseguite per lo studio di Microzonazione Sismica hanno permesso di attribuire la parte superficiale della Formazione di Sillano, risultata estremamente alterata e fratturata, ai terreni di "copertura", mentre i termini più profondi, orientativamente oltre i 10 metri dal p.c., sono stati classificati come "substrato", in quanto caratterizzati da valori del parametro Vs ampiamente superiore a 800 m/s.

L'assetto strutturale dei terreni in facies di flysch è piuttosto complesso ed articolato, tanto che, diversamente dal settore occidentale del centro abitato di Piazze, la loro presenza non è stata confermata, almeno entro profondità dell'ordine dei 50-100 metri dal p.c., nei settori centrale ed orientale dell'area urbanizzata, denotando la presenza di più sistemi di faglie dirette, orientate all'incirca con direttrice SW-NE e parallele al corso del Torrente Fossalto (E-W), che ne devono avere ribassato significativamente il tetto.



Analogamente, in Località "Fabiani", dove affiorano depositi alluvionali recenti (bna), il substrato è costituito dalla potente formazione delle argille plioceniche (FAAb), come evidenziato dall'assenza di picchi significativi nella restituzione dell'indagine "P271".

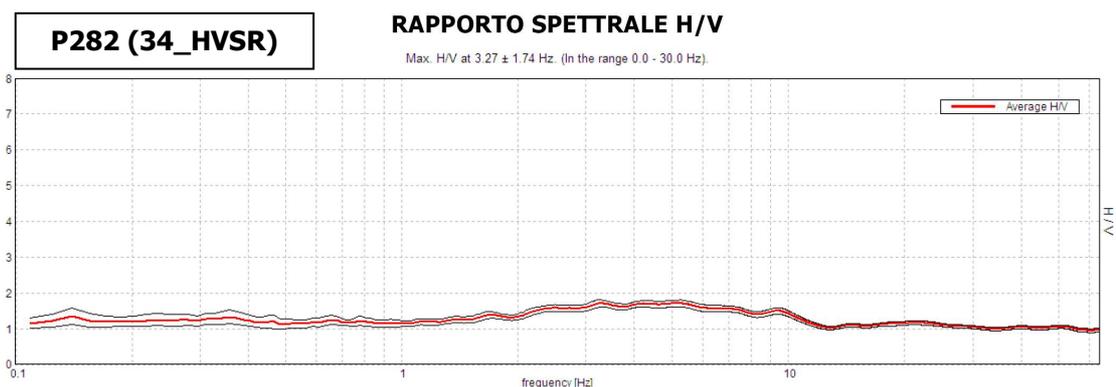


7.4 Nucleo abitato di Camporsevoli

L'antico nucleo abitato di Camporsevoli si colloca poco più di un chilometro ad Ovest della Frazione "Piazze", nella fascia compresa tra la dorsale carbonatica del Monte Cetona ed il paesaggio collinare che caratterizza il margine orientale del territorio comunale.

Gli affioramenti sono riconducibili ai depositi in facies di flysch della Formazione di Sillano (SIL), e sono rappresentati pressoché esclusivamente da litotipi argillitici con intercalazioni anche molto potenti di calcareniti, calcari e calcari marnosi.

A causa dell'elevato grado fratturazione ed alterazione che contraddistingue sia le facies argillitiche che quelle prettamente lapidee, gli affioramenti si comportano sostanzialmente come "coperture" (con spessore massimo dell'ordine dei 10 metri), sovrapposte ad un substrato inalterato di analoga costituzione, al quale si perviene con un progressivo miglioramento delle caratteristiche elastico-meccaniche, quindi senza evidenziare significativi contrasti di impedenza.

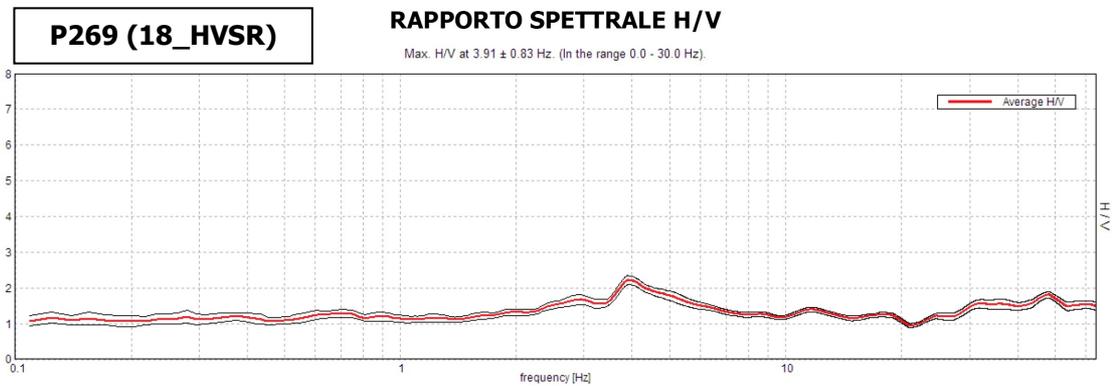


7.5 Area "Boschetto - Lamaccia - Gamberaio"

L'area si colloca poco meno di un chilometro a Nord-Est del Capoluogo, su una delle ultimi propaggini collinari prospicienti alla valle del Torrente Astrone.

La morfologia è caratterizzata da alternanze di blandi rilievi e depressioni vallive, quasi sempre incise da modesti corsi d'acqua a carattere torrentizio, mentre le litologie affioranti sono riconducibili alla formazione delle sabbie e sabbie argillose del Pliocene (PLIs), che solo nelle zone di fondovalle lasciano il posto a coperture eluvio-colluviali (b2a) e depositi alluvionali recenti (bna).

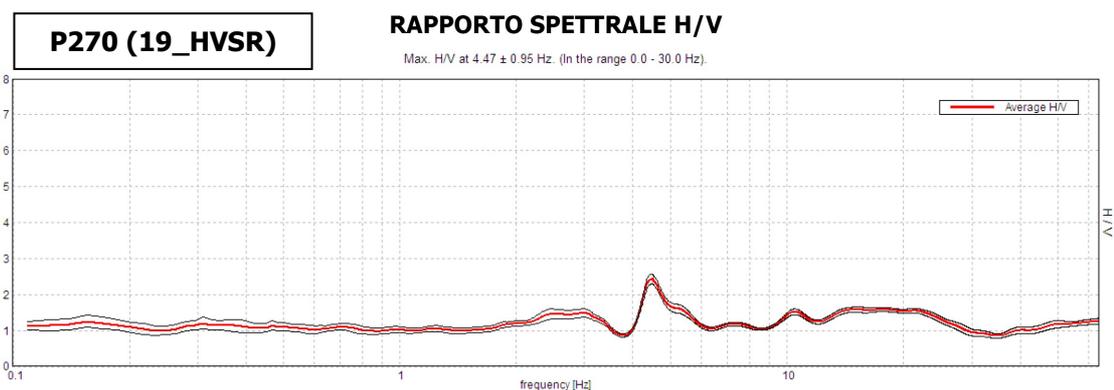
L'indagine presa a riferimento per lo studio di Microzonazione Sismica (P269), effettuata sulla sommità del rilievo collinare del Podere "Lamaccia", ha evidenziato la presenza di un modesto picco amplificativo alla frequenza di 3,9 Hz ($H/V = 2,2$), probabilmente riconducibile ad una o più intercalazioni conglomeratiche nella formazione delle sabbie.



