



PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile

REGIONE TOSCANA



CONFERENZA DELLE REGIONI E
 DELLE PROVINCE AUTONOME

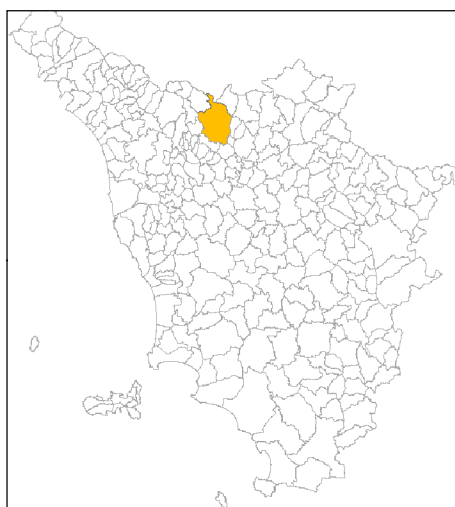
Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Toscana

Comune di Pistoia



Regione Toscana	Soggetto realizzatore GTI Geologia Tecnica Mannori & Burchietti Geologi Associati DREAM Italia	Data luglio 2013
Comune Pistoia	Indagini Sismiche Mannori & Burchietti Geologi Associati	

Indice

1 – Introduzione	pag. 3
2 - Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	pag. 4
3 - Assetto geologico e geomorfologico dell'area	pag. 5
4 - Dati geotecnici e geofisici	pag. 7
4.1 - Dati geotecnici	pag. 7
4.2 - Dati geofisici	pag. 9
4.2.1 – Raccolta dati	pag. 9
4.2.2 – Profili a rifrazione P/SH	pag. 9
4.2.3 – Profili ESAC	pag.16
4.2.4 – Misure H/V	pag.17
5 - Modello del sottosuolo	pag.19
6 - Interpretazioni ed incertezze	pag.21
7 - Metodologie di elaborazione dei risultati	pag.21
8 - Elaborati cartografici	pag.21
8.1 - Carta delle indagini	pag.21
8.2 - Carta geologica	pag.22
8.3 - Carta delle isobate	pag.23
8.4 - Carta delle frequenze	pag.23
8.5 - Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica	pag.23
8.6 - Carta delle MOPS (livello1)	pag.26

Allegati

- Carta delle indagini
- Carta geologica
- Carta delle isobate
- Carta delle frequenze
- Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica
- Carta delle MOPS (livello1)
- DVD contenente la documentazione informatica completa redatta secondo le istruzioni tecniche e le cartografie in formato PDF

- Allegato contenente le indagini sismiche a rifrazione
- Allegato contenente le indagini HVSR
- Allegato contenente le indagini ESAC/Masw

- DVD contenente la documentazione informatica completa redatta secondo le istruzioni tecniche e tutti gli allegati in formato PDF

1 – Introduzione

Il presente studio è stato affidato ad un'associazione temporanea tra GTI Geologia Tecnica, Mannori & Burchietti Geologi Associati e Dream Italia srl. Si tratta di strutture che lavorano da molto tempo sul territorio, e che, in particolare GTI Geologia Tecnica, hanno collaborato negli ultimi quarant'anni, ad un gran numero di studi di carattere geotecnico di corredo alle pratiche edilizie come moltissime sono state anche le progettazioni per perforazioni di pozzi per acqua, data la specifica vocazione vivaistica di gran parte dell'area di pianura. In varie occasioni, a partire dalla fine degli anni '70, sono state elaborate delle sintesi dei dati di sottosuolo in chiave litostratigrafica, e soprattutto idrogeologica, con finalità scientifiche o legate agli studi di pianificazione territoriale.

Il presente studio si propone una revisione critica dei dati a disposizione non solo in termini litostratigrafici, ma anche, con il contributo delle numerose indagini geofisiche, in prospettiva sismica. La costruzione dei modelli presentati in questo studio ha tenuto conto degli aspetti morfologici, geologici e sismici secondo un processo iterativo che ha comportato una revisione continua dei dati via via che venivano studiati i singoli aspetti. In particolare per il territorio di pianura, è stata eseguita preliminarmente un'analisi speditiva della morfologia dell'intera area Pistoia Prato Firenze, in modo da definirne gli elementi maggiormente evidenti. Successivamente sono stati valutati tutti i dati di sottosuolo (pozzi, sondaggi e indagini geofisiche) disponibili con l'obiettivo di ricostruire le isobate del substrato e la composizione dei terreni di copertura. Infine sono state eseguite le indagini sismiche previste nell'ambito di questo progetto.

La sintesi di tutti questi dati, elaborati secondo questo processo, ha permesso la costruzione del modello geologico e geofisico dell'area.

Lo studio ha interessato l'intera area di pianura, mentre per la porzione di territorio collinare sono stati analizzati i centri abitati di San Felice, Piteccio, San Mommè, Pracchia, Cireglio, Le Piastre e Orsigna.

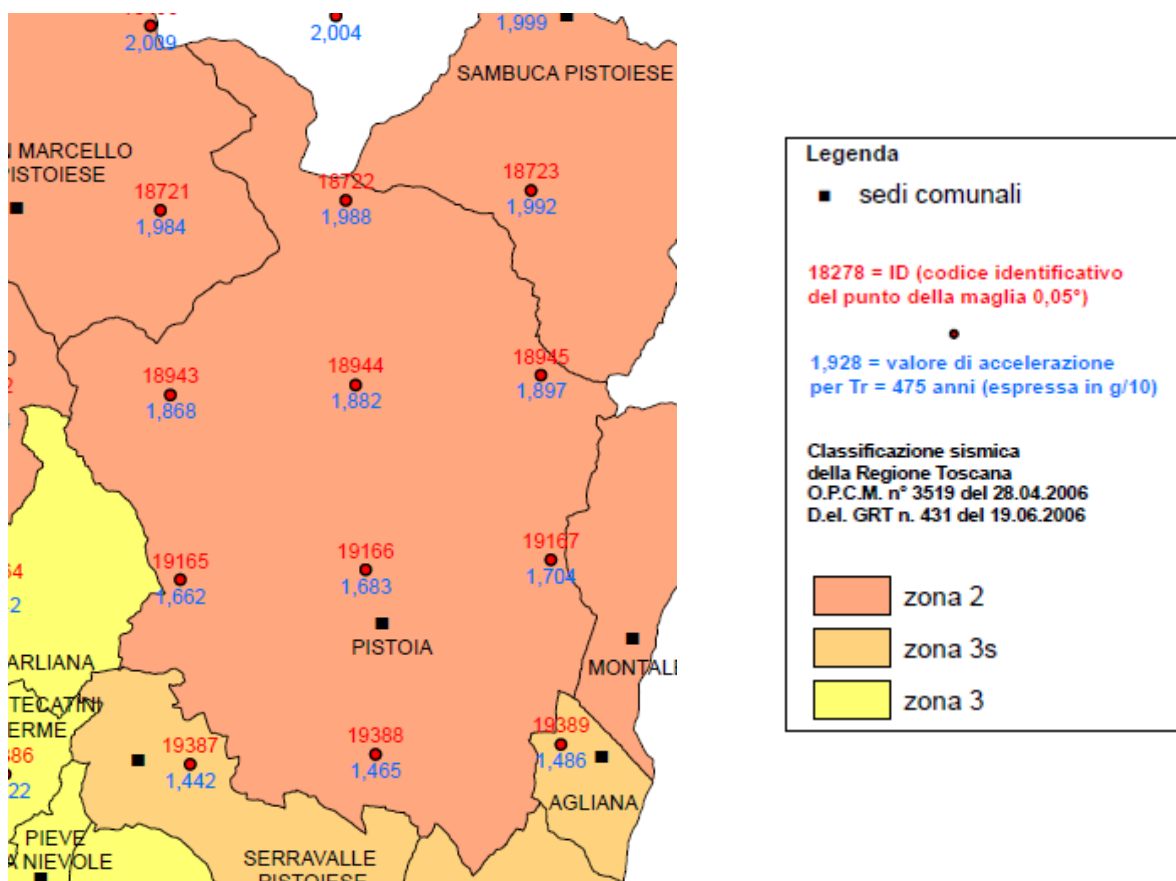
Rispetto alle indagini minime indicate nel bando regionale (3 profili P/SH, 3 indagini ESAC, 50 registrazioni H/V), nel corso del presente lavoro sono state eseguite, come offerta aggiuntiva, ulteriori n. 8 profili sismici P/SH, n. 4 indagini ESAC e n. 15 misure H/V.

2 - Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

Il territorio comunale di Pistoia ricade in Zona 2 secondo la classificazione sismica della Regione Toscana OPCM 3519/06 e DGRT 431/06.

Come si vede dal figura riportata di seguito, le accelerazioni massime attese per il periodo di riferimento Tr 475 variano da un massimo di circa 2.0 nell'estrema porzione settentrionale ad un minimo di poco meno di 1.5 nella parte meridionale, in corrispondenza della parte centrale della pianura.

Su base storica non ci sono notizie di eventi catastrofici verificatisi nel territorio pistoiese; gli unici riferimenti in merito sono delle osservazioni di alcuni esperti di architettura storica che hanno rilevato dei rifacimenti atipici in elementi cuspidali in alcuni campanili della città, il cui primo impianto risale all'epoca medioevale. Alcuni di questi rifacimenti sono stati messi in relazione ad eventi sismici, pur senza la presenza di prove documentali certe.



