



COMUNE DI FANO



PRG 2023

Piano Regolatore Generale

Legge Regionale n. 34/1992

Studio di Microzonazione Sismica livello II

Giugno 2023

PEGEO A1
RELAZIONE GEOLOGICA - ALL. A1
STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO II

Il Sindaco

Massimo SERI

Assessore all'Urbanistica

Cristian FANESI

Il Dirigente sett. IV Urbanistica

Arch. Adriano GIANCOLINI

U.O. Pianificazione Urb./Territoriale

Ing. Marco FERRI

Urb. Pia Maria A. MICCOLI

Arch. Ombretta PIETRELLI

Arch. Cristiano TENENTI

Arch. Michele ADELIZZI

Geom. Marino CALCATELLI



ORDINE RAFFAELE
degli GEROMETTA
ARCHITETTI
PIANIFICATORI n° 1320
PAESAGGISTI sezione A
della provincia di
TREVISO settore pianificazione territoriale
PIANIFICATORE TERRITORIALE

Gerometta Raffaele

GRUPPO DI LAVORO

Progettista, Resp. Contrattuale
Urb. Raffaele GEROMETTA

Coordinatore Scientifico
Prof. Arch. Stefano STANGHELLINI

Coordinatore Tecnico
Urb. Daniele RALLO
Arch. Antonio MUGNAI

Coord. Operativo, SIT e Pianifi.
Urb. Lisa DE GASPER
Urb. Ivan SIGNORILE

Pianificazione Urbanistica
Urb. Fabio VANIN
Urb. Fabio ROMAN
Urb. Alberto CAGNATO
Urb. Ivan SIGNORILE

Esperti specialisti
Storia dell'arch. e dell'urbanistica
Prof. Arch. Amerigo RESTUCCI

Pianificazione e Valutazione Ambientale
Ing. Elettra LOWENTHAL
Dott.ssa Amb. Lucia FOLTRAN

Infrastrutture urbane e territoriali
Ing. Franco di BIASI

Studi geologici
Dott. Geol. Leonardo MORETTI

Aspetti Agronomici e Forestali
Dott. Agron. Lorenzo MINI

Studi Idrologici e Idraulici
Ing. Simone GALARDINI



MATE Engineering
Sede legale: Via San Felice, 21 - 40122 - Bologna (BO)
Tel. +39 (051) 2912911 Fax. +39 (051) 239714

Sede operativa: Via Treviso, 18 - 31020 - San Vendemiano (TV)
Tel. +39 (0438) 412433 Fax. +39 (0438) 429000

e-mail: mateng@mateng.it



ALLEGATO PEGEO A1
STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO II

LINK:

[MICROZONAZIONE SISMICA - COMUNE DI FANO](#)

ALLEGATO
A1.1 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

ALLEGATO
A1.2 SEZIONI GEOLOGICO - TECNICHE

ALLEGATO PEGEO A1 STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO II

ALLEGATO A1.1 RELAZIONE ILLUSTRATIVA



Attuazione dell'articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n. 77
OCDPC n.344/2016 PROGRAMMA REGIONALE DEGLI STUDI E INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA
DI LIVELLO II. ANNUALITA' 2015

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Marche Comune di Fano



Regione



Soggetto realizzatore

Professionista incaricato:
Dott. Geol. Cesare Bisiccia

Collaboratore incaricato:
Dott. Geol. Leonardo Celli

Collaboratori esterni:
Dott.sa Milena Marinelli
Studiosisma S.r.l.

Data

ottobre 2018

Indice generale

1. Introduzione.....	3
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	5
2.1 Inquadramento sismotettonico.....	7
2.2 Storia sismica del sito.....	11
2.3 Pericolosità sismica di base del Comune di Fano.....	15
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area.....	19
3.1 Inquadramento geologico.....	19
3.2 Lineamenti stratigrafici.....	23
3.2.1 Unità del substrato.....	23
3.2.2 Unità delle coperture quaternarie.....	28
3.3 Assetto strutturale dell'area.....	33
3.4 Lineamenti geomorfologici.....	36
4. Dati geotecnici e geofisici.....	43
4.1 Raccolta delle indagini pregresse.....	43
4.1.1 Sondaggi geognostici e pozzi.....	43
4.1.2 Prove penetrometriche.....	45
4.1.3 Indagini di prospezione sismica lineare.....	46
4.1.4 Indagini geofisiche puntuali.....	47
4.2 Indagini geofisiche di nuova realizzazione.....	48
5. Modello del sottosuolo.....	51
5.1 Dati e informazioni di base.....	51
5.2 Sviluppo del modello geologico e geologico-tecnico.....	52
5.3 Sviluppo del modello dinamico (sismico) per la microzonazione di livello 2.....	54
6. Interpretazioni e incertezze.....	59
7. Metodologie di elaborazione e risultati.....	63
7.1 Sviluppo delle zone stabili suscettibili di amplificazione sismica (Carta delle MOPS).....	63
7.2 Analisi per lo studio delle morfologie sepolte.....	64
7.3 Analisi per lo studio della distribuzione delle Vs30.....	65
7.4 Procedura per la realizzazione delle carte di microzonazione sismica di livello 2.....	66
8. Elaborati cartografici.....	69
8.1. Carta delle indagini.....	69
8.2. Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica.....	70
8.2.1 Sezioni geologico-tecniche.....	73
8.3 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (livello 1).....	73
8.4. Carte delle frequenze naturali dei terreni.....	76
8.5. Carte di microzonazione sismica di livello 2.....	77
8.6. Commenti finali e criticità.....	79
8.5.1 Successivi livelli di microzonazione e pianificazione di ulteriori indagini.....	80
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati.....	83
10. Bibliografia.....	85
Lavori consultati.....	88
11. Allegati.....	89

1. Introduzione

Gli studi di Risposta Sismica Locale (RSL) e di Microzonazione Sismica (MS) sono strumenti fondamentali per la determinazione della pericolosità sismica di un territorio e quindi per l'analisi del rischio sismico ad esso connesso. La conoscenza di questi aspetti, insieme a quella relativa alla vulnerabilità degli edifici, permette la messa in atto delle misure di prevenzione necessarie alla riduzione dei rischi connessi al verificarsi di un terremoto.

In particolare, la Microzonazione Sismica provvede, in base alle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio di studio, alla suddivisione in aree alle quali possono essere associati determinati comportamenti sismici durante il verificarsi di un terremoto (in linea teorica gli stessi all'interno di ogni singola area). La conoscenza delle modifiche che il segnale sismico subisce in funzione delle condizioni locali e delle alterazioni a cui lo stesso sottosuolo può essere soggetto al verificarsi di un sisma, costituiscono informazioni fondamentali per la pianificazione territoriale. Laddove il grado di approfondimento delle indagini di microzonazione venga spinto ai livelli di massimo dettaglio (livello 3 o livello “avanzato”), esse possono fornire anche prime indicazioni per la progettazione antisismica delle strutture.

Il presente lavoro di microzonazione di livello 2 è stato realizzato in attuazione dell'Art.11 della Legge n.77 del 24 giugno 2009 e in ottemperanza a quanto previsto dall'O.P.C.M. 344/2016 del 9 maggio 2016 e dal Decreto del Dirigente di Protezione Civile Marche n.20 del 20 febbraio 2018. Per lo sviluppo dello studio si sono seguite le linee guida fornite dai criteri nazionali, riportate in I.C.M.S. 2008 (AA.VV., 2008) e nella Vers. 4.0b del documento “Microzonazione sismica; standard di rappresentazione e archiviazione informatica” (AA.VV., 2015).

Lo studio di microzonazione sismica di livello 1 del Comune di Fano effettuato nel 2012, ebbe come obiettivo principale quello di cercare di definire i differenti scenari di pericolosità sismica locale e quindi di individuare quelle parti del territorio comunale suscettibili di specifici effetti locali (possibile amplificazione del moto sismico, instabilità dei versanti, eventuali fenomeni di liquefazione, cedimenti, etc.).

Tale obiettivo fu adeguatamente raggiunto attraverso l'analisi delle informazioni sulla pericolosità sismica di base del sito, l'esame delle pubblicazioni scientifiche aventi come oggetto l'area di studio, la raccolta delle indagini geologiche, geotecniche e geofisiche pregresse eseguite all'interno dell'area microzonata e l'esecuzione di ulteriori rilievi geologici e geomorfologici finalizzati ad una accurata determinazione degli aspetti strettamente legati al problema in esame.

I risultati ottenuti dallo studio di livello 1, sintetizzati in apposite cartografie *standard* previste dalle linee guida nazionali e archiviati in una struttura informatica GIS (*Geographical Information*

System), hanno fornito una valida base per procedere con il presente livello di approfondimento, in particolare riconoscendo le presunte microaree omogenee in prospettiva sismica (MOPS) e quindi rendendo disponibile una prima suddivisione del territorio, fondamentale per la pianificazione della campagna di indagini geofisiche necessaria alla determinazione dei parametri dinamici dei terreni prevista per il livello 2.

Al fine di ottimizzare costi e tempi, la microzonazione sismica è richiesta nelle aree urbanizzate, in quelle suscettibili di trasformazioni urbanistiche ed eventualmente lungo le fasce a cavallo delle principali reti infrastrutturali. Il livello 1 realizzato nel 2012 è stato rivisto in maniera sostanziale durante i presenti lavori di avanzamento al livello 2, in particolare al fine di adeguarlo alla Vers. 4.0b del documento “Microzonazione sismica; *standard* di rappresentazione e archiviazione informatica” (AA.VV., 2015), a partire dalla precedente Vers. 1.5 (la prima realizzata dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica); il perimetro delle aree sottoposte a microzonazione non è stato di fatto modificato, ad esclusione di un limitato settore costiero del territorio comunale che nel frattempo è passato al Comune di Mondolfo (frazione di Marotta).

In particolare, nel presente studio, di concerto con la Dirigenza dell’Ufficio Lavori Pubblici e seguendo l’approccio utilizzato nel livello 1, si è deciso di procedere con la microzonazione del Centro Capoluogo della Città di Fano e quindi di tutta la conurbazione nata in corrispondenza del settore terminale della Valle del Fiume Metauro (comprendente le frazioni di Ponte Murello, Carrara, Cuccurano, Bellocchi, Rosciano, Centinarola), degli ampi settori di territorio impegnati dalle aree industriali (Bellocchi, Madonna Ponte) e della fascia costiera (Fosso Sejore e quindi da Gimarra a Ponte Sasso). Inoltre è stata effettuata la scelta di approfondire lo studio di microzonazione sismica, adeguandolo al livello 2, anche in corrispondenza di alcune frazioni “rurali” del territorio comunale. Tali frazioni, rappresentate da Fenile, Carignano e Caminate (o Camminate), spiccano sulle restanti per la loro valenza storico-culturale e per la presenza di un tessuto sociale comunque significativo per la realtà in esame.

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

Il concetto di pericolosità sismica esprime la probabilità che in un determinato intervallo di tempo si verifichi un terremoto che superi un certo parametro di scuotimento (intensità, magnitudo, accelerazione di picco PGA (*Peak Ground Acceleration*), etc.; Fig.2.1). Questo tipo di stima si basa sulla definizione e sulla assunzione di una serie di elementi di *input* (il catalogo storico dei terremoti, le caratteristiche delle zone sorgente, la relazione di attenuazione del moto del suolo, etc.) e dei parametri di riferimento (lo scuotimento in accelerazione o spostamento, la finestra temporale considerata o "tempo di ritorno", etc.).

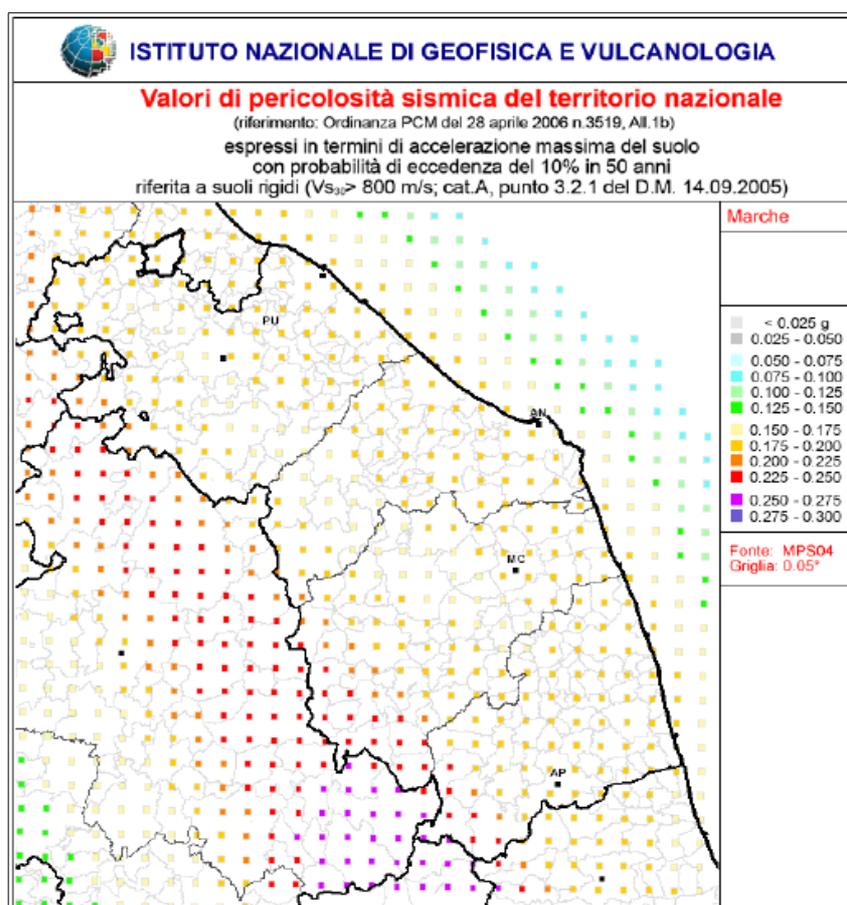


Figura 2.1 – Valori di pericolosità sismica relativi alla Regione Marche (accelerazione massima attesa su suolo rigido con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (PGA) (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>).

La pericolosità sismica di base è una componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). Essa calcola, per una certa regione e per un determinato periodo di tempo (tempo di ritorno T_r), i valori dei parametri corrispondenti a prefissate probabilità di

eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento). L' O.P.C.M. 3274/2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e le successive integrazioni e modificazioni, hanno introdotto in Italia per la prima volta un metodo per la stima della pericolosità sismica di base a partire da dati e metodi attuali, allo scopo di ottenere la “Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale” presentata nell’aprile 2004 dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

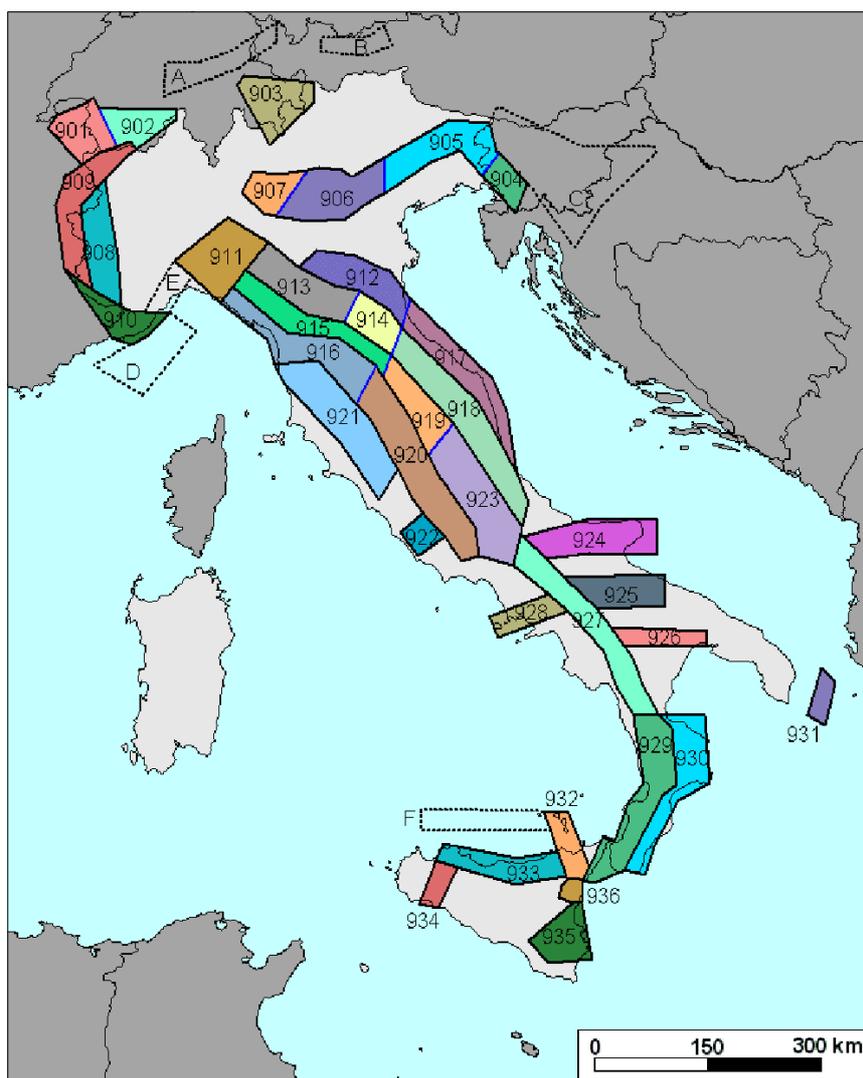


Figura 2.2 – Zonazione Sismogenetica ZS9 (Meletti C. & Valensise G., 2004).

Successivamente lo stesso INGV si è fatto promotore di una iniziativa scientifica che con la collaborazione di diverse Università italiane e di altri centri di ricerca, ha portato alla realizzazione

della Mappa di Pericolosità Sismica 2004 (MPS04) che descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido e pianeggiante. Dopo l'approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, la mappa MPS04 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'O.P.C.M. 3519/2006.

In base alla suddetta carta di pericolosità sismica, al Comune di Fano viene associato un valore di accelerazione massima del suolo (suolo rigido) compresa tra 0.175 e 0.2 g (Fig.2.1). La pericolosità sismica di base del Comune di Fano sarà meglio descritta al paragrafo 2.3.

Strumenti fondamentali per stabilire la pericolosità sismica di un sito sono le zonazioni sismogenetiche. Esse rappresentano la sintesi di studi sismologici che, tenendo conto delle caratteristiche geodinamiche del territorio nazionale, lo suddividono in zone caratterizzate dal medesimo regime tettonico e all'interno delle quali si possono attendere fenomeni sismici con caratteristiche generali potenzialmente simili. La zonazione sismogenetica attualmente in uso in Italia è la Zonazione Sismogenetica ZS9 (Meletti & Valensise, 2004; Fig.2.2). La Zonazione Sismogenetica ZS9 è il risultato di modifiche, accorpamenti ed elisioni nelle numerose zone indicate nella Zonazione Sismogenetica ZS4 (Scandone & Stucchi, 2000).

2.1 Inquadramento sismotettonico

La sismicità dell'area italiana si inquadra in un contesto geodinamico complesso nel quale si collocano processi a diversa cinematica. L'evoluzione geodinamica dell'Appennino centro-settentrionale è caratterizzata, come aspetti fondamentali, dalla subduzione del margine interno della Microplacca Adriatica al di sotto del sistema di catena e dallo sviluppo del “bacino di retroarco” del Tirreno settentrionale alle spalle di un sistema arco-fossa in progressiva migrazione (Scandone & Stucchi, 2000). Questo processo ha portato ad una strutturazione per *thrusting* e all'impilamento di unità tettoniche, tra il Miocene ed il Pleistocene inferiore, sul margine continentale adriatico, a causa dello sprofondamento gravitativo della litosfera adriatica e ionica e del relativo *roll – back* del piano di subduzione (e.g. Malinverno & Ryan, 1986).

Il settore di catena compreso fra Umbria, Marche e Romagna, è caratterizzato da pieghe e sovrascorrimenti che deformano la successione sedimentaria prevalentemente carbonatica mesozoico – terziaria (Deiana & Pialli, 1994) e anche il sottostante basamento è interessato da faglie inverse con superfici immergenti a SW (Barchi *et alii*, 1998; Coward *et alii*, 1999).

Successivamente alla strutturazione per *thrusting*, la catena appenninica è stata parzialmente

smembrata da faglie trascorrenti e normali. Nella parte interna della catena queste faglie hanno controllato lo sviluppo di bacini mio – pliocenici, coevi con le strutture da sovrascorrimento ancora attive nella parte esterna. Ciò ha permesso di descrivere l'intera catena come una *paired tectonic belt*, con distensione nella zona interna, bilanciante la contrazione orogenica nella parte esterna verso l'avampaese (Lavecchia, 1988). Se tutti i dati, (sismici geologici e geomorfologici) consentono di sottolineare sia nell'Appennino centrale che meridionale, la presenza da circa 800 Ka di un cambiamento nel regime tettonico che ha portato, in queste aree, alla predominanza di estensione attiva sia nelle zone interne che nelle zone esterne, ciò non risulta altrettanto chiaro per l'Appennino settentrionale. Anche qui è ampiamente documentata un'estensione attiva lungo la zona assiale della catena (Galandini *et alii*, 2000), ma per quanto riguarda le aree esterne la questione è ancora molto dibattuta, complice una serie di dati contrastanti.

Alcuni autori ritengono che le aree esterne siano coinvolte ancora nel *thrusting*, indicando una compressione tuttora attiva con possibilità di sismogenesi dovuta a meccanismi compressivi e transpressivi con sforzo principale massimo sub – orizzontale in direzione SW – NE (Lavecchia *et alii*, 2000; Lavecchia *et alii*, 2003) (Fig.2.3).

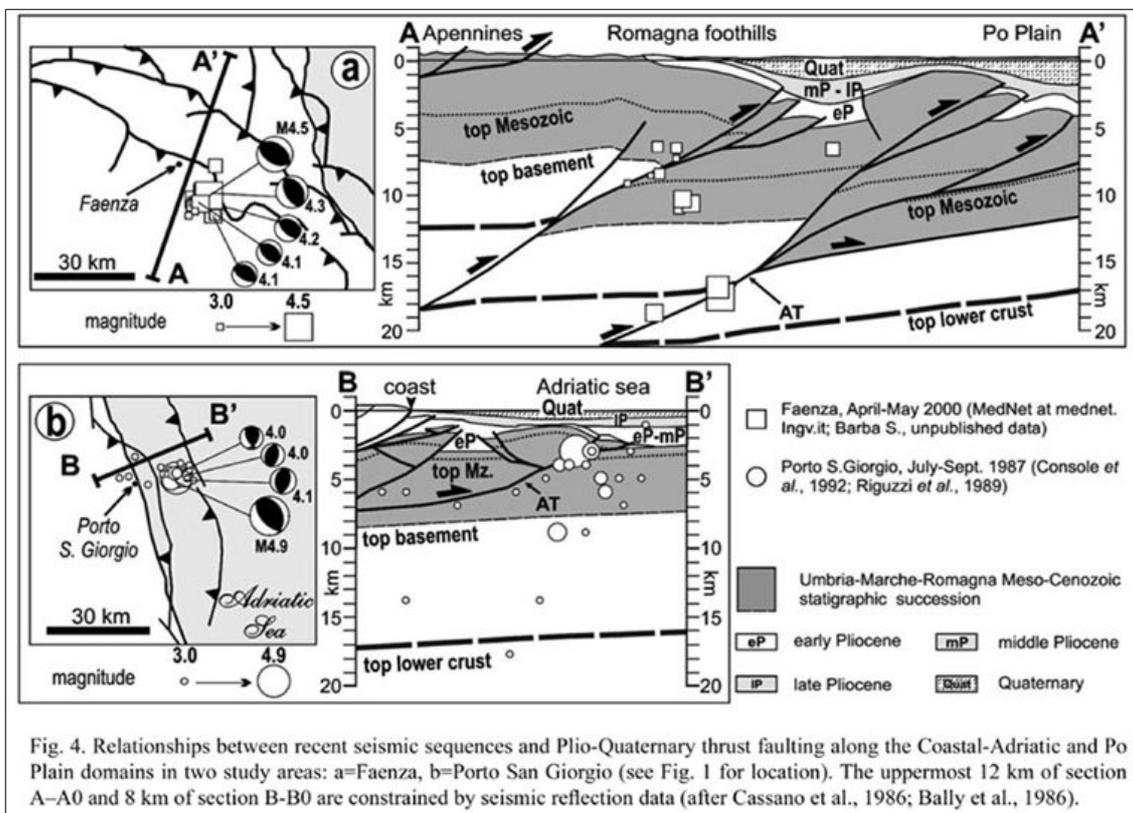


Figura 2.3 – Rappresentazione dei *thrust* presenti lungo la costa adriatica e il settore pedappennino romagnolo; cfr. didascalia originale (Lavecchia *et alii*, 2003).

Basili (2001) e Basili & Valensise (2001) propongono un “modello segmentato” per la parte frontale del sistema di *thrust* dell’Appennino, indicando, come possibile causa dei terremoti verificatisi lungo la costa adriatica, il movimento dovuto a faglie di tipo *blind thrust*. Ulteriori studi svolti nelle marche settentrionali e nell’adiacente *offshore* adriatico, considerano terminata nel Pleistocene medio l’attività tettonica legata al *thrusting* suddetto, al quale si sarebbe sostituita una deformazione con asse estensionale orientato WSW-ENE e compressionale orientato NNW-SSE (Di Bucci *et alii*, 2003) (cfr. paragrafo 3.3).

Le recenti sequenze sismiche del 2012 (Italia settentrionale) e del 2013 (costa marchigiana) hanno fornito nuovi elementi al fine della caratterizzazione degli aspetti tettonici dell’Appennino esterno. Focalizzando l’attenzione sui meccanismi focali osservati lungo la costa marchigiana, è possibile evidenziare come essi mostrino, in contrasto con quelli del 2012 dell’Italia settentrionale (Terremoto dell’Emilia) che confermano un’attività prettamente compressiva di *frontal thrusting*, solo una minore componente dovuta a riattivazione dei sovrascorrimenti, mentre la sismicità principale appare controllata da faglie trascorrenti che attraversano l’area frontale dell’Appennino (Mazzoli *et alii*, 2014) (Fig. 2.4).

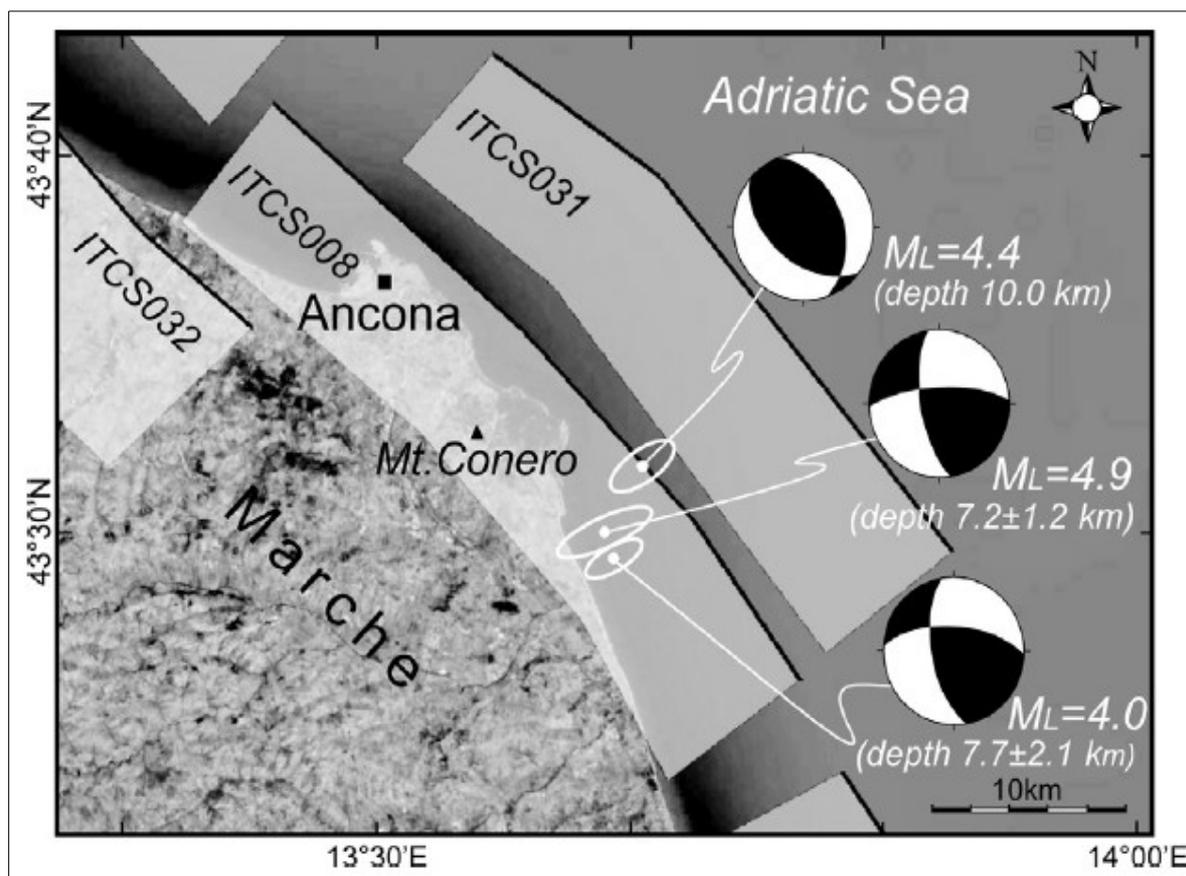


Figura 2.4 – Mappa che mostra gli epicentri dei terremoti dell’*offshore* adriatico del 2013 e i relativi meccanismi focali, in relazione alle strutture indicate sul database DISS (Mazzoli *et alii*, 2014).

Stante il suddetto quadro tettonico-cinematico (e sismogenetico), strutture che si presentano sicuramente come di rilievo per il sito in esame, in virtù della loro vicinanza allo stesso, sono, come descritte sul DISS 3.2.1 (*Database of Individual Seismogenic Sources*; versione 2018), lo strumento fornito da INGV per le analisi di pericolosità a scala nazionale, quelle indicate con il nome di **Pesaro – San Bartolo, Fano – Ardizio, Mondolfo e Senigallia** (Struttura composta Pesaro – Senigallia) (Fig.2.5). Suddette sorgenti appartengono alla Zona sismogenetica **917**. Quest'ultima include le sorgenti sismogenetiche principali della fascia appenninica esterna, alle quali è possibile associare la sismicità della costa romagnola e marchigiana (Valensise & Pantosti, 2001).

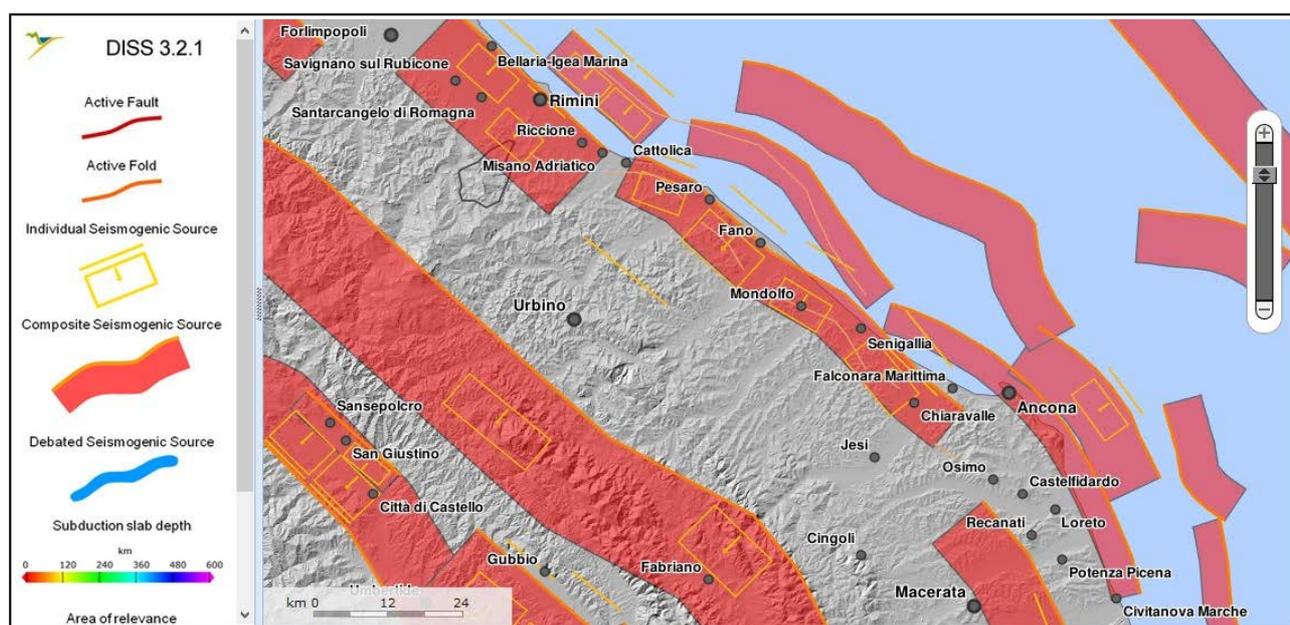


Figura 2.5 – Visualizzazione del database DISS 3.2.1 che mostra le principali strutture sismogenetiche attive in corrispondenza del settore del medio adriatico (DISS Working Group, 2018; <http://diss.rm.ingv.it/diss/>).

Altre strutture di particolare importanza per l'area oggetto di studio sono la sorgente sismogenetica nota come **Cagliese** e la struttura **Fabrianese** (Fig.2.5), per entrambe le quali si prevede una massima magnitudo M_w (Magnitudo Momento; Wells & Coppersmith, 1994) pari a 6.2.

Le suddette sorgenti risultano incluse nella zona **918** della Zonazione sismogenetica ZS9. Tale zona, insieme alla zona **913** e alla zona **914**, costituisce una fascia sismogenetica attiva che da Parma si estende fino all'Abruzzo. Questa fascia presenta meccanismi focali molto variabili, con la prevalenza di meccanismi compressivi nella porzione nord-occidentale e distensivi nel settore sud-orientale; si possono anche avere meccanismi a carattere trascorrente nelle zone di svincolo che interrompono la continuità longitudinale delle strutture. L'intera fascia è caratterizzata da eventi sismici storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo; le profondità ipocentrali previste sono relativamente più elevate rispetto a quanto stimato per la fascia costiera

(Valensise & Pantosti, 2001).

Per le informazioni di dettaglio relative alle diverse sorgenti sismogenetiche anzidette, si rimanda al testo che descrive in maniera esaustiva la zonazione ZS9 (Meletti & Valensise, 2004) e al già citato DISS 3.2.1 (DISS *Working Group*, 2018; <http://diss.rm.ingv.it/diss/>).

2.2 Storia sismica del sito

Si descrive nel dettaglio la storia sismica della Città di Fano, facendo riferimento agli strumenti ad oggi maggiormente utilizzati al fine della definizione della pericolosità sismica storica di un'area. Il catalogo più aggiornato e applicato a livello nazionale è il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, nella sua versione 2015 (CPTI15) (Rovida *et alii*, 2016), che risulta strettamente collegato al database dei dati macrosismici delle località DBMI15 (Locati *et alii*, 2016).

In base a quanto riportato in Tabella 2.1 e in Figura 2.6, si può evincere come la massima intensità risentita (I_s) per il Comune di Fano sia pari al grado VIII della Scala MCS, riferita al sisma noto come Adriatico centrale del 1303; non si sono reperite informazioni più precise per questo sisma di epoca medievale, anche in considerazione del lungo arco di tempo trascorso dal suo verificarsi.

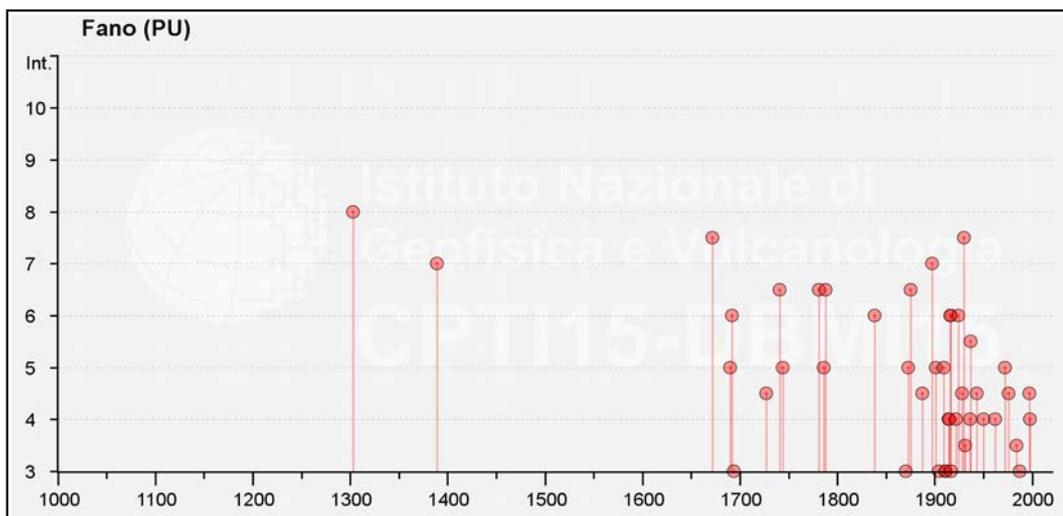


Figura 2.6 – Catalogo sismico della Città di Fano (Intensità MCS; DBMI15; Locati *et alii*, 2016).

