



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE
TOSCANA



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

di livello 1 e 2

Relazione illustrativa

Regione Toscana

Comune di Montelupo Fiorentino



<p>Regione Toscana Servizio Sismico Regionale</p> <p>Comune di Montelupo Fiorentino</p>	<p>Soggetto Realizzatore</p> <p>GEOPROGETTI Studio Associato</p> <p>Regione Toscana Servizio Sismico Regionale</p> <p>Comune di Montelupo Fiorentino</p>	<p>Data:</p> <p>28.10.2022</p>
---	--	--------------------------------

**STUDIO DI MICROZIONAZIONE SISMICA
DI LIVELLO 1 E DI LIVELLO 2**

COMUNE DI MONTELUPO FIORENTINO

Città Metropolitana di Firenze

Relazione Tecnica Illustrativa

Indice generale

1 - INTRODUZIONE.....	3
1.1 - Descrizione del territorio comunale di Montelupo.....	4
2 - DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	5
2.1 - Considerazioni sulla magnitudo di riferimento.....	7
3 - ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	11
3.1 - Geologia e stratigrafia del territorio.....	11
3.1.1 - <i>L'Unità tettonica Toscana – Falda Toscana</i>	12
3.1.2 - <i>L'Unità tettonica Ligure – Unità di Monte Morello</i>	13
3.1.3 - <i>I sedimenti di età pliocenico-villafranchiana</i>	13
3.1.4 - <i>I sedimenti alluvionali antichi e recenti, terrazzati e non terrazzati</i>	14
3.2 - Geomorfologia del territorio.....	15
3.2.1 - <i>Forme e processi di versante</i>	15
3.2.2 - <i>Forme e processi fluviali</i>	17
3.2.3 - <i>Forme e processi antropici</i>	18
4 - DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	19
4.1 - Nuove indagini per la realizzazione dello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 2...	19
5 - MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	20
6 - INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE.....	23
7 - METODOLOGIA DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	24
7.1 - PROCEDURA DI REALIZZAZIONE DELLO STUDIO DI MS1 e MS2.....	25
8 - ELABORATI CARTOGRAFICI.....	26
8.1 - Carta delle indagini.....	27
8.2 - Carta geologico-tecnica.....	27
8.3 - Carta delle frequenze fondamentali.....	28
8.4 - Sezioni geologico tecniche.....	29
8.4.1 - <i>Verifica di congruenza tra le sezioni geologico-tecniche e le risultanze delle indagini</i>	

.....	29
8.5 - Carta dalle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.....	30
8.5.1 - <i>Quadro conoscitivo normativo nazionale e regionale</i>	30
8.5.2 - <i>Procedura di realizzazione della carta MOPS</i>	31
8.5.2.1 - <i>Zone Stabili suscettibili di amplificazione locale</i>	32
8.5.2.2 - <i>Zone di attenzione per instabilità</i>	33
8.5.2.3 - <i>Verifica formale di congruenza tra le sezioni geologico-tecniche e la cartografia MOPS</i>	33
8.5.3 - <i>Colonne stratigrafiche rappresentative delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale</i>	34
8.5.4 - <i>Verifiche per liquefazione</i>	41
8.6 - Carta di Microzonazione Sismica di livello II.....	42
9 - CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....	46
10 - BIBLIOGRAFIA.....	49

1 - **INTRODUZIONE**

La presente relazione riferisce gli esiti di uno studio condotto in ottemperanza dell'OPCM 20 maggio 2021 n° 780, relativo al territorio comunale di Montelupo Fiorentino.

Il quadro conoscitivo del presente lavoro è costituito dai dati geologici e geognostici pubblicati dalla Regione Toscana attraverso il portale Geoscopio nonché dalle indagini geologiche, geognostiche e geofisiche reperite negli archivi comunali. L'aggiornamento delle conoscenze relative all'assetto geomorfologico dei versanti, e dello stato di attività dei fenomeni di dissesto, è stato svolto nell'ambito delle indagini geologiche a supporto del Piano Strutturale Intercomunale (ancora in fase di redazione), ed ha recentemente ricevuto la validazione da parte della Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Il territorio in esame non dispone di pregressi studi di Microzonazione Sismica di livello 1 pertanto, nell'ambito della presente indagine si è proceduto a realizzare uno studio valido per entrambi i livelli di approfondimento (1 e 2).

Per migliorare il livello di conoscenza del territorio i dati reperiti sono stati integrati con una nuova campagna di indagini geofisiche: ciò ha permesso di aumentare il dettaglio per le analisi territoriali che hanno condotto alla definizione delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) fino poi alla definizione dei fattori di amplificazione sismica. L'informatizzazione dei dati è stata effettuata secondo gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica (Commissione tecnica per la Microzonazione Sismica, versione 4.2).

Il presente studio di Microzonazione è stato condotto in ottemperanza a:

- Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica, Gruppo di lavoro MS;
- Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – versione 4.2.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 780 del 20 maggio 2021;
- 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 08/09/2021).
- Programma VEL Toscana – Del. GRT n. 1343 del 18 dicembre 2000 e s.m.e.i;

Ulteriore documentazione a supporto dell'utilizzo degli abachi regionali per la valutazione del fattore di amplificazione sismica delle varie microzone è derivata dalle istruzioni riportate direttamente sulle pagine web della specifica sezione del portale della Regione Toscana (Rischio Sismico).

1.1 - Descrizione del territorio comunale di Montelupo

Il territorio di Montelupo si estende interamente in sinistra idrografica del Fiume Arno, dal crinale del rilievo montuoso posto sul fianco sinistro della Gola della Gonfolina, sino al fondovalle alluvionale del Val d'Arno Medio, in prossimità della uscita della gola stessa. L'area di fondovalle, dove si imposta il capoluogo, è racchiusa verso nord e verso sud dai rilievi collinari di età pliocenica, caratterizzati da quote nettamente superiori sul lato in sinistra idrografica dell'Arno (~160m slm) rispetto a quelli in destra idrografica (~70m slm).

Le formazioni geologiche litoidi presenti nella parte orientale del comune sono di natura flyshoide e si presentano generalmente fortemente alterate in superficie, tanto da generare una copertura regolitica semicoerente volgarmente nota come "cappellaccio". Le acclività dei versanti collinari è, in questo contesto, solitamente compresa tra 15 e 25°.

Relativamente al contesto alluvionale dell'Arno si riconoscono due settori distinti. Il primo è prossimo allo sbocco della Gonfolina, tra le località di Samminiatello e Ambrogiana, ed è caratterizzato da morfologie di elevata energia che portano traccia dei differenti regimi idrodinamici che si sono susseguiti negli ultimi millenni ad opera, sia delle fluttuazioni eustatiche, sia delle caratteristiche della paleomorfologia sepolta. Il secondo settore è individuabile nel fondovalle che va dalla zona ad ovest di Ambrogiana sino a Fibbiana, caratterizzato da debole inclinazione verso ovest (da quota ~35 a quota ~27m slm) e da una tipica morfologia alluvionale di medio bassa energia.

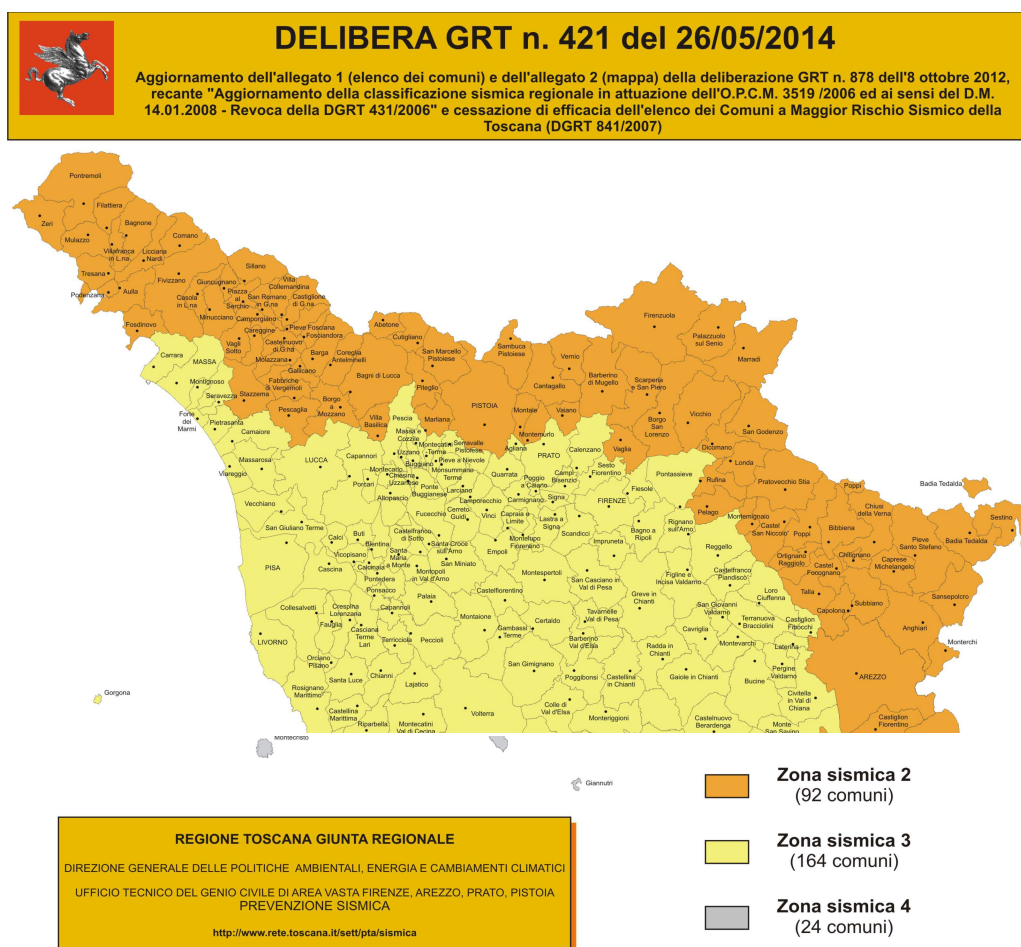
La porzione collinare del territorio comunale di Montelupo si sviluppa verso Sud a partire dal margine della pianura alluvionale dell'Arno ed è solcata, nella parte est del comune, dal corso del Torrente Pesa. In queste aree non sono rare placche di alluvioni terrazzate di età probabilmente pleistocenica, come quella che caratterizza la parte sommitale dell'altura di Bobolino.

I centri abitati interessati dal presente studio di Microzonazione risultano in parte ubicati sulle creste collinari plio-pleistoceniche (Località Pulica e Bobolino), in parte nel fondovalle dell'Arno (Montelupo) e in parte nel fondovalle del Pesa (Località Turbone); all'interno della stretta della Gonfolina è oggetto del presente studio anche l'abitato di Camaioni.

2 - DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

A livello regionale la classificazione sismica dei comuni è riconducibile alla Deliberazione GRT n. 421 del 26.05.2014, (pubblicata sul BURT n. 22 del 04.06.2014 Parte Seconda) che ha confermato il Comune di Montelupo Fiorentino nella zona sismica 3 (zone a bassa sismicità).

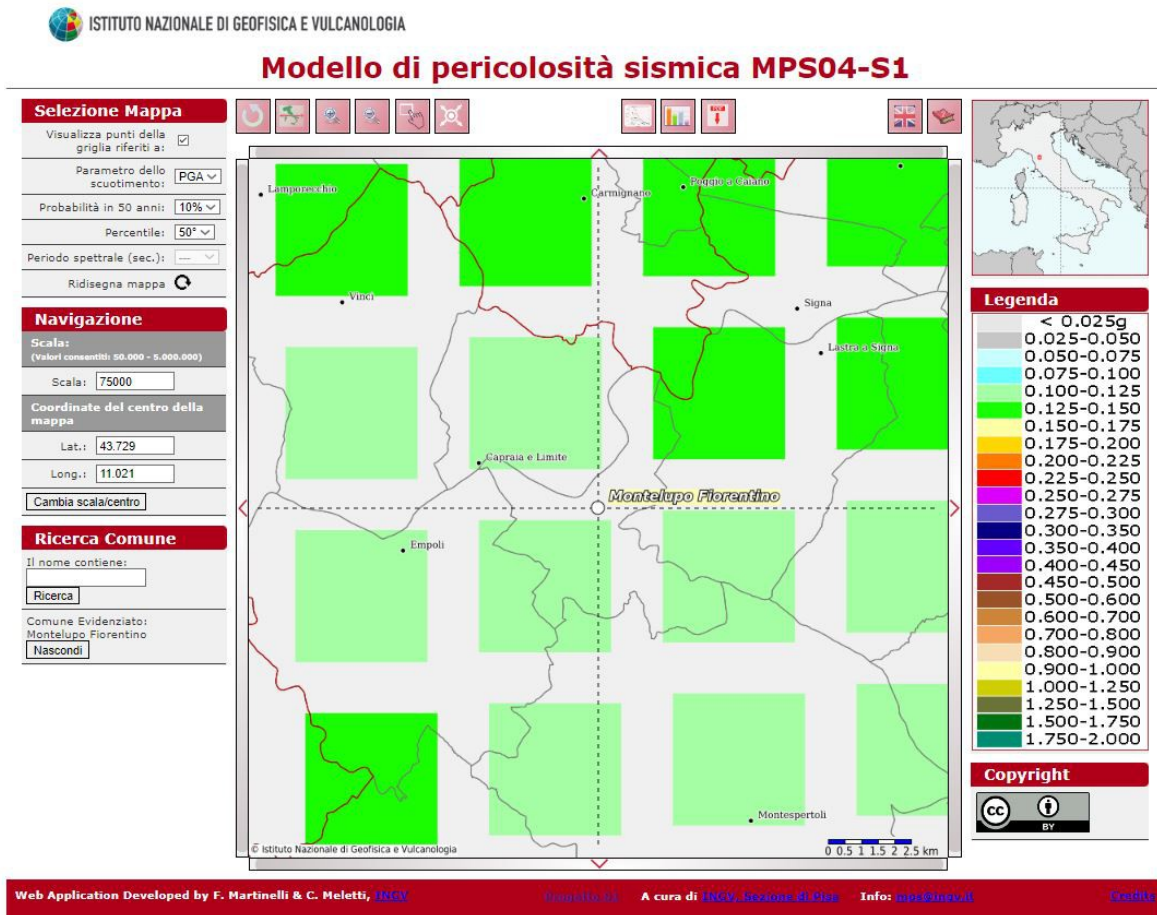
Tale classificazione non produce dirette ripercussioni sulla progettazione di opere e sulla microzonazione sismica, la cui valutazione della pericolosità, alla luce delle vigenti norme, è



cambiata da un criterio “zona-dipendente” a “sito-dipendente”.

Dalla Mappa di Pericolosità Sismica realizzata dall'INGV nel 2004 (Allegato 1B dell'O.P.C.M. 3519/2006) espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005), nel territorio relativo al Comune di Montelupo Fiorentino risultano valori di ag inferiori a 0,125g.

A conferma di ciò si riporta qui di seguito un estratto grafico prelevato dal portale <https://esse1-gis.mi.ingv.it> in cui sono rappresentati i punti del reticolo sismico di riferimento che definiscono i valori di ag attesi con le suddette probabilità di superamento.

