



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

REGIONE TOSCANA



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione tecnica illustrativa
dello studio di livello 2

scala 1:5.000

Regione Toscana

Comune di Prato



Regione Toscana Comune Prato	Soggetto realizzatore STUDIO DI GEOLOGIA Dott.Geol.Alberto Tomei  con Dott.Geol.Nicolò Mantovani	Data Agosto 2019
---	--	-------------------------

INDICE

1. Premessa.....	1
1.1 Gli elaborati dello studio di MS di livello 2.....	3
2. Inquadramento geologico e geomorfologico del territorio comunale.....	3
2.1. Inquadramento geologico.....	3
2.1.1. Stratigrafia.....	5
2.2. Geomorfologia.....	8
3. Sismicità del territorio.....	9
3.1. Sismicità storica (dal 1500 al 2008).....	9
3.2. Sismicità recente (dal 2008 al 2019).....	12
3.3. Faglie capaci.....	14
3.4. Strutture sismogenetiche.....	14
4. Definizione dell'azione sismica di base.....	16
5. La raccolta dei dati geognostici.....	18
5.1. Le nuove indagini geognostiche acquisite dal Comune di Prato.....	18
5.2. Dati bibliografici.....	19
6. Le nuove indagini geofisiche.....	23
7. La carta Geologico-tecnica per la microzonazione sismica.....	23
8. La carta delle Frequenze fondamentali dei depositi.....	24
9. La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).....	26
9.1. La legenda della carta MOPS.....	27
9.1.1. Zone stabili.....	28
9.1.2. Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.....	28
9.1.3. Zone suscettibili di instabilità.....	30
10. Carte dei fattori di amplificazione.....	31

Allegato DVD con i file .pdf dei seguenti elaborati cartografici:

- Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica;
- Carta delle sezioni geologico-tecniche;
- Carta delle frequenze fondamentali dei depositi;
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS);
- Carta di microzonazione sismica riferita al fattore di amplificazione relativo al periodo 0,1-0,5 s;
- Carta di microzonazione sismica riferita al fattore di amplificazione relativo al periodo 0,5-1,0 s;
- Carta di microzonazione sismica riferita al fattore di amplificazione massimo;
- Relazione tecnica illustrativa (il presente documento);
- Report delle indagini sismiche elaborate per lo studio di livello 2;
- Data-base delle indagini geognostiche



1. Premessa

Questo documento costituisce la relazione di sintesi dello studio di Microzonazione Sismica di secondo livello elaborato su incarico dell'Amm.ne Comunale di Prato che ha usufruito del finanziamento regionale (Decreto Dirigenziale di G.R.T.n.116262 del 4/10/2018 di cui all'Ordinanza CDPC.n.344/2016) essendo stata inserita nella graduatoria dei comuni ammissibili a finanziamento. Tutto il lavoro prodotto è stato elaborato ed archiviato secondo lo *Standard di Rappresentazione Grafica e Archiviazione Informatica - Versione 4.1* utilizzando il software SoftMS per l'archiviazione dei dati geognostici. Tutti i dati prodotti con questo studio sono contenuti in un DVD allegato contenente il data-base di archiviazione ed i file di stampa in formato .pdf degli elaborati cartografici.

La microzonazione sismica (MS) si propone l'obiettivo di definire la pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone o porzioni di territorio caratterizzate da un comportamento sismico omogeneo. Nello specifico la MS individua e caratterizza:

- Le **Zone Stabili**, sono zone nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- Le **Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica**, sono le zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;
- Le **Zone suscettibili di instabilità**, sono le zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazioni superficiale).

Il documento tecnico di riferimento per la realizzazione degli studi di MS è rappresentato dagli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (di seguito indicato con la sigla ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome opportunamente integrato dalle "Specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica" approvate con la delibera G.R.Toscana n.261/2011 e successivamente aggiornate con la delibera G.R.T.n.1162/2018.

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

- il **livello 1** è un livello propedeutico ai successivi studi di MS, che consiste esclusivamente in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della carta delle "**Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)**";
- il **livello 2** è un livello successivo in cui si introduce l'elemento quantitativo associato alle zone



omogenee mediante metodologie di analisi numerica di tipo semplificato (abachi regionalizzati, modellazione 1D, leggi empiriche) e l'esecuzione di ulteriori e più mirate indagini. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della “**Carta di Microzonazione Sismica**”;

- il **livello 3** rappresenta il livello più approfondito che permette di giungere ad una microzonazione specifica del territorio basata su metodologie analitiche di tipo quantitativo. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della “**Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti**”.

Va sottolineato che i livelli 1 e 2 di MS servono solo per la pianificazione territoriale, mentre il livello 3 di MS può fornire utili indicazioni per la progettazione delle opere strutturali.

La normativa regionale della Toscana (DPGR.n.53R/2011 “Regolamento di attuazione dell’art.62 della L.R. n.51/2005 in materia di indagini geologiche”) prevede, come supporto agli strumenti urbanistici, la redazione obbligatoria di uno studio di microzonazione di livello 1 oppure, come in questo caso, di **livello 2**, dove ai contenuti dello studio di primo livello si aggiungono ulteriori rilievi geofisici sul terreno, realizzati in luoghi specifici per integrare l'informazione esistente, in modo da confermare oppure ridefinire più esattamente il modello geologico-tecnico di riferimento. Le informazioni derivanti dall'insieme dei dati a disposizione permettono, attraverso l'utilizzo degli abachi regionali, di produrre la carta di microzonazione sismica dei fattori di amplificazione stratigrafici per due specifici range di periodo (0,1-0,5 sec e 0,5-1,0 sec). Questa carta rappresenta il principale elaborato dello studio di livello 2 ed è finalizzata a definire l'amplificazione sismica per ciascuna delle microzone individuate nella carta delle MOPS elaborata con lo studio di livello 1 ed eventualmente modificata nel corso degli studi di secondo livello. La carta della pericolosità sismica prevista dal DPGR. 53/R/11 nell'ambito degli studi geologici di supporto ai Piani Strutturali si costruisce, infatti, a partire dalla carta di microzonazione sismica. Nella tabella seguente viene riportato lo schema delle indagini e degli elaborati che, in generale, devono essere prodotti con lo studio di MS di secondo livello.

Tabella 1 – indagini, analisi ed elaborati del livello 2 di MS (da del.GRT n.1162/2018)

INDAGINI MINIME OBBLIGATORIE	• <u>Programmazione ed esecuzione di nuove indagini</u>: indagini geofisiche attive di superficie, prove geofisiche in foro, sondaggi geognostici, prove geotecniche in situ e in laboratorio
ANALISI ED ELABORAZIONI	• <u>Correlazioni e confronto con i risultati del livello 1.</u> • <u>Definizione del modello geologico-tecnico di sottosuolo.</u> • <u>Utilizzo di abachi regionali per i fattori di amplificazione litostratigrafici</u>
PRODOTTI FINALI OBBLIGATORI	• <u>Carta delle indagini</u>, implementata rispetto a quella del livello 1 con le nuove indagini; • <u>Carte di Microzonazione Sismica</u> almeno alla scala 1:5.000-1.10.000 (compresa l'eventuale revisione della cartografia di MS di livello 1) per i vari fattori di amplificazione litostratigrafici; • <u>Relazione tecnica illustrativa</u> della Carta di Microzonazione Sismica.

Di particolare importanza risulta la definizione del modello geologico-tecnico degli areali indagati che dovrà focalizzarsi sulle “coperture” (depositi detritici, sedimenti sciolti, coltri di alterazione) e sulla individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato rigido (ovvero quei litotipi caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S – convenzionalmente assunta superiore a 800 m/sec) la cui velocità, significativamente maggiore rispetto ai terreni soprastanti (cosiddetti di copertura), determina un forte contrasto di impedenza sismica che, a seconda della profondità alla quale si rileva tale interfaccia, può determinare l'amplificazione dello scuotimento sismico in superficie.



Per quanto riguarda la delimitazione dell'area d'indagine, lo studio di microzonazione di livello 2 è stato realizzato all'interno del medesimo areale dello studio di livello 1, che ricomprende tutta la zona di pianura del territorio comunale e la prima fascia dei rilievi collinari.

1.1. Gli elaborati dello studio di MS di livello 2

Come specificato nel programma delle attività per le indagini e gli studi di MS di livello 2 predisposto per il Comune di Prato dal Settore Sismica della Regione Toscana gli elaborati prodotti sono sostanzialmente di tipo cartografico, accompagnati da una relazione tecnica illustrativa:

- a) carta delle indagini;
- b) carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica;
- c) carta delle sezioni geologico-tecniche;
- d) carta delle frequenze fondamentali dei depositi,
- e) carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS),
- f) carta di microzonazione sismica in riferimento al fattore di amplificazione relativo al periodo 0,1 s-0,5 s;
- g) carta di microzonazione sismica in riferimento al fattore di amplificazione relativo al periodo 0,5 s-1,0 s;
- h) carta di microzonazione sismica in riferimento al fattore di amplificazione massimo;
- i) relazione tecnica illustrativa (il presente documento);
- j) data-base delle indagini geognostiche

Tutte le cartografie prodotte sono in scala 1:5.000 e sono articolate in sei "quadranti": Tav.01-Tav.02-Tav.03-Tav.04-Tav.05-Tav.06 che coprono il territorio di studio da nord a sud in tre "strisce" orizzontali di due tavole ciascuna.

Le cartografie relative ai punti a)-e) sono quelle dello studio di livello uno riviste e corrette in questa sede in seguito alla revisione del modello geologico-tecnico di riferimento effettuata sulla base dei dati geognostici acquisiti con le nuove indagini. Conseguentemente anche la carta delle MOPS, esito finale dello studio di livello 1, è stata modificata e quindi riproposta nello studio di livello 2. Di fatto lo studio di MS di livello 1 viene interamente superato dallo studio di livello 2.

I capitoli seguenti illustrano le modalità di redazione dei diversi elaborati e le considerazioni da essi desumibili per lo specifico territorio comunale di Prato in modo da fornire anche gli elementi necessari alla realizzazione della carta della pericolosità sismica del Piano Strutturale che necessariamente verrà aggiornata secondo l'esito dello studio di secondo livello.

2. Inquadramento geologico e geomorfologico del territorio comunale

Per meglio comprendere i capitoli che descrivono i risultati delle indagini di supporto alla redazione dello studio e le considerazioni, anche di natura interpretativa, sui comportamenti desumibili per le varie unità litologico-tecniche individuate, occorre procedere alla descrizione delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche generali del territorio.

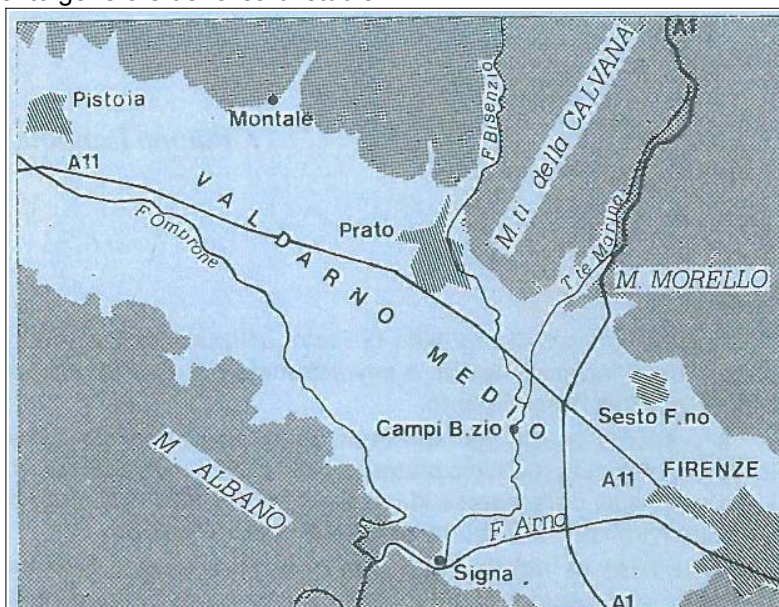
2.1. Inquadramento geologico

Dal punto di vista geologico l'area studiata rappresenta la parte centrale del bacino sedimentario di Firenze-Prato-Pistoia (Valdarno Medio), la cui natura lacustre è stata riconosciuta fin dal Rinascimento. Il lago venne ad occupare la depressione tettonica formatasi nel tardo



Pliocene, circa 2 milioni di anni fa, come risultato dei movimenti distensivi che interessarono la Toscana a partire dall'area Tirrenica. L'emissario del lago era ubicato, probabilmente, nello stesso punto in cui escono attualmente le acque del Valdarno Medio, cioè la stretta della Gonfolina presso Signa. I principali immissari erano un paleo-Ema nella conca di Firenze, l'Ombrone pistoiese all'estremo opposto del bacino, ed il Bisenzio nella parte centrale (figura 1).

figura 1 – inquadramento generale dell'area di studio



Il progressivo abbassamento del fondo del bacino veniva compensato dal notevole trasporto solido dei corsi d'acqua, fra i quali il Bisenzio aveva un ruolo preminente, dato che l'area appenninica da cui proviene era in forte sollevamento e quindi in accentuata erosione. La forma del fondo del bacino è stata ricostruita da CAPECCHI et al. (1975 e 1976b) e si mostra asimmetrica, con la maggiore profondità presso il margine nord-orientale: ciò dipende dall'azione prevalente della faglia che delimita appunto il bacino a nord-est. Nell'area di Campi Bisenzio lo spessore dei sedimenti fluvio-lacustri supera i 600 metri. La datazione dei materiali di riempimento del paleo-lago attribuisce i sedimenti al Villafranchiano Medio e Superiore. In tempi relativamente recenti il bacino fluvio-lacustre fu riempito perché l'incisione della soglia della Gonfolina da parte dell'Arno e l'accumulo dei sedimenti prevalsero sulla subsidenza. Tuttavia molte aree della pianura sarebbero ancora delle paludi se non fossero intervenute le opere di bonifica, iniziate già dagli etruschi e proseguite dai Romani.

Il limitato dislivello (circa 50 metri) fra le quote di affioramento dei depositi lacustri lungo i margini nord e sud del bacino testimonia il "basculamento" del bacino stesso verso nord-est per l'azione della faglia sopracitata. Tale fenomeno è misurabile con precisione nella parte orientale, dove il lacustre affiora su ambedue i fianchi nord e sud; mentre, nella parte centrale del bacino, agli affioramenti di Comeana, Seano e Quarrata non ne corrispondono altri a nord perché i sedimenti lacustri giacciono sotto la conoide fluviale del F. Bisenzio (CAPECCHI et al., 1976b; CAPECCHI, PRANZINI, 1986).

Sotto a questi sedimenti fluvio-lacustri si ritrovano formazioni sedimentarie di ambiente marino, le stesse che affiorano nei rilievi che chiudono a nord e a nord-est la pianura. In particolare



si rinvenivano la Arenarie del M. Cervarola (Oligocene-Miocene) e formazioni appartenenti al Complesso Ofiolitico (Giurassico-Cretaceo) e al Supergruppo della Calvana (Cretaceo-Miocene).

Più in dettaglio, nell'area di studio i depositi fluvio-lacustri che hanno contribuito al riempimento del bacino possono essere suddivisi in tre unità, che corrispondono ad altrettante facies di sedimentazione: depositi lacustri, depositi di delta-conoide e depositi recenti di esondazione. I depositi lacustri sono costituiti in maggioranza da argille e limi, talvolta leggermente sabbiosi, con livelli di lignite e torba; strati di ghiaie, in genere a matrice limosa, si intercalano alle argille con frequenza diversa nei diversi intervalli sedimentari. La frequenza e lo spessore delle ghiaie diminuisce comunque procedendo dai margini verso il centro della pianura. Ciò è da mettere in relazione con il fatto che l'area di Prato corrispondeva già allora a quella di delta-conoide, nel quale l'ambiente di sedimentazione passava da quello di una conoide fluviale a quello di un delta lacustre. Questi due ambienti sedimentari si succedevano non solo arealmente, ma anche in senso temporale: gli apporti solidi del F. Bisenzio potevano prevalere sulla subsidenza del bacino, determinando l'avanzamento della conoide entro il lago, o, viceversa, era la subsidenza a prevalere e quindi il lago avanzava sulla conoide.

