



COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO

Provincia di Pesaro ed Urbino

MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA

INTERVENTI RELATIVI AL SECONDO STRALCIO FUNZIONALE: SISTEMAZIONE TRATTO
IN AMBITO URBANO TORRENTE MORSINA
LOTTO 2

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

Elaborato:

RE.02

Titolo:

RELAZIONI DESCRITTIVE
Relazione geologica

Scala:

-

Revisione

0

Data

Firma

Ing. Dante LEONI (EDILING srl)

Progettazione: EDILING srl


— SOCIETÀ DI INGEGNERIA —
Ing. Dante LEONI (Capogruppo)

IL RUP:
Arch. Jenny Giovannini

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	4
2.1. <i>INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....</i>	<i>4</i>
2.2. <i>GEOLOGIA GENERALE E DI DETTAGLIO.....</i>	<i>7</i>
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOMORFOLOGIA DI DETTAGLIO	11
4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	13
4.1. <i>CARATTERISTICHE DEL RETICOLO IDROGRAFICO</i>	<i>13</i>
4.2. <i>COMPLESSI IDROGEOLOGICI</i>	<i>13</i>
5. COMPATIBILITÀ DEGLI INTERVENTI IN RELAZIONE AGLI ATTI DI PIANIFICAZIONE DEL PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI).....	15
6. INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA.	18
6.1. <i>INDAGINI ESEGUITE</i>	<i>18</i>
7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI - STIMA DEI PARAMETRI SISMICI ED ELASTICI.....	20
7.1. <i>PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....</i>	<i>23</i>
7.2. <i>VERIFICA DELLE PERICOLOSITÀ DOVUTI AGLI EFFETTI COSISMICI.....</i>	<i>27</i>
7.2.1. <i>STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE.....</i>	<i>28</i>
7.2.2. <i>DENSIFICAZIONE.....</i>	<i>30</i>
8. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.....	32

ALLEGATI:

1 - CERTIFICATI INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE

- ▶ *STRALCI CARTOGRAFIE TEMATICHE ED ESTRATTO RELAZIONE ILLUSTRATIVA A CORREDO DELLO STUDIO DI MS DI LIVELLO 1 DEL COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO*

1. PREMESSA

Nelle pagine che seguono vengono espone le esultanze dello studio geologico redatto a corredo del **PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO** dei lavori di **“MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA”**.

In particolare il progetto per il quale è stato redatto il presente lavoro è rappresentato dal primo stralcio degli interventi previsti (**LOTTO 2**) che ha come obiettivo la **“sistemazione del tratto in ambito urbano del torrente Morsina”**.

Come meglio evidenziato nella Relazione generale ed agli elaborati grafici di progetto ai quali si rimanda la finalità principale del progetto è di realizzare opere di miglioramento idraulico ed opere di contenimento delle sponde in grado di garantire un'adeguata officiosità idraulica del torrente Morsina.

In sintesi, quindi, le principali tipologie di intervento previste possono essere sintetizzate in:

- ✓ adeguamento della sezione idraulica del torrente Morsina mediante protezioni arginale con massi ciclopici e risagomatura delle sponde.

Scopo del presente lavoro è stato di caratterizzare dal punto di vista geologico, stratigrafico e geotecnico i terreni dell'area, di verificare le condizioni di stabilità del sito interessato dalle strutture di fondazione dei manufatti e per essi ricercare i parametri fisico-meccanici al fine di fornire ai tecnici progettisti un quadro il più esauriente possibile per un responsabile e corretto dimensionamento e verifica delle strutture di fondazione.

Verranno, pertanto, definite le caratteristiche geomorfologiche, geologiche ed idrogeologiche dell'area direttamente interessata dagli interventi e di quelle limitrofe per una significativa estensione, tutto ciò per fornire dettagliate indicazioni sulla morfologia dei luoghi e dell'eventuale presenza di processi geomorfici potenziali od in atto, sulla litologia dei terreni affioranti e del substrato e sulla circolazione idrica superficiale e sotterranea.

Per l'espletamento dell'incarico sono state innanzitutto condotte numerose osservazioni sulla morfologia e geologia del sito d'indagine e delle zone limitrofe, sia mediante sopralluoghi e ricorrendo alle osservazioni di superficie condotte in fase di ricognizione sul terreno, sia attraverso un'attenta visione delle foto aeree della zona, della consultazione della cartografia tematica a disposizione e della bibliografia specialistica reperita.

A tale fase preliminare ha fatto seguito un esame più particolareggiato, dedicato alla ricostruzione della successione litostratigrafica rappresentativa del sito ed alla caratterizzazione geomeccanica

dei litotipi d'imposta dei manufatti ed, infine, alla caratterizzazione dell'area in Prospettiva Sismica.

Il **paragrafo 6.2.2 dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" pubblicate in Gazzetta Ufficiale il 20 febbraio 2018 (NTC 2018)**, recita testualmente: *"Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata su preesistenti indagini e prove documentate, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali"*.

Pertanto, per questa fase della progettazione, il lavoro è stato basato sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili.

In considerazione dell'incidenza irrilevante degli interventi sotto il profilo geologico e geotecnico, dell'insussistenza di sostanziali modificazioni arrecate all'attuale assetto geomorfologico ed idrogeologico dell'area lo scrivente non ha ritenuto opportuno integrare tali risultati con ulteriori e superflue indagini in sito e/o di laboratorio. L'inquadramento geomorfologico del territorio è stato definito ricorrendo alle osservazioni di superficie condotte in fase di ricognizione sul terreno e ad un'attenta consultazione della cartografia tematica esistente, delle foto aeree della zona e della bibliografia specialistica reperita.

Tutte le fasi del programma di indagine sono state eseguite secondo le **Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche - A.G.I. (1977)**. L'elaborazione dei risultati delle prove è stata effettuata nel pieno rispetto della vigente normativa tecnica (**Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni D.M. del 17 gennaio 2018 e Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, C.S.LL.PP.**).

L'inquadramento geomorfologico del territorio è stato definito ricorrendo alle osservazioni di superficie condotte in fase di ricognizione sul terreno e ad un'attenta consultazione della cartografia tematica esistente, delle foto aeree della zona e della bibliografia specialistica reperita. I dati ottenuti sono stati integrati utilizzando le risultanze dello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 del Comune di Sant'Angelo in Vado (PU).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il Comune di Sant'Angelo in Vado ricade dal punto di vista amministrativo nella Provincia di Pesaro e Urbino, si estende per una superficie complessiva di 67 Km² e confina; a Nord con il territorio dei Comuni di Belforte all'Isauro, Piandimeleto e Urbino; Est con il territorio dei Comuni di Peglio e Urbania; a Sud con il territorio dei Comuni di Apecchio e Città di Castello (isola amministrativa); ad Ovest con il territorio dei Comuni di Mercatello sul Metauro.

Le zone d'interesse relative al primo lotto di intervento si localizzano in parte nella fascia demaniale del torrente Morsina in prossimità del centro storico del Comune di Sant'Angelo in Vado, va dal ponte di via Benedetti Don William allo sbocco nel fiume Metauro richiede un urgente intervento di sistemazione e messa in sicurezza di detto tratto arginale avente una lunghezza complessiva pari a circa 1.200 m.

Più nel dettaglio, il secondo lotto di intervento oggetto del presente progetto si prefigge di prevedere gli interventi che vanno dal ponte di via Benedetti Don William a quello di via Fiorenzuola/via Madonna di Spaderno (punto da cui partiva l'intervento oggetto del primo lotto) verso valle avente lunghezza complessiva pari a circa 300 m.

Esse sono individuabili nella cartografia ufficiale I.G.M. al **Foglio 279 – Sezione III (Sant'Angelo in Vado) della Carta Topografica d'Italia Serie 25 (Figura 1)** e nelle **Sezioni 279090 (Sant'Angelo in Vado) e 279100 (Peglio) della Carta tecnica numerica regionale della Regione Marche** in scala 1:10000 (**Figura 2**).

Il territorio comunale ha forma allungata in direzione Nord-Sud e per circa il 91.1% ricade nel bacino del Fiume Metauro, mentre per il restante 8.9% fa capo al bacino del Fiume Foglia.

Del 91.1% ricadente nel bacino del Fiume Metauro, una parte pari a circa il 12.8% del territorio comunale, compete al Fiume Candigliano che rappresenta il suo più importante tributario.

Lo spartiacque tra F. Foglia e F. Metauro si sviluppa per circa 7595 m, raggiungendo la quota massima di 645 m s.l.m., mentre quello tra i bacini del F. Metauro e del F. Candigliano ha una lunghezza di circa 5455 m e quote che raggiungono il valore massimo di 705 m s.l.m.. Entrambi gli spartiacque hanno andamento WSW-NNE.

Nell'ambito del bacino principale del Fiume Metauro i tributari più importanti sono il Torrente Morsina (in destra idrografica), che occupa la parte Sud-Ovest del comune di Sant'Angelo in Vado ed il Fosso Apsa (in sinistra idrografica), ricadente nella parte Nord-Ovest dello stesso ambito territoriale.

COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)
MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO
LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA
Interventi relativi al secondo stralcio funzionale: sistemazione tratto in ambito urbano torrente Morsina - Lotto 2
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

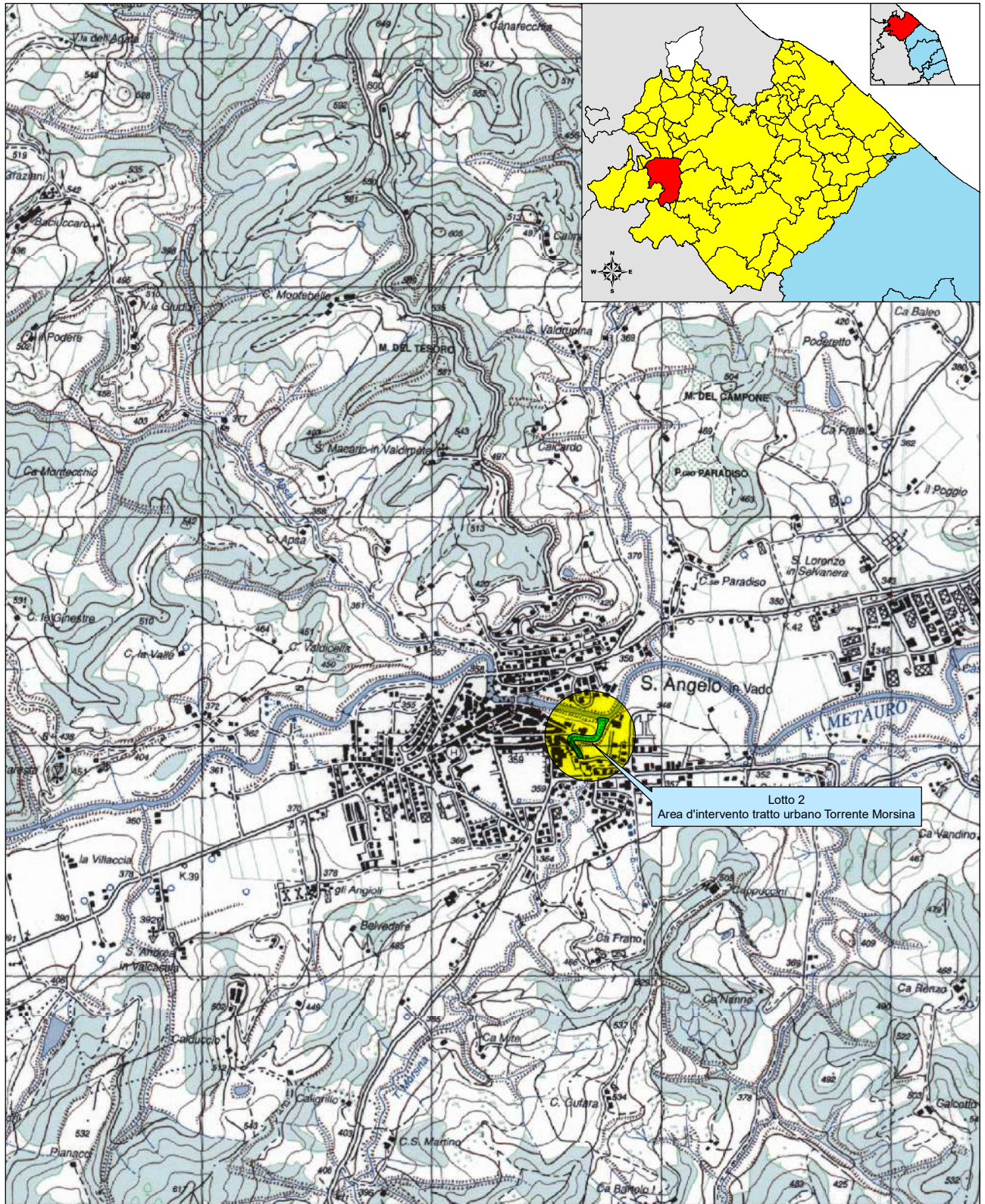


Figura 1 – Corografia dell'area oggetto di studio
Carta Topografica d'Italia Serie 25
Foglio 279 – Sezione III (Sant'Angelo in Vado)
Scala 1 : 25000

COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)
MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO
LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA

Interventi relativi al secondo stralcio funzionale: sistemazione tratto in ambito urbano torrente Morsina - Lotto 2

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

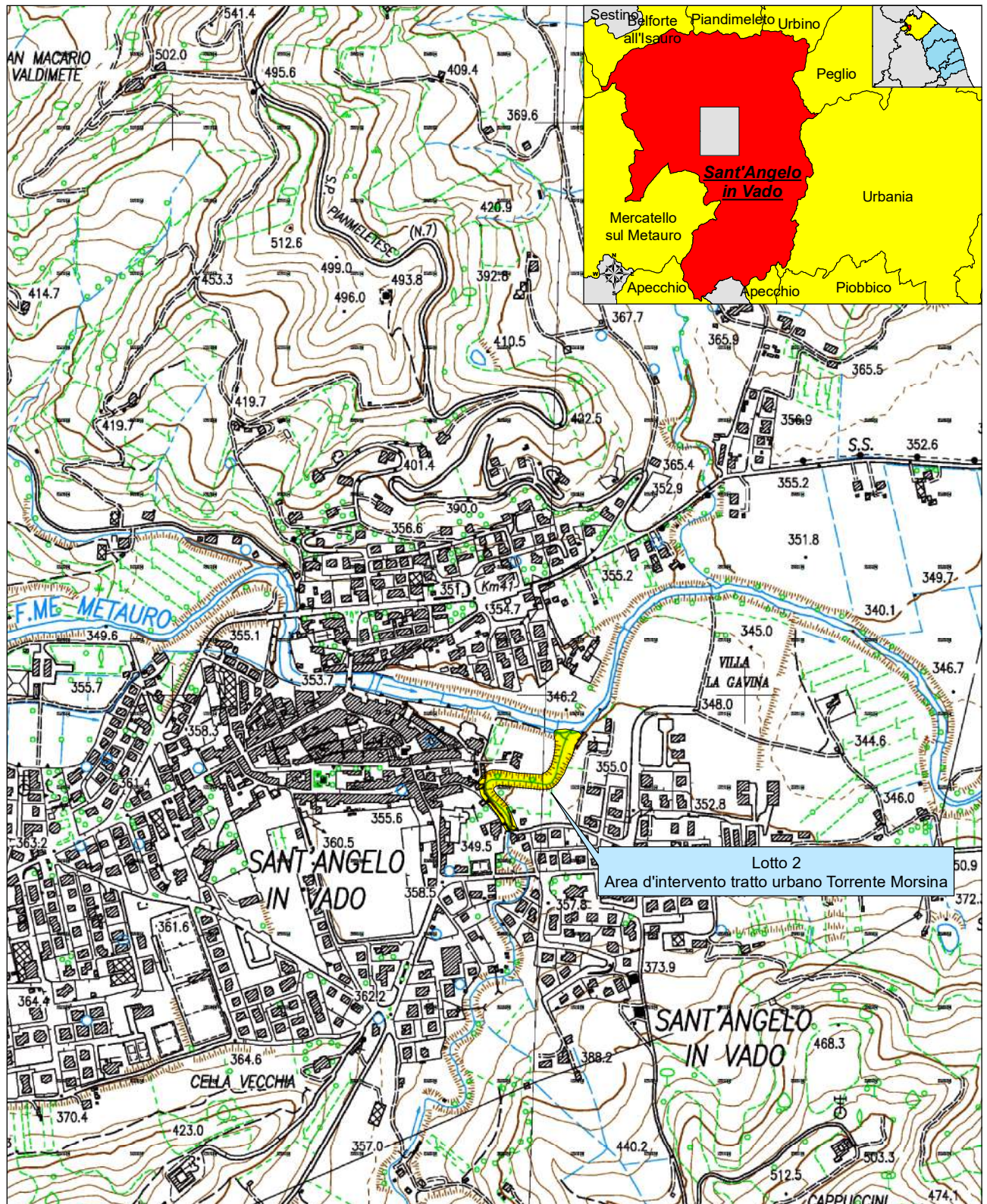


Figura 2 – Stralcio aerofotogrammetrico
Carta tecnica numerica regionale della Regione Marche
Unione delle Sezioni 279090 (Sant'Angelo in Vado) e 279100 (Peglio)
Scala 1:10000

Il fiume Metauro scorre da Ovest a Est tagliando il territorio comunale nella parte più larga dello stesso dividendolo in due parti pressoché equivalenti.

L'andamento dei predetti corsi d'acqua, all'interno del confine comunale, è discordante rispetto all'assetto tettonico dell'edificio appenninico in quanto tagliano trasversalmente (andamento diaclinale) le relative strutture geologiche.

2.2. GEOLOGIA GENERALE E DI DETTAGLIO

Le formazioni geologiche che costituiscono l'ossatura dei rilievi e delle valli presenti nel territorio comunale di Sant'Angelo in Vado appartengono tutte alla **successione sedimentaria Umbro-Marchigiana-Romagnola** depositatasi durante un intervallo di oltre 130 milioni di anni a partire dal Giurassico.

I terreni presenti (**Figura 3 - Carta geolitologica**) possono suddividersi principalmente nelle seguenti categorie:

- ✓ **Formazioni del substrato** rappresentato da formazioni rocciose in situ;
- ✓ **Terreni continentali di copertura**, costituiti da depositi secondari e di alterazione.

Nel territorio comunale il substrato geologico, formatosi in ambiente di deposizione marino, è costituito dalle seguenti unità:

- ➔ **Formazione Marnoso-Arenacea Marchigiana;**
- ➔ **Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola;**
- ➔ **Formazione dello Schlier;**
- ➔ **Formazione del Bisciario;**
- ➔ **Formazione della Scaglia Cinerea.**