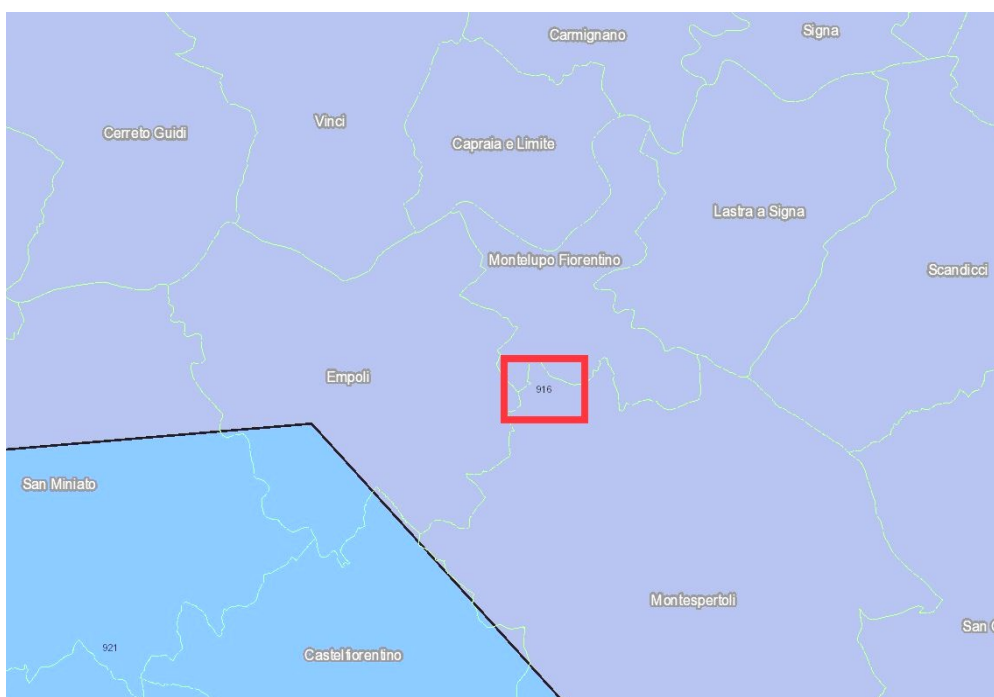


Per quanto riguarda la stima della magnitudo attesa, in mancanza di una normativa di riferimento, la valutazione è eseguita sulla base delle indicazioni degli ICMS.

2.1 - Considerazioni sulla magnitudo di riferimento

Nel catalogo dei forti terremoti in Italia (CFTI5med) l'area di Montelupo riporta la testimonianza di 3 terremoti con magnitudo superiore a 4 (per maggiori dettagli si rimanda al capitolo specifico).

Considerando la zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di lavoro, 2004), secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima M_{wmax} , il territorio comunale di Montelupo Fiorentino ricade nella zona 916, alla quale è stata associata una magnitudo massima attesa pari a $MW_{MAX1}=5,68$ ed una magnitudo massima



cautelativa MW_{MAX2} pari a 6,14.

L'intera fascia 916 "Versilia-Chianti" è caratterizzata da una diffusa sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo elevati. Il rapporto conclusivo dell'INGV (rif. Appendice 2 a Gruppo di Lavoro, 2004) descrive la zona 916 come segue:

"Le zone 916 e 920 coincidono con il settore in distensione tirrenica definito nel modello sismotettonico di Meletti et al. (2000). Anche questa zona è caratterizzata da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati; la maggiore frequenza di questi eventi nella zona 920 suggerisce di distinguerla dalla adiacente zona 916."

Relativamente alla determinazione dei valori di magnitudo per le zone sismogenetiche (M_{wmax1} e M_{wmax2}) il Rapporto Conclusivo indica quanto segue:

"[...]"

In questa ricerca sono stati definiti due insiemi di valori di M_{max} :

- a) uno calibrato, in modo cautelativo, sui dati sismologici e geologici, definito Mmax1;
- b) uno di tipo maggiormente cautelativo, definito Mmax2. Ciascun insieme è stato determinato inizialmente per Mw e quindi per gli altri due tipi di M utilizzati (Ms e Msp).

In cui:

a) Mmax1 ("osservata").

Questo insieme di valori è stato determinato, per ciascuna ZS, dal confronto fra il valore Mwmax osservato in CPTI2 (MmaxCPTI2) e il valore di Mw proposto su base esclusivamente geologica da DISS2, assunto come vincolo indipendente. In particolare sono state adottate le seguenti convenzioni:

- i) se MmaxCPTI2 è maggiore del valore centrale della rispettiva classe di Mw per una quantità $\geq 0.8Mw$ (pari a 1/3 della dimensione della classe stessa), Mwmax è assunto uguale al valore della classe superiore;
- ii) se l'evento con MmaxCPTI2 ricade al di fuori del relativo intervallo di completezza (ossia se l'evento non entra nei calcoli di pericolosità sismica), si adotta comunque, a titolo cautelativo, Mwmax= MmaxCPTI2 (ZS 903, 920 per CO-04.2, cui si aggiungono le ZS 906,913 e 921 per CO-04.4);
- iii) se $MmaxCPTI2 \leq MwmaxDISS2$, si adotta Mwmax=MwmaxDISS2 (ZS 907, 912, 917);
- iv) in tutti gli altri casi si adotta Mwmax=MmaxCPTI2.

Sono state fatte le seguenti eccezioni:

- a) per la ZS 916 (Versilia-Chianti), che non ricadeva nel caso i), è stato adottato un valore di Mwmax più alto di una classe allo scopo di non rendere troppo eccessivo il divario con il valore dell'insieme Mwmax2; [...]

b) Mmax2 ("cautelativa").

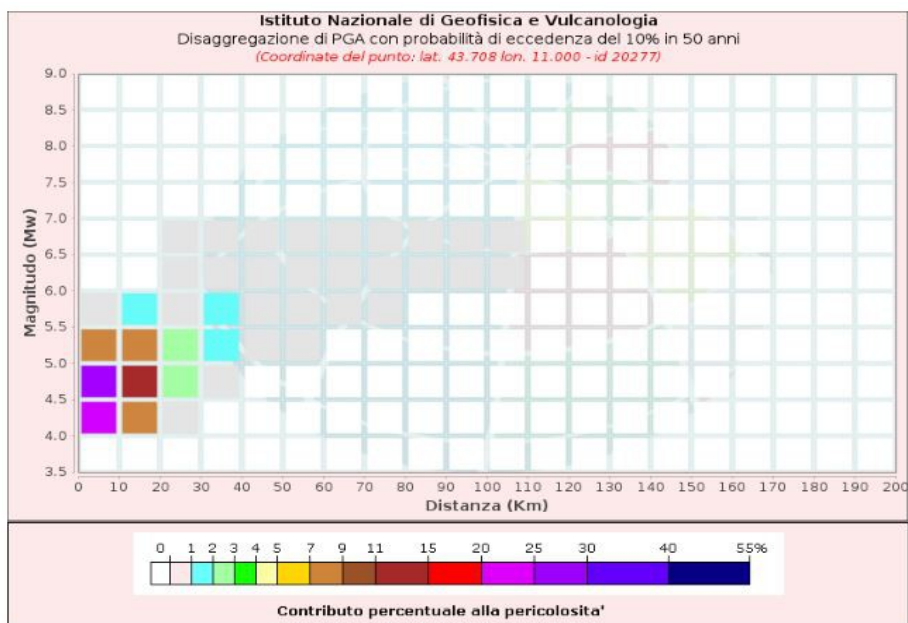
Allo scopo di garantire ai risultati un maggior margine di sicurezza, su suggerimento dei revisori è stato determinato un secondo insieme di valori di Mwmax, maggiormente cautelativo rispetto al precedente, corrispondente al criterio di portare al valore Mwmax=6.14Mw tutte le ZS con MmaxCPTI2 inferiore a tale valore. Questo suggerimento è stato adottato con l'esclusione delle ZS vulcaniche dei Colli Albani (922), Ischia-Vesuvio (928) e Etna (936).

[...]"

Da quanto sopra si comprende come il valore di Mmax2 derivi da una assunzione arbitraria, cautelativa, ma comunque non prettamente attinente ai dati strumentali e storici per la zona di riferimento.

Seguendo un approccio statistico (disaggregazione di PGA), attraverso il portale <https://esse1-gis.mi.ingv.it>, è possibile determinare quali terremoti (in base a coppie magnitudo -distanza) potrebbero generare le accelerazioni attese ag con probabilità di eccedenza del 10% in 50anni (Tr475anni) e quindi valutare le coppie magnitudo-distanza che maggiormente contribuiscono alla pericolosità sismica. I terremoti in grado di generare tale accelerazione risultano mediamente pari Mw=4,81.

Gli esiti dell'analisi di disaggregazione sono riassunti nella seguente immagine:



Nel documento tecnico illustrativo delle procedure di disaggregazione (Deliverable D14 dell'INGV), si indica quanto segue:

“[...]”

In particolare, sono stati disaggregati i valori medi di scuotimento (riferiti a suolo rigido), espresso in termini di accelerazione orizzontale di picco (PGA) corrispondenti a 9 periodi medi di ritorno (MRP), valori rilasciati dal deliverable D2 di questo stesso progetto (<http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>): 30, 50, 72, 100, 140, 200, 475, 1000 e 2500 anni. [...]

Si ricorda che l'analisi di pericolosità sismica d'Italia è stata condotta applicando il formalismo ad albero logico (Figura 1) in modo da considerare l'incertezza epistemica nei modelli e nei valori dei parametri di input.

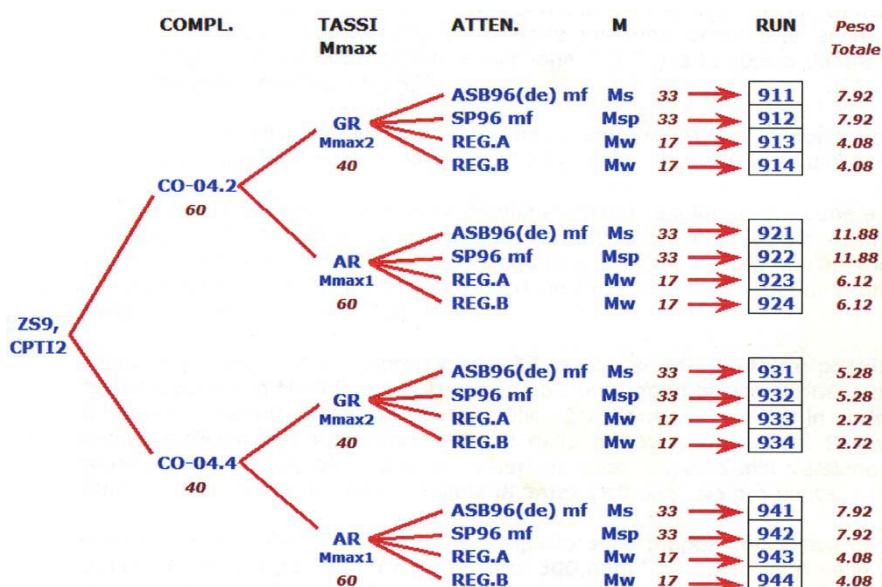


Figura 1. Albero logico impiegato per l'analisi della pericolosità sismica d'Italia (da Gruppo di Lavoro MPS, 2004).

Le mappe conclusive di pericolosità sismica sono state elaborate in termini di mediana pesata della distribuzione dei valori di pericolosità anziché in termini di valori medi. Di conseguenza la disaggregazione è stata condotta adottando quali input i modelli ed i valori dei parametri lungo il ramo dell'albero logico a cui corrispondono i valori di pericolosità più prossimi a quelli mediani. In particolare, le assunzioni, i modelli ed i parametri di input adottati per l'analisi di disaggregazione sono quelli corrispondenti al ramo 921 dell'albero logico impiegato per l'analisi di pericolosità sismica d'Italia (Figura 1).

[...]”

Sulla base delle considerazioni di cui sopra, in accordo con la classificazione nazionale di pericolosità sismica, volendo valutare la fragilità del territorio a partire da testimonianze, misurazioni e stime reali, in accordo con i valori di PGA e ag del reticolo sismico di riferimento, si ritiene adeguato adottare, ai fini del presente studio, una magnitudo di riferimento pari a M_{max1} cioè: **Mrif=5,68**.

3 - ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 - Geologia e stratigrafia del territorio

L'area del Comune di Montelupo Fiorentino è collocata nella parte meridionale della dorsale che si estende dai rilievi del Monte Albano fino ai Monti del Chianti, sul fianco rovescio di una grossa piega coricata, antiforme, vergente verso NE e con asse orientato in direzione NO-SE.

Nel Comune di Montelupo Fiorentino sono presenti terreni appartenenti a differenti successioni stratigrafiche che sono state implicate nei movimenti, prima compressivi e poi distensivi legati alla formazione dell'orogene appenninico.

Le rocce più antiche affioranti nell'area in esame sono quelle appartenenti alle Unità Tettoniche Liguri cioè le formazioni cretacico-eoceniche dell'Unità di Monte Morello. Queste giacciono in discordanza sui depositi torbiditici oligo-miocenici della Falda Toscana (Unità Tettoniche Toscane) in seguito al sovrascorrimento avvenuto nell'ambito della orogenesi appenninica.

Le arenarie quarzoso-feldspatiche del Macigno si sono depositate nella fossa di subduzione sviluppatesi in conseguenza allo scontro tra placca europea Corso-Sarda e la placca adriatica. Le correnti di torbida si sono verificate con eventi di entità differente nel tempo, caratterizzati talvolta dalla deposizione di olistostromi.

L'interruzione della deposizione del Macigno corrisponde alla progressiva migrazione verso est del bacino di sedimentazione, dove avveniva la deposizione dei terreni più giovani dell'Unità Cervarola-Falterona.

Sulle formazioni delle Unità Tettoniche Toscane e Liguri si depositarono i sedimenti appartenenti alle unità marine e transizionali del Pliocene Inferiore e Medio: questi giacciono in discordanza sui depositi Miocenici testimoniando che prima della deposizione, in un periodo tra il Miocene Inferiore e il Pliocene Inferiore, sono avvenute:

- una prima fase compressiva (che ha dato luogo alla piega coricata di M. Albano) che ha generato emersione ed erosione delle Unità Tettoniche Liguri e Toscane;
- una fase distensiva che ha formato una serie di alti (ad esempio M. Albano e i Monti del Chianti) e bassi strutturali nei quali si è verificata la nuova ingressione marina Pliocenica.

I sedimenti Pliocenici testimoniano che l'ambiente deposizionale era di transizione tra il continentale ed il marino: i conglomerati si sono probabilmente depositati in pianure costiere dove confluivano i corsi d'acqua provenienti dall'area della Calvana; le argille e le sabbie sedimentavano in una lingua di mare poco profondo compresa tra il M. Albano e i Monti Pisani.

Sopra i depositi pliocenici si trovano, con leggera discordanza angolare, sedimenti alluvionali terrazzati pleistocenici.

La sedimentazione più recente, di tipo continentale, è avvenuta ad opera delle alluvioni dell'Arno e del torrente Pesa ed è stata fortemente dipendente dalle fluttuazioni eustatiche. L'area di raccordo tra i fronti collinari pliocenici e le alluvioni recenti è spesso caratterizzata da coltri discontinue di

terreni colluviali costituite da sedimenti eterometrici trasportati per ruscellamento.

In corrispondenza dei settori arginali dell'Arno, ed in corrispondenza del tracciato della FI-PI-LI e delle ferrovie, si ha la presenza di terreni antropici di riporto.

Qui di seguito viene riportata la descrizione delle varie formazioni affioranti nel Comune di Montelupo Fiorentino, limitatamente alle zone di analisi.

Ai sensi degli standard di rappresentazione e archiviazione informatica, come meglio descriveremo in seguito, le formazioni sono state distinte in substrato geologico e terreni di copertura.

3.1.1 - L'Unità tettonica Toscana – Falda Toscana

L'Unità Toscana non metamorfica, la più bassa geometricamente, affiora nei rilievi ai fianchi della Gola della Gonfolina, in località Camaioni.

Nell'area in esame l'unità si sostanzia in varie facies della formazione del Macigno descritte qui di seguito.

MAC - Macigno (Oligocene superiore – Miocene inferiore)

Arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatico-micacee, spesso gradate, di colore grigio e grigio verdi, marroni giallastre per alterazione, a granulometria generalmente da medio fine a grossolana, in strati da spessi a molto spessi, fino a 4,0 m, talora malgamati, con intercalazioni centimetrico-decimetriche di arenarie fini color grigio e siltiti, argilliti e argilliti siltose color grigio scuro. Nella porzione superiore prevale una litofacies pelitico-arenacea con strati da sottili a spessi; risultano relativamente comuni anche intercalazioni decimetriche-metriche di calcilutiti marnose, marne calcaree e di argilliti nerastre.

MACc - Marne di San Polo (Oligocene superiore – Miocene inferiore)

Marne e marne siltose grigie o grigio giallastre a frattura scheggiata, con intercalazioni di siltiti ed arenarie fini torbiditiche. Generalmente si rinvencono nella porzione superiore della formazione del macigno e sono generalmente associate al tetto degli olistostromi.

MACa – Olistostromi (Oligocene superiore – Miocene inferiore)

Sono corpi lenticolari, generalmente allungati, intercalati stratigraficamente alle altre normali litofacies rappresentati da brecce argillose ad elementi calcarei micritici e siltitici in matrice argillitica da bruna ad ocracea.