L'evoluzione sedimentaria del bacino è andata verso un aumento dell'apporto macroclastico: nell'area di Prato le ghiaie sono divenute prevalenti e la conoide è avanzata nella pianura, fin quasi al margine opposto. Questa fase è terminata probabilmente con l'ultima fase glaciale; nell'Olocene il clima è divenuto più caldo, la produzione di materiale clastico grossolano è diminuita e il Bisenzio ha iniziato ad incidere la sua conoide.

La successione sedimentaria dell'area pratese termina con un piccolo spessore, ma continuo, di limo argilloso più o meno sabbioso, che corrisponde alla deposizione fluviale al di fuori dell'alveo, cioè quella che si ha in occasione delle alluvioni vere e proprie. Lo spessore di questo deposito è minore di 1 m nella parte alta della conoide, dove è anche di natura più sabbiosa e raggiunge un massimo di circa 5 m nelle parti distali della conoide, dove tende a confondersi con i sedimenti lacustri o palustri, dai quali si discosta poco come granulometria (F. Landini, G. Pranzini, E. Venturucci, 1990).

2.1.1. Stratigrafia

La carta geologica utilizzata come base per questo lavoro è quella del "Continuum Geologico" della Regione Toscana che si basa sulla cartografia, verificata e corretta, del progetto CARG. I dati contenuti sono quindi aggiornati alle ultime conoscenze acquisite sulle diverse formazioni geologiche ed i relativi rapporti stratigrafici.

Di seguito si riportano le descrizioni delle formazioni affioranti suddivise in base alle unità tettoniche di appartenenza.

I depositi alluvionali:

- attuali

Si tratta del materiale che attualmente deposita il Fiume Bisenzio all'interno dei suoi argini e comprende terreni con litologie e granulometrie che possono variare dalle argille fino ai ciottolami.

- recenti

Rappresentano tutti i depositi che sono caratterizzati da una prevalenza di terreni fini (limoso-argillosi) anche se localmente si può riscontrare la presenza di livelli più grossolani, localizzati principalmente a sud e ad ovest del territorio comunale.

- terrazzati

Sono depositi litologicamente molto eterogenei formati dal susseguirsi di momenti di erosione a



momenti di deposizione della corrente fluviale che gli ha conferito una morfologia terrazzata. Questi depositi si ritrovano ai margini delle valli più strette a quote superiori rispetto a quelle a cui si trova attualmente il corso d'acqua che li ha generati.

– *conoide*

Si tratta di una struttura morfologica derivante dall'accumulo di sedimenti fluviali dove quelli più grossolani (ghiaie e sabbie) si ritrovano nella zona apicale mentre quelli più fini (argille e limi) si ritrovano ai margini ed a maggiore distanza dallo sbocco del Fiume Bisenzio e del Torrente Bardena nella piana.

I depositi di accumulo:

– *colluviale*

Rappresentano tutti i depositi che sono caratterizzati da una prevalenza di terreni fini (limoso-argillosi) anche se localmente si può riscontrare la presenza di livelli più grossolani. La genesi di tali depositi risulta prevalentemente di natura colluviale ovvero terreni che hanno subito una alterazione, un trasporto lungo il versante ed una rideposizione in porzioni poco acclivi.

– *detrito di versante*

Si tratta di materiale proveniente dalla disaggregazione meccanica dei terreni litoidi. Le dimensioni dei clasti risultano prevalentemente grossolane e la composizione varia secondo la natura della roccia di origine. Geneticamente sono depositi costituiti dall'accumulo dovuto prevalentemente alla gravità e perciò sono compresi in questa classe sia i depositi attribuibili a frane e paleofrane sia i corpi detritici in senso lato. In base alla litologia che costituisce la roccia madre tali depositi possono essere più o meno ricchi di una frazione fine ma conservano generalmente una morfologia riconducibile ad un accumulo gravitativo.

Il substrato lapideo è stato suddiviso in unità tettoniche, in base alle più accreditate teorie sull'orogenesi dell'Appennino. Le unità presenti sul territorio sono quelle Toscane e quelle Liguri: le prime sono rappresentate dall'Unità Cervarola – Falterona mentre le seconde sono rappresentate dall'Unità del Monte Morello e da quella delle Ofioliti.

UNITA' TETTONICHE LIGURI

Unità del Monte Morello

– *Formazione di Sillano*

Costituita da argilliti varicolori con irregolari intercalazioni di arenarie quarzoso-calcaree e calcareniti, finemente stratificate, di marne e calcari marnosi grigio chiari. Nella facies più comune le argilliti sono prevalenti; altre facies abbastanza diffuse sono formate da una maggiore quantità di arenarie, fittamente interstratificate con argilliti grigie con o senza rare intercalazioni di calcari marnosi e marne. La Formazione del Sillano contiene al suo interno grandi lenti di materiale torbiditico che costituiscono la *Pietraforte*. In alcune località (come Figline di Prato) presenta come intercalazioni al suo interno o al passaggio con Formazione del M. Morello, livelli di brecce grossolane con clasti spigolosi provenienti dai termini del Supergruppo del Vara: basalti, gabbri, serpentiniti, diaspri, calcari micritici biancastri, variamente associati. Data la natura prevalentemente argillitica di questa formazione, la deformazione tettonica è spesso assai intensa, rendendo di difficile valutazione lo spessore originario, che dovrebbe aggirarsi su qualche centinaio di metri. I microfossili che si trovano nei livelli calcarei e marnosi indicano un'età compresa tra la parte bassa del Cretaceo superiore ed il Paleocene.



- *Formazione di Sillano (litofacies olistostromica)*

Argilliti e siltiti in facies olistostromica, sono presenti localmente slump o lembi di successioni riconducibili alle formazioni delle Argille a Palombini e dei Calcari a Calpionelle. Localmente sono cartografabili blocchi ed olistoliti ofiolitici.

- *Formazione di Monte Morello (litofacies Calcare Alberese)*

Alternanza di calcari detritici grigio giallastri, calcari marnosi bianchi e nocciola a frattura concoide, marne, arenarie calcaree, calcareniti e argilliti; talora la base degli strati è calcarenitica. Prevalgono i termini calcareo marnosi. Lo spessore degli strati è variabile dai 30 centimetri a oltre un metro per quanto riguarda i calcari marnosi. Nella porzione basale della formazione si osservano liste di selce nera. Contatto inferiore con la formazione del Sillano. (Eocene inf. - medio)

Ofioliti

Le Ofioliti sono costituite da rocce di origine sia magmatica che sedimentaria e rappresentano sezioni di crosta oceanica e del sottostante mantello che sono state sollevate o sovrapposte alla crosta continentale fino ad affiorare. La grande importanza geologica delle ofioliti risiede nel testimoniare, all'interno delle grandi catene montuose come gli Appennini o le Alpi, la presenza di resti di un bacino oceanico preesistente consumato dal fenomeno della subduzione.

Nel territorio di Prato, e precisamente nel bacino della Bardena, affiora il "complesso ofiolitico" cioè un'associazione di rocce ignee e metamorfiche costituite principalmente da masse peridotitico-serpentinose e gabbriche, da effusioni basaltiche generalmente con strutture a cuscino (pillow-lavas) con al tetto rocce sedimentarie di mare profondo. Queste particolari rocce rappresentano la tipica sequenza litologica che si costituisce per fuoriuscita di magma nelle zone di frattura del fondo oceanico. Queste rocce si ritrovano in ambiente "continentale" a seguito di ampie e complesse evoluzioni tettoniche che hanno fatto migrare e emergere i fondi oceanici (e con essi gli accumuli sedimentari depositatisi al di sopra per centinaia di milioni di anni) fino a costituire gli attuali rilievi.

a) rocce peridotitiche serpentinizzate, ultrabasiche, intrusive, costituite da olivina o peridoto che è un silicato di Fe e Mg il cui prodotto di alterazione (idrotermale) è il serpentino. Tali rocce rappresentano la prima fase di raffreddamento di un magma quando si separano per primi i minerali ricchi in Fe e Mg (da qui il loro colore scuro);

b) rocce gabbriche, intrusive, costituite anch'esse, ma in proporzione minore, da minerali ferro-magnesiaci e da feldspati, minerali con un maggior contenuto in calcio e silice;

c) rocce basaltiche o diabasiche, rappresentano l'equivalente effusivo dei gabbrici, si ritrovano nella parte superiore delle serie ofiolitiche e sono spesso associati a rocce sedimentarie pelagiche (Argille a Palombini, Calcari a Calpionelle, Diaspri).

- *Argille a Palombini*

Argilliti grigio scure-brune, localmente contengono intercalazioni decimetriche fino a metriche di calcari micritici silicizzati, spesso contenuti quarzo detritico. I livelli calcarei sono abbondanti verso la base e decrescono verso l'alto delle sequenze dove aumenta invece il quarzo detritico. Il nome di Palombini, che fa riferimento al colore grigio dei colombi, è stato dato alle intercalazioni calcaree. L'ambiente della sedimentazione è ancora quello di un mare profondo ma con progressivo aumento di apporti terrigeni da parte di correnti di torbida, provenienti da zone emerse molte lontane (sedimenti distali). (Hauteriviano sup. - Campaniano).

- *Calcari a Calpionelle*

Calcolutiti grigio scure con base generalmente calcarenitica alternate talvolta ad argilliti brune. Gli strati hanno uno spessore variabile da 20 centimetri a qualche metro. (Turonico-Oxfordiano sup.).



– *Diaspri*

Radiolariti rosso scure in strati centimetrici, alternate localmente a strati centimetrici di argilliti brune o rosso scure. I tipi più puri, bianchi, verdognoli, giallastri, compatti presentano frattura concoide lucente, quelli meno puri rossastri, fino a rosso mattone, opachi, a frattura scagliosa. L'intensità e il tono della colorazione sono in relazione alla presenza di sostanze ferruginose. Lo spessore degli strati è dell'ordine di pochi centimetri. Questo corpo roccioso si presenta spesso fratturato secondo piani di discontinuità sub-perpendicolari alla direzione della stratificazione formando blocchetti prismatici. Per la sua durezza e lavorabilità tale roccia è stata sfruttata in passato dai cacciatori mustերiani, circa 30.000 anni fa, per la fabbricazione di utensili per la caccia. (Titonico – Oxfordiano (?) sup.).

– *Gabbri*

Roccia intrusiva olocristallina, formata principalmente da plagioclasio e pirosseni. Rappresenta il corrispondente intrusivo del Basalto. Si presentano massivi, generalmente eufotidi, a grana grossolana. Localmente tettonizzati. Queste rocce, di aspetto massivo, costituiscono i termini "intrusivi" della sequenza ofiolitica, la grana è da fine a grossolana. I minerali costituenti principali sono i plagioclasii ed i pirosseni, questi ultimi, unitamente agli altri minerali scuri minori (olivina ed anfiboli), costituiscono generalmente il 50% della roccia con valori variabili fra il 35 ed il 65%. Tali rocce sono utilizzate generalmente come ghiaia per rilevati ferroviari, materiale di costruzione per strade o più genericamente come inerti. Nella zona di Prato esiste una cava, detta delle Macine, molto vicina alla cava di "serpentino" di Pian di Gello dalla quale venivano estratte e lavorate le macine per i molini. La particolare composizione mineralogica del gabbro (elevato tenore di magnesio e di calcio, sodio e potassio molto scarsi e elevato tenore di ferro) non consente lo sviluppo di una rigogliosa copertura vegetale che non trova la quantità e la qualità giusta di elementi nutritivi.

2.2. Geomorfologia

Rappresenta il riconoscimento delle varie forme fisiche prodotte dagli agenti morfogenetici naturali (tra i quali inseriamo anche l'attività antropica) come la gravità, lo scorrimento delle acque superficiali, la dissoluzione chimica, le arginature, i terrazzamenti, ecc. Questo tipo di rilievo permette di ricostruire il quadro dinamico delle modificazioni del territorio che avvengono in maniera lenta o veloce a seconda del prevalere delle dinamiche fisiche su quelle indotte dalle attività antropiche.

Lo studio delle caratteristiche morfologiche del territorio segue strettamente quello geolitologico in quanto l'individuazione delle dinamiche attive e/o quiescenti sul terreno costituisce uno studio complementare e di approfondimento di quelle che sono le "risposte" dei vari litotipi agli agenti morfogenetici: la possibilità del verificarsi di determinati fenomeni geomorfologici è strettamente legata alle caratteristiche litotecniche dei terreni sulle quali agiscono gli agenti morfogenetici.

L'osservazione delle forme del terreno e l'attribuzione di esse ai vari processi morfogenetici è stata effettuata mediante l'osservazione stereoscopica di foto aeree disponibili presso il Comune e presso l'Ufficio Cartografico della Regione Toscana (volo IRTEF 2003). Tale interpretazione è stata verificata mediante controlli di campagna sia a campione sia per specifiche situazioni di non facile interpretazione.

Forme di accumulo dovute ai processi fluviali

- Conoide alluvionale

Si tratta di strutture morfologiche derivanti dall'accumulo di sedimenti fluviali, le forme più



importanti sul territorio sono state originate dal Fiume Bisenzio e dal Torrente Bardena. Originariamente queste strutture possedevano una pendenza molto debole e attualmente, a causa dell'intenso sviluppo urbanistico, hanno quasi completamente perso qualsiasi evidenza morfologica.

Forme di accumulo dovute alle dinamiche di versante

– Frana attiva di crollo

In questo caso cambia la tipologia del movimento trattandosi di “crollo” cioè di un fenomeno che inizia con il distacco di terra o roccia da un pendio acclive e prosegue quindi per caduta libera nell'aria, rimbalzo e rotolamento a terra della massa detritica distaccata.

– Frana attivo diffuso

Areale esteso in cui si riconoscono segni premonitori di un movimento franoso in atto ma di cui non è possibile determinare con precisione le dimensioni e/o la tipologia del movimento.

– Frana di scorrimento quiescente

Accumulo detritico che si è mosso lungo il versante il cui stato risulta inattivo, ma che potrebbe riattivarsi in quanto gli elementi morfogenetici sono ancora presenti.

– Frana di crollo/scorrimento inattiva stabilizzata

Accumulo detritico che si è mosso lungo il versante il cui stato risulta inattivo che non essendo più influenzato dalle sue cause originali ha raggiunto un nuovo equilibrio.

– Detrito di versante

Si tratta di materiale proveniente dalla disgregazione meccanica dei terreni litoidi ed è caratterizzato da dimensioni prevalentemente grossolane. Questo tipo di accumulo, generalmente caratterizzato da una scarsa frazione fine, raggiunge una propria stabilità disponendosi, naturalmente, secondo l'angolo di attrito interno proprio degli elementi litoidi che lo compongono. La stabilità di una tale massa detritica può essere messa in crisi facilmente sia con interventi artificiali quali scavi e/o riprofilature del versante, sia in occasione di eventi tellurici che possono portare anche a fenomeni di crollo.

– Deposito colluviale

Un accumulo di questo tipo è caratterizzato da una prevalenza di terreni fini la cui genesi deriva dall'alterazione del substrato roccioso e dal trasporto lungo il versante verso zone poco acclivi. Questo tipo di deposito può presentare una naturale instabilità in particolari condizioni morfologiche e climatiche come nel caso in cui sia deposto su un substrato litoide con giacitura anche debolmente a franapoggio che favorisce lo scivolamento in occasione di eventi meteorici importanti.