7.6 Area "Palazzo Sgarroni - Benefizio - Cardete"

L'area ricade nel margine Nord-orientale del territorio comunale, circa 2,5 km a NE dell'abitato di Cetona, nella porzione medio-inferiore del rilievo che funge da spartiacque idrografico tra la valle del Torrente Astrone ad Ovest e la Val di Chiana Romana ad Est.

Anche in questo caso, la morfologia è tipicamente collinare, ed i termini litologici affioranti sono fondamentalmente riconducibili alla facies sabbiosa dei depositi marini del Pliocene (PLIs), sebbene localmente con intercalazioni più significative di materiali argillosi (FAAb).



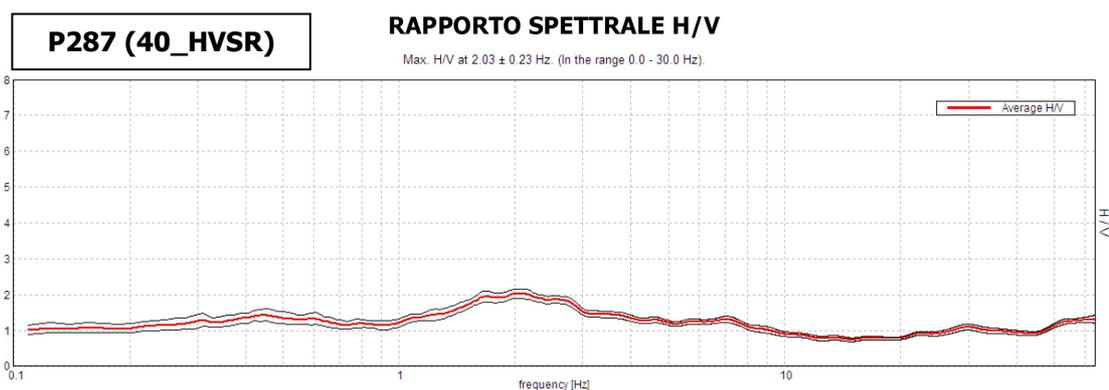
L'analisi di sismica passiva (P270) evidenzia anche in questo caso un picco amplificativo alla frequenza di 4,5 Hz, dovuto probabilmente ad intercalazioni sabbiose molto addensate (non infrequenti in tali contesti geologici), e non ad un vero e proprio substrato.

7.7 Area "Patarnione - Bargnano"

Il nucleo abitato di Patarnione - Bargnano è situato poco meno di un chilometro a Sud del capoluogo, sulla sommità di una modesta dorsale collinare disposta con andamento W-E.

Anche in questo caso, le litologie affioranti sul rilievo e sui relativi versanti sono sostanzialmente granulari (PLIs), mentre sui prospicienti fondovalle prevalgono litologie riconducibili ai depositi eluvio-colluviali olocenici (b2a), i quali traggono origine dall'alterazione in posto, o dalla successiva rideposizione con limitato trasporto, degli stessi materiali su cui sono impostati.

In questo caso, l'indagine di sismica passiva (P287) ha evidenziato un modesto picco di ampiezza H/V pari a 2,0 alla frequenza di 2,0 Hz, denotando quindi l'assenza di un vero e proprio riflettore sismico in profondità, ma piuttosto un progressivo aumento delle caratteristiche geotecniche del substrato pliocenico, come anche confermato almeno fino a profondità dell'ordine di 70-80 metri dalle stratigrafie dei pozzi censiti nella zona.

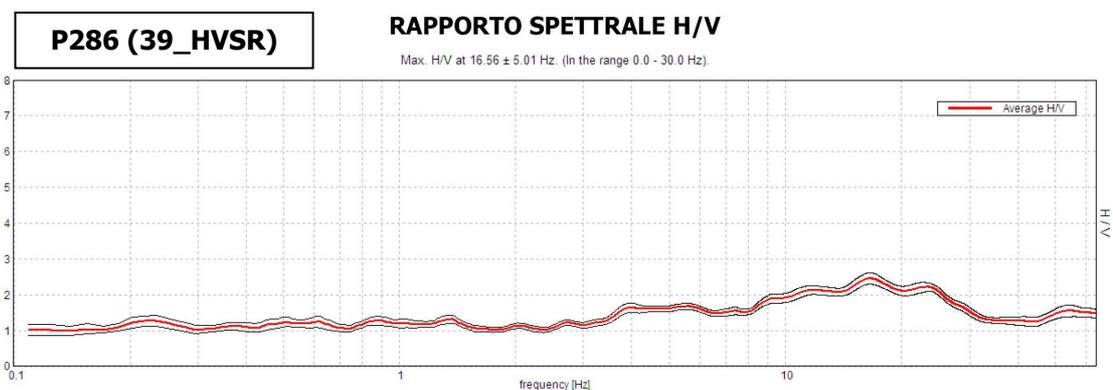


7.8 Area "Cantina Sociale"

La Cantina Sociale è situata lungo la strada che dal Capoluogo conduce alla Frazione "Piazzze", ed occupa un modesto fondovalle secondario prospiciente a quello ben più esteso del Torrente di Chieteno.

L'area è caratterizzata dalla presenza di depositi di versante (aa) costituiti da sabbie limose e limi sabbiosi mediamente addensati, che hanno verosimilmente colmato l'originaria morfologia valliva; dai dati stratigrafici di un pozzo presente nella zona, i depositi di versante risultano a loro volta sovrainposti ad un modesto orizzonte costituito da ghiaia in matrice sabbiosa (PLIb) e quindi alla potente formazione delle argille plioceniche (FAAb).

L'indagine di sismica passiva (P286) ha evidenziato un modesto picco amplificativo ad elevata (16,6 Hz); nell'ipotesi di coperture con velocità di propagazione delle onde di taglio dell'ordine di 220 m/s, ciò può denotare un cambio litologico posto alla profondità di circa 3 metri dal p.c. (probabile intercalazione conglomeratica, intercettata anche durante i lavori di escavazione del pozzo).



7.9 Area "Casa Matera - Palazzolo - Vecciano"

L'area è situata mediamente 1,3 km a Nord della Frazione "Piazze", in un contesto collinare caratterizzato dall'affioramento di termini litologici prettamente coesivi riconducibili alla formazione delle argille sabbiose in facies marina del Pliocene (FAAb), che costituisce anche il substrato geologico locale con spessori almeno dell'ordine delle centinaia di metri.