Terremoti particolarmente importanti nella storia di Fano furono il Riminese del 1672 e il più recente sisma di Senigallia del 1930, i quali produssero entrambi effetti di intensità I_s pari al grado VII-VIII della Scala MCS (Tab.2.1).

La sequenza sismica del terremoto Riminese del 1672 durò circa un mese. La scossa principale, preceduta alcune ore prima da una più debole, fu di circa 20 secondi ed ebbe effetti assai importanti.

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	I ₀	M _w
NF	1897 06 24 19 04	Apecchio	27	5	4,34
NF	1904 09 02 11 21	Maceratese	59	5-6	4,63
NF	1908 03 17 03 59	Marche meridionali	54	5-6	4,61
NF	1909 08 25 00 22	Crete Senesi	259	7-8	5,34
NF	1910 12 22 12 34	Monti della Laga	19	5	4,3
NF	1948 06 13 06 33 36.00	Alta Valtiberina	142	7	5,04
NF	1972 11 26 16 03	Marche meridionali	73	8	5,48
F	1799 07 28 22 05	Appennino marchigiano	70	9	6,18
F	1907 01 23 00 25	Adriatico centrale	93	5	4,75
F	1972 02 04 02 42 18.56	Costa anconetana	75		4,57
F	1972 02 04 09 18 30.09	Costa anconetana	56		4,36
F	1972 02 05 01 26 29.88	Costa anconetana	2		4,36
F	1972 02 05 07 08 11.75	Costa anconetana	6		4,46
F	1972 02 05 15 14 48.05	Costa anconetana	3		4,36
F	1973 04 19 17 41 35.00	Pietralunga	22	7	4,61
7-8	1672 04 14 15 45	Riminese	92	8	5,59
7-8	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5,83
6-7	1741 04 24 09 20	Fabrianese	135	9	6,17
6-7	1781 06 03	Cagliese	157	10	6,51
6-7	1788 04 18	Costa pesarese	2	5-6	4,4
6-7	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5,74
5-6	1937 11 26 21 58 30.00	Costa pesarese	7	5	4,16
4-5	1727 12 14 19 45	Valle del Metauro	32	7	5,24
4-5	1887 05 26	Jesi	19	5	4,44
4-5	1928 05 30 20 01	Senigallia	17	5	5,02
4-5	1943 07 31 04 37	Senigallia	5	5	4,16
4-5	1976 05 06 20	Friuli	770	9-10	6,45
4-5	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
3-4	1931 06 25 05 01	Senigallia	14	4-5	4,02
3-4	1984 04 29 05 02 59.00	Umbria settentrionale	709	7	5,62
2-3	2006 04 10 19 03 36.67	Maceratese	211	5	4,06
8	1303 08	Adriatico centrale	4		
7	1389 04	Fano	1	7	5,1
7	1897 09 21	Marche settentrionali	44	7	5,4
6	1692 10 23 20 10	Costa pesarese	2	5	4,16
6	1838 06 23	Costa pesarese	4	6	4,63
6	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5,82
6	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5,82
6	1924 01 02 08 55 13.00	Senigallia	76	7-8	5,48
5	1690 12 23 00 20	Costa anconetana	16	8	5,58
5	1744 05 25	Costa pesarese	5	5	4,59
5	1786 12 25 01	Riminese	90	8	5,66
5	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8	5,85
5	1901 09 25 23 40	Costa pesarese	9	5	4,23
5	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5,36
5	1972 11 30 11 25 27.45	Costa pesarese	30		4,52
4	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5,63
4	1915 01 13 06 52 43.00	Marsica	1041	11	7,08
4	1922 10 11 06 43 42.00	Costa anconetana	20	5	4,34
4	1936 10 18 03 10	Alpago Consiglio	269	9	6,06
4	1950 09 05 04 08	Gran Sasso	386	8	5,69
4	1962 01 23 17 31	Costa pesarese	49	5	4,35
4	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino umbro-marchigiano	395		4,78

Tabella 2.1 – Storia sismica della Città di Fano; terremoti I > 4 MCS (DBMI15; Locati *et alii*; 2016; modificato).

I₀ = Intensità epicentrale; M_w = Magnitudo momento.

A Rimini il sisma danneggiò quasi tutti gli edifici religiosi, pubblici e privati, comprese le case nobiliari, le mura e le porte della città. Furono gravemente danneggiati anche i paesi del contado riminese e le città della costa. A Pesaro il sisma lesionò gravemente molte case. Danni leggeri furono riscontrati a Cesena, Ravenna, San Marino, Senigallia e Urbino. Gli effetti a Rimini furono aggravati dalla debolezza strutturale del patrimonio edilizio dell'epoca. L'area di risentimento si estese da Ferrara ad Ascoli Piceno, per tutta l'Emilia-Romagna, le Marche e l'Umbria settentrionale. La scossa provocò sulla costa romagnola un debole effetto di maremoto. L'area colpita dal sisma apparteneva allo Stato della Chiesa. I danni si sommarono ad una preesistente situazione di depressione economica delle zone colpite, soggette anche a scorrerie di corsari turchi che depredavano e rapivano gli abitanti delle coste. Alcuni giorni dopo il sisma, com'era d'uso all'epoca, furono avviate pratiche religiose per scongiurare ulteriori sciagure. Nel bacino del Metauro questo terremoto produsse effetti macrosismici massimi del VII-VIII grado MCS, maggiori verso la costa adriatica e minori verso l'interno. A Fano il sisma danneggiò notevolmente la città, lesionando o facendo crollare numerose abitazioni. Furono danneggiati il palazzo Pubblico e quello del Governatore. La parte superiore dell'antica torre del Duomo crollò sfondando la volta della cappella del SS. Sacramento e uccidendo 25 persone. Altre 5 o 6 vittime vi furono in ulteriori parti della città. Molti campanili ed edifici religiosi furono danneggiati più o meno gravemente (Patrignani, 2004).

Il sisma di Senigallia del 1930 produsse un'Intensità massima dell'VIII-IX grado MCS. Il terremoto colpì la costa centrosettentrionale delle Marche ed ebbe i suoi massimi effetti a Senigallia, dove 318 case crollarono o divennero inabitabili e 2.000 furono gravemente lesionate. Crolli e lesioni gravi furono segnalati a Montemarciano, Mondolfo, San Costanzo, Fano, Ancona. Altre 40 località subirono danni rilevanti. Per oltre un mese decine di scosse più deboli si susseguirono nella zona epicentrale. Nel porto di Ancona fu osservato un maremoto che ruppe gli ormeggi di un piroscafo. Il sisma causò 18 morti (14 a Senigallia e 4 ad Ancona) e molti feriti. Nel bacino del Metauro questa sequenza sismica produsse effetti macrosismici massimi dell'VIII grado MCS, soprattutto proprio lungo la costa fanese e nell'immediato entroterra (Patrignani, 2010b).

Un terremoto molto importante nella storia di Fano fu quello noto come Adriatico centrale del 1897. Le località più colpite furono Senigallia, Mondolfo, Fano, Urbino, Corinaldo, Sassoferrato e Fossombrone. A Senigallia caddero molti comignoli, molte tegole, qualche soffitto ed una parte del campanile di una chiesa; molte case furono lesionate. A Mondolfo e Fano caddero molti camini e in parecchie case si produssero fenditure (Cancani, 1898).

Altri terremoti di rilievo nella storia di Fano e di cui si dispone di una significativa mole di informazioni furono il Fabrianese del 1741, il Cagliese del 1781 e il sisma noto come Costa

romagnola del 1875; essi generarono indicativamente nella Città di Fano effetti di intensità Is pari al grado VI-VII della Scala MCS (Tab.2.1).

Il terremoto Fabrianese del 1741 produsse gravi danni in una decina di paesi dell'Appennino marchigiano. Gli effetti più gravi si registrarono nelle località di Fabriano, Mergo, Sasso e Serra S. Quirico, tutte in provincia di Ancona, dove venne raggiunto il IX grado MCS, forte fu anche a Fratte Rosa e Monterolo (PU) (Monachesi & Stucchi, 1997).

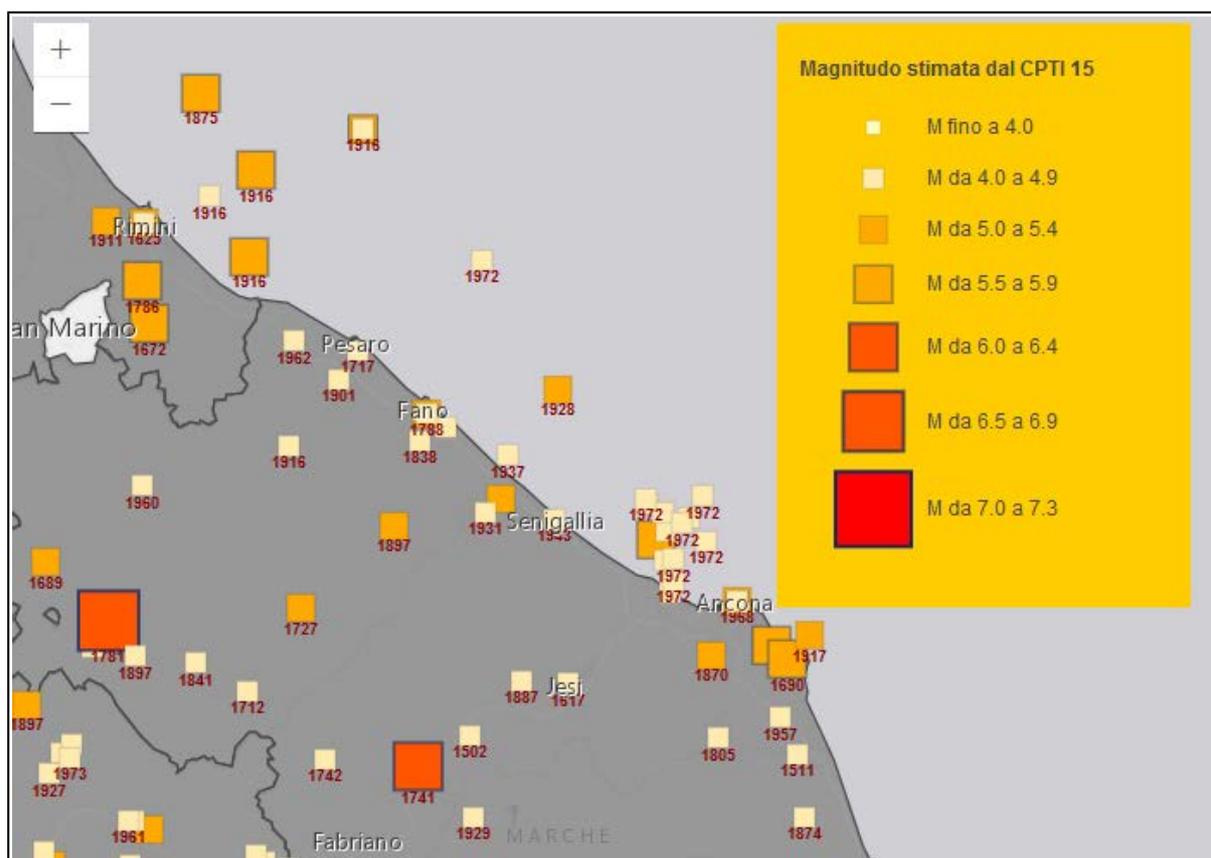


Figura 2.7 – Epicentri dei terremoti storici dell'area nord-marchigiana (<http://www.iononrischio.it>).

L'area maggiormente colpita dal sisma Cagliese del 1781 fu quella dell'entroterra pesarese. Si ebbero effetti distruttivi nel territorio di Cagli, comprendente i centri di Cardella, Apecchio, Piobbico e una ventina di altre località, delle quali circa la metà furono quasi completamente rase al suolo. Il terremoto causò complessivamente circa 300 vittime; gli eventi indussero la Congregazione Pontificia del Buon Governo a prendere provvedimenti straordinari per sostenere finanziariamente lo Stato di Urbino e la provincia di Romagna (Monachesi & Stucchi, 1997).

Il sisma del 1875 colpì la Romagna sudorientale ed ebbe i suoi massimi effetti a Rimini, Cesenatico e Cervia. Altre scosse più deboli si susseguirono per tutto il mese di marzo. Numerosi edifici in queste città crollarono o subirono gravi lesioni, il crollo di tetti, soffitti e solai. Molti edifici

religiosi, tra i quali il Tempio Malatestiano di Rimini subirono danni rilevanti. Alcuni di essi erano già fiaccati dalle lesioni riportate molti anni prima, in seguito al terremoto riminese del 1786. In molte località della Pianura Padana fino a Castel Bolognese e sulla costa adriatica da Pesaro a Ravenna, la scossa causò fenditure nei muri e caduta di comignoli. Nell'entroterra vi furono danni leggeri fino a San Marino e Urbino. La scossa fu avvertita da Belluno fino a Velletri e sulla costa Croata. Il sisma provocò un morto a Rimini e vari feriti in tutta l'area epicentrale. Furono notate alcune piccole onde di maremoto. In vari luoghi della costa romagnola si aprirono lunghe fenditure nel terreno e cavità imbutiformi da cui fuoriuscirono getti di acqua in pressione (fenomeni di liquefazione del terreno). Nel bacino del Metauro questo terremoto produsse effetti macrosismici massimi compresi tra il VI e il VII grado MCS, per lo più lungo la costa adriatica. A Fano la scossa causò la rotazione di una guglia in pietra del Duomo e vari danni agli edifici. Il palazzo comunale fu dichiarato inagibile e alcuni uffici, già in cattivo stato, vennero temporaneamente trasferiti (Patrignani, 2004b).

In Figura 2.7 vengono riportati gli epicentri dei suddetti terremoti tramite un'immagine ottenuta con l'utilizzo delle recenti "Mappe interattive" del sito web <http://www.iononrischio.it>.

2.3 Pericolosità sismica di base del Comune di Fano

La descrizione completa della pericolosità sismica di un sito prevede l'estrazione degli accelerogrammi di *input* che possono essere utilizzati al fine della definizione della RSL. Anche se il presente lavoro di MS non prevede tali analisi avanzate (livello 3), si vogliono comunque fornire i parametri sismologici di base necessari alle successive elaborazioni, al fine di completare il quadro analitico relativo alla pericolosità di base.

Informazioni fondamentali al suddetto fine sono i dati di disaggregazione (variabili in termini di magnitudo e distanza), ottenibili per esempio dalla pagina del sito dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) specificatamente dedicata ai dati di pericolosità sismica nazionale (Fig.2.8 e Tab.2.2). Da tali dati si nota come di gran lunga il maggior contributo percentuale alla pericolosità per il sito in esame sia fornito da terremoti di magnitudo compresa fra 4,0 e 6,0 e posizionati ad una distanza inferiore ai 10 Km dal sito stesso (63,8%); questi sono terremoti di medio-bassa entità che potrebbero verificarsi però a distanze molto limitate da Fano. In termini probabilistici si sottolinea quindi come INGV ritenga significativa la possibilità del verificarsi di eventi sismici nei pressi del sito in esame (terremoti epicentrali), come d'altra parte storicamente sembra già essere avvenuto. Un ulteriore importante contributo alla pericolosità sismica di Fano viene offerto dai terremoti di magnitudo compresa fra 4,5 e 6,5 alla distanza di 10-30 Km (per esempio i sismi storici del 1781 e del 1741); essi contribuiscono alla pericolosità finale per il 26,16% del totale.

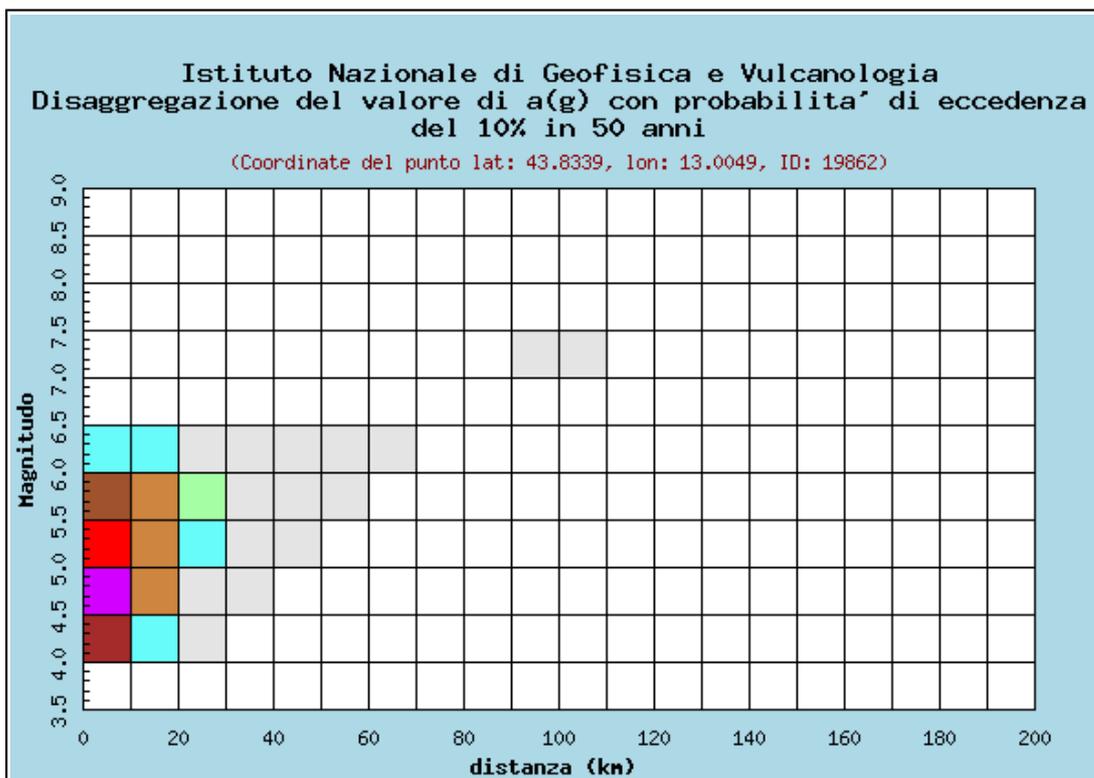


Figura 2.8 – Grafico di disaggregazione relativo alla Città di Fano, indicante le coppie magnitudo-distanza che contribuiscono alla determinazione della pericolosità sismica di base (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>); per i valori specifici cfr. Tab.2.2.

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.8339, lon: 13.0049, ID: 19862)										
	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	11.300	24.400	17.400	10.700	1.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	1.950	7.010	8.820	8.650	1.680	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.011	0.424	1.430	2.300	0.948	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.001	0.137	0.597	0.413	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.002	0.120	0.167	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	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	0.001	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

Tabella 2.2 – Dati di disaggregazione per il sito Fossombrone (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Si sottolinea quindi come l'89,96% del contributo di pericolosità sia rappresentato da terremoti previsti in un raggio inferiore ai 30 km da Fano; questo aspetto risulta importante in presenza di aree potenzialmente instabili sul territorio, infatti la maggior parte dei fenomeni di instabilità seismoindotti (movimenti gravitativi, liquefazione, etc.), si verifica in genere relativamente vicino alle aree epicentrali.

Altri dati fondamentali che descrivono la pericolosità sismica per il Comune di Fano e che possono essere facilmente ottenuti tramite gli strumenti messi a disposizione da INGV, sono i valori di a (g) previsti a diverse frequenze annuali di superamento (Fig.2.9); dati questi ultimi, fondamentali per eventuali successive analisi di risposta sismica locale legate al livello 3 di microzonazione sismica.

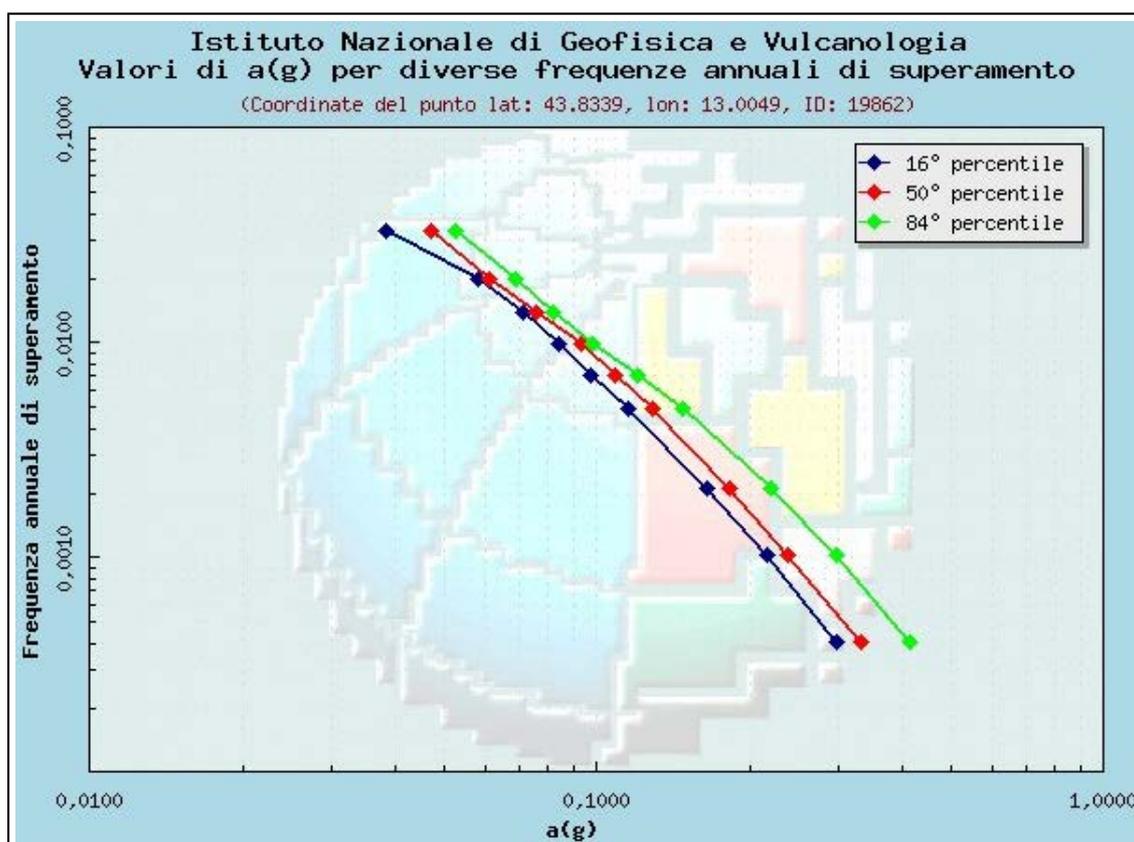


Figura 2.9 – Valori di a (g) per diverse frequenze annuali di superamento (<http://essel-gis.mi.ingv.it/>).

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

3.1 Inquadramento geologico

Il contesto geologico dell'area di studio è riferibile al Bacino marchigiano esterno, la storia del quale è strettamente connessa a quella dell'Appennino umbro-marchigiano. Quest'ultimo rappresenta una catena risultato di una lunga storia deformativa che ha interessato la successione sedimentaria marina depositata a partire dall'ingressione riferibile all'apertura della Tetide (Carnico). Tale successione, pressoché continua dal Trias superiore al Neogene, poggia sul basamento cristallino ercinico e, in evoluzione continua fino al Pleistocene, presenta notevoli variazioni di spessori e di *facies* che riflettono le diverse realtà degli ambienti sedimentari (Centamore & Micarelli, 1991).

L'Appennino Umbro-marchigiano è una catena a pieghe e sovrascorrimenti (Calamita *et alii*, 1991), con deformazioni della copertura sedimentaria meso-cenozoica disarmoniche rispetto al sottostante basamento cristallino. L'assetto strutturale dell'Appennino Umbro – marchigiano è il risultato di una storia tettonica articolata in due fasi principali negli ultimi 15Ma. Nella prima, tra il Serravalliano e il Pleistocene medio è stato attivo un campo di sforzi compressivo con direzione prevalente SW-NE che, nel migrare progressivamente da W verso E, ha determinato la formazione di una serie di domini strutturali a loro volta interessati da anticlinali, sinclinali, sovrascorrimenti e tutta una serie di strutture tettoniche a formare un arco a convessità orientale (Barchi & Lavecchia, 1994). Nella seconda fase, che inizia a partire dal Pliocene, alle deformazioni compressive seguono deformazioni distensive, coassiali alla catena, legate al processo di *rifting* tirrenico.

Il primo termine della successione è costituito dalla Formazione delle Anidriti di Burano (Norico-Retico) che è stata classicamente considerata il livello basale in corrispondenza del quale si realizza lo scollamento e il conseguente piegamento della copertura sedimentaria umbro-marchigiana rispetto al sottostante basamento (Barchi *et alii*, 1988). Recenti studi hanno messo in evidenza che anche il basamento risulta essere interessato da faglie inverse con superfici immergenti a SW (Barchi *et alii*, 1998). Sulle Anidriti di Burano poggiano le *litofacies* di piattaforma del Calcarea massiccio, depositatesi fino alla fine del Lias inferiore, quando una intensa fase tettonica distensiva portò alla frammentazione della preesistente piattaforma carbonatica determinando la separazione del dominio laziale-abruzzese, in cui continua la deposizione in ambiente di piattaforma, da quello tosco-umbro-marchigiano-sabino, caratterizzato da sedimentazione di ambiente più profondo. Caratteristica del bacino pelagico umbro-marchigiano è la batimetria estremamente variabile, con zone rialzate ed altre ribassate (tafrogenesi ad *horst* e *graben*) e la notevole subsidenza differenziale. La diretta conseguenza, schematizzando, sono i diversi spessori che le successioni

presentano localmente, variando da quelle estese (Successione Completa *Auct.*), riferibili alle aree più profonde a forti tassi di subsidenza, fino a quelle di spessore più limitato (Successione condensata e ridotta *Auct.*) relative ad aree strutturalmente rialzate a subsidenza ridotta (Centamore & Micarelli, 1991). La sedimentazione pelagica, cretacea e paleogenica della Successione Umbro-marchigiana risulta costituita prevalentemente da calcari, calcari marnosi e marne in proporzione variabile. A partire dal Miocene il bacino, cominciando a risentire degli sforzi compressivi attivi nelle aree più occidentali, entra in regime orogenico e assume i caratteri di un'avanfossa con sedimentazione di unità dapprima emipelagiche e successivamente torbiditiche; col proseguire della deformazione vengono a delinarsi, nell'area Umbro-marchigiana, tre unità morfostrutturali (da W verso E, Bacino umbro, Bacino marchigiano interno e Bacino marchigiano esterno *Auct.* rispettivamente) separate da alti strutturali e, all'interno di queste, un certo numero di aree deposizionali (Bacini Minori *Auct.*) nei quali si depositano unità terrigene peculiari, ampiamente descritte in letteratura (Centamore & Micarelli, 1991).

Tra le formazioni mioceniche assumono un significato particolare quelle del Bisciario (BIS) e della Gessoso-Solfifera *Auct.* (GES) che, indipendentemente dalle condizioni locali, si depositarono con una relativa continuità spaziale fungendo così da "orizzonti guida". Il graduale instaurarsi di condizioni continentali nel Plio-Pleistocene comincia ad occidente e prosegue poi verso oriente. Il corrugamento interessa ormai, oltre alle dorsali mesozoiche, anche la depressione interna e l'avanfossa migra ancora più ad est. La successione marina marchigiana plio-pleistocenica è riferibile, di conseguenza, solo al Bacino marchigiano esterno ed è caratterizzata anche da notevoli variazioni spazio-temporali, in relazione ad eventi tettonici che finiscono per condizionare gli ambienti sedimentari (Centamore & Micarelli, 1991).

L'area di studio viene geologicamente descritta nel dettaglio nella Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, la quale copre il settore tramite i seguenti fogli:

- Foglio 268 Pesaro (AA.VV., 2011);
- Foglio 269 Fano (AA.VV., 2011);
- Foglio 280 Fossombrone (AA.VV., 2016);
- Foglio 281 Senigallia (AA.VV., 2009).

Volendo fornire un quadro generale per l'area oggetto di studio, che rientra completamente nell'ambito del Bacino marchigiano esterno, si può affermare che essa è caratterizzata fondamentalmente da depositi marini di *Wedge-Top* (AA.VV., 2016), ossia appartenenti ad un bacino sedimentario localizzato al di sopra del cuneo orogenetico in deformazione; un bacino di questo tipo è colmato da sedimenti di tipo alluvionale, deltizio e misto (nel caso in esame riconoscibili all'interno della Formazione delle Argille Azzurre). In Figura 3.1 viene riportato lo

schema tettonico-stratigrafico relativo al Foglio 280 Fossombrone della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000 (AA.VV., 2016). In tale schema sono bene evidenziate le principali strutture plicative che interessano il settore sud-occidentale dell'area di studio (territorio comunale di Fano) e le principali tipologie di depositi, distinte in base all'ambiente genetico-deposizionale e alla sequenza di messa in posto.

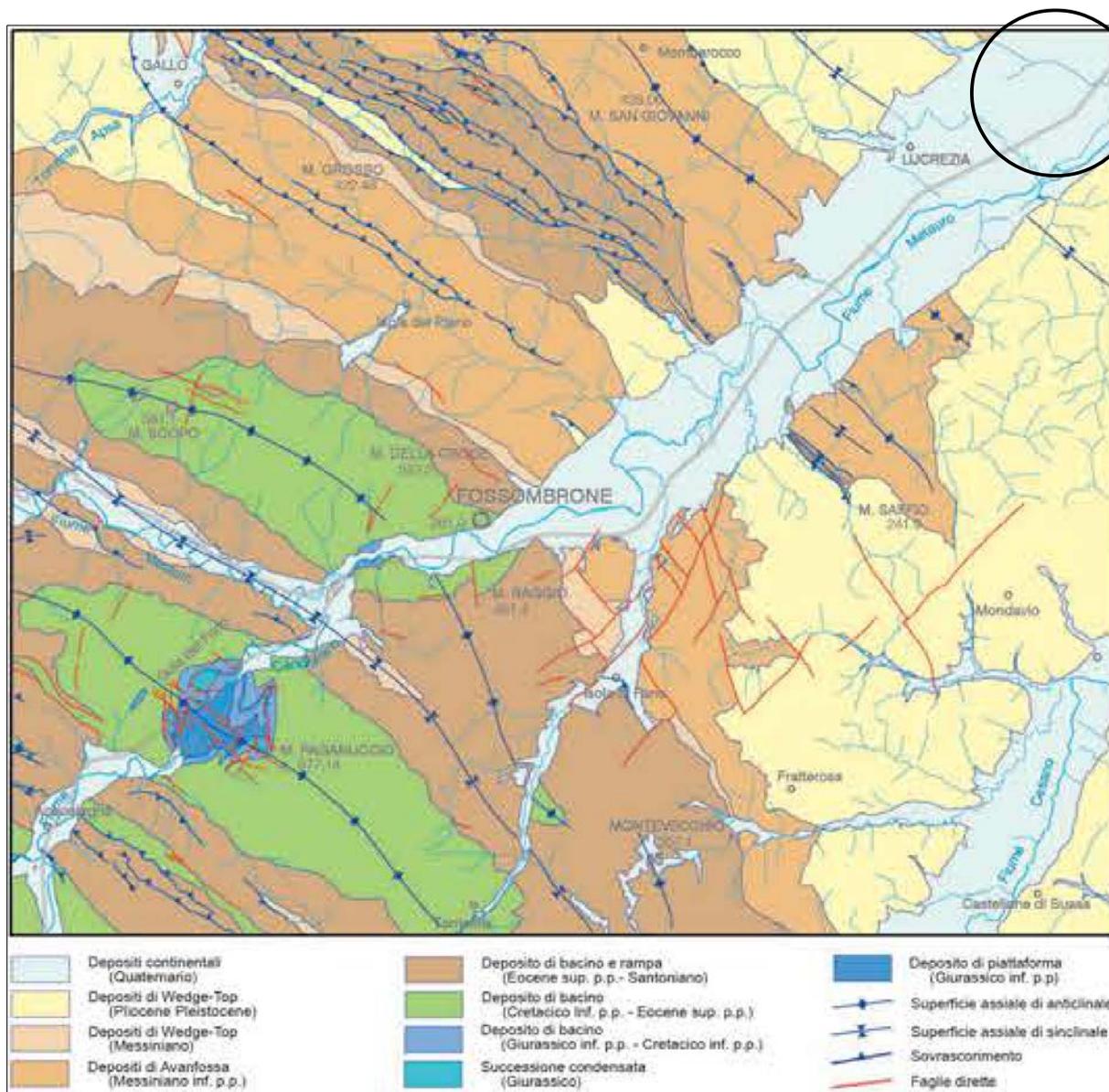


Figura 3.1 – Schema tettonico-stratigrafico del Foglio 280 Fossombrone della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000 (AA.VV., 2016). Il cerchio nero indica il settore sud-occidentale dell'area di studio.

Le formazioni litostratigrafiche che interessano l'area di studio e il loro assetto tettonico stratigrafico in corrispondenza del settore più vicino alla Costa Adriatica, vengono meglio evidenziati nel Foglio 268 Pesaro (AA.VV., 2011) (Fig.3.2) e nel Foglio 281 Senigallia (Fig.3.3), in

particolare per quanto riguarda i fianchi della Valle del Fiume Metauro; nel Foglio 269 Fano vengono descritte puntualmente le caratteristiche geologiche del settore posto al centro della Valle del Fiume Metauro e dei corpi sedimentari che caratterizzano la costa.

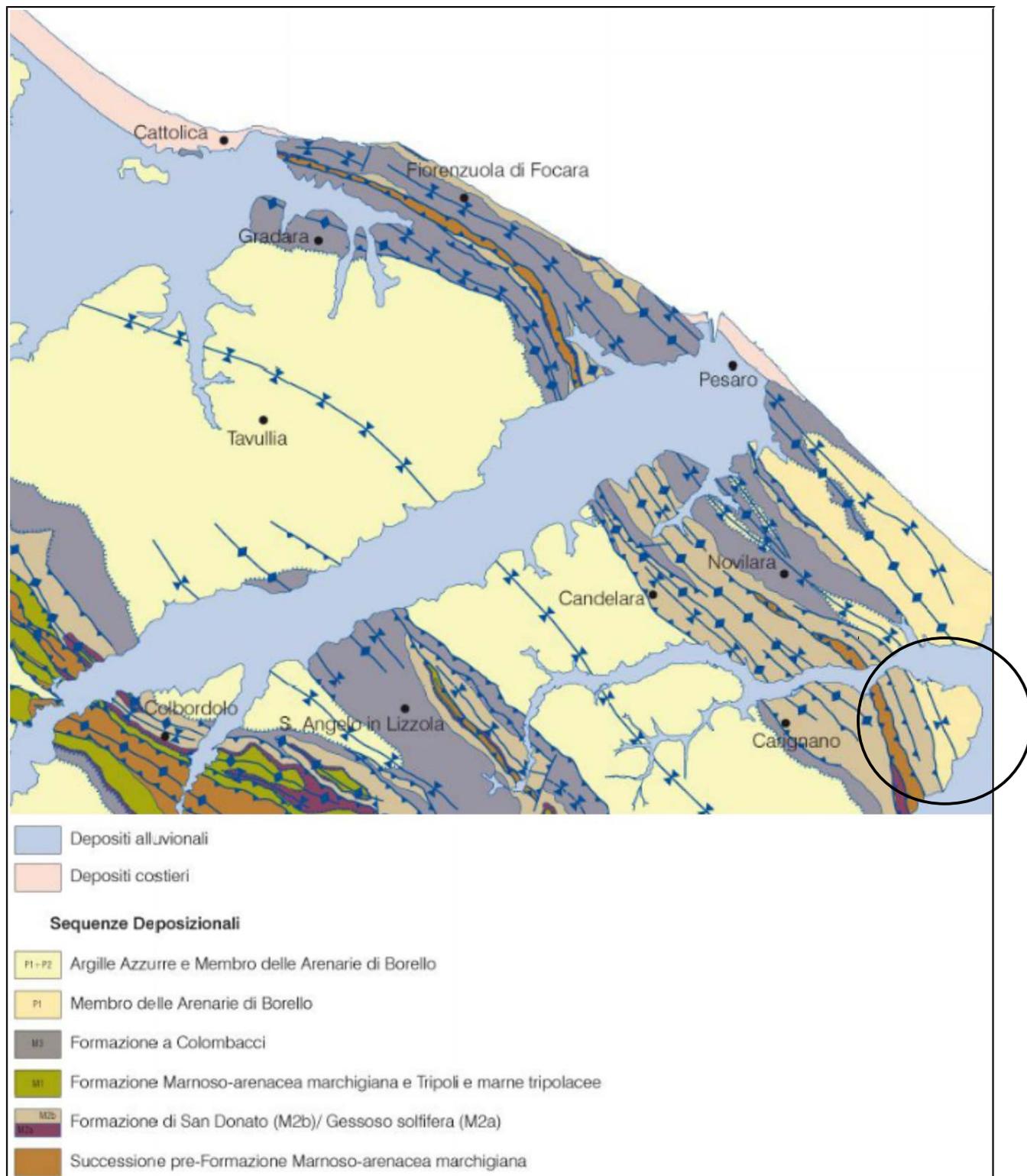


Figura 3.2 – Schema tettonico-stratigrafico del Foglio 268 Pesaro della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000 (AA.VV., 2011, modificato). Il cerchio nero indica il settore occidentale dell'area di studio.