Si presentano intercalati nella porzione superiore del Macigno. Per quanto riguarda la loro messa in posto, il meccanismo principale è la gravità, e richiede un'intensa frammentazione delle rocce e una liquefazione del materiale pelitico, spesso proveniente da formazioni ancora poco litificate.

MACb - Arenarie zonate (Oligocene superiore – Miocene inferiore)

Arenarie torbiditiche fini e siltiti grigio scure.

3.1.2 - L'Unità tettonica Ligure – Unità di Monte Morello

SIL – Formazione di Sillano

Si tratta di argilliti grigio bruno folietate, alternate a calcilutiti e calcareniti torbiditiche a grana fine di potenza variabile. La formazione è solitamente caratterizzata da un elevato grado di alterazione superficiale che la rende incoerente per diversi metri.

3.1.3 - I sedimenti di età pliocenico-villafranchiana

Questo complesso giace in discordanza sulle unità precedenti ed è rappresentato da sedimenti solitamente di elevata energia (sabbie, ghiaie e ciottoli) alternati, in misura minore, a strati di terreni pelitici sovraconsolidati.

Le formazioni riscontrate nel territorio comunale di Montelupo Fiorentino sono le seguenti:

VILa – Conglomerati e ciottolami poligenici (Ruscignano – Villafranchiano)

Conglomerati e ghiaie prevalentemente calcarei, talora diasprini, di ambiente costiero, spesso ferrettizzati, con banchi di sabbie e sabbie argillose. Tessitura prevalentemente clasto-sostenuta con abbondante matrice sabbioso-limosa e subordinate sabbie medio-grossolane, talora a laminazione piana o inclinata. Colore generalmente avana o rosso mattone.

VILh - Limi argilloso-sabbiosi ed argille sabbiose - Ruscignano – Villafranchiano.

Limi e argille limose da giallastre a grigio azzurre, generalmente massive, contenenti arricchimenti di sostanza organica e sparsi molluschi polmonati.

VILe - Sabbie e conglomerati (Ruscignano – Villafranchiano).

Ciottoli polimodali a tessitura prevalentemente clasto-sostenuta con abbondante matrice sabbioso-limosa e subordinate sabbie medio-grossolane, talora a laminazione piana o inclinata.

FAA - Argille Azzurre (Zancleano-Piacenziano),

Argille grigie e turchine sovraconsolidate di paragenesi marina, con intercalazioni discontinue di sabbie fini più o meno limose che aumentano nella porzioni superiori della successione. La stratificazione è poco frequente. Gli spessori complessivi di questa formazione possono raggiungere le centinaia di metri.

PLIb - Conglomerati marini poligenici (Zancleano-Piacenziano)

La formazione è costituita da alternanze di sabbie, ghiaie e conglomerati di origine marina. Sono coevi alle Argille Azzurre.

3.1.4 - I sedimenti alluvionali antichi e recenti, terrazzati e non terrazzati

Si distinguono le seguenti formazioni principali:

b – depositi di alveo e affini

Si tratta di sedimenti di elevata energia, tipicamente sabbioso-ghiaiosi sciolti, deposti a giacitura incrociata sotto forma di barre lungo i corsi d'acqua principali e nelle loro pertinenze. Hanno generalmente carattere temporaneo in quanto continuamente re-incisi ad opera della corrente.

bna – depositi alluvionali recenti

Si tratta di sedimenti poco consistenti a granulometria generalmente limoso-sabbiosa generati dalle tracimazioni dei corsi d'acqua principali. Nell'area in cui il torrente Pesa confluisce nell'Arno tendono a essere più sabbiosi come pure nelle aree prossime all'alveo o ai paleoalvei dell'Arno. Muovendosi verso ovest tendono a essere prettamente limose seppur caratterizzate da lenti granulari in profondità.

bnb – depositi alluvionali terrazzati antichi

Sabbie, spesso ben stratificate, con letti ciottolosi, di paragenesi incerta. Hanno consistenza intermedia tra i depositi alluvionali recenti e quelli del contesto collinare plio-pleistocenico.

3.2 - Geomorfologia del territorio

La classificazione degli elementi geomorfologici del territorio è stata condotta nell'ambito del Piano Strutturale Intercomunale, redatto in parallelo al presente studio, che ha visto la revisione dei fenomeni presenti sul territorio rispetto alle direttive contenute nel Progetto PAI Dissesti geomorfologici dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Nella carta geomorfologica del suddetto Piano Strutturale, che rappresenta la base per la valutazione delle potenziali instabilità sismoindotte, le forme ed i depositi sono stati suddivisi in base all'agente morfogenetico che li ha prodotti: quello gravitativo, quello fluviale e quello antropico. Le forme ed i depositi sono stati inoltre distinti in base ai meccanismi ed al loro stato di attività.

Sono state perciò considerate:

- attive: le forme e i depositi legati a processi in atto all'epoca del rilevamento o ricorrenti a ciclo breve.
- quiescenti: le forme e i depositi per i quali esistono evidenze geomorfologiche o testimonianze di funzionamento nell'attuale sistema morfoclimatico e morfodinamico e che non avendo esaurito la loro evoluzione hanno possibilità di riattivarsi.
- stabilizzate: le forme ed i fenomeni precedentemente attivi interessati da interventi di messa in sicurezza che hanno neutralizzato lo stato di attività.

3.2.1 - Forme e processi di versante

a) Scarpate subverticali

Sono distinguibili in attive e quiescenti a seconda della loro morfologia, del tipo di vegetazione eventualmente presente, della presenza alla loro base di detrito proveniente dalle stesse, ed in base ad una valutazione qualitativa della condizione dell'ammasso. Il distacco di materiale avviene spesso in forma di lame.

Sono in generale presenti fratture sub verticali, parallele alla scarpata, determinate dagli sforzi di trazione cui il materiale è sottoposto per il continuo scalzamento al piede causato dalla erosione areale che interessa le unità limoso-argillose sottostanti. In maniera minore intervengono anche fenomeni di ribaltamento e crollo di piccole masse lapidee isolate dalle diverse famiglie di discontinuità presenti.

Sono state selezionate e classificate nel rispetto degli standard di microzonazione sismica e quindi limitatamente alle morfosculture con rigetto superiore a 10m. Sono state definite valutando la loro morfologia, il tipo di vegetazione eventualmente presente, la presenza alla loro base di detrito proveniente dalle stesse, ed in base ad una valutazione qualitativa della

condizione del versante. E' stata operata infine una classificazione morfogenetica delle scarpate selezionate nel rispetto degli stessi standard di microzonazione.

b) Frane (C1a, S1a, R2, S2, S3)

Sono state considerate quiescenti tutte le frane riconoscibili in fotografia aerea ma prive, all'osservazione diretta, di evidenze di movimento. Nelle aree agricole, in particolare in quelle destinate all'agricoltura estensiva, sono state inserite anche quelle aree che seppur interessate da ciclici modellamenti della superficie, mostrano forme riconducibili (da fotointerpretazione) a dissesti pregressi.

Sono state considerate attive quelle frane che mostrano evidenze di movimento, quali apertura di fratture superficiali, rotazione e/o inclinazione degli elementi verticali (alberi, pali, fabbricati), lesionamenti di strutture rigide, riferiti ad un tempo commisurabile agli ultimi 20-30 anni.

Nelle aree in cui è presente un dissesto generalizzato, costituito da numerosi fenomeni di ridotta estensione associati a denudamento/erosione del versante, è stata indicata una franosità diffusa, estesa a tutta la porzione del versante interessato. Nel tempo, pur persistendo la globale condizione di instabilità, si perdono le tracce del singolo fenomeno. Conferma di ciò si trova nello studio delle fotografie aeree di anni diversi e nei rilievi di campagna dai quali si evince come ampie zone siano interessate, con fasi alterne, da movimenti di massa: queste particolari condizioni sono ben osservabili lungo il versante meridionale dell'abitato di Fabbrica, diffusamente interessato dal fenomeno.

Forme franose relitte sono state classificate come stabilizzate.

c) Aree potenzialmente instabili per deformazioni superficiali (FD2, FD3) tra le quali rientrano:

1) Aree soggette a dissesto per il rapido approfondimento degli impluvi, con erosione diffusa e/o denudamento della coltre

Si tratta di fenomeni connessi all'azione delle acque dilavanti ed alla natura dei terreni affioranti sui versanti.

In tali fenomeni ricadono le aree caratterizzate da un profilo acclive ma non troppo affilato e che delimitano vallecicole relativamente ampie e a fondo concavo. Il processo erosivo dominante è rappresentato da movimenti di massa superficiali di tipo misto scivolamento-colamento.

2) Impluvi con tendenza all'approfondimento

Quando gli impluvi sono impostati in corrispondenza di litotipi facilmente erodibili, allora il processo erosivo mostra una tendenza all'approfondimento rispetto al livello di scorrimento attuale.

3) Zone con ruscellamento superficiale

Nelle zone in cui affiorano litotipi prevalentemente sabbiosi il processo erosivo ad opera delle acque superficiali si espleta secondo i seguenti meccanismi: l'acqua scorrendo lungo la pendice incrementa la sua velocità e ciò può consentirle non solo di prendere in carico le particelle disgregate, ma anche, avendo assunto un moto vorticoso, di coinvolgerle nel processo erosivo. Quando la superficie è regolare il

flusso si mantiene laminare e la sua azione erosiva si esercita in maniera uniforme sulla superficie formando canalicoli larghi e poco profondi che si intrecciano. Nel caso in cui la superficie è più irregolare o il versante presenta una certa lunghezza, i canalicoli tendono a conservare nel tempo la loro forma, a creare stabili reticoli idrografici in miniatura e ad approfondire il loro corso per erosione verticale, fino ad assumere l'aspetto di incisioni di profondità più che decimetrica.

3.2.2 - Forme e processi fluviali

g) Sponde in erosione e orli di terrazzi fluviali (**FDF, ES**):

Sono tratti in cui il ciglio di sponda dei corsi d'acqua principali mostra significative evidenze di dissesto. In questo caso l'azione erosiva del corso d'acqua si manifesta prevalentemente in modo laterale evidenziando la naturale tendenza del fiume a formare ed accentuare i propri meandri. Le scarpate delimitanti i depositi fluviali sono state selezionate nel rispetto degli standard di microzonazione sismica e quindi limitatamente alle morfosculture con rigetto superiore a 10m.

i) Alluvioni

Sono i depositi alluvionali, già indicati anche nella Carta Geologica, riferiti ai depositi successivamente reinciati dal corso d'acqua (alluvioni terrazzate) ed a quelli di più recente deposizione (alluvioni recenti ed attuali)

Di seguito una sintesi delle attribuzioni effettuate tra i codici tipologici del PAI e quelli degli standard di microzonazione sismica:

Codice PAI dissesti geomorfologici	Definizione PAI	Codice standard MS assunto	Note
C1a	Frane di crollo inattive stabilizzate artificialmente	3031	-
CON1	Conoidi miste detritico-alluvionali	3033	La paragenesi dei ventagli di conoide è assimilabile a processi di colamento ripetuti; in questo caso relitti.
ES	Erosione spondale attiva	3011	Tendenza allo scalzamento e ribaltamento
FD2	Aree potenzialmente instabile per deformazioni superficiali	3025	Meccanismo di collasso o propensione al dissesto indefinito in quanto sito-dipendente
FD3	Franosità diffusa e franosità superficiale attiva	3015	Meccanismo di collasso indefinito in quanto sito-dipendente
FDF	Fascia di dinamica fluviale legata ai processi di erosione attiva	3021	Tendenza sporadica allo scalzamento e ribaltamento
R2	Frane di colata rapida inattive potenzialmente instabili	3023	-
S1A	Frane di scivolamento e colata lenta inattive stabilizzate artificialmente	3032	-
S2	Frane di scivolamento e colata lenta inattive potenzialmente instabili	3022	-
S3	Frane di scivolamento e colata lenta attive	3012	-

3.2.3 - Forme e processi antropici

Sono state cartografate le principali forme del paesaggio prodotte dall'azione dell'uomo. Si sostanziano nella presenza di rilevati antropici, limitatamente ai siti in cui gli spessori pari o superiori a 3m.

4 - DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Al fine di caratterizzare il substrato delle zone di studio, è stata definita la banca dati delle indagini geognostiche e geofisiche

- indagini geognostiche facenti parte dei database geognostici della Regione Toscana,
- alcune indagini geognostiche estratte dal precedente Piano Strutturale comunale,
- le indagini reperite negli archivi comunali relative ad interventi pubblici recenti,
- ulteriori nuove acquisizioni sismiche condotte nell'ambito del presente incarico come concordato con il Servizio Sismico della Regione Toscana.

Nell'ambito del presente lavoro è stata creata la seguente banca dati, che comprende una parte geognostica e una parte geofisica.

I dati disponibili sono stati selezionati in ragione della loro utilità alla definizione delle caratteristiche geologico-tecniche e sismiche del substrato del territorio in esame, ottenendo:

- Banca Geognostica: indagini geognostiche ricadenti all'interno delle aree MOPS, tra cui:
 - 19 prove penetrometriche statiche CPT*
 - 2 prove penetrometriche superpesanti DPSH*
 - 32 sondaggi a carotaggio continuo*

- Banca Geofisica: l'insieme dei materiali di archivio e di quelli acquisiti nell'ambito della presente indagine è costituito da 64 indagini geofisiche puntuali e 26 lineari, tra cui:
 - 8 down-hole*
 - 48 misure di microtremori a stazione singola HVSR*
 - 8 ESAC*
 - 20 MASW*
 - 6 profili sismici a rifrazione*

4.1 - Nuove indagini per la realizzazione dello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 2

Nell'ambito del presente lavoro sono state acquisite le seguenti indagini di approfondimento (già comprese nelle quantificazioni di cui al capitolo precedente):

- 2 profili sismici a rifrazione
- 8 indagini ESAC con array 2D con indagine MASW associata,
- 42 misure di microtremori a stazione singola (HVSR),

Il nuovo insieme delle indagini sismiche disponibili ha quindi permesso di definire le caratteristiche sismiche delle diverse situazioni stratigrafie riscontrate.

5 - MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Sulla base del quadro conoscitivo disponibile è stato ricostruito il modello di sottosuolo per le aree oggetto di studio di microzonazione sismica. Nella ricostruzione del modello non sono stati considerati strati e orizzonti, superficiali o profondi, di spessore inferiore a 3m in quanto di scarsa rilevanza sismica secondo gli standard di microzonazione sismica.

La qualità del modello, funzione della densità di indagini, risulta maggiore laddove quest'ultime sono ben distribuite e in buon numero, come nel caso delle zone di pianura di più recente urbanizzazione; nelle aree collinari il modello presenta talvolta lacune di informazioni, legate alla presenza di centri urbani storicizzati poveri di informazioni geognostiche, sebbene la ricostruzione degli assetti geologici e geomorfologici sia facilitata dalla forma dei rilievi collinari, caratterizzati da strette creste e ripidi pendii; le geometrie piano-parallele dei depositi plio-pleistocenici permettono di individuare livelli guida estesi a gran parte del territorio collinare, favorendo le correlazioni di tipo geotecnico e sismico di estese successioni stratigrafiche.

Sono invece di fondamentale importanza, laddove disponibili, le stratigrafie ricavate dai sondaggi a carotaggio continuo.

Trattandosi di territori in cui affiorano prevalentemente terreni di copertura, l'utilità delle prove penetrometriche risulta fortemente ridotta, salvo per le zone di pianura in cui sono comunque necessarie valutazioni afferenti i fenomeni di liquefazione dinamica.

Di grande utilità sono state invece le indagini geofisiche sia attive che passive: quest'ultime, disponibili in buon numero, si sono ben correlate con le altre indagini raccolte, consentendo di utilizzarle, seppur con cautela, nella ricostruzione del modello geologico e geofisico del sottosuolo.

In ciò che segue vengono dettagliati gli aspetti geologici, geomorfologici e sismici delle zone esaminate, procedendo da Nord verso Sud.

Zona della pianura alluvionale dell'Arno e dei suoi affluenti

La pianura alluvionale del Fiume Arno e dei suoi affluenti interessa la porzione settentrionale del territorio comunale, a margine del Fiume Arno.

I terreni presenti in affioramento e nel primo sottosuolo sono riconducibili ai depositi alluvionali più recenti che penetrano anche all'interno delle valli minori, conferendo a queste la classica morfologia tabulare. La loro deposizione risale all'Olocene ed è indirettamente collegata all'ultima risalita eustatica, durante la deglaciazione post-wurmiana. Sono costituiti prevalentemente da limi e sabbie essendo in stretta relazione con i litotipi affioranti immediatamente a Sud.