Tale aspetto risulta avvalorato anche dalle indagini di sismica passiva (P283, P284, P285), nelle quali non si rilevano picchi significativi nel rapporto H/V, denotando un progressivo passaggio ai termini sovraconsolidati per il naturale carico litostatico, e quindi l'assenza di un vero e proprio substrato rigido.

7.10 Interpretazioni ed incertezze nella definizione del modello

Nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica, particolare attenzione deve essere posta alla numerosità e qualità dei dati geognostici che si hanno a disposizione, dal momento che tale aspetto influisce sia sulle interpretazioni geologiche effettuate nelle fasi di analisi e di sintesi dei dati, sia nella gestione delle eventuali incertezze.

Come già evidenziato nel precedente paragrafo 6.1, per la ricostruzione dei modelli geologici, geotecnici e sismici delle aree sottoposte a Microzonazione Sismica sono stati presi a

riferimento i dati relativi a 253 indagini tra sondaggi, prove penetrometriche statiche e dinamiche, saggi esplorativi e pozzi per acqua, ai quali si aggiungono le indagini geofisiche pregresse (complessivamente, 34 indagini eseguite con differenti metodologie) e quelle di nuova realizzazione, consistenti in uno stendimento sismico a rifrazione con onde P ed SH, sei prospezioni di sismica attiva con tecnica MASW, una prospezione ESAC e trentacinque acquisizioni ed analisi dei rapporti spettrali HVSR.

Sulla base dei molteplici dati a disposizione, ed in relazione alla buona qualità delle indagini (avendo eliminato dall'analisi tutte quelle ritenute non sufficientemente affidabili o che non rispettano gli standard qualitativi), si ritiene che il grado di dettaglio dello studio sia oggettivamente affidabile e che le interpretazioni e le incertezze siano comunque contenute in funzione al grado di approfondimento che lo stesso intende perseguire (Microzonazione Sismica di livello 1).

7.11 Indicazione della classe di qualità

Nelle specifiche tecniche regionali per la Microzonazione Sismica è stata inserita una procedura semiquantitativa per la stima del livello di qualità delle cartografie MOPS.

Tale procedura, definita a livello nazionale dal Gruppo di Lavoro MS (rapporto interno del DPC - 2011), deve essere utilizzata in fase di predisposizione dello studio di Microzonazione Sismica, al fine di poter valutare se il quadro conoscitivo desunto sia sufficiente per la redazione dello studio di livello 1 o se, al contrario, debbano essere effettuati ulteriori approfondimenti di indagine, anche in relazione alla complessità litostratigrafica e geologico-tecnica delle aree analizzate.

A tal fine, è stato realizzato un foglio di calcolo per l'applicazione della procedura di stima di qualità in modo semplice ed automatizzato.

La procedura consiste nella realizzazione di un reticolato a maglia quadrata di lato pari a 250 metri, con lati orientati in direzione NS ed EW, che viene applicato sopra la carta delle indagini; per ogni cella della maglia devono essere computati il numero dei sondaggi a distruzione, dei sondaggi a carotaggio continuo, delle prove geotecniche in situ e delle misure di frequenza presenti.

In funzione del numero delle prove, della percentuale di celle occupate, del numero di indagini che hanno raggiunto il substrato e della classe di affidabilità delle misure di frequenza, viene affidato un punteggio, determinato in base al seguente schema:

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 (Albarelli <i>et alij</i>)*	No data	Classe A < 33%	Classe A 34-66%	Classe A >66%

Utilizzando il foglio di calcolo in formato XLS per l'applicazione della procedura automatizzata di stima della qualità, disponibile sul sito istituzionale della Regione Toscana - Settore Sismica, ed inserendo i punteggi relativi ai parametri considerati, si ottiene un risultato numerico che consente di associare la classe di qualità, in base al seguente criterio:

- *Classe A*, valori superiori al 75%; indicazioni nessuna, carta di livello 1 di ottima qualità;
- *Classe B*, valori nell'intervallo tra 50% e 74%; indicazioni: migliorare almeno uno dei parametri;
- *Classe C*, valori nell'intervallo 25% - 49%, indicazioni: programmare indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità;
- *Classe D*, valori inferiori al 25%; indicazioni: la carta di livello 1 è di scarsa qualità e non risponde ai requisiti minimi richiesti dagli ICMS e dalle suddette specifiche.

Di seguito sono riportati i risultati singolarmente ottenuti per i centri urbani maggiormente significativi, insieme ai relativi fogli di calcolo.

- *Centro abitato di Cetona*: percentuale pari al 66,6% - **Classe B**.
- *Centro abitato di Piazze e Località "Fabiani"*: percentuale pari al 65,1% - **Classe B**.

Centro abitato di Cetona

FOGLIO DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELLA CARTA DEL LIVELLO DI MICROZONAZIONE SISMICA SULLA BASE DELLE INDAGINI PREGRESSE E/O NUOVE

a	Parametro	4			
b	Carta Geologica tecnica	1	Anno Rilevamento	Progetto	Scala
	Punteggi indicatori	1	1	1	1
	Pesi indicatori	0,33	0,33	0,33	0,33
c	Sondaggi a distruzione	0,5	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	Punteggi indicatori	1	0,33	0	0
	Pesi indicatori	0,33	0,33	0,33	0,33
d	Sondaggi a carotaggio continuo	1	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	Punteggi indicatori	1	0,33	0	0
	Pesi indicatori	0,33	0,33	0,33	0,33
e	Indagini geofisiche	0,5	Numero misure	% celle occupate	% indagini al bedrock
	Punteggi indicatori	1	0,33	0	0
	Pesi indicatori	0,33	0,33	0,33	0,33
f	Prove geotecniche	0,25	Numero prove	% celle occupate	% prove al bedrock
	Punteggi indicatori	1	0,66	0	0
	Pesi indicatori	0,33	0,33	0,33	0,33
g	Misure Frequenze	0,75	Numero misure	% celle occupate	Classe di affidabilità
	Punteggi indicatori	1	0,66	1	1
	Pesi indicatori	0,33	0,33	0,33	0,33

Inserire il valore solo nelle celle colorate in viola

Tabella 1 - Quadro riassuntivo dei parametri e dei relativi indicatori con l'attribuzione dei pesi e dei punteggi

Parametro (peso parametro)	Peso Indicatore	Indicatore	Valutazione Indicatore (punteggi)		
			Nulla (0)	Bassa (0,33)	Alta (1)
Carta geologico-tecnica (1)	0,33	Anno rilevamento	No data	< 2000	> 2000
	0,33	Progetto	No data	Altro	Alligato piano urbanistico
	0,33	Scala rilevamento	No data	50.000-25.000	25.000-11.000
Sondaggi a distruzione (0,50)	0,33	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10
	0,33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a distruzione	No data	1-33%	34-66%
	0,33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10
Sondaggi a carotaggio continuo (1)	0,33	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10
	0,33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%
	0,33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10
Indagini geofisiche (0,50)	0,33	Numero di misure	No data	1-5	6-10
	0,33	Percentuale di celle occupate da indagini	No data	1-33%	34-66%
	0,33	Percentuale indagini che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%
Prove geotecniche in situ (Prove Penetrometriche, ecc.) e di laboratorio (0,25)	0,33	Numero di prove	No data	1-5	6-10
	0,33	Percentuale di celle occupate da prove	No data	1-33%	34-66%
	0,33	Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%
Misure delle frequenze del sito (0,75)	0,33	Numero di misure	No data	1-5	6-10
	0,33	Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%
	0,33	Classe di affidabilità misura (liberale) et alii*	No data	Classe A < 33%	Classe A > 66%