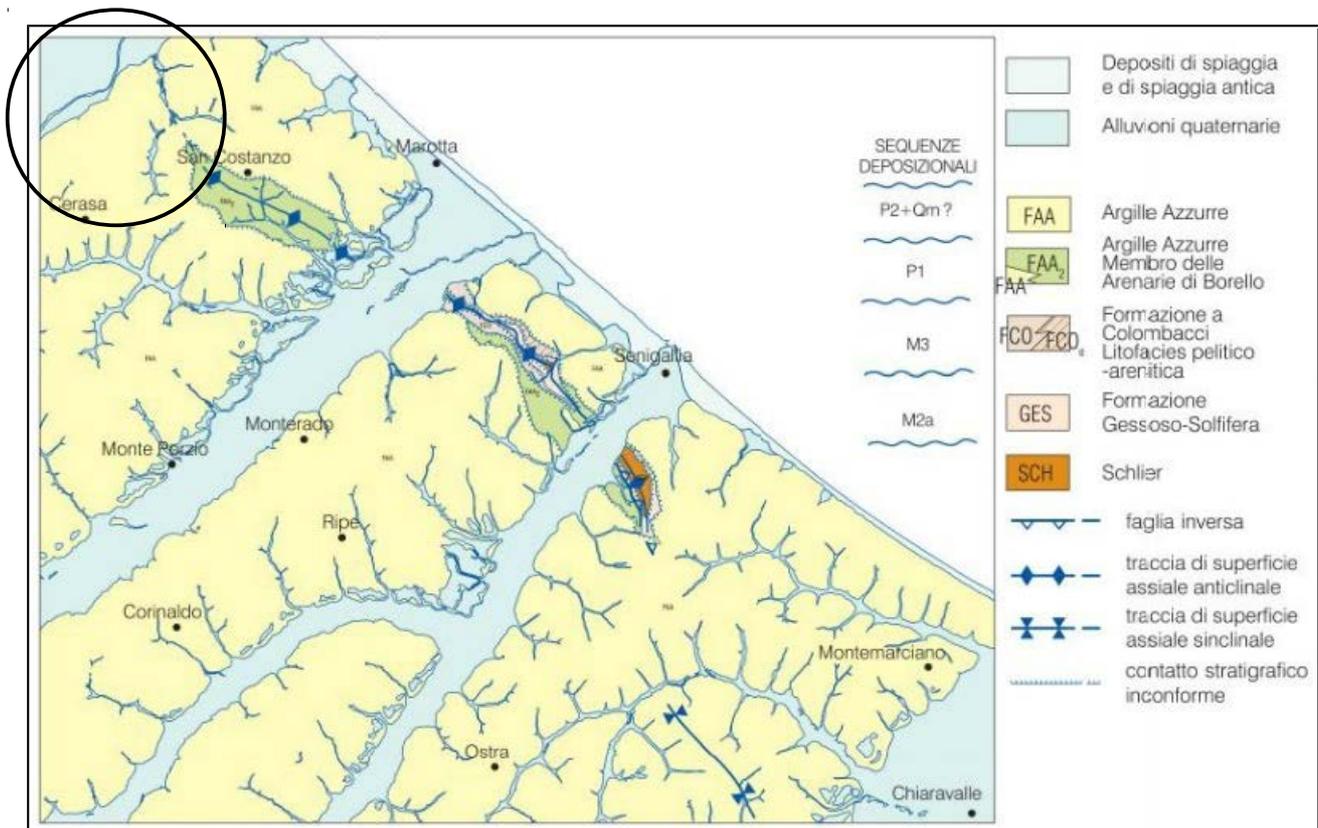


Figura 3.3 – Schema tettonico-stratigrafico del Foglio 281 Senigallia della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000 (AA.VV., 2009). Il cerchio nero indica il settore sud-orientale dell'area di studio.

3.2 Lineamenti stratigrafici

Nel territorio del Comune di Fano considerato ai fini del presente studio di microzonazione sismica, affiora la porzione della Successione Umbro-marchigiana compresa tra la Formazione dello Schlier (Burdigaliano p.p. - Tortoniano) e la Formazione delle Argille azzurre (Pliocene inf. p.p. - Pleistocene inf. p.p.).

Viene riportato lo schema cronostratigrafico delle unità marine che interessano il Bacino marchigiano esterno e in particolare i settori interessati dall'ambito del Foglio 269 Fano e del Foglio 281 Senigallia (Fig.3.4). Le varie formazioni geologiche affioranti nell'area di studio vengono di seguito descritte, dalle più antiche a quelle più recenti, a partire dal Miocene inferiore p.p. e fino all'Olocene.

3.2.1 Unità del substrato

Formazione dello Schlier – SCH (Burdigaliano p.p. - Tortoniano)

Unità litostratigrafica costituita da alternanze di marne, marne calcaree, marne argillose grigie e, subordinatamente, da calcari marnosi biancastri, talora finemente detritici.

La bioturbazione è molto frequente e spesso intensa. Gli strati sono in genere medio sottili e spesso

obliterati da un diffuso clivaggio. Affiora soltanto nella zona collinare in sinistra idrografica del Fiume Metauro, in corrispondenza di una fascia il cui asse coincide approssimativamente con la direttrice Cuccurano-Ponte Varano (AA.VV., 2012).

EPOCA	ETA'	LITOSTRATIGRAFIA	UNITA'	SEQUENZE DEPOSIZIONALI
Pleistocene inferiore/medio - Olocene		MUS	Depositi quaternari	Sistema del Fiume Musone (MUS) - Olocene
		MTI		Sistema di Matelica (MTI) - Pleistocene superiore p.p.
		ACF		Sistema di Selvatorta (ACF)-Supersistema di Colle Ulivo
		URS		Sistema di Urbisaglia (URS) Pleistocene inferiore/medio - medio
Pliocene medio p.p. - Pleistocene inferiore p.p. Olocene	Piacenziano p.p. - Gelasiano - Santerniano Emiliano p.p.?	FAA ₄ 10-40 m FAA FAA ₃ 10-15 m	Litofacies pelitico-arenitica (FAA ₄) a più livelli e Litofacies arenitico-pelitica (FAA ₃)	"Qm" ↑ ? "P2" Pliocene medio p.p. - Pleistocene inferiore p.p.
		10-15 m FAA ₂ FAA ₁		Membro delle Arenarie di Borello (FAA ₂) con intercalata la Litofacies arenitico-conglomeratica (FAA _{2a}) 450 m 30 m
Pliocene inferiore p.p. - Pliocene medio p.p.	angular unconformity			
Pliocene inferiore p.p.	"P1" Pliocene inferiore - medio p.p.			
Pliocene inferiore p.p.	Zancleano basale	50-60 m	Marna di Cella	
Miocene superiore p.p.	Messiniano p.p.	40-60 m FC0	Formazione a Colombacci (FC0) Litofacies pelitico-arenitica (FC0 ₁)	"M3" Messiniano p.p.
Miocene superiore p.p.	Messiniano p.p.	50-60 m	Formazione a Colombacci Gessoso - Solfifera (GES)	"M2a" Messiniano p.p.
Miocene superiore p.p.	Tortoniano p.p. - Messiniano inferiore p.p.	150-180 m	Schlier (SCH)	-

Figura 3.4 – Schema dei rapporti stratigrafici del Foglio 281 Senigallia della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000 (AA.VV., 2009).

Formazione Gessoso-solfifera – GES (Messiniano superiore p.p.)

Al di sopra dello Schlier affiora la Formazione Gessoso-Solfifera, la quale nell'area presenta uno spessore variabile da 15 a 40 m. Essa è costituita da una alternanza di argille scure bituminose, diatomiti, gessi e gessareniti laminate, calcari solfiferi e calcari listati. Questi litotipi, di ambiente euxinico ed evaporitico, sono variamente alternati tra loro, ma vi si possono distinguere grosso modo tre membri: l'inferiore e il superiore, formati in prevalenza da peliti euxiniche (ghioli di letto e di tetto), e quello intermedio, costituito per lo più da *litofacies* evaporitiche. Di scarsa estensione, affiora in corrispondenza di una stretta fascia del versante collinare, tra le località Ferretto e Cuccurano (AA.VV., 2012).

Formazione di San Donato – FSD (Messiniano superiore p.p.)

Formazione costituita da un'alternanza di peliti (dominanti) e subordinate arenarie, a stratificazione piano-parallela. Le arenarie hanno sempre una granulometria fine e molto fine, in strati di spessore compreso fra 1 cm e 1 m. Gli strati hanno colore ocreo alla alterazione e grigio-azzurro su fratture fresche; la loro base è netta, con scarse impronte di fondo che indicano una provenienza da NO, lungo l'asse del bacino. Le areniti sfumano verso l'alto in peliti omogenee e compatte, di colore grigioverde, talora, laminate. Il rapporto A/P cresce verso l'alto da 1:8 a 1:3. Questa formazione è presente in sinistra idrografica del Fiume Metauro ed affiora su entrambi i lati delle strutture ivi presenti (AA.VV., 2012).

Formazione a Colombacci – FCO (Messiniano superiore)

Unità costituita da peliti e limi laminati grigi o ocre e subordinate arenarie fini, in strati sottili, a laminazione piano parallela. Sono presenti caratteristici livelli di calcari evaporitici biancastri ("colombacci"), in strati sottili, intercalati ciclicamente. Gli spessori sono localmente molto variabili, fino ad alcune centinaia di metri. Affiora in piccole aree localizzate nell'area collinare, in sinistra idrografica del Fiume Metauro (AA.VV., 2012).

Formazione delle Argille Azzurre – FAA (Pliocene inferiore p.p. – Plistocene inferiore p.p.)

Le Argille Azzurre sono costituite da terreni plio-pleistocenici marini e rappresentano di fatto la formazione del substrato di maggiore estensione in corrispondenza dell'area delimitata per la realizzazione dei presenti studi di microzonazione sismica, ad esclusione di un modesto settore sud-occidentale, occupato dalle unità precedentemente descritte.

Malgrado la loro limitata esposizione in affioramento, l'analisi di terreno ha permesso di riconoscere all'interno delle Argille Azzurre alcune unità litostratigrafiche di rango inferiore. Il loro riconoscimento si è basato sulle caratteristiche litologiche, sul rapporto A/P (Arenaria/Pelite), sulla composizione (macroscopica) delle areniti e sulla posizione stratigrafica. Le unità di rango inferiore hanno un'estensione limitata e sono di difficile correlazione (*litofacies*); il Membro delle Arenarie di Borello (FAA₂), invece, è più diffuso e sempre ben riconoscibile (AA.VV., 2009).

La successione plio-pleistocenica esprime il locale riempimento delle aree deposizionali che caratterizzavano l'evoluzione del Bacino marchigiano esterno e le sue peculiari caratteristiche hanno suggerito l'adozione di una terminologia originale nell'identificazione delle unità litostratigrafiche di differente rango.

Le Argille Azzurre raggiungono uno spessore complessivo di almeno 1.000 m, anche se variabile lateralmente. La Formazione è costituita da una successione di terreni prevalentemente pelitici,

all'interno dei quali sono intercalati, nella porzione inferiore, corpi più grossolani arenitici e arenitico-conglomeratici e, nella porzione superiore, corpi arenitico-pelitici e soprattutto pelitico-arenitici (Fig.3.4). Questi corpi più grossolani sono stati mappati come membri, *litofacies* o lenti, a seconda della loro distribuzione areale e verticale.

Nella porzione inferiore delle Argille Azzurre è presente un membro arenitico denominato **Membro delle Arenarie di Borello (FAA₂)**, caratterizzato da un rapporto A/P compreso tra il 40/60% e 70/30%. Questo membro, che caratterizza in particolare il settore nord-orientale dell'area di studio, affiorando frequentemente nel margine sinistro della Valle del Fiume Metauro (Fig. 3.5), è costituito da una successione prevalentemente arenitica in cui si intercala localmente una *litofacies* arenitico-conglomeratica (FAA_{2a}); quest'ultima non è presente nell'area in oggetto.



Figura 3.5 – Membro delle Arenarie di Borello (FAA₂) affiorante sul margine sinistro della Valle del Fiume Metauro, all'altezza di Rosciano di Fano (foto Bisiccia).

Gli strati arenitici sono spessi, molto spessi e massivi, e, più raramente, medi o sottili, talvolta con geometria marcatamente lenticolare. Le superfici di strato sono spesso erosive, ossidate e con concrezioni carbonatiche (calcinelli), globose o allungate. Spesso è ben visibile la gradazione e strutture sedimentarie come laminazioni piano-parallele e ondulate (Fig.3.6). Localmente, all'interno del membro, sono presenti intervalli più pelitici raramente visibili in affioramento ma che

condizionano la morfologia. Al tetto di questo membro è presente una discordanza geometrica; in corrispondenza di questo contatto inconforme (base della porzione superiore delle Argille Azzurre), si riscontra una lacuna stratigrafica la cui estensione verticale resta di fatto ancora da precisare (AA.VV., 2009).



Figura 3.6 – Membro delle Arenarie di Borello (FAA₂); strutture sedimentarie costituite da laminazioni piano-parallele e ondulate (foto Bisiccia).

Le peliti che prevalentemente caratterizzano le Argille Azzurre sono rappresentate da argille e argille marnose di colore grigio azzurrognolo e subordinatamente nocciola, talora laminate, fossilifere e in strati da sottili a medi. Esse sono estremamente fratturate e presentano diffusi livelli millimetrici di patine di ossidazione rossastre. Localmente si osservano addensamenti di frammenti organogeni e noduli diagenetici giallo-rossastri di diametro centimetrico, formati da ossidi di ferro e solfuri. Sono inoltre presenti rari livelli di limi e/o sabbie fine e medio fine, di color nocciola e più raramente grigiastri, con evidenti strutture gradate e laminate (laminazione piano-parallela e talora incrociata).

Le Argille Azzurre poggiano generalmente, con una probabile eteropia di *facies*, sui terreni del Miocene superiore attraverso una superficie di discontinuità. Verso l'alto, i terreni di questa formazione concludono la successione marina e su di essi si depositano i terreni del Quaternario

continentale.

Nella parte alta delle Argille azzurre sono presenti alcune intercalazioni più grossolane, lenticolari, spesso riconosciute su base morfologica, essendo gli affioramenti piuttosto rari. Una delle principali è rappresentata da una *litofacies arenitico-pelitica* (**FFA_b**) (rapporto A/P compreso tra 40/60% e 70/30%) che è costituita da un'alternanza di areniti e argille limose e con spessore variabile intorno a 10-15 m (AA.VV., 2009). In più livelli stratigrafici si osservano, inoltre, *litofacies pelitico-arenitiche* (**FFA_a**) (rapporto A/P compreso tra 30/70% e 40/60%), di spessore individuale compreso tra 20 e 40 m (AA.VV., 2009). Queste due ultime *litofacies* non affiorano nell'area di studio.

3.2.2 Unità delle coperture quaternarie

All'interno dell'area di studio, le formazioni marine del substrato precedentemente descritte, sono ricoperte in discontinuità da depositi continentali dell'Olocene e del Pleistocene.

I corpi sedimentari di ambiente continentale, derivano in parte dalla deposizione fluviale (alluvioni) e in parte dall'alterazione chimico-fisica e dall'azione dei diversi agenti meteorici sulle formazioni del substrato (coperture eluvio-colluviali e detritiche). Nell'area in esame sono stati mappati sia depositi alluvionali che depositi eluvio-colluviali. Essi possono essere ascrivibili a differenti fasi deposizionali, le quali vengono indicate in bibliografia con il termine anglosassone di *Unconformity Bounded Stratigraphic Units* (UBSU).

Vengono riportate e descritte unicamente le unità e i corpi sedimentari effettivamente affioranti nell'area delimitata per gli studi di microzonazione sismica (Fig. 3.7).

Sintema di Matelica

Questo sintema comprende unicamente i depositi alluvionali terrazzati del Fiume Metauro. Il limite inferiore corrisponde con la superficie d'erosione che separa i depositi alluvionali dal substrato roccioso e che, nei pressi della linea di riva attuale, si approfondisce a oltre 20 m al di sotto dell'odierno livello marino evidenziando la presenza di valli sovra scavate. Lungo il Fiume Metauro e il Torrente Arzilla i depositi alluvionali in questione sono parzialmente ricoperti dai depositi alluvionali del Sintema del Musone (AA.VV., 2011b).

L'età dei depositi del Sintema di Matelica è sostanzialmente riferibile al Pleistocene superiore, senza tuttavia escludere la presenza di intervalli dell'Olocene più antico (causa le oggettive difficoltà nel determinarne il limite) (AA.VV., 2011b).

Depositi alluvionali terrazzati – MTIbn (Pleistocene superiore)

Il Sintema di Matelica comprende i depositi alluvionali terrazzati del tradizionale “3° ordine” la cui

superficie, nel settore più vicino alla costa, si trova a quote non superiori ai 15-20 m sull'alveo attuale, quote che a causa della convergenza verso mare delle unità terrazzate principali, risultano sensibilmente inferiori ai 25-30 m che si osservano nei settori più interni. La presenza di una “conoide costiera”, attraversata nella sua parte mediana dall'attuale corso del Fiume Metauro, conferisce alla locale superficie terrazzata una morfologia lievemente convessa. I depositi alluvionali appartenenti a questo sintema, deposti dal Fiume Metauro, sono prevalentemente ghiaiosi, con corpi limoso-sabbiosi o sabbioso-ghiaiosi intercalati con maggior frequenza e spessori maggiori verso l'alto (AA.VV., 2011b); in genere i primi livelli di ghiaie si presentano a profondità comprese fra i 3 e gli 8 m a partire dal piano campagna.



Figura 3.7 – Punti di vista panoramici della Città di Fano con evidenziati il corso del Fiume Metauro e i settori interessati dai principali corpi sedimentari dei depositi quaternari di copertura (foto Bisiccia).

Sulla base dei dati geofisici resi disponibili dalle indagini effettuate per il presente studio di microzonazione, emerge la presenza di settori caratterizzati da una velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m (V_{s30}) maggiore rispetto ad aree limitrofe. Confrontando i dati geofisici con quelli derivanti dai sondaggi meccanici, si evince come maggiori valori di V_{s30} siano associabili generalmente alla presenza di una maggiore componente ghiaiosa; tale aspetto denota la presenza di antichi canali ad alta energia, facenti parte probabilmente del presunto sistema di

conoide deltizia costiera descritto in bibliografia (cfr. paragrafo 3.4 e Carta geologico-tecnica alla scala 1:10.000). Lo spessore di questi depositi, piuttosto variabile, può essere considerato compreso nell'area di studio tra i 15 e i 25 m e fino ad un massimo di 30-35 m (AA.VV., 2011b).

Sintema del Musone

Questo sintema è rappresentato dai depositi alluvionali del Fiume Metauro, del Torrente Arzilla e di alcuni corsi d'acqua minori, da depositi di spiaggia e da coltri eluvio-colluviali. Esso comprende un insieme eterogeneo e complesso di eventi di aggradazione e terrazzamento minori distribuiti a quote molto basse sull'alveo attivo; include i depositi degli alvei di magra e dei letti di piena ordinaria e le aree golenali. Particolarmente significativa è la presenza, a sud della foce del Fiume Metauro, di un antico tracciato fluviale, riferibile all'Olocene antico, che corre in direzione circa NW-SE al piede delle colline plioceniche, a ridosso dell'attuale autostrada e testimonia la presenza di un'antica foce ubicata a SE di Torrette (Fig.3.8). L'antico tracciato viene evidenziato da una depressione di circa 400 m di ampiezza (e quindi compatibile con quella dell'attuale letto di piena del Fiume Metauro), bordata da scarpate fluviali e in parte ricoperta sul lato monte da colluvi e da corpi alluvionali (conoidi) successive all'abbandono del tracciato stesso (AA.VV., 2011b).



Figura 3.8 – Depositi alluvionali del Sintema del Musone (MUSbn) presenti immediatamente a sud della foce del Fiume Metauro (foto Bisiccia).

Il limite inferiore del sintema corrisponde con la superficie d'erosione che separa i depositi eluvio-colluviali, i sedimenti costieri e i corpi alluvionali dal substrato roccioso e dai più antichi depositi del Sintema di Matelica. Il Sintema del Musone viene temporalmente riferito all'Olocene (AA.VV., 2011b).

Depositi eluvio-colluviali – MUSb2 (Olocene)

I depositi eluvio-colluviali che si sviluppano sul substrato pelitico-arenitico miocenico e pliocenico, presentano, nell'area di studio, corpi di estensione relativamente limitata e uno spessore generalmente contenuto (3-4 m) (AA.VV., 2011b); localmente, sulla base di dati derivanti da indagini geognostiche, possono presentare spessori assai maggiori, dell'ordine dei 10-15 m.

Essi sono concentrati in particolare lungo i versanti e alla base di essi e sono costituiti da sedimenti prevalentemente sabbioso-limosi-argillosi. Si osservano anche lungo le scarpate di origine alluvionale e in questo caso, in genere, ai sedimenti a granulometria fine si associano subordinati ciottoli fluviali (AA.VV., 2011b).

Depositi alluvionali terrazzati – MUSbn (Olocene)

Sono costituiti dall'insieme dei sedimenti alluvionali che costituiscono le piane di fondovalle del Fiume Metauro e del Torrente Arzilla, posizionate all'interno dei depositi alluvionali del Pleistocene superiore – Olocene. La superficie di tali depositi alluvionali, in parte blandamente terrazzati, in parte coincidenti con aree esondabili, si trova a quote inferiori ai 10 m sull'alveo attivo. I depositi di questo sintema vengono ad essere tradizionalmente attribuiti al “4° ordine dei terrazzi” (AA.VV., 2011b).

Nel fondovalle del Fiume Metauro tali depositi sono rappresentati da ghiaie, anche molto grossolane e piuttosto eterometriche, intercalate a livelli sabbiosi, sabbioso-ghiaiosi o argilloso-sabbiosi, questi ultimi più frequenti nei primi metri a partire dal piano campagna. Nel settore interessato dal Torrente Arzilla i depositi sono generalmente più fini, con occasionali lenti di ghiaie che derivano probabilmente da un rimaneggiamento dei sedimenti del Metauro; lo spessore di tali depositi è in genere inferiore ai 5 m, ma occasionalmente può superare i 10-15 m (AA.VV., 2011b).

Depositi di frana – MUSa1 (Olocene – attuale)

Depositi costituiti da litotipi eterogenei più o meno caotici delle dimensioni dai blocchi alle argille, con contenuto in matrice variabile; frane di diverse tipologie con evidenze di movimenti in atto e/o recenti.

Depositi alluvionali attuali – MUSb (Olocene – attuale)

Depositi alluvionali che occupano esclusivamente gli alvei attivi del Fiume Metauro e del Torrente Arzilla e che pertanto non hanno importanza ai fini del presente lavoro.

Depositi di spiaggia antica – MUSg2b (Olocene)

Questi depositi si estendono sulla piana costiera (intensamente antropizzata), per una distanza di circa 1000 m a partire dalla linea di riva. Ad eccezione dei settori di foce, verso l'interno essi sono delimitati da una falesia inattiva, di 5-7 m di altezza massima, disposta parallelamente alla costa (Fig.3.9); in corrispondenza delle foci di Metauro e Arzilla, la falesia si fonde con le scarpate fluviali che rientrano verso monte.



Figura 3.9 – Falesia inattiva che delimita verso l'entroterra i sedimenti di spiaggia antica (MUSg2b); il settore è quello compreso tra Metaurilia e Torrette di Fano (foto Bisiccia).

Dal XVI secolo in poi, la crescita della piana costiera verso il largo è messa in risalto da una consistente documentazione storica disponibile per il litorale fanese. Questa documentazione evidenzia anche la presenza di antichi sistemi spiaggia-duna-stagni/paludi e di piccoli corsi d'acqua provenienti dalle aree retrostanti la falesia, elementi in parte sopravvissuti fino al XIX secolo.

L'intensa antropizzazione oggi presente ha obliterato in maniera molto marcata la morfologia originaria; osservazioni di superficie e dati di sondaggio rivelano comunque una litologia varia, caratterizzata da ghiaie e sabbie variamente associate a limi e argille, con a luoghi presenza di orizzonti ricchi in materia organica.

Depositi di spiaggia – MUSg2a (Olocene – attuale)

La spiaggia attuale è di natura ghiaiosa fra il porto di Fano e la foce del Fiume Metauro e prevalentemente sabbiosa altrove; essa ha importanza relativamente limitata ai fini del presente lavoro, in quanto non interessata da strutture in pianta stabile.

Fra le cartografie redatte per il presente studio di microzonazione sismica, è presente la Carta geologica dell'area di studio alla scala 1:10.000, in cui vengono riportate le unità stratigrafiche descritte al presente paragrafo e i principali lineamenti strutturali che risultano evidenti dai rilievi di campagna; tale cartografia specifica è stata realizzata a partire dalla cartografia geologica regionale alla scala 1:10.000.

3.3 Assetto strutturale dell'area

L'area esaminata è caratterizzata da pieghe e sovrascorrimenti a vergenza verso l'Adriatico, aventi approssimativamente direzione appenninica (NW-SE); tale assetto generale è ben evidente nelle figure 3.1, 3.2 e 3.3.

Vengono riportate, sulla Carta geologico-tecnica sviluppata alla scala 1:10.000 e nelle relative sezioni alla scala 1:2.000, diverse strutture di sovrascorrimento e retroscorrimento (*backtrust*). Tali elementi tettonici risultano evidenti nel settore Carrara-Rosciano e nelle frazioni di Carignano e Fenile (Fig.3.10); essi sono stati mappati a partire da quanto illustrato sulla Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (AA.VV., 2009, 2011a, 2001b, 2016). Alcuni dei suddetti lineamenti vengono anche riportati sulla banca dati Ithaca (Catalogo delle faglie capaci; Fig.3.11), denominati **Monte Giove** e **Ponte Murello**: ad essi non sono praticamente associate informazioni che li definiscano in quanto ad attività e parametri sismici e l'unico dato certo è quello geometrico-cinematico; in relazione a quanto sopra e in attesa di maggiori conoscenze a riguardo, tali lineamenti sono stati indicati come non attivi in accordo con la caratterizzazione effettuata al livello 1 di microzonazione.

Nell'area di studio (Bacino del Fiume Metauro) si rileva la frequente presenza di faglie quaternarie. L'analisi delle forme del paesaggio e dei terrazzi alluvionali della Valle del Fiume Metauro, così come per gran parte di quelli delle Marche settentrionali, indica un sollevamento generalizzato durante il Quaternario, accompagnato da sollevamenti differenziali in diverse aree esterne della

catena. I caratteri geomorfologici, fra i quali il progressivo confinamento dei terrazzi e i profili convessi di molti versanti, indicano inoltre un aumento del tasso di sollevamento durante il tardo Pleistocene-Olocene (Savelli *et alii*, 2002; Di Bucci *et alii*, 2003). Studi a carattere geomorfologico, stratigrafico e strutturale condotti nell'area in esame, hanno permesso di riconoscere e caratterizzare faglie recenti sia nei depositi quaternari (Pleistocene superiore – Olocene), sia nel substrato Quaternario. Da tali studi emerge che le faglie recenti (post-*thrusting*) osservate, fanno parte di un sistema di faglie consistente in segmenti orientati circa N-S (distensivi) e faglie di trasferimento con rigetto obliquo (sinistro-transensivo) orientate NE-SW (Fig.3.11).

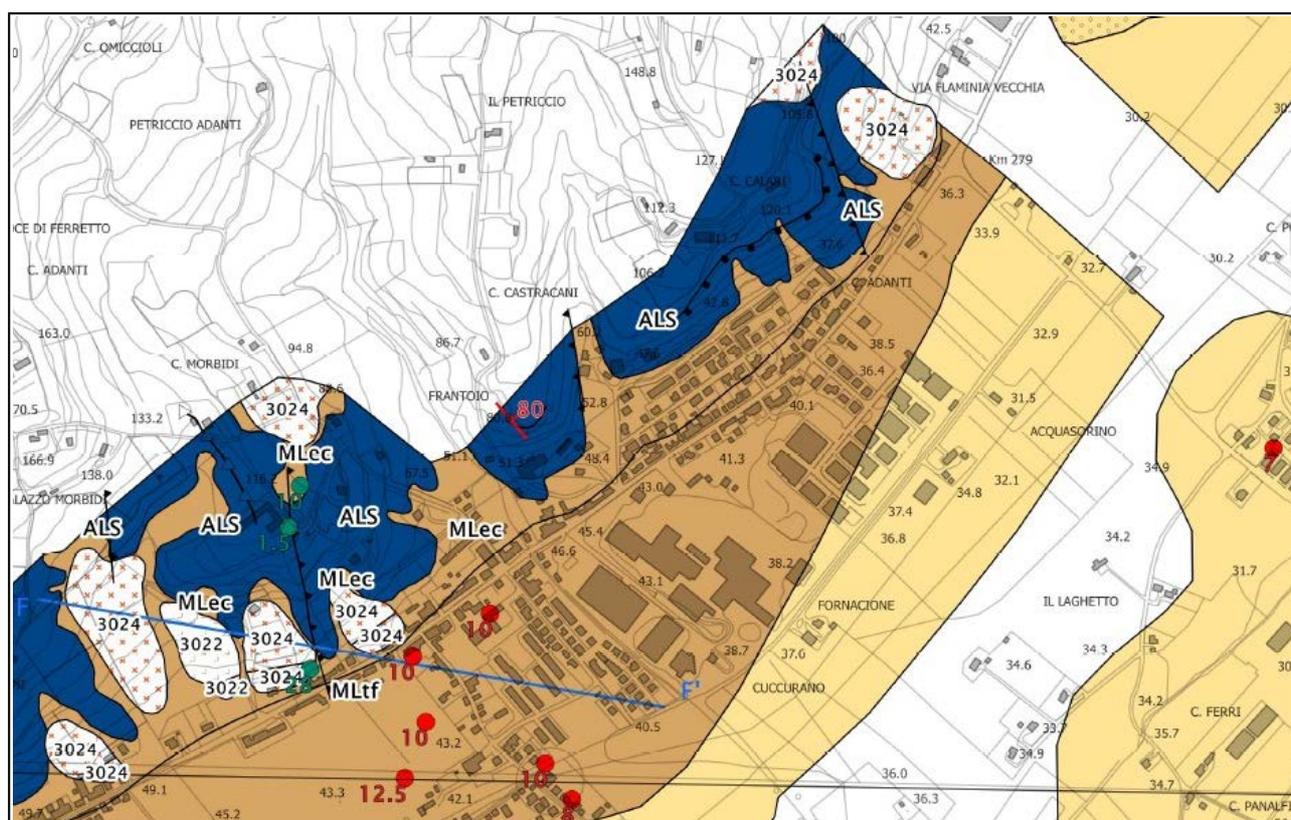


Figura 3.10 – Strutture di sovrascorrimento e retroscorrimento mappate in corrispondenza del substrato affiorante sul fianco sinistro della Valle del Fiume Metauro, settore Carrara-Rosciano.

Alcuni segmenti di faglie appartenenti a questo sistema appaiono non essere stati attivi negli ultimi 150.000 anni, essendo gli stessi suturati da depositi alluvionali terrazzati attribuibili approssimativamente a tale età. Tuttavia, il sistema di faglie nel suo insieme appare avere esercitato un importante controllo sull'evoluzione geomorfologica quaternaria dell'area, almeno nel Pleistocene medio e in parte di quello superiore. Inoltre, l'osservazione di depositi tardo-pleistocenici e olocenici fagliati, suggerisce che la distensione orientata WSW-ESE (260°N), associata al sistema di faglie di cui sopra, possa essere attiva all'interno dell'area di studio (Savelli

et alii, 2002; Di Bucci *et alii*, 2003) (Fig.3.11; Fig.3.12). Ulteriori dati strutturali su depositi quaternari deformati sono stati acquisiti nell'area di Rosciano, a SO di Fano. In quest'area, depositi colluviali e sabbie e ghiaie alluvionali, ascrivibili a terrazzi del "secondo ordine" (tardo Pleistocene medio), giacciono in discordanza su depositi silicoclastici messiniani (Formazione a Colombacci). Fratture e piani di taglio minori (con rigetti massimi di alcuni centimetri) si propagano dalle rocce del substrato pre-quaternario ai depositi pleistocenici sovrastanti. Le fratture esposte nei depositi alluvionali mostrano direzioni comprese tra N-S e NE-SO e immersione dominante verso Est.

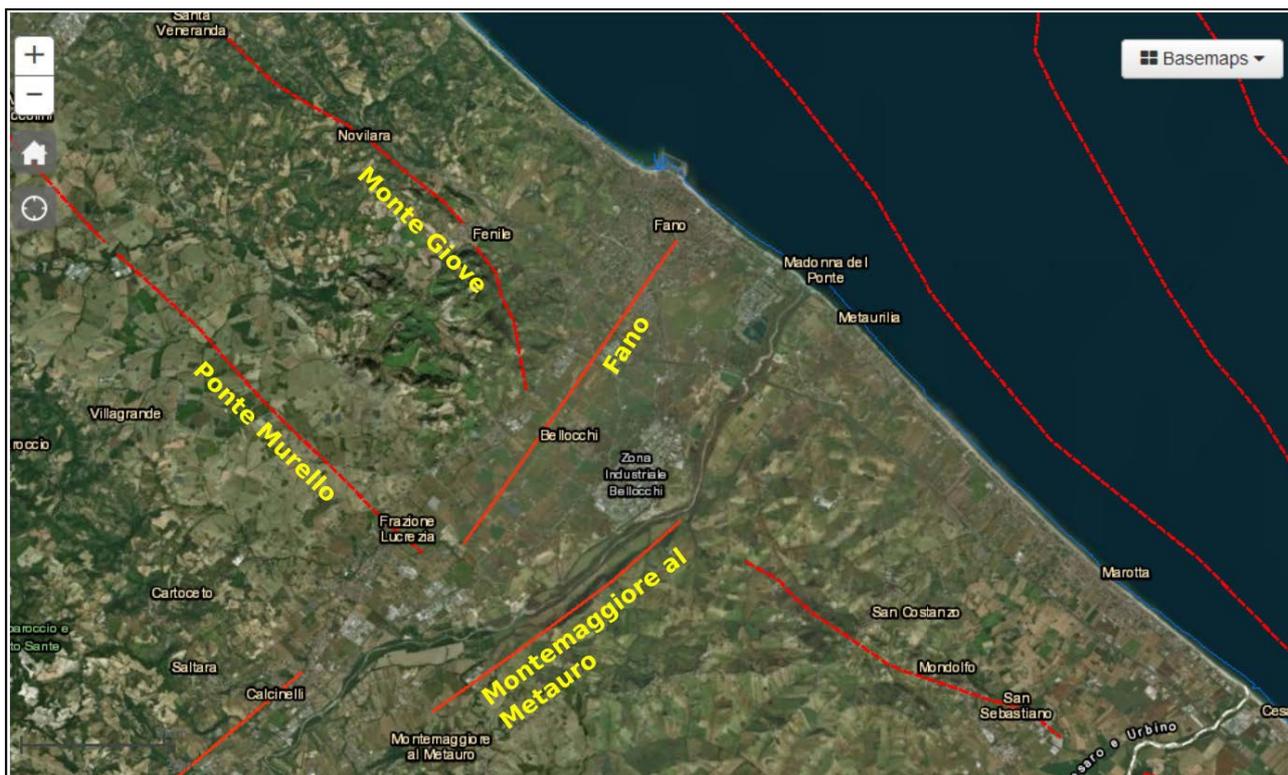


Figura 3.11 – Evidenze tettonico-strutturali tratte dal database Ithaca (Catalogo delle faglie capaci); tutte le strutture riportate per il settore di Fano risultano di fatto prive di caratterizzazione per quanto riguarda attività e parametri sismici (<http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>).