Il principale affluente dell'Arno nel Comune di Montelupo è rappresentato dal torrente Pesa, affluente di sinistra. A valle della confluenza del Pesa la valle dell'Arno si amplia progressivamente a testimoniare il contributo significativo che ha detto corso d'acqua nel regime idrodinamico dell'Arno e nelle sue portate. In corrispondenza della confluenza i sedimenti alluvionali sono maggiormente sabbiosi e, tendenzialmente, divengono maggiormente coesivi muovendosi verso

ovest, laddove l'Arno assume un regime schiettamente meandriforme.

Zona di raccordo tra la pianura ed il territorio collinare

La zona di raccordo tra la pianura ed i rilievi collinari adiacenti è caratterizzata dalla presenza di terreni generalmente a granulometria maggiore, caratterizzati da maggiore energia.

Si segnala la forma di accumulo pedecollinare in località Maremmana – Le Querce in cui i sedimenti di origine alluvio-colluviale prossimi al p.c. appaiono in prevalenza ghiaiosi.

Territorio collinare plio-pleistocenico

I rilievi collinari si presentano caratterizzati da strette creste bordate da pendii acclivi, dai cui impluvi si origina il reticolo idraulico locale.

Le forme del territorio sono fortemente influenzate dalla natura litologica dei terreni affioranti, costituiti prevalentemente da depositi ghiaiosi dalle buone caratteristiche meccaniche che favoriscono la formazione di scarpate sub-verticali che spesso orlano le sommità dei rilievi.

L'elemento geologico stratigraficamente più elevato è rappresentato dalle alluvioni terrazzate di Bobolino, a sud di Montelupo, di età probabilmente pleistocenica superiore: si tratta generalmente di Sabbie con limo sovraconsolidate, di media consistenza.

Le suddette alluvioni terrazzate poggiano su una struttura collinare caratterizzata da una alternanza di strati prevalentemente conglomeratici consistenti (VILa – Conglomerati e ciottolami poligenici – Rusciniano – Villafranchiano) di elevata potenza, e strati subordinati di Limi argilloso-sabbiosi sovraconsolidati (VILh - Limi argilloso-sabbiosi ed argille sabbiose - Rusciniano – Villafranchiano). Sulla base delle indagini geofisiche l'elevata consistenza dei livelli ghiaiosi può favorire il raggiungimento di Vs molto elevate, talvolta superiori a 800m/s oltre i 10-15m dal p.c.

Muovendosi verso sud, seguendo il crinale a sud di Montelupo, a sudovest del torrente Tomba di Berta alla alternanza VILa – VILh si aggiunge un membro ghiaioso-sabbioso a sigla VILe (sabbie e conglomerati - Rusciniano – Villafranchiano). Questa architettura stratigrafica a tre membri si ritrova anche a sudest del comune, in località Pulica.

Ancora più a sud, vicino a Villanuova, affiora il basamento sottostante alle formazioni villafranchiane, caratterizzato dalle Argille Azzurre plioceniche (FAA – Zancleano-Piacenziano), che tuttavia, se pur di poco, è esterno alle aree di indagine delle MOPS.

Particolarmente curiosa è l'altura isolata situata in località P.Poggio Maggiore, al centro della valle alluvionale dell'Arno. In questa altura affiora la formazione pliocenica nota come PLIb - Conglomerati marini poligenici (alternanze di sabbie, ghiaie e conglomerati marini, PLIb – Zancleano-Piacenziano).

Territorio collinare roccioso

I versanti circostanti l'abitato di Camaioni e i rilievi ai fianchi della Gola della Gonfolina sono caratterizzati dalle varie facies della formazione del Macigno (Unità Toscana non metamorfica) e dalla formazione di Sillano (Dominio Ligure esterno, Unità di M. Morello).

Le formazioni rocciose subaffioranti (unità tettonica toscana: MAC, MACa, MACb, MACc; unità

tettonica ligure: SIL) sono arenarie e argilliti di origine torbiditica caratterizzate da una frangia di alterazione regolitica superficiale molto potente. Detta frangia si manifesta generalmente con picchi nei grafici delle tromometrie a frequenze medio elevate, fortemente dipendenti dal sito di misura.

Le formazioni del territorio collinare roccioso sono state ricondotte, per loro giacitura e storia geologica, al substrato geologico e, come meglio descritto nel capitolo del presente elaborato relativo alla descrizione della carta geologico tecnica, classificate con le specifiche categorie di cui alla fig. 1.1.2-2 degli standard di microzonazione sismica ver. 4.2.

6 - **INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE**

Le indagini significative raccolte all'interno delle aree Mops, sia quelle reperite in precedenti database che quelle di nuova acquisizione, sono state inserite nel software SoftMS e riportate nella carta delle indagini. La raccolta delle indagini geofisiche è stata estesa anche alle aree comunali esterne alle zone Mops con lo scopo di creare un modello geofisico coerente su tutto il territorio comunale, indagando i contesti di raccordo tra collina e fondovalle nonché le aree agricole tra i vari centri abitati.

Le incertezze del modello geologico ricostruito sono da ricollegarsi principalmente alla mancanza di indagini geognostiche spinte a profondità tali da avere una maggior conoscenza dell'andamento del substrato geologico al di sotto della coltre alluvionale e plio-pleistocenica.

Particolarmente interessante dal punto di vista sismico è l'area della gola della Gonfolina in località Camaioni. In questo settore, sebbene sulla base delle morfologie emerse la morfologia sepolta sia inseribile all'interno della fattispecie di "valle sepolta stretta", purtroppo non vi sono indagini geognostiche sufficientemente profonde che permettano la definizione delle geometrie del substrato nella sua parte centrale.

Carenza di perforazioni geognostiche profonde si risente in generale anche nella fascia meridionale dell'area di studio, attraversata dalla sezione B, che rende incerte le geometrie di contatto tra i depositi alluvionali recenti e quelli di pertinenza collinare.

Nell'area collinare a nord est di loc. Samminiatello vi è inoltre l'incertezza relativa alla velocità dei sedimenti pliocenici ghiaiosi, i quali, come visto per l'area di Bobolino e dalle indagini L7 e L8, localmente possono raggiungere valori di V_s elevati. In particolare è incognito se localmente si possano manifestare fenomeni di contrasto sismico col substrato geologico o addirittura inversioni di velocità connesse all'alterazione del substrato stesso. Nell'ambito del presente studio questa criticità è stata superata attraverso assunzioni cautelative.

7 - METODOLOGIA DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Lo studio di microzonazione sismica è stato svolto in ottemperanza a:

- Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica, Gruppo di lavoro MS; -Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 780 del 20 maggio 2021;
- Allegato A delle specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di Microzonazione Sismica (aggiornamento 08/09/2021);
- 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 – Del. GRT n. 1343 del 18 dicembre 2000 e s.m.e.i.;
- Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – versione 4.2;

ed ha permesso di approfondire le conoscenze degli aspetti sismici dei principali centri abitati del Comune di Montelupo, perimetrati nelle cosiddette “aree MOPS”.

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

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

1. con tecniche GIS viene redatta la cartografia digitale geografica, geologica e sismica;
2. col software SoftMS (ver. 4.2) viene creata la banca dati delle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche come database formato .mdb.

Le entità cartografate col software opensource QGis vengono ricondotte a tre tipi di elementi geometrici: punti, linee e poligoni. Uno strato informativo è costituito da una tipologia di elementi geometrici (solo punti, solo linee, solo poligoni) connessi ad elementi descrittivi (tabelle). Nel caso della carta delle indagini attraverso le suddette tabelle è possibile il collegamento con le informazioni raccolte nel database .mdb creato con SoftMS.

Con lo stesso software è stato possibile creare specifici layout di stampa per produrre, sempre seguendo gli standard di rappresentazione 4.2, le tavole in formato “.Pdf “ che verranno descritte nei capitoli seguenti.

7.1 - PROCEDURA DI REALIZZAZIONE DELLO STUDIO DI MS1 e MS2

Il territorio comunale di Montelupo necessita di uno studio di Microzonazione sismica di livello 1 e di uno studio di livello 2.

In quest'ambito si è proceduto, in primo luogo, alla raccolta dei dati geognostici e geofisici a disposizione negli archivi comunali e delle amministrazioni sovraordinate, ed alla loro integrazione attraverso una nuova campagna di indagini geofisiche, appositamente eseguite, al fine di dettagliare al meglio le caratteristiche del territorio esaminato.

L'insieme dei dati a disposizione è stato organizzato e inserito nel Database attraverso l'utilizzo del software SoftMS, versione 4.2 oltre ad essere rappresentato nella Carta delle Indagini e dei Dati di Base, redatta secondo gli "Standard di Archiviazione e Rappresentazione informatica".

A partire dai dati del Database Geologico Regionale, utilizzato anche per la redazione delle cartografie del Piano Strutturale Intercomunale a cui questo studio si affianca, sono state condotte analisi di natura litotecnica utilizzando i dati geognostici e geofisici precedentemente organizzati, pervenendo alla redazione della Carta Geologico Tecnica.

Dal quadro stratigrafico e strutturale così definito sono state redatte le Sezioni geologico-tecniche, che permettono di descrivere i vari rapporti geometrici tra le unità geologiche e litotecniche individuate.

L'assetto stratigrafico e sismostratigrafico (definito sulla base delle indagini sismiche, tra cui le misure di microtremori HVSR) delle aree indagate ha permesso, all'interno del territorio urbanizzato, di definire zone omogenee per stratigrafia e risposta sismica: la stratigrafia di ogni singola zona è stata rappresentata in una specifica colonna litostratigrafica a cui sono stati associati valori di velocità Vs30 (o Vs equivalente in caso di substrato sismico a scarsa profondità) nonché di frequenza e ampiezza dei picchi del contrasto H/V sufficientemente coerenti tra loro: tali zone, definite Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) rappresentano l'elemento di sintesi dello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 e la base di partenza dello studio di Livello 2.

Per la redazione delle Carte di Microzonazione Sismica di Livello 2 sono stati utilizzati gli specifici abachi messi a punto dalla Regione Toscana da cui, nota la profondità del substrato sismico, il valore di Vs30 (o VSequivalente) e la frequenza caratteristica del sito, è possibile ricavare i Fattori di Amplificazione.

Tale operazione è stata condotta per gli intervalli di periodo 0.1-0.5 s, 0.4-0,8 s e 0,7-1,1 s, come richiesto dagli "Standard di Archiviazione e Rappresentazione informatica": tali elaborati rappresentano le cartografie di sintesi degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2.

Nei capitoli seguenti sono descritte con maggiore dettaglio le diverse elaborazioni che hanno condotto alla redazione delle cartografie, precisando le scelte effettuate nelle varie situazioni.

8 - **ELABORATI CARTOGRAFICI**

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

- Livello 1
 - Carta delle Indagini (*tavola 02*);
 - Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (*tavola 03*) corredata da una tavola delle sezioni geolitologiche (*tavola 04*);
 - Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (*tavola 05*) corredata da una tavola delle colonne litotratigrafiche (o colonne MOPS, *tavola 06*);
 - Carta delle Microzonazione sismica di livello 2 (*tavola 07*), relativa all'intervallo 0,1-0,5 s (FA0105);
 - Carta delle Microzonazione sismica di livello 2 (*tavola 08*), relativa all'intervallo 0,4-0,8 s (FA0408);
 - Carta delle Microzonazione sismica di livello 2 (*tavola 09*), relativa all'intervallo 0,7-1,1 s (FA0711).

- Livello 2
 - Carta delle Indagini (*tavola 02*);
 - Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (*tavola 03*) corredata da una tavola delle sezioni geolitologiche (*tavola 04*);
 - Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (*tavola 05*) corredata da una tavola delle colonne litotratigrafiche (o colonne MOPS, *tavola 06*);
 - Carta delle Microzonazione sismica di livello 2 (*tavola 07*), relativa all'intervallo 0,1-0,5 s (FA0105);
 - Carta delle Microzonazione sismica di livello 2 (*tavola 08*), relativa all'intervallo 0,4-0,8 s (FA0408);
 - Carta delle Microzonazione sismica di livello 2 (*tavola 09*), relativa all'intervallo 0,7-1,1 s (FA0711).

Carta delle frequenze fondamentali (*tavola 10*) secondo le specifiche tecniche regionali di microzonazione sismica.

8.1 - Carta delle indagini

Il database geognostico e geofisico descritto nel Capitolo 4 è stato rappresentato graficamente nella tavola dei dati di base (Tavola 03) seguendo le direttive degli Standard di Microzonazione 4.2.

La lettura della carta dei dati di base è possibile soltanto in sinergia con la lettura del database formato *.mdb*, che permette di collegare l'etichetta del punto in carta (che di fatto è il codice "Id_spu") con la relativa pagina dei pdf dei report delle indagini. Detti report sono archiviati nella cartella: Montelupo_Fiorentino_S42\Indagini\Documenti.

8.2 - Carta geologico-tecnica

La carta geologico tecnica è stata elaborata a partire dalla carta geologica riclassificata secondo le indicazioni degli ICMS e degli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica.

Relativamente ai fondovalle principali, in cui sono presenti la maggior parte delle indagini geognostiche, la granulometria dei sedimenti affioranti e subaffioranti è stata valutata analizzando le stratigrafie dei sondaggi. Si è potuto notare come la granulometria media di questi ultimi tenda a farsi più fine allontanandosi dalla stretta della confluenza col Torrente Pesa, dai fronti collinari e dall'alveo dell'Arno.

La scelta dei litotipi rientranti nel "substrato geologico" è stata guidata dalla constatazione della presenza, sulla parte orientale del comune, di un dominio roccioso che si insinua sia sotto i sedimenti alluvionali recenti sia sotto i sedimenti pliopleistocenici di pertinenza collinare. E' importante notare che, dal punto di vista della velocità delle onde S, alcune fasce collinari (località Bobolino) presentano talvolta, e in maniera discontinua, valori di Vs superiori a 800m/s entro i primi 30m.

La tabella seguente riporta lo schema delle correlazioni effettuate per le coperture:

<i>Tipologia dell'Unità</i> "Tipo_gt"	<i>Formazione</i>	<i>Stato di addensamento o di consistenza</i> "Stato"	<i>Ambiente genetico e deposizionale</i> "Gen"
GC	Sedimenti alluvionali prossimi al corso d'acqua	14	es
GM		14	es
SC		14	es
GM	Sedimenti alluvionali distali	14	pi
SC		14	pi
ML		25	pi

<i>Tipologia dell'Unità</i> "Tipo_gt"	<i>Formazione</i>	<i>Stato di addensamento o di consistenza</i> "Stato"	<i>Ambiente genetico e deposizionale</i> "Gen"
GC	Sedimenti alluvionali antichi	13	pi
SC		13	tf - pi
RI	Rilevati antropici significativi	-	-
SW	PLIb [miscela di sabbie e ghiaie]	12	tm
GM	VILa [ghiaie limose]	11	dl
GM	VILe [ghiaie limose]	11	dl
ML	VILh [limi inorganici, sabbie fini limose o argillose]	22	tm

Le sigle delle colonne "Tipo_gt", "Stato" e "Gen" fanno riferimento a quanto prescritto negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica.

La tabella seguente riporta lo schema delle correlazioni effettuate per il substrato geologico:

<i>Tipologia dell'Unità</i> "Tipo_gt"	<i>Formazione/i</i>
SFCOS	SIL [Argilliti stratificate alterate]
SFLP	MACa [Olistostromi]
SFLPS	MAC, MACb, MACc [alternanze di litotipi; facies flyschoidi tipiche]

Le sezioni geologico tecniche mostrano con ogni probabilità la presenza di argille azzurre (FAA) nel sottosuolo alluvionale occidentale del comune (si vedano le sezioni geologico tecniche). Tale formazione, che rappresenta un elemento geologico di riferimento nella successione stratigrafica neogenica toscana, è stata ricondotta alla tipologia "IS – Incoerente o poco consolidato di substrato", in quanto caratterizzata da argille sovraconsolidate di origine marina, molto omogenee ed estremamente potenti.