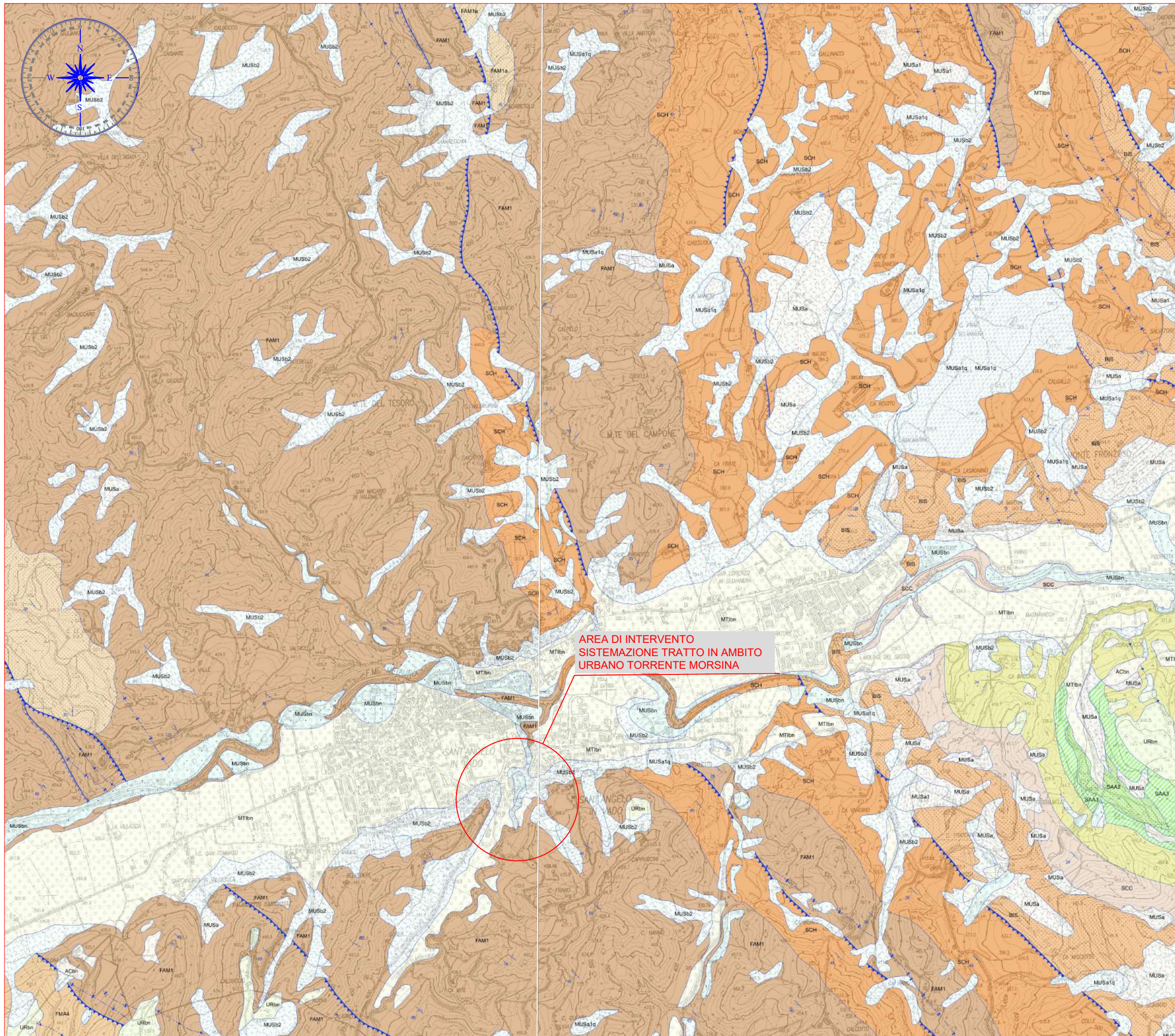
Formazione Marnoso-Arenacea Marchigiana (FAM)

Questa formazione è caratterizzata da una potenza in affioramento di oltre 1000 m ed interessa una buona parte del territorio comunale di Sant'Angelo in Vado.

Essa rappresenta la principale unità di origine torbiditica, ricca di apporti sabbiosi, dell'Appennino marchigiano settentrionale ed è stata suddivisa in 2 membri (FAM1, FAM2) e 4 litofacies (FAM1a, FAM1b, FAM1c, FAM2a).

Delle sottounità sopra elencate, il **Membro di Sant'Angelo in Vado (FAM1)** è quella che affiora nelle aree indagate ed è costituita da peliti prevalenti e areniti (il rapporto A/P mostra una

CARTA GEOLOGICA - scala 1:20.000



DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI	
VERSANTE MARCHIGIANO	
SINTEMA DEL MUSONE (OLOCENE)	
MUSa1	Frane in evoluzione
MUSa1q	Frane senza indizi di evoluzione
MUSa	Depositi di versante
MUSb2	Depositi eluvio-colluviali
MUSbn	Depositi alluvionali terrazzati (ghiaia, sabbia, limo)
SINTEMA DI MATELICA (PLEISTOCENE SUPERIORE)	
MTbn	Depositi alluvionali terrazzati (ghiaia, sabbia, limo)
SUPERSINTEMA DI COLLE ULIVO-COLONIA MONTANI (PLEISTOCENE MEDIO SOMMITALE)	
ACbn	Depositi alluvionali terrazzati (ghiaia, sabbia, limo)
SUPERSINTEMA DI URBANIA (PLEISTOCENE INFERIORE/ MEDIO - MEDIO)	
URbn	Depositi alluvionali terrazzati (ghiaia, sabbia, limo)
SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANO-ROMAGNOLA	
SUCCESSIONE MIOCENICA	
FCO	FORMAZIONE A COLOMBACCI Messiniano sup.
FSD	FORMAZIONE DI SAN DONATO Messiniano sup.
FSDb	FORMAZIONE DI SAN DONATO litofacies arenacea di Battilana Messiniano sup.
GES	FORMAZIONE GESSOSO-SOLFIFERA Messiniano
GESa	FORMAZIONE GESSOSO-SOLFIFERA Gessi Messiniano
FAM1	FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA MARCHIGIANA Membro di S. Angelo in Vado Tortoniano inf. - Messiniano basale
FAM1c	FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA MARCHIGIANA Membro di S. Angelo in Vado litofacies di Belvedere Tortoniano inf. - Messiniano basale
FAM1b	FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA MARCHIGIANA Membro di S. Angelo in Vado litofacies di Urbania Tortoniano inf. - Messiniano basale
SUCCESSIONE CALCAREO E/O MARNOSA CRETACICO-MIOCENICA	
SCH	SCHLIER Langhiano - Messiniano
BIS	BISCIARO Aquitano p.p. - Burdigaliano p.p.
SCC	SCAGLIA CINEREA Priaboniano p.p. - Aquitano p.p.
VAS	SCAGLIA VARIEGATA Luteziano p.p. - Priaboniano p.p.
SAA3	SCAGLIA ROSSA Membro superiore Turoniano inf. p.p. - Luteziano p.p.
SAA2	SCAGLIA ROSSA Membro intermedio Turoniano inf. p.p. - Luteziano p.p.
— — — — — Contatto stratigrafico e/o litologico	
- - - - - Contatto stratigrafico inconforme	
Faglia diretta	
- - - - - Faglia inversa	
- - - - - Sovrascorrimento principale	
Stratificazione diritta	
- - - - - Stratificazione rovesciata	
Stratificazione verticale a polarità sconosciuta	
- - - - - Traccia di superficie assiale di anticlinale	
- - - - - Traccia di superficie assiale di sinclinale	

progressiva diminuzione da 1:5 a 1:6 verso l'alto); le areniti sono arenarie, in strati da sottili a medio spessi. A varie altezze stratigrafiche si intercalano orizzonti arenacei di spessore variabile da 3 a 6 m, aventi geometria tabulare alla scala dell'affioramento, lenticolare su scala chilometrica.

Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola (FMA)

Si sviluppa nel settore sud-occidentale del territorio e rappresenta l'unità torbiditica silicoclastica più antica della successione umbro-marchigiano-romagnola. Il limite inferiore non affiora e l'età è compresa tra il Langhiano superiore e il Serravalliano superiore.

E' per lo più formata da un'alternanza di arenarie e marne con rapporto arenite-pelite e spessore degli strati variabili; sulla base di queste variazioni la Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola è stata suddivisa in 4 membri (FMA2, FMA4, FMA5, FMA9).

La formazione è comunque caratterizzata dalla netta prevalenza delle peliti sulle areniti e dalla marcata distalità delle loro facies sedimentarie, che vengono considerate tipiche di piana bacinale.

Nel territorio in esame affiorano il Membro di Galeata (FMA2) e il Membro di Collina (FMA5) e, in entrambi i casi, il rapporto A/P è variabile da 1:4 a 1:6.

Il contatto della Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola con il membro FAM1 della Formazione Marnoso-Arenacea Marchigiana), è di natura tettonica ed è segnato dal "sovrascorrimento di Calpulcio", di importanza regionale.

Il passaggio alla nuova sequenza è marcato principalmente da un aumento del rapporto A/P.

Formazione dello Schlier (SCH)

Si tratta di marne a varia consistenza e con contenuto argilloso progressivamente maggiore verso la parte alta della formazione. Il colore è biancastro nella parte inferiore e media del complesso, prevalentemente grigiastro in quella superiore.

La stratificazione è poco netta e spesso è resa evidente solo dal maggior contenuto calcareo di alcuni strati che, per la maggior durezza, appaiono più sporgenti rispetto alle litologie meno resistenti.

Gli strati sono in genere medio-sottili, mentre la frattura è di norma concoide tranne in quei settori nei quali l'intensa tettonizzazione ha prodotto sistemi di fratture più fitti.

Formazione del Bisciario (BIS)

Il Bisciario è costituito da marne e calcari siliceo-marnosi, ben stratificati, grigi e grigio-verdastri

(ocracei se alterati), con intercalazioni di vulcanoclastiti (cineriti e tufiti prevalenti) e di bentoniti vulcanoderivate. Liste e noduli di selce grigio-nerastra sono localmente presenti nella parte inferiore e media della formazione.

Formazione della Scaglia Cinerea (SCC)

Interessa una limitata porzione ubicata nel settore orientale del territorio comunale ed è costituita dall'alternarsi di marne calcaree, marne e marne argillose, di colore grigio o grigio-verdastro, in strati di 10-20 cm.

La parte inferiore è generalmente più calcareo-marnosa, soprattutto al passaggio con la sottostante Scaglia Variegata, mentre quella superiore è via via più marnosa ed argillosa.

I depositi quaternari di copertura presenti all'interno del territorio comunale di Sant'Angelo, utilizzando i criteri di classificazione definiti nella Carta Geologica della Regione Marche, sono stati così suddivisi:

Depositi alluvionali terrazzati

Si tratta di sedimenti fluviali, prevalentemente ghiaiosi di corsi d'acqua a canali multipli, poggianti su di un substrato generalmente irregolare e caratterizzato da paleoalvei.

La granulometria dei depositi è molto varia, passando da ciottoli di 20-30 cm di diametro a materiali via via più fini sino ai limi.

Le percentuali dei vari componenti a diversa grana variano con l'ubicazione del deposito, la morfologia, la possibilità di apporti dai corsi d'acqua laterali, il regime idraulico esistente all'atto della sedimentazione, la natura dei terreni attraversati a monte. In genere la situazione esistente può essere ricondotta al seguente schema:

- i materiali più grossolani sono sempre distribuiti sulla parte più profonda delle alluvioni, in particolare ai margini dell'attuale corso fluviale e in corrispondenza dei paleoalvei;
- man mano che ci si allontana lateralmente la situazione si modifica passando ad una granulometria sempre più fine e che risente in particolare modo della morfologia dell'alveo fossile e degli apporti laterali;
- più in superficie la coltre è quasi sempre costituita da materiali limoso-sabbioso-argillosi il cui spessore aumenta man mano che ci si sposta verso i margini delle alluvioni;
- gli spessori complessivi delle coltri alluvionali comunque in genere abbastanza ridotti e raramente superano i 10 metri.