Strutture riferibili a quelle descritte su Savelli *et alii* (2002) e Di Bucci *et alii* (2003), vengono riportate sul database Ithaca. Nello specifico, per quanto riguarda l'entroterra nei pressi di Fano e quindi di fatto il settore di studio, da Ithaca emerge la presenza delle due strutture indicate come **Fano** e **Montemaggiore al Metauro**. Anche in questo caso, come per i sovrascorrimenti Monte Giove e Ponte Murello anzi descritti, le informazioni che definiscono queste strutture in quanto ad attività e parametri sismici sono assai carenti; per queste due ultime strutture inoltre, anche il dato geometrico-cinematico riportato su Ithaca appare in parte discutibile: in particolare per la struttura Fano, infatti, che si verrebbe a trovare completamente obliterata dalle coperture quaternarie, risulta

azzardato riportarne la traccia su una cartografia di dettaglio come la Carta geologico-tecnica alla scala 1:10.000 redatta per il presente lavoro e le relative sezioni geologico-tecniche alla scala 1:2.000. Fermo restando il fatto che appare ormai abbastanza certo che nell'area sia presente il sistema distensivo-transtensivo che emerge dalla bibliografia scientifica, si è scelto di non riportare in cartografia lineamenti tettonici di cui non si conosce di fatto l'esatta posizione geografica all'interno della valle. In Figura 3.12 viene riportato uno schema, tratto da Di Bucci *et alii* (2003), in cui vengono evidenziati alcuni meccanismi focali di eventi simili registrati nell'area di studio.

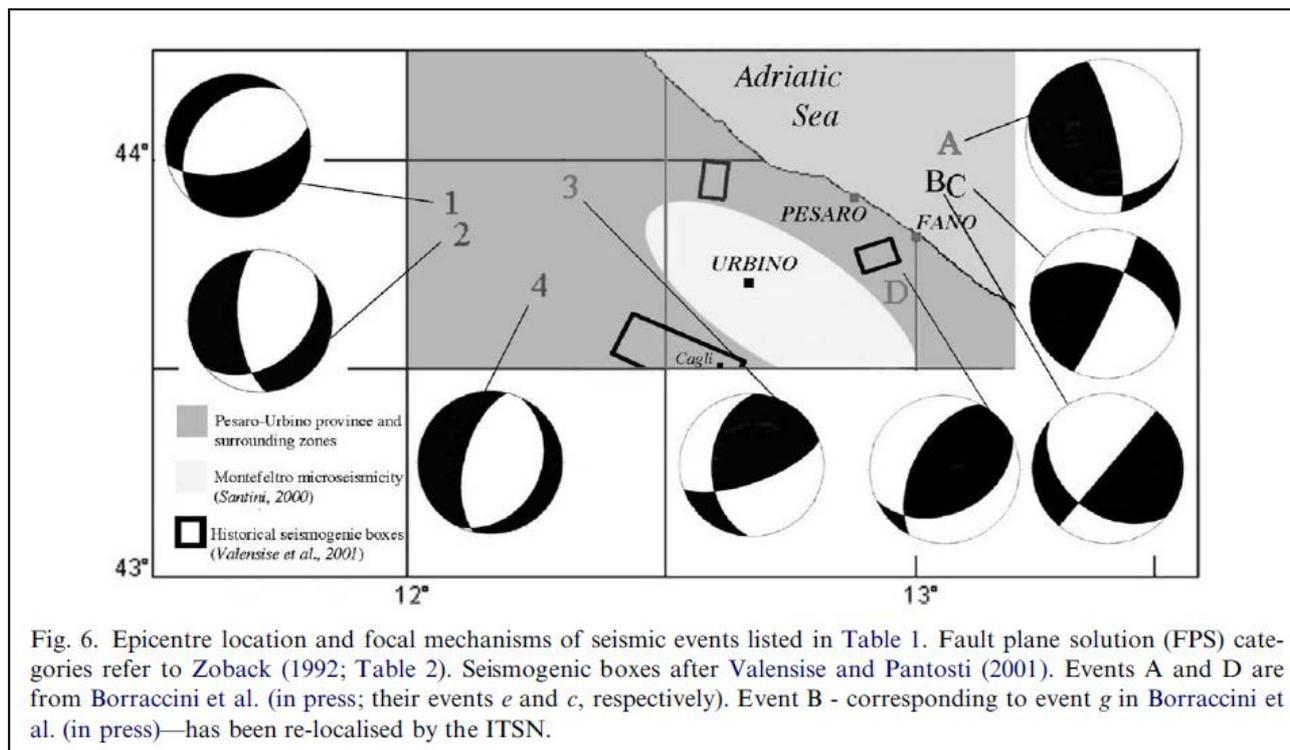


Figura 3.12 – Meccanismi focali di alcuni eventi sismici registrati nell'area di studio (da Di Bucci *et alii*, 2003).

3.4 Lineamenti geomorfologici

La città di Fano sorge in corrispondenza della parte finale della Valle del Fiume Metauro, grossomodo fra la confluenza di questo fiume con il Torrente Arzilla. La valle del Fiume Metauro, lungo la quale si sviluppano anche quasi tutti i principali nuclei abitati del Comune di Fano, si presenta relativamente ampia e interessata dalle alluvioni terrazzate riferibili al Sintema del Musone (Olocene) e al Sintema di Matelica (Pleistocene sup.).

L'alveo attuale, fiancheggiato da argini artificiali, scorre su una piana relativamente ampia (4-6 km), posta a quota molto bassa sul canale attivo (non oltre 5-10 m) e che, almeno nella sua porzione più interna, raccoglie le acque di esondazione del Metauro. Ad eccezione del tratto immediatamente a

monte della linea di riva, la piana è bordata sui due fianchi da scarpate, risultando così inserita nei corpi alluvionali terrazzati del Pleistocene superiore-Olocene “antico”. Nel suo tratto terminale, l’unico non racchiuso fra scarpate, per un’estensione di circa 500-1000 m, attraversa la stretta piana costiera. Quest’ultima termina a mare con l’attuale spiaggia ghiaioso-sabbiosa e si prolunga con continuità sia verso nord che verso sud (Nesci *et alii*, 2008).

Nella porzione terminale del Metauro, su entrambi i lati, le scarpate che racchiudono la piana fluviale più recente sono singole e relativamente nette, sub-parallele fra loro e con andamento conforme all’attuale tracciato fluviale, vale a dire circa perpendicolare alla linea di riva. In prossimità della costa, compiono una deviazione di circa 90° allineandosi con la linea di riva e fondendosi così con la scarpata d’erosione marina che per oltre 7 km delimita verso terra la stretta piana costiera. Man mano che si procede verso l’interno le scarpate “bordiere” si sdoppiano in vario modo e diventano più arrotondate e meno rilevate, fino a lasciare il posto a semplici pendii, pur restando la piana di fondovalle confinata all’interno del corpo alluvionale del Pleistocene superiore-Olocene “antico”. Quest’ultimo si allarga progressivamente verso mare su entrambi i lati della valle, evidenziando la sua primitiva forma a ventaglio (Nesci *et alii*, 2008).

La ricostruzione della sua originaria forma di superficie, convessa verso l’alto, conferma la sua natura di corpo tipo conoide/delta-conoide. Si tratta pertanto di un ventaglio deposizionale con apice ubicato a circa 3 km dall’attuale linea di riva, troncato verso costa dall’erosione marina e re- inciso dal Metauro, in senso longitudinale, circa lungo la sua mediana (Nesci *et alii*, 2008) (Fig.3.13).

I depositi sono prevalentemente ghiaiosi e sabbioso-ghiaiosi. Le ghiaie, in particolare, mostrano una prevalente e marcata stratificazione “a festoni” indicativa di deposizione a opera di canali fluviali intrecciati ma, localmente, compare una subordinata stratificazione incrociata indicativa di deposizione in anse fluviali. Nell’insieme l’ambiente deposizionale sembra pertanto dominato da canali multipli intrecciati, nei quali singoli tratti possono presentare una apprezzabile sinuosità, formando piccole barre laterali (Nesci *et alii*, 2008).

Poco più a valle dell’apice della conoide, sul lato destro della piana, si apre un ampio vallone racchiuso tra due scarpate piuttosto arrotondate, che costeggia l’intero bordo meridionale del ventaglio deposizionale. Questa depressione morfologica, compiendo due blande anse, rasenta dapprima il piede delle colline, poi se ne allontana gradualmente per terminare contro la piana costiera recente. Il vallone, per la sua ampiezza e profondità, andamento e posizione marginale sulla conoide è da ritenersi un alveo occupato dal Metauro all’inizio dell’Olocene e direttamente collegato a fasi di sviluppo della conoide stessa (Di Bucci *et alii*, 2003; Calderoni *et alii*, 2007).

I terrazzamenti presenti lungo la valle del Fiume Metauro possono essere distinti in due categorie, i

terrazzi di deposito (*fill terraces*) e quelli di erosione (*erosional, rock-cut terraces*).

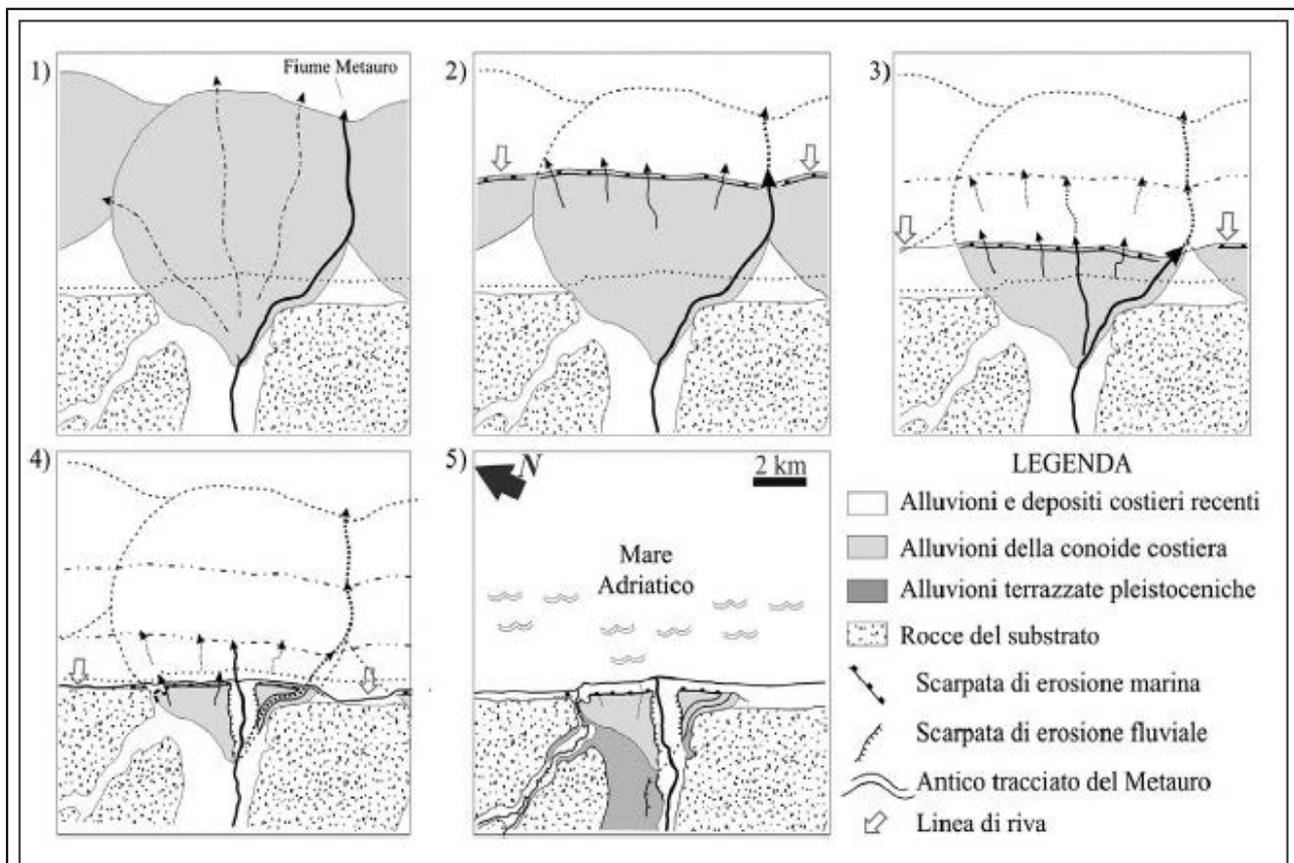


Figura 3 - Schema morfoevolutivo dell'area di foce del Metauro dall'inizio dell'Olocene ad oggi. 1) Massima espansione della conoide costiera in condizioni di livello marino ancora basso; in evidenza le conoidi degli adiacenti fiumi Foglia e Cesano, rispettivamente a nord e a sud della foce del Metauro; 2) Risalita del livello marino e prime fasi di smantellamento della conoide con conseguente formazione di una scarpata di erosione costiera; 3) Prosecuzione dello smantellamento della conoide e arretramento della scarpata costiera; 4) Massimo arretramento della linea di riva e ultime fasi del modellamento della scarpata costiera; 5) Situazione attuale. Per maggiori dettagli si rimanda al testo

Figura 3.13 – Evoluzione dell'area di foce del Fiume Metauro (per la descrizione vedi discalia originale; Nesci *et alii*, 2008).

Essi sono posizionati ad altezze molto variabili rispetto all'attuale alveo del fiume e hanno la caratteristica di presentare delle asimmetrie molto sviluppate sui due versanti della valle, aspetto messo in relazione al comportamento dinamico delle strutture geologiche presenti nell'area (Fig.3.14).

In corrispondenza del settore terminale della Valle del Fiume Metauro, si nota come il lato sinistro della valle, che risulta terrazzato, si trovi di fronte, sul lato opposto, ad un versante acclive e caratterizzato da fenomeni di instabilità generale (Savelli *et alii*, 1984, 2002; Di Bucci *et alii*, 2003).

Si ritiene che la presenza di paleoalvei in corrispondenza di tutta la piana alluvionale del Fiume Metauro, sia frequente e legata agli spostamenti relativi del corso del fiume, connessi sia con cause tettoniche sia con la messa in posto di conoidi e corpi detritici dai lati della valle che ne hanno determinato in qualche modo la migrazione laterale (Francavilla, 1976; Savelli *et alii*, 1984, 2002; Di Bucci *et alii*, 2003). Le indagini stratigrafiche raccolte nell'ambito del presente lavoro e quelle geofisiche eseguite *ex novo*, avvallano significativamente la presenza di settori in cui si rileva un maggiore spessore delle coperture alluvionali e in cui si osserva una diversa composizione granulometrica dei sedimenti. Tali aspetti possono essere in qualche modo correlati al riempimento di precedenti linee di scorrimento principali del Fiume Metauro (alvei e canali sepolti); in relazione a tale evidenza si consultino gli elaborati finali prodotti (Carta geologico-tecnica e Carta delle mops).

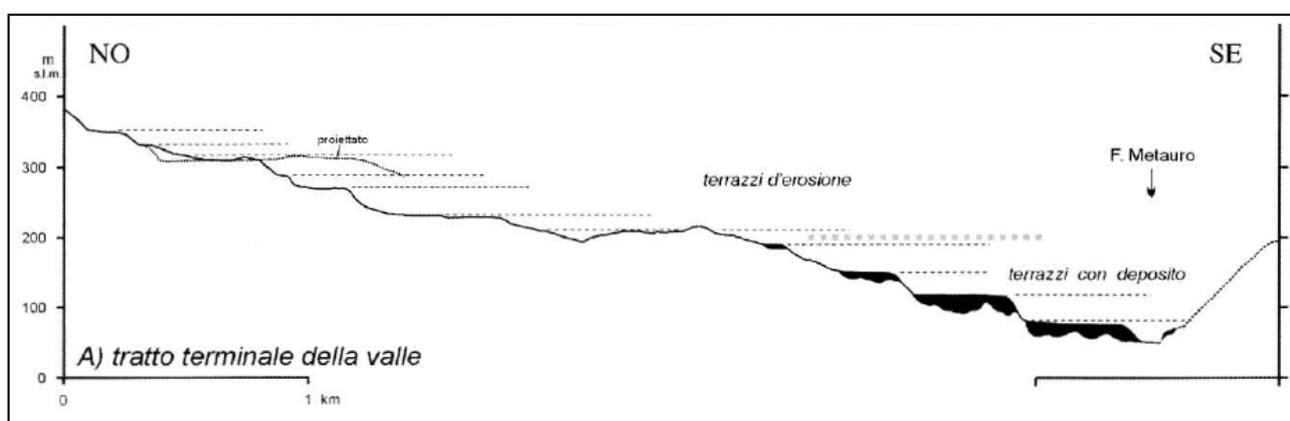


Figura 3.14 – Sezione schematica attraverso la valle del Fiume Metauro nei pressi di Fano; distribuzione dei terrazzi vallivi in uno dei settore di massima asimmetria della Valle del Metauro (Di Bucci *et alii*, 2003; modificato).

L'attuale conformazione morfologica della valle del Fiume Metauro a Fano è il risultato delle fasi di deposizione e incisione che interessarono l'area durante il Quaternario (Fig.3.14 e Fig.3.15).

La successione alluvionale del 3° ordine è interpretabile come il risultato di una deposizione controllata dal progressivo deterioramento climatico che ha caratterizzato l'inizio del Wurm (Savelli, 1984), verosimilmente accompagnato da esteso denudamento dei versanti, graduale aumento della produzione detritica e contemporanea diminuzione della competenza e della capacità di trasporto del Fiume Metauro (Savelli *et alii*, 1984). Quest'ultimo aveva assunto un generalizzato andamento del tipo *braided* (fase Fb). Successivamente, durante la fase in cui si misero in posto le conidi (Ca), mentre stavano instaurandosi condizioni climatiche arido-fredde, la deposizione fluviale era quasi cessata. I depositi alluvionali degli affluenti potevano quindi progredire sulla vasta piana alluvionale del Fiume Metauro, costruendo estesi apparati di conoide (Fig.3.15).

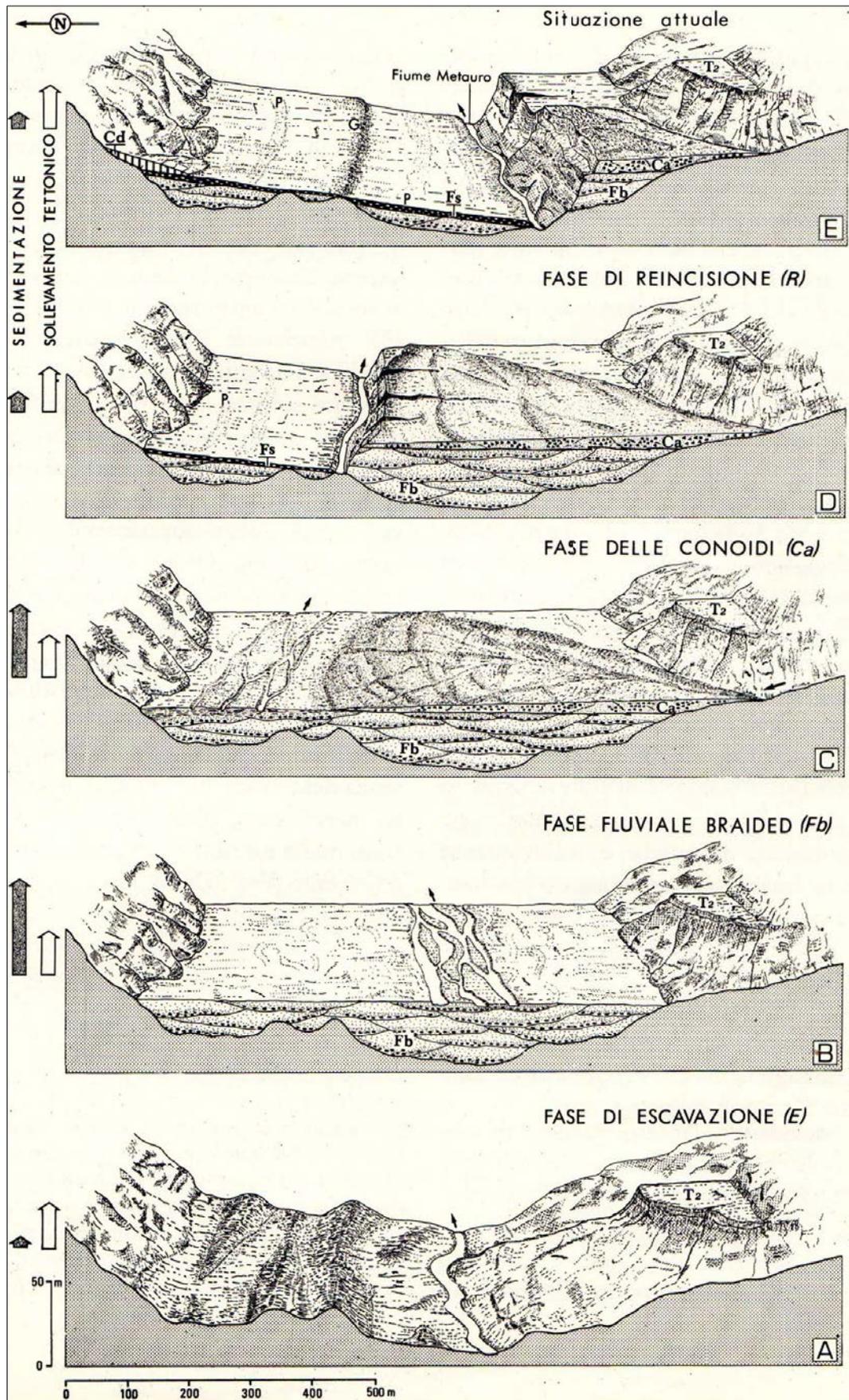


Figura 3.15 – Evoluzione dei terrazzi della media Valle del Metauro in relazione a sedimentazione e sollevamento tettonico. Fb=fase braided; Ca=conoidi alluvionali; P=paleoalvei; G=gradini minori. Da Savelli *et alii*, 1984.

Col progressivo e generalizzato mutamento climatico tardo wurmiano-olocenico, è terminata la massiccia deposizione alluvionale climatica, il controllo del sollevamento tettonico generalizzato è tornato a prevalere ed è iniziata la reincisione dei depositi alluvionali messi in posto durante la fase fredda da parte del Metauro che scorreva su una vasta piana alluvionale e che, probabilmente a causa delle mutate condizioni idrodinamiche e di produzione detritica sui versanti, aveva acquisito un andamento sinuoso (Savelli *et alii*, 1984).

L'esistenza di paleoalvei, che sono oggi il risultato dell'articolata evoluzione della Valle del Fiume Metauro, non semplifica le analisi di microzonazione sismica, dato che queste forme sono elementi individuabili con difficoltà ma che possono avere effetti importanti sulla RSL.

I versanti che caratterizzano l'area di studio, i quali presentano pendenze variabili in funzione dell'energia del rilievo, sono generalmente ricoperti da depositi eluvio-colluviali nella loro porzione medio-inferiore. A volte tali depositi di copertura possono evolvere in movimenti franosi.

Tutte le aree caratterizzate dalla presenza di depositi eluvio-colluviali, di conoide di deiezione e sottoposte ad attenzione per fenomeni di instabilità, sono riportate sulla Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica redatta per il presente lavoro e le loro caratteristiche fondamentali vengono descritte nel paragrafo relativo a tale elaborato cartografico (cfr. paragrafo 8.2).

4. Dati geotecnici e geofisici

4.1 Raccolta delle indagini pregresse

Una delle operazioni fondamentali previste dagli standard nazionali per l'esecuzione dei lavori di microzonazione sismica (AA.VV., 2008; 2015) è la raccolta del maggior numero possibile di informazioni derivanti dalle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche, effettuate negli anni all'interno delle aree urbanizzate del comune oggetto di studio. L'ubicazione delle varie indagini, inserita in una banca dati informatizzata in ambiente GIS insieme a tutti i dati che le caratterizzano (database .mdb di Access e dati spaziali in *shapefile*), viene riportata sull'elaborato cartografico indicato come Carta delle indagini. Il materiale inserito nella banca dati per il Comune di Fano, proviene dall'archivio comunale, il quale è stato consultato in una prima fase nel 2012 (Microzonazione di livello 1) e in una seconda fase nel 2018 (presente lavoro di Microzonazione di livello 2), al fine di completare la raccolta dei dati geognostici che si sono resi disponibili durante tale arco temporale (cfr. Riferimenti Bibliografici).

Per completare il quadro di informazioni necessario a redigere uno studio di microzonazione di livello 1 aggiornato e procedere quindi con gli approfondimenti di livello 2, sono state eseguite *ex novo* indagini geofisiche di tipo HVSR (H/V; microtremori a stazione singola; *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*), MASW (*Multichannel Analysis Surface Waves*) e REMI (*Refraction Microtremor*) al fine di ottenere informazioni sulle frequenze fondamentali di sito (f_0) e determinare con un sufficiente grado di precisione le velocità delle onde sismiche di taglio Vs (Vs30 o VsEq).

I dati relativi alle indagini reperite e a quelle di nuova esecuzione sono stati inseriti nelle sei tabelle fornite a completamento della Carta delle indagini denominate Sito_Puntuale, Sito_Lineare, Indagini_Puntuali, Indagini_Lineari, Parametri_Puntuali, Parametri_Lineari. Per la loro compilazione si sono seguiti gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, versione 4.0b (AA. VV., 2015) realizzati a cura della Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica.

Viene descritta la tipologia delle indagini reperite ed effettuate per il presente lavoro e quindi utilizzate per la costruzione del modello geologico; per il dettaglio relativo alle medesime si mette a disposizione la banca dati informatizzata appositamente realizzata (*files* Cdl_Tabelle.mdb; Ind_pu.shp; Ind_ln.shp).

4.1.1 Sondaggi geognostici e pozzi

I sondaggi risultano indagini particolarmente importanti perché permettono di ricostruire la stratigrafia del terreno mediante il campionamenti completo dei litotipi attraversati dall'utensile di perforazione, di prelevare campioni a diverso grado di disturbo su cui eseguire prove di laboratorio

per la determinazione dei parametri geotecnici, di porre in opera eventuale strumentazione piezometrica ed inclinometrica, di eseguire all'interno del foro alcuni tipi di prove geotecniche o geofisiche in sito, nonché, molto importante per gli scopi del presente lavoro, di tarare le indagini sismiche di superficie eseguite con differenti metodologie in loro prossimità.

I sondaggi a carotaggio continuo, eseguiti con sistema a rotazione, permettono il recupero di tutta la carota di terreno. L'avanzamento nel terreno è realizzato applicando contemporaneamente all'utensile di perforazione spinta e rotazione attraverso una batteria di aste cave, avvitate in serie man mano che la perforazione procede. L'utensile di perforazione è costituito da un tubo carotiere il quale ha all'estremità una corona dentata che, ruotando, seleziona una carota cilindrica che viene recuperata periodicamente.

Esistono diverse tipologie di carotieri, scelti in base alle caratteristiche del terreno da attraversare: carotieri semplici con valvola di testa a sfera e calice; carotiere doppio a corona sottile con estrattore; carotiere triplo con porta campione interno estraibile e apribile longitudinalmente con estrattore e calice. La perforazione può avvenire a secco o tramite circolazione di un fluido (acqua, aria compressa o fango), dall'interno delle aste verso l'esterno (circolazione diretta), o dal foro verso le aste (circolazione inversa). Da tali sondaggi si possono estrarre due tipologie di campioni: quelli rimaneggiati, da cui si possono ricavare informazioni sulle caratteristiche chimiche e fisiche del terreno; quelli indisturbati, prelevati con appositi campionatori, da cui si possono ricavare informazioni anche sulle caratteristiche meccaniche ed idrauliche.

Si ricorre, invece, ai sondaggi a distruzione di nucleo quando non interessa il recupero delle carote o quando sono necessari rapidi avanzamenti. In questo caso l'attrezzo tagliente (scalpello o punta dentata) frantuma i detriti che vengono portati in superficie a circolazione di acqua o di fango; non è necessario estrarre periodicamente la batteria di aste per recuperare il carotaggio. Il metodo della distruzione di nucleo si utilizza anche nel caso della realizzazione di pozzi.

Alle informazioni derivanti da queste tipologie di indagine si è attribuita un'alta attendibilità perché derivanti da un'osservazione diretta e accurata, seppur soggettiva, delle condizioni del sottosuolo da parte dei professionisti.

All'interno dell'area delimitata per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Fano, è stato reperito un numero significativo di sondaggi, la gran parte dei quali non raggiunge il substrato geologico di base.

N. totale sondaggi e pozzi che raggiungono il substrato (SS): 50

N. totale sondaggi e pozzi che non raggiungono il substrato (S): 74

4.1.2 Prove penetrometriche

Sono state catalogate un buon numero di prove penetrometriche statiche e dinamiche, queste ultime in gran parte pesanti e superpesanti.

Le prove penetrometriche statiche (nell'area di studio unicamente CPTM) consistono nell'infissione nel terreno, mediante pressione, di una punta conica di dimensioni standard. La penetrazione viene ottenuta tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico) ancorato al suolo, che agisce su una batteria doppia di aste coassiali, alla cui estremità è collegata la punta. Si ricavano misure separate dello sforzo necessario per la penetrazione della punta (q_c) e dell'adesione terreno-acciaio di un manicotto posizionato sopra la punta (f_s).

Le prove penetrometriche dinamiche consistono nell'infissione verticale nel terreno di una punta conica metallica, avvitata all'estremità inferiore di una batteria di aste, mediante battitura con un maglio che cade liberamente da un'altezza costante; i colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza prefissata vengono annotati e costituiscono la resistenza del terreno alla penetrazione della punta conica. La prova viene in genere sospesa quando il numero dei colpi per infiggere la punta supera un valore prefissato (rifiuto alla penetrazione).

Questo tipo di prove è molto diffuso grazie alla loro semplicità esecutiva e rapidità di esecuzione; esso permette di ricavare informazioni in continuo delle caratteristiche meccaniche del terreno attraversato.

Attualmente vengono utilizzate le seguenti tipologie di penetrometri dinamici, che si differenziano in base al diverso peso del maglio e dell'apparecchiatura di infissione:

- Penetrometro Dinamico Leggero (DPL);
- Penetrometro Dinamico Medio (DPM);
- Penetrometro Dinamico Pesante (DPH);
- Penetrometro Dinamico Superpesante (DPSH).

Per ricavare informazioni sui terreni attraversati, si usa rapportare il numero di colpi N di una prova dinamica a N_{SPT} , ottenuto tramite la prova *Standard Penetration Test*, su cui si basano numerose correlazioni in letteratura.

Il valore di N_{SPT} , richiesto oltretutto dagli Standard di Microzonazione Sismica come risultato delle prove dinamiche, può essere desunto solo tramite correlazioni indirette dal numero di colpi misurato in sito, quindi si è riconosciuta a questo tipo di dati un'affidabilità media, mentre il valore della resistenza alla punta richiesto per le statiche ha un'affidabilità superiore perché riscontrato direttamente in sito.

N. totale prove penetrometriche statiche (CPT): 70

N. totale prove penetrometriche dinamiche leggere (DL): 3

N. totale prove penetrometriche dinamiche pesanti (DP): 22

N. totale prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DS): 19

4.1.3 Indagini di prospezione sismica lineare

All'interno delle zone di interesse del territorio comunale di Fano sono state reperite indagini sismiche lineari effettuate con il metodo a rifrazione SR e alcuni stendimenti MASW.

Il metodo sismico a rifrazione consiste nel trasmettere delle onde elastiche nel suolo grazie ad una sorgente e captare, tramite appositi sensori (geofoni), le onde rifratte dalle varie superfici di discontinuità presenti in profondità, registrando il tempo necessario a tali onde per tornare in superficie. Queste onde percorrono a bassa velocità gli strati superficiali ma a velocità più elevata la superficie di separazione di due mezzi elastici differenti.

La prospezione sismica a rifrazione è particolarmente indicata per ottenere rapide informazioni strutturali nel caso di strutture geologiche di grandi dimensioni che siano costituite almeno da uno strato rifrangente ad alta velocità, giacente sotto una serie stratigrafica avente velocità più bassa, o per evidenziare le geometrie, anche complesse, dei rapporti stratigrafici fra substrato e coperture. Se in un sistema di assi cartesiani si riportano i tempi di arrivo delle onde sismiche in funzione della loro distanza dal punto di scoppio, si ottiene una famiglia di curve tempi-distanze dette "dromocrone" che dipendono dalle caratteristiche geologiche locali. È possibile registrare l'arrivo di onde sia di compressione che di taglio.

Il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh e Love) con tecnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi geofoni posti sulla superficie del suolo.

Anche in questo caso si tratta di un metodo di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente parallelamente allo stendimento o *array*) e misurate quindi di sensori (geofoni). Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 2-100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa tra i 10 m ed i 50 m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente, di conseguenza presenta una maggiore affidabilità per profondità di circa 15-20 m (spesso anche minore). La tecnica MASW ha il vantaggio di essere particolarmente indicata per terreni attenuanti ed ambienti rumorosi, di avere una buona risoluzione e di essere in grado di evidenziare inversioni nel profilo di velocità.

L'attendibilità delle MASW reperite è considerata media; tuttavia alcune di queste indagini non

sono state considerate nelle elaborazioni finali a causa di possibili incongruenze in fase di elaborazione del dato registrato o per mancanza della curva di dispersione.

N. totale indagini MASW: 56

N. totale indagini di sismica a rifrazione (SR): 3

4.1.4 Indagini geofisiche puntuali

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è una tecnica relativamente recente di indagine sismica passiva rapida e non invasiva. Si può applicare ovunque e non necessita di perforazioni, stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale, presente ovunque in natura.

Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate sia per la caratterizzazione sismica del sottosuolo, sia per la stima degli effetti di sito (funzione di amplificazione) e degli effetti sulle costruzioni. Le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico o microtremore) sono onde sismiche di bassa energia, con ampiezze dell'ordine di 10^{-4} – 10^{-2} mm, che possono essere originate per esempio dalle attività antropiche o dalle perturbazioni atmosferiche sugli oceani; esse si propagano poi come onde superficiali di Rayleigh sui continenti. La caratterizzazione sismica dei terreni tramite questa tecnica è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito mediante il rapporto spettrale H/V. Tramite l'elaborazione dei dati di campagna è possibile distinguere i picchi di origine naturale da quelli generati dai modi superiori o da artefatti.

I dati che si possono ricavare sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito (f_0), che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale, in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare manufatti aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericoloso per la stabilità degli stessi in caso di sisma;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. Sarà quindi possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere particolarmente a rischio;
- la velocità media delle onde di taglio V_s , calcolata tramite un apposito codice di calcolo. E' necessario in questo caso, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio geognostico, stesa sismica, dati bibliografici, etc.) e riconoscibile nella curva H/V;
- la sismo-stratigrafia del sottosuolo, con l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la ricostruzione della profondità del locale substrato geologico (o *bedrock* geofisico). Lo strato è inteso

come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici).

Sono state reperite, tramite ricerca documentale, alcune misurazioni passive del tremore sismico ambientale effettuate nelle aree oggetto di studio.

N. totale indagini di microtremori reperite (HVSR): 44

4.2 Indagini geofisiche di nuova realizzazione

Sulla base dei vantaggi illustrati al 4.1.4, la tecnica HVSR è stata scelta per realizzare nuove indagini al fine di avere, in questa fase, una determinazione dettagliata delle frequenze del sito (f_0), disporre dei dati sufficienti a realizzare una Carta delle frequenze e a procedere quindi all'applicazione degli abachi per la microzonazione sismica di livello 2. Le nuove misurazioni HVSR sono state effettuate per la maggior parte in prossimità di altre indagini reperite in archivio (principalmente sondaggi), che costituiscono un termine su cui basare la taratura (Fig.4.1).



Figura 4.1 – Indagine HVSR congiunta a MASW/REMI effettuata nella zona industriale di Bellocchi di Fano (sito Profilgrass; foto Bisiccia).