Ai fini del presente studio sono state trascurate alcune coperture eluvio colluviali di spessore inferiore a 3 m o comunque di carattere distale e quindi confondibili con i sedimenti alluvionali ai quali si intercalano. Detti depositi si ritrovano per lo più nei fondovalli a sudovest (Sammontana) ed a nord est di Bobolino (località Graziani e Podere del Cartolare). In misura minore si ritrovano nei fondovalli ad est di Samminiatello.

8.3 - Carta delle frequenze fondamentali

Nel rispetto delle specifiche tecniche regionali di Microzonazione Sismica (aggiornamento 08/09/2021) è stata realizzata la carta delle frequenze fondamentali, nella quale sono stati rappresentati i risultati di tutte le indagini HVSR a disposizione nel comune di Montelupo Fiorentino.

Ogni simbolo della carta rappresenta uno specifico picco dei grafici H/V delle indagini in sismica passiva a stazione singola: nel caso in cui una singola indagine abbia evidenziato 2 o più picchi, questi sono stati rappresentati entrambi in carta, sotto forma di 2 o più punti affiancati.

La legenda utilizzata è conforme all'Appendice 3 delle Specifiche tecniche regionali di microzonazione sismica.

8.4 - Sezioni geologico tecniche

Nell'ambito del presente lavoro sono state realizzate 2 sezioni geolitologiche osservabili nella tavola 04: esse caratterizzano gli assetti strutturali e stratigrafici dell'area in corrispondenza degli insediamenti urbani principali. Le tracce sono riportate in tavola 03.

Alle sezioni è stata attribuita una colorazione conforme agli standard della carta geologico tecnica. Sono state realizzate con una esagerazione verticale di 5X al fine di esaltare le differenze di quota della topografia e le alternanze litologiche.

Nella legenda interna al disegno ciascuna delle formazioni geologiche trova il suo corrispettivo litotecnico.

Come osservabile dalle sezioni il territorio presenta strati a giacitura sub orizzontale leggermente inclinati verso est. I sedimenti alluvionali più recenti giacciono in onlap sugli strati plio-pleistocenici di pertinenza collinare, i quali appaiono prevalentemente granulari, sebbene verso nord gli interstrati pelitici sembrano predominare.

La sezione B-B' è stata dotata anche di una simbologia (retino rigato) che rappresenta l'elevata consistenza dei litotipi collinari nel sottosuolo di Bobolino, che possono arrivare anche a valori di $V_s > 800 \text{ m/s}$ stando ai dati geofisici a disposizione.

Per la definizione dei passaggi potenzialmente soggetti ad amplificazione stratigrafica si rimanda alle colonne stratigrafiche tipiche delle MOPS.

8.4.1 - Verifica di congruenza tra le sezioni geologico-tecniche e le risultanze delle indagini

I risultati delle indagini sismiche (HVSr) condotte nell'ambito dello Studio di Livello 2 hanno fornito indicazioni in linea con il modello geologico-tecnico definito in tav. 04 pur dovendo prendere atto di quanto segue:

- relativamente alla parte collinare, la già citata elevata velocità dei litotipi al di sotto dei 10-15m dal p.c. presenta un andamento discontinuo ed è ricollegabile alla presenza di lenti di ghiaie e ciottoli di consistenza lateralmente variabile. Proprio questa caratteristica genera fenomenologie di amplificazione sismica sito-dipendenti difficilmente prevedibili a causa dell'effetto delle lenti ghiaiose più o meno potenti, più o meno consolidate. E' questo il caso

dell'abitato di Bobolino, rappresentato in sez. B, la cui metà occidentale è soggetta a fenomeni di amplificazione che tuttavia non sono evidenti sulla parte sud orientale.

- La sezione A-A', in accordo con le indagini di superficie (es. L18) mostra un substrato caratterizzato da predominanza di litotipi prevalentemente coesivi, caratterizzati da valori di Vs nettamente inferiori rispetto alle formazioni coeve della sezione B-B'. L'andamento topografico leggermente rialzato dell'area di Ambrogiana e le caratteristiche di consistenza e colorazione dei depositi campionati a breve profondità in quest'area, concorrono comunque a far dedurre come i depositi di pertinenza collinare siano raggiungibili a breve profondità (P105, P33, P110), al di sotto di una coltre sottile di alluvioni recenti a giacitura apparentemente terrazzata (possibile sovralluvionamento).
- Entrambe le sezioni riportano, in linea con la carta geologica, una discontinuità lungo l'asse della valle del Pesa (possibile faglia diretta), che contribuisce, a scala di bacino, ad assecondare i movimenti differenziali che hanno portato alla sedimentazione copiosa in età sin e post pliocenica delle formazioni geologiche oggi affioranti nelle colline.
- Fenomeni di amplificazione sismica sono osservati nell'area di confluenza del Torrente Pesa al Fiume Arno, in accordo con le geometrie di paleovalle sepolta schematicamente rappresentate in sezione A-A' (area compresa tra le indagini P110 e P6).
- Le sezioni rappresentano uno dei possibili modelli di sottosuolo su tanti altri possibili e comunque corretti. Le sezioni sono normalmente più affidabili nei contesti urbani, dove si collocano la maggior parte dei dati geognostici, i cui limiti sono stati disegnati in apice alle sezioni. Anche le verticali di indagine, riportate sulle sezioni laddove disponibili, danno modo di valutare l'effettiva attendibilità delle sezioni in profondità.

Le sezioni realizzate hanno contribuito a strutturare le colonne stratigrafiche tipiche delle zone MOPS che verranno descritte nei prossimi capitoli.

8.5 - Carta dalle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

8.5.1 - Quadro conoscitivo normativo nazionale e regionale

Il Regolamento attuativo dell'art. 104 della L.R. 65/2014, rappresentato dal D.P.G.R. 5/R/2020, prevede che in fase di pianificazione urbanistica sia condotta la caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo, da individuare in relazione ai risultati delle indagini disponibili sul territorio, sia di tipo sismico che geognostico.

In particolare viene chiesto di realizzare la carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) secondo le specifiche tecniche definite negli ICMS (indirizzi e criteri per la microzonazione sismica) redatte dal Dipartimento della Protezione Civile. Per gli approfondimenti successivi (microzonazione di livello 2 e 3) è necessario produrre, a partire dalla carta MOPS e di ulteriori misure strumentali, le carte di microzonazione sismica in cui si definisce l'entità dell'amplificazione sismica attesa localmente. La Giunta Regionale Toscana ha redatto una specifica normativa

(Del.GRT.n.261/2011, Del.GRT.n.741/2012, Del. GRT. n.971/2013 e Del. GRT 144/2015) per definire la metodologia da utilizzare, al fine di valutare gli effetti locali e di sito in relazione all'obiettivo della riduzione del rischio sismico.

Per il Comune di Montelupo, non essendo presenti studi di microzonazione pregressi, sono stati effettuati degli approfondimenti nell'ambito del presente lavoro, producendo elaborati di microzonazione sismica di livello 1 e 2 secondo gli standard di Rappresentazione ed Archiviazione informatica Versione 4.2.

8.5.2 - Procedura di realizzazione della carta MOPS

Gli studi di microzonazione sismica devono individuare le zone in cui le condizioni locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni, per le infrastrutture e per l'ambiente.

In relazione ai diversi contesti geologico-tecnici, della pericolosità sismica di base, ed in funzione dei diversi obiettivi degli studi di MS, sono individuati tre livelli di approfondimento con complessità ed impegno crescente.

In sede di pianificazione territoriale viene richiesto di eseguire almeno gli studi di livello 1, che sono propedeutici ai successivi, e che consistono in una raccolta organica e ragionata dei dati di natura geologica, geofisica e geotecnica al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico.

Gli studi di Livello 1 vengono concretizzati nella Carta delle "Microzone Omogenee in prospettiva sismica" (MOPS) la quale individua le microzone in cui è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica.

Nello specifico vengono distinte le seguenti situazioni:

- zone nelle quali non sono previste significative modifiche dello scuotimento che l'evento sismico causerebbe su terreni rigidi e pianeggianti;
- zone nelle quali lo scuotimento è amplificato per stratigrafia, topografia e per morfologie sepolte;
- zone suscettibili di frane in terreni e in roccia;
- zone suscettibili di liquefazioni e/o addensamento;
- zone interessate da faglie attive e capaci e/o strutture tettoniche;
- zone interessate da cedimenti diffusi e differenziali;
- zone di contatto tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche significativamente differenti

Nella stessa carta MOPS sono state ubicate le misure HVSR (misure in sismica passiva a stazione singola) di quadro conoscitivo unitamente a quelle raccolte a supporto della presente indagine; presenta quindi anche le informazioni relative alle frequenze fondamentali.

La delimitazione delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) è stata effettuata partendo dalle informazioni ricavate dalla banca dati stratigrafica raccolta nell'ambito del presente studio. Le cartografie utilizzate come punto di partenza sono rappresentate dalla Cartografia Tecnica Regionale (CTR), la cartografia geologica regionale, la Carta geologico tecnica (tavola 03), e le Sezioni litotecniche (tavola 04).

La Carta delle MOPS, come pure la Carta geologico tecnica e le altre del presente studio, non è estesa all'intera area comunale ma circoscritta alle aree di studio rappresentate dal territorio urbanizzato e dalle altre aree significative immediatamente adiacenti ("aree MOPS").

In sintesi le varie fasi di realizzazione della cartografia in oggetto si sono articolate come segue:

- delimitazione delle aree all'interno delle quali definire la cartografia (aree MOPS);
- delimitazione delle zone MOPS, caratterizzate dalla medesima successione stratigrafica di massima, e realizzazione delle rispettive "colonne stratigrafiche tipo", coerenti con le sezioni geolitologiche;

Ai sensi degli ICMS, la legenda della carta MOPS presenta le seguenti classi:

- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
- zone di attenzione per instabilità

Considerato l'assetto geologico della zona, non sono state individuate zone stabili in quanto anche il substrato geologico roccioso, rappresentato dai litotipi delle unità toscane e liguri, presenta tendenzialmente fenomeni di amplificazione stratigrafica connessi alla presenza di una copertura di alterazione sempre superiore a 3m. Secondo la classificazione degli standard di MS queste litologie assumono la numerazione "Tipo_z=2099" e rientrano nel gruppo delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.

Tra le morfologie sepolte è importante inoltre segnalare quelle rappresentate nella carta MOPS nell'area di Camaioni (vedasi forme lineari). Sulla base delle morfologie emerse la gola della Gonfolina potrebbe infatti rientrare nella fattispecie di Valle Stretta sepolta di cui al capitolo 1.1.2 degli standard di MS ($C \geq 0,25$ con $C=H/L$ con H profondità della valle e L semi larghezza della stessa).

8.5.2.1 - Zone Stabili suscettibili di amplificazione locale

A partire dalla Carta geologico tecnica, dopo aver analizzato le indagini geognostiche presenti in banca dati, è stato possibile definire 28 microzone omogenee in prospettiva sismica riconducibili alle aree in cui affiorano le coperture geologiche e 3 microzone (tutte caratterizzate dal suffisso "Tipo_z=2099") riferibili alle aree in cui affiora il substrato geologico pre-neogenico alterato.

Le colonne stratigrafiche tipo, osservabili in Tavola 06, mostrano la successione di terreni semplificata tipica di ogni zona, rappresentativa di una vasta area e quindi, per sua natura, non rappresentativa di un sito specifico.

Ai sensi degli standard di rappresentazione 4.2 la legenda (etichette) delle colonne stratigrafiche è conforme a quella della carta geologico-tecnica. Per ulteriori dettagli si rimanda ai capitoli seguenti.

8.5.2.2 - Zone di attenzione per instabilità

Nelle aree MOPS sono state individuate tre tipologie di zone di instabilità:

Zone di attenzione per Liquefazione ZAlq

Nella carta MOPS sono state individuate le aree con caratteristiche litotecniche potenzialmente compatibili con i fenomeni di liquefazione dinamica del terreno. Dette aree sono state verificate attraverso analisi di liquefazione semplificate, condotte a partire dai dati di prove penetrometriche CPT a disposizione. Tali verifiche sono state condotte utilizzando due distinti metodi (Metodi Robertson e Wride modificato [2014] e Idriss Boulanger [2014]) individuando il Potenziale di Liquefazione per il sito indagato.

Ai sensi del cap. 1.1.3 degli standard di microzonazione sismica 4.2 per la definizione delle Zone di attenzione per liquefazione ZAlq si è fatto riferimento alle specifiche delle *Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni*.

Per maggiori dettagli si rimanda allo specifico capitolo.

Zone di attenzione per instabilità di versante ZAfr

Nella carta MOPS sono state rappresentate le frane suddivise per tipologia e sulla base della successione litologica sottostante. Le zone di attenzione per instabilità di versante si sviluppano sui fianchi dei rilievi collinari, con forme e fenomenologie diverse in ragione della natura dei terreni affioranti e degli aspetti geomorfologici del territorio.

Ai sensi del cap. 1.1.3 degli standard di microzonazione sismica 4.2 per la definizione delle Zone di attenzione per instabilità di versante ZAfr si è fatto riferimento alle specifiche delle *Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte*.

Sono stati riportati i fenomeni di dissesto dei versanti, attivi e quiescenti, acquisiti dal quadro conoscitivo del Piano Strutturale, che ricadono nelle aree di studio, comprensive dell'area di influenza (o area di evoluzione) ai sensi delle linee guida relative ai fenomeni franosi sismoindotti. Le varie tipologie di dissesto sono state ricondotte alla più rappresentativa classe degli standard di microzonazione sismica.

8.5.2.3 - Verifica formale di congruenza tra le sezioni geologico-tecniche e la cartografia MOPS

La sintesi rappresentata nella Carta delle MOPS discende dalle Sezioni Geologiche tracciate in prossimità del capoluogo, su cui è concentrato il maggior numero di informazioni.

Le sezioni geologico tecniche sono conformi, per la parte affiorante, alla carta geologico tecnica. La cartografia MOPS scaturisce dalla definizione di colonne stratigrafiche tipiche delle varie aree, a sua volta definite a partire dalle sezioni stesse, dai dati geognostici e delle misure HVSR. Alla luce di ciò la cartografia MOPS è da considerarsi conforme alle sezioni.

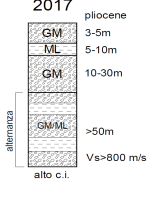
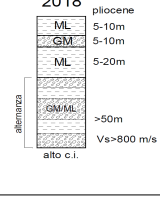
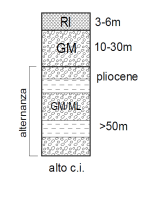
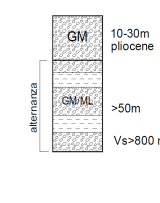
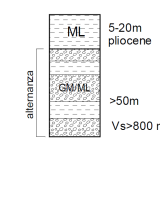
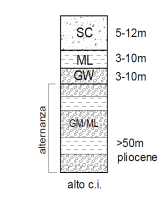
8.5.3 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale

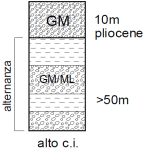
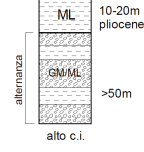
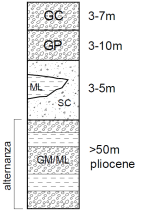
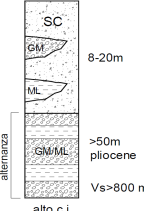
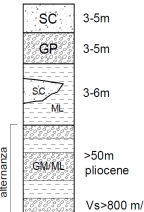
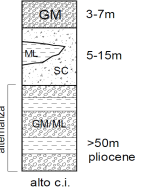
Di seguito si procede alla descrizione delle singole microzone osservabili nella carta MOPS (tavola 05) facendo riferimento anche alla loro risposta in frequenza ed alle colonne stratigrafiche di cui alla tavola 06. Si riporta anche un riferimento alle considerazioni che hanno portato alla determinazione dello specifico ambito frequenza-velocità dal quale è scaturita la determinazione dei fattori di amplificazione sismica.

Nella tabella seguente sono sintetizzati i dati che hanno condotto alla definizione delle singole microzone, secondo i quali sono poi stati definiti i fattori di amplificazione sismica (FA). Maggiori dettagli rispetto alla scelta dell'abaco utilizzato per la determinazione del fattore di amplificazione sismica saranno esposti nel capitolo 8.6 relativo alle cartografie di MS2.