Forme e manufatti antropici

In pianura le principali forme antropiche sono costituite dai rilevati e dagli argini dei principali corsi d'acqua incanalati. La loro presenza ostacola il deflusso naturale delle acque basse determinando dei veri e propri bacini chiusi ove l'acqua tende a ristagnare. Tra i manufatti antropici risultano anche le opere idrauliche come le briglie, le opere di difesa di sponda e le casse d'espansione, tutte realizzate con lo scopo di mitigare il rischio idraulico dovuto al sistema delle acque alte e che, in qualche caso, contribuiscono al ristagno delle acque di scorrimento nei fossi minori e nelle scoline.



3. Sismicità del territorio

I paragrafi seguenti riportano una descrizione della sismicità storica e recente del territorio esaminato, oltre alla valutazione dell'azione sismica di progetto definita sulla base dei risultati dello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 del Comune di Prato. I dati di base utili per la definizione degli elementi di sismica generale dell'area in esame sono stati ricavati dai seguenti documenti o siti internet:

- Sismicità storica dal 1000 al 2014: Database CPT15 - DBMI15 - a cura di *Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E.* (2016). *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.* doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15> - disponibile on-line all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPT15-DBMI15>.
- Sismicità recente (dal 2005 al 2017): Database dell'I.N.G.V. disponibile on-line all'indirizzo <http://cnt.rm.ingv.it/>.
- Faglie capaci: catalogo delle faglie capaci ITHACA (*Italy HAZard from Capable faults*) dell'Istituto Superiore per la Protezione e per la Ricerca Ambientale, disponibile on-line all'indirizzo <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>
- Strutture sismogenetiche: Database DISS3 (*Database of Individual Seismogenic Sources*) disponibile on-line all'indirizzo <http://diss.rm.ingv.it/diss/>
- Classificazione sismica nazionale: disponibile on-line all'indirizzo <http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/classificazione.wp>

3.1 Sismicità storica (dal 1500 al 2008)

Con riferimento all'analisi della sismicità storica del territorio interessato, vengono esaminati i dati riportati nel D.B.M.I.15, che contiene 122.701 dati di intensità, relativi a 3.212 terremoti riferiti a circa 20.000 località di cui 15.213 in territorio italiano. L'ultima versione del Database Macrosismico Italiano, chiamata DBMI15 è stata rilasciata a luglio 2016 e aggiorna e sostituisce la precedente, DBMI11. DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2014. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti. In particolare sono stati estratti i dati disponibili per il comune di Prato. Nella tabella seguente viene riportato, l'elenco dei terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4-5, i valori relativi alla intensità al sito, il tempo all'origine (anno, mese, giorno, ora UTC), l'area epicentrale, il numero progressivo, l'intensità epicentrale e la magnitudo momento.

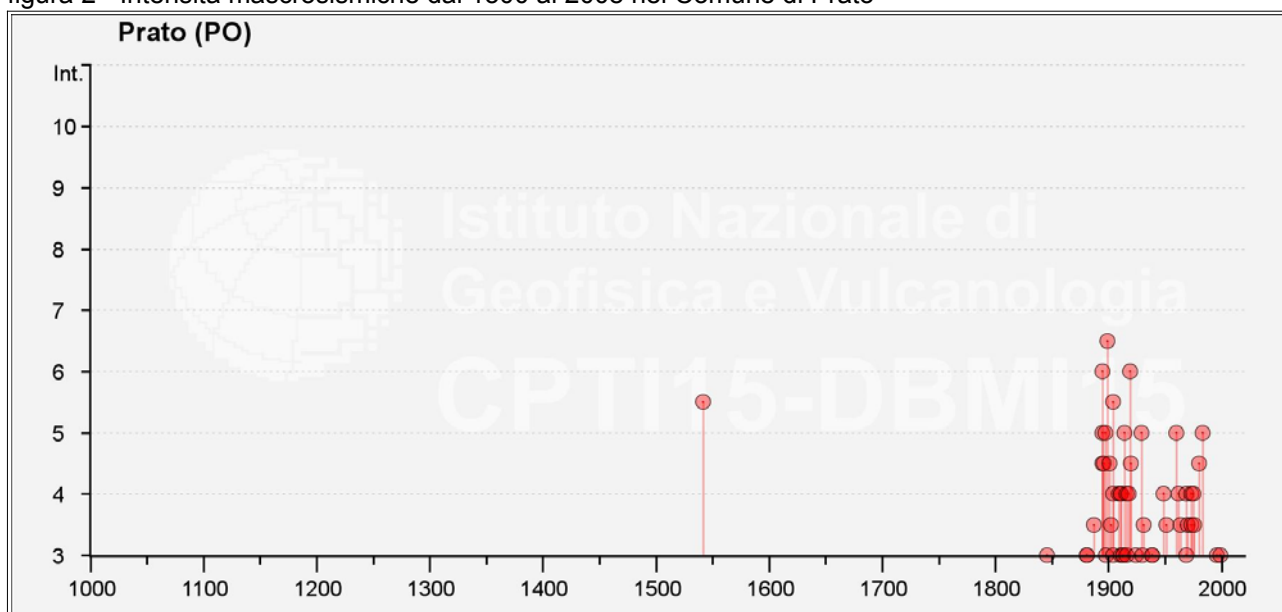
**Seismic History of Prato [43.881, 10.097]**

Total number of earthquakes: 69

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
5-6	1542 06 13 02 15	Mugello	46	9	6,02
3	1846 08 14 12	Colline Pisane	121	9	6,04
2-3	1874 10 07	Imolese	60	7	4,96
3	1881 02 14 09 00 30.00	Appennino bolognese	21	6	4,77
3	1881 09 28	Cesena	24	6-7	4,71
3-4	1887 11 14 05 48 05.00	Fiorentino	101	6	4,47
6	1895 05 18 19 55 12.00	Fiorentino	401	8	5,5
5	1895 06 06 00 35 05.00	Fiorentino	29	5-6	4,55
4-5	1895 08 07 19 49 32.00	Appennino tosco-emiliano	84	5	4,67
4-5	1896 07 08 01 51 28.00	Porretta Terme	17	5	4,37
5	1897 09 06 03 10 44.00	Valdarno inferiore	104	5-6	4,59
3	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5,37
6-7	1899 06 26 23 17 22.00	Valle del Bisenzio	138	7	5,02
4-5	1901 09 22 21 42 12.00	Valdelsa	35	6	4,68
3-4	1902 08 04 22 36 10.00	Lunigiana	60	6	4,78
3	1904 02 25 18 47 50.00	Reggiano	62	6	4,81
4	1904 06 10 11 15 28.00	Frignano	101	6	4,82
5-6	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7	5,1
4	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5,36
F	1909 08 25 00 22	Crete Senesi	259	7-8	5,34
4	1911 02 19 07 18 30.00	Forlivese	181	7	5,26
4	1911 09 13 22 29 02.00	Chianti	115	7	5,08
3	1911 09 13 22 35 10.00	Chianti	13	4-5	4,35
3	1913 07 21 22 35	Appennino romagnolo	43	5-6	4,79
3	1913 07 29 22 24	Casentino	16	5-6	4,54
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5,63
2	1915 01 13 06 52 43.00	Marsica	1041	11	7,08
3	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5,82
4	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5,82
2-3	1917 12 02 17 39	Appennino forlivese	32	6-7	5,09
4	1918 11 10 15 12 28.00	Appennino forlivese	187	9	5,96
6	1919 06 29 15 06 13.00	Mugello	565	10	6,38
NF	1919 09 10 16 57	Val di Paglia	67	7-8	5,36
4-5	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6,53
3	1924 06 12 21 03 48.00	Frignano	25	5-6	4,46
5	1929 07 18 21 02	Mugello	56	6-7	4,96
3	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5,83
3-4	1931 09 05 01 25 53.00	Mugello	28	6	4,88
2	1931 12 15 03 23	Mugello	35	6	4,62
3	1939 02 11 11 17	Mugello	31	7	5,01
3	1939 10 15 14 05	Garfagnana	62	6-7	4,96
4	1949 03 09 04 16 30.00	Mugello	12	5	4,42
3-4	1951 05 15 22 54	Lodigiano	179	6-7	5,17
NF	1956 04 26 03 00 03.00	Appennino bolognese	89	6	4,74
2	1956 05 26 18 40	Appennino forlivese	76	7	4,99
2	1956 06 03 01 45 57.00	Appennino forlivese	62	6	4,51
5	1960 10 29 00 08 39.00	Mugello	69	7	4,91
F	1961 05 08 22 45 51.00	Forlivese	40	5	4,37
4	1962 09 16 14 49 45.00	Chianti	19	6	4,54
3-4	1964 09 05 21 09	Appennino tosco-emiliano	22	5	4,35
4	1969 01 06 22 03 28.00	Appennino pistoiese	74	6-7	4,67
3	1969 02 15 08 54 39.00	Mugello	5	4-5	4,56
3-4	1970 02 09 07 39	Appennino forlivese	30	5-6	4,5
4	1973 04 20 16 45 34.00	Fiorentino	10	5	4,38
3-4	1973 11 07 17 06 17.00	Pistoiese	9	4	4,06
4	1975 04 04 09 10 53.00	Appennino pistoiese	6	4	4,07
3-4	1976 05 06 20	Friuli	770	9-10	6,45
2	1976 08 22 02 49 13.00	Alta Val di Taro	26	5	4,54
F	1976 09 15 09 21 19.01	Friuli	54	8-9	5,95
F	1978 12 05 15 39 04.00	Romagna	34	4-5	4,61
4-5	1980 06 07 18 35 01.00	Garfagnana	102	6-7	4,64
NF	1980 11 23 18 34 52.00	Irpina-Basilicata	1394	10	6,81
5	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
F	1995 08 24 17 27 33.00	Appennino pistoiese	56	6	4,45
NF	1995 10 10 06 54 21.72	Lunigiana	341	7	4,82
3	1996 10 15 09 55 59.95	Pianura emiliana	135	7	5,38
3	1999 07 07 17 16 12.59	Frignano	32	5	4,67
NF	2002 06 18 22 23 38.10	Frignano	186	4	4,3
F	2008 12 23 15 24 21.77	Parmense	291	6-7	5,36



figura 2 - Intensità macrosismiche dal 1500 al 2008 nel Comune di Prato

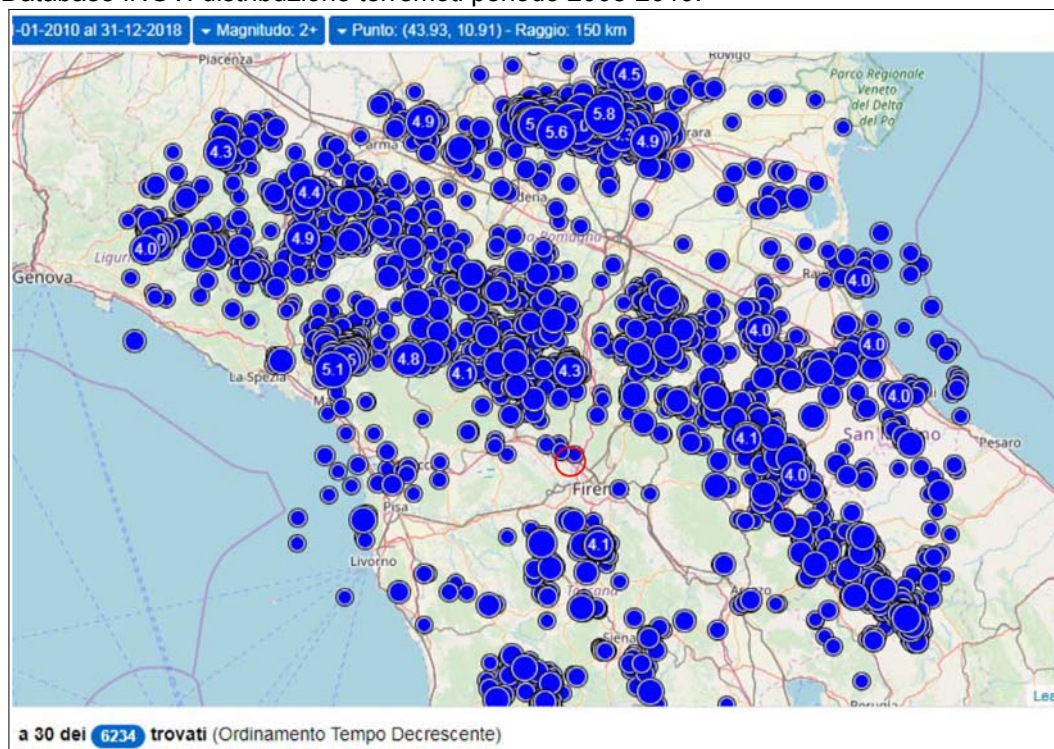


Dalla consultazione del catalogo emerge che le intensità sismiche massime osservate sono pari a $IS = 5-6$ per gli eventi del 1542 e 1904, $IS=6$ per gli eventi del 1895 e 1919 ed $IS=6-7$ per l'evento del 1899.

3.2. Sismicità recente (dal 2008 al 2019)

Per quanto concerne i sismi che hanno interessato l'area di Prato dal 2008 al 2019, i dati sono stati recuperati dal database dell'INGV considerando un'area di raggio 150 km dal territorio pratese, che include le aree epicentrali dei terremoti più intensi di cui al paragrafo precedente.

figura 3 -Database INGV: distribuzione terremoti periodo 2008-2019.



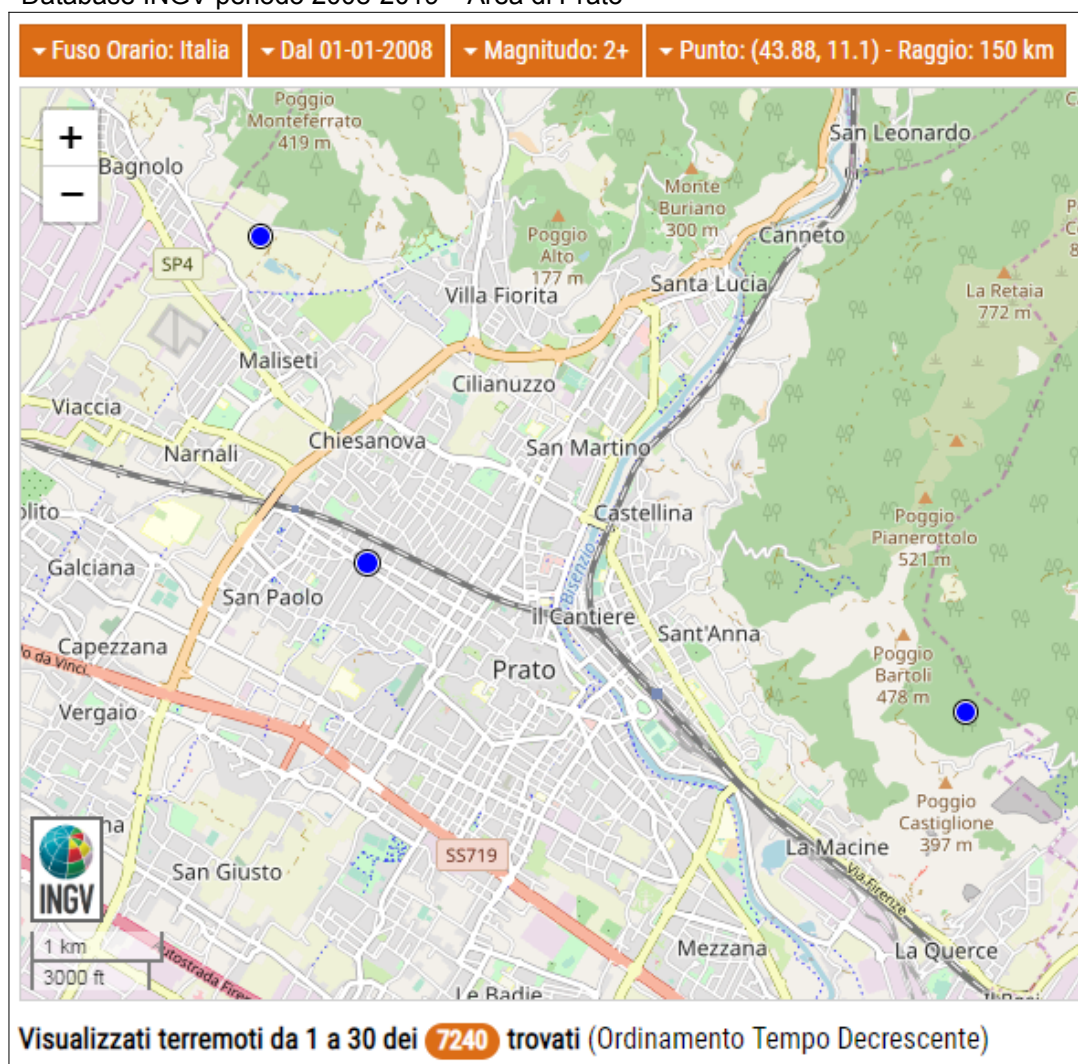


Dalla mappa rappresentata in figura 3 si possono distinguere le seguenti aree sorgenti:

- l'arco appenninico da Perugia a Piacenza;
- le colline del Chianti tra Firenze e Siena;
- la Pianura Padana tra le provincie di Modena e Ferrara;
- la zona della Garfagnana-Lunigiana.