La procedura è consistita nel registrare il microtremore sismico ambientale in un sito per 20 minuti tramite strumenti (velocimetri) opportunamente sensibili e nel ricavare il rapporto tra componenti orizzontali e verticali del moto (H/V).

Nel caso in esame, le misure a stazione singola H/V sono state eseguite per mezzo di un tromografo digitale portatile (TROMINO, Micromed S.p.A.) di dimensioni ridotte (10x7x14 cm, 1 kg di peso), progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico ambientale.

Lo strumento è dotato di GPS e di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni N-S, E-W e verticalmente; si tratta di un dispositivo ad alta definizione, alimentato a batterie, senza cavi esterni. I dati registrati vengono trasferiti all'esterno tramite cavo USB; TROMINO ha in dotazione un *software* (Grilla) che consente di immagazzinarli, elaborarli ed interpretarli.

Lo strumento permette di campionare a diverse frequenze tra 100 e 16 kHz.

Dalla registrazione del rumore sismico ambientale in campo libero si ricava la curva H/V, secondo la procedura descritta in Castellaro *et alii* (2005), avendo utilizzato i seguenti parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s;
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza 10% della frequenza centrale;
- rimozione dei transetti sulla serie temporale degli H/V.

La curva H/V viene riprodotta creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali.

Tale operazione è possibile esclusivamente in presenza di un vincolo che può essere la profondità, nota tramite prove dirette (Sondaggi eseguiti *in situ*), di un riflettore sismico il cui *marker* sia riconoscibile nelle curve H/V o la velocità delle onde di taglio (V_s) del primo strato nota da altre indagini.

Si è attribuita a queste indagini un'attendibilità elevata, naturalmente sempre dipendente dai limiti intrinseci della metodologia, in quanto eseguite direttamente in condizioni ottimali ed elaborate da personale altamente esperto e qualificato.

I risultati relativi alle analisi HVSR reperite ed eseguite *ex novo*, la loro modalità di impiego nel presente lavoro e le conclusioni generali che possono essere fatte in base ad essi, sono descritti al paragrafo 5.3 e al paragrafo 8.4.

Al fine di determinare in maniera adeguata le velocità delle onde sismiche di taglio V_s , sono state effettuate indagini MASW distribuite uniformemente nell'area di studio; le caratteristiche generali di tale tipologia di indagine sono state precedentemente descritte al 4.1.3. Inoltre, tramite il

medesimo *array* di geofoni utilizzato per le MASW, sono state eseguite acquisizioni REMI; le caratteristiche tecniche di ogni indagine effettuata *ex novo* (posizione, disposizione geofoni, tempi di acquisizione, etc.) vengono descritte nel dettaglio in allegato alla presente relazione (Allegato 2).

La procedura REMI è un metodo di prospezione sismica passivo in quanto utilizza il rumore ambientale. I vantaggi promossi da questo metodo sono molteplici: è molto veloce e semplice da usare in fase di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine ma soprattutto permette di ottenere ottimi risultati in ambienti particolarmente urbanizzati.

La fase di acquisizione deve essere effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da prendere in sito e nella pianificazione della registrazione. Tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la migliore informazione possibile riguardo alla propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale-rumore.

Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, nel caso REMI rappresenta la fonte del segnale utile che si vuole registrare. I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh da quelli superiori e dall'*aliasing* spaziale. E' presente, in questo caso, la necessità di soddisfare la condizione di "omnidirezionalità" delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

Tutte le indagini MASW/REMI sono state effettuate congiuntamente ad una indagine di acquisizione dei microtremori HVSr.

N. totale indagini di microtremori effettuate (HVSr): 34

N. totale indagini MASW effettuate: 19

N. totale indagini REMI effettuate: 19

5. Modello del sottosuolo

La definizione di un modello geologico dettagliato per l'area di studio, è il primo passo per procedere alla realizzazione di un lavoro di microzonazione sismica, sia esso di livello 1 o di livello 2 o 3. Nell'ambito di una microzonazione di livello 1, il modello geologico deve essere in grado di fornire gli strumenti e le informazioni necessarie alla realizzazione di una Carta delle Microaree Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) e viene implementato anche al fine di definire quelle zone che necessiteranno di ulteriori indagini per il completamento/approfondimento del quadro conoscitivo nei successivi livelli di approfondimento della microzonazione sismica.

Relativamente ad un livello 2 di approfondimento, il modello geologico ricostruito nel livello 1 deve essere di fatto affinato dal punto di vista geotecnico e dinamico, affinché ci possa essere una transizione da una visione prettamente qualitativa a quella semi-quantitativa prevista per il livello 2 (applicazione di abachi per la microzonazione sismica).

5.1 Dati e informazioni di base

Nel presente lavoro di microzonazione sismica, i dati che si sono assunti come base per lo sviluppo del modello geologico di riferimento, il quale ha successivamente condotto alla definizione delle differenti microzone a comportamento sismico omogeneo, sono i seguenti:

- cartografia topografica CTR (Carta Tecnica Regionale) alla scala 1:10.000;
- Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000 (nei fogli di interesse 268 Pesaro, 269 Fano, 280 Fossombrone e 281 Senigallia) e relativi rilievi alla scala 1:10.000 forniti dal servizio cartografico della Regione Marche;
- studio di microzonazione sismica di livello 1 del Comune di Fano (AA..VV., 2012);
- dati derivanti dai rilevamenti geologici e geomorfologici, dai rilievi di microtremore sismico (indagini HVSR), dalle indagini MASW/REMI, eseguiti nell'ambito del presente lavoro (luglio-agosto 2018);
- Cartografia del PAI (Piano di Assetto Idrogeologico) della Regione Marche;
- Carta Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI);
- cartografie e dati relativi al sottosistema geologico-geomorfologico-idrogeologico allegate al P.R.G. (Piano Regolatore Generale) del Comune di Fano;
- dati stratigrafici, geotecnici e geofisici derivanti dai sondaggi eseguiti in corrispondenza delle aree di interesse (reperiti presso l'Ufficio Tecnico Comunale del Comune di Fano).

Le suddette informazioni hanno permesso lo sviluppo di un modello geologico adeguato alla revisione delle indagini di microzonazione sismica di livello 1 per il territorio in esame, fornito una

base dati concreta per poter affrontare al meglio la fase di elaborazione della campagna indagini volta alla realizzazione di studi di livello 2 e, infine, hanno reso possibile l'adeguata applicazione della procedura per lo sviluppo del livello 2 di microzonazione, obiettivo finale del presente lavoro.

5.2 Sviluppo del modello geologico e geologico-tecnico

Al fine di integrare i dati disponibili e farli quindi confluire nel modello geologico finale, si sono inserite tutte le informazioni riportate al precedente paragrafo in un sistema GIS (basato sul software QuantumGis). Gli *standard* di rappresentazione e archiviazione informatica vers. 4.0b (AA.VV., 2015), forniscono una struttura di archiviazione per le indagini geologiche, geotecniche e geofisiche (Carta delle indagini) e per tutti i livelli che caratterizzano la procedura di realizzazione della Carta geologico-tecnica (giaciture, strutture tettoniche, forme geomorfologiche, sondaggi che raggiungono il substrato, etc.). Seguendo tale procedura si è potuto così progressivamente sviluppare un prodotto cartografico digitale integrato (il quale ha poi in ultima analisi dato origine alla Carta geologico-tecnica), che ha rappresentato la base per lo sviluppo del modello geologico (Fig.5.1).

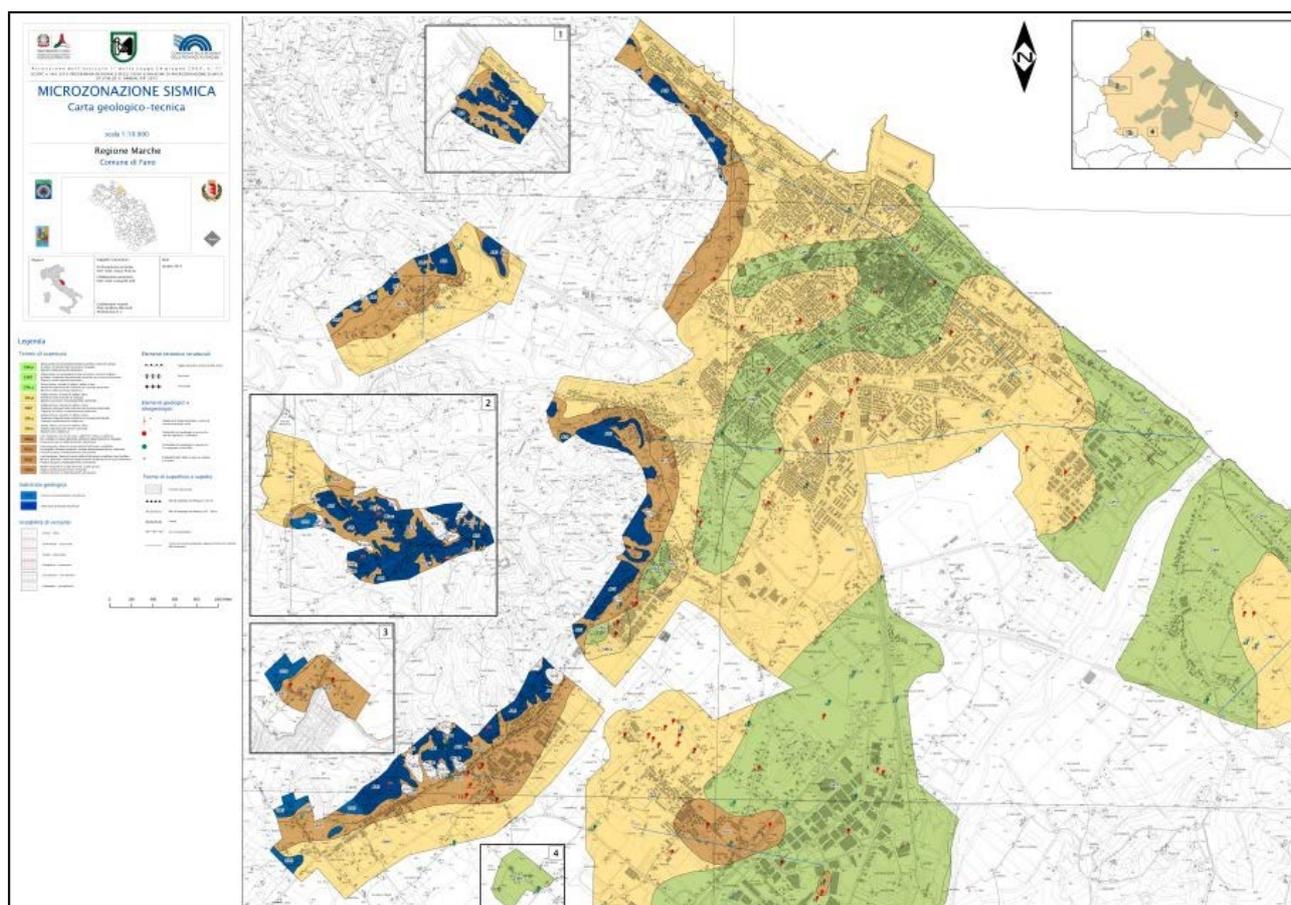


Fig. 5.1 – Modello geologico-tecnico: Carta geologico-tecnica del Comune di Fano.

Le informazioni fornite dalla Carta geologico-tecnica, integrate dai dati geognostici resi disponibili tramite l'archiviazione delle indagini, sia quelle reperite da bibliografia che di nuova esecuzione, hanno reso possibile lo sviluppo di sezioni geologico-tecniche (Fig.5.2) e il riconoscimento di stratigrafie tipo per le diverse aree analizzate nel presente studio; tali stratigrafie tipo descrivono di fatto il modello geologico complessivo dell'area di studio, il quale è stato poi adottato per la definizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica – MOPS (cfr. paragrafo 8.3).

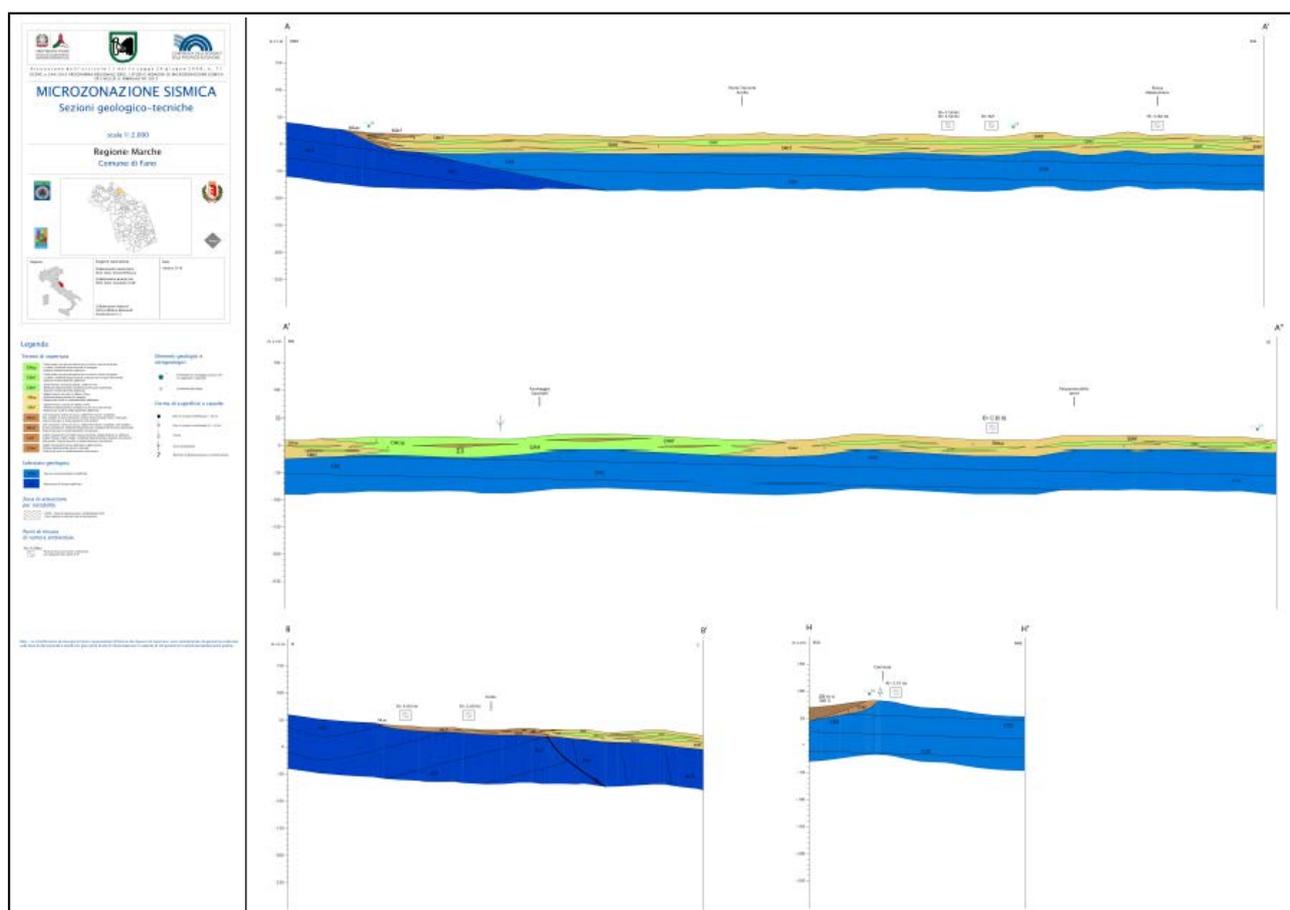


Figura 5.2 – Sezioni geologico-tecniche realizzate per alcuni settori sottoposti a microzonazione. Dal modello geologico risultante si notano efficacemente gli spessori delle coperture quaternarie e i rapporti stratigrafici delle unità del substrato; l'esecuzione di indagini HVSR permette di valutare le frequenze di vibrazione dei terreni e, in certi casi, gli spessori delle coperture.

Il modello geologico sviluppato nello studio di microzonazione sismica di livello 1 (AA.VV., 2012) è stato naturalmente assunto come base di partenza per le operazioni anzi descritte, ma è stato necessariamente rivisto, localmente anche in maniera sostanziale, sulla base dei nuovi dati disponibili per le aree di studio. Le sezioni geologico-tecniche precedentemente realizzate nel livello 1 sono state assunte come modello di riferimento nei settori che da esse erano interessati, ma non sono state aggiornate secondo la nuova vers. 4.0b delle linee guida per l'archiviazione dei dati;

questo perché esse presentavano delle incongruenze presso alcuni settori ove erano state tracciate (aree non sottoposta a microzonazione in pianta). Si sono quindi realizzate nuove sezioni geologico-tecniche alla scala 1:2.000 (rapporto 1:1) secondo gli attuali standard 4.0b. (Fig. 5.2).

5.3 Sviluppo del modello dinamico (sismico) per la microzonazione di livello 2

La transizione dal livello 1 di microzonazione sismica al livello 2 si ottiene tramite l'applicazione di appositi abachi sviluppati per la stima dei fattori di amplificazione sismica (AA.VV., 2018). Tali abachi sono stati sviluppati assumendo il territorio della Regione Marche distinto in tre domini: calcareo, terrigeno e alluvionale. Per ciascuno di questo domini vengono definite due triplette di abachi. La prima tripletta riguarda i contesti sismo-stratigrafici nei quali la profondità del tetto del substrato sismico (ovvero il tetto dei corpi geologici con V_s almeno pari a 800 m/s) è maggiore di 30 m e la seconda relativa a quelli in cui questo substrato si trova a profondità comprese tra 3 m e 30 m. Per ciascuna di queste due situazioni vengono forniti tre abachi relativi rispettivamente a tre intervalli del periodo di vibrazione: **0.1-0.5 s**, **0.4-0.8 s** e **0.7-1.1 s** (AA.VV., 2018).

Ciascun abaco riporta un valore del fattore di amplificazione (relativo quindi allo specifico dominio, classe di profondità del substrato sismico e intervallo di periodo di vibrazione) in funzione di due grandezze (in entrata) i cui valori vanno ricavati per via sperimentale: il **valore di V_{s30} o V_{sH}** ed il **valore della frequenza di risonanza f_0** relativa alle coperture. Per V_{s30} si intende la velocità media delle onde S nei primi 30 metri, per V_{sH} la velocità media fino al substrato sismico: le due stime di velocità sono da utilizzarsi rispettivamente nei casi in cui il substrato sismico si trova oltre o al di sotto dei 30 m (AA.VV., 2018). I due parametri chiave (V_{s30}/V_{sH} , f_0) vanno assunti in qualità di classi di valore come in Tabella 5.1.

Classi	
frequenza (Hz)	$f_0 < 1$
	1.5 $1 \leq f_0 < 2$
	2.5 $2 \leq f_0 < 3$
	3.5 $3 \leq f_0 < 4$
	4.5 $4 \leq f_0 < 5$
	5.5 $5 \leq f_0 < 6$
	6.5 $6 \leq f_0 < 7$
	7.5 $7 \leq f_0 < 8$
≥ 8	
velocità (m/s)	$V_s < 200$
	300 $200 \leq V_s < 400$
	500 $400 \leq V_s < 600$
	700 $600 \leq V_s < 800$
	$V_s \geq 800$

Tabella 5.1 – Classi di valore V_{s30} , V_{sH} , f_0 (AA.VV., 2018)

In base alla procedura anzi descritta, risulta fondamentale determinare quindi i valori di V_{s30}/V_{sH} e f_0 caratteristici di ogni MOPS e valutare come e in che modo essi possano essere riferiti ad ogni microzona identificata al livello 1, in maniera da costituire un modello coerente.

A tal fine è stata eseguita una campagna di indagini mirata alla determinazione di tali parametri, che è andata naturalmente a completare quanto già disponibile dalla raccolta dati bibliografica. In Tabella 5.2 e in Tabella 5.3 vengono riportati rispettivamente tutti i valori di f_0 e di V_{s30} delle indagini disponibili per il territorio comunale del Comune di Fano (bibliografiche e di nuova realizzazione); i valori V_{sH} non sono stati valutati per l'area in esame, in quanto non si raggiungono velocità $V_s > 800$ m/s entro i primi 30 m dalla superficie di riferimento.

I valori di f_0 (frequenza fondamentale) derivano dalle indagini HVSR disponibili per l'area in esame. La frequenza fondamentale è data dal picco posto alla frequenza più bassa in una curva del rapporto spettrale orizzontale su verticale; possono naturalmente esistere anche altre frequenze importanti per ogni situazione in esame e in tal caso è bene considerarle tutte, valutando puntualmente, nello specifico, l'importanza di una frequenza rispetto ad un'altra sulla base per esempio dell'ampiezza del picco, o sull'effetto che essa può teoricamente avere sulla principale tipologia di costruzioni presente nell'area (Fig.5.3). Fra le diverse frequenze misurate può eventualmente essere selezionata una frequenza f_r (frequenza di riferimento), la quale può essere assunta semplicemente come la più significativa per una data situazione (AA.VV., 2017).

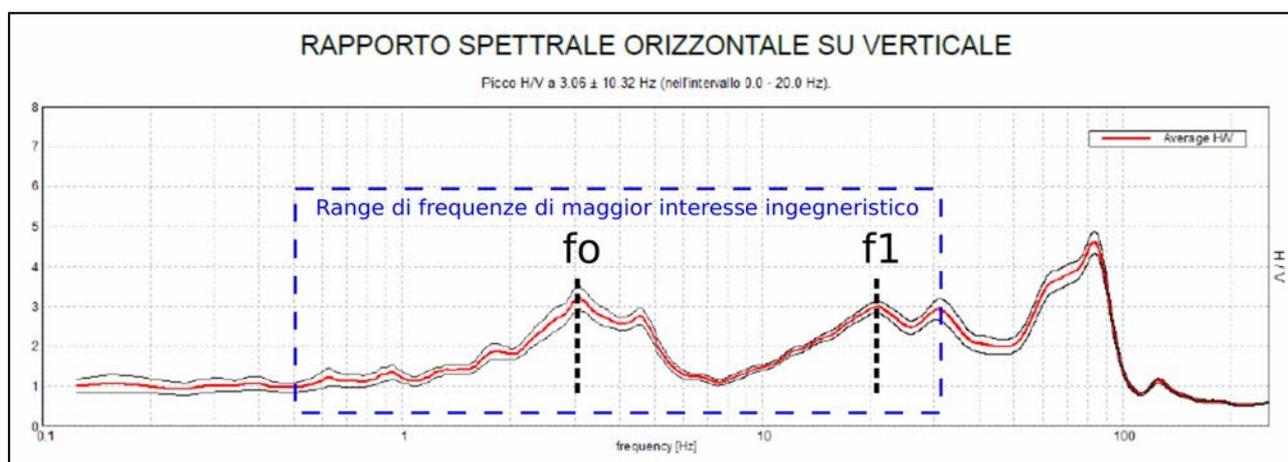


Figura 5.3 – Determinazione della frequenza fondamentale f_0 e di una ulteriore frequenza rilevante f_1 in una indagine HVSR.

Al fine dell'applicazione degli abachi per la microzonazione sismica di livello 2, in presenza di più frequenze rilevanti per il sito in esame, si è generalmente selezionata quella che, secondo quanto predisposto sulle tabelle per la definizione dei fattori di amplificazione (FA), conduceva alla determinazione del maggiore FA, adottando il coordinamento riportato in AA.VV. (2018).

ID	F0	A0	F1	A1	F2	A2	F3	A3	Fr	Ar	ID (2018)	Settore	Vs30	MOPS
91P	1,80	2,00	5,06	1,30	60,00	5,50	0,00	0,00	5,06	1,30	T1	Caignano	410	2001
63P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		Caignano	510	2001
119P	0,00	0,00	55,00	3,50	75,00	5,30	0,00	0,00	0,00	0,00	T29	Fosso Sejore	/	2001
100P	2,13	2,20	22,00	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	2,13	2,20	T10	Caminata	310	2002
124P	9,60	2,10	39,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,60	2,10	T34	Pontemurello	/	2002
92P	3,60	3,20	20,00	3,00	85,00	4,50	0,00	0,00	3,06	3,20	T2	Fenile	300	2003
25P	3,20	2,80	5,30	3,80	0,00	0,00	0,00	0,00	5,30	3,80		Fenile	310	2003
97P	3,00	2,10	12,80	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	2,10	T7	Carrara	250	2003
110P	3,00	1,70	4,50	2,00	7,50	1,90	38,00	2,80	4,50	2,00	T20	Cuccurano	/	2003
64P	4,06	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,06	3,00		Fenile	330	2003
041013P132	3,50	2,50	30,00	3,00	10,31	4,00	0,00	0,00	3,50	2,50		Cuccurano	/	2004
76P	2,30	3,80	30,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,30	3,80		Centinarola	330	2004
78P	4,00	3,00	9,00	2,80	40,00	5,50	0,00	0,00	4,00	3,00		Rosciano	330	2004
90P	12,95	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,95	2,50		Rosciano	380	2004
93P	2,09	5,80	9,00	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	2,09	5,80	T3	Centinarola	260	2004
109P	2,05	2,90	4,78	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,78	3,00	T19	Centinarola	/	2004
50P	2,90	2,00	10,55	2,50	18,00	2,40	0,00	0,00	2,90	2,00		Centinarola	330	2004
56P	5,25	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,25	3,50		Cuccurano	330	2004
67P	2,30	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,30	3,00		Centinarola	330	2004
121P	3,00	3,40	18,00	2,00	70,00	4,50	0,00	0,00	3,00	3,40	T31	Centinarola	/	2004
122P	6,50	2,50	25,00	2,30	79,00	4,70	0,00	0,00	6,50	2,50	T32	Rosciano	/	2004
123P	2,60	2,10	6,90	2,50	60,00	2,40	0,00	0,00	6,90	2,50	T33	Cuccurano	/	2004
114P	2,50	2,70	28,00	2,20	65,00	4,50	0,00	0,00	2,50	2,70	T24	Madonna Camina	340	2004
041013P191	0,00	0,00	27,20	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		Fano	/	2005
041013P202	0,00	0,00	37,13	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		Fano	/	2005
041013P187	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		Fano	/	2005
85P	15,05	3,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,05	3,70		Fano	420	2005
19P	0,00	0,00	44,84	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		Fano	/	2005
96P	9,90	2,00	18,66	2,60	68,00	5,90	0,00	0,00	9,90	2,00	T6	Bellocchi	470	2005
101P	0,00	0,00	45,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	T11	Madonna Ponte	590	2005
33P	9,00	1,50	25,85	3,50	64,00	3,20	0,00	0,00	9,00	1,50		Fano	500	2005
102P	9,88	1,50	85,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,88	1,50	T12	Fano	490	2005
104P	0,00	0,00	32,00	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	T14	Fano	480	2005
105P	0,00	0,00	80,00	6,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	T15	Fano	510	2005
106P	11,00	1,20	27,50	2,50	88,00	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	T16	Bellocchi	/	2005
107P	11,00	2,10	26,00	2,10	73,00	3,50	0,00	0,00	11,00	2,10	T17	Metaurilia	/	2005
43P	7,15	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,15	1,50		Fano	340	2005
111P	10,50	1,60	26,00	2,50	60,00	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	T21	Bellocchi	/	2005
53P	19,28	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,28	2,10		Vallato vecchio	490	2005
60P	0,00	0,00	21,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		Metaurilia	360	2005
115P	0,00	0,00	76,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	T25	Baia Metauro	430	2005
116P	1,50	1,40	6,50	2,00	65,00	6,60	0,00	0,00	6,50	2,00	T26	Baia Metauro	/	2005
117P	1,80	1,70	50,00	2,00	74,00	3,50	0,00	0,00	1,80	1,70	T27	Bellocchi	400	2005
041013P204	1,40	1,20	39,78	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		Fano	/	2006
70P	0,00	0,00	49,38	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		Fano	360	2006
71P	15,00	1,70	66,80	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	1,70		Ponte Sasso	260	2006
72P	7,59	2,20	18,00	1,70	40,00	2,50	0,00	0,00	7,59	2,20		Fano	360	2006
73P	0,00	0,00	25,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		Fano	270	2006
74P	10,00	1,50	18,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	1,50		Arzilia	330	2006
80P	1,90	1,50	45,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		Fano	370	2006
81P	16,13	2,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,13	2,35		S.Orso	370	2006
83P	8,50	2,00	13,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,50	2,00		Bellocchi	300	2006
87P	2,00	1,90	63,91	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	1,90		Arzilia	330	2006
89P	19,97	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		Fano	350	2006
22P	5,81	1,50	23,00	1,40	38,00	2,00	0,00	0,00	5,81	1,50		Fano	320	2006
94P	2,80	1,20	15,16	2,00	65,00	4,00	0,00	0,00	15,16	2,00	T4	S.Orso	350	2006
27P	2,60	2,00	20,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,60	2,00		Torrette	/	2006
95P	18,69	2,70	60,00	4,80	0,00	0,00	0,00	0,00	18,69	2,70	T5	Bellocchi	350	2006
29P	12,47	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,47	1,50		Fano	300	2006
98P	9,69	3,00	95,00	5,60	0,00	0,00	0,00	0,00	9,69	3,00	T8	Carrara	300	2006
99P	1,60	2,10	18,75	2,10	100,00	2,20	0,00	0,00	1,60	2,10	T9	Ponte Sasso	300	2006
34P	0,00	0,00	22,50	6,50	55,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00		Fano	370	2006
103P	5,63	1,80	90,00	4,80	0,00	0,00	0,00	0,00	5,63	1,80	T13	Fano	380	2006
35P	0,00	0,00	24,50	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		Fano	320	2006
38P	7,10	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,10	1,70		Fano	300	2006
40P	9,00	2,80	27,30	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00	2,80		Cuccurano	310	2006
108P	1,38	1,90	7,50	1,00	28,00	2,90	85,00	4,10	1,38	1,90	T18	Torrette	/	2006
112P	8,20	1,40	14,00	1,50	23,50	2,90	36,00	3,10	8,20	1,40	T22	Bellocchi	/	2006
47P	0,00	0,00	24,55	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		S.Orso	390	2006
45P	5,15	1,70	55,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,15	1,70		Fano	280	2006
46P	0,00	0,00	38,13	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		Bellocchi	350	2006
55P	12,80	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,80	2,20		Fano	350	2006
57P	17,47	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,47	1,70		Madonna Ponte	320	2006
58P	9,35	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,35	3,50		Cuccurano	380	2006
59P	8,90	1,50	19,85	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	8,90	1,50		Fano	560	2006
61P	12,80	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,80	1,50		Fano	330	2006
120P	0,00	0,00	87,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	T30	Campo aviazione	/	2006
113P	1,60	1,40	6,50	1,40	34,00	4,70	56,00	3,20	6,50	1,40	T23	Lido	340	2006
118P	9,00	3,00	23,00	2,00	80,00	5,20	0,00	0,00	9,00	3,00	T28	Bellocchi	/	2006

Tabella 5.2 – Valori delle frequenze f_n (Hz) e ampiezze A_n ottenuti per le differenti microaree finali.

I valori di Vs30 sono stati ottenuti tramite le indagini geofisiche effettuate in *array* disponibili per l'area di studio; anche in questo caso parte delle indagini derivavano dalla bibliografia (in particolare indagini della tipologia MASW, più n.3 stendimenti di sismica a rifrazione SR), mentre altre sono state effettuate *ex novo*, finalizzate unicamente allo studio delle onde sismiche superficiali. Queste ultime sono state sempre eseguite con metodologia di analisi congiunta MASW/REMI – HVSR, la quale permette generalmente una definizione migliore del segnale di *output*, in particolare in presenza di disturbo ambientale.

I valori di Vs30 assunti in via definitiva sono stati ottenuti sia tramite procedura di inversione delle indagini, sia tramite la metodologia speditiva proposta su Albarello (2018); questa consiste nel determinare l'intersezione fra il modo fondamentale riconosciuto in una curva di dispersione delle onde superficiali e la retta $V_s = 40 \cdot f$ (dove f è la frequenza in Hz) (Fig.5.4). Il confronto fra le Vs30 determinate con le due metodologie ha restituito risultati assolutamente coerenti, dimostrando anche la bontà delle misure bibliografiche realizzate da altri professionisti per lavori "ordinari" (previa selezione), rispetto a quelle effettuate *ex novo* e in via specifica per il presente studio.

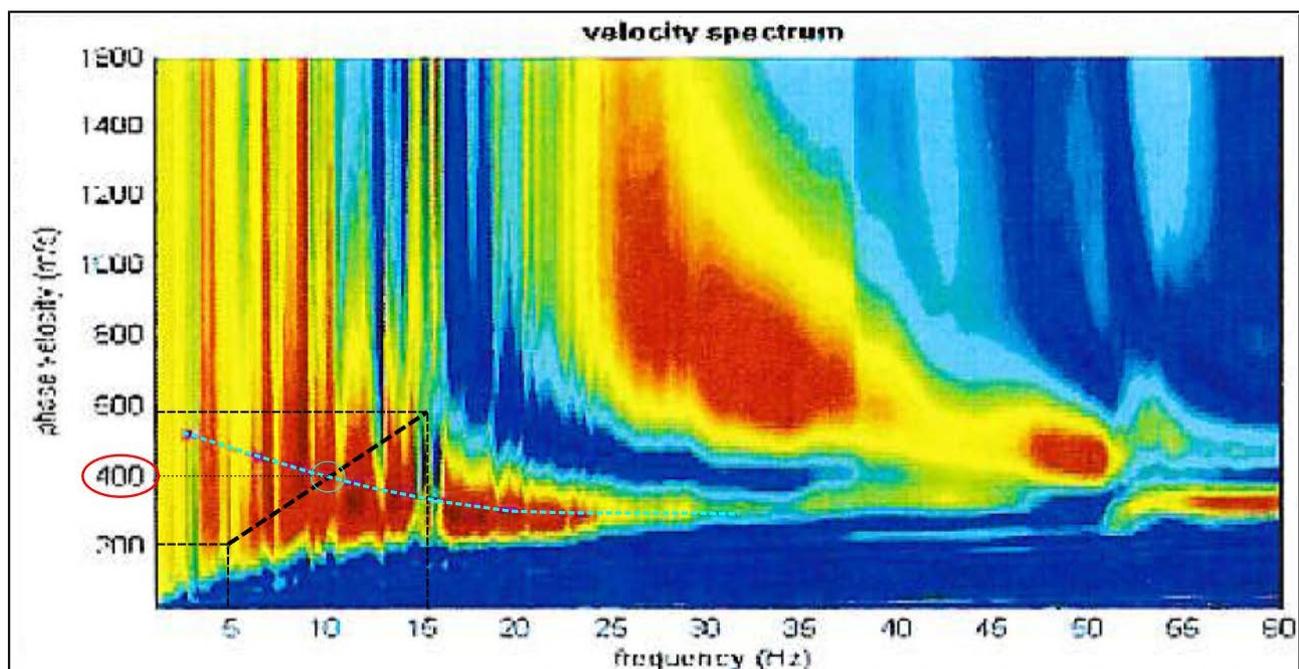


Figura 5.4 – Metodologia grafica di determinazione della Vs30 (nel caso 400 m/s) a partire dalla curva di dispersione delle onde superficiali, tramite intersezione con la retta $V_s = 40 \cdot f$ (f = frequenza in Hz).

Le indagini disponibili hanno mostrato valori coerenti fra loro per le diverse microaree definite nel livello 1, sia relativamente agli f_0 che alle Vs30 e in taluni casi hanno permesso di differenziare il modello geologico-geotecnico iniziale. Un esempio della differenziazione delle MOPS iniziali nel passaggio al livello 2 è stata la definizione di due differenti microaree per il substrato non sismico,

mentre inizialmente ne era prevista una unica (cfr. Carta delle MOPS).

ID	Nome	ID (2018)	MOPS	Vs30
19		A1	2001	410
102			2001	450
112			2001	460
37		A10	2002	310
21		A2	2003	300
31		A7	2003	250
14	M.A.S.W.1		2004	/
16	M.A.S.W.2		2004	330
23		A3	2004	260
51		A24	2004	340
101			2004	350
107			2004	300
1			2005	450
2	MASW		2005	420
39		A11	2005	590
41		A12	2005	490
7	MASW		2005	430
45		A14	2005	480
10	MASW		2005	400
47		A15	2005	510
12	ST1		2005	400
17	MASW		2005	430
18	01445		2005	450
29		A6	2005	470
53		A25	2005	430
55		A27	2005	400
103			2005	470
105			2005	450
108			2005	430
110			2005	400
113			2005	450
3	MASW		2006	380
4	MASW		2006	350
5	MASW		2006	380
6	MASW		2006	250
43		A13	2006	380
8	MASW		2006	360
9	MASW		2006	340
25		A4	2006	350
27		A5	2006	350
33		A8	2006	300
35		A9	2006	300
49		A23	2006	340
104			2006	390
106			2006	310
109			2006	250
110			2006	300

Tabella 5.3 – Valori di Vs30 (m/s) ottenuti per le differenti microaree finali.