3 - Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Il territorio comunale di Pistoia è diviso in due parti ben distinte dal punto di vista geomorfologico. La parte a nord è occupata dai rilievi collinari e montani dell'Appennino, la parte a sud, dove si trova l'abitato del capoluogo, è completamente pianeggiante e occupa la porzione nord-ovest del bacino Pistoia-Firenze.

Zona collinare e montana

Inizia alla periferia nord della città di Pistoia, raggiunge il crinale appenninico ad una altezza di oltre 1000 metri s.l.m., si estende anche oltre lo spartiacque nell'alta valle del F. Reno e nella valle dell'Orsigna, tributarie dell'Adriatico. Le quote più alte si rilevano proprio nell'alta valle dell'Orsigna dove si superano i m 1700 s.l.m.

Dal punto di vista morfologico la parte collinare e montana è costituita da versanti molto acclivi con una pendenza media intorno al 35%. Sul versante adriatico l'alta valle del Reno e la valle dell'Orsigna sono molto incise con fondi valle stretti e per lunghi tratti difficilmente accessibili. Sul versante tirrenico le vallate principali sono quelle dei torrenti Ombrone, Brana e Bure, anch'esse molto incise, separate da dossi spartiacque in genere molto stretti. L'impressione evidente è quella di un ambiente in forte erosione con vallate che ancora sono ben lontane dal raggiungimento di un profilo d'equilibrio stabile.

Dal punto di vista litologico, i rilievi appenninici pistoiesi sono caratterizzati da affioramenti estesi di arenarie dei flysch terziari in tutte le loro varianti; dal Macigno con arenarie per lo più a grana grossa alle formazioni più esterne, generalmente a grana fine e con abbondante componente siltitica. Affioramenti di argilliti, riferibili ai complessi Liguridi (esclusivamente formazioni del bacino Sillano-Alberese) si trovano in affioramenti non troppo estesi, soprattutto lungo il bordo della pianura nella zona nord ed ovest della città di Pistoia. Un elemento di una certa importanza da segnalare è l'assenza di estesi affioramenti di depositi detritici, di spessore significativo; esiste certamente una copertura detritica, ma quasi ovunque si tratta di coperture eluviali di spessore non superiore a uno-due metri, di scarso significato in termini di predisposizione al dissesto; fanno eccezione in questo senso le zone di Cireglio e San Mommè dove aree di antichi terrazzi sono coperte da depositi colluviali di spessore consistente (a Cireglio spessori superiori anche a 20 metri).

Dal punto di vista strutturale sono da segnalare: le faglie dirette distensive che delimitano a nord il bacino Pistoia-Firenze e le faglie dirette/trasformi che delimitano ad ovest il bacino stesso. Il sistema di faglie a nord si sviluppa in gran parte al di sotto della copertura fluvio-lacustre e interessa

il substrato poco a nord della città di Pistoia; il sistema a ovest mette a contatto le arenarie Macigno con i terreni argillitici di tipo Ligure lungo tutto il bordo occidentale del bacino. Nelle parti collinari e montane le carte geologiche di dettaglio mettono in evidenza le faglie inverse che segnano gli accavallamenti fra le varie scaglie tettoniche tutte costituite da formazioni arenacee (Arenarie Macigno, Arenarie di M. Modino, Arenarie di M. Cervarola).

Zona di pianura

La parte a sud e sud-est del territorio comunale è completamente pianeggiante; una leggera pendenza rilevabile sulle carte topografiche di dettaglio non è avvertibile sul terreno. Fra i bacini intermontani retro-arco della Toscana, la pianura di Pistoia è l'unica a non avere incisioni e segni di erosione, come, per esempio, sono evidenti nel Mugello e nel Valdarno superiore; è il risultato della difficoltà di drenaggio attraverso la stretta della Gonfolina che ha creato un'area di sovralluvionamento estesa a tutta la pianura. Tracce di incisione recente dei corsi d'acqua sono rilevabili solo nella parte alta della pianura, a nord della faglia di bordo bacino, lungo gli attuali corsi dei torrenti Bure e Brana.

Dal punto di vista litologico si distinguono i conoidi su cui sorgono la città di Pistoia e le sue periferie, dovuti agli apporti di sedimenti grossolani depositati dall'Ombrone, dalla Brana e dalla Bure. Si tratta di sedimenti assai eterogenei dal punto di vista granulometrico, con ciottoli anche di grosse dimensioni, sempre mescolati a matrice fine comprendente tutti i termini da argilla a sabbia grossolana. L'eterogeneità dei sedimenti limita moltissimo la permeabilità complessiva dei conoidi, tanto che dal punto di vista idrogeologico i corpi dei conoidi hanno produzioni idriche molto basse. Fa eccezione a questa situazione una piccola fascia di territorio a cavallo dell'attuale corso dell'Ombrone a sud della città, nell'area dell'ex-campo di volo, dove per situazioni particolari si sono depositati terreni a granulometria grossolana ed omogenea; quest'area, importante per la sua produzione idrica (alimenta l'acquedotto cittadino per oltre la metà della risorsa necessaria) ha una estensione così limitata da non rivestire particolare importanza sulla struttura generale della pianura. Sulla base dei numerosi dati di sottosuolo, risulta che lo spessore dei depositi di conoide è ovunque dell'ordine dei 25-30 metri; al di sotto sono presenti i depositi nel campo delle argille e dei limi fino al basamento.

Al di fuori dei conoidi, la maggior parte della pianura pistoiese è costituita da sedimenti a granulometria fine di ambiente palustre o comunque di bassa energia con grande prevalenza di argille e limi; lenti di sabbie e talora di ghiaie, sempre però con abbondante matrice fine, sono irregolarmente distribuite a varie profondità. Questi sedimenti che si sono accumulati in bassi battenti di acqua compensando la subsidenza dell'intera pianura, hanno spessori che arrivano fino a

350 metri di spessore al limite sud-est del comune (vedi Carta delle Isobate). Nella figura che segue sono riportati i risultati di un'analisi morfologica speditiva della pianura pistoiese inserita nel più ampio bacino Pistoia-Firenze. L'analisi è stata eseguita selezionando le curve di livello con equidistanza 10 metri dalle carte tecniche regionali; per l'intero bacino risulta distintamente il limite tra l'alta pianura, occupata dai conoidi dei principali immissari, e la bassa pianura dove sono presenti i sedimenti prevalentemente argillosi legati a deposizioni di bassa e bassissima energia.

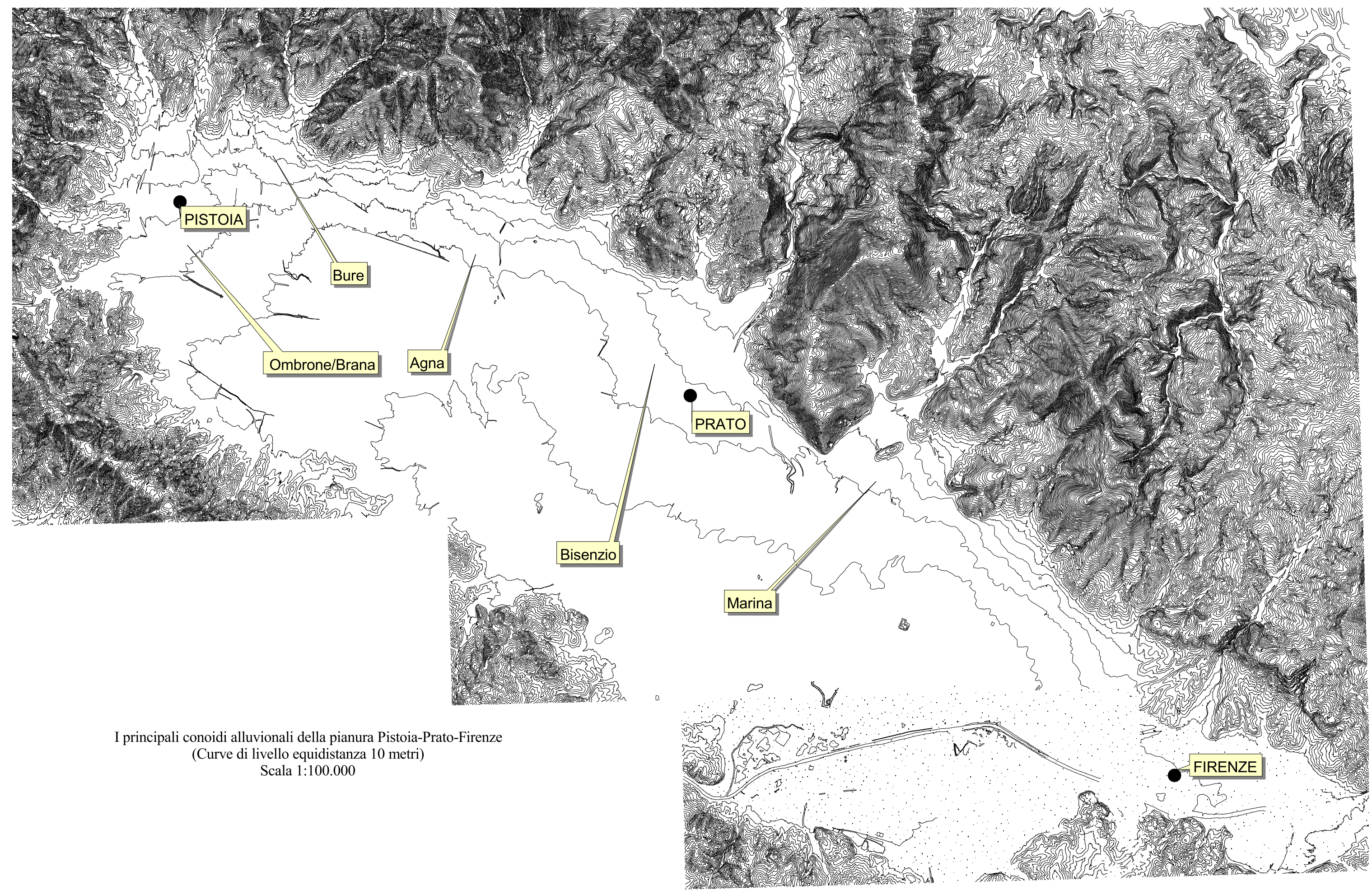
Il substrato che costituisce il fondo bacino è quasi ovunque costituito da argilliti prevalenti con intercalazioni calcaree riferibili al Complesso di Base (Sillano); solamente in una modesta porzione a nord est della città gli affioramenti delle arenarie di M. Cervarola si estendono al di sotto della pianura.