CONTESTO DI SUBSTRATO GEOLOGICO E AREE CONTERMINI							
ZONE	DESCRIZIONE GENERALE	CONSIDERAZIONI INERENTI LE VALUTAZIONI DI FREQUENZA-VELOCITÀ SISMICA	Misure di frequenza	Misure di Vs	AMBITO ABACO UTILIZZATO (ambiti Vs cop. e F0)	FA0105	ESTRATTI GRAFICI
2001	Contesto fluvio-alluvionale della strettoia della Gonfolina, che dal punto di vista geometrico è riconducibile a Valle sepolta Stretta (C>0,25). I sedimenti di copertura sono prevalentemente sabbiosi con lenti ghiaiose, con spessori complessivi presunti compresi tra 10 e 50m. Il substrato roccioso sottostante si ritiene sia prevalentemente argillitico.	Sulla base dell'andamento della topografia emersa si presume che, nel talweg della incisione valliva, il substrato sismico sia posto oltre i -30m di profondità.	Nessuna (analoga a 2002)	Nessuna (analoga a 2002)	<u>Abaco > 30m</u> Vs=300m/s f0 >8hz	1,8	<p>2001</p>
2002		Sulla base dell'andamento della topografia emersa si presume che, nel talweg della incisione valliva, il substrato sismico sia posto entro i -30m di profondità. Gli alti valori di F0 sono probabilmente generati da contrasti endo-coperturali.	P52= 19,7Hz A4,4 P53= 12,2Hz A3,3	L24=355m/s (Vs equival.)	<u>Abaco < 30m</u> Vs=300m/s f0 >8hz	1,6	<p>2002</p>
2099	Rappresenta le aree in cui affiora il substrato geologico alterato. È stata distinta in tre sottotipologie in base al tipo di substrato subaffiorante. Le tre tipologie sono: tipo 1 per SFCOS affiorante, tipo 2 per SFLPS affiorante, tipo 3 per SFLP affiorante (area limitata). In tutti i casi la frangia di alterazione regolitica ha spessore tendenzialmente superiore ai 3m (5-15m).	Le tre tipologie stratigrafiche generano picchi di amplificazione differenti dipendenti dal grado di alterazione del tipo di litotipo e localmente dallo spessore della stessa.	Tipo 1 P51= 19,7Hz A4,4 Tipo 2 P50= 3,2Hz A3,5 Tipo 3 nessuna	L23 =271m/s (Vs equival.)	<u>Abaco < 30m</u> per tutti i tipi. Tipo 1: Vs=300m/s f0 >8hz Tipo 2: Vs=300m/s f0 =3,5hz Tipo 3: Vs=300m/s f0=75°perc.	Tipo 1 1,6 Tipo 2 2,0 Tipo 3 1,9	<p>Tipo 1</p> <p>Tipo 2</p> <p>Tipo 3</p>
2019	Rappresentano il contesto in cui le coperture sovraconsolidate collinari poggiano direttamente sul substrato roccioso. La 2019 afferisce alle coperture granulari (10-20m circa) su LPS. La 2020 alle coperture prevalentemente coesive (ML 5-20m circa) su LPS.	Le valutazioni sulle velocità della copertura sono scaturite da una analisi delle stesse coperture in aree prossime. Viste le limitate estensioni areali delle zone, e i valori cautelativi di FA derivanti dall'uso del 75° percentile non si è ritenuto di dover effettuare un approfondimento di indagine.	nessuna	nessuna	<u>Abaco < 30m</u> Vs=300m/s f0=75°perc.	1,9	<p>2019</p>

CONTESTO DI SUBSTRATO GEOLOGICO E AREE CONTERMINI							
2020			nessuna	nessuna	Abaco < 30m Vs=300m/s f0=75° perc.	1,9	<p>2020</p>
2028	Equivalente alla 2002 ma con terreni di riporto in superficie (3-4m).	Viste le limitate differenze stratigrafiche con la 2002 non si ritiene sussistano differenze significative rispetto a quest'ultima nella risposta sismica.	Nessuna (analoga a 2002)	Nessuna (analoga a 2002)	Abaco < 30m Vs=300m/s f0 assunto >8hz	1,6	<p>2028</p>

CONTESTO DISTANTE DAL SUBSTRATO GEOLOGICO							
ZONE	DESCRIZIONE GENERALE	CONSIDERAZIONI INERENTI LE VALUTAZIONI DI FREQUENZA-VELOCITÀ SISMICA	Misure di frequenza	Misure di Vs	AMBITO ABACO UTILIZZATO (ambiti Vs cop. e F0)	FA0105	ESTRATTI GRAFICI
2017	Rappresentano la parte emersa delle alternanze di coperture sovraconsolidate, talvolta molto consistenti, di età villafranchiana, affioranti a sud e sud est dell'abitato di Montelupo. In profondità è difficoltoso il discernimento di specifici strati ghiaiosi. La colonna 2017 si riferisce alle aree in cui affiorano terreni prevalentemente ghiaiosi (GM, ~ 10-30m), la 2018 alle aree in cui affiorano terreni prevalentemente coesivi sovraconsolidati (ML, ~5-20m).	Come rappresentato graficamente nelle sezioni litostratigrafiche, le formazioni affioranti presentano in profondità valori di Vs molto elevati, spesso superiori a 800m/s. Alla luce di ciò, anche in favore di cautela, si è scelto di utilizzare l'abaco relativo al substrato sismico <30m. L'unica masw disponibile ha registrato valori di Vseq>500m/s. In ragione della presenza di alcuni picchi di frequenza intorno a 8-12Hz nell'area di Sammontana, si è scelto di adottare f0>8Hz.	P73= 12Hz A2,8 P74= 8,5Hz A2,5 F12Hz A2,6	L22=415m/s (Vs equival.)	Abaco < 30m Vs=500m/s f0=>8Hz	1,3	
2018	La colonna della zona 2003 è analoga a quella della zona 2017 con l'aggiunta in superficie di un rilevante spessore di riporto (sbarramento arginale, RI ~ 3-6m).		P72= 8,5Hz A2,7	Nessuna (analoga a 2017)	Abaco < 30m Vs=500m/s f0=>8Hz	1,3	
2003		Visto il contesto circostante con bassi valori di FA si è cautelativamente fatto riferimento al valore di f0 relativo al 75° percentile. In ragione del rilevante spessore di riporto si stima cautelativamente una Vseq<400m/s..	nessuna	nessuna	Abaco < 30m Vs=300m/s f0=75° percentile	1,9	
2014	Rappresentano il medesimo contesto geologico delle zone 2017 e 2018. Minime differenze sono individuabili in superficie e nella consistenza delle alternanze di GM-ML tali da giustificare l'assenza di picchi di amplificazione significativi.	Anche in questo caso, come per le zone 2017 e 2018 il substrato sismico è individuabile entro i 30m. Si registrano tuttavia valori di Vseq inferiori a 400m/s e l'assenza di picchi di amplificazione significativi.	P58= 2,8Hz A2,3	L16=264m/s (Vs30)	Abaco > 30m (cautelativo) Vs=300m/s f0=non significativo, assunto <1Hz	1,1	
2029			Nessuna (analoga a 2014)	Nessuna (analoga a 2014)	Abaco > 30m (cautelativo) Vs=300m/s f0=non significativo, assunto <1Hz	1,1	
2026	Rappresenta l'area alluvionale terrazzata della sommità collinare di Bobolino. E' caratterizzata da sedimenti prevalentemente sabbiosi affioranti (SC) di vario spessore sovrapposti ad un sottile strato di terreni coesivi sovraconsolidati (ML), a sua volta sovrapposti ad alterazione di strati di ghiaie e coesivi villafranchiani.	La zona 2026 è caratterizzata da picchi di amplificazione rilevanti (>3) alle frequenze comprese tra 2,5 e 3hz probabilmente dovute alla presenza di una lente ghiaiosa (SW) superficiale che favorisce il contrasto di VS. I valori di Vs delle coperture superficiali sono generalmente comprese tra 300 e 400m/s. La Vs raggiunge valori >800m/s entro i 30m.	P60= 2,5Hz A3,4 P62= 3Hz A5 P61= 2,3Hz A2,4	L21=292m/s (Vs equival.)	Abaco < 30m Vs=300m/s f0=2,5Hz	1,8	

CONTESTO DISTANTE DAL SUBSTRATO GEOLOGICO							
2015	Rappresentano il contesto collinare, nella parte sommitale, in località Pulica, a sud di Montelupo. Sono costituite da sedimenti coesivi sovraconsolidati (ML, ~10-20m, zona 2016) o granulari (GM, ~10m, zona 2015) sovrapposti alle alternanze granulari e coesive di età villafranchiana.	In entrambi i casi i valori di Vs sono piuttosto elevati (400-600m/s) in prossimità della superficie. In profondità i valori di Vs si avvicinano a 800m/s. I valori di f0 ricadono nell'ambito dei 3,5Hz.	P67= 3Hz A3,2	L6=596m/s (Vs30)	Abaco > 30m Vs=500m/s f0=3,5Hz	1,6	2015 
2016			P69= 3,5Hz A4,2 P70= 3,5Hz A3,5	Nessuna (analoga a 2015)		1,6	2016 
2004	Rappresentano il fondovalle del torrente Pesa nella fascia sudoccidentale. Sono costituite dai sedimenti prevalentemente granulari alluvionali recenti sovrapposti a terreni collinari molto consistenti. La colonna 2004 è dominata da ghiaie superficiali pulite in profondità (GC 3-7m, GP 3-10m), probabilmente causa di fenomeni di amplificazione a frequenze medio alte. La colonna 2007 presenta lenti di ghiaie apparentemente meno importanti. La profondità del villafranchiano è probabilmente compresa tra i 10 e i 20m.	In entrambi i casi le ricostruzioni effettuate sulla base della sismica a rifrazione prossima alle zone in oggetto (L26) conduce a individuare valori di VS>800m/s entro i 30m dal p.c.. Le due zone presentano diversi valori di f0 in ragione probabilmente, come osservabile dal confronto delle colonne, dalla presenza di uno strato di ghiaie pulite (GP) consistenti a breve profondità nella zona 2004. Non si escludono fenomeni di inversione di velocità dovute alla presenza delle lenti ghiaiose.	P65= 6,9Hz A3 P66= 6,9Hz A=2,7	Nessuna (analoga a 2009)	Abaco < 30m Vs=500m/s f0=6,5Hz	1,4	2004 
2005			P59= 3Hz A2,9 P64= 3,4Hz A3,5	Nessuna (analoga a 2009)	Abaco < 30m Vs=500m/s f0=3,5Hz	1,6	2005 
2009	Rappresenta il fondovalle del torrente Pesa nella fascia mediana e nordorientale. La colonna mostra terreni prevalentemente sabbiosi SC in superficie con lenti di ghiaie a esigua profondità (GP). Questi sono seguiti in profondità da terreni a maggior componente coesiva (ML, 3-6m) seguiti dal tetto del contesto collinare villafranchiano.	Sulla base della sismica a rifrazione L26 si deducono valori di VS>800m/s entro i 30m dal p.c.. I valori di frequenza di risonanza f0 ad alte frequenze sono correlabili alla presenza di ghiaie a profondità esigua e variabile.	P64= 8Hz A4	L26=450m/s (Vs equival.) L1=357m/s (Vs equival.)	Abaco < 30m Vs=500m/s f0=>8Hz	1,3	2009 
2013	Rappresenta l'area di sedimentazione pedecollinare in località Maremmana, a sudovest dell'area comunale indagata. E' caratterizzata da 3-7m di terreni ghiaiosi lateralmente eterogenei seguiti da terreni prevalentemente sabbiosi per 5-15m, seguiti a loro volta dal substrato collinare pliocenico.	La zona è caratterizzata da un contrasto di impedenza che genera un picco nel grafico H/V intorno ai 3Hz, probabilmente generato dal contatto della copertura recente col substrato collinare consistente. Le velocità della copertura è deducibile con buon margine di certezza dai dati al contorno in circa 200-400m/s.	P77= 2,9Hz A3 P78= 2,8Hz A3,6	Nessuna (analoga a L24 comune Empoli)	Abaco > 30m Vs=300m/s f0=2,5Hz	1,7	2013 

CONTESTO DISTANTE DAL SUBSTRATO GEOLOGICO							
2006	Le colonne 2006 e 2007 rappresentano la parte orientale del fondovalle alluvionale di Montelupo. Differiscono tra loro per minimi particolari, sostanzialmente per il fatto che la 2007, prossima alla confluenza col torrente Pesa, presenta più frequentemente lenti ghiaiose (GM) lateralmente poco continue. Complessivamente il corpo alluvionale è granulometricamente molto variabile, probabilmente prevalentemente granulare (SC), ed ha uno spessore massimo di 25m. Il basamento roccioso è stato rappresentato nella colonna 2006 (parte orientale delle alluvioni) a profondità crescenti verso est, comunque superiori a 30m. La zona 2027 è equivalente alla 2006 ma con terreni di riporto in superficie (3-4m). La zona 2025 è equivalente alla 2007 ma con terreni di riporto in superficie (3-4m).	I valori di Vs della copertura si attestano nell'ambito 200-400m/s sulla base delle indagini in sito. Non sono stati registrati picchi di amplificazione significativi (cioè con A>3).	P56= 6,2Hz A2,8 P54= 6Hz A2,8	L25=337m/s (Vseq=vs30)	Abaco > 30m Vs=300m/s f0=6,5Hz	2	<p>2006 SC 10-25m GM/ML 10 - 100m LPS altoc. i.</p>
2007		I valori di Vs della copertura si attestano nell'ambito 200-400m/s sulla base delle indagini in sito. Si registrano picchi con f0=3Hz probabilmente da ricollegarsi alla presenza di lenti ghiaiose.	P57= 3,3Hz A4,2 P55= 3,3Hz A4,4	L17=227m/s (Vs30) L15=233m/s (Vs30) L2=375m/s (Vs30)	Abaco > 30m Vs=300m/s f0=3,5Hz	1,8	<p>2007 GM 10-25m SC >50m GM/ML altoc. i.</p>
2027		Viste le limitate differenze stratigrafiche con la 2006 non si ritiene sussistano differenze significative rispetto a quest'ultima nella risposta sismica.	Nessuna (analoga a 2006)	Nessuna (analoga a 2006)	Abaco > 30m Vs=300m/s f0=assunto <1Hz	2	<p>2027 RI 3-4m SC 10-25m GM/ML 10 - 100m LPS substrato sismico</p>
2025		Viste le limitate differenze stratigrafiche con la 2007 non si ritiene sussistano differenze significative rispetto a quest'ultima nella risposta sismica.	Nessuna (analoga a 2007)	Nessuna (analoga a 2007)	Abaco > 30m Vs=300m/s f0=assunto 3,5Hz	1,8	<p>2025 RI 3-4m GM 10-25m SC >50m GM/ML altoc. i.</p>
2021	Equivalente alla 2006 ma con ghiaie di alveo in superficie per spessori stimati tra 3 e 10m.	Data l'esigua estensione dell'area, l'inaccessibilità dei luoghi (alveo fluviale) e tenuto conto degli studi effettuati nel comune adiacente (Capraia e Limite), si è scelto cautelativamente di adottare valori di f0 e Vs equivalenti zona adiacente.	Nessuna	Nessuna (analoga a 2006)	Abaco > 30m Vs=300m/s f0=6,5Hz	2	<p>2021 GM 3-10m SC 10-20m GM/ML 10 - 100m LPS substrato sismico altoc. i.</p>
2008	La zona 2008 afferisce alla zona centrale di Montelupo che è topograficamente leggermente rialzata rispetto ai fondovalle circostanti, come visibile nella relativa sezione geolitologica (Sez A). La colonna mostra in superficie sedimenti granulometricamente variabili, prevalentemente granulari (SC), per 5-10m, seguiti da uno strato di ghiaie (GM, 5m) e poi da terreni prevalentemente coesivi sovraconsolidati (ML). E' possibile che il contesto collinare sia raggiungibile già entro i 10m dal p.c. e che rappresenti una paleocultura sepolta erosa ad est dal Pesa e ad ovest dalle fluttuazioni dell'Arno. Altra paleocultura simile è stata individuata nella zona 2011 alla quale si rimanda. La zona 2024 è equivalente alla 2008 con una limitata copertura di riporto.	L'assenza di un picco significativo segna una differenza rispetto alla zona 2007 adiacente. Valori di Vs30 entro i 400m/s.	P106= 4,1Hz A1,8 P83= 53Hz A2,7 P87= 22Hz A2	L5=372m/s (Vs30) L18=194m/s (Vs30) P110=443m/s (Vs30) P112=369m/s (Vs30)	Abaco > 30m Vs=300m/s f0=non significativo, assunto <1Hz	1,1	<p>2008 SC 5-10m GM 5m ML 10-16m GM/ML >50m altoc. i.</p>
2024		Viste le limitate differenze stratigrafiche con la 2008 si ritiene che la risposta sismica sia analoga.	Nessuna (analoga a 2008)	Nessuna (analoga a 2008)	Abaco > 30m Vs=300m/s f0=assunto <1Hz	1,1	<p>2024 RI 3-4m SC 5-10m GM 5m ML 10-15m GM/ML >50m altoc. i.</p>