6. Interpretazioni e incertezze

Le incertezze del modello geologico, geologico-tecnico e dinamico ricostruito, sono fondamentalmente legate al fatto che non si dispone praticamente mai di un numero sufficientemente elevato di sondaggi e indagini geognostiche, tale da escludere un significativo grado di interpretazione da parte del soggetto realizzatore su quello che è il risultato finale. Se l'informazione fornita da un sondaggio o da una qualsiasi indagine geognostica è in grado di trasmetterci dettagli abbastanza precisi della stratigrafia in quel punto specifico (stante l'incertezza intrinseca della metodologia di indagine utilizzata, la cui trattazione, parimenti importante, esula dallo scopo del presente rapporto), la correlazione di quell'informazione con altre, disponibili spesso a distanza non trascurabile, appare molto complessa e per essere attuata deve far ricorso a delle semplificazioni che tengano conto di un certo grado di incertezza, la quale viene in genere fornita tramite la deviazione che si osserva rispetto al parametro medio (in genere il sigma o scarto quadratico medio).

Nell'ambito di un lavoro di microzonazione sismica, aspetti di fondamentale importanza sono rappresentati dalla determinazione della profondità del contatto fra *bedrock* (substrato in posto) e coperture e dalla definizione delle geometrie sepolte che caratterizzano il contatto stesso (Fig.6.1).

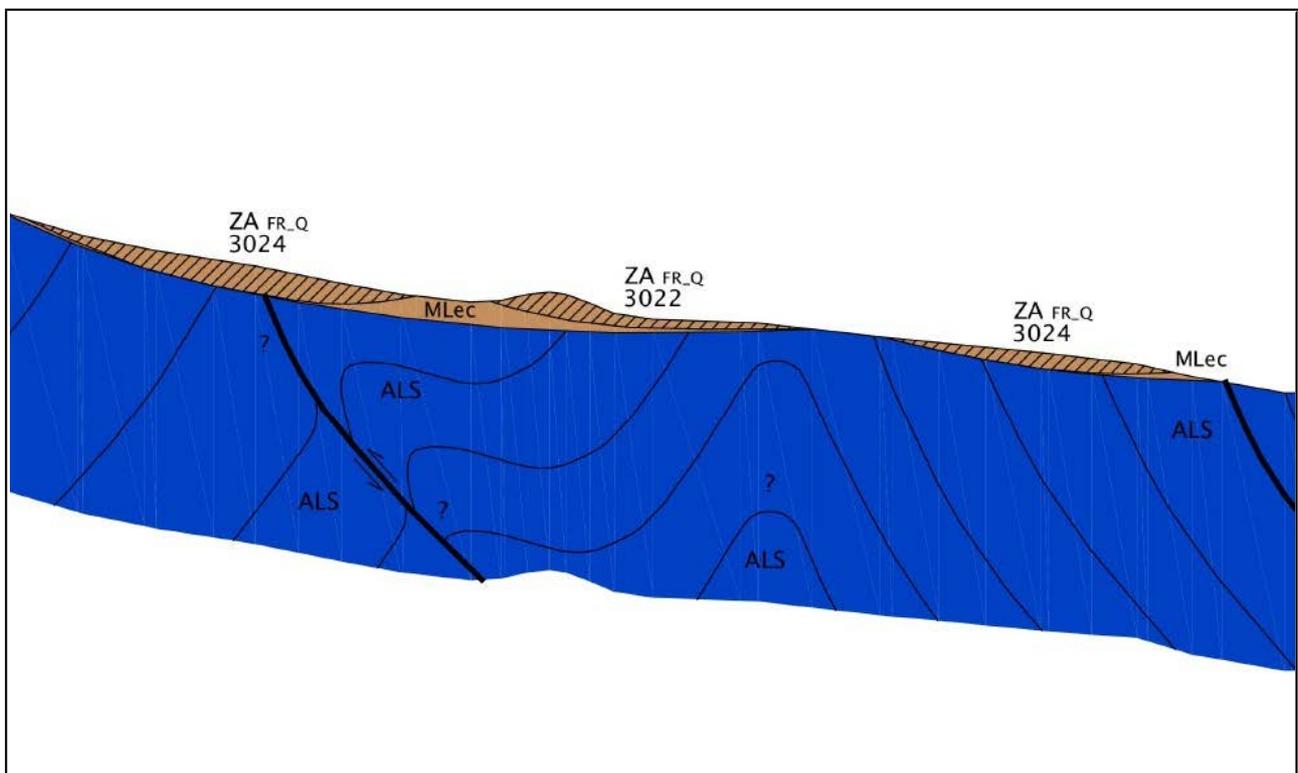


Figura 6.1 – Settore di versante caratterizzato da *bedrock* (ALS), ricoperto per gran parte da coperture eluvio-colluviali di materiale fine (Mlec); localmente instabilità da frana quiescente (ZA_FR_Q).

Sulla base dei dati a disposizione per il presente lavoro, gli aspetti suddetti sono stati identificati in maniera ampiamente sufficiente, ma è necessario comunque evidenziare alcune criticità. Un numero significativo dei sondaggi e delle indagini geognostiche disponibili (di varia tipologia; cfr. Carta delle indagini), non raggiungono quello che può essere assunto come il substrato litologico, lasciando di fatto incertezza sullo spessore dei terreni di copertura. I sondaggi che raggiungono il substrato sono spesso concentrati a grappoli attorno a particolari costruzioni oppure in corrispondenza di recenti lottizzazioni, mentre si hanno a disposizione meno indagini per le aree più antiche della Città, dove si dispone in genere solo di sondaggi isolati.

Particolarmente problematici sono i settori posti al margine delle valli (zone di *pinch out*), ossia quelli in cui dalla pianura alluvionale si passa, più o meno repentinamente, alle colline che bordano il bacino (Fig.6.2); in queste zone le coperture diminuiscono in spessore e spesso variano in composizione granulometrica, aspetti che naturalmente si riflettono in maniera marcata sul comportamento sismico, che può quindi essere soggetto a variazioni repentine anche nell'arco di poche decine di metri.

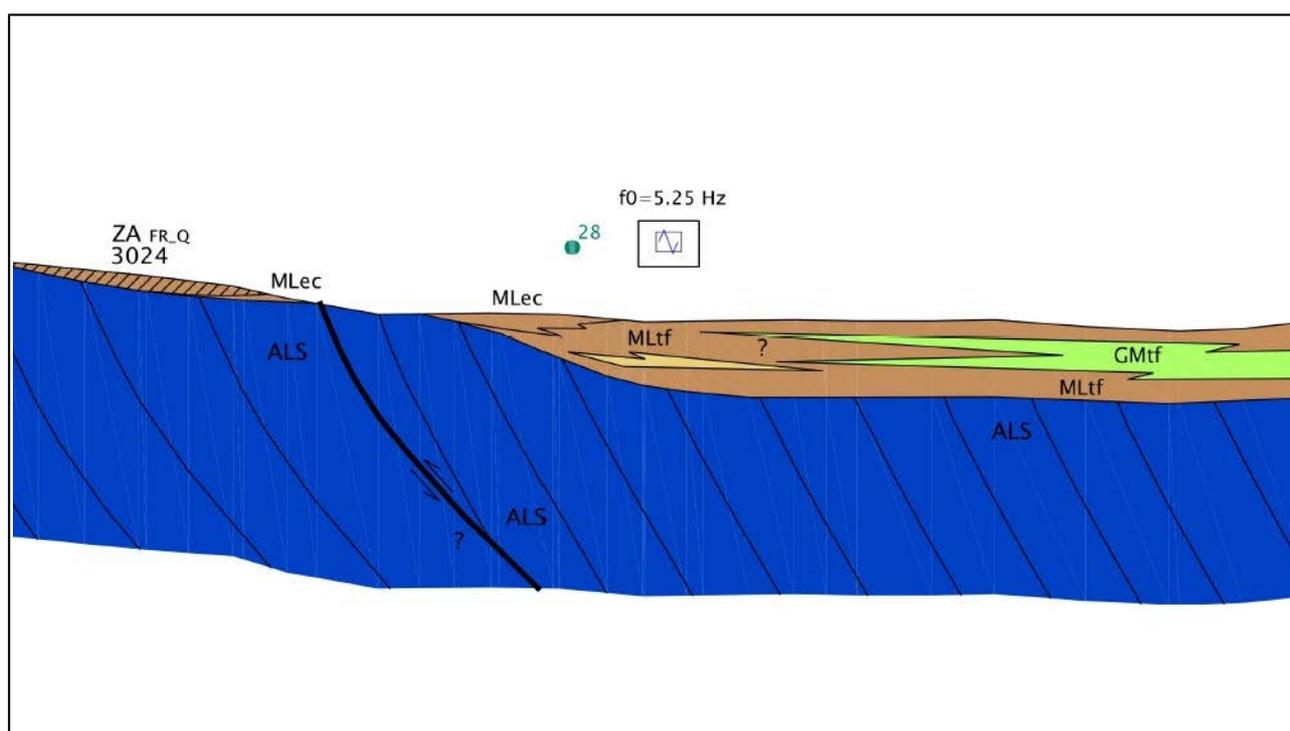


Figura 6.2 – Settore di *pinch out* del margine vallivo; le coperture variano repentinamente in spessore e granulometria, determinando spesso un'alta variabilità del segnale sismico.

Un situazione di criticità simile a quella appena descritta si può localmente manifestare lungo gli stessi confini delle microaree individuate, in particolare fra quelle che caratterizzano la piana alluvionale principale (2005 e 2006); in tali situazioni infatti, in genere, il limite fra le coperture

alluvionali a prevalente componente sabbioso-limosa e quelle a prevalente componente ghiaiosa, non si manifesta quasi mai in modo netto, ma in maniera transizionale, attraverso contatti laterali e lenti intermedie (Fig.6.3).

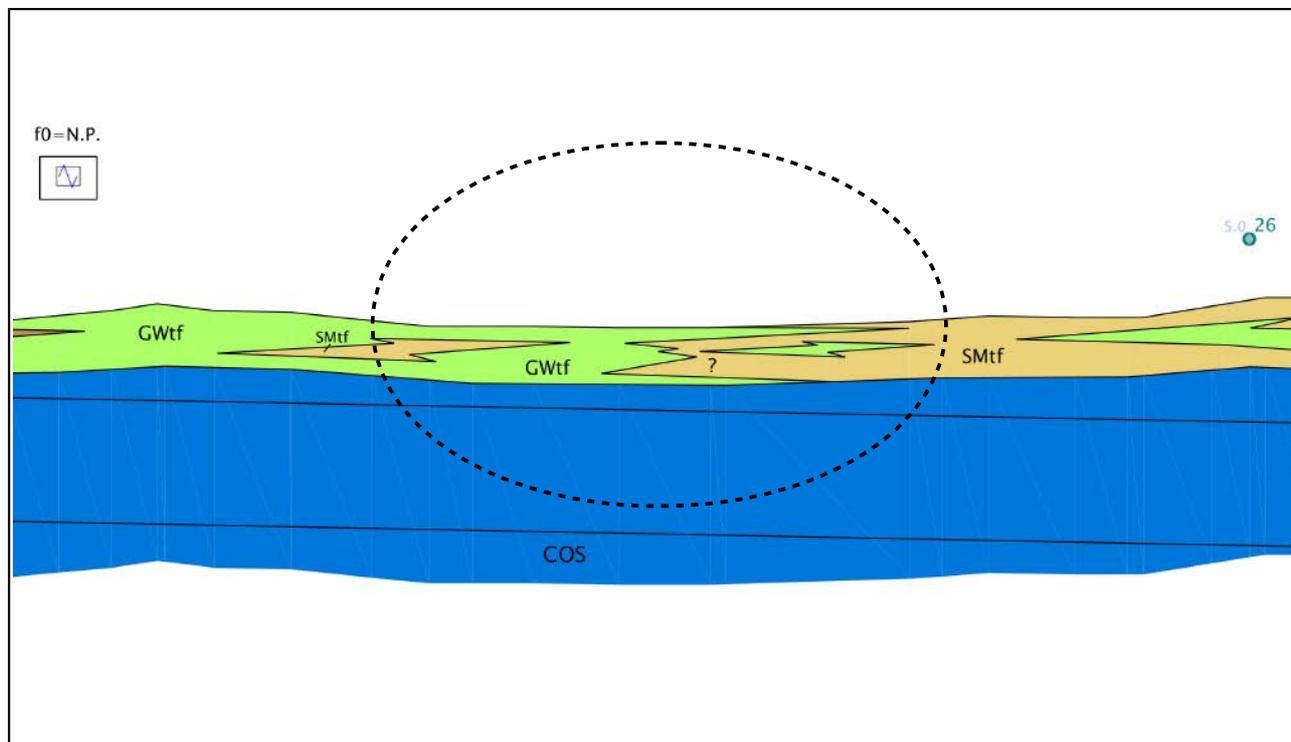


Figura 6.2 – Settore di transizione litologica (ellisse); le coperture variano dal punto di vista granulometrico in maniera transizionale, determinando un'alta variabilità del segnale sismico, il quale si può discostare anche significativamente da quello riconosciuto per le due singole MOPS.

In tale situazione, lungo il confine fra le due microaree riconosciute, può insistere una zona in corrispondenza della quale i parametri sismici (in relazione al presente studio f_0 e V_{s30}) possono discostarsi da quelli identificati per le due MOPS e quindi di fatto anche i fattori di amplificazione finali (FA) risultare sensibilmente differenti.

7. Metodologie di elaborazione e risultati

In questo capitolo vengono espone le metodologie utilizzate per l'elaborazione dei modelli finali e in particolare si descrivono le procedure tecnicamente più articolate e rilevanti; ulteriori aspetti legati alla realizzazione del lavoro vengono riportati, per maggiore chiarezza e continuità logica, direttamente nella descrizione degli elaborati cartografici definitivi (Capitolo 8).

7.1 Sviluppo delle zone stabili suscettibili di amplificazione sismica (Carta delle MOPS)

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) si genera come il diretto risultato dell'interazione fra i dati riportati sulla Carta delle indagini e sulla Carta geologico-tecnica. Infatti, una volta realizzate le due suddette cartografie, si dispone già di un'ottima base di partenza per la zonazione del territorio, fornita dalla Carta geologico-tecnica, la quale andrà arricchita con le informazioni relative ai sondaggi e alle prospezioni sismiche, al fine di identificare e pertanto delimitare le aree per le quali si presume una risposta sismica locale omogenea.

L'area del comune di Fano interessata dai presenti studi di microzonazione presenta, come già visto nei precedenti capitoli introduttivi, molteplici e complesse situazioni geologiche. Le maggiori differenze tra i diversi assetti litostratigrafici dipendono essenzialmente dalla variazione degli spessori delle coperture eluvio-colluviali nelle aree interessate da versanti e dei depositi alluvionali nelle aree di fondovalle. Il resto del territorio è caratterizzato dalla presenza del substrato (geologico; $V_s < 800$ m/s) affiorante o sub-affiorante (spessore delle coperture $< 3,0$ m dal p.c.) il quale è stato distinto nelle varie tipologie previste dagli *standard* nazionali (AA.VV., 2008; 2015).

In base ai vari rapporti litostratigrafici riconosciuti, anche sulla base delle informazioni derivanti dalla realizzazione delle sezioni geologico-tecniche, sono state sviluppate colonne stratigrafiche tipo in grado di rappresentare di fatto tutto il territorio sottoposto a microzonazione (Fig.7.1); tali colonne stratigrafiche sono state, quando necessario, associate fra loro in base alla prevista risposta sismica, in modo da costituire in questo modo una microzona omogenea in prospettiva sismica.

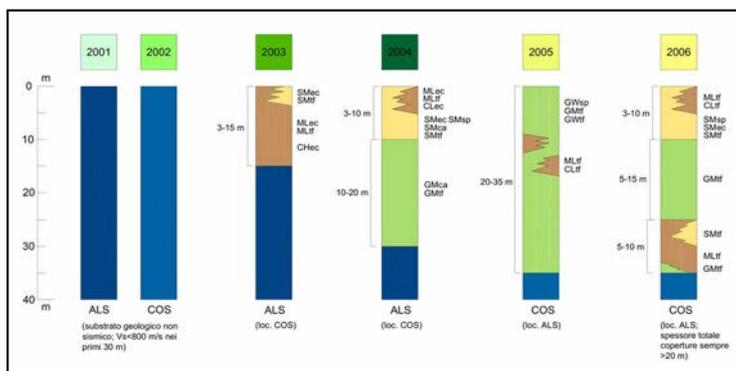


Figura 7.1 – MOPS della microzoazione di Fano (cfr. Cap. 8).

Come previsto dagli *standard* nazionali, al Capitolo 8 (Carta delle MOPS) verrà descritta dettagliatamente ogni singola zona stabile suscettibile di amplificazione locale e per ognuna di esse verranno evidenziati i rapporti stratigrafici significativi e i valori di f_0 e V_{s30} associati.

7.2 Analisi per lo studio delle morfologie sepolte

Al fine di eseguire l'analisi delle morfologie sepolte e svolgere le relative valutazioni a riguardo, si sono utilizzate metodologie di elaborazione tridimensionale dei dati. Le analisi descritte nel presente paragrafo sono state implementate con il *software* *gis opensource* QGIS.

Il modello di archiviazione informatica dei dati, prevede la realizzazione di uno *shapefile* relativo alle isobate del substrato (linee di uguale profondità dell'interfaccia substrato-coperture). L'efficace implementazione di questo livello dipende direttamente dalla disponibilità delle informazioni fornite dai sondaggi che intercettano il substrato; cercare di ottenere linee di uguale spessore delle coperture a partire da dati troppo scarsi, lontani fra loro o poco affidabili (come nel caso di prove penetrometriche) potrebbe condurre ad indicazioni non corrette e quindi fuorvianti.

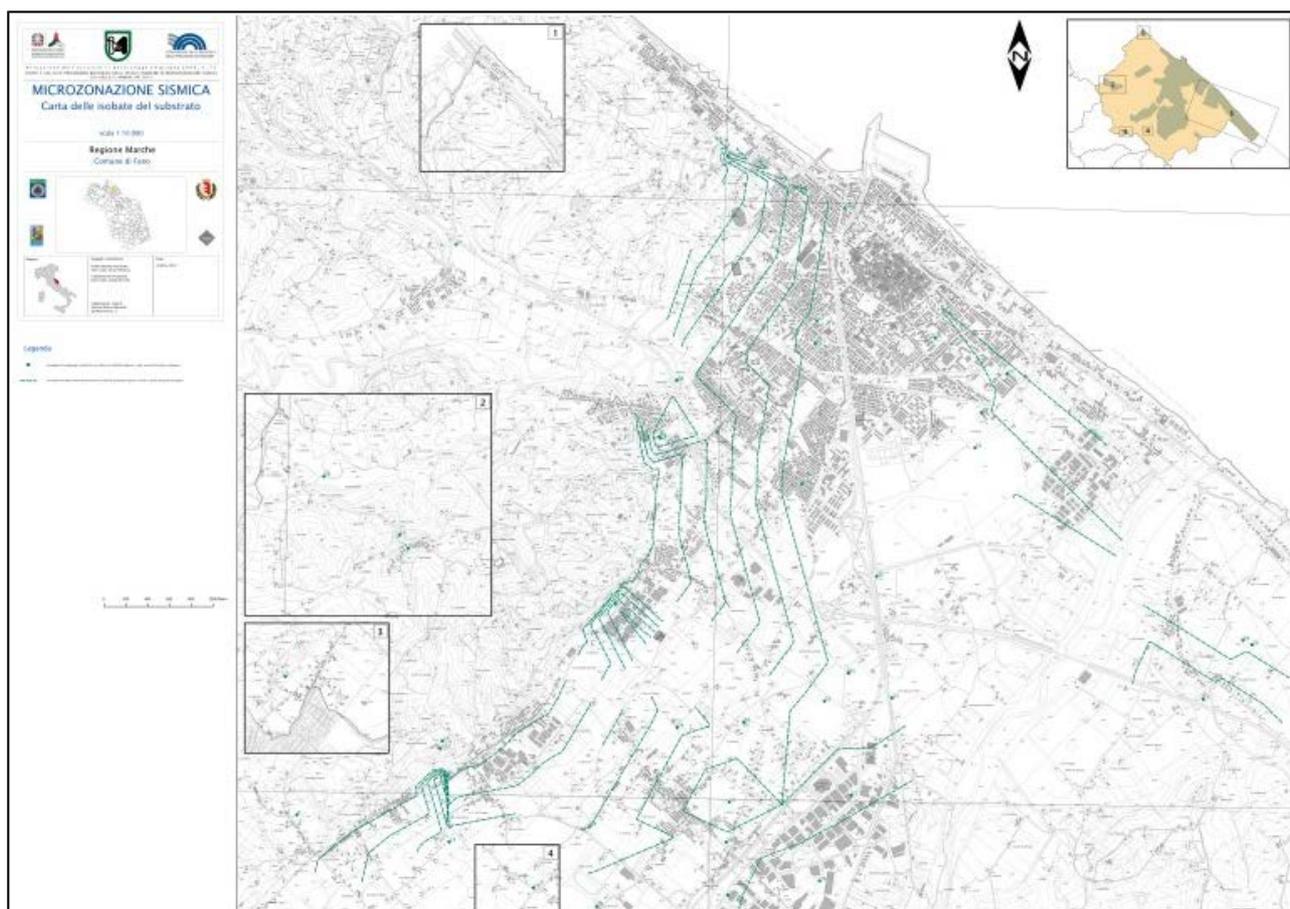


Figura 7.2 – Carta delle isobate del substrato.

Nel presente lavoro sono state generate, attraverso una procedura di triangolazione geometrica lineare (TIN; altre metodologie risultano inadatte), le isobate del substrato per la Città di Fano e per le frazioni per le quali si disponeva di dati stratigrafici sufficienti a tale elaborazione, realizzando un elaborato complementare a quelli richiesti dagli *standard* nazionali di microzonazione: la Carta delle isobate del substrato (Fig.7.2).

Si sottolinea come i risultati del modello suddetto vadano assunti con spirito critico, con lo scopo fondamentale di pianificare eventuali nuove indagini di approfondimento, in caso di realizzazione ad esempio di nuovi piani di lottizzazione all'interno di aree già sottoposte a microzonazione.

7.3 Analisi per lo studio della distribuzione delle $Vs30$

Le medesime procedure di interpolazione spaziale descritte al precedente paragrafo e lo stesso approccio metodologico sono stati impiegati per produrre la Carta delle delle velocità delle onde di taglio ($Vs30$) (Fig.7.3); le criticità relative a tale prodotto cartografico, risultato di una modellazione matematica applicata a sistemi naturali complessi dipendenti da molte variabili, sono sostanzialmente le medesime di quelle descritte per la Carta delle isobate del substrato.

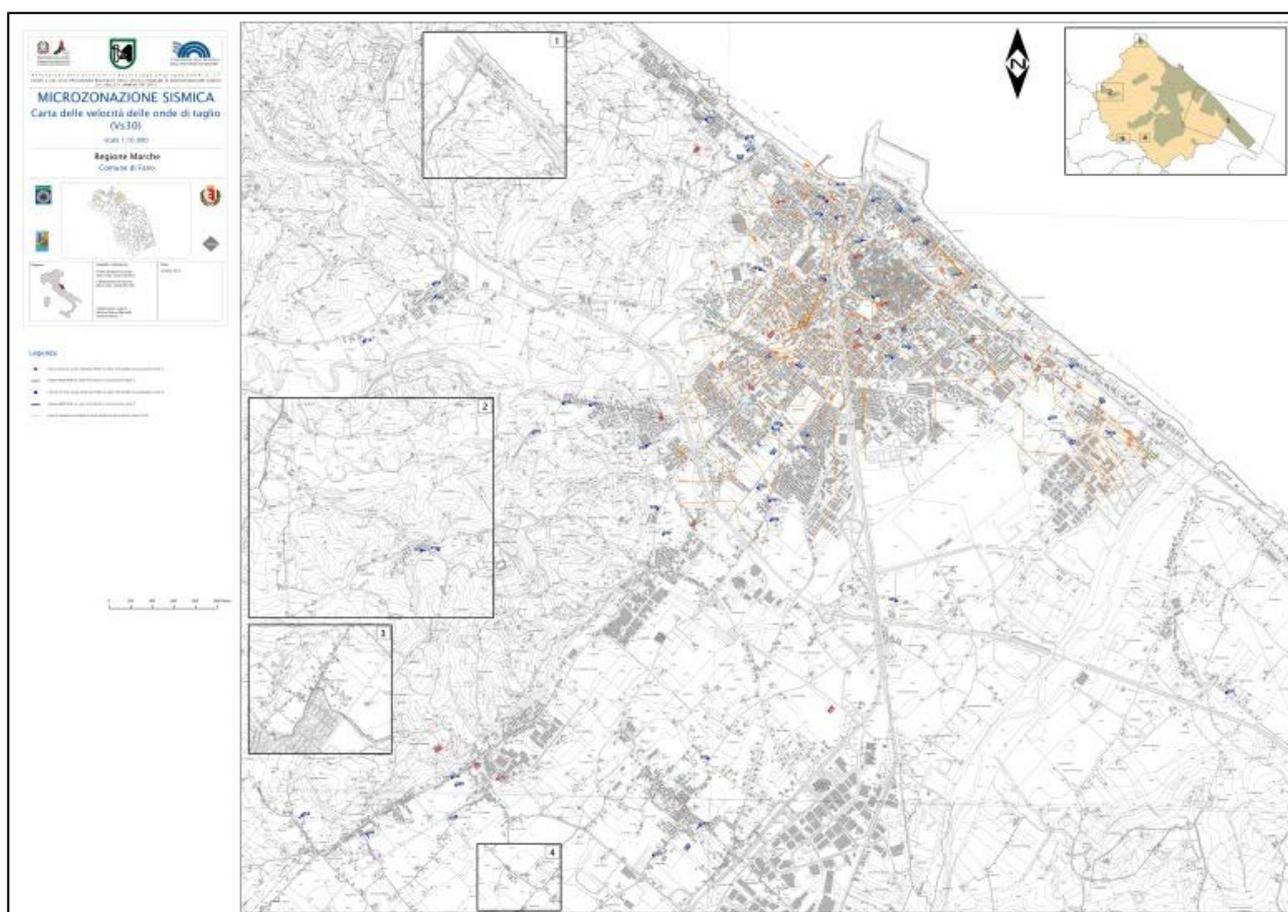


Figura 7.3 – Carta delle velocità delle onde sismiche di taglio ($Vs30$).

7.4 Procedura per la realizzazione delle carte di microzonazione sismica di livello 2

Al paragrafo 5.3 è stata descritta la procedura per il passaggio dal livello 1 di microzonazione sismica al livello 2, tramite l'applicazione degli abachi sviluppati per la stima dei fattori di amplificazione sismica stratigrafica (FA).

Nel territorio del Comune di Fano sottoposto a microzonazione sono stati riconosciuti due dei tre domini identificati per la Regione Marche: il **dominio alluvionale** (prevalente) e il **dominio terrigeno** (AA.VV., 2018). Al fine dell'elaborazione delle Carte di microzonazione sismica (livello 2), sono stati utilizzati tali abachi (considerando sempre una profondità del basamento sismico > 30 m). In Figura 7.4 e in Figura 7.5 vengono riportati rispettivamente gli abachi del dominio alluvionale e gli abachi del dominio terrigeno per le differenti frequenze di interesse; per il dettaglio della procedura di applicazione degli abachi medesimi si rimanda direttamente al documento ufficiale (AA.VV., 2018), il quale viene riportato in Allegato 3 al presente rapporto.

FA 0.1 < T < 0.5 s											
		f0 (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
Vs30 (m/s)	<200	1.0	1.3	1.5							1.3
	300	1.3	1.4	1.5	1.8	1.9	2.0	2.0	1.9	1.7	1.5
	500	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.5	1.5	1.5	1.5
	700	0.9	1.1	1.3		1.4			1.2	1.1	1.1
	≥800										

FA 0.4 < T < 0.8 s											
		f0 (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
Vs30 (m/s)	<200	1.8	2.1	2.1							2.0
	300	1.6	2.0	1.9	1.8	1.7	1.9	1.9	1.7	1.7	1.9
	500	1.3	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5
	700	1.1	1.3	1.5		1.3			1.3	1.3	1.3
	≥800										

FA 0.7 < T < 1.1 s											
		f0 (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
Vs30 (m/s)	<200	2.5	2.7	1.8							2.6
	300	2.0	2.2	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.7	1.6	1.9
	500	1.5	1.5	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5
	700	1.3	1.4	1.3		1.2			1.3	1.4	1.4
	≥800										

Figura 7.4 – Abaco del dominio alluvionale, assunto per il fondovalle; basamento sismico > 30 m (AA.VV., 2018)

FA 0.1 < T < 0.5 s											
		f0 (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	75° perc.
Vs30 (m/s)	<200	1.2	1.6	2.0							1.5
	300	1.2	1.4	1.6	1.8	2.1	2.3	2.2	2.0	1.9	1.7
	500	1.2	1.3	1.6	1.5	1.7	1.8	1.9	1.8	1.7	1.6
	700	0.9	1.3	1.4	1.6	1.5	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4
	≥800										

FA 0.4 < T < 0.8 s											
		f0 (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	75° perc.
Vs30 (m/s)	<200	2.0	2.6	2.7							2.5
	300	1.6	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.9
	500	1.3	1.5	1.8	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6
	700	1.2	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.5	1.6
	≥800										

FA 0.7 < T < 1.1 s											
		f0 (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	75° perc.
Vs30 (m/s)	<200	2.6	3.0	2.9							2.9
	300	1.9	2.0	1.8	1.7	1.8	1.7	1.8	1.7	1.6	1.8
	500	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5
	700	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.4
	≥800										

Figura 7.5 – Abaco del dominio terrigeno, assunto per le aree collinari; basamento sismico > 30 m (AA.VV., 2018)

Nel presente lavoro di microzonazione di livello 2, i fattori di amplificazione sismica dovuta alle caratteristiche geomorfologiche del territorio (Ft) non sono stati riportati sui relativi *shapefiles* (Stab.shp; Instab.shp), in considerazione del fatto che non erano presenti aree con substrato affiorante e $V_s > 800$ m/s (substrato sismico) e quindi seguendo le indicazioni proposte su AA.VV. (2018). Pertanto il fattore di amplificazione stratigrafica FA è stato sempre assunto di fatto prevalente rispetto ad eventuali effetti topografici.

Stante quanto suddetto, si evidenzia come in alcuni settori siano presenti alcune scarpate morfologiche alle quali possono essere associati dei fattori di amplificazione topografica $F_t = 1,2/1,4$ ad un periodo $T_o = 0,4/0,6$ s. Tali situazioni, osservabili lungo il margine vallivo fra Bellocchi e Rosciano e a Fosso Sejore, potrebbero essere passibili di approfondimenti specifici (non richiesti nel presente studio) (cfr. AA.VV., 2018).

Per altri rilievi presenti nell'area (settori di Carignano e Caminate) effetti di amplificazione

topografica sembrano potersi generare solo a periodi relativamente alti ($T_0 > 2,5s$), tuttavia in queste ultime situazioni è consigliabile effettuare vere e proprie modellazioni numeriche (anche 2D) sviluppate su diverse sezioni di calcolo, in relazione alla complessità geometrica dei rilievi stessi (creste morfologiche articolate).

8. Elaborati cartografici

8.1. Carta delle indagini

L'elaborato relativo alla rappresentazione cartografica delle indagini raccolte per il presente lavoro di microzonazione sismica, viene reso tramite due tavole in formato A0 e utilizzando come base cartografica la CTR della Regione Marche in formato vettoriale georeferenziato (*shapefiles*) (Fig.8.1). La maggior parte delle indagini riportate sulla cartografia in esame ha un'origine pregressa (conformemente a quanto previsto dal livello 1 di microzonazione), mentre altre, come già descritto precedentemente, sono state eseguite *ad hoc* per il presente studio.

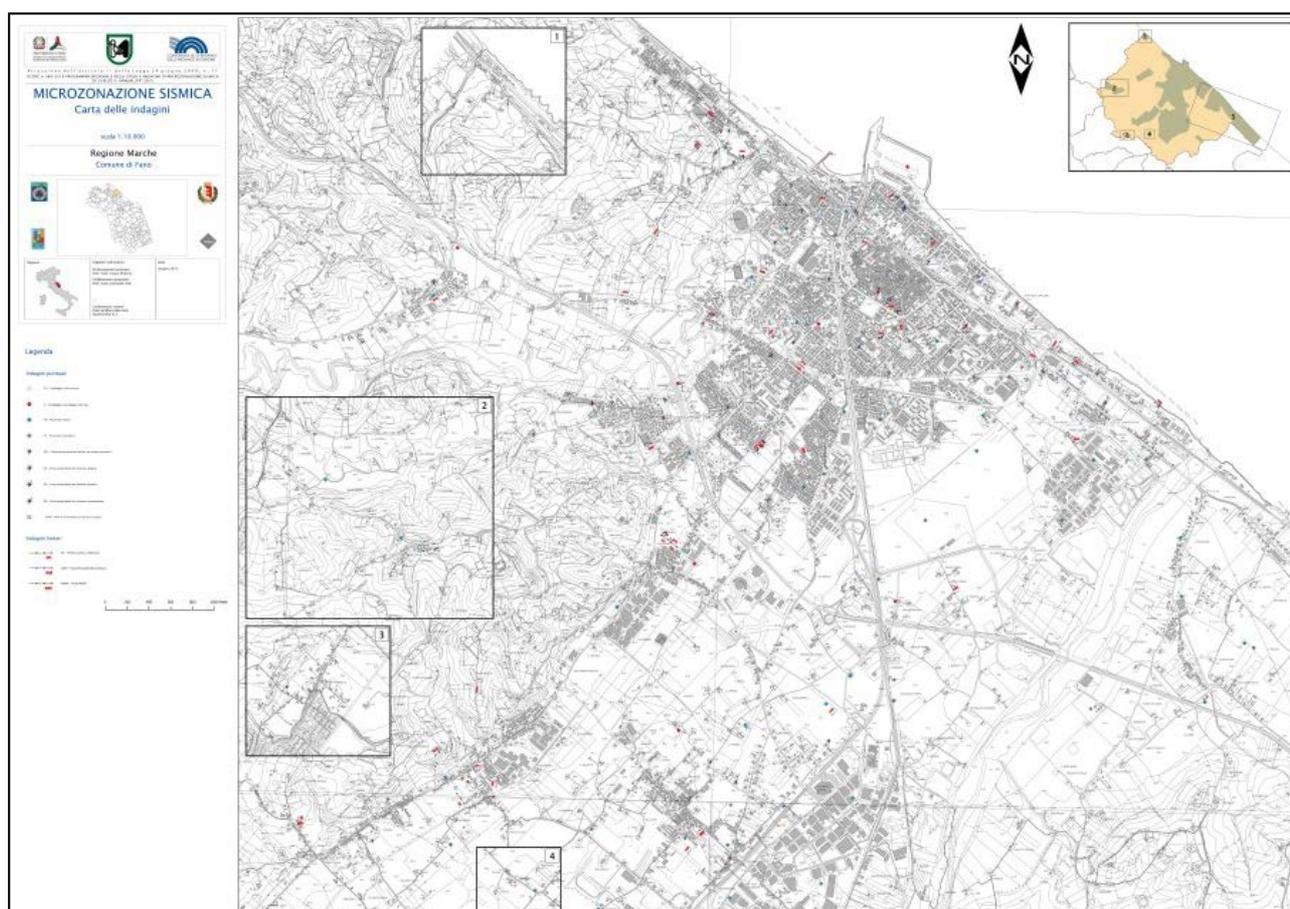


Figura 8.1 – Carta delle indagini.

Le indagini sono state georeferenziate e posizionate sulla carta tramite applicativi GIS, in base all'ubicazione rinvenuta all'interno degli elaborati geologico-tecnici da cui esse sono state tratte (cfr. Riferimenti bibliografici).

Tutte le indagini e le informazioni geotecniche correlate ad esse sono state archiviate nella banca dati proposta dagli *Standard* di rappresentazione e archiviazione informatica per la realizzazione di lavori di microzonazione sismica versione 4.0b (AA.VV., 2015). Anche la legenda utilizzata per la

rappresentazione delle varie tipologie di indagini, sia puntuali che lineari, è naturalmente quella proposta dal suddetto documento.