4 - Dati geotecnici e geofisici

4.1 – Dati geotecnici

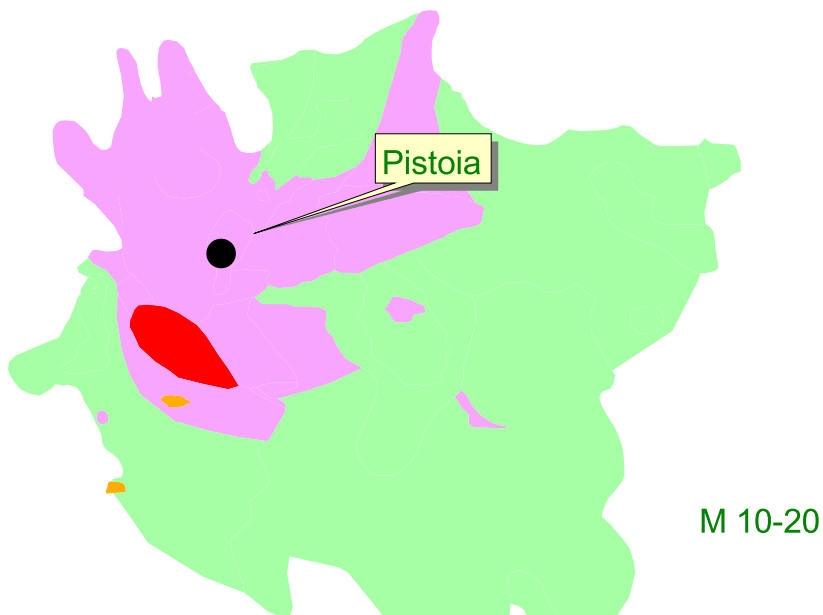
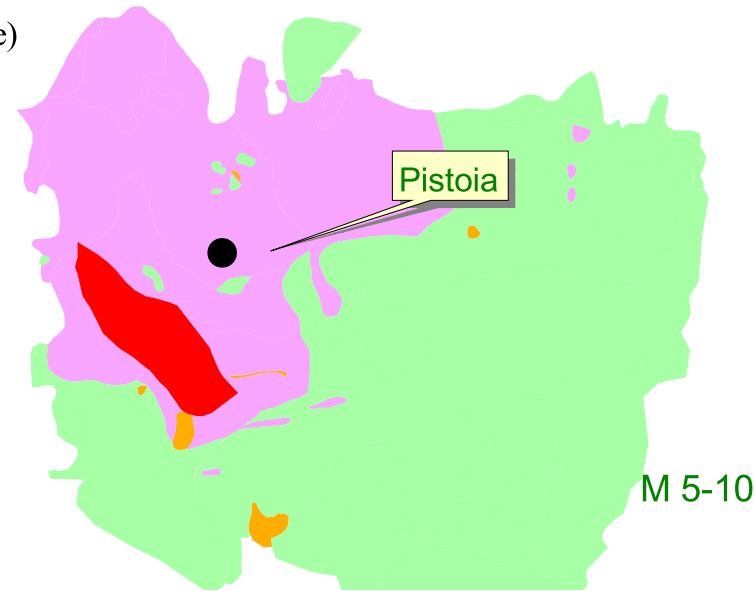
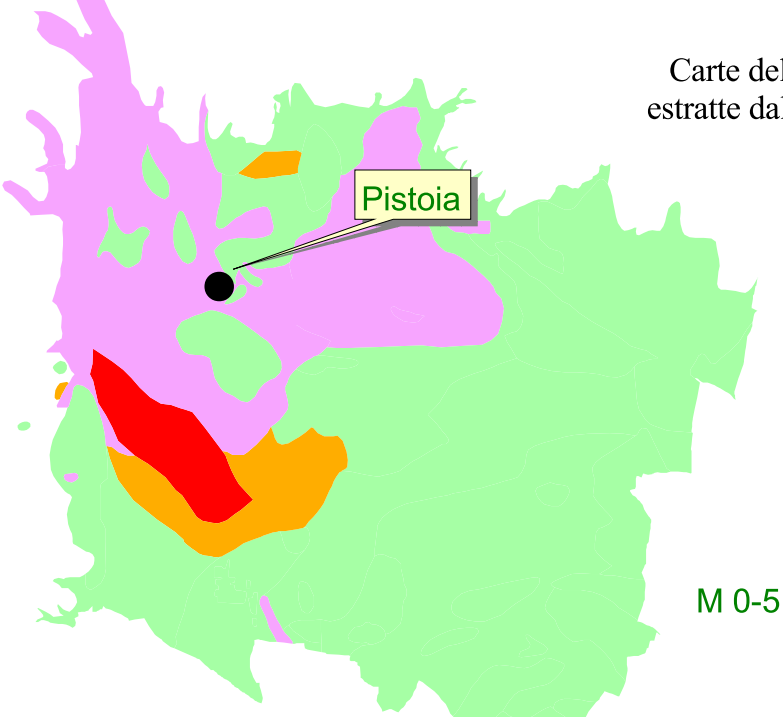
Una parte importante di questo lavoro è stata quella di verificare la qualità dei dati disponibili. Come detto, specialmente per la pianura, sono presenti molti dati di sottosuolo provenienti da vari archivi; oltre a quelli interni ai vari Studi che partecipano a questo lavoro, sono stati consultati anche quelli del SIRA e dell'ISPRA. L'analisi di ciascuna informazione è stata condotta partendo dai dati certi, osservati direttamente dagli scriventi, e valutando l'attendibilità degli altri, scartando le verticali di indagine palesemente incompatibili con il quadro generale.


In questa fase sono risultate di notevole utilità le carte della litologia prevalente redatte alla fine degli anni '80 per il territorio di pianura nell'ambito della stesura del Piano Regolatore; in sintesi si tratta di tre carte che riportano la litologia prevalente per tre intervalli di profondità: da m 0 a m 5, da m 5 a m 10 e da m 10 a m 20. Questi elaborati, di cui si riporta nella pagina seguente una elaborazione sintetica, hanno costituito una guida importante per la definizione dei terreni di copertura della pianura. Per il presente lavoro il risultato di sintesi consiste in un gruppo di 144 dati di sottosuolo, 116 dei quali raggiungono il substrato; le profondità cui viene intercettato il substrato sono molto variabili, dai pochi metri nell'alta pianura fino a 268 metri nell'area depocentrale del bacino. I dati di maggior interesse sono risultati quelli relativi ai pozzi per acqua che hanno fornito le informazioni necessarie per la ricostruzione delle isobate del substrato per l'intera area studiata. Le stratigrafie sono state interpretate ed omogeneizzate secondo la terminologia indicata nelle istruzioni tecniche in modo da renderle direttamente correlabili.





I principali conoidi alluvionali della pianura Pistoia-Prato-Firenze
(Curve di livello equidistanza 10 metri)
Scala 1:100.000


Carte della litologia prevalente
estratte dal PRG1989 (modificate)



 Prevalenza di depositi argilloso limosi; localmente sono presenti lenti di ghiaie e sabbie, con spessore massimo di pochi metri, distribuiti a vari livelli.

 Ciottoli e ghiaia in abbondante matrice limoso argillosa; i ciottoli sono prevalentemente arenacei, frequentemenete degradati e con abbondati spalmature di ossidi.

 Sabbie limose mediamente addensate

 Ciottoli e ghiaia in scarsa matrice sabbiosa; i ciottoli, in prevalenza arenacei, si presentano inalterati

4.2 – Dati geofisici

4.2.1 – Raccolta dati

Anche in questo caso una prima parte del lavoro è consistita nella ricerca e nella selezione delle indagini geofisiche esistenti; consultando gli archivi delle pratiche edilizi presenti presso l'Ufficio Tecnico Comunale, e procedendo con la solita valutazione della qualità dei dati, sono state reperite n. 32 stese sismiche P/SH e n. 10 prove Down Hole. Oltre a queste, nell'ambito del presente studio, sono state eseguite n. 11 stese sismiche, n. 7 ESAC e n. 65 misure H/V. Per quanto riguarda l'ubicazione delle indagini eseguite per il presente studio, i profili P/SH sono stati posizionati nelle aree di alta pianura, in cui il substrato roccioso fosse raggiungibile con profili di un centinaio di metri. Per quanto riguarda le indagini ESAC, meno sensibili nella ricostruzione litostratigrafica, sono state posizionate in aree in cui, secondo la carta delle isobate, il substrato fosse sicuramente profondo; sono state eseguite con l'obiettivo di determinare la velocità media dei depositi alluvionali in varie zone della pianura.