Per quanto riguarda la natura del materiale più grossolano (ghiaia), esso risulta essenzialmente arenaceo a cemento calcareo, derivando dalla disgregazione della parte più dura della Formazione Marnoso-Arenacea attraversata dal Metauro e dai suoi affluenti ubicati a monte di Sant'Angelo in Vado.

Nella Carta Geologica Regionale in scala 1:10000, i depositi alluvionali riconoscibili nell'ambito del territorio comunale di Sant'Angelo in Vado sono stati attribuiti a sintemi e supersintemi, denominati: *del Fiume Musone (MUSbn)*, *Matelica (MTIbn)*, *Colle Ulivo-Colonia Montani (ACbn)* e *Urbania (URbn)* tenendo conto delle località dove questi sono meglio rappresentati, anche con elementi di datazione.

Depositi eluvio-colluviali

I depositi eluvio-colluviali, identificati nel CARG con la sigla **MUSb2**, costituiscono generalmente il fondo di vallecicole secondarie e la base di scarpate o versanti più o meno acclivi e sono rappresentati da sedimenti eterometrici prevalentemente limoso-argilloso-sabbiosi, con spessori variabili da pochi decimetri fino ad oltre 10 m.

Nella cartografia geologica ufficiale, sono cartografati con la stessa simbologia sia i colluvi veri e propri (prodotti del dilavamento/ruscellamento e di movimenti di massa pellicolari), sia tutti gli altri depositi di versante a granulometria prevalentemente fine (ma che spesso includono materiale clastico grossolano) e per i quali non si hanno indicatori genetici precisi o riconoscibili.

In questo tipo di depositi, in ogni caso, i materiali grossolani rappresentano quasi sempre molto meno del 50% del volume totale.

Depositi di versante

I depositi in oggetto, identificati nel CARG con la sigla **MUSa**, rappresentano generalmente accumuli per gravità alla base di pareti o di ripidi versanti rocciosi, dove talvolta sono organizzati (o erano organizzati al momento della loro formazione) in piccole falde o con.

Si tratta di accumuli la cui composizione si differenzia da quella dei depositi eluvio-colluviali per l'incidenza di materiale grossolano molto superiore al 50%.

I frammenti rocciosi presentano sempre spigoli vivi, salvo il caso di clasti particolarmente degradati dall'azione chimica o di elementi rimaneggiati da fenomeni di ruscellamento, nei quali gli spigoli risultano leggermente smussati.

Si può osservare sin da ora che, all'interno dell'ambito di studio, quasi tutti i depositi di versante

riportati nella Carta Geologica della Regione Marche, dovrebbero essere in realtà ricondotti a depositi eluvio-colluviali.

Depositi di frana

Si tratta di accumuli caotici di fango e/o detriti fortemente eterometrici prodotti da processi di colamento e/o complessi, con rimodellamenti successivi più o meno marcati. Nel CARG sono distinti in “Frane senza indizi di evoluzione in atto” (**MUSa1q**) e “Depositi di frana in atto” (**MUSa1**).

Nel primo caso le eventuali tracce di movimento osservate sul terreno, anche se a volte abbondanti, sono da riferirsi a fenomeni corticali generalmente legati alle scadenti proprietà meccaniche dell'accumulo di frana, ma non implicano un movimento recente dell'intero corpo di frana o di sue porzioni significative.

Nel secondo caso sono vi sono chiare evidenze di movimento in atto dell'intero corpo o di porzioni significative di esso; gli indizi di movimento sono ricavati dall'osservazione diretta sul terreno di danni alle cose, di lacerazioni aperte al momento del rilevamento e/o di gradini, contropendenze e altre deformazioni di aspetto fresco.

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOMORFOLOGIA DI DETTAGLIO

Come precedentemente accennato, il Fiume Metauro ed il Fiume Candigliano costituiscono gli assi di drenaggio principali ed entrambi i corsi d'acqua fanno parte di un unico bacino idrografico, quello del Metauro.

Il Metauro rappresenta, quindi, l'elemento idrografico principale del territorio comunale di Sant'Angelo in Vado ed è il principale fiume della regione Marche per lunghezza, con una lunghezza totale di 121 km.

Nell'ambito urbano del e nei tratti a monte del territorio comunale il corso d'acqua incide formazioni di rocce tenere, facilmente erodibili e disgregabili quali arenarie, molasse, marne, argille; ciò si ripercuote nella composizione granulometrica dei depositi alluvionali nei quali le ghiaie presentano comunque un buon tenore di matrice limoso-argilloso-sabbiosa. L'andamento del Fiume Metauro (e del Fiume Candigliano), all'interno del confine comunale, è tendenzialmente meandriforme; la configurazione planimetrica è inoltre discordante rispetto all'assetto tettonico dell'edificio appenninico in quanto questi corsi d'acqua tagliano trasversalmente (andamento diaclinale) le relative strutture geologiche. Il reticolo idrografico si completa con una serie di fossi e torrenti, confluenti su ambo i lati orografici dei corsi d'acqua principali, impostati su impluvi naturali facenti

capo a bacini idrografici di ordine inferiore. In base al disegno, alla densità e al tipo di confluenza delle linee di impluvio il pattern risultante può definirsi di tipo dendritico, tipico di terreni omogenei, impermeabili e a limitata acclività.

L'assetto morfologico, quindi, è caratterizzato da un alternarsi di valli e rilievi di modesta larghezza, talora crestiformi, con fianchi, a volte ripidi ed incisi da valloni secondari. Se si escludono le aree di fondovalle e quelle sommitali, il territorio risulta molto articolato e frammentato, prevalentemente caratterizzato da pendii da mediamente ad acclivi, in cui è ricorrente l'impronta dei processi erosivi e dei dissesti del suolo, tale da conferire un aspetto paesaggistico piuttosto frastagliato.

Lungo i pendii si instaura una rete idrografica ad alta densità di drenaggio, piuttosto fitta e ramificata, scaturita dalla facile erodibilità dei terreni affioranti, talvolta unita alla scarsa permeabilità di taluni. Ne deriva la presenza numerosi impluvi di varie dimensioni impiantati all'interno di valloni spesso stretti e incisi, in cui, soprattutto quando la vegetazione è scarsa, danno luogo a processi erosivi, anche a carattere accelerato con possibilità di scalzamenti di terreno al piede dei versanti e conseguenti fenomeni franosi lungo le sponde ed effetti di richiamo che possono giungere sino alle aree di testa delle valli. Pertanto in questa fascia di territorio, si osservano forme di ruscellamento diffuso e concentrato, erosioni e talvolta smottamenti di coltri di terreno superficiale o piccole frane di scivolamento.

La morfologia più accidentata si concentra sulle aree di versante che compongono le sponde dei compluvi e dei torrenti, mentre lontano dagli organismi idrografici, in genere l'assetto geomorfico, sempre acclive, appare più tranquillo.

Più attenuate sono invece le trasformazioni di quelle parti di territorio più lontane dai poli di dissesto e dove l'acclività meno elevata favorisce la costituzione di un impianto vegetale (arboreo e/o arbustivo) che ricopre, proteggendo, la messa a nudo di affioramenti. Inoltre in queste zone, ove presenti, le opere di terrazzamento, le gradonature e la presenza di modeste e continue opere di sostegno, anche in pietra (che testimoniano l'attività di un utilizzo del suolo), determinano situazioni favorevoli alla conservazione e alla stabilizzazione degli stessi pendii.

Il rilevamento ha evidenziato l'azione erosiva operata dal Torrente Morsina sulle scarpate che degradano verso l'alveo del corso d'acqua e l'effettiva necessità di prevedere opere atte a contenere i fenomeni di instabilità che potrebbero generarsi per effetto dall'arretramento del ciglio delle scarpate e a preservarle dall'erosione di fondo e laterale delle acque del vallone.

4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista idrogeologico la struttura delle formazioni che costituiscono il substrato dell'area indagata è caratterizzata da un assetto geologico piuttosto articolata al quale fa riscontro una situazione idrogeologica altrettanto complessa.

Infatti all'interno di ognuna delle formazioni geologiche esistono litotipi con comportamenti, nei riguardi della circolazione idrica sotterranea, anche sostanzialmente diversi tra loro.

4.1. CARATTERISTICHE DEL RETICOLO IDROGRAFICO

Da quanto sopra enunciato ed illustrato, si evince la presenza di una serie di bacini idrografici alcuni dei quali hanno un'estensione areale maggiore, ai quali si frappongono altri di dimensioni minori.

In passato i maggiori corsi idrici avevano grandi potenzialità idrauliche con facile possibilità di divagazione, frequenti esondazioni e manifestazioni erosive piuttosto accentuate con forti escavazioni verticali, favorite anche dal sollevamento tettonico dei rilievi dell'entroterra.

Attualmente, invece essendo notevolmente mutate le condizioni climatiche e idrometeoriche, nonché decisamente diminuita la velocità di sollevamento tettonico regionale, i corsi d'acqua assumono un carattere tipicamente torrentizio per cui, in periodi d'intensa e prolungata piovosità, sono solcati da cospicue quantità idriche che vanno ad occupare la parte centrale dei rispettivi talwegs, mentre considerando il regime pluviometrico della zona e la scarsità delle precipitazioni con il periodo piovoso che si estende dall'autunno all'inizio della primavera, invece nei mesi estivi le piogge sono molto ridotte per gran parte dell'anno nei loro talweg scorre poca acqua oppure rimangono completamente in secca, con quest'ultima caratteristica che contraddistingue i valloni e gli impluvi minori.

In tempi più recenti ed in virtù dell'urbanizzazione del territorio le opere di regimazione e di sistemazione idraulica in particolare le strutture di fondo, hanno consentito di ridurre notevolmente le velocità di deflusso idrico, attenuando i processi erosivi, mentre quelle spondali consentono generalmente di mantenere il flusso idrico entro il letto fluviale con circoscritte potenziali zone di esondazione al di là delle arginature, comunque da verificare nei punti d'interesse, a seconda della presenza delle difese spondali e della loro dimensione e tenuta.

4.2. COMPLESSI IDROGEOLOGICI

L'idrogeologia del territorio comunale di Sant'Angelo in Vado è caratterizzata da diversi complessi idrogeologici,. Per la zona in esame è possibile dividere i Complessi Idrogeologici cartografati in diverse unità idrogeologiche, l'Unità Idrogeologica Torbiditica, le quali sono riferibili alle unità

tettoniche precedentemente individuate; a queste va aggiunto il Complesso Idrogeologico relativo ai depositi alluvionali che poggiano sui sedimenti appartenenti all'unità tettonica torbiditica.