In generale le profondità sono per la maggior parte entro i 20 km e le magnitudo più rappresentate variano tra 2 e 3. Nella seguente immagine (figura 4) sono evidenziati i terremoti avvenuti nelle immediate vicinanze dell'area in esame.

figura 4 - Database INGV periodo 2008-2019 – Area di Prato



I tre eventi all'interno del Comune di Prato hanno le seguenti caratteristiche:

Località	Magnitudo	Profondità	Data
Bagnolo-Maliseti	2,1	10,3	28/09/2011
Prato centro	2,2	66,7	31/07/2010
Monti della Calvana	2,1	9,8	10/04/15



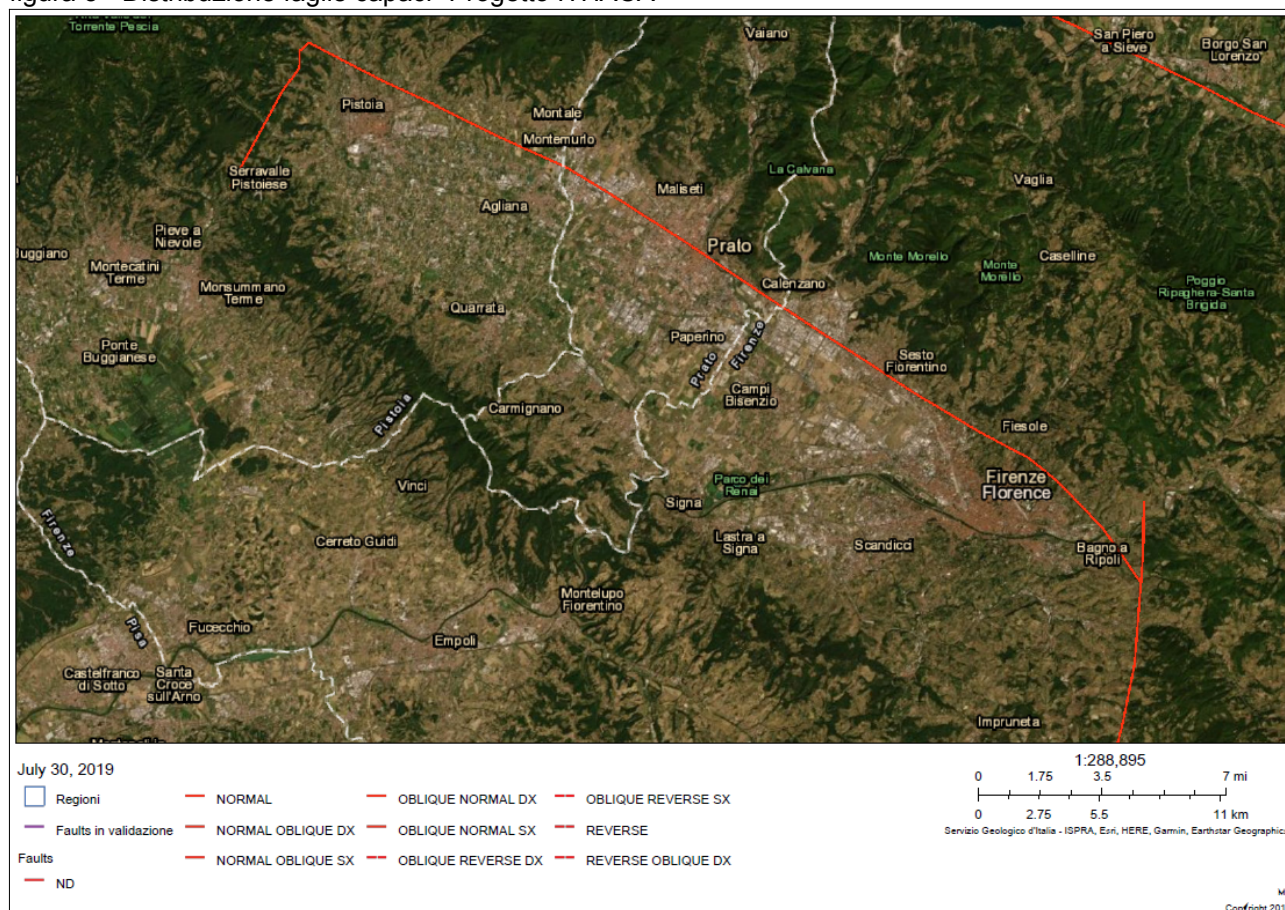
3.3. Faglie capaci

Il termine “faglie capaci” è utilizzato per descrivere le faglie “sismiche” con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni potenzialmente “capaci” di produrre deformazioni in superficie. La riattivazione di faglie capaci è in grado di produrre fenomeni di neoformazione (ecosismi) che possono formarsi in superficie nelle aree epicentrali, in concomitanza con eventi sismici di intensità elevata, in genere $\geq$ VIII-IX grado della scala ESI2007. La presenza di faglie capaci nel territorio di Prato è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA “ITaly HAZard from Capable faults”, disponibile on-line all’indirizzo <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>.

Il data base del Progetto ITHACA, raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.

Dall'analisi della cartografia (vedi figura 5), viene rilevata la presenza di una faglia capace (codice 62100), che borda tutto il margine NE della pianura Firenze-Prato-Pistoia, il cui sviluppo lineare interseca l'area di studio.

figura 5 - Distribuzione faglie capaci "Progetto ITHACA"



3.4. Strutture sismogenetiche

Benché le moderne investigazioni della sismotettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismogenetiche è ancora incerta. Questo dipende soprattutto dal fatto che l'attività tettonica è collegata ai movimenti di sistemi di faglie cieche, le cui caratteristiche (es. lunghezza del singolo segmento, entità del scivolamento ecc.) non può essere

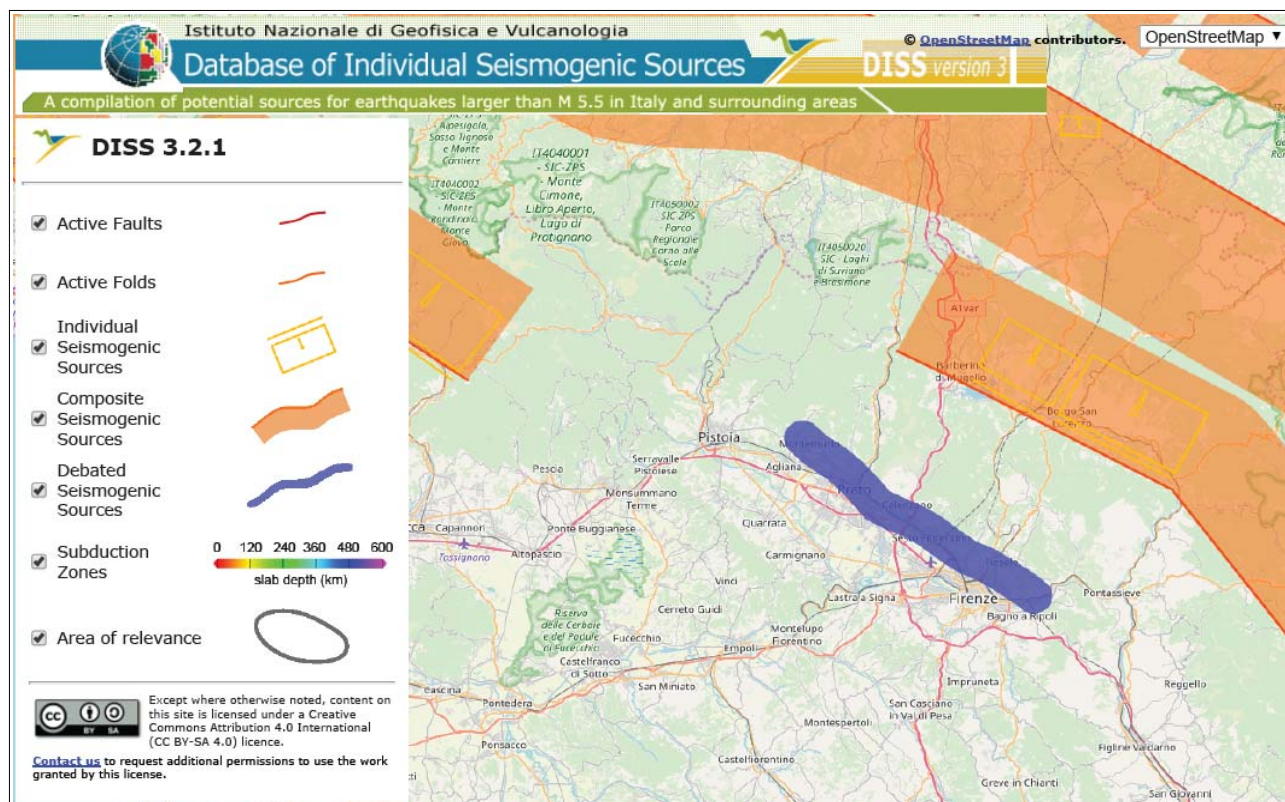


definita solamente attraverso la classica analisi geomorfologica ma derivano dall'applicazione di algoritmi che permettono di definire la geometria della sorgente dai dati puntuali di distribuzione dell'intensità dei terremoti storici. L'identificazione di tali sorgenti, concisamente definite silenti, permette di definire le aree potenzialmente affette da un alto livello di pericolosità sismica.

Con riferimento al "Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3" si osserva che il territorio di Prato si trova all'interno dell'area sismogenetica potenzialmente attiva di Prato-Fiesole (ITDS015) ed in prossimità di quelle attive di Mugello-Città di Castello-Leonessa (ITCS037), di Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga (ITCS027) e della Garfagnana (ITCS083).

La figura 6 evidenzia le aree sismogenetiche prossime all'area in esame (poligoni color giallo), definite quali proiezione in superficie dei sistemi di strutture sismogenetiche ritenuti attivi, caratterizzabili da un punto di vista geometrico e parametrico in maniera coerente con le sorgenti sismogenetiche incluse (poligoni arancioni); le campiture in rosso indicano i sistemi di faglia, mentre il poligono blu individua le aree sismogenetiche potenzialmente attive.

figura 6- mappa delle aree sismogenetiche di interesse (Fonte: Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3 - <http://diss.rm.ingv.it/diss/>)



Di seguito si riporta una tabella di sintesi relativa alle strutture sismogenetiche di interesse per l'area oggetto di studio. La codifica utilizzata nel database per identificare le strutture include 4 caratteri e 3 numeri:

- i primi due caratteri si riferiscono al Paese considerato (IT per Italia):
- gli altri due caratteri identificano il tipo di dati:
- IS per Individual Seismogenic Source
- CS per Composite Seismogenic Source
- DS per Debated Seismogenic Source



Tabella 1 – *strutture sismogenetiche d'interesse*

Code	Name	Compiled By	Latest Update	Min Depth (km)	Max Depth (km)	Strike (deg)	Dip (deg)	Rake (deg)	Slip Rate (mm/y)	Max Magnitude (Mw)
ITDS015	Prato-Fiesole Fault System	Burrato P., Vannoli P., Valensise G.	11/12/2009	-	-	-	-	-	-	-
ITCS037	Mugello-Citta' di Castello-Leonessa	Burrato P., Vannoli P., Fracassi U.	08/01/2010	0,5	8	280-300	25-40	260-280	0,1-1	6,2
ITCS027	Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga	Burrato, P., and S. Mariano	24/09/2007	12	22	90-160	20-55	70-110	0,1-1	6,2
ITCS083	Garfagnana	Burrato, P., S. Mariano and G. Valensise	14/05/2010	1	10	300-310	30-45	260-280	0,1-1	6,4

4. Definizione dell'azione sismica di base

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una pericolosità sismica di base del sito che è descritta dalla probabilità che in un determinato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. La pericolosità sismica, convenzionalmente, viene definita riferendosi ad un suolo rigido ("bedrock" sismico) con superficie topografica pianeggiante (pendenza inferiore a 15°) in condizioni di campo libero. Le caratteristiche del moto sismico atteso si ritengono individuate quando se ne conosca l'accelerazione. Il Comune di Prato è classificato, ai sensi della DGRT n.421 del 26/05/2014, in zona sismica 3 ($0,15 < a_g/g < 0,175$) (figura 7 e 8).

figura 7 – mappa di aggiornamento della classificazione sismica della Regione Toscana 2014