* D. Altarelli, C. Cosi, V. Talli, F. Gecima, E. Lencini, F. Pariboni, D. Pizzig, L.M. Pizzoli - Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di aree macroturistiche. In stampa su Bol Geofis. Torr Appl.

a	25	punteggi parziali	24,8
b	0,99		5,5
c	0,22	11,0	
d	0,44	5,5	
e	0,22	3,4	
f	0,14	16,5	
g	0,66	66,6	
Tot	66,6	66,6	classe B

CLASSE	VALORI	INDICAZIONI
A	≥ 75%	Carta di livello 1 di ottima qualità
B	50%-74%	Sarebbero auspicabili migliorare almeno uno dei parametri
C	25%-49%	Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità
D	≤ 25%	Carta di livello 1 di scarsa qualità: non risponde ai requisiti minimi richiesti da ICMS08 e Linee Guida Regione Toscana



Centro abitato di Piazze e Località "Fabiani"

FOGLIO DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELLA CARTA DEL LIVELLO DI MICROZONAZIONE SISMICA SULLA BASE DELLE INDAGINI PREGRESSE E/O NUOVE

a	Parametro	4			
b	Carta Geologica tecnica	1	Anno Rilevamento	Progetto	Scala
	Punteggi indicatori	1	1	1	1
	Pesi indicatori	0,33	0,33	0,33	0,33
c	Sondaggi a distruzione	0,5	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	Punteggi indicatori	1	0,66	0,33	0
	Pesi indicatori	0,33	0,33	0,33	0,33
d	Sondaggi a carotaggio continuo	1	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	Punteggi indicatori	1	0,66	0	0
	Pesi indicatori	0,33	0,33	0,33	0,33
e	Indagini geofisiche	0,5	Numero misure	% celle occupate	% indagini al bedrock
	Punteggi indicatori	1	0,33	0,33	0,33
	Pesi indicatori	0,33	0,33	0,33	0,33
f	Prove geotecniche	0,25	Numero prove	% celle occupate	% prove al bedrock
	Punteggi indicatori	1	0,66	0	0
	Pesi indicatori	0,33	0,33	0,33	0,33
g	Misure Frequenze	0,75	Numero misure	% celle occupate	Classe di affidabilità
	Punteggi indicatori	1	0,66	1	1
	Pesi indicatori	0,33	0,33	0,33	0,33

Inserire il valore solo nelle celle colorate in viola

Tabella 1 - Quadro riassuntivo dei parametri e dei relativi indicatori con l'attribuzione dei pesi e dei punteggi

Parametro (peso parametro)	Peso Indicatore	Indicatore	Valutazione Indicatore (punteggi)		
			Nulla (0)	Bassa (0,33)	Alta (1)
Carta geologico-tecnica (1)	0,33	Anno rilevamento	No data	< 2000	> 2000
	0,33	Progetto	No data	Altro	Alligato piano urbanistico
	0,33	Scala rilevamento	No data	50.000-25.000	25.000-11.000
Sondaggi a distruzione (0,50)	0,33	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10
	0,33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a distruzione	No data	1-33%	34-66%
	0,33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10
Sondaggi a carotaggio continuo (1)	0,33	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10
	0,33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%
	0,33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10
Indagini geofisiche (0,50)	0,33	Numero di misure	No data	1-5	6-10
	0,33	Percentuale di celle occupate da indagini	No data	1-33%	34-66%
	0,33	Percentuale indagini che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%
Prove geotecniche in situ (Prove Penetrometriche, ecc.) e di laboratorio (0,25)	0,33	Numero di prove	No data	1-5	6-10
	0,33	Percentuale di celle occupate da prove	No data	1-33%	34-66%
	0,33	Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%
Misure delle frequenze del sito (0,75)	0,33	Numero di misure	No data	1-5	6-10
	0,33	Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%
	0,33	Classe di affidabilità misura (liberale) et alii*	No data	Classe A < 33%	Classe A > 66%

* D. Altarelli, C. Cosi, V. Talli, F. Gecima, E. Lencini, F. Pariboni, D. Pizzig, L.M. Pizzoli - Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di aree macroturistiche. In stampa su Bol Geofis. Torr Appl.

a	25	punteggi parziali	24,8
b	0,99		8,2
c	0,33	8,2	
d	0,33	4,1	
e	0,16	3,4	
f	0,14	16,5	
g	0,66	65,1	
Tot	65,1	65,1	classe B

CLASSE	VALORI	INDICAZIONI
A	≥ 75%	Carta di livello 1 di ottima qualità
B	50%-74%	Sarebbero auspicabili migliorare almeno uno dei parametri
C	25%-49%	Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità
D	≤ 25%	Carta di livello 1 di scarsa qualità: non risponde ai requisiti minimi richiesti da ICMS08 e Linee Guida Regione Toscana



8 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI FINALI

Lo studio di Microzonazione Sismica di livello 1 del Comune di Cetona è stato svolto in ottemperanza alle normative ed alle direttive tecniche nazionali e regionali vigenti.

Esso è stato basato sulla raccolta dati esistenti relativi a studi pregressi di carattere geognostico e sismico, implementati con nuove indagini geofisiche nei punti di maggiore interesse e/o non sufficientemente coperti; tutte le indagini rappresentative prese a riferimento sono state riportate nella specifica "*Carta delle indagini*", mentre le prove HVSR, particolarmente significative per la determinazione di eventuali effetti locali, sono state ubicate anche nella "*Carta delle frequenze fondamentali dei depositi*", classificandole singolarmente con apposito simbolismo grafico in base al valore massimo dei rapporti H/V ed alla frequenza fondamentale f_0 .

Sulla base di una accurata analisi a scala di dettaglio delle cartografie tematiche di supporto allo strumento di pianificazione territoriale vigente, e di quelle in corso di revisione per la redazione del nuovo Piano Operativo comunale (*Carta geologica, Carta geomorfologica e Carta idrogeologica*), unitamente all'elaborazione dei dati litologici, stratigrafici, litotecnici e sismici acquisiti ed analizzati, è stata inoltre elaborata e redatta la "*Carta geologico-tecnica*" per la Microzonazione Sismica.

A partire da tutte le informazioni disponibili, unitamente alle conoscenze personali del territorio indagato, è stata infine prodotta la "*Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPSY)*", che costituisce l'elaborato tecnico finale e fondamentale per il livello 1 di approfondimento degli studi di Microzonazione.