Unità Idrogeologica Torbiditica:

L'Unità Idrogeologica Torbiditica è formata dai litotipi torbiditici appartenenti alla Marnoso-Arenaca Marchigiana.

Per la variabilità delle caratteristiche litologiche, questa unità è caratterizzata da valori di permeabilità differenti a seconda delle facies affioranti. Le associazioni a prevalente componente arenacea possiede una permeabilità più alta; le unità dove è maggiormente presente la componentepelitica è contraddistinta da gradi di permeabilità molto inferiori. In questa Unità Idrogeologica sono localizzate sorgenti di varia entità, aventi portate limitate o stagionali, poco alimentate a causa della scarsa infiltrazione efficace. Pertanto, la presenza di piccole sorgenti è connessa ad un accumulo locale di acqua in profondità, in corrispondenza delle facies arenacee che sono dotate di permeabilità secondaria per fratturazione. Nonostante questi casi, in genere, l'Unità Idrogeologica Torbiditica è distinta da caratteristiche di bassa o nulla permeabilità che conferiscono a questa unità la funzione di limite di permeabilità.

Unità Idrogeologica Alluvionale:

L'Unità Idrogeologica Alluvionale è formata dalla piana attuale, recente e terrazzata del Fiume Metauro e del Fiume Candigliano e dai tratti terminali dei loro affluenti. I depositi che la costituiscono sono ghiaioso-sabbiosi, di tipo alluvionale, che si intercalano a lenti ed orizzonti sabbioso-limosi e limoso-argillosi meno permeabili. La trasmissività degli acquiferi alluvionali è variabile ed è funzione della consistenza e della permeabilità dei depositi.

La falda non risente delle oscillazioni stagionali, mentre la sua profondità è funzione del deposito alluvionale. invece, la superficie freatica segue l'andamento del limite di permeabilità dato che l'acqua si accumula sul fondo del deposito permeabile.

Le indagini utilizzate nello Studio di Microzonazione Sismica eseguite nell'immediato intorno delle aree d'intervento hanno intercettato una falda compresa tra ca. 2.70 e ca. 6.00 metri dal p.c..

5. COMPATIBILITÀ DEGLI INTERVENTI IN RELAZIONE AGLI ATTI DI PIANIFICAZIONE DEL PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) vigente adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino regionale delle Marche (seconda adozione) con Delibera n. 42 del 7 maggio 2003 ai sensi della Legge n. 365/2000 e della L.R. n. 13/1999, attraverso le sue disposizioni persegue l'obiettivo di garantire al territorio del bacino un livello di sicurezza adeguato rispetto ai fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico, attraverso il ripristino degli equilibri idrogeologici e ambientali, il recupero degli ambiti fluviali e del sistema delle acque, la programmazione degli usi del suolo ai fini della difesa, della stabilizzazione e del consolidamento dei terreni, il recupero delle aree fluviali, con particolare attenzione a quelle degradate. Esso ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo, tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti l'assetto idraulico e idrogeologico del bacino idrografico.

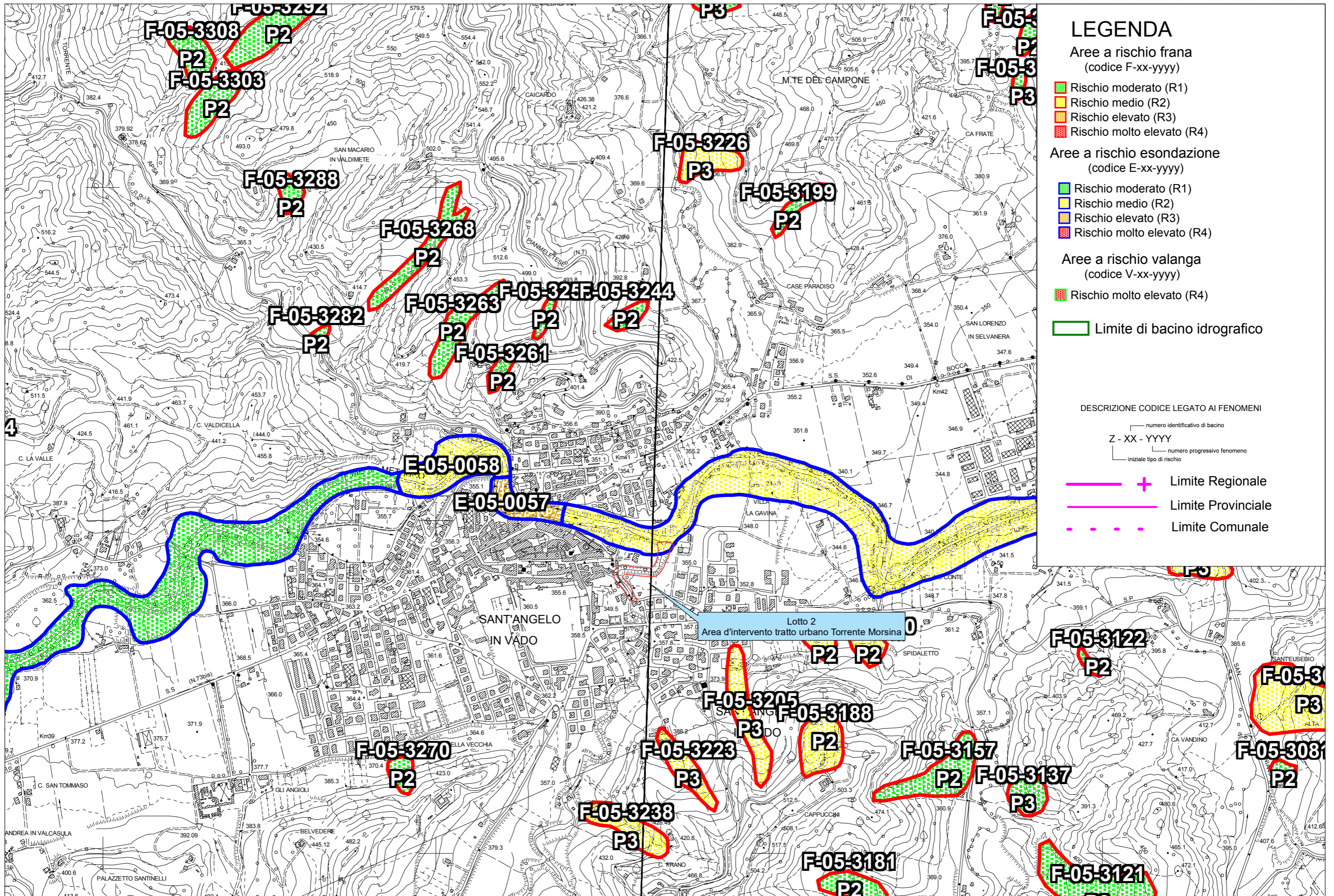
Nel territorio il PAI individua i settori interessati principalmente da fenomeni di esondazione e dissesti geomorfologici.

Come evidenziato nello stralcio della **CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO** riportato nella pagina seguente, nelle cartografie del **Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico delle Regione Marche le aree d'intervento non sono classificate a rischio idrogeologico da frana o da esondazione, con la sola eccezione di un breve tratto in corrispondenza dello sbocco del torrente Morsina nel Fiume Metauro che rientra in un'area classificata a rischio esondazione moderato (R2) con rifeimento a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni.**

Gli interventi di progetto sono regolamentati dall'art. 9 delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico delle Regione Marche che disciplina gli interventi previsti nelle aree inondabili:

Articolo 9 Disciplina delle aree inondabili

1. La fascia inondabile di cui al precedente Articolo 7, fatto salvo quanto prescritto al successivo Articolo 22, è inoltre sottoposta alle prescrizioni di cui ai commi successivi, che integrano quanto ivi già previsto; in essa, a prescindere dal livello di rischio associato, sono consentiti esclusivamente, nel rispetto delle specifiche norme tecniche vigenti:
 - a) interventi di demolizione di manufatti edilizi;
 - b) interventi obbligatori richiesti da specifiche norme di settore purché sia valutata dal soggetto proponente la loro compatibilità con la pericolosità idraulica dell'area e siano apportate le eventuali misure di mitigazione del rischio;



CLASSIFICAZIONE DELLE AREE D'INTERVENTO NELLA CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DEL PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA REGIONE MARCHE
 INGRANDIMENTO IN Scala 1:10.000 DELLA CARTOGRAFIA IN Scala 1:25000

- c) interventi di manutenzione ordinaria, straordinaria, restauro e risanamento conservativo e ristrutturazione edilizia di cui alle lettere a), b), c) e d) dell'art. 31 della Legge 457/78. La ristrutturazione di cui alla presente lettera non può comportare aumento volumetrico; ai fini del calcolo della volumetria per gli interventi di cui alla presente lettera non si tiene conto delle innovazioni necessarie per gli adeguamenti degli edifici esistenti in materia igienico-sanitario, sismica, di sicurezza ed igiene sul lavoro, di superamento delle barriere architettoniche.
- d) cambi di destinazione d'uso negli edifici, anche connessi agli interventi di cui alla lettera c), purché non comportino aumento del carico urbanistico con un aggravamento delle condizioni di rischio;
- e) interventi di ristrutturazione urbanistica di cui alla lettera e) dell'art. 31 della Legge 457/78, a condizione che venga valutata la pericolosità idraulica delle aree ed apportati gli eventuali interventi per la mitigazione del rischio; i predetti interventi sono eseguiti previo parere vincolante dell'Autorità di bacino;
- f) interventi volti a mitigare la vulnerabilità dell'edificio in rapporto alla pericolosità idraulica dell'area;
- g) interventi indifferibili e urgenti a tutela della pubblica incolumità o del sistema ambientale;
- h) manutenzione e ristrutturazione di infrastrutture tecnologiche o viarie;
- i) realizzazione ed ampliamento di infrastrutture tecnologiche o viarie, pubbliche o di interesse pubblico, nonché delle relative strutture accessorie; tali opere, di cui il soggetto attuatore da comunque preventiva comunicazione all'Autorità di bacino contestualmente alla richiesta del parere previsto nella presente lettera, sono condizionate ad uno studio da parte del soggetto attuatore in cui siano valutate eventuali soluzioni alternative, la sostenibilità economica e la compatibilità con la pericolosità delle aree, previo parere vincolante della Autorità idraulica competente che nelle more di specifica direttiva da parte dell'Autorità può sottoporre alla stessa l'istanza;
- j) interventi per reti ed impianti tecnologici, per sistemazioni di aree esterne, recinzioni ed accessori pertinenziali agli edifici, alle infrastrutture ed attrezzature esistenti, purché non comportino la realizzazione di nuove volumetrie e non alterino il naturale deflusso delle acque;
- k) spazi verdi, compresa la realizzazione di aree per il tempo libero e lo sport, ad esclusione di aree destinate a campeggio, purché non comportino la realizzazione di nuove volumetrie a carattere permanente e non alterino il naturale deflusso delle acque;