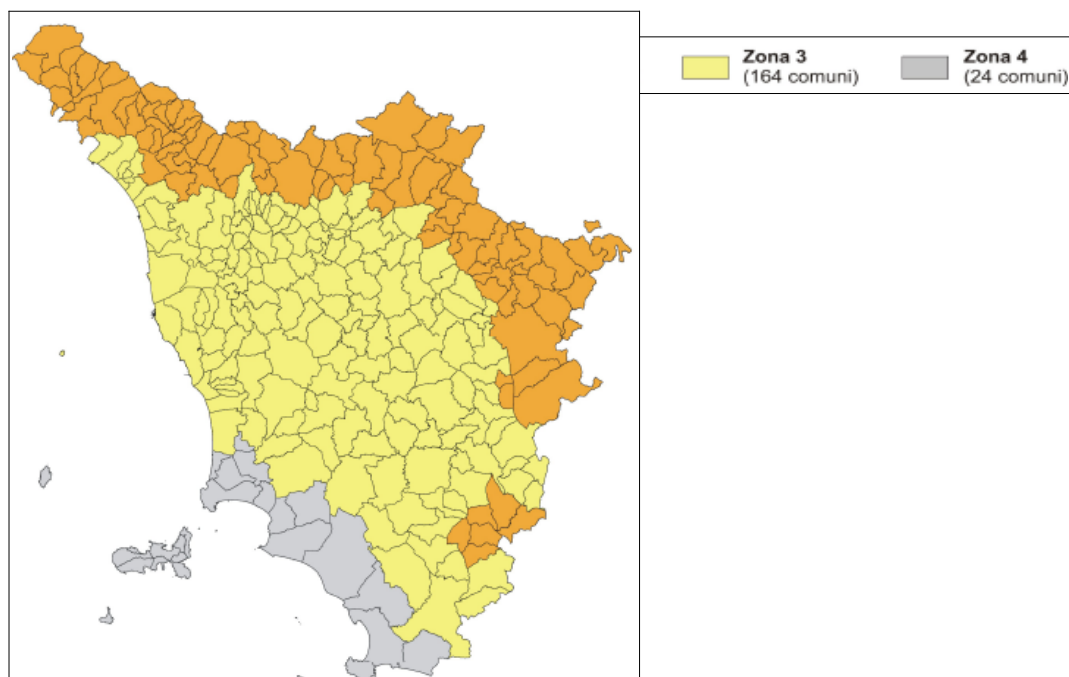
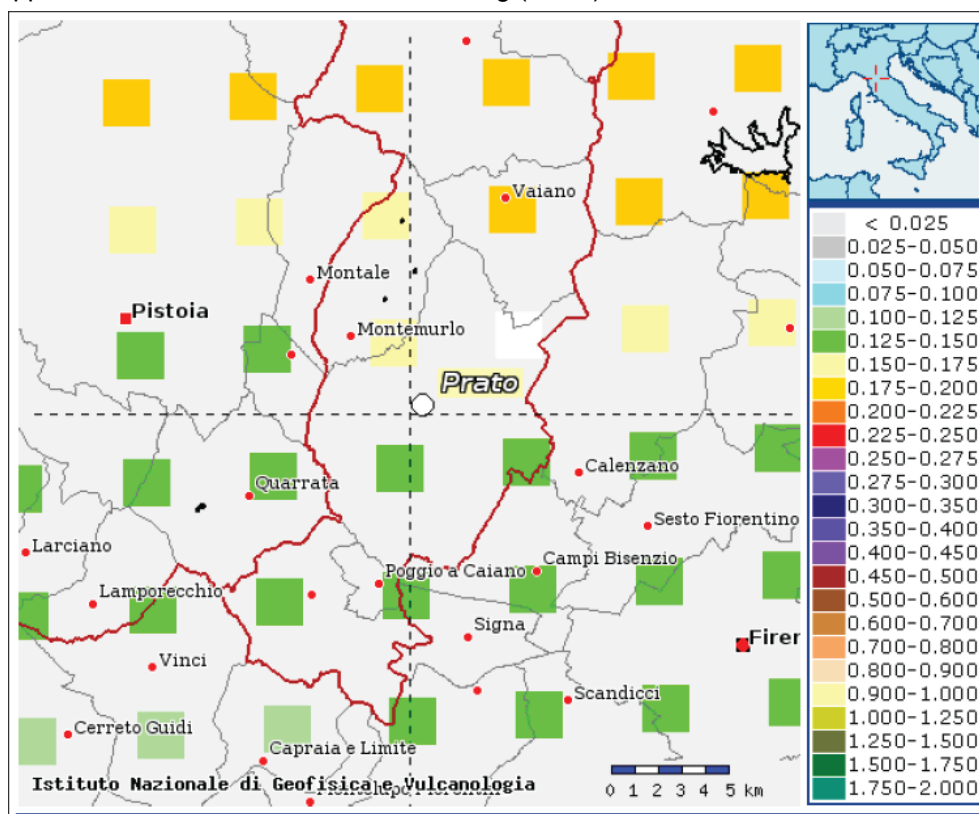


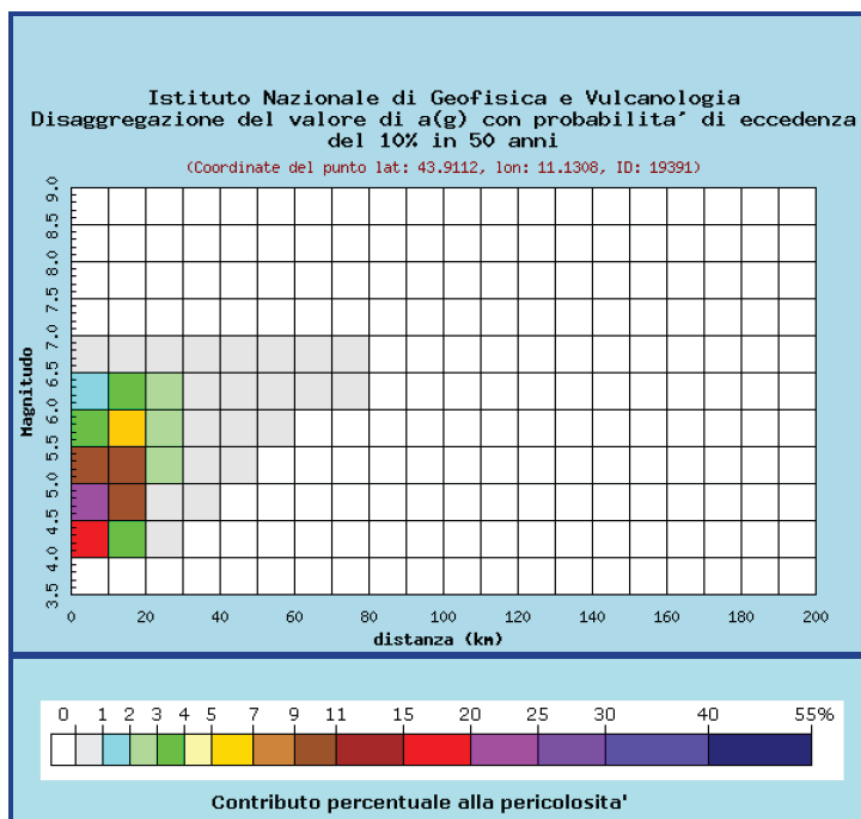


figura 8 – mappa del valore di accelerazione di base a_g (INGV)



Di seguito è riportato il grafico di disaggregazione dei dati della pericolosità sismica che evidenzia come questa sia generata da coppie Magnitudo-Distanza comprese tra 10 e 20 Km.

figura 9 – grafico di disaggregazione del valore di a_g





Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilit� di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.9112, lon: 11.1308, ID: 19391)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	15.700	23.800	10.700	3.070	1.350	0.147	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.620	10.600	9.750	6.350	3.900	0.522	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.001	0.697	2.280	2.570	2.230	0.366	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.005	0.363	0.809	0.578	0.113	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.015	0.202	0.174	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.055	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Valori medi											
Magnitudo Distanza Epsilon											
5.060 10.900 1.210											

5. La raccolta dei dati geognostici

Allo scopo di integrare le indagini geognostiche riportate nel database relativo allo studio di microzonazione di livello 1 che riporta le indagini raccolte fino al 2015, sono stati ricercati e archiviati i risultati di indagini significative successive a quella data e fino ad oggi disponibili negli archivi delle pratiche edilizie del Comune di Prato. Per la definizione del modello geologico-tecnico generale, ed in modo particolare per la ricostruzione dello spessore e della distribuzione areale dei sedimenti grossolani che costituiscono la grande conoide del F. Bisenzio, si   fatto riferimento anche ad uno specifico studio *“La falda idrica della conoide di Prato”* redatto da F. Landini, G. Pranzini e E. Venturucci nel Giugno 1990 dell’Universit  degli studi di Firenze.

5.1. Le nuove indagini geognostiche acquisite dal Comune di Prato

La raccolta delle indagini geognostiche esistenti ha portato alla acquisizione di ulteriori 51 indagini puntuali (tra pozzi profondi, sondaggi e misure HVSR) e 31 indagini lineari (tra MASW e profili P/SH). Nella successiva tabella sono riportati, per la sola area di approfondimento dello studio di microzonazione sismica di livello 2, la tipologia ed il numero delle indagini geognostiche e geofisiche, oltre alle indagini dirette che hanno raggiunto il substrato roccioso.

Come si pu  notare le indagini prevalenti sono rappresentate da sondaggi a carotaggio continuo, pozzi per acqua, indagini geofisiche tipo MASW e misure di frequenza HVSR, che forniscono di per s  valide informazioni ai fini della Microzonazione Sismica.



Tabella 2 – Dati geognostici e geofisici esistenti per l'area di approfondimento dello studio di MS2, con individuazione di quelli che hanno raggiunto il substrato

	tipo indagine	numero indagine	substrato
area studio di microzonazione	sondaggio a carotaggio continuo	19	x
	prova sismica in foro tipo Down-Hole	9	x
Sismica di Livello 2	pozzo per acqua con stratigrafia	5	-
	trincea esplorativa	1	-
	misura di frequenza HVSr	17	-
	profilo sismico a rifrazione con onde P e Sh	3	-
	profilo sismico a rifrazione con onde P ed elaborazione MASW	7	-
	MASW/Re.Mi.	3	-
	MASW	18	-

L'insieme di tutte le indagini geognostiche raccolte, sia quelle pregresse che di nuova realizzazione, sono state riportate nello specifico elaborato cartografico “*Carta delle Indagini*”, redatto in scala 1:5000 su sei quadranti (Tav.01, Tav.02, Tav.03, Tav.04, Tav.05 e Tav.06) che implementa e sostituisce l'omologa cartografia dello studio di livello 1.

5.2. Dati bibliografici

Come premesso, allo scopo di definire in maggior dettaglio il modello geologico-tecnico generale, ed in modo particolare lo spessore e la distribuzione areale dei sedimenti grossolani che costituiscono la conoide del F. Bisenzio, si è consultato uno studio specifico sulla falda pratese redatto con lo scopo di definire un quadro idrogeologico sufficientemente approfondito dell'acquifero pratese, che potesse essere utilizzato per la valutazione dello stato di sfruttamento e per la programmazione degli interventi di salvaguardia e recupero della risorsa idrica della pianura pratese.

Per ricostruire la posizione e la geometria degli intervalli acquiferi sono state utilizzate 130 litostratigrafie di pozzi ed i dati di una campagna geofisica. Le litostratigrafie sono state fornite per la grande maggioranza dalla società Consiag e solo in piccola parte da privati. Proprio per il fatto che la maggior parte delle colonne stratigrafiche disponibili si riferiscono a pozzi perforati per Consiag, queste sono da ritenere affidabili. Inoltre la loro distribuzione sul territorio è risultata abbastanza uniforme, per cui solo in alcune aree marginali della conoide l'interpretazione geologica è risultata più incerta. La campagna geofisica fu eseguita dalla Soc. Lerici nel 1964 per conto dell'Azienda Servizi Municipalizzati di Prato. Si tratta di 183 sondaggi elettrici eseguiti su tutta l'area interessata dallo studio, anche se con una densità non uniforme. L'interpretazione dei dati geoelettrici è ovviamente meno sicura rispetto alle colonne litostratigrafiche dei pozzi; tuttavia anche questi dati hanno contribuito alla ricostruzione geologica del sottosuolo, fornendo indicazioni dove mancavano i dati dei sondaggi meccanici. Ad oggi, sia le litostratigrafie dei pozzi che i risultati dei sondaggi geoelettrici, risultano non disponibili per la consultazione e conseguentemente per l'archiviazione nel database dello studio di MS2.

Sulla base dei dati geologici del sottosuolo pratese sono state elaborate sei sezioni idrogeologiche (figure 10,11 e 12), dalle quali si rileva che la frequenza delle ghiaie diminuisce sia



spostandosi dalla zona apicale della conoide verso il centro della pianura che con la profondità, in accordo con il modello di delta-conoide che evolve in senso regressivo e “passa” a pianura alluvionale.

figura 10 - ubicazione dei pozzi. 1: uso agricolo e domestico; 2: ad uso acquedottistico (Consiag); 3: ad uso industriale; 4: punti di misura del livello idrico del F. Bisenzio; 5: tracce delle sezioni idrogeologiche.

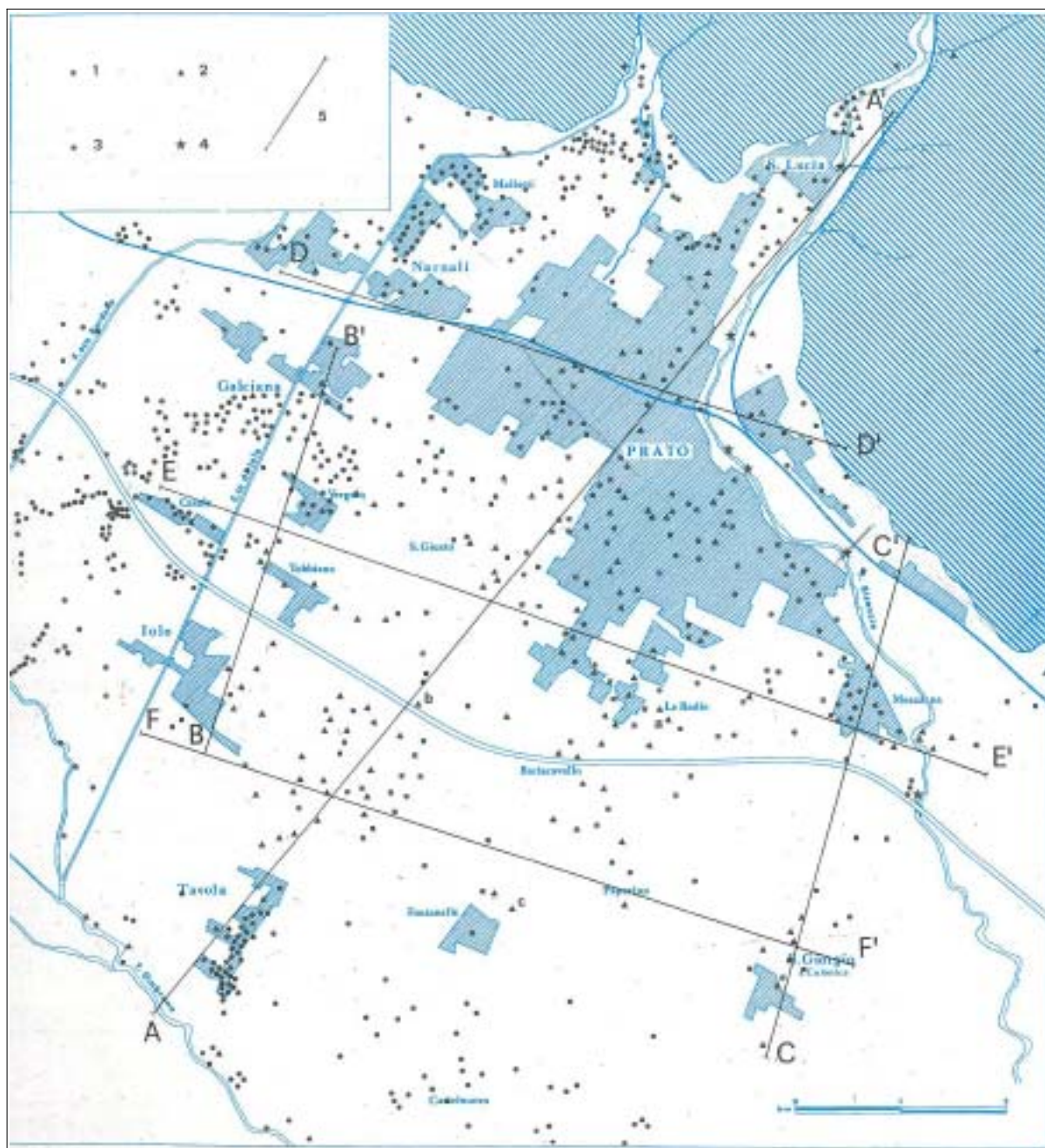




figura 11 - sezioni idrogeologiche AA', BB' e CC'