I dati e le informazioni acquisiti sono stati raccolti, organizzati e riprodotti mediante banca dati geografica (GIS), prendendo come riferimento lo *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica* (Versione 4.0b - Ottobre 2015), pubblicata dalla Commissione tecnica per la Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale; si rimanda pertanto a tale documento per gli approfondimenti relativi alle modalità seguite per lo sviluppo esecutivo del progetto.

Sono stati inoltre raccolti e pubblicati tutti i certificati relativi alle indagini geognostiche e geofisiche in sito prese a riferimento per la redazione dello studio di Microzonazione Sismica, a ciascuna delle quali è stata attribuita una numerazione progressiva per una rapida ed univoca individuazione nella relativa "*Carta delle indagini*".

9 ELABORATI CARTOGRAFICI

9.1 Carta delle indagini

La cartografia delle indagini costituisce il primo passo per la definizione del quadro conoscitivo del sottosuolo; su di essa sono indicate le localizzazioni delle indagini pregresse e di nuova realizzazione, suddivise per tipologie e per codice di riferimento.

La raccolta delle indagini disponibili è stata effettuata su zone più estese di quelle selezionate e formalmente perimetrate, allo scopo di comprendere e documentare nella loro completezza il modello geologico preliminare ed i fenomeni naturali che possono interessare le stesse aree, con conseguenti implicazioni nello studio di Microzonazione Sismica.

La carta delle indagini è stata quindi realizzata, per ciascuna area di interesse, alla scala 1:2.000 (per il territorio urbano) e 1:5.000 (per le aree di previsione extraurbane), sia in forma cartacea che vettoriale (tramite tecnologia GIS), utilizzando, come già detto, la simbologia e le specifiche tecniche per l'informatizzazione previste dalla Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica.

Considerata l'importanza nella determinazione dello spessore delle coperture, delle coltri di alterazione e della profondità del bedrock per la valutazione della risposta sismica locale, nella *Carta delle indagini* sono state chiaramente evidenziate quelle che hanno sicuramente raggiunto il substrato sismico.

9.2 Carta geologica-tecnica per la Microzonazione Sismica

Tale cartografia, anch'essa redatta in scala 1:2.000 e 1:5.000, deriva essenzialmente da una revisione a scala di dettaglio delle cartografie geologiche e geomorfologiche dello strumento di pianificazione territoriale comunale, unitamente a tutti gli ulteriori dati litologici, stratigrafici e litotecnici acquisiti in occasione del presente studio.

Nell'ambito di tale revisione, che ha comportato anche rilevamenti di controllo in campagna, particolare attenzione è stata posta alla individuazione e alla mappatura dei depositi di copertura, nella ricostruzione dettagliata di tutte le forme geomorfologiche, dei fenomeni gravitativi di versante in stato di attività, quiescenti o stabilizzati e delle aree potenzialmente instabili, anche per la presenza di cavità antropiche, nonché nell'individuazione del substrato geologico e nella caratterizzazione litostratigrafica e nella ricostruzione dell'assetto giaciturale, mediante approfondimento degli elementi visibili sugli affioramenti.

Le tipologie dei terreni di copertura e del substrato sono state distinte in base alle caratteristiche litologiche, utilizzando i simboli previsti dallo standard nazionale di rappresentazione e archiviazione informatica; per i terreni di copertura è riportata anche l'indicazione degli ambienti genetico-deposizionali, attraverso l'aggiunta dei relativi codici.

Nella *Carta geologico-tecnica* sono inoltre riportate le forme di superficie sepolte, gli elementi tettonico strutturali, gli elementi geologici e idrogeologici derivanti dai dati di base e le indicazioni relative ai fenomeni di instabilità di versante.

Terreni di copertura

	Terreni contenenti resti di attività antropica di altro ambiente
	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di altro ambiente
	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di argine/barra/canale
	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di falda detritica
	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di terrazzo fluviale
	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla di eluvi/colluvi
	Sabbie pulite e ben assortite di altro ambiente
	Sabbie pulite con granulometria poco assortita di altro ambiente
	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di altro ambiente
	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di altro ambiente
	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità di palude/laguna/stagno
	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di altro ambiente
	Lapideo stratificato fratturato e alterato
	Alternanza di litotipi stratificato fratturato o alterato

Forme di superficie sepolte

	Falda detritica
	Aree con cavità sepolte (origine antropica)
	Orlo di scarpata morfologica o artificiale (>20m)
	Orlo di scarpata morfologica o artificiale (10-20m)

Elementi tettonico strutturali

	Faglia diretta non attiva (certa)
	Traccia di sezione geologica

Elementi geologici e idrogeologici

	Giacitura degli strati
	Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m.)
	Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m.)
	Profondità (m.) della falda in aree con sabbie e/o ghiaie

Instabilità di versante

	Crollo o ribaltamento - attiva
	Crollo o ribaltamento - quiescente
	Scorrimento - attivo
	Scorrimento - quiescente
	Colata - quiescente
	Complessa - attiva
	Complessa - quiescente
	Franosità diffusa - attiva
	Franosità diffusa - quiescente

Per una migliore descrizione delle unità geologico tecniche individuate, si riporta un prospetto correlato ai depositi stratigrafici e alle formazioni geologiche dalle quali derivano (in corsivo sono indicate le denominazioni riportate nella carta geologica di Piano Strutturale).

<i>Sigla unità geologica</i>	<i>Descrizione unità geologica</i>	<i>Sigla unità geol. tecnica</i>
h5	Depositi antropici eterometrici ed eterogenei sciolti o poco addensati (<i>Depositi antropici</i>)	RIzz
b	Ghiaie e sabbie da sciolte a poco addensate di origine alluvionale (<i>Depositi alluvionali attuali</i>)	GPes
bna	Ghiaie, sabbie e limi moderatamente addensati di terrazzo fluviale (<i>Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati</i>)	GMtf
b2a	Ghiaie, sabbie e limi poco addensati correlati a falde e accumuli detritici (<i>Depositi eluvio-colluviali</i>)	GMfd
	Ghiaie, sabbie e argille poco addensate correlati a falde eluvio-colluviali (<i>Depositi eluvio-colluviali</i>)	GCec
ea	Limi, argille limose e argille organiche con stato di consistenza molle (<i>Depositi lacustri, lagunari, palustri, torbosi e di colmata</i>)	OLpl
f1b	Travertini in banco fratturati e alterati e blocchi ciclopici disarticolati (<i>Travertini e calcari continentali</i>)	SFLPS
PLIs	Ghiaie con granulometria ben assortita, ghiaie e sabbie addensate in facies marina del Pliocene (<i>Sabbie e arenarie gialle</i>)	GWzz
	Ghiaie con granulometria poco assortita, ghiaie e sabbie da moderatamente addensate ad addensate in facies marina del Pliocene (<i>Sabbie e arenarie gialle</i>)	GPzz
	Sabbie da moderatamente addensate ad addensate, talvolta con ghiaia, in facies marina del Pliocene (<i>Sabbie e arenarie gialle</i>)	SWzz
	Sabbie da moderatamente addensate ad addensate in facies marina del Pliocene (<i>Sabbie e arenarie gialle</i>)	SPzz
	Sabbie limose da moderatamente addensate ad addensate in facies marina del Pliocene (<i>Sabbie e arenarie gialle</i>)	SMzz
	Sabbie fini, limose e argillose moderatamente addensate, limi inorganici da moderatamente consistenti a consistenti in facies marina del Pliocene (<i>Sabbie e arenarie gialle</i>)	MLzz
	Argille sabbiose da consistenti a molto consistenti in facies marina del Pliocene (<i>Sabbie e arenarie gialle</i>)	CLzz
FAAb	Argille e argille limose da consistenti a molto consistenti in facies marina del Pliocene (<i>Argille sabbiose, limi e argille siltose con intercalazioni sabbiose fossilifere</i>)	CLzz
SIL	Alternanza di argilliti grigio-brune e calcilutiti fratturate ed alterate (<i>Formazione di Sillano</i>)	SFALS
	Alternanza di argilliti grigio-brune e calcilutiti (<i>Formazione di Sillano</i>)	ALS
	Calcilutiti e calcareniti (<i>Formazione di Sillano</i>)	LP