Preme a questo punto far presente che:

- Per quanto riguarda il substrato le indagini eseguite su substrato arenaceo (Macigno e Monte Cervarola) hanno Vs quasi sempre maggiori di 800 m/s; quelle eseguite sui litotipi prevalentemente argillitici si distribuiscono per metà con $V > 800$ m/s e per metà con Vs compresa tra 650 e 800 m/s.
- La totalità delle linee sismiche P/SH, ESAC e dei DH recuperati da precedenti lavori, o eseguiti in questa fase, in pianura sui depositi di conoide **presentano velocità delle Vs sempre superiori a 360m/s**; le indagini eseguite nell'area di bassa pianura presentano Vs 250~300m/s.

4.2.2 - Profili a rifrazione P-SH

Di seguito si riporta una breve scheda per ciascuna stesa P/SH ed ESAC contenente alcuni dati estratti dal diario di campagna e le criticità rilevate in fase di interpretazione.

Profilo ST1 P/SH - Pracchia

Il profilo è stato eseguito nelle immediate vicinanze della stazione ferroviaria di Pracchia, lungo una strada che corre in adiacenza al T. Reno. L'area è risultata caratterizzata da un rumore di fondo non troppo intenso ma costante dovuto con ogni probabilità al disturbo generato da T. Reno

che al momento della registrazione presentava una grossa portata in conseguenza delle forti piogge del periodo, e alla presenza di una centrale ENEL, ubicata nelle immediate vicinanze dell'area investigata. Tale rumore ha "sporcat" le tracce dei geofoni più lontani per i due scoppi esterni delle onde P rendendo talvolta difficoltosa l'individuazione dei primi arrivi per questi geofoni.

In ogni caso i risultati delle interpretazioni per le onde P e le onde SH hanno fornito risultati sostanzialmente coerenti fra di loro:

1° sismostrato: ha uno spessore di 2-4 metri ed è caratterizzato da una Vp di 350-600 m/sec e da una Vs di 230-300 m/sec.

2° sismostrato: arriva ad una profondità di 8-11 metri dal p.c. ed è caratterizzato da una Vp di 800-1400 m/sec ed una Vs di 380-700 m/sec

3° sismostrato: si spinge fino alla massima profondità indagata ed è caratterizzato da una Vp di 3330 m/sec ed una Vs di 1400 m/sec.

Questa ricostruzione sismostratigrafica è coerente con le caratteristiche geomorfologiche e geologiche dell'area.

Profilo ST2 P/SH – San Mommè

Il profilo è stato eseguito immediatamente a sud-est dell'abitato di San Mommè, su di una stretta area incolta subpianeggiante.

Le registrazioni eseguite sia per le onde P che per le onde SH sono risultate di buona qualità. Per quanto riguarda l'interpretazione si osserva:

- La ricostruzione sismostratigrafica generale che emerge è un modello a 3 sismostrati, sia per le onde P che per le onde SH. Tuttavia, dall'analisi delle dromocrone delle onde P emerge che in corrispondenza dello scoppio sullo 0 (estremo A) non siamo in grado di distinguere in modo chiaro il ginocchio che segnerebbe il passaggio fra 2° e 3° livello. Questo è stato posizionato in corrispondenza del geofono n.7, ottenendo però due sismostrati con velocità sostanzialmente uguale.
- Quindi l'interpretazione delle onde P fornisce una ricostruzione sismostratigrafica a 3 livelli in cui, in corrispondenza dello scoppio sullo 0, non sono distinti il 2° e 3° livello. Ciò potrebbe essere spiegato con una variazione laterale che porta ad una omogenizzazione delle caratteristiche sismiche dei terreni (per le onde P) del 2° e 3° livello in corrispondenza dell'estremo A.

- Visto il regime di intense precipitazioni che ha contraddistinto quest'ultimo periodo, non si esclude che ciò sia dovuto ad un diverso grado di saturazione dei terreni lungo il profilo.
- Questa ipotesi sarebbe avvalorata dal fatto che tale variazione non emerge dall'interpretazione delle onde SH, indifferenti agli effetti della saturazione dei terreni.

Alla luce di queste considerazioni, la ricostruzione stratigrafica ritenuta corretta è quella ottenuta con le onde SH.

1° sismostrato: ha uno spessore di 1.5-2.0 metri ed è caratterizzato da una Vp di 270-500 m/sec ed da una Vs di 150-200 m/sec.

2° sismostrato: raggiunge una profondità variabile compresa fra 8 e 13 metri ed è caratterizzato da una Vp di 1000-1300 m/sec e da una Vs di 300-400 m/sec.

3° sismostrato: si spinge fino alla massima profondità indagata (circa 30 metri dal p.c.) ed è caratterizzato da una Vp di 1540 m/sec ed una Vs di 770 m/sec.

Questa ricostruzione sismostratigrafica è perfettamente coerente con le caratteristiche geomorfologiche e geologiche dell'area.

Profilo ST3 P/SH – Le Piastre

Il profilo è stato eseguito nei giardini ubicati al margine nord dell'abitato di Le Piastre; le caratteristiche di urbanizzazione hanno reso impossibile eseguire un profilo più lungo di 84 metri, anche per la presenza di estesi affioramenti rocciosi nelle immediate vicinanze del profilo; si è preferito dedicare più spazio agli scoppi esterni (offset) che permettono una analisi più completa dei dati acquisiti.

L'interpretazione (sia per le onde P che per le onde SH) non ha presentato problematiche particolari ed ha fornito il seguente modello a tre sismostrati:

1° sismostrato: ha uno spessore di circa 2.0 metri ed è caratterizzato da una Vp di 500-600 m/sec ed da una Vs di 250-400 m/sec.

2° sismostrato: raggiunge una profondità di 4-6 metri ed è caratterizzato da una Vp di 1900-2500 m/sec e da una Vs di 800-1200 m/sec.

3° sismostrato: si spinge fino alla massima profondità indagata (circa 28 metri dal p.c.) ed è caratterizzato da una Vp di 3600 m/sec ed una Vs di 1700 m/sec.

Questa ricostruzione sismostratigrafica è coerente con le caratteristiche geomorfologiche e geologiche dell'area.

Profilo ST4 P/SH – Cireglio

Il profilo è stato eseguito nell'area retrostante la chiesa, in corrispondenza di un'area caratterizzata dalla presenza di una coltre detritica di notevole spessore (spessore 26 metri rilevato in un sondaggio).

L'interpretazione (sia per le onde P che per le onde SH) non ha presentato problematiche particolari ed ha fornito il seguente modello a tre sismostrati:

1° sismostrato: ha uno spessore compreso fra 1.6 e 3 metri ed è caratterizzato da una V_p di 220-300 m/sec ed da una V_s di 100-150 m/sec.

2° sismostrato: raggiunge una profondità di 7-10 metri ed è caratterizzato da una V_p di 500-700 m/sec e da una V_s di 230-300 m/sec.

3° sismostrato: si spinge fino alla massima profondità indagata (circa 30 metri dal p.c.) ed è caratterizzato da una V_p di 1730 m/sec ed una V_s di 750 m/sec.

In assenza di dati di controllo stratigrafico si potrebbe attribuire il terzo sismostrato ad un substrato roccioso non particolarmente rigido; invece, evidentemente, si tratta di una coltre detritica particolarmente addensata; la mancata segnalazione di un vero e proprio substrato, come detto presente a 26 metri, può essere attribuita alla insufficienza della lunghezza del profilo (96 metri) oppure ad un modesto contrasto di impedenza sismica tra una copertura ben addensata ed un substrato magari alterato.

Profilo ST5 P/SH – Piteccio

Il profilo è stato eseguito entro il campo sportivo di Piteccio, ubicato fra la strada ed il T. Ombrone.

L'esame delle dromocrone sia per le onde P che per le onde SH mette in evidenza la presenza di un solo ginocchio che corrisponde ad un modello a due soli sismostrati. Il modello ricostruito è il seguente:

1° sismostrato: ha uno spessore di 3-5 metri ed è caratterizzato da una V_p compresa fra 400 e 670 m/sec e da una V_s di 200-300 m/sec

2° sismostrato: si spinge fino alla massima profondità indagata (circa 30 metri dal p.c.) ed è caratterizzato da una V_p di 3300 m/sec e da una V_s di 1250 m/sec.

Questa ricostruzione sismostratigrafica è perfettamente coerente con le caratteristiche geomorfologiche e geologiche dell'area, ed in particolare con la presenza di affioramenti di substrato in alveo.

Profilo ST6 P/SH – San Felice

Il profilo è stato eseguito entro il campo sportivo di San Felice, ubicato in riva destra del T. Ombrone.

L'interpretazione (sia per le onde P che per le onde SH) non ha presentato problematiche particolari ed ha fornito il seguente modello a tre sismostrati:

1° sismostrato: ha uno spessore compreso fra 1.8 e 2.5 metri ed è caratterizzato da una V_p di 300-550 m/sec ed da una V_s di 200-350 m/sec.

2° sismostrato: raggiunge una profondità di 6-8 metri ed è caratterizzato da una V_p di 1800-2200 m/sec e da una V_s di 600-800 m/sec.

3° sismostrato: si spinge fino alla massima profondità indagata (circa 30 metri dal p.c.) ed è caratterizzato da una V_p di 3600 m/sec ed una V_s di 1380 m/sec.