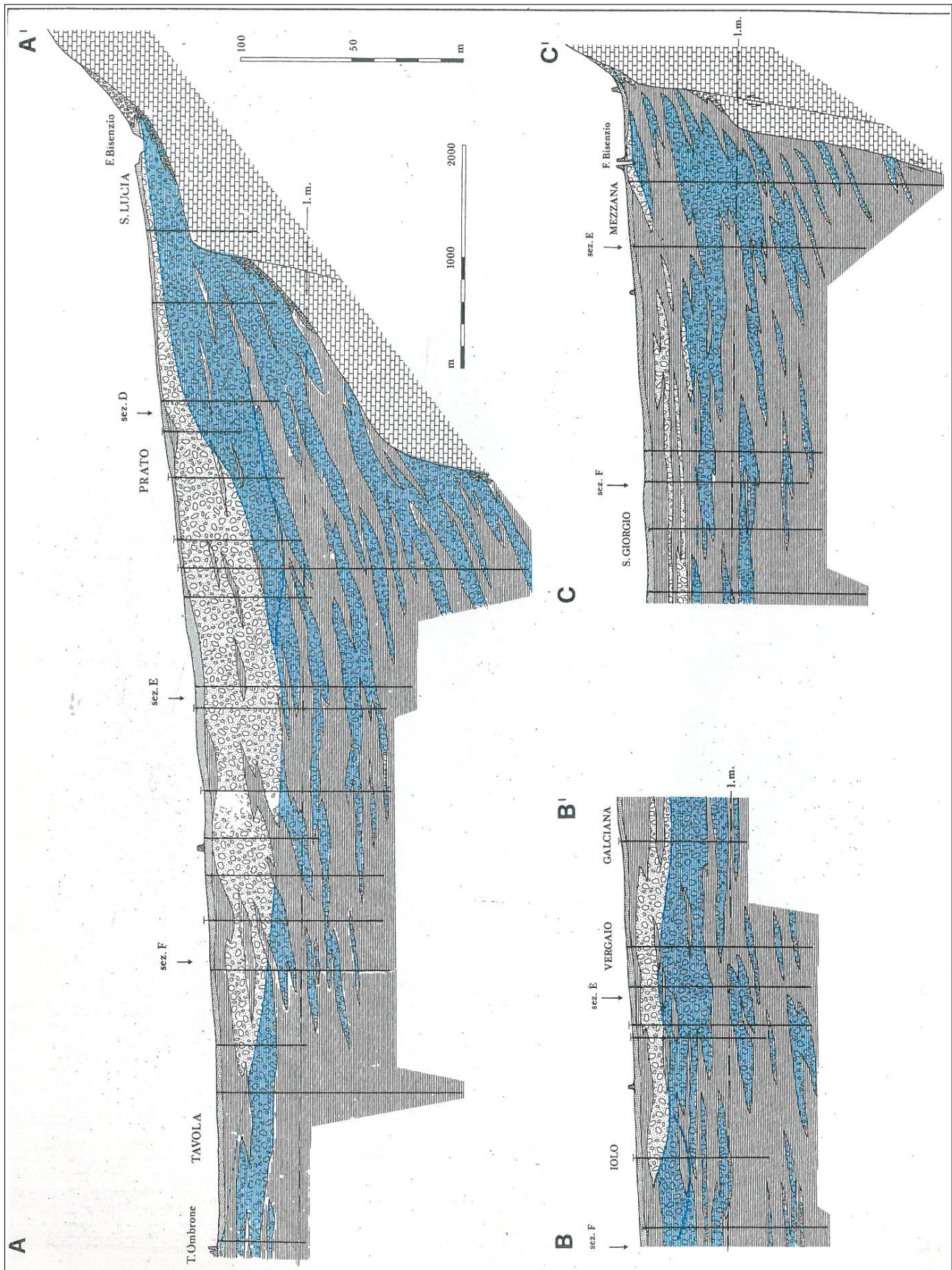
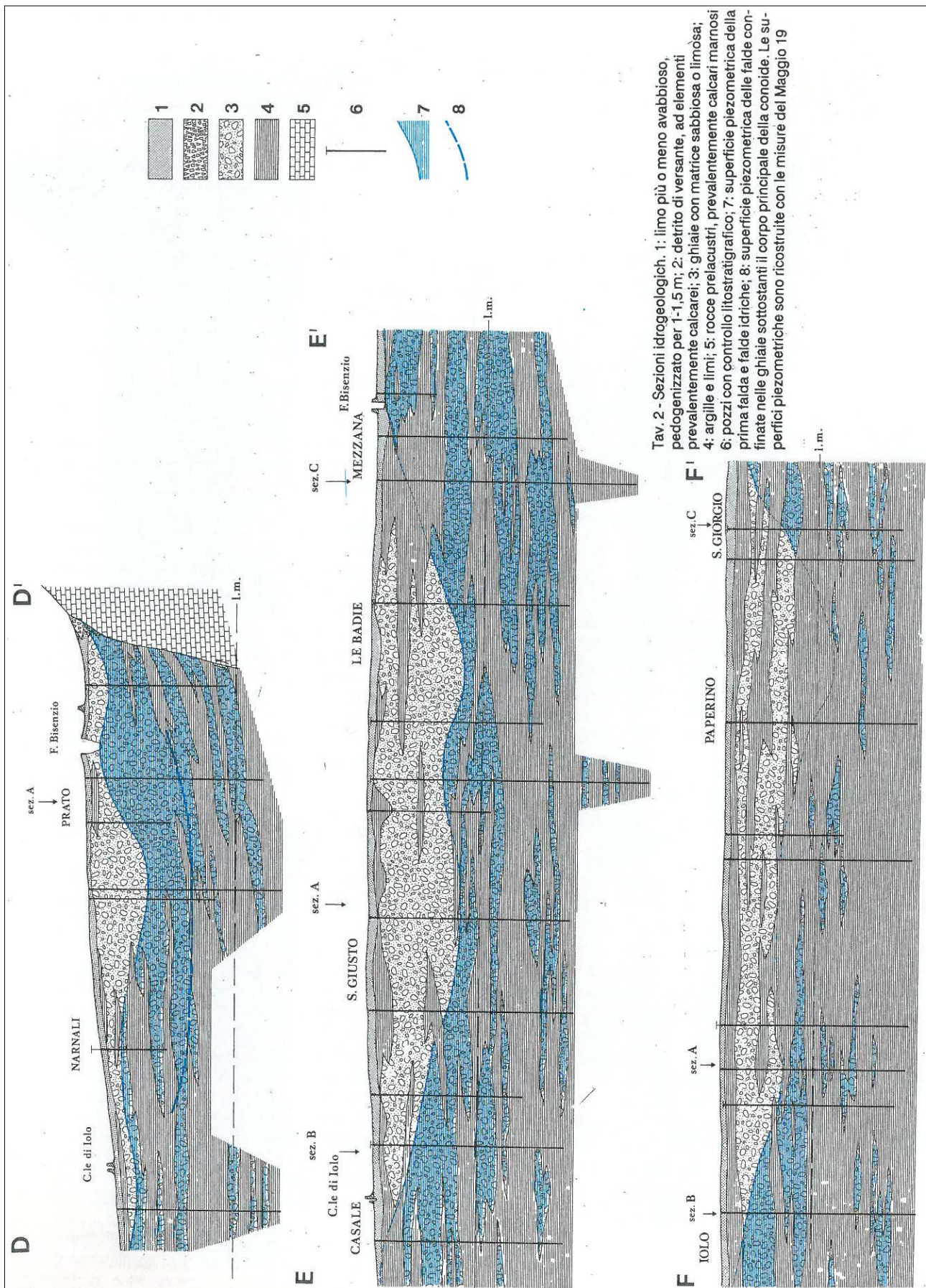




figura 12 - sezioni idrogeologiche DD', EE' e FF'





6. Le nuove indagini geofisiche

Dall'analisi preliminare delle indagini geognostiche e geofisiche già disponibili e implementate con la nuova ricerca nell'archivio comunale è emersa la necessità di variare il *“programma di minima indispensabile”*, stabilito in un primo momento nella convenzione tra Regione Toscana e Comune di Prato per l'effettuazione dello studio di MS.

A seguito degli incontri tecnici avuti periodicamente con il Settore Sismica durante lo svolgimento delle indagini, è emersa infatti l'opportunità di variare il numero e la tipologia delle stesse a favore di una migliore distribuzione sul territorio dei punti di indagine e della necessità di acquisire dati geofisici in particolari zone ritenute importanti per la definizione del modello geologico-tecnico di base che, rispetto allo studio di livello 1, poteva essere affinato e migliorato in alcuni aspetti strutturali.

In definitiva le nuove indagini complessivamente realizzate sono state le seguenti:

- **n.24** misure di rumore a stazione singola in assetto H/V (erano 10 nel programma di minima del Settore Sismica e 10 nella convenzione di incarico con l'Amm.ne Comunale);
- **n.7** indagini ESAC+MASW con Array 2D ortogonali con indagine MASW associata a ciascuna indagine ESAC (erano 5 nel programma di minima del Settore Sismica e 7 nella convenzione di incarico con l'Amm.ne Comunale);
- **n.9** indagini MASW (erano 4 nel programma di minima del Settore Sismica e 7 nella convenzione di incarico con l'Amm.ne Comunale).

Le indagini P/SH, previste in un numero di 3, sia dal Settore Sismica che nella convenzione di incarico con l'Amm.ne Comunale, non sono state realizzate in quanto, alla luce dei dati disponibili, non sono risultate necessarie a completare un quadro conoscitivo geognostico già sufficientemente ricco e articolato. Tali indagini sono state sostituite con un adeguato numero di indagini HVSr e MASW che si sono rivelate più utili e versatili nel contesto fisico e urbanistico pratese.

La maggior parte delle indagini è stata concentrata lungo le fasce pedecollinari di “raccordo” tra i rilievi della Calvana e della piana sottostante e nella zona di conoide apicale del fiume Bisenzio, dove si è rilevata la presenza di depositi alluvionali grossolani particolarmente cementati, caratterizzati da velocità tipiche di un “bedrock” sismico. Nel complesso con le nuove indagini effettuate e con quelle recuperate nell'archivio comunale si è potuto dettagliare meglio l'andamento del substrato litoide al di sotto dei terreni di copertura sia in termini di andamento delle isobate sia in termini di assetto strutturale con la messa in evidenza di alcune importanti strutture tettoniche. Queste strutture sono rappresentate da un sistema di faglie dirette che, a partire dai rilievi collinari presenti nella zona nord e nord-est, ribassa progressivamente il substrato litoide via via che si “scende” verso il centro della pianura.

Tutte le indagini geognostiche e geofisiche sopra indicate vanno ad implementare il database dei dati della Carta delle Indagini per la Microzonazione Sismica secondo gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica nell'ultima versione (4.1).

Nel *“Report delle indagini sismiche elaborate per lo studio di livello 2”* sono descritte la tipologia e la metodologia di indagine adottata, oltre alle elaborazioni strumentali di ciascuna prova.

7. La Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

La cartografia di base geologico-tecnica per la microzonazione sismica, prevista per giungere alla definizione della carta delle MOPS, è stata elaborata, in scala 1:5.000, all'interno



dell'area d'indagine individuata per lo studio di MS1.

Questo elaborato è il risultato dell'integrazione delle cartografie geologiche, geomorfologiche e litotecniche prodotte per lo studio di supporto al Piano Strutturale unitamente a tutti i dati litologici, stratigrafici, litotecnici e bibliografici acquisiti con la raccolta dati geognostici e con le indagini di nuova realizzazione.

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

La carta è corredata da tre sezioni geologico-tecniche di cui una orientata longitudinalmente rispetto all'asse della conoide (AA') e le altre due (BB' e CC') orientate trasversalmente ai rilievi collinari che bordano la zona di pianura del territorio comunale.

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

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

- *flysch calcarei, calcareo marnosi e calcareniti, con alternanza di litotipi, stratificati* [ALS della legenda ICMS 2018 versione 4.1] che comprende tutte le formazioni francamente lapidee, generalmente caratterizzate da $V_s > 800$ m/s, quali le litologie appartenenti alla Formazione di M. Morello e i Calcari a Calpionelle;
- *lapideo* [LP della legenda ICMS 2018 versione 4.1] raccoglie le formazioni che presentano una struttura massiva e un comportamento "rigido" alla scala della sollecitazione sismica, quali i Basalti ed i Gabbri;
- *lapideo fratturato/alterato* [SFLP della legenda ICMS 2018 versione 4.1] raccoglie le formazioni massive ma che presentano un comportamento "non rigido" alla scala della sollecitazione sismica a causa dell'elevato grado di fratturazione, quali i Diaspri;
- *alternanza di litotipi, stratificati fratturati/alterati* [SFALS della legenda ICMS 2018 versione 4.1] individua formazioni litoidi, caratterizzate da un elevato grado di fratturazione o alterazione a causa di intense deformazioni tettoniche, che possono non rappresentare un substrato rigido in termini di velocità delle onde S (V_s). In questa categoria sono inseriti la Formazione di Sillano e le Argille a Palombini.

Sulla base delle informazioni di carattere geologico-tecnico si è potuto individuare cinque diverse tipologie di terreni di copertura: *depositi alluvionali di piana inondabile* [GPpi], *depositi alluvionali di terrazzo fluviale* [GPtf], *detrito di versante* [GMfd], *depositi eluvio-colluviali* [GMec] e *terreni contenenti resti di attività antropica* [RIzz]. Ogni tipologia può essere generalmente considerata omogenea alla scala del sisma.

8. La carta delle Frequenze fondamentali dei depositi

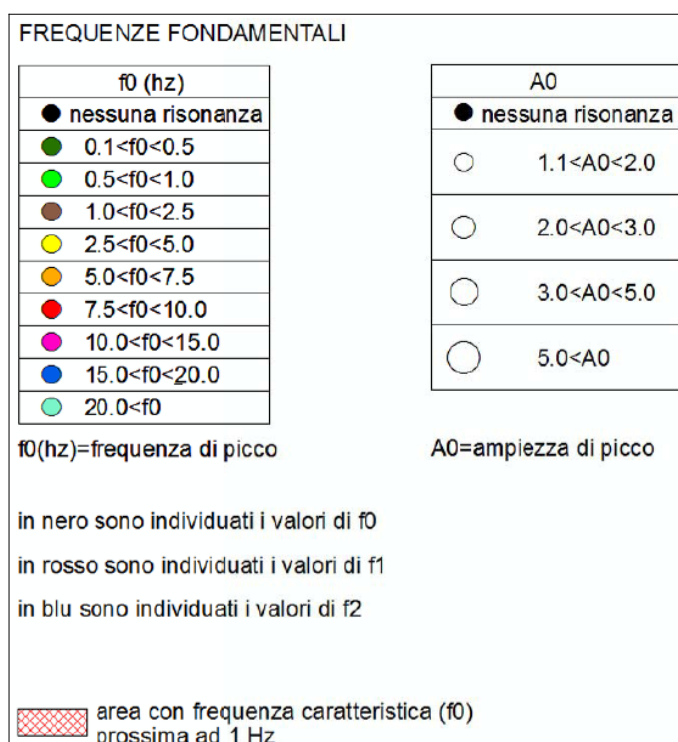
La carta delle frequenze fondamentali dei depositi per la microzonazione sismica, è stata realizzata a partire dalle misure sveditive di rumore ambientale mediante tecnica a stazione singola (HVSr) che vengono ubicate in carta attraverso un simbolo puntuale (O), ciascuna contraddistinta dal proprio nome identificativo. Il colore e la dimensione del simbolo variano



rispettivamente in funzione della frequenza fondamentale (f_0) e dell'ampiezza (A_0) di picco. I valori della frequenza fondamentale (f_0) sono stati suddivisi in dieci classi mentre i valori dell'ampiezza di picco sono stati divisi in cinque classi (figura 13). Per completezza, per le prove che hanno evidenziato ulteriori frequenze di risonanza secondarie (f_1 e f_2), sono stati riportati altrettanti simboli puntuali adiacenti a quello rappresentativo della frequenza fondamentale (f_0). In corrispondenza di ogni simbolo puntuale è stato inoltre riportato il valore di frequenza: in colore nero se riferito al valore di f_0 , in rosso se riferito al valore di f_1 ed in blu se riferito al valore di f_2 .