- l) opere connesse all'esercizio della navigazione e della portualità commerciale e da diporto, della cantieristica, nel rispetto delle previsioni degli strumenti generali o di settore e previo parere vincolante dell'Autorità di bacino;
- m) nelle zone agricole, come definite dalla L.R. 8 marzo 1990 n.13 e successive modificazioni, sono consentite:
- nuove costruzioni di cui all'art. 3, comma 1, lettere c), e) ed f) della L.R.13/'90, se non diversamente localizzabili nel terreno dell'azienda in riferimento all'assetto colturale ed idrogeologico della proprietà;
 - ampliamenti per il miglioramento igienico-funzionale delle abitazioni necessari per esigenze igieniche o per l'esercizio della attività.
2. Tutti gli interventi consentiti dal presente articolo sono subordinati ad una verifica tecnica, condotta anche in ottemperanza alle prescrizioni di cui al D.M.LL.PP. 11 marzo 1988 (in G.U. 1 giugno 1988 suppl. n. 127), volta a dimostrare la compatibilità tra l'intervento, le condizioni di dissesto ed il livello di rischio dichiarato. Tale verifica, redatta e firmata da uno o più tecnici abilitati, deve essere allegata al progetto di intervento.

6. INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Il **D.M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni”**, pubblicato sul S.O. della Gazzetta Ufficiale n. 8 del 20/02/2018, raccoglie in un unico organico testo le Norme tecniche per le costruzioni prima distribuite in diversi decreti ministeriali. Esse forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

Il **D.M. LL.PP. 11/3/88**, concernente le “norme tecniche relative alle indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”, prescrive che le scelte di progetto, i calcoli e le verifiche tecniche relative alla progettazione devono fondarsi sempre sulla caratterizzazione geologica e geotecnica del sottosuolo ottenuta con rilievi, indagini e prove. Tale caratterizzazione rappresenta il risultato finale del processo di acquisizione, elaborazione ed analisi delle informazioni acquisite (geologiche, tettoniche, stratigrafiche, meccaniche, ecc.) dalla campagna geognostica effettuata e, dunque, rileva le condizioni reali del sottosuolo in esame. Le indagini sono state predisposte con il duplice obiettivo di definire con precisione la stratigrafia locale, stabilire le caratteristiche litotecniche e sismiche e di determinare i valori dei parametri geotecnici dei terreni interessanti “il volume significativo” dei terreni sottostanti l'area di studio.

6.1. INDAGINI ESEGUITE

La ricostruzione della stratigrafia e la valutazione dei parametri geotecnici sono stati ottenuti utilizzando le risultanze di indagini geognostiche pregresse eseguite nelle aree d'intervento. L'indagine ha consentito, per questa fase della progettazione, di acquisire tutti gli elementi sufficienti a ricostruire la sequenza litostratigrafica dei litotipi costituenti la locale successione. In particolare si è fatto riferimento alle schematizzazioni riportate, per ogni tipologia di terreno, nello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 del Comune di Sant'Angelo in Vado (PU).

L'ubicazione delle indagini utilizzate nello studio di Microzonazione Sismica e le risultanze di dette indagini sono riportate negli allegati riportati in calce presente.

Ovviamente, in fase esecutiva, in corrispondenza delle aree in cui sono previste le principali opere andranno meglio definite le caratteristiche litostratigrafiche e geomeccaniche dei litotipi d'imposta dei manufatti per cui verranno programmate adeguate indagini puntuali.

Nella seguenti rappresentazioni stratigrafico-geotecniche vengono illustrati, le successioni litostratigrafiche e i parametri meccanici significativi dei litotipi ricavati dalle risultanze dello studio Microzonazione Sismica di Livello 1 del Comune di Sant'Angelo in Vado (PU):

LOTTO 2 – SISTEMAZIONE TRATTO URBANO TORRENTE MORSINA SCHEMATIZZAZIONE GEOTECNICA							
Strato	Profondità (potenza) [m]	Descrizione	γ_n [kN/m ³]	φ [°]	c [kPa]	c_u [kPa]	E_{ed} [MPa]
1	da 0 a -1.00 (1.00)	Litotipi con scadenti caratteristiche meccaniche costituiti dal terreno agrario e dallo strato superficiale, poco addensato e con bassa consistenza, della coltre di alterazione di natura limo-sabbiosa con rari ciottoli poligenici siltici ed arenacei	18.14	18	2	5	3
2	da -1.00 a -5.00 (4.00)	Coltre di alterazione della formazione di base , ben addensata, che, localmente, in particolare in destra idraulica torrente, lateralmente, passa a depositi di terrazzo alluvionale a prevalente componente sabbioso-limoso fine e sabbioso-argillosa dotata mediamente consistente	19.60	26	12	-	9
3	da -5.00	Unità del substrato rappresentata dal Membro di Sant'Angelo in Vado della Formazione Marnoso-Arenacea Marchigiana costituita dall'alternanza di peliti ed arenarie di colore grigio. Le peliti, predominanti rispetto alle arenarie, sono rappresentate da argilliti e marne siltose di colore grigio. Le arenarie, in strati variabili da sottili a spessi, spesso sono riconoscibili per il colore giallastro. A luogo nella formazione, a varie altezze stratigrafiche si rinvencono banchi arenacei di spessore variabile da 3 a 6 metri	22.10	24	125	-	30

dove:

profondità = profondità del letto dello strato dal piano di campagna;

potenza = potenza dello strato;

γ_n = peso di volume naturale;

φ = angolo d'attrito interno;

c = coesione;

c_u = coesione non drenata;

E_{ed} = modulo di compressibilità edometrica;

7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI - STIMA DEI PARAMETRI SISMICI ED ELASTICI

Caratteristica peculiare della risposta sismica di un sito sono, oltre alle caratteristiche geolitologiche, anche i contenuti delle vibrazioni spettrali in arrivo, e la loro interazione positiva con la frequenza propria dei manufatti. Infatti, in presenza di siti costituiti da terreni capaci di attenuare il passaggio delle onde sismiche, ed in presenza di epicentri poco profondi si possono avere fenomeni di amplificazione.

Nell'“**Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni**” **D.M. del 17 gennaio 2018**, pubblicato sul S.O. della Gazzetta Ufficiale n. 8 del 20/02/2018,, definiscono le regole da seguire per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni, sia in zona sismica che in zona non sismica. Esse forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere. Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica di un sito deve essere valutata sia in termini geografici (condizioni topografiche del sito) che in termini temporali (vita di riferimento della costruzione); tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- ◆ in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale.
- ◆ in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- ◆ per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata per tenere conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, sul sito di riferimento rigido ed orizzontale, in funzione di tre parametri:

- ➔ a_g accelerazione orizzontale massima del terreno (espresso in g/10);

- ➔ F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (parametro adimensionale);
- ➔ T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in secondi).

Per la determinazione dei valori a_g , F_0 , e T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti. Per l'individuazione reticolo di appartenenza del sito si potrà fare riferimento alle seguenti coordinate espresse in gradi decimali e riferite al sistema geodetico WGS84.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel paragrafo 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_S per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove:

h_i = spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno

molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.11 delle NTC, in cui vengono distinte cinque tipologie di suoli (A - B - C - D - E) e che possono essere individuate in base allo schema seguente:

CLASSE	DESCRIZIONE
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s , eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s .
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Dall'analisi dei risultati gli elaborati delle indagini sismiche eseguite nell'immediato intorno delle aree d'intervento ed utilizzate per pervenire alla Microzonazione Sismica di Livello 1 del Comune di Sant'Angelo in Vado (PU), sono stati utilizzati i valori medi delle V_s di ogni orizzonte litostratigrafico individuato per le due aree di diretto interesse.

L'ubicazione delle indagini utilizzate nello studio di Microzonazione Sismica e le risultanze di dette indagini sono riportate negli allegati riportati in calce presente.

Dall'esame dei tabulati è emerso che **non è stato individuato un substrato con velocità superiore ad 800 m/s fino alla profondità di 30,00 metri dal p.c., per cui il valore di $V_{S,eq}$ è stato definito dal valore della $V_{S,30}$ ($H=30,00$ metri con $H=0$ coincidente con la quota p.c.) ed risultato essere compreso tra 360 ed 800 ms^{-1}** (per cui i terreni indagati appartengono alla **CATEGORIA B** contemplata nelle suddette norme tecniche (**Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s**).

In base a quanto previsto dalla **Tabella 3.2.III al Paragrafo 3.2.2 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche** dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (**NTC 2018**) si fa rilevare che l'area è ascrivibile alla **categoria topografica T1** contemplata nella suddetta tabella ("**Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$** ") per la quale, in base alla Tabella 3.2.V delle suddette norme, si assume il corrispondente valore del **coefficiente di amplificazione topografica S_T** che è pari a **1**.

7.1. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La "**pericolosità sismica di base**" è la componente della pericolosità che dipende dalle caratteristiche sismiche dell'area, cioè dalle sorgenti sismiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti.

Con riferimento alla **zonazione sismica** indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la **Delibera della Giunta Regionale delle Marche n. 1046 del 29.07.2003** che ha approvato l'aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale, il **territorio comunale di Sant'Angelo in Vado (PU)** è stato classificato con un grado di **pericolosità sismica media (Zona Sismica 2) (Figura 4)**.

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido o pianeggiante a_g , che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni. Nel caso della **Zona Sismica 2** il valore di a_g è **$0.15 < a_g \leq 0.25 g$** .