Questa ricostruzione sismostratigrafica è coerente con le caratteristiche geomorfologiche e geologiche dell'area, ed in particolare con la presenza di affioramenti di substrato in alveo.

Profilo ST7 P/SH – Candeglia

Il profilo è stato eseguito entro l'area a verde ubicata di fronte alla scuola media dell'abitato di Candeglia.

Le registrazioni eseguite sia per le onde P che per le onde SH sono risultate di buona qualità.

Dall'analisi delle dromocrone emerge chiaramente, sia per le onde P che per le onde SH, un modello a tre sismostrati. C'è però una sostanziale differenza fra le onde P e le onde SH: nelle onde P il terzo sismostrato compare già a partire dal geofono n.5 nello scoppio sullo 0 e dal geofono n.20 nello scoppio sul 96 mentre nelle onde SH il terzo sismostrato interessa solamente i geofoni oltre il n.15 per lo scoppio sullo 0 e oltre il n.12 per lo scoppio sul 96. Ciò comporta un risultato molto diverso per quanto riguarda la profondità del passaggio 2°-3° livello. Per la ricostruzione litostratigrafica è stata scelto il modello ricavato in SH in quanto sulla base della situazione geologica generale, sembra adattarsi meglio alla realtà.

1° sismostrato: ha uno spessore di 2.2-2.7 metri, uguale per onde P ed SH ed è caratterizzato da una V_p di 340-370 m/sec ed una V_s di 150-210 m/sec.

2° sismostrato: onde P – arriva ad una profondità di m 6-7 con una velocità di 1000-1200 m/sec; onde SH – arriva ad una profondità variabile fra 12 e 22 m dal p.c. con una V_s di 500-600 m/sec

3° sismostrato: è caratterizzato da una V_p di 2200 ed una V_s di 850.

Profilo ST8 P/SH – Villone Puccini

Il profilo è stato eseguito entro il Parco del Villone Puccini, in adiacenza all'area abitata del Villaggio Scornio, nella parte settentrionale della città.

Le registrazioni eseguite sia per le onde P che per le onde SH sono risultate di buona qualità.

Le interpretazioni hanno tuttavia fornito ricostruzioni sismostratigrafiche diverse per le onde P ed SH. Infatti mentre per le onde P è stato individuato un modello a tre sismostrati, per le onde SH è stato ricostruito un modello a 2 soli sismostrati. Ciò potrebbe essere legato alla ricostruzione litologica dell'area. Infatti, al di sotto del livello detritico superficiale, è presente un deposito di conoide costituito da ghiaia in matrice sabbioso limosa caratterizzato, ovunque sia presente entro la pianura, da velocità V_s piuttosto elevate (spesso superiori a 500 m/sec). Al di sotto di questo livello, ad una profondità di 8-12 metri dal p.c., è presente il substrato roccioso. Vista l'elevata V_s del deposito di conoide, la differenza di V_s fra quest'ultimo ed il sottostante substrato roccioso, specie nella sua porzione superficiale ragionevolmente più o meno alterata, potrebbe essere così modesta da non essere rilevata con il profilo. Diversamente per le onde P la differenza di V_p fra deposito di conoide (1200 m/sec) e substrato roccioso (2400 m/sec) è tale da essere facilmente rilevata con la registrazione del profilo.

1° sismostrato: ha uno spessore di circa 2 metri, uguale per onde P ed SH ed è caratterizzato da una V_p di 450-530 m/sec ed una V_s di 210-270 m/sec.

2° sismostrato onde P: si spinge fino ad una profondità di m 8-12 dal p.c. ed è caratterizzato da una V_p di 1200-1400 m/sec.

2° sismostrato onde SH: si spinge fino alla massima profondità indagata (circa 30 metri dal p.c.) ed è caratterizzato da una V_s di 630 m/sec.

3° sismostrato onde P: è caratterizzato da una V_p di 2400 m/sec

Profilo ST9 P/SH – Piazza Oplà

Il profilo è stato eseguito all'interno dei giardini adiacenti al parcheggio di Piazza Oplà, lungo il Torrente Brana. L'area è caratterizzata da un intenso rumore di fondo dovuto alla presenza, al limite dei giardini, del Viale Marini, lungo il quale scorre un flusso di traffico piuttosto elevato e costante; l'area inoltre è sede di un parco giochi con alcune giostre funzionanti al momento delle registrazioni. In ogni caso le tracce acquisite sono risultate piuttosto buone, ad eccezione dei geofoni più distanti negli scoppi esterni al profilo, per i quali è stato più difficoltoso individuare la posizione dei primi arrivi.

1° sismostrato: ha uno spessore di 3-4 metri, uguale per onde P ed SH ed è caratterizzato da una V_p di 360-410 m/sec ed una V_s di 150-210 m/sec.

2° sismostrato: si spinge fino alla massima profondità indagata ed è caratterizzato ed è caratterizzato da una V_p di 2050m/sec e da una V_s di 620 m/sec.

Profilo ST10 P/SH – Pontenuovo

Il profilo è stato eseguito nell'area compresa fra via Pontenuovo e Croce e via dei Guadi, in adiacenza al T. Bure, immediatamente a valle dell'abitato di Pontenuovo.

L'interpretazione (sia per le onde P che per le onde SH) non ha presentato problematiche particolari ed ha fornito il seguente modello a tre sismostrati:

1° sismostrato: ha uno spessore di 2-3 metri ed è caratterizzato da una V_p compresa fra 240 e 390 m/sec e da una V_s di 100-130 m/sec.

2° sismostrato: si spinge fino ad una profondità di 9-10 metri dal p.c. ed è caratterizzato da una V_p di 1300-1500 m/sec e da una V_s di 300-480 m/sec.

3° sismostrato: si spinge fino alla massima profondità indagata ed è caratterizzato da una V_p di 2200 m/sec ed una V_s di 810 m/sec.

Questa ricostruzione sismostratigrafica è coerente con le caratteristiche geomorfologiche e geologiche dell'area.

Profilo ST11 P/SH – Spazzavento

Il profilo è stato eseguito nell'area ad est di via del Gabbiano, immediatamente a sud dell'abitato di Spazzavento.

L'interpretazione (sia per le onde P che per le onde SH) non ha presentato problematiche particolari ed ha fornito il seguente modello a tre sismostrati:

1° sismostrato: ha uno spessore di circa 2 metri ed è caratterizzato da una V_p compresa fra 440 e 520 m/sec e da una V_s di 150-220 m/sec.

2° sismostrato: si spinge fino ad una profondità di 6-7 metri dal p.c. ed è caratterizzato da una V_p di 1500-2000 m/sec e da una V_s di 520-750 m/sec.

3° sismostrato: si spinge fino alla massima profondità indagata ed è caratterizzato da una V_p di 2860 m/sec ed una V_s di 1090 m/sec.

Questa ricostruzione sismostratigrafica è coerente con le caratteristiche geomorfologiche e geologiche dell'area.

4.2.3 - Profili ESAC

Sono stati eseguiti n. 7 profili ESAC con geometria a “L” e lati uguali pari a m 50 di lunghezza; la configurazione utilizzata è quella classica con 11 geofoni distanziati 10 metri di cui uno sul vertice della “L” e gli altri dieci disposti simmetricamente, cinque per ciascuno dei due lati.

I parametri di acquisizione utilizzati per la registrazione delle onde superficiali lungo il profilo sono stati i seguenti:

Frequenza geofoni	4.5 hz (verticali)
Tempo di acquisizione	30 s
Intervallo di campionamento	2 ms
Numero di acquisizioni (minimo)	30

Al termine delle registrazioni su di un lato della L è stato eseguito un profilo MASW; sono stati disposti 12 geofoni distanziati ogni 5 metri e sono state eseguite alcune battute con mazza da 9 kg a varie distanze dalle estremità. Come risulta dai dati allegati, le interpretazioni MASW si sono dimostrate piuttosto deludenti in confronto alle ottime risposte della metodologia ESAC; le cause della modesta qualità dei dati MASW sono probabilmente da ricercare nel limitato numero di geofoni e nella ridotta lunghezza dei profili.

ST 12 – ESAC - Monteoliveto

E' stato eseguito all'interno delle mura urbane, ad ovest del centro città entro un giardino pubblico in una giornata di pioggia intermittente; la curva di dispersione risulta ben definita fino quasi a 2hz. La ricostruzione sismostratigrafica indicativa mostra una profondità di indagine molto elevata (80 metri), con Vs sempre maggiori di 400 m/s fin dalla superficie.

ST 13 – ESAC – Sant'Agostino

E' stato eseguito alla periferia est della città, sul retro della Chiesa di Sant'Agostino ad una cinquantina di metri dalla Via Fermi, in orario di traffico piuttosto intenso; la curva di dispersione risulta ben definita fino a 2.5hz. La ricostruzione sismostratigrafica indicativa mostra una profondità di indagine di circa 60 metri, con Vs medie comprese tra 400 e 500 fin quasi dalla superficie.

ST 14 – ESAC – P.za Resistenza

E' stato eseguito entro le mura urbane a sud del centro città, entro un giardino pubblico in un momento di scarso rumore ambientale; la curva di dispersione risulta ben definita fino a 2.5hz. La ricostruzione sismostratigrafica indicativa mostra una profondità di indagine di circa 60 metri, con Vs medie comprese tra 400 e 500 fin dalla superficie.