La tipologia delle indagini a disposizione, il loro grado di accuratezza e le problematiche emerse dalla loro analisi al fine del presente lavoro, sono state descritte nello specifico al Capitolo 4.

8.2. Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica

Su questo elaborato cartografico vengono riportati tutti gli aspetti geologico-tecnici utili alla realizzazione della microzonazione sismica del territorio. La carta viene resa alla scala 1:10.000 tramite due tavole in formato A0 che rappresentano tutto il territorio comunale microzonato e utilizzando come base cartografica la CTR della Regione Marche in formato vettoriale; questo ultimo formato, rispetto a quello *raster* è più duttile, perché permette di gestire meglio le etichette di testo della base cartografica al fine di renderle meno invasive e quindi lasciare spazio ai già numerosi tematismi previsti dalla legenda dell'elaborato. La mappatura degli aspetti geologico-tecnici è stata eseguita per un areale ritenuto significativo, unicamente in corrispondenza dei diversi centri abitati di interesse al fine degli studi di microzonazione sismica. L'area di studio viene in genere definita assumendo in primo luogo come riferimento le zone interessate dalla presenza di edifici o comunque aventi una destinazione “edificabile” da PRG ed estendendo quindi l'ambito di indagine o fino ad un limite significativo dei versanti della valle, in caso di abitati vallivi, oppure almeno fino all'apice e al piede del versante, in caso di abitati posizionati su un rilievo. Nel presente lavoro di approfondimento di livello 2 è stata di fatto assunta l'area già sottoposta ad indagini di livello 1.

La legenda della carta è stata sviluppata seguendo le indicazioni fornite negli *standard* di rappresentazione e archiviazione informatica vers. 4.0b (AA.VV., 2015) e su Martini *et alii* (2011).

Di seguito vengono descritti nel dettaglio tutti gli elementi che rientrano nella legenda della Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica di Fano.

Substrato geologico

COS	Coesivo sovraconsolidato stratificato
ALS	Alternanza di litotipi stratificato

COS – Coesivo sovraconsolidato stratificato.

Substrato che presenta nell'area in esame generalmente $V_s < 800$ m/s (relativamente ai primi 30 m); è riferibile dal punto di vista litostratigrafico alla **Formazione delle Argille azzurre (FAA)**.

ALS – Alternanza di litotipi stratificato.

Substrato che nell'area in esame presenta generalmente $V_s < 800$ m/s (relativamente ai primi 30 m); riferibile dal punto di vista litostratigrafico alle unità litostratigrafiche di **Schlier (SCH)**, **Formazione di San Donato (FSD)**, **Formazione Gessoso-solfifera (GES)**, **Formazione a Colombacci (FCO)** e **Membro delle arenarie di Borello (FAA2)** della Formazione delle Argille azzurre.

Terreni di copertura

GWsp	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie. Ambiente deposizionale di spiaggia. Depositi moderatamente addensati.
GWtf	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Depositi moderatamente addensati.
GMca	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo. Ambiente deposizionale costituito da conoide alluvionale. Depositi moderatamente addensati.
SMsp	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Ambiente deposizionale di spiaggia. Depositi da sciolti a moderatamente addensati.
SMtf	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Depositi da sciolti a moderatamente addensati.
SMca	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Ambiente deposizionale costituito da conoide alluvionale. Depositi moderatamente addensati.
SMec	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Origine deposizionale eluvio-colluviale. Depositi poco addensati.
MLsp	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità. Ambiente deposizionale di spiaggia. Coesivo da poco a moderatamente consistente.
MLEc	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità. Origine deposizionale eluvio-colluviale. Coesivo da poco a moderatamente consistente.
MLtf	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Coesivo da poco a moderatamente consistente.
CHec	Argille inorganiche di alta plasticità, argille grasse. Origine deposizionale eluvio-colluviale. Coesivo da poco a moderatamente consistente.

Unità litologico-tecniche definite sulla base della classificazione USCS e in funzione dell'ambiente deposizionale (genetico).

Instabilità di versante

	Colata - attiva
	Scorrimento - quiescente
	Colata - quiescente
	Complessa - quiescente
	Scorrimento - non definito
	Colamento - non definito

La tipologia di movimento e lo stato di attività delle instabilità di versante sono state riconosciute e distinte in base a quanto riportato sul PAI (Piano Assetto Idrogeologico) e su IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi

in Italia).

I depositi di frana presenti nell'area di studio sono sostanzialmente costituiti da accumuli caotici di elementi litoidi in matrice pelitica più o meno abbondante e derivano dalla mobilitazione di depositi eluvio-colluviali caratterizzati da materiale a granulometria prevalentemente fine (limi e argille).

Elementi geologici e idrogeologici

-  Giacitura di strato (normale) e valore di inclinazione degli strati
-  Profondità (m) sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato
-  Profondità (m) sondaggio o pozzo che ha raggiunto il substrato
-  Profondità della falda in aree con sabbie e/o ghiaie

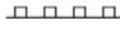
Elementi che indicano aspetti geologico-tecnici peculiari, utili alla ricostruzione del modello finale e che hanno una valenza puntuale.

Elementi tettonico strutturali

-  Faglia non attiva inversa (tratto certo)
-  Sinclinale
-  Anticlinale

Elementi lineari che indicano aspetti strutturali peculiari, fondamentali per la ricostruzione del modello definitivo, in particolare al fine della realizzazione di sezioni geologico-tecniche.

Forme di superficie e sepolte

-  Conoide alluvionale
-  Orlo di scarpata morfologica (>20 m)
-  Orlo di scarpata morfologica (10 - 20 m)
-  Cresta
-  Asse di paleoalveo
-  Traccia di sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo

Elementi lineari e areali che indicano aspetti geomorfologici peculiari, fondamentali per la ricostruzione del modello definitivo, in particolare al fine della realizzazione di sezioni geologico-tecniche.

8.2.1 Sezioni geologico-tecniche

All'interno dell'area di studio delimitata per la realizzazione della Carta geologico-tecnica, sono stati identificati n.8 profili topografici significativi, in corrispondenza dei quali sono state realizzate altrettante sezioni geologico-tecniche.

Tali profili sono stati selezionati in modo da fornire il quadro più completo possibile delle situazioni geomorfologiche e stratigrafiche presenti nell'area di studio. Le sezioni sono state realizzate in modo da permetterne la rappresentazione alla scala 1:2.000 (in formato A0), la quale costituisce il livello di dettaglio necessario all'efficace rappresentazione degli spessori delle coperture alluvionali ed eluvio-colluviali e dei rapporti geometrici di questi ultimi con il sottostante substrato (*bedrock*).

La legenda riportata nelle sezioni è sostanzialmente la stessa che è stata utilizzata per la Carta geologico-tecnica, sia per quanto riguarda le simbologie che per i colori; alcuni simboli sono stati tuttavia elaborati in via originale, dato che non erano previsti sulle linee guida nazionali per la microzonazione. Essi, realizzati comunque in analogia di forma e colori rispetto a quelli della Carta geologico-tecnica, sono i seguenti:

Forme di superficie e sepolte

	Orlo di scarpata morfologica (> 20 m)
	Orlo di scarpata morfologica (10 - 20 m)
	Cresta
	Asse di paleoalveo
	Elemento di dubbia presenza o interpretazione

Sono stati riportati lungo le sezioni, oltre ai punti dei sondaggi che raggiungono il substrato o meno, anche i siti di misura del rumore ambientale (tramite metodologia HVSR), con le relative frequenze fondamentali di sito (f_0).

8.3 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (livello 1)

In base alle caratteristiche del territorio e quindi al modello geologico emerso dalla Carta geologico-tecnica, si sono individuate le aree suscettibili di effetti locali (riportate sulla carta delle MOPS) per le quali possono essere attesi effetti omogenei di amplificazione del segnale sismico.

Per tale elaborato cartografico (formato A0 alla scala 1:10.000), la base topografica che si è assunta è la cartografia CTR della Regione Marche in formato vettoriale. Le superfici coperte dai tematismi della Carta delle MOPS, sono le medesime di quelle analizzate dal punto di vista geologico-tecnico

nella relativa cartografia.

I tematismi riportati in legenda sono i seguenti:

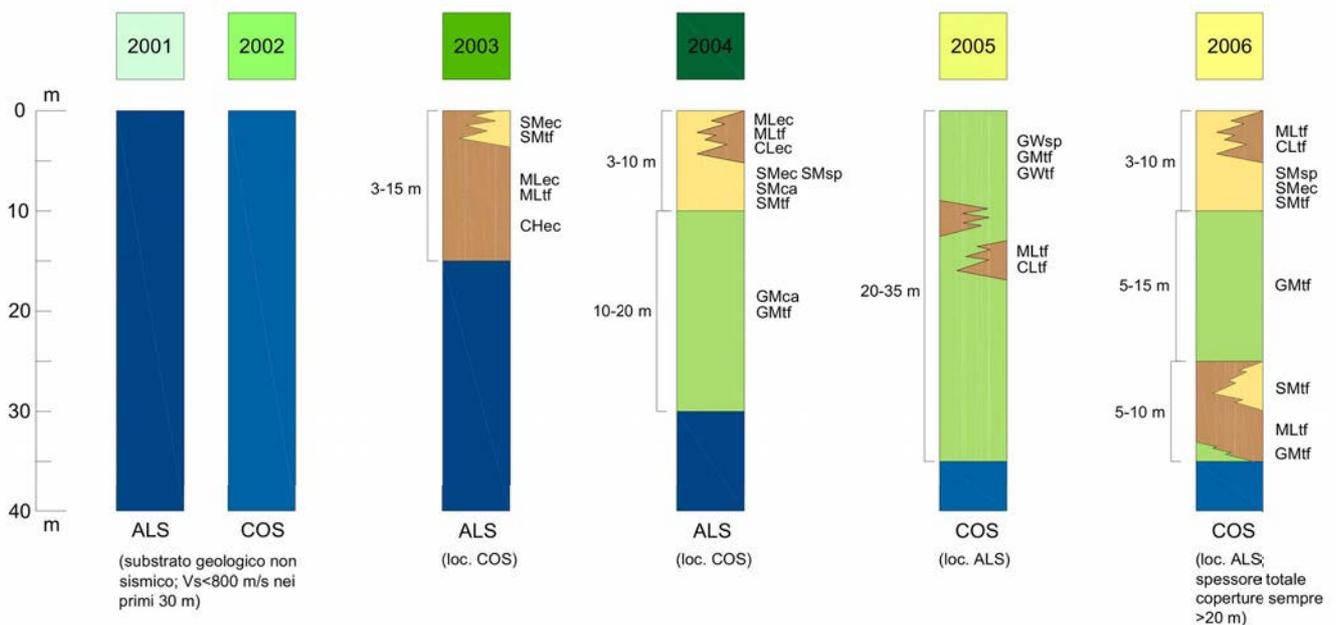
- **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**
- **Punti di misura di rumore ambientale**
- **Zone di attenzione per instabilità (unicamente instabilità di versante)**
- **Forme di superficie e sepolte**

Non sono state riconosciute aree classificabili come “stabili non suscettibili di amplificazione locale” ($V_s > 800$ m/s).

Si descrivono nel seguito i diversi tematismi riportati sulla Carta delle MOPS.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Il presente tematismo è stato realizzato in base alle successioni stratigrafiche rappresentative delle MOPS. Ad ogni colore e codice riportato in legenda e sulla carta, corrisponde una MOPS contraddistinta da una o più successioni stratigrafiche tipo. Spesso più tipologie di substrato sono state inserite nella medesima zona; tale approccio è stato seguito quando i substrati in oggetto si differenziano per le caratteristiche litologiche sulla base della definizione fornita dagli standard (AA.VV., 2015), ma sono in genere caratterizzati da proprietà dinamiche (velocità delle onde sismiche di taglio V_s) confrontabili e che non influiscono in via determinante su modifiche al segnale. E' stato necessario assumere tale semplificazione per evitare di creare un numero molto elevato di MOPS, alcune delle quali a comportamento sismico equivalente a livello pratico. Nel seguente schema vengono rappresentate e descritte nel dettaglio le diverse microzone omogenee in prospettiva sismica riconosciute e ognuna di esse viene anche caratterizzata dal punto di vista dinamico (sulla base delle indagini effettuate per il presente studio di microzonazione (cfr. Tab.5.2 e Tab.5.3):



MICROZONA 2001. Costituita da substrato affiorante di tipologia **ALS**. E' caratterizzata da una velocità media Vs30 di 450 m/s e, in genere, da assenza di picchi f0.

MICROZONA 2002. Costituita da substrato affiorante di tipologia **COS**. E' caratterizzata da una velocità media Vs30 di 300 m/s e da picchi f0 compresi fra 2 e 3 Hz; localmente si osservano picchi f0 > 8 Hz (dovuti probabilmente alla presenza di strati di alterazione o comunque a contrasti litologici relativamente superficiali).

MICROZONA 2003. Rappresenta le aree di versante caratterizzate da coperture eluvio-colluviali. E' caratterizzata da una velocità media Vs30 di 300 m/s e da picchi f0 compresi fra 3 e 5 Hz.

MICROZONA 2004. Rappresenta i settori di margine vallivo (*pinch out*). Caratterizzata da una notevole variabilità, presenta una velocità media Vs30 di 350 m/s e picchi f0 compresi fra 2,5 e 6,5 Hz.

MICROZONA 2005. Rappresenta i settori di centro valle caratterizzati da depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi (antichi canali di trasporto fluviale ad alta energia). Mostra una notevole variabilità lungo i confini con le altre microzone e presenta una velocità media Vs30 di 450 m/s. I picchi f0 sono assenti o > 8 Hz.

MICROZONA 2006. Rappresenta i settori di centro valle caratterizzati da depositi alluvionali prevalentemente sabbioso-limosi. Mostra una notevole variabilità lungo i confini con le altre microzone e presenta una velocità media Vs30 di 350 m/s e picchi f0 compresi fra 5,5 e 8 Hz; localmente si osservano picchi a frequenze più basse (1,5 Hz), in particolare nel settore posto a sud della foce del Fiume Metauro.

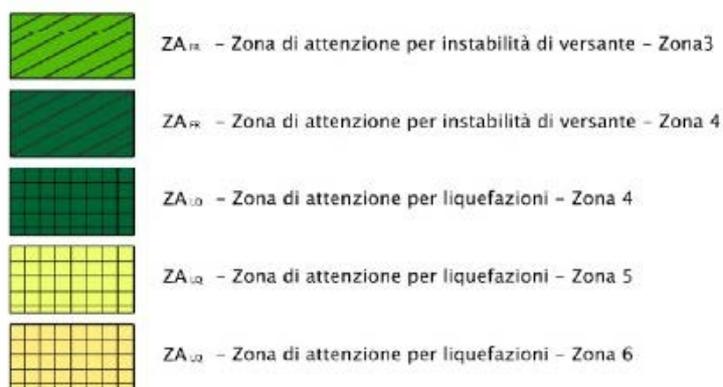
Punti di misura di rumore ambientale

Sulla Carta delle MOPS vengono riportati i punti di misura di rumore ambientale in corrispondenza dei quali sono state effettuate registrazioni velocimetriche HVSR. Accanto al simbolo della registrazione velocimetrica viene riportata la frequenza fondamentale del sito fo in Hz (cfr. paragrafo 8.4).

Zone di attenzione per instabilità di versante

Le zone di attenzione per instabilità riportate sulla carta delle MOPS per il Comune di Fano sono relative ad instabilità di versante (frane) e di liquefazione (unicamente nelle aree costiere). Le instabilità di versante derivano dal medesimo tematismo riportato sulla Carta geologico-tecnica, pertanto per la loro descrizione si veda il relativo paragrafo del presente lavoro.

Ogni zona instabile rientra anche fra una delle sei microzone suscettibili di amplificazione locale riconosciute (da 2001 a 2006) ed è pertanto identificata sulla carta delle MOPS, oltre che da un colore e da una retinatura, da un codice di otto cifre, le prime quattro indicanti la tipologia di movimento, le ultime quattro la MOPS a cui possono essere attribuite da un punto di vista dell'amplificazione sismica attesa.



Forme di superficie e sepolte

Le forme di superficie e sepolte riportate sulla Carta delle MOPS derivano direttamente da quelle presenti sulla Carta geologico-tecnica (cfr. paragrafo 8.2).

L'unico tematismo non riportato sulla Carta geologico-tecnica è quello relativo alle tracce delle sezioni topografiche che sono state identificate per la valutazione di eventuali effetti di amplificazione dovuti alla morfologia locale.

Traccia di sezione topografica

8.4. Carte delle frequenze naturali dei terreni

In questi elaborati cartografici vengono riportati i risultati ottenuti tramite le indagini HVSR eseguite per l'area di studio, sia quelle pregresse, che quelle eseguite nell'ambito di microzonazione sismica.

Per la realizzazione delle cartografie delle frequenze si è seguito l'approccio proposto sulle linee guida di AA.VV. (2017), realizzando quindi la Carta delle frequenze f_0 (frequenze fondamentali) e la Carta delle frequenze f_r (frequenze di riferimento); anche la struttura dello *shapefile* utilizzato per l'archiviazione e la rappresentazione del dato è stata mutuata dalle suddette linee guida.

Le carte delle frequenze permettono di visualizzare a “colpo d'occhio” le variazioni laterali delle frequenze dei terreni, che sono generalmente collegate alla presenza di interfacce sismiche, ossia contrasti di impedenza dovuti a repentine variazioni di velocità delle onde sismiche V_s . La carta delle frequenze permette quindi di “seguire” l'andamento di tali interfacce nello spazio e valutare anche l'importanza dei contrasti tramite i valori di ampiezza.

In Figura 8.2 viene riportata la legenda utilizzata per la rappresentazione cartografica delle frequenze, la quale si basa su differenti colori per il *range* di frequenza e su cerchi di ampiezza crescente con l'importanza del picco, al fine di restituire il valore di amplificazione osservato.

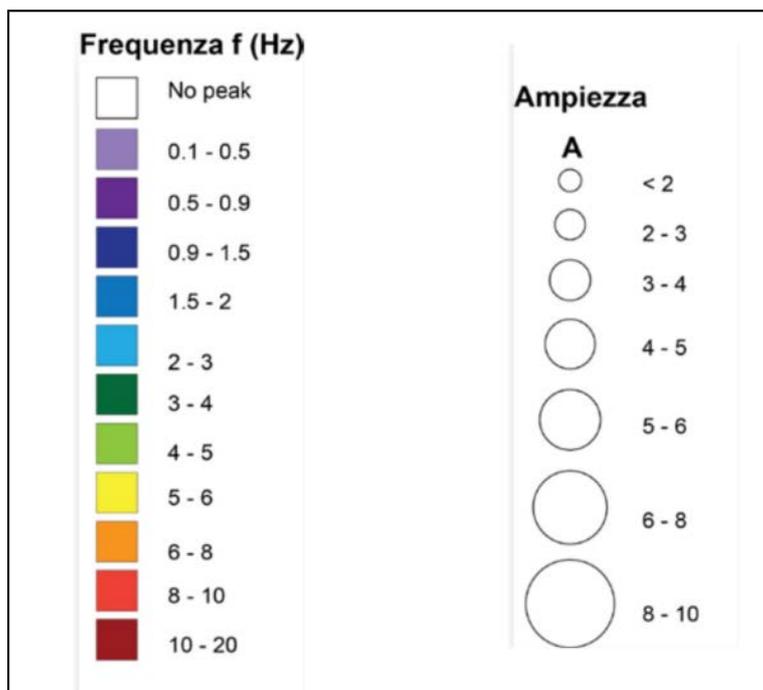


Figura 8.2 – Legenda della carta delle frequenze.

8.5. Carte di microzonazione sismica di livello 2

Le carte di microzonazione sismica di livello 2 sono il risultato finale del presente studio (Fig.8.3). Esse, di concerto con la Commissione Tecnica Regionale delle Marche per la microzonazione sismica e secondo quanto indicato su AA.VV. (2018), sono state realizzate per tre intervalli di periodi (in accordo con quanto fatto per la microzonazione sismica delle zone colpite dal sisma del Centro Italia nel 2016): **0,1-0,5 s**; **0,4-0,8 s** e **0,7-1,1 s**.

La legenda delle carte di microzonazione è relativamente semplice; essa è rappresentata da colori che vanno dal giallo al viola in funzione della grandezza del fattore di amplificazione FA previsto. La presenza di aree di attenzione per instabilità viene segnalata dalla medesima retinatura caratteristica che viene riportata anche nella Carta delle MOPS (Fig.8.4).

Nel presente studio di livello 2 le cosiddette zone di attenzione per instabilità (sia di versante che per liquefazione) non vengono meglio definite; la valutazione dei parametri che servono a quantificare l'effettiva instabilità di tali aree viene in genere effettuata al livello 3 di approfondimento (AA.VV., 2015). Tuttavia, per tutte le zone di attenzione per instabilità è stato comunque calcolato il fattore di amplificazione FA, dato che da un punto di vista geotecnico e dinamico, sulla base delle misure geofisiche effettuate in corrispondenza di esse, le caratteristiche medie di tali aree possono essere sostanzialmente equiparate a quelle delle aree stabili adiacenti.

I fattori di amplificazione osservati per il Comune di Fano variano in maniera significativa in base

all'area e in funzione del periodo di interesse considerato; in linea di massima nei settori collinari si hanno amplificazioni maggiori a periodi compresi fra 0,1 e 0,5 s, mentre nel fondovalle la situazione mostra un risultato finale complessivo più uniforme nell'intero *range* di periodi considerati; effetto questo, conseguenza delle modalità di applicazione degli abachi (cfr. AA.VV., 2018).

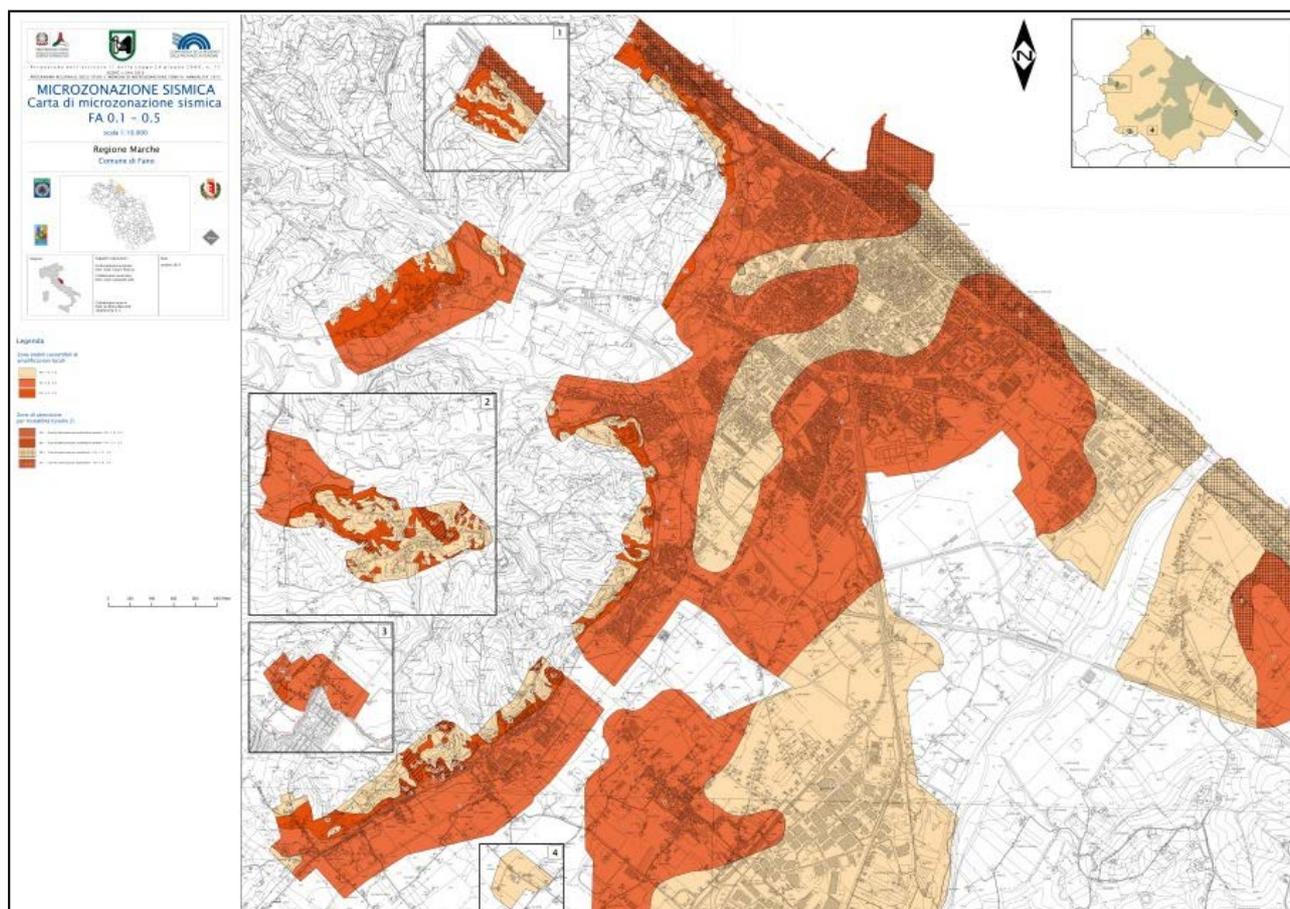


Figura 8.3 – Carta di microzonazione sismica (livello 2); FA 0,1-0,5 s.

In genere ad una MOPS (intesa come microzona del livello 1) corrisponde una unica serie di tre FA suddivisi per periodi, ma in alcuni casi, in settori geograficamente separati dalle aree principali (es. Ponte Murello, settore a sud del Fiume Metauro), in considerazione del fatto che si osservano, dalle misure geofisiche effettuate nell'area specifica, dei valori di f_0 sensibilmente differenti da quelli tipici della MOPS, è stato attribuito un FA legato alle condizioni dinamiche peculiari di quel singolo settore (senza apportare modifiche alla definizione geologico-tecnica della microarea corrispondente).

Come specificato al paragrafo 7.4 i fattori di amplificazione sismica dovuta alle caratteristiche geomorfologiche del territorio (F_t) non sono stati riportati sulle carte di microzonazione, in

considerazione del fatto che non erano presenti aree con substrato affiorante e $V_s > 800$ m/s (substrato sismico); il fattore di amplificazione stratigrafica FA è stato sempre assunto di fatto prevalente rispetto ad eventuali effetti topografici.

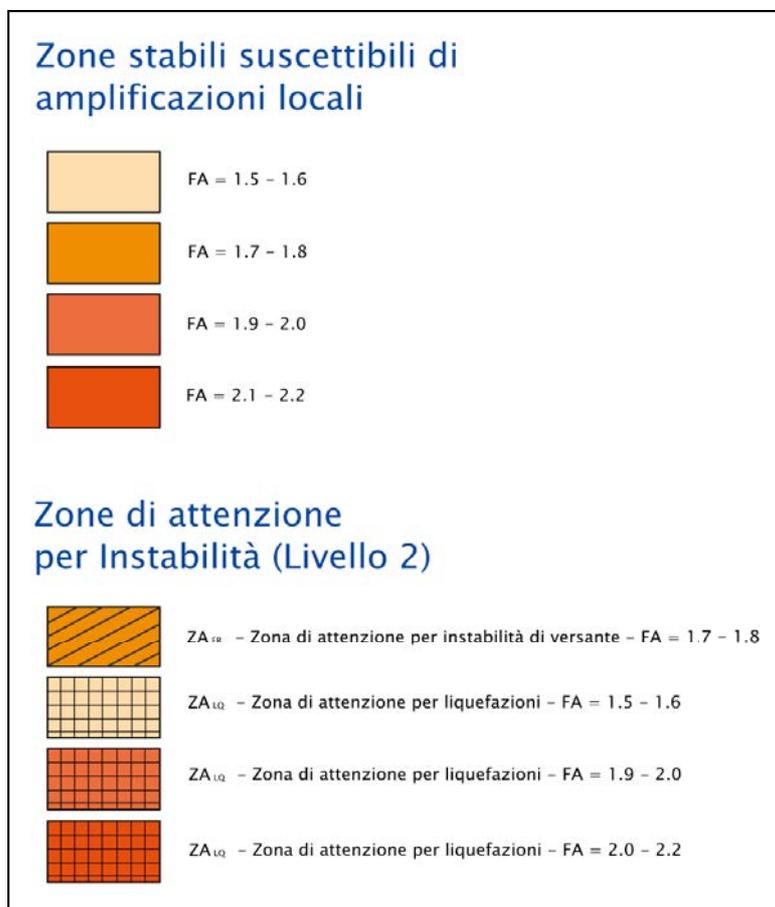


Figura 8.4 – Legenda della carta di microzonazione sismica (livello 2); FA 0,7-1,1 s.

8.6. Commenti finali e criticità

Le analisi di microzonazione sismica eseguite nelle aree perimetrare a tal fine hanno permesso, in relazione alla quantità, alla qualità e alla tipologia delle indagini stratigrafiche e geofisiche disponibili, una buona definizione delle microzone a comportamento sismico omogeneo secondo i criteri previsti dal livello 1 e dal livello 2.

Le criticità applicative e le problematiche tecniche di ogni elaborato cartografico sono state ampiamente descritte nei relativi paragrafi.

Per quanto riguarda le zone di attenzione per instabilità riconosciute e distinte sulle diverse cartografie redatte, esse necessiteranno di un livello ulteriore di approfondimento (livello 3), indirizzato fondamentalmente a definire la reale pericolosità delle criticità segnalate (prossime ai

centri abitati o in corrispondenza di essi) in caso di evento sismico e gli effetti concretamente attesi. A riguardo un'area di importanza particolare per il territorio esaminato è rappresentata dal litorale, il cui assetto stratigrafico presenta caratteristiche compatibili con i fenomeni cosismici della tipologia liquefazione.

Non si reputa di poter delimitare aree significative con terreni molto scadenti e in grado di dar vita facilmente a cedimenti differenziali in caso di sisma e non sembrano essersi mai verificati storicamente crolli di cavità o fenomeni di *sinkhole*.

Anche se nell'area di studio esiste la possibilità concreta che siano presenti lineamenti tettonici che rivestono un'importanza significativa (cfr. paragrafi 2.1 e 3.3), non sono state identificate con certezza e quindi segnalate faglie attive e capaci di geometria determinata e/o caratteristiche cinematiche ben definite.

8.5.1 Successivi livelli di microzonazione e pianificazione di ulteriori indagini

Alla luce dei risultati ottenuti con il presente livello 2 di microzonazione sismica ed in base alle criticità riscontrate durante le varie fasi del lavoro (cfr. Capitolo 6), si vogliono fornire delle linee guida al fine della realizzazione della campagna indagini che dovrebbe condurre, in prospettiva futura, all'elaborazione di un eventuale studio di microzonazione di livello 3.

Stante l'attuale quadro delle indagini disponibili, si può tranquillamente affermare che si dispone già di una mole di dati sostanzialmente sufficiente a modellazioni numeriche 1D al fine di procedere con la realizzazione di studi di microzonazione di livello 3 per le aree di fondovalle. Naturalmente il livello 3 andrebbe effettuato su aree più ristrette di quelle analizzate con il livello 2 e quindi l'esecuzione di nuove indagini per meglio inquadrare le aree eventualmente sottoposte ad ulteriori approfondimenti sarebbe comunque auspicabile, in particolare lungo gli attuali confini fra microzone di livello 2 (cfr. Capitolo 6).

Diverso appare il discorso per i settori di margine vallivo, in cui abbiamo visto come le condizioni dinamiche dei terreni varino molto velocemente nello spazio e per i centri abitati collinari: in questi casi potrebbe essere valutata la necessità di procedere con analisi 2D.

Eventuali future analisi di livello 3 dovrebbero anche andare a valutare il comportamento di quelle che vengono al presente livello considerate come zone di attenzione per instabilità. Per quanto riguarda le zone di attenzione per instabilità da frana, considerando le aree sottoposte a microzonazione, pochi sono i casi meritevoli di una analisi specifica; fra essi il centro abitato di Caminate e, localmente, il settore di margine vallivo che da Carrara giunge fino a Rosciano, in cui effettivamente si osservano alcune situazioni peculiari.

Discorso molto diverso da fare è quello relativo alla valutazione della possibilità di fenomeni di

liquefazione e/o mobilità ciclica lungo il litorale fanese. Dai documenti storici sappiamo che in passato si sono già verificati fenomeni di questo tipo lungo il litorale adriatico: “In vari luoghi della costa romagnola si aprirono lunghe fenditure nel terreno e cavità imbutiformi da cui fuoriuscirono getti di acqua in pressione” (Patrignani, 2004b) e l’area di studio presenta come già sottolineato caratteristiche geologico-tecniche dei terreni compatibili con fenomeni cosismici di tale tipologia, associate alla presenza di una falda idrica relativamente superficiale.

Al fine di valutare il potenziale di liquefazione effettivo lungo il litorale, dovrebbero essere effettuate indagini specifiche corredate di sondaggi geognostici con prelievo di campioni e successive analisi granulometriche dei terreni, in associazione a indagini più speditive del tipo CPT o DPSH, per valutare la possibilità di liquefazione tramite l’applicazione delle metodologie empiriche note in bibliografia e basate su tali indagini. Inutile dire che realizzare un piano di indagine efficace per tutto il litorale comunale comporterebbe un significativo investimento economico, pertanto si potrebbero concentrare gli studi su settori particolarmente importanti, per esempio le aree rilevanti ai fini di protezione civile.

9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati

Eseguire un confronto fra la microzonazione realizzata nell'ambito del presente lavoro e gli eventi passati è molto difficile per una città come Fano, la quale non ha subito recentemente sismi in grado di produrre un danneggiamento diffuso e quindi di mettere anche in evidenza fenomeni di amplificazione locale. Benché esistano delle cronache storiche abbastanza esaurienti sugli eventi storici che coinvolsero la Città (1672; 1741; 1781; 1930), esse non sono comunque abbastanza dettagliate per procedere ad uno studio metodico sul danneggiamento generale, anche per quelle aree che già all'epoca risultavano edificate (Fig.9.1). Tali cronache in genere si limitano ad esporre gli effetti macrosismici riscontrati (Intensità MCS) e sono molto utili ad esempio per stimare la magnitudo in base ad essi; oppure descrivono gli effetti su strutture che rivestivano all'epoca particolare importanza come il municipio, le chiese principali, alcuni palazzi, etc., non riportando però in maniera dettagliata la distribuzione dei danni in relazione alle varie zone del territorio.

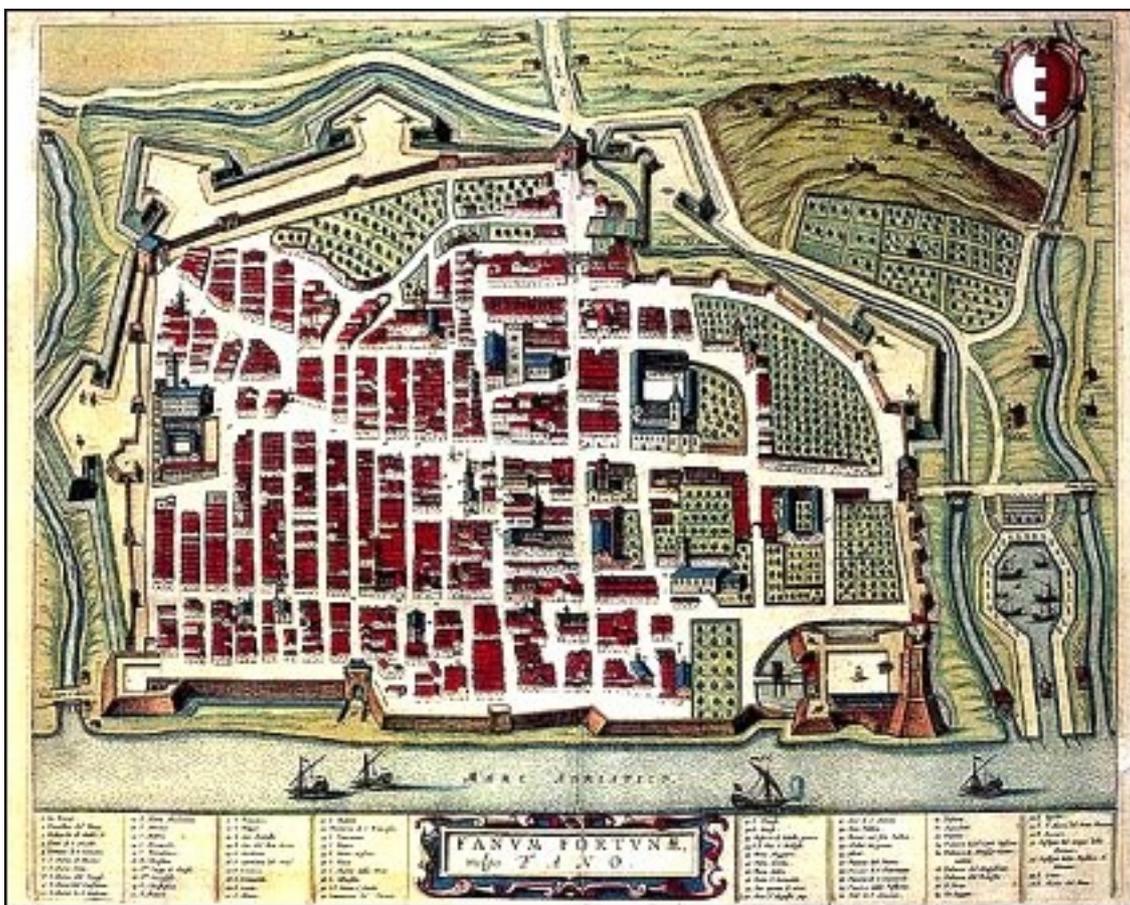


Figura 9.1 – Antica mappa di Fano (*Fanum Fortunae*).