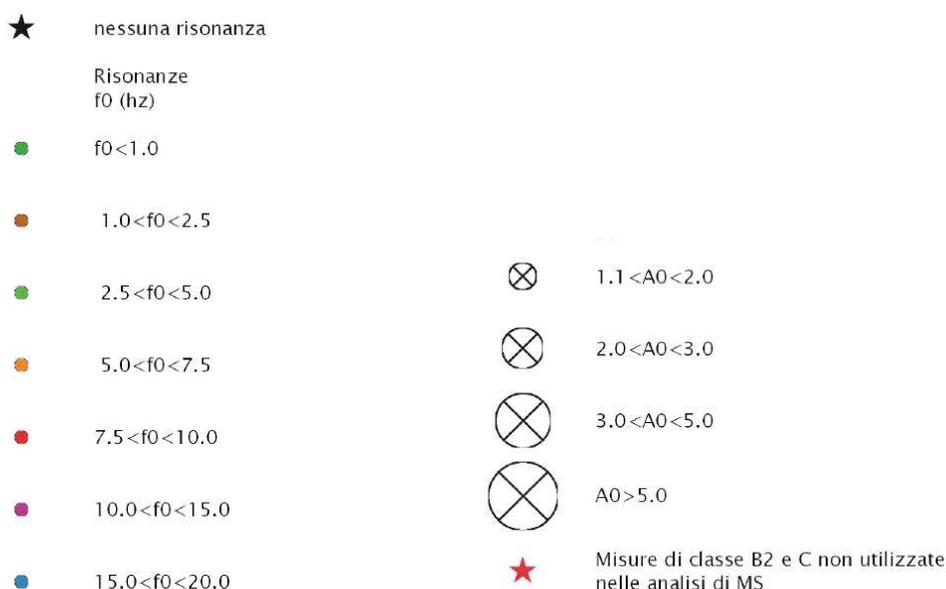
9.3 Carta delle frequenze fondamentali dei depositi

Tale elaborato, redatto in scala 1:2.000 e 1:5.000, è stato realizzato a partire dalle misure di rumore ambientale con tecnica a stazione singola (HVSR) localizzate nelle aree di maggiore interesse al fine della individuazione di possibili fenomeni di risonanza sismica e della corrispondente frequenza di vibrazione.

Per le modalità di realizzazione delle prove e la definizione delle classi di affidabilità dello studio (per il controllo sulla qualità dei dati acquisiti) si è fatto riferimento alla pubblicazione di "Albarello D., Castellaro S., 2010 - *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*", al quale si rimanda per eventuali approfondimenti.

In questa sede ci si limita invece ad evidenziare che il ricorso a campagne di misure HVSR fornisce uno strumento utile per la comprensione del modello geologico, dal momento che, in contesti semplici e contraddistinti da omogeneità dei terreni di copertura, la migrazione delle frequenze fondamentali dei depositi è correlabile con l'approfondimento del substrato geologico, mentre l'entità del picco H/V fornisce indicazioni in merito al contrasto di velocità tra i vari corpi sismostratigrafici, con particolare riferimento al passaggio tra le coperture ed il substrato sismico (ove presente).

Nella cartografia prodotta è stata quindi riportata l'ubicazione di tutti i punti di indagine (identificati con i codici da "P253" a "P287"), con associati i valori della frequenza fondamentale (f_0) e della massima ampiezza del picco fondamentale (A_0), utilizzando cerchi di raggio variabile in funzione del massimo valore del rapporto H/V, e con una colorazione dipendente dal range di frequenza in cui ricadono.



9.4 Illustrazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

Questa carta, che rappresenta l'elaborato di sintesi dello studio di Microzonazione Sismica di livello 1, individua le microzone dove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in relazione all'acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geognostici e di alcune tipologie di dati geofisici, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica, quali amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.

La cartografia MOPS costituisce pertanto un elemento di sintesi delle conoscenze, nel quale viene rappresentato il modello geologico-tecnico tridimensionale delle singole aree indagate, costituendo una guida imprescindibile per i successivi approfondimenti di indagine di livello 2 e 3, ma anche la base conoscitiva da utilizzare in fase di pianificazione urbanistica per la valutazione delle condizioni di pericolosità sismica del territorio, secondo i criteri stabiliti al punto C.5 del D.P.G.R. n. 53/R/2011.

In linea generale, seguendo le direttive riportate ai paragrafi 1.6.3.1.2 e 2.3 degli ICMS, il territorio viene classificato in tre principali gruppi, di seguito descritti.

Zone stabili

Sono le zone nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura (presenza di litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o con inclinazione inferiore a 15°); gli scuotimenti attesi sono pertanto equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base.

Nel caso in esame, per la natura litologica dei depositi affioranti e per il loro assetto geomorfologico, nelle porzioni del territorio comunale di Cetona analizzate non sono state individuate zone stabili costituite da substrato sismico rigido.

Si rileva, infatti, che la parte più superficiale degli affioramenti argillitici, arenacei, calcarenitici, calcarei e calcareo-marnosi riconducibili alla Formazione di Sillano, e che caratterizzano il margine occidentale della Frazione "Piazze", sebbene potenzialmente riconducibili al substrato sismico, sono stati identificati come "copertura", per via dei bassi valori del parametro Vs conseguenti all'elevato stato di fratturazione e di alterazione.

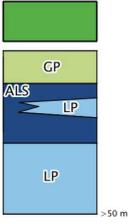
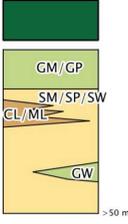
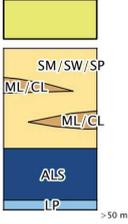
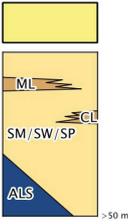
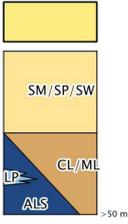
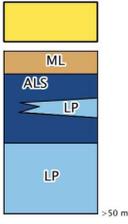
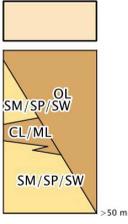
Gli orizzonti più profondi, invece, coerentemente con quanto rilevato con le indagini sismiche di superficie (indagine "L32"), si comportano come bedrock sismico, essendo caratterizzati da valori del parametro Vs ampiamente superiori a 800 m/s.