Su richiesta del Settore Sismica della Regione Toscana, è stata inoltre evidenziata con un retino rosso un areale in cui i depositi di copertura sono caratterizzati da una frequenza fondamentale prossima ad 1 Hz.

figura 13 - estratto della legenda della carta delle frequenze fondamentali dei depositi



Come spiegato in precedenza, attraverso formulazioni empiriche è possibile risalire dal valore della frequenza fondamentale (f_0) all'ordine di grandezza dello spessore dei terreni di copertura e dal valore dell'ampiezza di picco (A_0) all'entità del contrasto d'impedenza tra le diverse litologie che compongono il substrato. Tramite queste relazioni si possono distinguere qualitativamente le zone caratterizzate da assenza di fenomeni di risonanza significativi (con nessun massimo relativo significativo di f_0 nell'intervallo 0,1-10 Hz) dalle zone caratterizzate dalla presenza di fenomeni di risonanza. Inoltre, sulla base della stima dell'ampiezza del picco fondamentale, possono essere distinte, in via del tutto qualitativa, le zone caratterizzate da alti contrasti di impedenza ed aree caratterizzate da minore contrasto.

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



simili a quelle riscontrate nei terreni e quindi subire i pericolosi effetti di risonanza.

Il grafico seguente, utilizzando la correlazione empirica

$$T_{ed} \cong C h_{ed}^{3/4}$$

dove: T_{ed} indica il periodo proprio di vibrazione dell'edificio espresso in secondi,

C è un coefficiente che dipende dalla tipologia costruttiva dell'edificio (muratura o telaio c.a.)

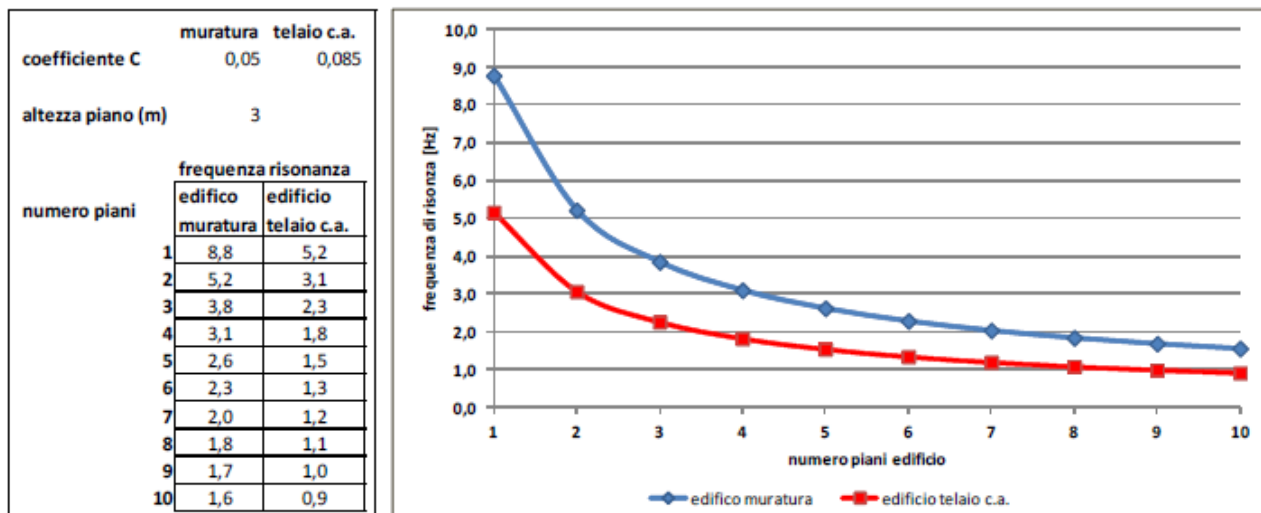
h_{ed} è l'altezza dell'edificio in metri

e ricordando che la frequenza è l'inverso del periodo

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

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

figura 14 – rapporti indicativi fra numero dei piani di un edificio e sua frequenza di vibrazione



9. La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

Questo elaborato rappresenta la principale sintesi dello studio di microzonazione in quanto individua gli areali (microzone) dove, sulla base di osservazioni geologiche, geomorfologiche, dei dati geognostici e geofisici, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.).

Di fondamentale importanza diviene quindi l'individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato da considerare "bedrock" rigido (ovvero delle litologie caratterizzate da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S – convenzionalmente superiori a 800 m/sec - significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti), accompagnata dalle informazioni che abbiamo visto nel capitolo precedente sulla frequenze fondamentali dei depositi (stima approssimativa della profondità del contrasto di impedenza sismica e della intensità attesa). Evidentemente assume particolarmente rilievo l'individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte potenzialmente in grado di causare inversioni della velocità di propagazione delle onde di taglio ed effetti di risposta sismica locale bi e tri-dimensionali.

La carta delle MOPS è quindi finalizzata ad ottenere un adeguato dettaglio nella:



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

La sintesi delle informazioni e la perimetrazione delle diverse zone permette di:

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

Per quanto riguarda il fenomeno della liquefazione, come verificato dallo studio di microzonazione di livello 1 (vedi paragrafo 8.6.1 della Relazione Illustrativa di corredo allo studio di MS1), all'interno dell'area di studio non sono stati riconosciuti livelli sabbiosi che, in condizioni dinamiche, possono risultare suscettibili a tale fenomeno.

9.1. La legenda della carta MOPS

Rispetto alle ultime indicazioni ad oggi disponibili (*Standard di rappresentazione e archiviazione informatica* versione 4.1 del novembre 2018) si è preferito mantenere nella legenda in carta la rappresentazione con le colonne stratigrafiche, poiché ci sembra risultare più intuitiva e capace di rendere maggiormente leggibile l'elaborato anche da parte delle professionalità che dovranno utilizzarne i risultati a fini pianificatori o di progettazione di dettaglio.

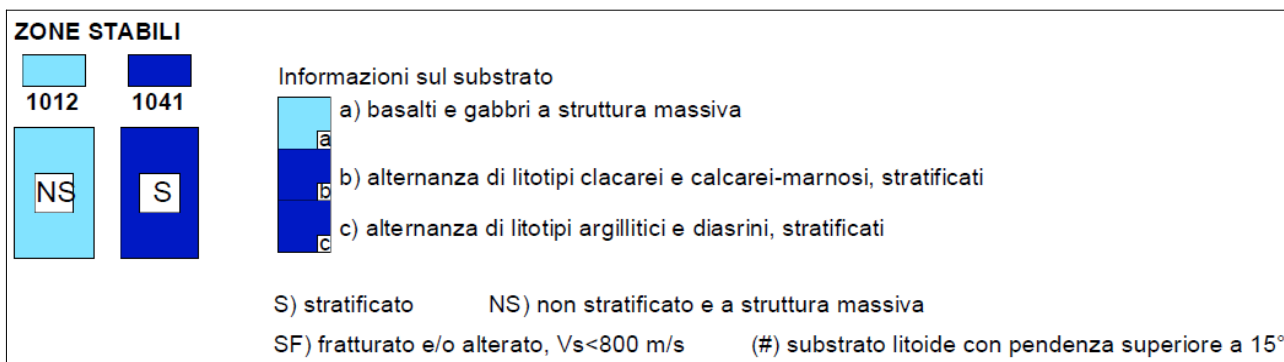
Come più volte richiamato nei capitoli precedenti, le carte MOPS accorpano in tre tipologie di zone le modalità di risposta alla sollecitazione sismica che ci si può attendere dalle caratteristiche del substrato:

- le *zone stabili*, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli calcolati dagli studi di pericolosità di base che forniscono i valori di accelerazione indicati per la categoria A di sottosuolo negli allegati alle NTC 2018 – D.M. 17.01.2018;
- le *zone stabili suscettibili di amplificazione sismica*, dove il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche (presenza di coperture sedimentarie) e/o morfometriche del territorio (pendenza dei versanti, creste, valli strette, ecc.), anche sepolte. In questo caso, si dovrà indagare, alla scala del progetto di dettaglio, l'effetto di amplificazione connesso alla risposta sismica locale utilizzando gli abachi delle NTC 2018 – categorie di sottosuolo - o provvedendo attraverso specifiche indagini ed analisi dove gli abachi semplificati non sono applicabili;
- le *zone suscettibili di instabilità*, cioè passibili di attivazione/riattivazione di fenomeni di deformazione permanente del terreno indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazioni superficiali, cedimenti differenziali, ecc.) da indagare con specifiche indagini geotecniche e geofisiche in relazione allo stato di attività in accordo alle prescrizioni dettate per le aree a diversa pericolosità geologica.

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

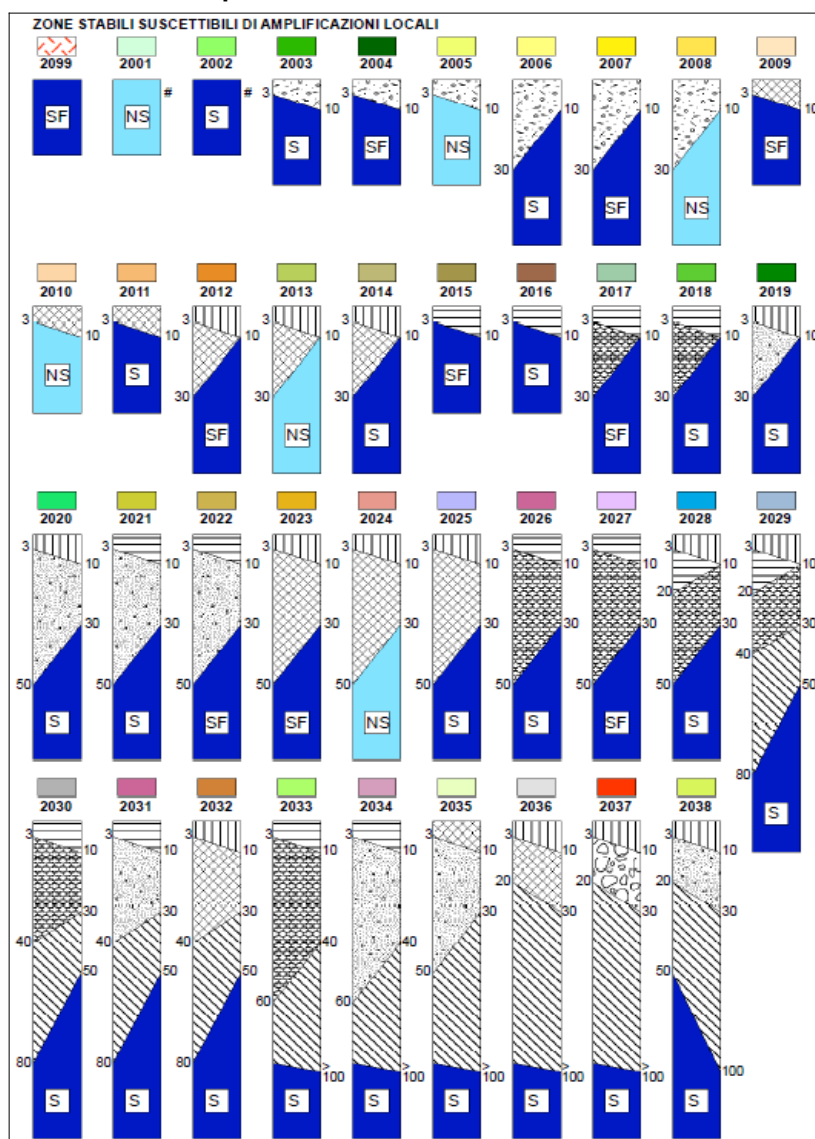


9.1.1. Zone stabili



Ricomprenscono le zone dove affiorano le formazioni rocciose in posto, con spessori di eventuali coltri di alterazione o depositi colluviali inferiori a 3 metri (spessore che non comporta fenomeni di amplificazione dell'onda sismica rilevanti per le strutture edilizie ed i manufatti in genere, assimilabili a "bedrock" sismico (LP e ALS) con acclività $< 15^\circ$. Queste zone sono localizzate sui rilievi collinari che bordano a nord e nord-est la zona di pianura.

9.1.2. Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali





Questa serie di microzone comprendono quelle dove si hanno terreni di copertura di spessore maggiore di 3 metri e con valori di Vs significativamente inferiori a quelli del substrato geologico (zone da 2003 a 2038). Con il codice 2099 si indica una microzona in cui il substrato geologico risulta molto fratturato e/o fortemente alterato a causa di intense deformazioni tettoniche. Per questo motivo può non rappresentare un substrato rigido ("bedrock") in termini di velocità delle onde S (Vs). In queste condizioni, infatti, si possono generare fenomeni di amplificazione dello scuotimento sismico in superficie collegati alla presenza di una interfaccia fra materiali con una significativa differenza di impedenza sismica in prossimità della superficie. Infine, per considerare anche i possibili effetti di amplificazione dovuti alle condizioni topografiche, sono state individuate le aree dove le formazioni litoidi identificate come "bedrock" sismico affiorano su versanti con pendenza superiore a 15° (zone 2001 e 2002).

Sulla base delle numerose indagini geognostiche disponibili, sono stati suddivisi i terreni di copertura in otto tipologie, ciascuna delle quali considerata intrinsecamente omogenea dal punto di vista della risposta sismica (figura 15 seguente):

- ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di detrito di versante e depositi eluvio-colluviali, mediamente addensate/consistenti, struttura omogenea, con Vs comprese tra 250 e 350 m/s;
- limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di piana inondabile, da poco a moderatamente consistenti, stratificati, con Vs comprese tra 150 e 250 m/s;
- ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di piana inondabile mediamente addensate, stratificate, con Vs comprese tra 250 a 350 m/s;
- ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla di piana inondabile, mediamente addensate/consistenti, stratificate, con Vs comprese tra 250 e 400 m/s;
- ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di conoide alluvionale da moderatamente addensate ad addensate, struttura omogenea, con Vs comprese tra 350 e 550 m/s;
- ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla di piana inondabile, addensate/consistenti, struttura omogenea, con Vs comprese tra 500 e 650 m/s;
- ghiaie cementate con granulometria poco assortita, struttura omogenea, con Vs comprese tra 700 e 900 m/s;
- argille ghiaiose o sabbiose, argille limose di origine lacustre mediamente consistenti, stratificati, con Vs comprese tra 300 e 400 m/s.

Per quanto riguarda le zone costituite da *"terreni contenenti resti di attività antropiche"*, queste non sono state considerate per la redazione della carta MOPS in quanto si tratta di aree di ridotte dimensioni, non utilizzate ai fini edilizi o pianificatori, che se considerate avrebbero portato ad un'ulteriore e poco significativa frammentazione delle microzone.