ST 15 – ESAC – Via Gonfiantini

E' stato eseguito alla periferia sud occidentale dell'abitato, entro un'area di verde privato in una contesto di scarso rumore ambientale; la curva di dispersione risulta ben definita fino circa a 3hz. La ricostruzione sismostratigrafica indicativa mostra una profondità di indagine di circa 60 metri, con Vs medie comprese tra 400 e 600 fin dalla superficie.

ST 16 – ESAC – La Vergine

E' stato eseguito nella periferia meridionale nell'area a verde di pertinenza della Chiesa della Vergine ad una cinquantina di metri dalla via Bonellina in una fascia oraria di traffico a media intensità; la curva di dispersione risulta ben definita fino a 2.5hz. La ricostruzione sismostratigrafica indicativa mostra una profondità di indagine di circa 60 metri, con Vs medie di circa 350 m/s fino a 20 metri di profondità. Più in profondità si attestano su valori compresi tra 400 e 500 m/s.

ST 17 – ESAC – Bottegone

E' stato eseguito all'interno dell'abitato di Bottegone in un giardino pubblico con elevata frequentazione al momento dell'indagine; la curva di dispersione risulta ben definita fino a 2.5hz. La ricostruzione sismostratigrafica indicativa mostra una profondità di indagine di circa 45 metri, con Vs medie inferiori a 250 m/s fino a 20 metri di profondità. al di sotto la velocità delle Vs si attesta intorno a 370 m/s.

ST 18 – ESAC – Giardino San Giovanni

E' stato eseguito entro le mura urbane a sud del centro città, entro un giardino pubblico in un momento di scarso rumore ambientale; la curva di dispersione risulta ben definita fino a 2.5hz. La ricostruzione sismostratigrafica indicativa mostra una profondità di indagine di circa 60 metri, con Vs medie comprese tra 400 e 500 fin dalla superficie.

4.2.4 – Misure H/V

Sono state eseguite n. 65 misure H/V di cui 47 in pianura e le restanti 18 nei centri abitati collinari. In pianura la loro ubicazione ha tenuto conto della profondità del substrato ricavata dalla carta delle isobate in modo da avere un'elevata densità di dati nelle zone in cui il substrato fosse presente entro i 50 metri di profondità. Nel territorio collinare la distribuzione delle misure è stata eseguita in modo da indagare con buon dettaglio le aree con estese coperture detritiche.

Di seguito viene riportata una scheda sintetica sui risultati delle misure distinte tra territorio di pianura e di collina:

Territorio di pianura

N. Misure	Valori di F_0	Ampiezza
25	Compresi nell'intervallo 1-10Hz	3 hanno ampiezza < 2.5
22	Esterni all'intervallo 1-10Hz	9 hanno ampiezza < 2.5

- Le 47 misure sono risultate tutte interpretabili e con picchi H/V ben evidenti; la direzionalità e la stazionarietà non risultano affette da anomalie particolari; sul totale delle 47 misure, 25 presentano valori di f_0 compreso nell'intervallo ritenuto critico per le normali strutture edilizie (1~10Hz).
- Interessante notare come di queste 25 misure “critiche” ben 22 mostrino picchi molto ben evidenti con valori di ampiezza >2.5.
- Arealmente le misure con f_0 compreso nell'intervallo 1-10Hz sono contigue e, sovrapponendole alla carta delle isobate, ricadono entro profondità del substrato di 80-110 metri.

Territorio di collina

Per quanto riguarda la porzione di territorio collinare sono stati analizzati i centri abitati di San Felice, Piteccio, San Mommè, Pracchia, Cireglio, Le Piastre e Orsigna. Delle 18 misure eseguite in collina, la maggior parte sono risultate affette da anomalie nella direzionalità riferibili con ogni probabilità alla geometria del substrato al di sotto della copertura. A titolo di esempio basterà osservare i grafici delle 4 misure di San Mommè, eseguite nel raggio di qualche centinaio di metri su un'estesa placca detritica, in cui i risultati sono mascherati ovunque da un'evidente interferenza orientata circa est-ovest non direttamente riferibile a disturbi ambientali.

La scelta dei picchi di frequenza è stata eseguita ovviamente tenendo conto degli intervalli affetti da anomalie; il risultato è che ampi intervalli di frequenza sono risultati “oscurati” e non sempre le frequenze scelte risultano compatibili con la situazione litostratigrafica rilevata in campagna.

Sul totale delle 18 misure, 3 sono risultate non interpretabili.

5 - Modello del sottosuolo

I modelli litologici del sottosuolo della parte collinare e montana e della parte di pianura del territorio comunale sono stati illustrati al capitolo 3. In questo capitolo verrà descritta la metodologia di elaborazione e le caratteristiche principali della “Carta delle isobate del substrato”.

Carta delle isobate del substrato prelacustre

La carta riporta le curve di ugual profondità dal piano campagna (isobate) del substrato roccioso nella pianura pistoiese che, ovviamente indicano, anche gli spessori della copertura fluvio-palustre. Le isobate del fondo bacino possono quindi essere considerate anche isopache dei sedimenti fluvio-palustri depositatesi dal Villafranchiano superiore ad oggi direttamente al di sopra del substrato roccioso stratificato.

Dati utilizzati

Come detto, sono stati utilizzati dati stratigrafici di perforazioni per acqua o per indagini geognostiche eseguite nell’area di pianura, raccolti a partire dagli anni settanta presso imprese di perforazione, enti pubblici e società private. In totale sono stati utilizzati n. 144 dati stratigrafici; alcuni di questi dati sono stati di particolare importanza per la profondità delle perforazioni da cui provengono e, in certi casi, per la loro affidabilità; in particolare:

- n. 18 stratigrafie di pozzi eseguiti nel 1943 dalla Azienda Carboni Italiani (A.Ca.I.) per la ricerca di lignite nel bacino Pistoia-Firenze. I risultati di queste perforazioni, eseguite per la valutazione di un eventuale giacimento di lignite e di cui sono stati ritrovati i dati di cantiere, sono stati pubblicati nella rivista “L’industria mineraria”, XVII, Gen. 1943, fasc. 1, a firma dell’ing. Attilio Moretti.
- I sondaggi effettuati negli anni sessanta dall’impresa Fondedile per acquisire dati litostratigrafici e geotecnici dell’area urbana di Pistoia, al fine di predisporre ricostruzioni del sottosuolo utili per progettare soluzioni ai dissesti statici che interessavano i principali palazzi del centro storico.

Sono stati utilizzati anche dati di perforazioni profonde (circa 20 stratigrafie) eseguite al di fuori del territorio comunale; in particolare i dati stratigrafici di perforazioni profonde (fino a m 428 dal p.c.) eseguite nei territori comunali di Quarrata, Agliana e Montale e ripresi in massima parte dalla pubblicazione A.CA.I sopra menzionata, sono stati indispensabili per il disegno delle curve di

maggior profondità (oltre i m – 250) nella parte sud-est della pianura pistoiese, che risulta priva di dati che raggiungano il substrato.

Tutti i dati acquisiti sono stati analizzati per uniformare i criteri con cui sono state elaborate le stratigrafie e per valutarne l'attendibilità. Il dato che interessava per l'elaborazione della carta ha comunque facilitato questo lavoro di interpretazione: da ogni stratigrafia infatti occorre ricavare il passaggio litologico tra i sedimenti palustri e/o alluvionali e il substrato stratificato; un dato che è facilmente riconoscibile anche dagli addetti alle perforazioni senza che sia indispensabile la supervisione del geologo.

La densità dei dati è elevata nell'alta pianura, compreso il centro urbano di Pistoia, dove il basamento si incontra a profondità inferiori a 100 metri dal p.c. Dove il basamento si approfondisce oltre i m 100 i dati si fanno via via meno numerosi. Ne consegue che la carta presenta una elevata attendibilità fino alla isobata di m 100, oltre la quale aumenta progressivamente il livello di interpretazione.

MORFOLOGIA DEL FONDO-BACINO

Si intende sottolineare nei punti che seguono alcuni caratteri che risultano più evidenti dalla ricostruzione della morfologia del substrato.

- La profondità massima del substrato prelacustre si rileva nella zona sud est del territorio comunale, al confine con i Comuni di Agliana e Quarrata, dove si raggiungono profondità di 350 metri dal p.c.
- La morfologia del fondo bacino si presenta molto accidentata, con valli incise e dossi spartiacque stretti e molto pronunciati. Le valli sepolte e i dossi sono in gran parte riferibili alle vallate dei corsi d'acqua che ancora oggi affluiscono nella pianura di Pistoia: la valle dell'Ombrone, del sistema idrografico Bure-Brana e di corsi d'acqua minori nella parte terminale nord-ovest della pianura. Evidentemente la subsidenza, iniziata nel Villafranchiano superiore, interessò versanti a morfologia "matura", che costituivano la parte finale degli attuali versanti pre-appenninici.
- Anche prima della formazione del bacino fluvio-palustre di Pistoia, all'inizio del Villafranchiano superiore, il drenaggio si orientava in direzione nord-sud nel primo tratto e nord-ovest sud-est verso il centro della depressione, ricalcando quanto si osserva attualmente; seguiva, cioè, anche allora, l'asse principale della depressione che diventerà il bacino palustre Firenze-Pistoia.

- Le pendenze dei versanti nord sono mediamente più accentuate di quelli a sud. Anche in questo caso si ripete quello che si osserva attualmente, dovuto al sollevamento più accentato del versante appenninico rispetto a quello meridionale costituito dal Montalbano. Non si identifica una vera e propria scarpata di faglia, ma il rigetto della dislocazione che delimita a nord il bacino è stimato in diverse centinaia di metri e forma necessariamente pendenze molto accentuate.