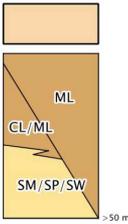
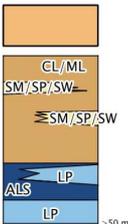
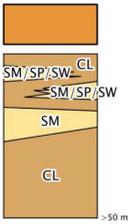
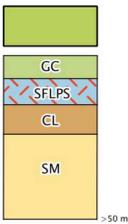
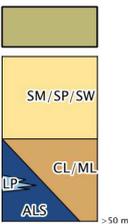
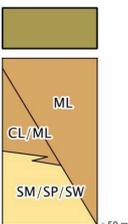
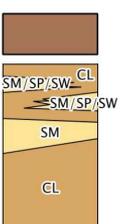
Zone stabili suscettibili di amplificazione locali

Sono le zone nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale, ovvero corrispondono alle aree nelle quali sono presenti terreni di copertura, coltri di alterazione del substrato, substrato molto fratturato o comunque caratterizzato da velocità delle onde di taglio $V_s < 800$ m/s.

Nel seguito vengono esposte e descritte le microzone individuate nelle porzioni del territorio comunale oggetto di studio.

ZONA		DESCRIZIONE
2099a		Serie calcareo-argillosa in generale, localmente marnosa e argillosa-arenacea, caratterizzata da alternanza di litotipi stratificati, fratturati e/o alterati (SFALS) dello spessore massimo di 10 metri, disposti su substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati (ALS) e/o lapidei (LP)
2099b		Serie calcareo-argillosa in generale, localmente marnosa e argillosa-arenacea, caratterizzata da alternanza di litotipi stratificati, fratturati e/o alterati (SFALS) dello spessore massimo di 10 metri, disposti su substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati (ALS) e/o lapidei (LP) - Zona 2099a con pendenze $i > 15^\circ$
2099c		Travertini stratificati e fratturati (SFLPS) dello spessore massimo di 20 metri disposti su alternanza di litotipi sabbiosi, limosi e argillosi (SM, SP, SW, ML, CL) caratterizzati da spessore superiore a 50 metri - Zona con pendenze $i > 15^\circ$
2001		Terreni contenenti resti di attività antropica (RI) tra 3 e 6,5 metri su alternanza di litotipi sabbiosi, arenacei, ghiaiosi o argillosi (SM, SP, SW, CL, ML) dello spessore compreso tra 3 e 25 metri, disposti a loro volta su substrato con $V_s > 800$ m/s, costituito da alternanza di litotipi stratificati (ALS) e/o lapidei (LP) sino a profondità maggiori di 50 metri
2002		Terreni contenenti resti di attività antropica recente ed antica (RI) tra 3 e 12 metri disposti su alternanza di litotipi sabbiosi, arenacei, ghiaiosi o argillosi (GM nelle aree di fondovalle, SM, SP, SW, CL e ML nelle aree collinari), con profondità del substrato maggiore di 50 metri

ZONA		DESCRIZIONE
2003		<p>Ghiaie e miscele di ghiaie e sabbie tra 3 e 10 metri (GP) disposte su substrato con $V_s > 800$ m/s, costituito da alternanza di litotipi lapidei (LP) sino a profondità maggiori di 50 metri</p>
2004		<p>Ghiaie sabbiose e limose (GM nelle aree di fondovalle, GP nelle zone collinari) tra 3 a 12 metri su alternanze di litotipi sabbiosi, limosi e argillosi e localmente ghiaiosi (SM, SP, SW, GW, ML e CL), con profondità del substrato maggiore di 50 metri</p>
2005		<p>Sabbie e arenarie (SM, SP, SW) con intercalazioni limose e argillose (ML e CL) dello spessore tra 3 e 31 metri, disposte su substrato con $V_s > 800$ m/s, costituito da alternanza di litotipi stratificati (ALS) dello spessore tra 12 e 16 metri e lapidei (LP) fino a profondità maggiori di 50 metri</p>
2006		<p>Sabbie e arenarie (SM, SP, SW) con intercalazioni limose e argillose (ML e CL) dello spessore maggiore di 50 metri o con spessore tra 21 a 31 metri disposte su substrato con $V_s > 800$ m/s, costituito da alternanza di litotipi stratificati (ALS) fino a profondità maggiori di 50 metri</p>
2007		<p>Sabbie, arenarie, sabbie ghiaiose, sabbie limose, miscela di sabbie e limo (SM, SP, SW) tra 3 e 25 metri, con alternanza di litotipi limosi (ML) e argillosi (CL), con profondità del substrato maggiore di 50 metri o su substrato con $V_s > 800$ m/s, costituito da alternanza di litotipi stratificati (ALS) e lapidei (LP) fino a profondità maggiori di 50 metri</p>
2008		<p>Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità derivanti da alterazione della serie calcareo-argillosa (ML) dello spessore massimo di 7 metri disposti su substrato con $V_s > 800$ m/s, costituito da alternanza di litotipi stratificati (ALS) e lapidei (LP) fino a profondità maggiori di 50 metri</p>
2009		<p>Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità (OL) con spessore da 3 ad oltre 50 metri con alternanza di litotipi sabbiosi (SM, SP, SW), limosi (ML) e argillosi (CL), con profondità del substrato maggiore di 50 metri</p>

ZONA		DESCRIZIONE
2010		<p>Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML) con spessore da 3 ad oltre 50 metri con alternanza di litotipi sabbiosi (SM, SP, SW), limosi (ML) e argillosi (CL), con profondità del substrato maggiore di 50 metri</p>
2011		<p>Argille e argille limose di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose e sabbiose, argille limose da moderatamente consistenti a consistenti (CL), con alternanze di litotipi sabbiosi, limosi ed argillosi (SM, SP, SW, ML, CL), tra 3 e 32 metri, disposti a loro volta su substrato con Vs > 800 m/s, costituito da alternanza di litotipi stratificati (ALS) e lapidei (LP) fino a profondità maggiori di 50 metri</p>
2012		<p>Argille e argille limose di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose e sabbiose, argille limose da moderatamente consistenti a consistenti (CL), con alternanza di litotipi sabbiosi, limosi ed argillosi (SM, SP, SW, ML, CL), con profondità del substrato maggiore di 50 metri</p>
2013		<p>Depositi eluvio-colluviali composti da trovanti e massi ciclopici di travertino con matrice sabbiosa e argillosa di alterazione (GC) tra 3 e 7 metri su travertini stratificati e fratturati con spessore tra 1 e 8 metri (SFLPS), disposti a loro volta su alternanza di litotipi argillosi (CL) con spessore tra 3 e 9 metri e sabbiosi (SM) con profondità del substrato maggiore di 50 metri</p>
2014		<p>Sabbie, arenarie, sabbie ghiaiose, sabbie limose, miscela di sabbie e limo (SM, SP, SW) tra 3 e 25 m, con alternanza di litotipi limosi (ML) e argillosi (CL), con profondità del substrato maggiore di 50 metri o su substrato con Vs > 800 m/s, costituito da alternanza di litotipi stratificati (ALS) e lapidei (LP) fino a profondità maggiori di 50 metri - Zona 2007 con pendenze i > 15°</p>
2015		<p>Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML) con spessore da 3 ad oltre 50 metri con alternanza di litotipi sabbiosi (SM, SP, SW), limosi (ML) e argillosi (CL), con profondità del substrato maggiore di 50 metri - Zona 2010 con pendenze i > 15°</p>
2016		<p>Argille e argille limose di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose e sabbiose, argille limose da moderatamente consistenti a consistenti (CL), con alternanza di litotipi sabbiosi, limosi ed argillosi (SM, SP, SW, ML, CL), con profondità del substrato maggiore di 50 metri - Zona 2012 con pendenze i > 15°</p>