Figura 15 – litologia dei terreni di copertura della carta MOPS

LITOLOGIA DEI TERRENI DI COPERTURA	
	ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di detrito di versante e depositi eluvio-colluviali, mediamente addensate/consistenti, struttura omogenea, Vs comprese tra 250 e 350 m/s
	limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di piana inondabile da poco a moderatamente consistenti, stratificati, Vs comprese tra 150 e 250 m/s
	ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di piana inondabile mediamente addensate, stratificate, Vs comprese tra 250 a 350 m/s
	ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla di piana inondabile, mediamente addensate/consistenti, stratificate, Vs comprese tra 250 e 400 m/s
	ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di conoide alluvionale da moderatamente addensate ad addensate, struttura omogenea, Vs comprese tra 350 e 550 m/s
	ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla di piana inondabile, addensate/consistenti, struttura omogenea, Vs comprese tra 500 e 650 m/s
	ghiaie cementate con granulometria poco assortita, struttura omogenea, Vs comprese tra 700 e 900 m/s
	argille ghiaiose o sabbiose, argille limose di origine lacustre mediamente consistenti, stratificati, Vs comprese tra 300 e 400 m/s

9.1.3. Zone suscettibili di instabilità

Sono qui raccolte tutte le porzioni di territorio dove si hanno evidenze geomorfologiche di fenomeni che possono essere attivati o riattivati dall'evento sismico. Queste zone sono limitate ai soli rilievi collinari che bordano a nord e nord-est la zona di pianura.

figura 16 – zone suscettibili di instabilità

ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'	
	ZA _{FR} - zona di attenzione per instabilità di versante attiva

La legenda della carta delle MOPS sottolinea anche quelle forme di superficie e sepolte che possono indicare l'insorgenza di fenomeni 2D connessi alla presenza di strutture fortemente direzionali (orli di scarpate e di terrazzi fluviali, assi di paleo-alveo) che possono focalizzare l'onda sismica relativamente alla particolare morfologia locale.

figura 17 – forme di superficie e sepolte

FORME DI SUPERFICIE E SEPOLTE	
	conoide alluvionale
	falda detritica
	orlo di scarpata morfologica (h=10-20 m)
	orlo di scarpata morfologica (h>20 m)
	asse di paleoalveo

Sono infine riportati, con apposita simbologia, i punti relativi alle indagini di microtremore a



stazione singola (HVSr), con indicato il numero di riferimento di ciascuna misura per una facile consultazione dei relativi report dettagliati nel documento *“Report delle indagini sismiche elaborate per lo studio di livello 2”*.

10. Carte dei fattori di amplificazione

Facendo riferimento agli elaborati precedentemente descritti, in particolare alla carta delle frequenze fondamentali dei depositi ed a quella delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), si è proceduto alla realizzazione delle carte di microzonazione sismica di livello 2, valutando un doppio intervallo di integrazione del fattore di amplificazione in accelerazione (FHa): il primo tra 0,1 e 0,5 secondi (FHa_{0,1-0,5}), significativo per le strutture più rigide, a basso periodo proprio; il secondo tra 0,5 e 1,0 secondi (FHa_{0,5-1,0}), per le strutture più flessibili, ad elevato periodo proprio.

Per l'attribuzione dei fattori di amplificazione sono stati utilizzati gli abachi regionali per la stesura degli studi di microzonazione di livello 2 (Appendice 5 del GRT n.1162/2018). Per l'utilizzo degli abachi di secondo livello si è seguito la seguente procedura:

- determinazione della macro-area di appartenenza del Comune, che in questo caso risulta essere *“L'area di transizione”* (vedi figura 18 e tabella 3);
- stima del valore di accelerazione di base (ag) per un tempo di ritorno di 475 anni, definito pari a 0,15 g per le macro-aree della Toscana appenninica e dell'area di transizione;
- in funzione della profondità del substrato sismico, le microzone della carta MOPS sono state suddivise in due classi, quelle con profondità del substrato superiore a 30 metri e quelle con profondità del substrato inferiore a 30 metri. Questa informazione permette di scegliere l'abaco più idoneo al contesto sismostratigrafico di ciascuna verticale di analisi (figura 19);
- infine, avendo a disposizione, per ogni verticale di analisi, il dato della frequenza fondamentale ed il valore di Vs30 o Vsh (figura 20), è stato possibile ricavare i valori di FHa_{0,1-0,5} e FHa_{0,5-1,0}.

figura 18 – suddivisione del territorio toscano in macro-aree per la scelta degli abachi di secondo livello

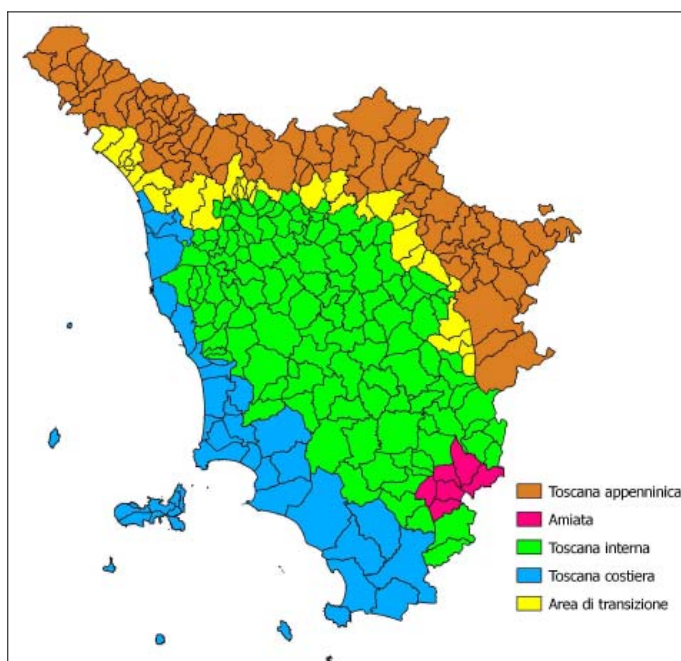




tabella 3- suddivisione del territorio toscano in macro-aree per la scelta degli abachi di secondo livello

Area di transizione	MS	Carrara, Massa, Montignoso
	LU	Camaione, Capannori, Forte dei Marmi, Lucca, Massarosa, Pietrasanta, Seravezza
	PT	Agliana, Buggiano, Massa e Cozzile, Montecatini Terme, Pescia, Pieve a Nievole, Serravalle Pistoiese, Uzzano
	FI	Calenzano, Fiesole, Pelago, Pontassieve, Reggello, Sesto Fiorentino
	AR	Castelfranco Piandiscò, Castiglion Fibocchi, Civitella in Val di Chiana, Foiano della Chiana, Loro Ciuffenna, Marciano della Chiana, Monte San Savino
	PO	Prato

figura 19 – abachi per la realizzazione degli studi di livello 2 distinti per profondità del substrato sismico

Area di transizione (substrato geologico > 30 m)

Valore di ag (TR=475 anni) $\geq 0.15g$

0.1 - 0.5 s

Vs30 (m/s) f0(Hz)	<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
<200	0.7	1.0								0.8
300	1.1	1.5	1.8	2.0	2.0	1.8	2.0	1.9	2.0	1.6
500	1.2	1.4	1.8	1.9	1.8	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7
700	1.2	1.2	1.6	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6
≥ 800	1.1	1.2		1.5	1.3	1.3			1.4	1.4

0.5 - 1 s

Vs30 (m/s) f0(Hz)	<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
<200	1.3	2.0								1.3
300	1.5	2.3	2.0	1.9	2.1	1.9	1.8	1.8	1.3	2.2
500	1.4	2.0	1.8	1.5	1.6	1.7	1.5	1.5	1.5	1.8
700	1.2	1.7	1.6	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4
≥ 800	1.5	2.0		1.3	1.1	1.1			1.3	1.3

Area di transizione (substrato geologico ≤ 30 m)

Valore di ag (TR=475 anni) $\geq 0.15g$

0.1 - 0.5 s

VsH (m/s) f0(Hz)	<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
<200	0.8	1.3	1.9	2.2	2.1	2.0	1.8	1.8	1.4	1.8
300	0.6	1.3	1.9	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.4	1.9
500		1.0	1.8	1.8	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.7
700	0.8	1.1			1.4	1.6	1.6	1.5	1.3	1.5
≥ 800									1.3	1.3

0.5 - 1 s

VsH (m/s) f0(Hz)	<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
<200	1.6	2.2	1.9	1.6	1.3	1.1	1.1	1.1	1.0	1.4
300	1.5	2.3	1.8	1.5	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.6
500		2.2	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.2
700	1.6	2.0			1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1
≥ 800									1.0	1.0

figura 20 – classi relative ai valori dei due parametri rappresentativi della situazione sismostratigrafica locale: frequenza di risonanza (f0) e velocità media delle onde S (Vs30-Vsh)

Classi		
frequenza (Hz)	f0<1	
	1.5	1≤f0<2
	2.5	2≤f0<3
	3.5	3≤f0<4
	4.5	4≤f0<5
	5.5	5≤f0<6
	6.5	6≤f0<7
	7.5	7≤f0<8
velocità (m/s)	≥ 8	
	Vs<200	
	300	200≤Vs<400
	500	400≤Vs<600
	700	600≤Vs<800
	Vs≥800	



Nelle tabelle 4 e 5 sono riportati per ogni microzona i range di V_{s30}/V_{sh} , quelli di f_0 ed i valori del fattore di amplificazione FH_a per gli intervalli di periodo compresi tra 0,1s e 0,5s e tra 0,5s e 1,0s. Per alcune microzone sono riportati più di un valore del fattore di amplificazione, questo è dovuto al fatto che in alcuni casi la frequenza caratteristica (f_0) di una microzona può variare leggermente all'interno dell'area di studio e pertanto il valore di f_0 può ricadere in una diversa classe tra quelle previste dagli abachi.

tabella 4 – range di V_{s30}/V_{sh} , range di f_0 e fattori di amplificazione per gli intervalli di periodo compresi tra 0,1-0,5 s e 0,5-1,0 s per le microzone caratterizzate da una profondità del *substrato geologico* ≤ 30 m

MOPS	V_{s30}/V_{sh} (m/s)	f_0 (Hz)	FH_a 0,1-0,5s	FH_a 0,5-1,0s
2099	-	-	1,2	1,2
2001	-	-	1,1	1,1
2002	-	-	1,1	1,1
2003	200< V_s <400	$f_0 > 8$	1,4	1,0
2003	200< V_s <400	7< f_0 <8	1,6	1,1
2004	200< V_s <400	$f_0 > 8$	1,4	1,0
2004	200< V_s <400	7< f_0 <8	1,6	1,1
2005	200< V_s <400	$f_0 > 8$	1,4	1,0
2005	200< V_s <400	7< f_0 <8	1,6	1,1
2006	200< V_s <400	5< f_0 <6	1,8	1,1
2006	200< V_s <400	3< f_0 <4	2,0	1,5
2007	200< V_s <400	5< f_0 <6	1,8	1,1
2007	200< V_s <400	3< f_0 <4	2,0	1,5
2008	200< V_s <400	5< f_0 <6	1,8	1,1
2009	200< V_s <400	$f_0 > 8$	1,4	1,0
2010	200< V_s <400	$f_0 > 8$	1,4	1,0
2011	200< V_s <400	$f_0 > 8$	1,4	1,0
2011	200< V_s <400	7< f_0 <8	1,6	1,1
2012	200< V_s <400	5< f_0 <6	1,8	1,1
2012	200< V_s <400	4< f_0 <5	1,9	1,2
2012	200< V_s <400	3< f_0 <4	2,0	1,5
2013	200< V_s <400	3< f_0 <4	2,0	1,5
2014	200< V_s <400	4< f_0 <5	1,9	1,2
2014	200< V_s <400	2< f_0 <3	1,9	1,8
2015	400< V_s <600	7< f_0 <8	1,5	1,1
2016	400< V_s <600	7< f_0 <8	1,5	1,1
2016	200< V_s <400	6< f_0 <7	1,7	1,1
2017	200< V_s <400	2< f_0 <3	1,9	1,8
2018	200< V_s <400	2< f_0 <3	1,9	1,8
2019	200< V_s <400	3< f_0 <4	2,0	1,5



tabella 5 – range di V_{s30}/V_{sh} , range di f_0 e fattori di amplificazione per gli intervalli di periodo compresi tra 0,1-0,5 s e 0,5-1,0 s per le microzone caratterizzate da una profondità del *substrato geologico* > 30 m

MOPS	V_{s30}/V_{sh} (m/s)	f_0 (Hz)	FA 0,1-0,5s	FA 0,5-1,0s
2020	200< V_s <400	2< f_0 <3	1,8	2,0
2021	200< V_s <400	1< f_0 <2	1,5	2,3
2022	200< V_s <400	1< f_0 <2	1,5	2,3
2023	200< V_s <400	1< f_0 <2	1,5	2,3
2023	200< V_s <400	3< f_0 <4	2,0	1,9
2024	200< V_s <400	2< f_0 <3	1,8	2,0
2025	200< V_s <400	3< f_0 <4	2,0	1,9
2025	200< V_s <400	1< f_0 <2	1,5	2,3
2026	400< V_s <600	4< f_0 <5	1,8	1,6
2027	400< V_s <600	4< f_0 <5	1,8	1,6
2028	400< V_s <600	4< f_0 <5	1,8	1,6
2029	400< V_s <600	4< f_0 <5	1,8	1,6
2030	400< V_s <600	5< f_0 <6	1,9	1,7
2031	400< V_s <600	1< f_0 <2	1,4	2,0
2031	200< V_s <400	1< f_0 <2	1,5	2,3
2032	200< V_s <400	1< f_0 <2	1,5	2,3
2033	400< V_s <600	5< f_0 <6	1,9	1,7
2034	200< V_s <400	f_0 <1	1,1	1,5
2035	200< V_s <400	f_0 <1	1,1	1,5
2036	200< V_s <400	f_0 <1	1,1	1,5
2037	200< V_s <400	f_0 <1	1,1	1,5
2038	200< V_s <400	f_0 <1	1,1	1,5
2038	200< V_s <400	1< f_0 <2	1,2	2,3

L'analisi delle due carte di microzonazione sismica evidenzia che le aree caratterizzate dai valori del fattore di amplificazione più elevati, per entrambi i range di periodo considerati, risultano quelle di raccordo tra la zona di pianura ed i rilievi collinari. In particolare, relativamente al range di periodo compreso tra 0,1 e 0,5 secondi, i valori massimi del fattore di amplificazione, compresi tra 1,9 e 2,0, sono caratteristici delle zone dove il substrato sismico raggiunge una profondità massima generalmente compresa tra 30 e 50 metri. Relativamente al range di periodo compreso tra 0,5 e 1,0 secondi, i valori massimi del fattore di amplificazione, compresi tra 2,0 e 2,3, sono caratteristici delle zone dove il substrato sismico raggiunge una profondità massima generalmente compresa tra 50 e 70 metri. A causa del particolare modello geologico-strutturale, condizionato da importanti strutture tettoniche, all'interno dell'area di studio risultano presenti sia zone in cui è maggiore il fattore di amplificazione a corto periodo ($FH_{0,1-0,5}$), sia zone in cui prevale il fattore di amplificazione ad alto periodo ($FH_{0,5-1,0}$). Per questo motivo è stata redatta la carta di microzonazione sismica relativa al fattore di amplificazione massimo (FH_{max}) in cui, per ogni microzona, viene riportato il valore del fattore di amplificazione maggiore tra i due disponibili.

Questo elaborato rappresenta il riferimento per la determinazione cautelativa della



pericolosità sismica nell'ambito degli adempimenti previsti dal DPGR 53R/2011 e, di conseguenza, la carta della pericolosità sismica di supporto al Piano Strutturale dovrà essere rielaborata in funzione degli esiti di questo studio.

In ogni caso, data la presenza nella zona apicale della conoide del Bisenzio di terreni grossolani caratterizzati da un elevato grado di cementazione posti al di sopra di terreni lacustri caratterizzati, invece, da velocità delle onde sismiche significativamente più basse (possibile effetto di inversione di velocità) ed alla presenza di strutture tettoniche sepolte che interessano il substrato litoide, si ritiene possibile il verificarsi di fenomeni di amplificazione sismica per “effetti stratigrafici” e “2D” la cui entità potrebbe non essere correttamente valutata attraverso l'utilizzo degli abachi regionali per la stesura di microzonazione di livello 2 con i quali sono stati definiti i fattori di amplificazione.

Prato, 2 Agosto 2019

Dott.Geol.Alberto Tomei

Documento informatico firmato digitalmente ai
sensi e per gli effetti del D.P.R. 28 dicembre 2000
n. 445 e del D.Lgs. 7 marzo 2005 n. 82 e norme colleg