CONTESTO DISTANTE DAL SUBSTRATO GEOLOGICO							
2022	Caratterizzata da ghiaie affioranti (GM) seguite da terreni alluvionali prevalentemente granulari (SC, 10-20m), seguita a sua volta dal substrato collinare (alternanza di ghiaie e limi).	In analogia con le misure HVSR immediatamente a nord del comune, e in analogia con lo studio MS2 del comune a nord, la frequenza f_0 è riconducibile a 3,5Hz. La Vs30, in analogia con le prove adiacenti, è sicuramente compresa tra 200 e 400m/s.	Nessuna (analoga a P94 e P63 comune di Capraia e Limite)	Nessuna (analoga a 2008 e 2007)	Abaco > 30m Vs=300m/s $f_0=3,5\text{Hz}$	1,8	<p>2022</p>
2010	La zona 2010 rappresenta le aree alluvionali prevalentemente coesive in località Fibbiana, zona ovest di Montelupo. E' riassumibile con 3-10metri di sedimenti prevalentemente limosi (ML) seguiti da sedimenti misti, complessivamente prevalentemente sabbiosi (SC, 10-15m), seguiti da uno strato lateralmente continuo di ghiaie ciottolose (GW, generalmente 5-10m). Detto strato separa le alluvioni recenti dal contesto collinare, qui ancora probabilmente rappresentato da alternanze litologiche villafranchiane.	Numerose misure di frequenza (prive di picchi significativi) e di Vs (generalmente con $200 < Vs_{30} < 400\text{m/s}$) hanno consentito di caratterizzare quest'area.	<p>P82= 2,5Hz A2,4</p> <p>P102= 1,9Hz A2,3</p> <p>P81= 2,7Hz A2,1</p> <p>P76= 2,8Hz A2</p>	<p>L14=381m/s (Vs30)</p> <p>L19=217m/s (Vs30)</p> <p>P101=213m/s (Vs30)</p>	Abaco > 30m Vs=300m/s $f_0=\text{non significativo, assunto } < 1\text{Hz}$	1,1	<p>2010</p>
2023	La colonna 2023 è analoga alla 2010 con riporto in superficie (RI, 3-5m)	Viste le limitate differenze stratigrafiche con la 2010 non si ritiene sussistano differenze significative rispetto a quest'ultima nella risposta sismica.	Nessuna (analoga a 2010)	Nessuna (analoga a 2010)	Abaco > 30m Vs=300m/s $f_0=\text{assunto } < 1\text{Hz}$	1,1	<p>2023</p>
2012	Contesto alluvionale prevalentemente sabbioso in località Fibbiana, estremità occidentale dell'area di indagine. I sedimenti superficiali SC si estendono approssimativamente entro i 10-15m dal pc.. Seguono sedimenti prevalentemente limosi (ML, 5-10m) e poi un livello di ghiaie ciottolose piuttosto continuo (GW). Il basamento passa in questa zona ai sedimenti pliocenici delle argille azzurre (IS).	Misure di frequenza (prive di picchi significativi) e di Vs (generalmente $200 < Vs_{30} < 400\text{m/s}$) hanno consentito di caratterizzare quest'area.	<p>P104= 2Hz A2,5</p> <p>P89= 15Hz A2,6</p> <p>P109= 2,8Hz A2</p> <p>P108= 2,7Hz A2,4</p>	<p>L11=327m/s (Vs30)</p> <p>P103=223m/s (Vs30)</p> <p>P107=247m/s (Vs30)</p>	Abaco > 30m Vs=300m/s $f_0=\text{non significativo, assunto } < 1\text{Hz}$	1,1	<p>2012</p>
2011	Limitatamente all'area di Poggio Maggiore, a sud di Montelupo, dal contesto alluvionale emerge una porzione di substrato marino pliocenico, costituita da una altura quasi sepolta di sabbie e ghiaie plioceniche (SW). Spessore e strati sottostanti di difficile valutazione	Le valutazioni sulla Vs30 sono state stimate da una analisi dei valori di Vs nelle aree prossime. Viste le limitate estensioni areali della zona, e i valori cautelativi di FA derivanti dall'uso del 75° percentile non si è ritenuto di dover effettuare un approfondimento di indagine.	nessuna	nessuna	Abaco > 30m Vs=300m/s presunta $f_0=75^\circ \text{ percentile}$	1,4	<p>2011</p>

8.5.4 - Verifiche per liquefazione

Al fine di migliorare le conoscenze sulla suscettibilità al fenomeno, nelle aree che presentano caratteristiche litologiche, geotecniche ed idrogeologiche compatibili con la liquefazione dinamica sono state condotte specifiche verifiche utilizzando alcuni dei metodi semplificati più diffusi.

In particolare sono stati utilizzati i dati di alcune prove penetrometriche CPT ubicate in 9 diversi siti, procedendo all'analisi utilizzando il metodo di Robertson e Wride modificato (2014) e quello di Idriss Boulanger (2014).

I parametri geofisici di sito di partenza sono stati definiti sulla base dei dati a disposizione a partire da una categoria di suolo C ($a_{max}=0,185g$) ed assumendo una magnitudo di riferimento pari a $M_{wmax1}=5,68$ (Gruppo di Lavoro (2004), vedasi specifico capitolo della presente relazione).

Tutte le verifiche sono state effettuate adottando un livello di saturazione verosimile e cautelativo in relazione alle misure freatiche nel foro della prova, alle indagini adiacenti ed alla eventuale presenza di corsi d'acqua prossimi all'area analizzata. In nessun caso è stato adottato un livello di saturazione coincidente col piano campagna.

E' stata utilizzata, per il metodo di Idriss Boulanger (2014) la correlazione dei valori di Q_c e F_s da punta meccanica a punta elettrica (relazione proposta dal software di verifica). I valori di q_c - f_s sono stati inseriti nel software per medie aritmetiche di metro in metro. Per maggiori dettagli si rimanda al report delle verifiche riportato nella cartella \Indagini\Documenti.

La sintesi delle verifiche condotte è riassunta nella Tabella seguente:

Verifica		Metodo Robertson e Wride modificato (2014)		Metodo Idriss Boulanger (2014)	
#	Località	Risultati verifica	Potenziale di Liquefazione*	Risultati verifica	Potenziale di Liquefazione*
1 (PI24)	Ambrogiana	Terreno non liquefacibile	Molto basso (IPL=0,00)	Terreno liquefacibile tra 9,20 e 10,00 m	Basso (IPL=0,48)
2 (PI22)	Fibbiana	Terreno non liquefacibile	Molto basso (IPL=0,00)	Terreno non liquefacibile	Basso (IPL=0,04)
3 (PI21)	Le Pratelle	Terreno non liquefacibile	Molto basso (IPL=0,00)	Terreno non liquefacibile	Basso (IPL=0,01)
4 (PI23)	Turbone	Terreno non liquefacibile	Molto basso (IPL=0,00)	Terreno liquefacibile tra 4,0 e 5,0m e tra 7,0 e 8,0m	Basso (IPL=0,46)
5 (PI56)	Ambrogiana	Terreno non liquefacibile	Molto basso (IPL=0,00)	Terreno non liquefacibile	Molto basso (IPL=0,00)
6 (PI57)	La Torre	Terreno non liquefacibile	Molto basso (IPL=0,00)	Terreno non liquefacibile	Molto basso (IPL=0,00)
7 (PI58)	Citerna	Terreno non liquefacibile	Molto basso (IPL=0,00)	Terreno liquefacibile tra 2,00 e 5,20 m	Basso (IPL=0,24)
8 (PI59)	Ambrogiana	Terreno non liquefacibile	Molto basso (IPL=0,00)	Terreno liquefacibile tra 3,00 e 4,20 m	Basso (IPL=0,40)
9 (PI60)	San Quirico	Terreno non liquefacibile	Molto basso (IPL=0,00)	Terreno non liquefacibile	Molto basso (IPL=0,00)

* Potenziale di Liquefazione secondo Sanmez (2003)

Le analisi hanno condotto a ritenere il manifestarsi del fenomeno come improbabile. In località Ambrogiana, col metodo di Idriss Boulanger, si sono ottenuti i valori di F_{sLQ} più bassi tuttavia, visto l'esiguo spessore degli strati potenzialmente liquefacibili e la profondità degli stessi, l'indice di liquefazione di Somnez è risultato ampiamente sotto il limite cautelativo di 2, indicando anche per quest'ultimo sito probabilità di manifestazioni superficiali molto basse. Si ricorda che ai sensi delle "Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LQ)" si fissa un limite pari a 2 per le aree da ritenersi potenzialmente liquefacibili (si veda la fig. 2 delle linee guida).

In due aree si è ritenuto opportuno mantenere cautelativamente una Zona di Attenzione a liquefazione (ZAlq) in ragione della presenza di fattori predisponenti. Le due aree sono:

- la zona di confluenza del torrente Pesa nel fiume Arno. Quest'area è presumibilmente stata esposta a fenomeni di fluttuazione di alveo di entrambi i corsi d'acqua pertanto è probabile si possano ritrovare fasce di sabbie sepolte.
- La zona di Camaioni che, sebbene non siano disponibili indagini CPT che permettano l'esecuzione di verifiche per liquefazione affidabili, si ritiene possano essere presenti sedimenti alluvionali sabbiosi saturi a scarsa profondità.

Le analisi hanno carattere di indirizzo alla pianificazione in quanto hanno validità puntuale e sono effettuate con il repertorio di indagini a disposizione. In ogni caso sarà cura dei progettisti dei singoli interventi edilizi, in accordo con le norme NTC2018, valutare le criticità del fenomeno nell'ambito della progettazione edilizia attraverso indagini geognostiche in sito.

La documentazione completa delle verifiche è riportata all'interno della cartella che raccoglie tutti i report delle indagini geognostiche e geofisiche:

"\\Montelupo_Fiorentino_S42\Indagini\Documenti\Documento Liquefazione Montelupo.pdf".

8.6 - Carta di Microzonazione Sismica di livello II

La definizione delle stratigrafie tipo per le diverse zone ha permesso di procedere alla redazione della Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2.

Utilizzando i dati acquisiti con le indagini sismiche, sono stati utilizzati gli Abachi predisposti dalla Regione Toscana, ed in particolare quello riferito alla Toscana Interna, per definire il valore del Fattore di Amplificazione (FA) rappresentativo delle varie Zone Stabili Suscettibili di Amplificazioni Locali.

Visto il modello geologico ricostruito e l'andamento dei valori di a_g del reticolo sismico di riferimento la carta di MS2 è stata realizzata prendendo a riferimento l'abaco regionale Toscana Interna per valori di $a_g < 0,125$.

Dalle indagini geofisiche a disposizione è emerso come il contesto collinare a sud di Montelupo

presenti valori di V_s talvolta superiori a 800m/s entro i 30m di profondità. In questo contesto si è ritenuto quindi opportuno utilizzare gli abachi riferiti a “*Substrato sismico < 30m*” come per l'area in cui affiorano le formazioni del dominio toscano e ligure esterno. In tutte le altre aree è stato utilizzato l'abaco riferito a “*Substrato sismico > 30m*”. Partendo dall'abaco scelto all'incrocio della classe di velocità delle coperture (generalmente compresa tra 200 e 400m/s) con l'ambito di frequenza di sito tipico della microzona scaturisce il valore di FA della microzona stessa nei vari periodi di riferimento.

Questo ha generato in output, in maniera apparentemente anomala, delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con FA=1 nella carta con FA0711. Ciò tuttavia è in linea con le prescrizioni degli ICMS richiamati nel capitolo 1.1.4.1 degli standard di microzonazione sismica 4.2 come segue:

“[...] Le zone stabili sono caratterizzate sempre da un'amplificazione uguale a 1.0. Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono invece caratterizzate da classi di fattori di amplificazione. Se dalle analisi sviluppate con gli abachi o attraverso simulazioni numeriche vengono riscontrate delle deamplificazioni, per convenzione si attribuirà alla microzona un valore uguale a 1.0. [...] Si evidenzia, come riportato nel paragrafo 2.4.1 degli ICMS (2008), che le geometrie delle zone stabili e stabili suscettibili di amplificazioni locali, definite nella Carta delle MOPS, nella stesura delle Carte di MS, possono essere modificate.”

A partire dai risultati delle indagini sismiche disponibili, in relazione anche ai contenuti rappresentati nella Carta delle Frequenze, sono stati definiti i fattori di amplificazione secondo l'abaco di riferimento (Toscana Interna, + 30m (o -30m), +0,125g) per ciascuna delle MOPS individuate, rappresentandole nelle tre tavole richieste dagli Standard di Rappresentazione ed Archiviazione Informatica e cioè secondo 3 intervalli (di periodi di vibrazione):

- 0,1 - 0,5 s (Tavola 07)
- 0,4 - 0,8 s (Tavola 08)
- 0,7 - 1,1 s (Tavola 09)

Come descritto in precedenza, l'analisi sul territorio si è basata su una serie di dati geofisici e geognostici ben distribuiti a meno di specifiche zone difficilmente indagabili (in particolare i rilevati ferroviari e quelli stradali della FI-PI-LI).

Il set di dati disponibile ha presentato, in alcune zone, una certa variabilità nei valori di f_0 rilevata dalle misure HVSR all'interno di aree con contesti geologici e geomorfologici omogenei, che ha imposto valutazioni locali per la definizione dei valori da utilizzare a riferimento per l'utilizzo degli abachi.

In generale, lo studio di microzonazione sismica ha trovato una buona concordanza con il modello geologico di riferimento, come riscontrabile, ad esempio, nella Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2 per l'intervallo di periodi tra 0,1 e 0,5 secondi, in cui i valori di elevata amplificazione (FA=1,7-1,8) sono localizzati laddove i sedimenti di fondovalle si trovano sovrapposti al contesto collinare a sud di Montelupo che, come detto, presenta elevati valori di V_s .

Analogamente alti valori di FA si osservano anche alla confluenza del Torrente Pesa nell'Arno molto probabilmente a causa della presenza di una incisione valliva sepolta (paleovalle della Pesa) che si raccorda a quella sepolta dell'Arno nei pressi di Capraia (vedasi sezione A-A').

Anche le aree di Camaioni e di Le Fornaci presentano elevata dispersione nei valori di f_0 in accordo con la variabilità in termini di V_s e di spessore della frangia di alterazione dei vari litotipi: in questo caso l'attribuzione dei valori di FA è stata effettuata applicando gli abachi con criteri di cautela, tenendo conto anche delle morfologie affioranti e sepolte del territorio.

Dalla attribuzione alle singole zone del fattore di amplificazione a partire dai valori di V_{s30} e della risposta in frequenza ha condotto alle seguenti attribuzioni:

Zona MOPS	Fattore di amplificazione		
	FA0105	FA0408	FA0711
2001	1,8	1,8	1,7
2002	1,6	1,1	1
2003	1,9	1,7	1,3
2004	1,4	1,1	1
2005	1,6	1,5	1,2
2006	2	1,5	1,7
2007	1,8	1,7	1,7
2008	1,1	1,4	1,5
2009	1,3	1,1	1
2010	1,1	1,4	1,5
2011	1,4	1,8	1,8
2012	1,1	1,4	1,5
2013	1,7	2	1,6
2014	1,1	1,4	1,5
2015	1,6	1,5	1,3
2016	1,6	1,5	1,3
2017	1,3	1,1	1
2018	1,3	1,1	1
2019	1,9	1,7	1,3
2020	1,9	1,7	1,3
2021	2	1,5	1,7
2022	1,8	1,7	1,7
2023	1,1	1,4	1,5
2024	1,1	1,4	1,5
2025	1,8	1,7	1,7
2026	1,8	2,1	1,5
2027	2	1,5	1,7
2028	1,6	1,1	1
2029	1,1	1,4	1,5
2099 (Tipo 1)	1,6	1,1	1
2099 (Tipo 2)	2	1,7	1,2
2099 (Tipo 3)	1,9	1,7	1,3

Nelle aree caratterizzate da instabilità in cui il fattore di amplificazione ricavato dagli abachi è risultato pari ad 1, tale valore è stato aumentato a 1,1.