6 - Interpretazioni ed incertezze

Il grado di attendibilità dei dati e le criticità incontrate nelle interpretazioni sono discusse nei paragrafi relativi ai singoli aspetti.

7 - Metodologie di elaborazione dei risultati

Le metodologie di interpretazione dei vari modelli sono stati discussi nei paragrafi relativi ai singoli aspetti.

Per quanto riguarda le attrezzature utilizzate per l'esecuzione delle indagini geofisiche si osserva:

- Le indagini sismiche a rifrazione sono state eseguite con sismografo Geode Geometrics a 24 canali utilizzando lo schema procedurale indicato dal VEL della Regione Toscana.
- L'energizzazione verticale è stata eseguita con mazza da 9 kg mentre per quella orizzontale è stato utilizzato un pendolo con masse da 30 kg ed una trave gravata dal peso di un automezzo. Le onde P sono state registrate con geofoni da 10 hz, mentre le SH con geofoni orizzontali da 4.5 hz.
- I profili Esac – Masw sono stati eseguiti con geofoni verticali da 4.5 hz.
- Per quanto riguarda le misure H/V, sono state eseguite sismografo a stazione singola SARA dotato di un geofono triassiale da 4.5 hz, con registrazioni della durata di 30 minuti. Le procedure esecutive utilizzate sono quelle del Progetto Sesame.

8 - Elaborati cartografici

8.1 - Carta delle indagini

La Carta delle Indagini è stata suddivisa in varie tavole distinguendo le zone di collina e quelle di pianura. Le verticali di indagine e le stese sismiche sono state inserite con la simbologia

indicata nelle Istruzioni Tecniche e negli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Ver. 2.0betaII.

8.2 - Carta geologica

Questa carta è limitata alle sole aree collinari e riporta la distribuzioni delle formazioni presenti nelle aree analizzate.

Complesso di Base (Sillano): argilliti nerastre ed in subordine siltiti grigie e marne calcaree. Localmente la componente marnosa può risultare anche predominante sugli altri tipi litologici.

Formazione di Monte Morello (Alberese): marne e calcisiltiti biancastre in strati da sottili a medi; talora presenti livelli di calcareniti gradate grigio chiare. Si trova tettonicamente giustapposta alle formazioni arenacee descritte ai punti precedenti.

Macigno: si tratta di arenarie generalmente grossolane, gradate, in strati da spessi a molto spessi con sottili intercalazioni di argilliti e siltiti.

Marne di Civago, Argille di Fiumalbo, Marne di Marmoreto: queste tre formazioni costituiscono la base stratigrafica delle arenarie di Monte Modino; si tratta in genere di peliti con contenuti variabili di marne e argille; generalmente i contatti reciproci sono tettonizzati ma in origine la successione comprendeva ragionevolmente le Marne di Civago alla base e quelle di Marmoreto al tetto.

Arenarie di M. Modino: anche di questo caso si tratta di arenarie gradate ma in genere con spessore degli strati più ridotto e con maggiore abbondanza della frazione pelitica rispetto al Macigno.

Arenarie di Monte Cervarola: si tratta di arenarie con grana da media a fine ed intercalazioni pelitiche che talora raggiungono in percentuale la frazione arenacea. Costituisce l'elemento geometricamente inferiore dell'intera struttura.

Detrito: si tratta di una coltre detritica eluvio colluviale costituita in prevalenza da clasti arenacei a spigoli vivi immersi in abbondante matrice sabbioso limosa; la dimensione dei clasti può essere molto variabile ma in corrispondenza dei depositi di maggiore spessore (ad esempio presso Cireglio) si trovano livelli con una qualche forma di classazione che fa pensare ad un contributo di fenomeni di fluitazione.

Frane antiche: depositi gravitativi inattivi riferibili a tipologia mista scivolamento/rotazione senza indizi di evoluzione.

Frane recenti: depositi gravitativi attivi riferibili a tipologia mista scivolamento/rotazione con indizi di evoluzione.

Alluvioni terrazzate: ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa presenti su ripiani morfologici in vari ordini di terrazzi.

Alluvioni recenti: ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa presenti nelle aree di fondovalle.

Terreni di riporto: materiali di accumulo di origine antropica.

8.3 – Carta delle isobate

Per la descrizione di questa carta si rimanda al paragrafo 5.

8.4 – Carta delle frequenze

Riporta la distribuzione delle frequenze di picco ricavate dalle misure di rumore. La simbologia utilizzata consente di ricavare direttamente dalla carta:

- il numero identificativo della misura
- la frequenza di picco (hz)
- la classe di ampiezza; in particolare sono state individuate tre classi relative rispettivamente agli intervalli di ampiezza $A < 2$; $2 < A < 3$; $A > 3$. La scansione degli intervalli ha tenuto conto del valore soglia $A=2$ indicato dal progetto Sesame come discriminare per le misure di buona qualità ed il valore $A=3$ utilizzato generalmente per indicare un elevato contrasto di impedenza.

Da questo elaborato è stata estratta l'area con f_0 1~10 hz utilizzata per la elaborazione della Carta delle MOPS.

8.5 - Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

La carta geologico tecnica è stata suddivisa in territorio di collina e di pianura.

Per quanto riguarda la parte collinare, si tratta di un elaborato derivato dalla carta geologica ottenuto raggruppando la varie formazioni tenendo conto della composizione litologica e delle caratteristiche tecniche; nella tabella che segue viene riportata la corrispondenza utilizzata.

Territorio collinare	
Terreni di riporto	RI - Terreni contenenti resti di attività antropica
Frane antiche	Complessa - inattiva
Frane recenti	Complessa - attiva
Alluvioni recenti	GP - Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
Alluvioni terrazzate	GP - Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
Detrito	GM - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
Arenarie di M. Cervarola	LPS - Lapideo, stratificato

Arenarie di M. Modino	LPS - Lapideo, stratificato
Argille di Fiumalbo	ALS - Alternanza di litotipi, stratificato
Marne di Civago	ALS - Alternanza di litotipi, stratificato
Marne di Marmoreto	ALS - Alternanza di litotipi, stratificato
Macigno	LPS - Lapideo, stratificato
Formazione di M. Morello	LPS - Lapideo, stratificato
Sillano	ALS - Alternanza di litotipi, stratificato

L'attribuzione delle coperture non ha creato particolari problemi, sia per quanto riguarda i depositi alluvionali che per le coltri detritiche. L'unica criticità è stata quella di dover classificare le coltri detritiche eluvio colluviali come “*ghiaie*”, termine utilizzato per indicare depositi di natura alluvionale, per rispettare istruzioni nazionali evidentemente perfettibili. Per quanto riguarda il substrato, i calcari di Monte Morello e le arenarie delle Formazioni Macigno, M. Modino e M. Cervarola, sono state inserite nella voce Lapideo Stratificato e sono state definite rigide in quanto le Vs misurate nelle indagini sismiche hanno quasi sempre fornito valori da bedrock sismico. Qualche difficoltà è stata incontrata nella classificazione dei litotipi marnosi ed argillitici (Civago, Marmoreto, Fiumalbo e Sillano). Infatti le misure delle Vs eseguite in questo Comune, ed in altri limitrofi, si sono distribuite per metà al di sopra della soglia degli 800 m/s e per metà al di sotto. Preme far presente però che al di sopra delle argilliti fresche con $V_s > 800$ c'è sempre uno spessore di cappellaccio di alcuni metri.

In conclusione la sensazione è che queste argilliti siano a tutti gli effetti bedrock sismico e che il problema sia nello spessore del cappellaccio degradato che presenta velocità più basse. A questo punto la questione è stata scegliere la situazione maggiormente cautelativa: noi abbiamo considerato più cautelativo classificare i litotipi marnosi ed argillitici come substrato rigido (ALS alternanza di litotipi), in quanto sono in grado di fornire elevati contrasti di impedenza anche in assenza di coperture detritiche cartografabili. Di questo occorrerà naturalmente tener conto in fase di classificazione nella carta delle MOPS.

Nei centri abitati in cui sono state eseguite indagini sismiche a rifrazione (San Felice, Piteccio, San Mommè, Pracchia, Cireglio, Le Piastre) sono state tracciate delle sezioni geologico tecniche con evidenziati gli spessori delle coperture ricavati dalle indagini di sottosuolo.

Si tratta in ogni caso di ricostruzioni che hanno rivelato modelli piuttosto semplici in cui il substrato è presente a piccola profondità al di sotto di coperture detritiche o alluvionali. L'unico caso di qualche interesse è quello di Cireglio in cui è stato possibile ricostruire l'andamento del substrato con un buon dettaglio nonostante un elevato spessore di copertura detritica (oltre 20 metri); in molte carte geologiche e geomorfologiche del passato la copertura in questione era stata associata ad antichi fenomeni franosi; diffusi dissesti in alcuni edifici dell'abitato avevano

contribuito a rafforzare questo modello. In realtà l'andamento quasi subpianeggiante del substrato al di sotto della coltre detritica non sembra riconducibile tanto ad una "frana" quanto ad una forma di sedimentazione tradizionale o addirittura al contributo di antiche forme alluvionali.

Inoltre recenti studi geotecnici hanno messo in relazione i dissesti sugli edifici con le modeste qualità geomeccaniche dei terreni e con una problematica regimazione delle acque.