Zone di attenzione per instabilità

Sono le zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali).

Nel territorio comunale sono state individuate diverse zone di attenzione per instabilità, in quanto sede di fenomeni gravitativi di vario genere e stato di attività, ovvero suscettibili ad una accentuazione dei dissesti a causa degli effetti dinamici che si possono verificare in occasione di eventi sismici.

Tra queste, sono state comprese le zone di attenzione per la presenza accertata o potenziale di cavità antropiche (cunicoli, cantine, ecc.), e che rendono ampie porzioni del territorio urbanizzato suscettibili di crolli e cedimenti differenziali in seguito ad un evento sismico (in particolare, il centro storico di Cetona).

	ZA	Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 3
	FR	
	ZA	Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 4
	FR	
	ZA	Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 6
	FR	
	ZA	Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 7
	FR	
	ZA	Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 11
	FR	
	ZA	Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 12
	FR	
	ZA	Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 13
	FR	
	ZA	Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 14
	FR	
	ZA	Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 15
	FR	
	ZA	Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 16
	FR	
	ZA	Zona di attenzione per instabilità di versante
	FR	– Substrato fratturato e/o alterato
	ZA	Zona di attenzione per sovrapposizione di zone
	ID	suscettibili di instabilità differenti
	ZA	Zona di Attenzione per crollo di cavità sotterranee
	CD	

10 CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DAGLI EVENTI PASSATI

Come esplicitato nel paragrafo 4.1 della relazione, il numero di terremoti che hanno significativamente interessato il Comune di Cetona è piuttosto esiguo, e comunque con intensità al sito che non supera valori di 6-7° MCS.

Anche gli eventi più recenti, con aree epicentrali poste sulla vicina dorsale del Monte Cetona (11 eventi con magnitudo locale ML superiore a 2,0 dal 15 aprile al 17 giugno 2019), non hanno raggiunto elevate intensità, essendo stata calcolata una magnitudo momento massima M_w pari a 3,4 per il sisma più forte (15 giugno 2019).

Ad ogni modo, da notizie sommariamente raccolte, risulta che l'evento sismico più intenso abbia prodotto danni non trascurabili su alcuni edifici rurali situati sul versante orientale della Montagna di Cetona, molto probabilmente perché realizzati con tecniche costruttive obsolete (muratura in pietra), oltretutto impostati sulle spesse falde detritiche o sui terreni in facies di flysch alterati e fratturati sovrapposti al basamento carbonatico.

Non si hanno invece notizie in relazione ad effetti di sito nelle zone maggiormente urbanizzate (centri abitati di Cetona e della Frazione "Piazze"), confermando almeno in parte l'esito dello studio di Microzonazione Sismica di livello 1, ovvero l'assenza di situazioni gravemente amplificative per evidenti contrasti di impedenza nel sottosuolo.

Ad ogni modo, per lo sviluppo dei successivi livelli di Microzonazione (livelli 2 e 3), sarà fondamentale acquisire tutte le informazioni relative a possibili effetti conseguenti agli eventi sismici più recenti, coinvolgendo l'Ufficio Tecnico comunale, il Servizio di Protezione Civile dell'Unione dei Comuni della Valdichiana Senese, le Forze dell'Ordine e, non ultimo, la stessa popolazione.

Ulteriori e più approfondite indagini dovranno essere effettuate soprattutto nella Frazione "Piazze", al fine di identificare con maggiore dettaglio l'assetto stratigrafico del sottosuolo, con particolare riferimento alla determinazione della geometria sepolta dei terreni in facies di flysch, i quali possono comportare, a causa della loro complessità strutturale, situazioni di amplificazione locale molto differenti tra loro anche su areali ristretti.

Nell'abitato di Cetona, invece, è auspicabile attivare un censimento di tutte le cavità antropiche, provvedendo a rilevare le geometrie, la natura dei terreni interessati, le condizioni di stabilità e, conseguentemente, valutando le possibili interferenze con l'edificato.

11 BIBLIOGRAFIA

GEOSOL (2003) - Indagine geologico-tecnica di supporto alla redazione del Piano Strutturale Comunale. Committente: Amministrazione Comunale di Cetona.

AA.VV. (2007) - Istruzioni tecniche per le indagini geologiche, geofisiche, geognostiche e geotecniche per la valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana. VOLUME 1B - Criteri, metodologie, modalità di presentazione delle indagini e degli elaborati. "Programma VEL" e "Programma di valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici pubblici e/o strategici in muratura o in cemento armato (VSM e VSCA)" in Garfagnana, Lunigiana, Valtiberina, Casentino, Mugello ed Amiata. Regione Toscana - Direzione Generale Politiche Territoriali ed Ambientali - Servizio Sismico Regionale.

GRUPPO DI LAVORO "INDIRIZZI E CRITERI GENERALI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (2008) - Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica, Parti I, II e III. Conferenza delle Regioni e della Province Autonome e Dipartimento della Protezione Civile, Roma.

ALBARELLO D., CASTELLARO S. (2011) - Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. Ingegneria sismica n. 2-2011.

AA.VV. (2015) - Microzonazione sismica regionale. Redazione delle specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di Microzonazione Sismica e prescrizioni per le analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (aggiornamento 02.10.2018). Regione Toscana - Direzione Generale delle Politiche Ambientali, Energia e Cambiamenti climatici - Servizio Sismica Regionale (approvato con D.G.R. n. 1162/2018).

COMMISSIONE TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (2015) - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione Sismica, Versione 4.0b.

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

MINISTERO DELLA INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI (2018) - Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" - Approvato con D.M. 17.01.2018 (G.U. n. 8 del 20 febbraio 2018).

MINISTERO DELLA INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI (2019) - Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 - Circolare n. 7 del 21.01.2019 (G.U. n. 5 del 11 febbraio 2019).