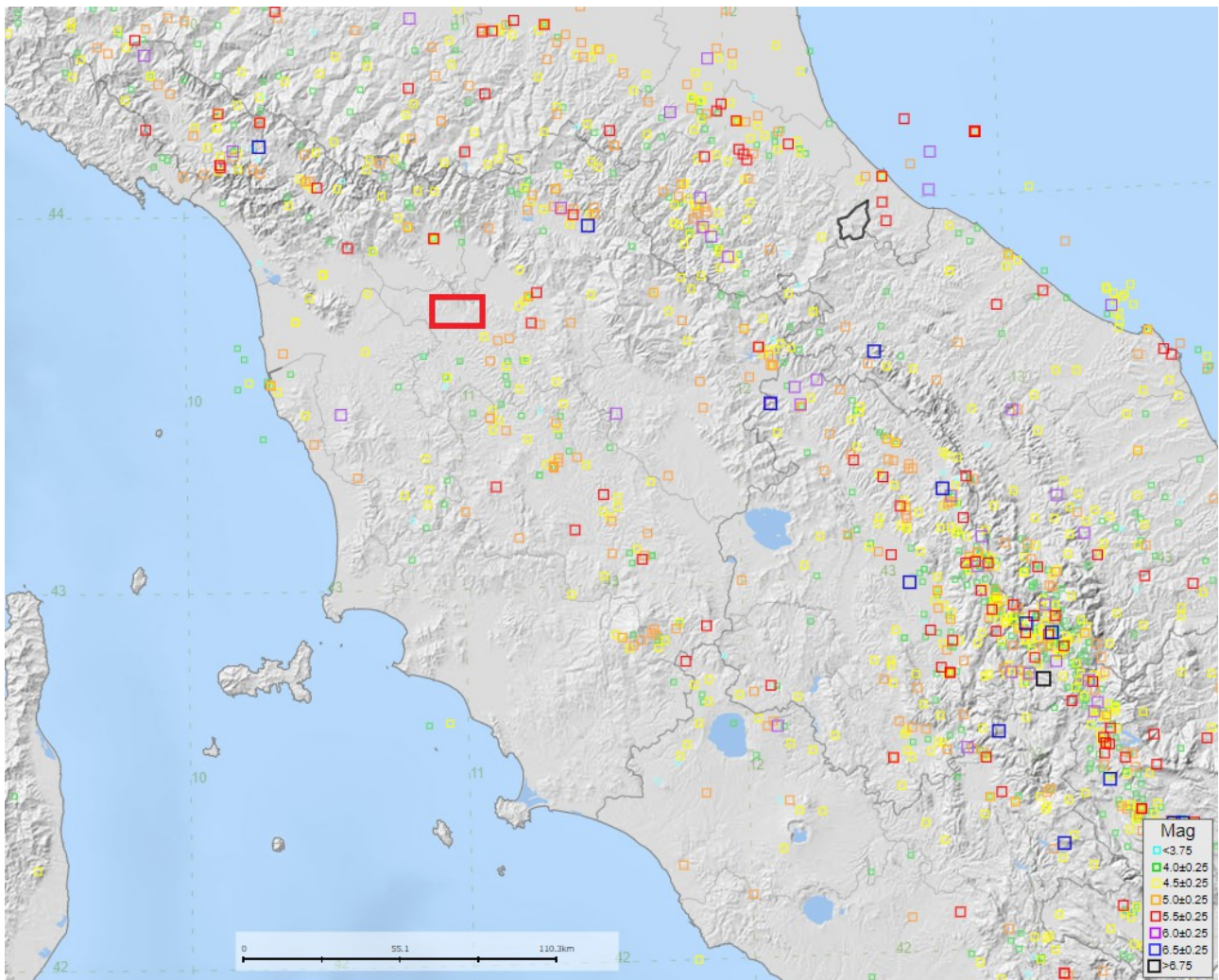
Il set di dati disponibile ha presentato, in alcune zone, una certa variabilità nei valori di f_0 rilevata dalle misure HVSR all'interno di aree con contesti geologici e geomorfologici omogenei, che ha imposto valutazioni locali per la definizione dei valori da utilizzare a riferimento per l'utilizzo degli abachi.

In generale, lo studio di microzonazione sismica ha trovato una buona concordanza con il modello geologico di riferimento in quanto la maggior parte del territorio comunale di Montelupo risulta avere valori di $FA_{0105} < 1,4$ in quanto le aree di fondovalle difficilmente presentano bruschi aumenti di V_s nei primi 30m di sottosuolo.

Vista l'incertezza connessa alla pulizia del segnale di input delle indagini HVSR, laddove queste ultime presentavano areali con picchi a frequenze simili e di ampiezza di poco inferiore a 3 sono state comunque ritenute significative nella perimetrazione delle microzone.

9 - CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

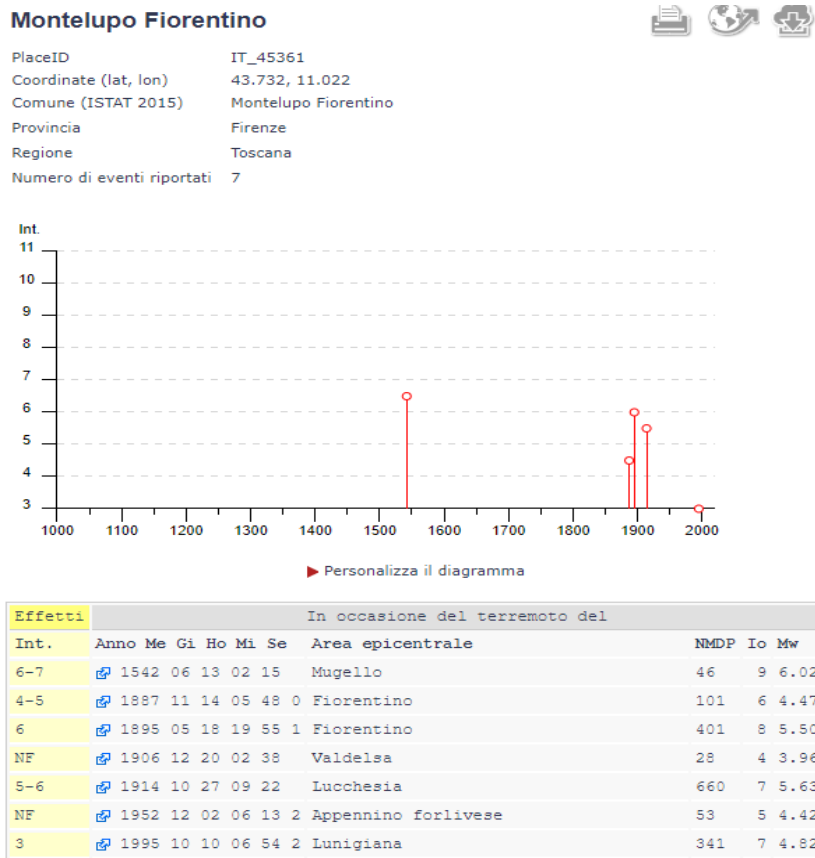
Le valutazioni sui terremoti avvenuti nella zona sono state desunte da quelli registrati nel database del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione CPTI15 ver.4 (Rovida et alii, 2012-2022), rappresentati nella seguente figura:



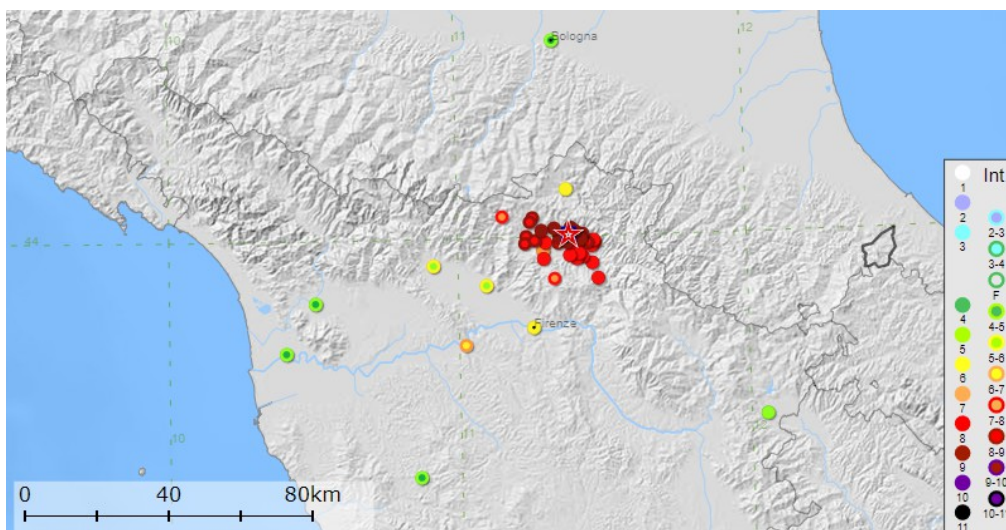
Nell'immagine è osservabile che nell'intorno del Comune di Montelupo Fiorentino sono indicati terremoti rilevanti distribuiti generalmente oltre i 20km di distanza, sul lato orientale e settentrionale del bacino di Firenze.

Vi sono informazioni storiche di terremoti con magnitudo massima pari a 6/6,5 con epicentro in nel Mugello come osservabile dai seguenti grafici prelevati dai portali CPTI15-DBMI15 e CFTI5med.

Output del portale CPTI15-DBMI15 (INGV):



Il terremoto per il quale vi sono testimonianze storiche dei maggiori effetti è quello del Mugello del 1542 (scala effetti 6-7).

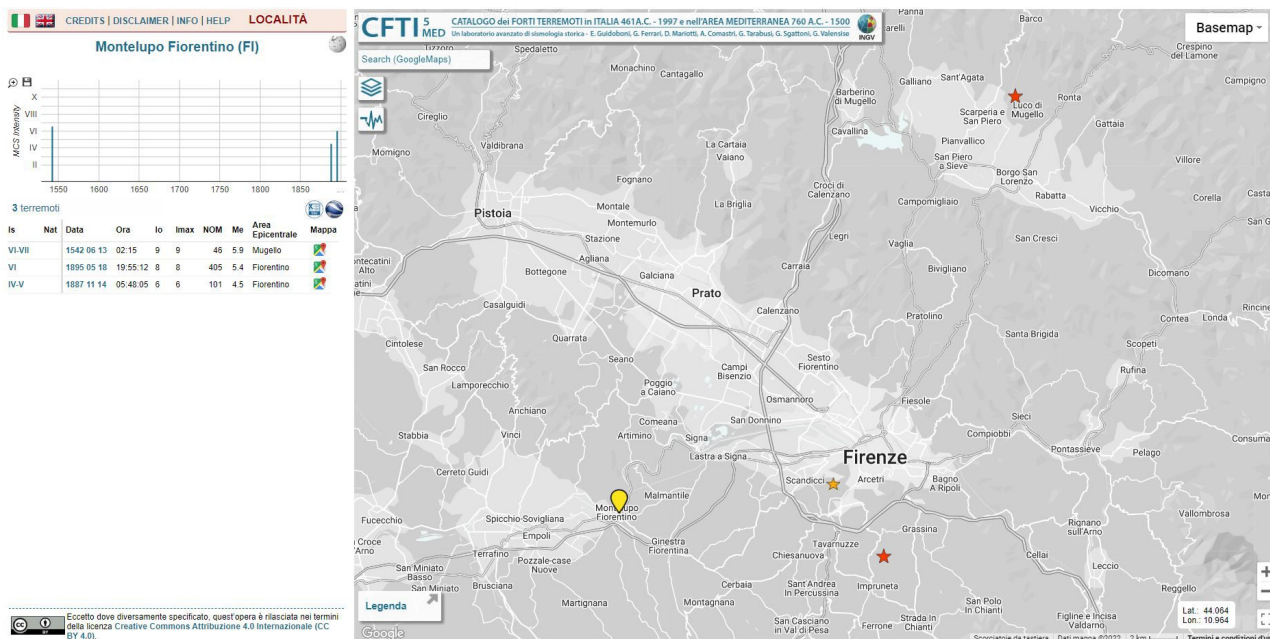


1542 giugno 13 02:15
Mugello

EqID 15420613_0215_000

	Lat	Lon	Orig. ep.	Io	Mw	ErMw	Orig. mag.	Profond.
★ CPTI15	44.006	11.385		9	6.02 ± 0.20		Mdm	
▣ Macro	44.006	11.385	bx0	9	6.02 ± 0.20		bxn	

Di seguito l'output del portale CFTI5med:



Relativamente agli effetti sul contesto antropico del terremoto del 1542 il catalogo CFTI5med (INGV) riporta quanto segue.

Una fonte coeva all'evento ricorda danni alla località senza dettagliarne con sicurezza la portata:

“Una lettera de la discription del Terremotto che è stato in Toscana, la qual narra particolarmente tutte le terre che son ruinate & le persone morte, & li fuochi apparsi in aere, & la terra ap[er]ta, & de un Lago fatto di acqua spuzolente di Solfere, la quantità, e il numero delle Case ruinate le qualcose furno a di III Luio MDXXXII. Venezia”

10 - **BIBLIOGRAFIA**

- **Albarelo D. (2008)** - *Limiti e potenzialità dell'uso del rumore ambientale per la valutazione della risposta di sito e l'analisi strutturale*. Dipartimento di Scienze della Terra- Università di Siena. "Monitoraggio dinamico per la valutazione della sicurezza sismica dei ponti", Udine, 18 Aprile 2008
- **Albarelo D., Castellaro S. (2011)** - *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola* Art. Ingegneria Sismica, Anno XVIII- n.2, 2011
- **Bramerini F., Di Pasquale G., Naso G., Severino M. (2018)**- *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica ICMS*. Parti I e II, Dipartimento della Protezione Civile, Conferenza delle Regioni e delle Province autonome
- **Bramerini F., Di Pasquale G., Naso G., Severino M. (2018)** - *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica ICMS*. Parte III, Dipartimento della Protezione Civile, Conferenza delle Regioni e delle Province autonome.
- **Bramerini F., Castenetto S., Giuffrè M., Naso G. (2017)** – *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR)*. Versione 1.0
- **Barani S., Spallarossa D. (2007)** - *Deliverable D14 - Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-ε*. Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006 / Progetto S1Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi., Genova, 21 settembre 2007.
- **C.R.P.S (2011)** - *Microzonazione sismica regionale. Redazione delle specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica*. Direzione generale delle politiche territoriali e ambientali politiche per la mobilità, Regione Toscana, allegato A.
- **Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Dipartimento di Protezione Civile (2020)** – *Microzonazione sismica, Standard di Rappresentazione e archiviazione informatica*. Versione 4.2., Roma, 2017.
- **Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Dipartimento di Protezione Civile (2020)** – *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LQ), versione 1.0, Roma, 2018*.
- **DBMI15 v.4.0 - Database Macrosismico Italiano**, Mario Locati, Romano Camassi, Andrea Rovida, Emanuela Ercolani, Filippo Bernardini, Viviana Castelli, Carlos Hector Caracciolo, Andrea Tertulliani, Antonio Rossi, Raffaele Azzaro, Salvatore D'Amico, Andrea Antonucci, gennaio 2022.
- **CFTI5med – Catalogo dei forti terremoti in Italia 461a.c.-1997 e nell'area mediterranea 760a.c.-1500, un laboratorio avanzato di sismologia storica**, E.Guidoboni, G.Ferrari, D.Mariotti, A.Comastri, G.Tarabusi, G.Sgattoni, G.Valensise - presso

<https://storing.ingv.it/cfti/cfti5/>,

- **Continuum geologico Regione Toscana, BD Geologico del geoscopio**
<http://www.regione.toscana.it/-/carta-geologica>
- **Gruppo di Lavoro (2004), INGV – Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica prevista dall'ordinanza PCM 20 marzo 2003, n. 3274, All1. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile**, Milano-Roma, aprile 2004, 65pp. + 5 appendici.
- **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 08/09/2021), Regione Toscana, Direzione Ambiente ed Energia, Settore Sismica, Ufficio Prevenzione Sismica.