10. Bibliografia

AA.VV., 2008 – *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Gruppo di lavoro “Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica”. A cura di F. Bramerini, G. Di Pasquale, G. Naso & M. Severino. Presidenza del Consiglio dei Ministri. Dipartimento della Protezione Civile. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome; commissione protezione civile, Sottocommissione 8 Attuazione della normativa sismica.

AA.VV., 2009 – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 281 Senigallia*. http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/281_SENIGALLIA/Foglio.html. I relativi rilevamenti alla scala 1:10.000, sono disponibili all'indirizzo *web* della Regione Marche <http://www.ambiente.marche.it/Territorio/Cartografiaeinformazioniterritoriali/Archiviocartograficoeinformazioniterritoriali/Cartografie/CARTAGEOLOGICAREGIONALE110000.aspx>.

AA.VV., 2011a – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 268 Pesaro*. http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/268_PESARO/Foglio.html. I relativi rilevamenti alla scala 1:10.000, sono disponibili all'indirizzo *web* della Regione Marche <http://www.ambiente.marche.it/Territorio/Cartografiaeinformazioniterritoriali/Archiviocartograficoeinformazioniterritoriali/Cartografie/CARTAGEOLOGICAREGIONALE110000.aspx>.

AA.VV., 2011b – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 269 Fano*. http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/269_FANO/Foglio.html. I relativi rilevamenti alla scala 1:10.000, sono disponibili all'indirizzo *web* della Regione Marche <http://www.ambiente.marche.it/Territorio/Cartografiaeinformazioniterritoriali/Archiviocartograficoeinformazioniterritoriali/Cartografie/CARTAGEOLOGICAREGIONALE110000.aspx>.

AA.VV., 2012 – *Microzonazione sismica di livello 1 del Comune di Fano*. Relazione illustrativa e cartografie allegate. O.P.C.M. 13 novembre 2010 n.3907.

AA.VV., 2015 – *Microzonazione Sismica. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica*. Versione 4.0b (Roma, ottobre 2015) – documento redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica – art.5, c.7 dell'OPCM 13.11.2010, n.3907.

AA.VV., 2016 – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 280 Fossombrone*. http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/280_FOSSOMBRONTE/Foglio.html. I relativi rilevamenti alla scala 1:10.000 sono disponibili all'indirizzo *web* della Regione Marche <http://www.ambiente.marche.it/Territorio/Cartografiaeinformazioniterritoriali/Archiviocartograficoeinformazioniterritoriali/Cartografie/CARTAGEOLOGICAREGIONALE110000.aspx>.

AA.VV., 2017 – *Predisposizione del modello per l'allestimento cartografico della Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni*. Centro MS. Indagini di microzonazione sismica di livello avanzato delle aree danneggiate dalla sequenza sismica del Centro Italia.

AA.VV., 2018 – *Microzonazione sismica di II livello – abachi regionali*. Rev.2. OGS Trieste (2015); modificato dalla Commissione Tecnica Regionale (2018). Regione Marche – Servizio di Protezione Civile.

Albarello D., 2018 – *Le indagini geofisiche per la microzonazione sismica di livello II*. Corso di formazione per professionisti; Colle Ameno (Ancona), 5 giugno 2018.

- Barchi M. & Lavecchia G., 1994 – *Tettonica compressiva e distensiva*. In A.A. V.V. – *Appennino Umbro – marchigiano*. Guide Geologiche Regionali, BE-MA Editrice, 61 – 66.
- Barchi M., Guzzetti F., Lavecchia G., Lolli O. & Contempo R., 1988 – *Sezioni geologiche bilanciate attraverso il sistema a pieghe umbro – marchigiano: 1. la sezione Trevi – Valle del Lambro*. Boll. Soc. Geol. It., 107, 109 – 130.
- Barchi M., Minelli G. & Piali G., 1998 – *The CROP03 profile: a synthesis of result on deep structures of the Northern Apennines*. Mem. Soc. Geol. It., 52, 383 – 400.
- Basili R., 2001 – *Seismogenic sources from Geologic/Geophysical Data: 29 – Conero Offshore, 30 – Senigallia*. In Valensise G. & Pantosti D. (eds.), *Database of potential sources for Earthquakes Larger than M5.5 in Italy*. Annali di Geofisica, Suppl. to vol. 44, pp. 180.
- Basili R. & Valensise G., 2001 – *Seismogenic sources from Geologic/Geophysical Data: 31 – Fano Ardizio, 32 – Pesaro San Bartolo, 33 – Rimini Offshore South, 34 – Rimini Offshore North, 35 – Rimini, 36 – Val Marecchia*. In Valensise G. & Pantosti D. (eds.), *Database of potential sources for Earthquakes Larger than M5.5 in Italy*. Annali di Geofisica, Suppl. to vol. 44, pp. 180.
- Calamita F., Deiana G., Invernizzi C. & Pizzi A., 1991 – *Tettonica*. In: A.A. V.V. – *L'ambiente fisico delle Marche*. S.EL.CA. S.r.l. , Firenze, 67 – 80.
- Calderoni G., Della Seta M., Fredi P., Lupia Palmieri E., Nesci O., Savelli D., Troiani F., 2007 – *Late Quaternary geomorphologic evolution of the Adriatic coastal sector of the Northern Marche region (Italy) and quantitative assessment of alluvial and marine terraces*. GeoActa.
- Cancani A., 1898 – *Il terremoto adriatico-marchigiano del 21 settembre 1897*.
- Castellaro S., Mulargia F., Bianconi L., 2005 – *Passive seismic stratigraphy: a new efficient, fast and economic technique*. Geologia Tecnica e Ambientale, 3, 76-102.
- Centamore E. & Micarelli A., 1991 – *Stratigrafia*. In: A.A. V.V. – *L'ambiente fisico delle Marche*. S.EL.CA. S.r.l. , Firenze, 1 – 58.
- Coward M.P., De Donatis M., Mazzoli S., Paltrinieri W. & Wezel F.C., 1999 – *Frontal part of the northern Apennines fold and thrust belt in the Romagna – Marche area (Italy): shallow and deep structural styles*. Tectonics, 18, 559 – 574.
- Deiana G. & Piali G., 1994 – *Le province strutturali dell'Appennino Umbro – marchigiano*. Mem. Soc. Geol. It., 48, 473 – 484.
- Di Bucci D., Mazzoli S., Nesci O., Savelli D., Tramontana M., De Donatis M., Borracini F., 2003 – *Active deformation in the frontal part of the Northern Apennines: insights from the lower Metauro river basin area (northern Marche, Italy) and adjacent Adriatic off-shore*. Journal of Geodynamics, 36, 213 – 238.
- DISS Working Group, 2018 – *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.

Francavilla F., 1976 – *Alvei paralleli del Fiume Metauro a San Lazzaro di Fossombrone (Marche settentrionali)*. Studi Geologici Camerti, II; 107-112.

Ithaca – *Catalogo delle faglie capaci* (<http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>).

Lavecchia G., 1988 – *The Tyrrhenian – Apennine system: structural setting and seismotectogenesis*. Tectonophysics, 147, 263 – 296.

Lavecchia G., Boncio P., & Brozzetti F., 2000 – *Analisi delle relazioni tra sismicità e strutture tettoniche in Umbria – Marche – Abruzzo finalizzata alla realizzazione della mappa delle zone sismogenetiche*. In: Galadini F., Meletti C. & Rebez A. (eds.), *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996 – 1999)*. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma.

Lavecchia G., Boncio P. & Creati N., 2003 – *A lithospheric-scale seismogenic thrust in central Italy*. J. Geodyn., 36, 79-94.

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>.

Martini G., Castenetto S. & Naso G., 2011 – *La carta geologico tecnica per gli studi di MS*. Supplemento alla rivista trimestrale Ingegneria Sismica. Anno XXVIII, n.2; pag. 14 – 17.

Mazzoli S., Santini S., Macchiavelli C. & Ascione A., 2014 – *Active tectonics of the outer northern Apennine: Adriatic vs. Po Plain seismicity and stress field*. Journal of Geodynamics; Vol. 84, march 2015; pag. 62-76.

Meletti C. & Valensise G., 2004 (a cura di) – *Zonazione sismogenetica ZS9 App.2 al Rapporto Conclusivo*. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (OPCM 20/03/03 n. 3274). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Monachesi G. & Stucchi M., 1997 – *DOM4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno*. GNDT, Rapporto interno, Milano – Macerata (<http://emidius.mi.ingv.it/DOM/>).

Nesci O., Savelli D., Troiani F., 2008 – *Evoluzione tardo quaternaria dell'area di foce del Metauro (Marche settentrionali)*. Convegno di Maratea – Coste: prevenire, programmare, pianificare.

Galadini F., Meletti C., & Vittori E., 2000 – *Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie*. In: Galadini F., Meletti C. & Rebez A. (eds.), *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996 – 1999)*. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 107 – 136.

Patrignani G.L., 2004 – *Terremoto del 14/04/1672, costa romagnola (Rimini)*. La Valle del Metauro. Banca dati sugli aspetti naturali ed antropici del bacino del Metauro. <http://www.lavalledelmetauro.it>.

Patrignani G.L., 2004b – *Terremoto del 14/04/1875, Romagna sud-orientale (Rimini)*. La Valle del

Metauro. Banca dati sugli aspetti naturali ed antropici del bacino del Metauro.
<http://www.lavalledelmetauro.it>.

Patrignani G.L., 2010a – *Terremoto del 06/06/1781, Appennino marchigiano (Monte Nerone)*. La Valle del Metauro. Banca dati sugli aspetti naturali ed antropici del bacino del Metauro.
<http://www.lavalledelmetauro.it>.

Patrignani G.L., 2010b – *Terremoto del 30/10/1930, Marche settentrionali (Senigallia)*. La Valle del Metauro. Banca dati sugli aspetti naturali ed antropici del bacino del Metauro.
<http://www.lavalledelmetauro.it>.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016 – *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.

Savelli D., 1984 – *Osservazioni sulla evoluzione delle alluvioni terrazzate nelle Marche settentrionali*. Boll. Soc. Geol. It.

Savelli D., Bartole R., Moretti E., 1984 – *Caratteristiche litostratigrafiche con l'ausilio del sismografo di un terrazzo alluvionale del F. Metauro a Fossombrone (Marche settentrionali)*. L'Ateneo Parmense, Acta Naturalia 55, 63-79.

Savelli D., De Donatis M., Mazzoli S., Nesci O., Tramontana M., Veneri F., 2002 – *Evidence for Quaternary Faulting in the Metauro River Basin (Northern Marche Apennines)*. Boll. Soc. Geol. It., Volume speciale n.1, 931-937, 6ff.

Scandone P. & Stucchi M., 2000 – *La zonazione sismogenetica ZS4 come strumento per la valutazione della pericolosità sismica*. In: Galadini F., Meletti C. & Rebez A. (eds.), *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996 – 1999)*. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 3 – 14.

Wells D.L. & Coppersmith K.J., 1994 – *New empirical relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement*. Bull. Seism. Soc. Am., 84, 974 – 1002.

Valensise G. & Pantosti D., 2001 – *Database of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy*. Annali di Geofisica, suppl. Vol. 44, 180 pp., with CD-ROM.

Lavori consultati

Mari M., Marolda G., 2018 – *Piano di Protezione Civile del Comune di Fano (Aggiornamento 2018)*.

NOTA. La consultazione dei lavori utilizzati per la compilazione della banca dati informatizzata delle indagini di livello 2, è possibile tramite la visione delle singole schede di indagine presenti nel seguente percorso delle struttura dati: **Fano_S401\Indagini\Documenti**.

11. Allegati

1 – Sismicità storica dell'area di studio.

2 – Schede delle indagini effettuate *ex novo*; rilievi di microtremori a stazione singola (HVSR; acquisizioni multicanale di onde superficiali (MASW/REMI).

3 – Abachi regionali per la microzonazione sismica di livello II. Predisposizione del modello per l'allestimento cartografico della Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni.



**ALLEGATO PEGEO A1
STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO II**

ALLEGATO A1.2 SEZIONI GEOLOGICO - TECNICHE





Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77
 OCDFC n. 344/2010 PROGRAMMA REGIONALE DEGLI STUDI E INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA
 DI LIVELLO II, ANNUALITA' 2015

MICROZONAZIONE SISMICA

Sezioni geologico-tecniche

scala 1:2.000

Regione Marche
Comune di Fano

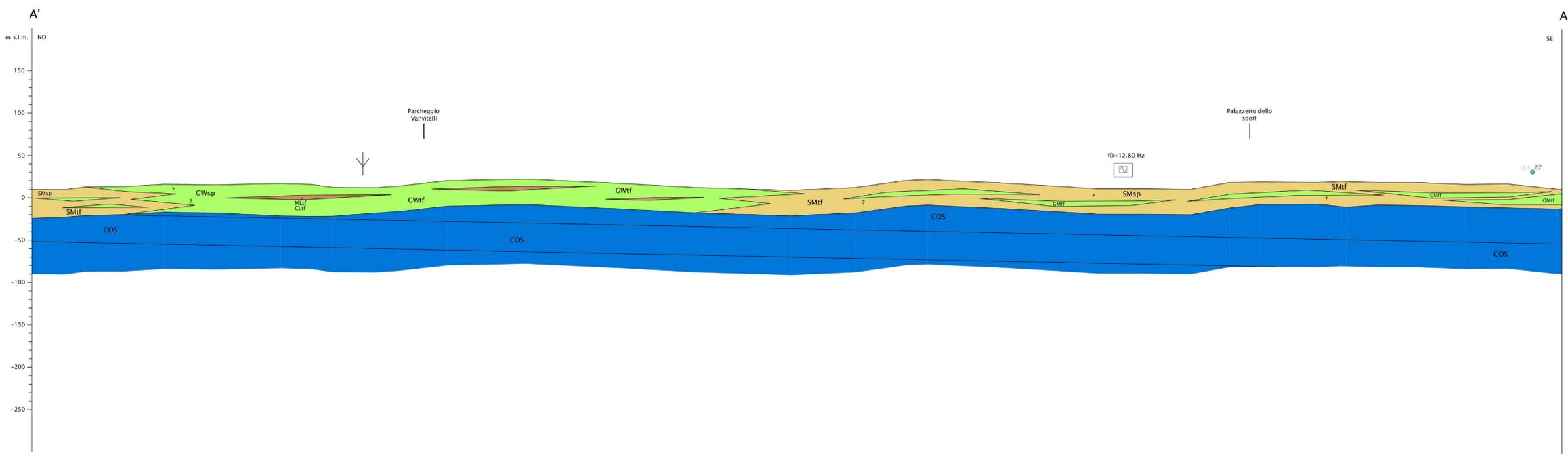
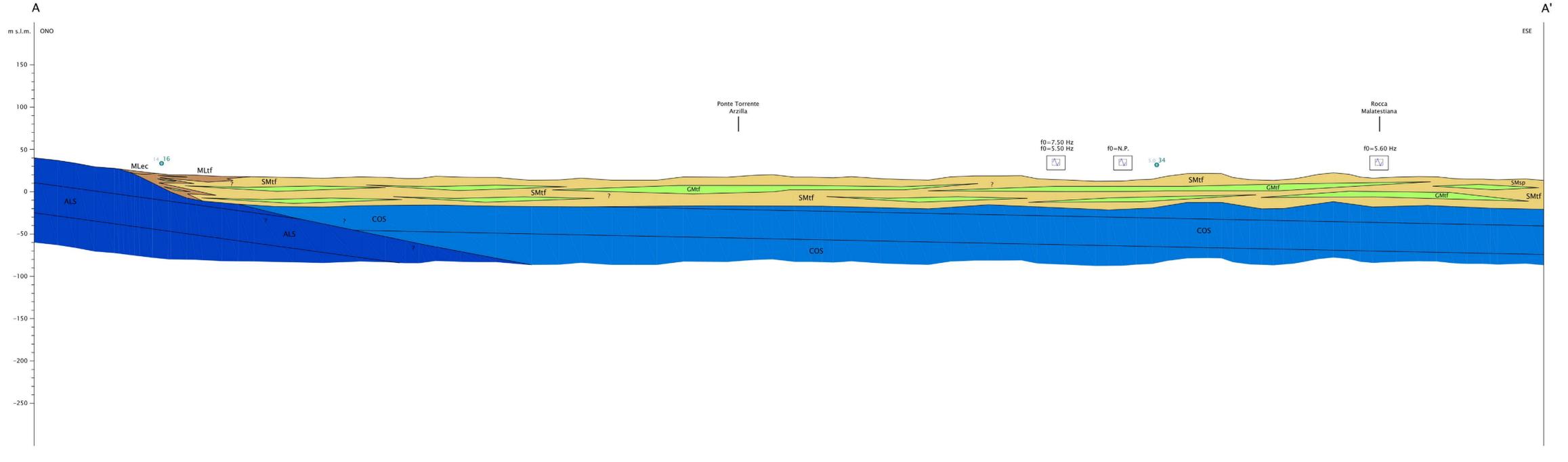


Regione


Soggetto realizzatore
 Professionista incaricato:
 Dott. Geol. Cesare Bisciccia
 Collaboratore incaricato:
 Dott. Geol. Leonardo Celli

Data
 ottobre 2018

Collaboratori esterni:
 Dott. Sa. Milena Marinelli
 Spiliosissima S.r.l.



Legenda

Terreni di copertura

- GWsp** Ciase pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie. Ambiente deposizionale di spiaggia. Depositi moderatamente adensati.
- GWtf** Ciase pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Depositi moderatamente adensati.
- GMTf** Ciase limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Depositi moderatamente adensati.
- SMsp** Sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Ambiente deposizionale di spiaggia. Depositi da poco a moderatamente adensati.
- SMtf** Sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Depositi da scarsi a moderatamente adensati.
- MLeC** Limi argillosi, farina di roccia, sabbie fini limose e argillose, limi argillosi di bassa plasticità. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Costare da poco a moderatamente consistenti.
- MLtf** Limi argillosi, farina di roccia, sabbie fini limose e argillose, limi argillosi di bassa plasticità. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Costare da poco a moderatamente consistenti.
- CLtf** Argille marginali di medio-bassa plasticità, argille glaucole e sabbiose, argille limose, argille magre. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Costare da poco a moderatamente consistenti.
- Chcc** Argille marginali di alta plasticità, argille grasse. Origine deposizionale alluvio-colluviale. Costare da poco a moderatamente consistenti.

Elementi geologici e idrogeologici

- 3 Profondità (m) sondaggio o pozzo che ha raggiunto il substrato
- 2 Profondità della falda

Forme di superficie e sepolte

- Orto di scarpata morfologica (> 20 m)
- Orto di scarpata morfologica (10 - 20 m)
- ▲ Cresta
- ↓ Asse di paleovalle
- ⊕ Elemento di dubbio presenza o interpretazione

Substrato geologico

- COS** Ceresivo sovracomplexità stratificato
- ALS** Alteranza di litipi stratificato

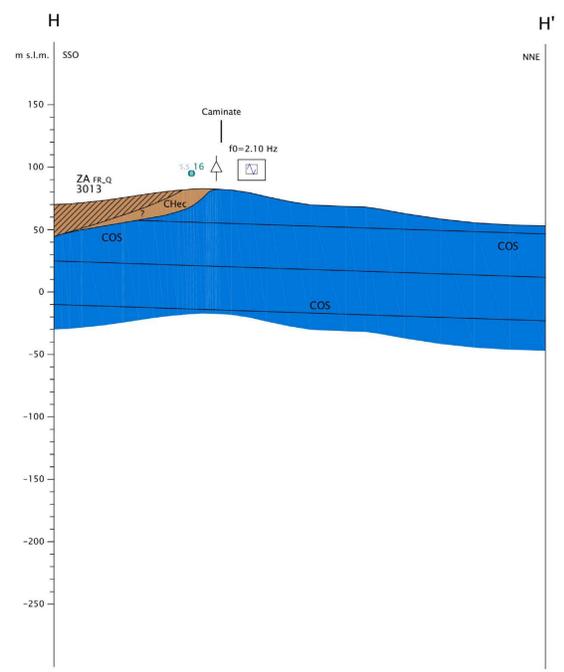
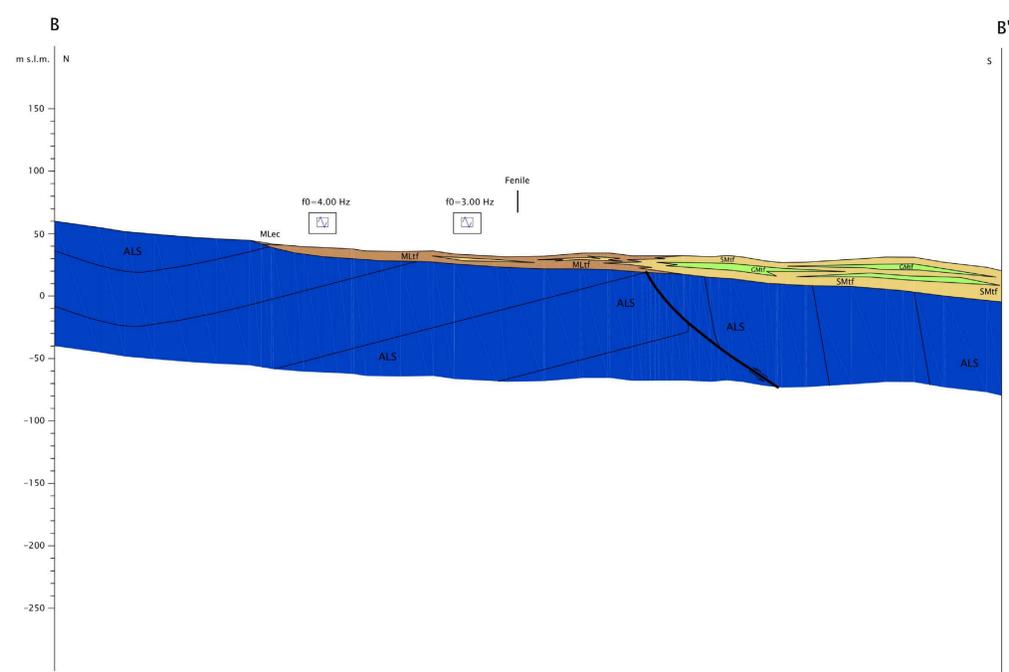
Zona di attenzione per instabilità

- ZA I.R. - Zona di attenzione per instabilità da frana (non riportare ordine del tipo di movimento)

Punti di misura di rumore ambientale

- $f_0=4.54 \text{ Hz}$
- ▣ Punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di f_0

Nota - Le stratificazioni ad eteropia di facies rappresentate all'interno dei depositi di copertura, sono caratterizzate da geometrie realizzate sulla base di dati puntuali e quindi per gran parte frutto di interpretazione; la valenza di tali geometrie è quindi prevalentemente grafica.







Attuazione dell'articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n. 77
 OCDPC n. 344/2010 PROGRAMMA REGIONALE DEGLI STUDI E INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA
 DI LIVELLO II, ANNUALITÀ 2015

MICROZONAZIONE SISMICA

Sezioni geologico-tecniche

scala 1:2.000

Regione Marche
Comune di Fano



Regione: Marche
 Soggetto realizzatore: Professionista incaricato: Dott. Geol. Cesare Biscica; Collaboratore incaricato: Dott. Geol. Leonardo Celli; Collaboratori esterni: Dott. Sa. Milena Marinelli; Speditecema S.r.l.
 Data: ottobre 2018

Legenda

Terreni di copertura

- GWsp**: Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie. Ambiente deposizionale di spiaggia. Depositi moderatamente adensati.
- GWf**: Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Depositi moderatamente adensati.
- GMf**: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Depositi moderatamente adensati.
- SMsp**: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Ambiente deposizionale di spiaggia. Depositi da poco a moderatamente adensati.
- SMf**: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Depositi da scarsi a moderatamente adensati.
- MLec**: Limo impaginato, farina di roccia, sabbie fini limose e argillose, limi argillosi di bassa plasticità. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Coste da poco a moderatamente consistenti.
- MLf**: Limo impaginato, farina di roccia, sabbie fini limose e argillose, limi argillosi di bassa plasticità. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Coste da poco a moderatamente consistenti.
- CLf**: Argille impaginate di medio-bassa plasticità, argille glauche o sabbiose, argille limose, argille magre. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Coste da poco a moderatamente consistenti.
- Chcc**: Argille impaginate di alta plasticità, argille grasse. Origine deposizionale alluvio-glaciale. Coste da poco a moderatamente consistenti.

Elementi geologici e idrogeologici

- 3: Profondità (in sondaggio o pozzo) che ha raggiunto il substrato
- 2: Profondità della falda

Forme di superficie e sepolte

- ▬: Orto di scarpata morfologica (< 20 m)
- ▬: Orto di scarpata morfologica (10 - 20 m)
- ⚡: Cresta
- ⚡: Asse di paleosolo
- ?: Elemento di dubbio presenza o interpretazione

Substrato geologico

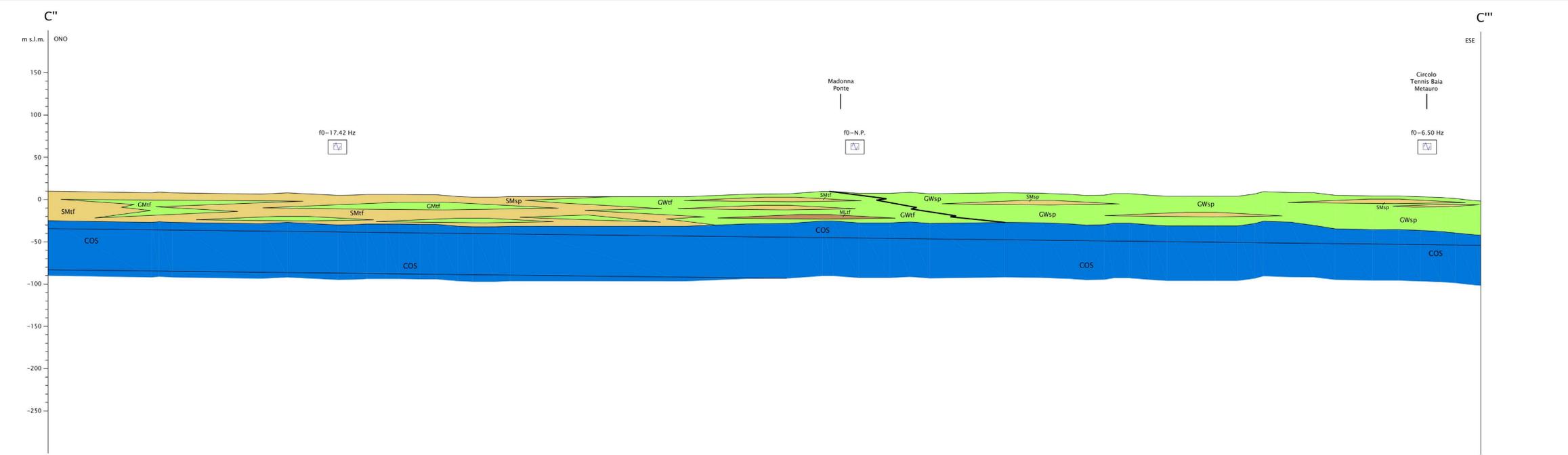
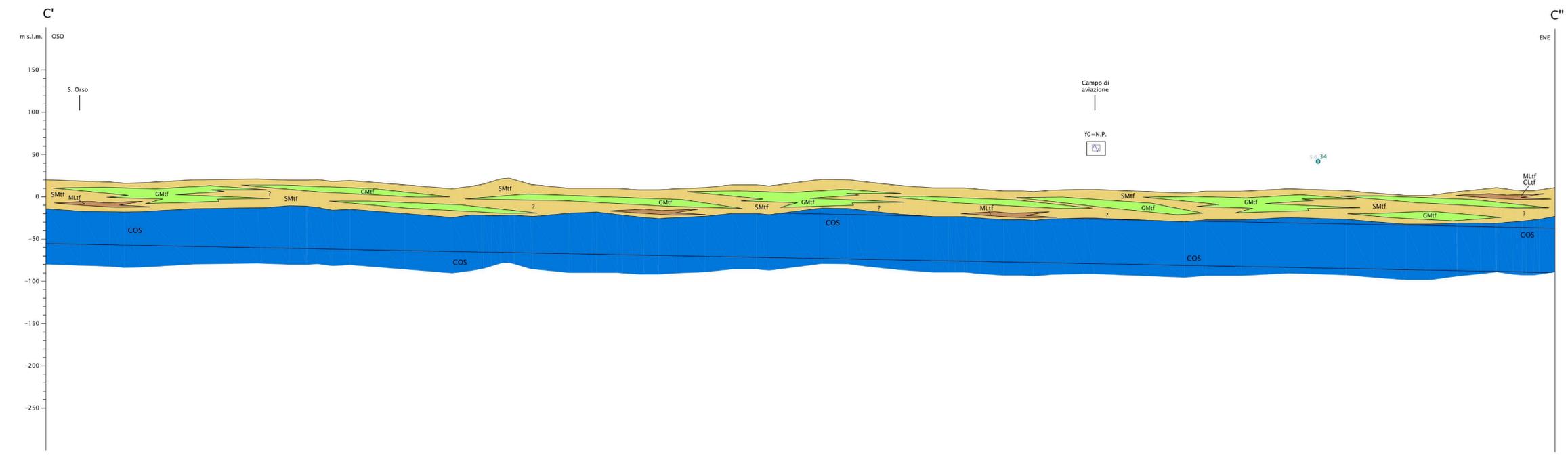
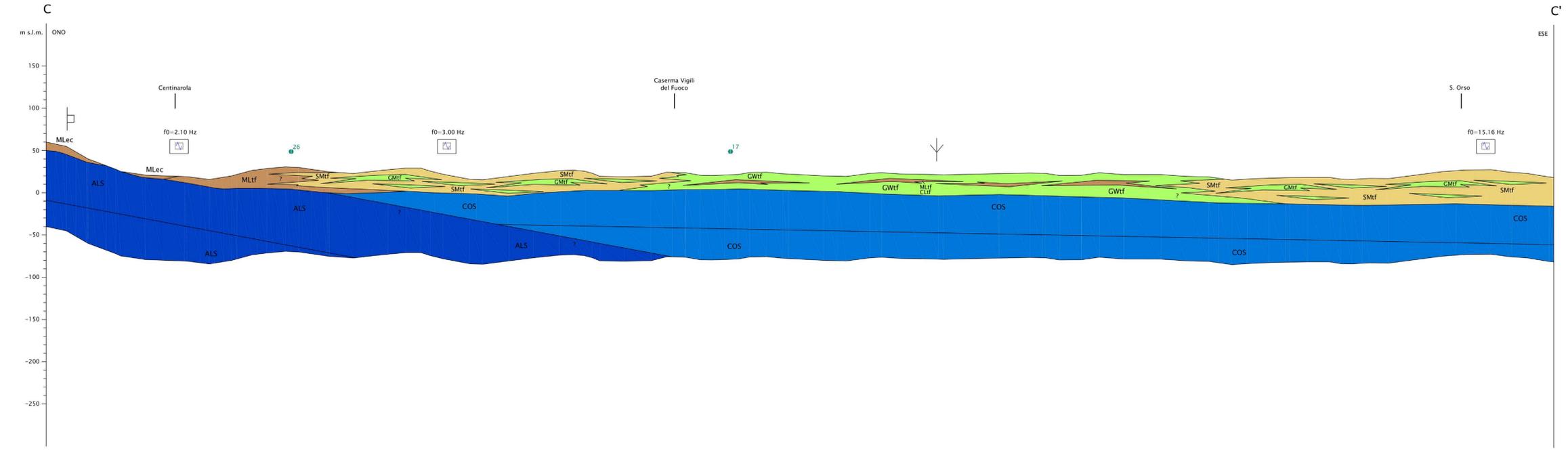
- COS**: Cavoia sarsenese/oligocena stratificata
- ALS**: Alternanza di litipi stratificati

Zona di attenzione per instabilità

- ▨: ZA I.R. - Zona di attenzione per instabilità da frana (con spostamenti notevoli del tipo di movimenti)

Punti di misura di rumore ambientale

- Ⓜ: Punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di f₀



Nota - Le stratificazioni ad eteropia di facies rappresentate all'interno dei depositi di copertura, sono caratterizzate da geometrie realizzate sulla base di dati puntuali e quindi per gran parte frutto di interpretazione; la valenza di tali geometrie è quindi prevalentemente grafica.

MICROZONAZIONE SISMICA

Sezioni geologico-tecniche

scala 1:2.000

Regione Marche
 Comune di Fano



<p>Regione</p>	<p>Soggetto realizzatore</p> <p>Professionista incaricato: Dott. Geol. Cesare Bisaccia</p> <p>Collaboratore incaricato: Dott. Geol. Leonardo Celli</p> <p>Collaboratori esterni: Dott. Sa Milena Marnelli Studiostima S.r.l.</p>	<p>Data</p> <p>ottobre 2018</p>
----------------	--	---------------------------------

Legenda

Terreni di copertura

- GWsp**: Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie. Ambiente deposizionale di spiaggia.
- GWf**: Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie. Ambiente deposizionale costiero da terrazzo alluvionale. Depositi moderatamente adformati.
- GMf**: Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbie e limi. Ambiente deposizionale costiero da terrazzo alluvionale. Depositi da silti a moderatamente adformati.
- SMsp**: Sabbie limose, miscela di sabbie e limi. Ambiente deposizionale costiero da terrazzo alluvionale. Depositi da silti a moderatamente adformati.
- SMf**: Sabbie limose, miscela di sabbie e limi. Ambiente deposizionale costiero da terrazzo alluvionale. Depositi da silti a moderatamente adformati.
- MLec**: Limi argillosi, fango di argilla, sabbie fini limose o argillose. Limi argillosi di bassa plasticità. Origine deposizionale eolico-colluviale. Caratterizzati da silti a moderatamente consistenti.
- MLf**: Limi argillosi, fango di argilla, sabbie fini limose o argillose. Limi argillosi di bassa plasticità. Ambiente deposizionale costiero da terrazzo alluvionale. Caratterizzati da silti a moderatamente consistenti.
- CLf**: Argille impure di medio-bassa plasticità, argille grasse o sabbiose, argille limose, argille magre. Ambiente deposizionale costiero da terrazzo alluvionale. Caratterizzati da silti a moderatamente consistenti.
- CHec**: Argille impure di alta plasticità, argille grasse. Origine deposizionale eolico-colluviale. Caratterizzati da silti a moderatamente consistenti.

Elementi geologici e idrogeologici

- Profondità (nei sondaggi e pozzi che ha raggiunto il substrato)
- Profondità della falda
- ▬ Orti di scarpata morfologica (10 - 20 m)
- ▬ Orti di scarpata morfologica (10 - 20 m)
- ▬ Crivella
- ▬ Assi di adossamento
- Elemento di dubbia presenza o interpretazione

Forme di superficie e sepolte

Substrato geologico

- COS**: Calcario mesozoico/terziario stratificato
- ALS**: Alternanza di litotipi stratificato

Zona di attenzione per instabilità

- ZA FR-Q**: Zona di attenzione per instabilità da frana (con ripetuto cadere del tipo di movimento)

Punti di misura di rumore ambientale

- f0=4.54Hz**: Punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di f0
- f0=N.P.**: Punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di f0

Nota - Le stratificazioni ad eteropie di facies rappresentate all'interno dei depositi di copertura, sono caratterizzate da geometrie realizzate sulla base di dati puntuali e quindi per gran parte frutto di interpretazione; la valenza di tali geometrie è quindi prevalentemente grafica.