Per quanto riguarda l'area di pianura, la costruzione della carta si è basata sulla classificazione dei numerosi dati di sottosuolo e sull'analisi della morfologia di superficie; in particolare la pianura è stata suddivisa in tre categorie:

GM Ghiaie limose, miscela di ghiaia sabbia e limo – corrisponde ai depositi di conoide con elevata eterogeneità; come detto si tratta di ghiaia e ciottoli prevalentemente arenacei in matrice localmente anche abbondante, costituita da sabbie, limi e argille. La ghiaia ed i ciottoli sono frequentemente alterati e presentano abbondanti spalmature di ossidi. Il grado di addensamento è elevato. Sulla base dei dati di sottosuolo, risulta che lo spessore dei depositi di conoide è piuttosto omogeneo, dell'ordine di 30 metri. Al di sotto sono presenti depositi fini nel campo delle argille e dei limi fino al basamento.

GP Ghiaie pulite con granulometria poco assortita miscela di ghiaia e sabbia – si tratta di un'area di limitata estensione parallela all'alveo dell'Ombrone a sud ovest della città, in cui la ghiaia ed i ciottoli si presentano inalterati e con scarsa matrice costituita da sabbia grossolana. Anche in questo caso il grado di addensamento è elevato.

ML Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose e argillose limi argillosi di bassa plasticità – sono riferibili ad una sedimentazione palustre lontano dagli sbocchi in pianura dei principali immissari. Sono depositi mediamente consistenti. A varie profondità sono segnalati livelli con spessori generalmente submetrici di ghiaia con percentuale variabile di matrice. Questi livelli, di modesta importanza anche in termini idrogeologici, sono discontinui e non presentano cementazione.

Le sezioni geologico tecniche attraverso la pianura chiariscono i rapporti stratigrafici tra i vari litotipi.

Un elemento di notevole importanza è che questa suddivisione, eseguita su base litologica e geomeccanica, ha rivelato una buona corrispondenza anche in termini geofisici. Infatti tutti i profili sismici eseguiti nelle aree di conoide (GM e GP), mostrano velocità V_s comprese tra 360 e 500 m/s per l'intero spessore analizzato; le V_s eseguite nelle aree esterne ai conoidi invece si attestano sempre su valori compresi tra 250 e 350 m/s.

Il substrato al di sotto dei depositi alluvionali è per la quasi totalità costituito dalle argilliti del Complesso di Base (Formazione di Sillano); limitatamente ad una ridotta area posta nell'alta pianura, ad est della città, il substrato è costituito dalle Arenarie di M. Cervarola, classificato come LPS.

8.6 - Carta delle MOPS (livello1)

Aree di pianura

La classificazione delle aree di pianura ha tenuto conto dei seguenti criteri:

- combinazione tra le varie litologie della copertura alluvionale e del substrato
- analisi della frequenza di picco nelle misure H/V; in particolare è stata delimitata l'area in cui i valori di f_0 sono compresi nell'intervallo 1-10Hz, considerato potenzialmente critico per le usuali strutture edilizie. Questa delimitazione, corrispondente grossolanamente all'area posta a monte dell'isobata compresa fra 80 e 110 metri, è stata a sua volta intersecata con le varie combinazioni litologiche ottenendo così ulteriori suddivisioni in Zone. In sintesi l'area di pianura è stata suddivisa in tre fasce:

a - Substrato entro 30 metri

b - Substrato tra 30 e 80-110 metri

c - Substrato oltre 110 metri

Nelle prime due fasce (fino a 110 metri) la frequenza di picco f_0 risulta potenzialmente critica; questa suddivisione è stata eseguita in quanto di particolare utilità per la futura realizzazione della carta di pericolosità sismica.

Queste tre fasce sono state ulteriormente suddivise in base alla combinazione delle litologie della copertura e del substrato.

Zone stabili suscettibili di amplificazione locale

Zona 1 – aree di affioramento dei terreni prevalentemente argilloso-limosi (ML) con substrato entro m 30 costituito da ALS.

Zona 2 – aree di affioramento dei terreni prevalentemente argilloso-limosi (ML) con substrato entro m 30 costituito da LPS.

Zona 3 – aree di affioramento dei terreni di conoide costituiti da ghiaia a ciottoli in matrice sabbioso limosa (GM) con substrato entro m 30 costituito da ALS.

Zona 4 –aree di affioramento dei terreni prevalentemente argilloso-limosi (ML) fino al substrato presente entro 80/110 metri.

Zona 5 – aree di affioramento dei terreni di conoide con matrice limosa (GM) fino a 30 metri; al di sotto, fino al substrato (entro 80-110 metri), sono presenti terreni argilloso-limosi (ML); il substrato è costituito da ALS.

Zona 6 – aree di affioramento dei terreni di conoide con matrice sabbiosa (GP) fino a 30 metri; al di sotto, fino al substrato (entro 80-110 metri), sono presenti terreni argilloso-limosi (ML); il substrato è costituito da ALS.

Zona 7 –aree di affioramento dei terreni prevalentemente argilloso-limosi (ML) con substrato costituito da ALS posto al di sotto di 110 metri.

Zona 8 – aree di affioramento dei terreni di conoide con matrice sabbiosa (GP) fino a 30 metri; al di sotto, fino al substrato (>110 metri), sono presenti terreni argilloso-limosi (ML); il substrato è costituito da ALS.

Zona 9 – aree di affioramento dei terreni di conoide con matrice limosa (GM) fino a 30 metri; al di sotto, fino al substrato (>110 metri), sono presenti terreni argilloso-limosi (ML); il substrato è costituito da ALS.

Substrato entro 30m	Zona 1	Zona 2	Zona 3	
	ML su ALS	ML su LPS	GM su ALS	
Substrato fra 30 e 80/110m (frequenza f_0 1~10hz)	Zona 4	Zona 5	Zona 6	F_0 1~10hz
	0-30 ML	0-30 GM	0-30 GP	
	30-80/100 ML	30-80/100 ML	30-80/100 ML	
	>80/110 ALS	>80/110 ALS	>80/110 ALS	
Substrato > 110m (frequenza $F_0 < 1$ h)	Zona 7	Zona 8	Zona 9	$F_0 < 1$ hz
	0-30 ML	0-30 GM	0-30 GP	
	>30 ML fino al substrato (ALS)	>30 ML fino al substrato (ALS)	>30 ML fino al substrato (ALS)	

Aree di collina

Contrariamente a quanto avvenuto nel territorio di pianura le misure H/V, sono state di scarso aiuto nella zonizzazione; la presenza di disturbi direzionali, probabilmente effetto di geometrie sepolte più che di fonti di rumore orientate, ha limitato l'efficacia di questo strumento solo ad

alcune aree. La classificazione si è basata quindi principalmente su criteri stratigrafici basandosi sui dati di sottosuolo e sulle indagini sismiche a rifrazione.

Zone stabili suscettibili di amplificazione topografica

Zona 10 – Comprende le aree di affioramento di LPS (substrato arenaceo); tali aree hanno inclinazione media maggiore di 15° e per questo è stato ritenuto opportuno considerare ovunque l'effetto dell'amplificazione topografica.

Zone stabili suscettibili di amplificazione locale

Zona 11 – In questa zona sono state inserite le aree di affioramento classificate ALS (alternanza di litotipi stratificato) nella carta geologico tecnica. Tali aree non sono state considerate stabili per le considerazioni di cui al punto 8.3 in merito alla presenza di una coltre di alterazione, sempre presente in queste litologie, caratterizzata da $V_s < 800$ m/s. In altre parole, in termini di risposta sismica, è come se al di sopra delle formazioni argillitiche e marnose fosse sempre presente una copertura detritica dello spessore di alcuni metri. L'elevata velocità del substrato inalterato può generare quindi un contrasto di impedenza sismica non trascurabile.

Zona 12 – comprende le aree di affioramento di GP (ghiaie pulite dei fondovalle e dei depositi di alluvioni terrazzati) su substrato rigido stratificato (LPS). Gli spessori della copertura alluvionale sono stimati tra m 5 e m 10.

Zona 13 - comprende le aree di affioramento di GP (ghiaie pulite dei fondovalle e dei depositi di alluvioni terrazzati) su substrato rigido costituito da alternanza di litotipi (ALS). Gli spessori della copertura alluvionale sono stimati tra m 5 e m 10

Zona 14 – aree con copertura detritica su substrato LPS. Le coltri detritiche sono state classificate come GM (ghiaie limose, miscela di ghiaia sabbia e limo) per la costituzione in prevalenza di clasti arenacei in matrice sabbioso limosa. Gli spessori della copertura detritica sono stimati tra m 5 e m 20.

Zona 15 – aree con copertura detritica su substrato ALS. Anche in questo caso le coltri detritiche sono costituite da clasti arenacei provenienti dalla disgregazione di formazioni soprastanti. Gli spessori della copertura detritica sono stimati tra m 5 e m 20.

Zona 16 – aree con depositi antropici su substrato LPS. Gli spessori della copertura detritica sono stimati tra m 5 e m 10.

Zone suscettibili di instabilità

Instabilità di versante: attiva – comprende le aree interessate da frane con indizi di evoluzione

Instabilità di versante: inattiva – comprende le aree interessate da frane senza indizi di evoluzione.

Cedimenti differenziali – corrisponde alle aree di contatto tra litotipi con caratteristiche molto diverse. Si tratta di un *buffer* di 40 metri posto al contatto tra i depositi alluvionali ed il substrato roccioso; questa zona è stata cartografata anche in corrispondenza delle placche detritiche di maggiori dimensioni, come a Cireglio e a San Momme’