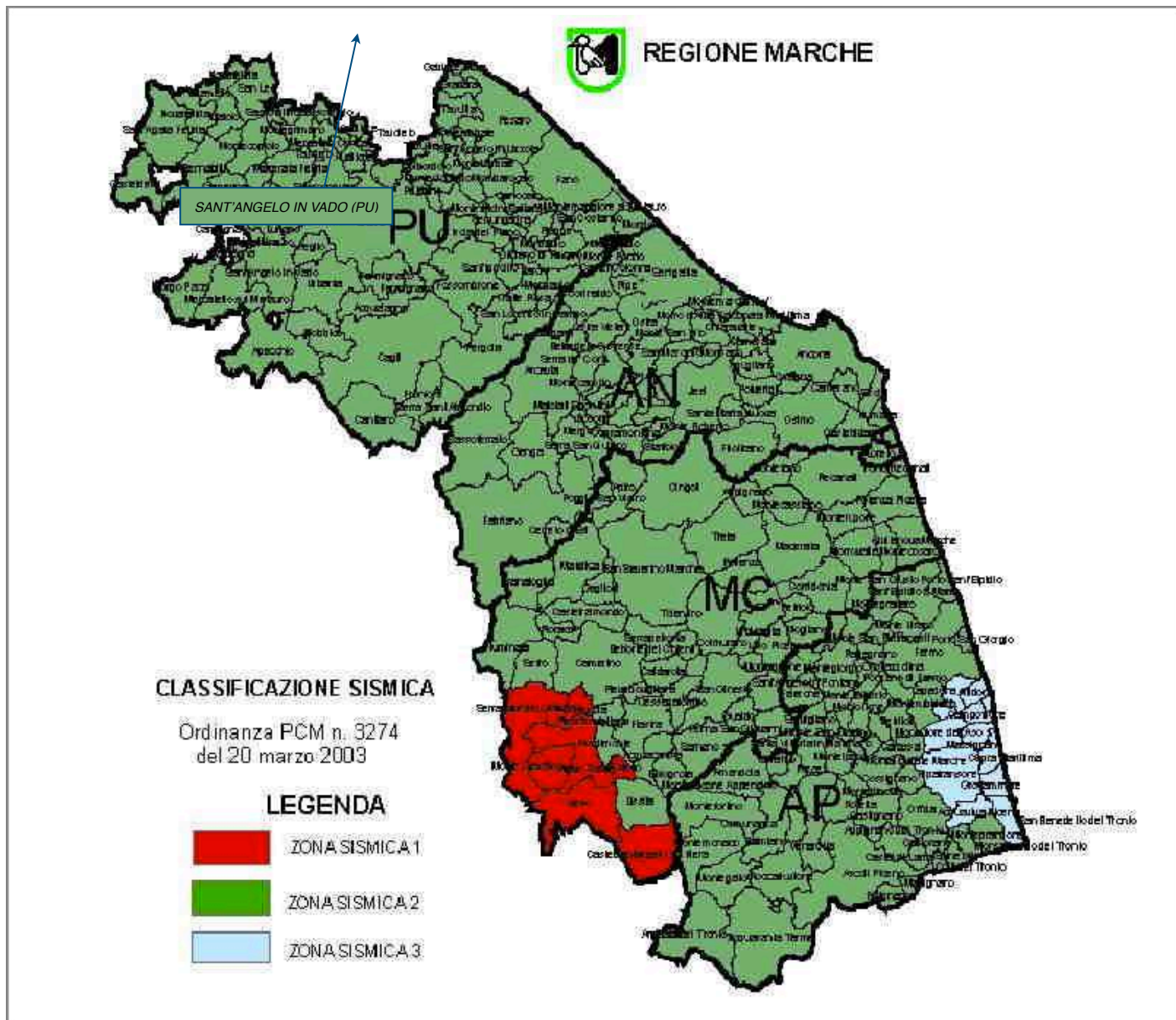


Figura 4 -Mappa di classificazione sismica della Regione Marche
Delibera della Giunta Regionale delle Marche n. 1046 del 29.07.2003.
Zona 1: $a_g > 0.25g$ - Zona 2: $0.15g < a_g \leq 0.25g$ - Zona 3: $0.05g < a_g \leq 0.15g$

Inoltre, la mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica, disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, redatta secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008), indica che il **territorio comunale di Sant'Angelo in Vado (PU)** rientrano nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compreso tra **0.175 e 0.200** (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50) (**Figura 5**).

La disaggregazione (o deaggregazione) della pericolosità sismica è un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M.

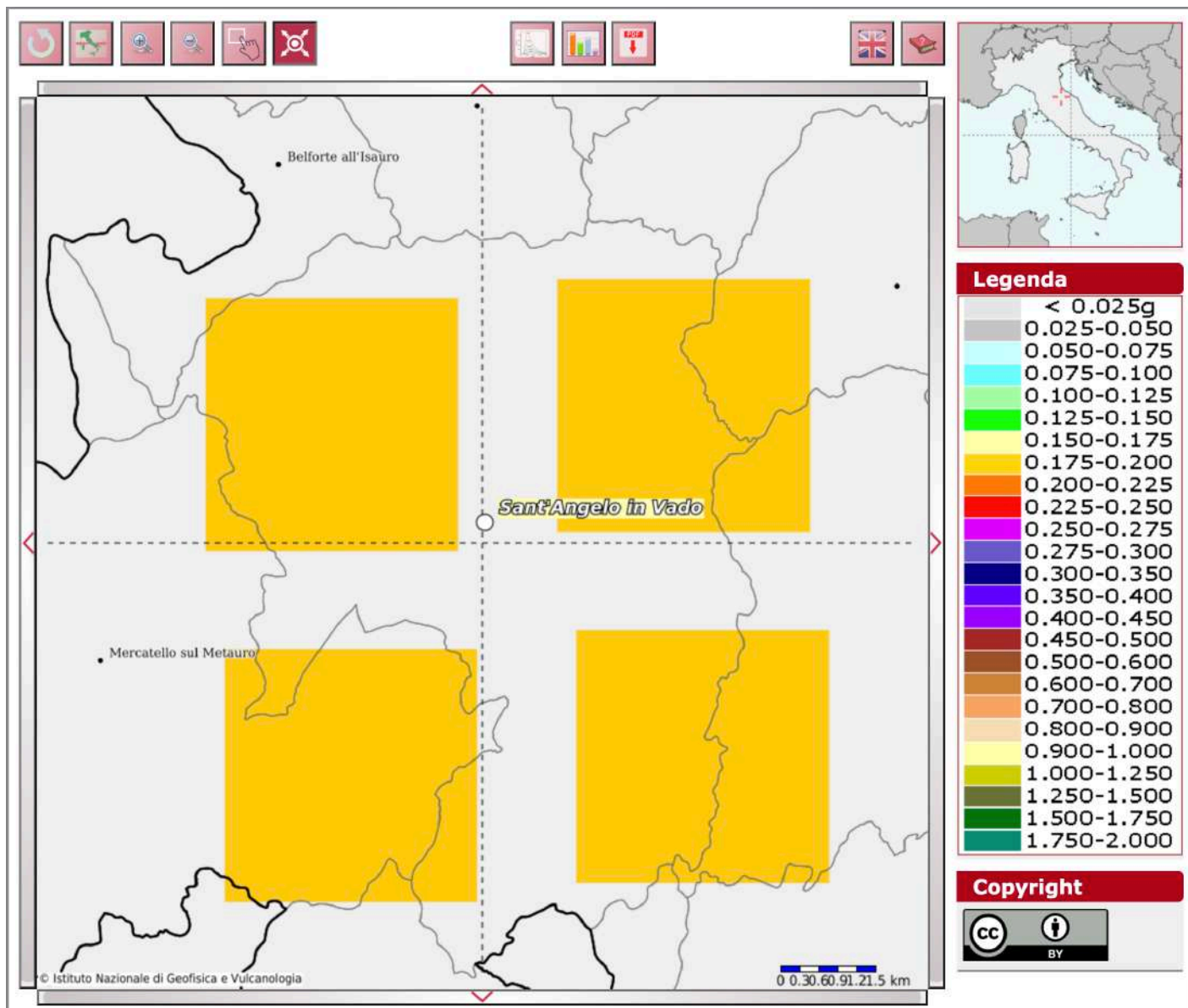
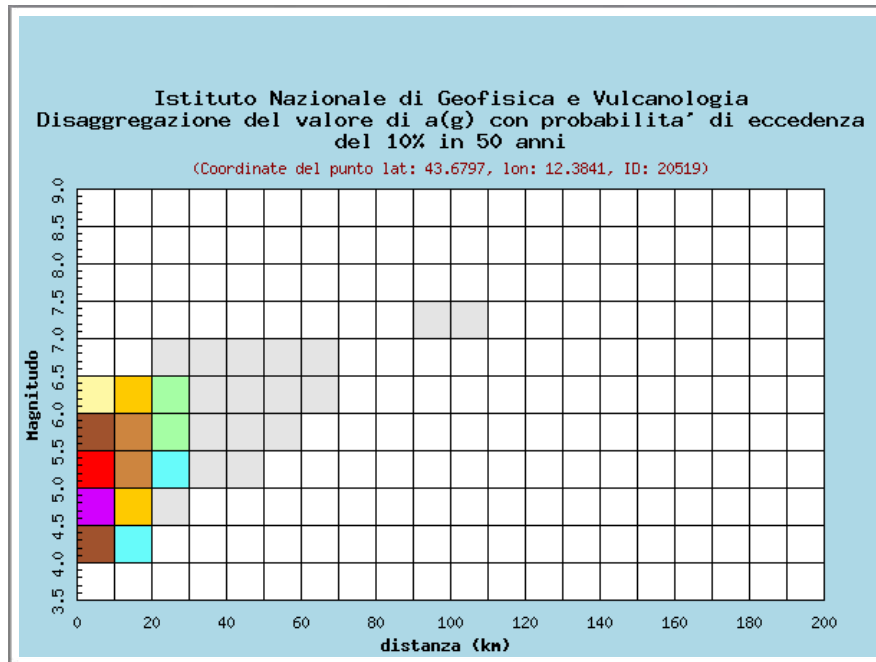


Figura 5- Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14/01/08) - Punti della griglia riferiti a parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10% e percentile 50

Espresso in altri termini, il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

Nella pagina seguente vengono illustrati i risultati dell'analisi di disaggregazione del territorio comunale di Sant'Angelo in Vado (PU) riportati nello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 (Figura 6).

COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)
MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO
LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA
 Interventi relativi al secondo stralcio funzionale: sistemazione tratto in ambito urbano torrente Morsina - Lotto 2
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



Distanza in km | Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni
 (Coordinate del punto lat: 43.6797, lon: 12.3841, ID: 20519)

	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	9.800	22.100	16.600	10.600	4.950	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	1.150	5.230	7.710	8.300	5.830	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.127	1.120	2.380	2.400	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.075	0.574	0.674	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.001	0.097	0.151	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.029	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	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	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.260	9.400	0.935

Figura 6- Analisi di disaggregazione - (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Come si può notare dai dati riportati nella tabella della **Figura 6** la massima probabilità, pari al 22.1%, si ha per magnitudo compresa tra 4.5 e 5.0 (come per la maggior parte dell'Italia centrale) e distanza epicentrale inferiore a 10 km, mentre percentuali superiori al 9% si hanno per magnitudo comprese tra 4.0 e 6.0 e distanza sempre inferiore a 10 km.

7.2. VERIFICA DELLE PERICOLOSITÀ DOVUTI AGLI EFFETTI COSISMICI

In relazione a possibili scenari di pericolosità, oltre a fenomeni di amplificazione locale si possono registrare veri e propri fenomeni di instabilità dei terreni. Questi insorgono, quando le forze (azioni) indotte da un terremoto superano la resistenza al taglio dei terreni provocandone la rottura. L'approccio a tale situazione reale consiste nell'individuare le condizioni di potenziale instabilità del terreno ed il margine di sicurezza rispetto a tale situazione in occasione dell'evento sismico atteso.

I terreni sottoposti a potenziale instabilità sono definiti sismicamente instabili, in cui gli sforzi ciclici indotti dal terremoto di riferimento uguagliano o superano la resistenza al taglio del terreno stesso che, non essendo in grado di trasmettere gli sforzi indotti, subisce collassi e rotture. Generalmente tali terreni sono caratterizzati da proprietà meccaniche molto scadenti, basse resistenze al taglio ed elevate deformabilità.

I possibili effetti che un terremoto può provocare in un determinato sito, in rapporto alle condizioni locali sono:

- ✓ fenomeni di liquefazione in terreni granulari fini;
- ✓ fenomeni di densificazione in terreni incoerenti, nonché asciutti o parzialmente saturi;
- ✓ movimenti franosi lungo pendii;
- ✓ cedimenti in terreni argillosi soffici;
- ✓ scorrimenti e cedimenti differenziali in corrispondenza di contatti geologici o di faglie.

I fenomeni sovraelencati sono imputabili principalmente alle proprietà geotecniche dei terreni e all'interazione fra onde sismiche e natura dei depositi.

Esiste un'abbondante bibliografia, a livello nazionale ed internazionale, relativa agli effetti cosismici indotti da terremoti sia di storici che di recente accadimento, di moderata o elevata magnitudo/intensità. Oltre alla descrizione dei fenomeni ed alla ricostruzione dei meccanismi che presiedono al verificarsi di tali effetti di superficie, che corrispondono sempre a deformazioni di natura permanente del terreno e quindi a condizioni di rottura a seguito di sollecitazioni sismiche, tali studi

sono volti alla definizione dell'occorrenza di ciascuna categoria di effetti in relazione a parametri quali: magnitudo dell'evento, distanza epicentrale ovvero distanza dalla linea di rottura desunta dalla distribuzione degli after-shock, accelerazione di picco (PGA), ecc..

7.2.1. STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione dei terreni è un fenomeno che interessa terreni con specifiche caratteristiche granulometriche e geotecniche, in condizioni di saturazione, a modesta profondità dal piano campagna ed a seguito di sollecitazioni sismiche significative.

In base a specifici studi ampiamente riportati in letteratura, le condizioni tipiche per tale fenomeno sono:

- ✓ terremoti con magnitudo $M \geq 5,5$ e con accelerazioni $a_{max} \geq 0,2$ g;
- ✓ falda idrica a profondità minore di 5,00 m dal p.c.;
- ✓ profondità dei terreni potenzialmente liquefacibili minore di 15,00 m;
- ✓ terreni ben classati con $0,05 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 1,00 \text{ mm}$;
- ✓ contenuto in fini ($D < 0,074 \text{ mm}$) inferiore al 10%;
- ✓ basso grado di addensamento ($N_{SPT} < 10$ per profondità < 10 m da p.c. e $N_{SPT} < 20$ per profondità > 10 m da p.c.).

Nella figura che segue sono individuate aree sismogenetiche che da cui attendersi terremoti con magnitudo $M \geq 5,5$ (MELETTI C., VALENSISE G., 2004) (**Figura 7**).

Il **D.M. 17 gennaio 2018 - "Aggiornamento delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"** contiene al **punto 7.11.3.4.2** le linee guida per valutare la suscettibilità alla liquefazione dei terreni. Una valutazione semplificata della suscettibilità può essere ottenuta considerando le seguenti condizioni:

- ✓ magnitudo del sisma
- ✓ accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti
- ✓ profondità media stagionale della falda
- ✓ tipo di deposito.

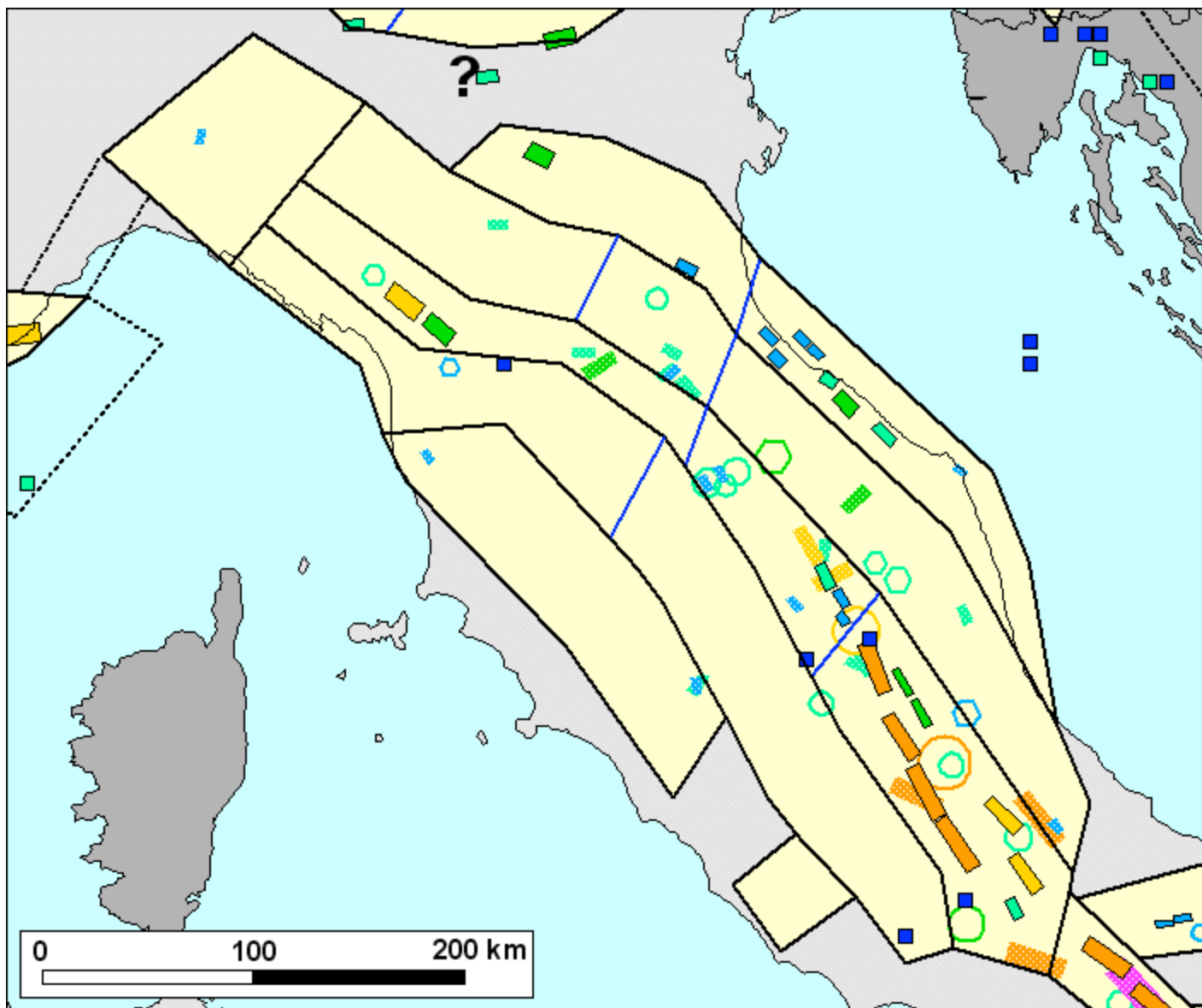


Figura 7 - Zonazione sismogenetica ZS9 per l'Appennino settentrionale e centrale (BORDI IN NERO) A CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DELLE SORGENTI SISMOGENETICHE CONTENUTE NEL DATABASE DISS 2.0. MELETTI C., VALENSISE G. (2004): "ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9 – APP.2 AL RAPPORTO CONCLUSIVO", GRUPPO DI LAVORO PER LA REDAZIONE DELLA MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA (ORD. PCM20/03/03 N. 3274) – ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA, MARZO 2004.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche

- dinamiche (*Standard Penetration Test*) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100 kPa, e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (*Cone Penetration Test*) normalizzata a una tensione di verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel fuso granulometrico indicato dal citato Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018) (*distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) (Figura 8) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) (Figura 9) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ dove U_c è dato dal rapporto D_{60}/D_{10} e D_{60} e D_{10} rappresentano il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa*).

Nel caso in esame la verifica a liquefazione può essere omessa in quanto **si manifesta almeno la circostanza n. 4 del precedente elenco**:

- ✓ *distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel fuso granulometrico indicato dal citato Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018).*

7.2.2. DENSIFICAZIONE

Sotto l'effetto delle sollecitazioni prodotte da un terremoto, i terreni granulari asciutti subiscono una compattazione volumetrica, nota come densificazione. Le conseguenze principali legate a tale fenomeno consistono in un miglioramento delle caratteristiche dinamiche del terreno (con aumento del modulo di taglio e diminuzione del coefficiente di smorzamento), a cui è associato un abbassamento del livello topografico del deposito. I parametri principali che maggiormente influenzano tale fenomenologia sono la densità relativa, l'ampiezza della deformazione di taglio, il numero di cicli di carico e lo stato di sollecitazione in sito.

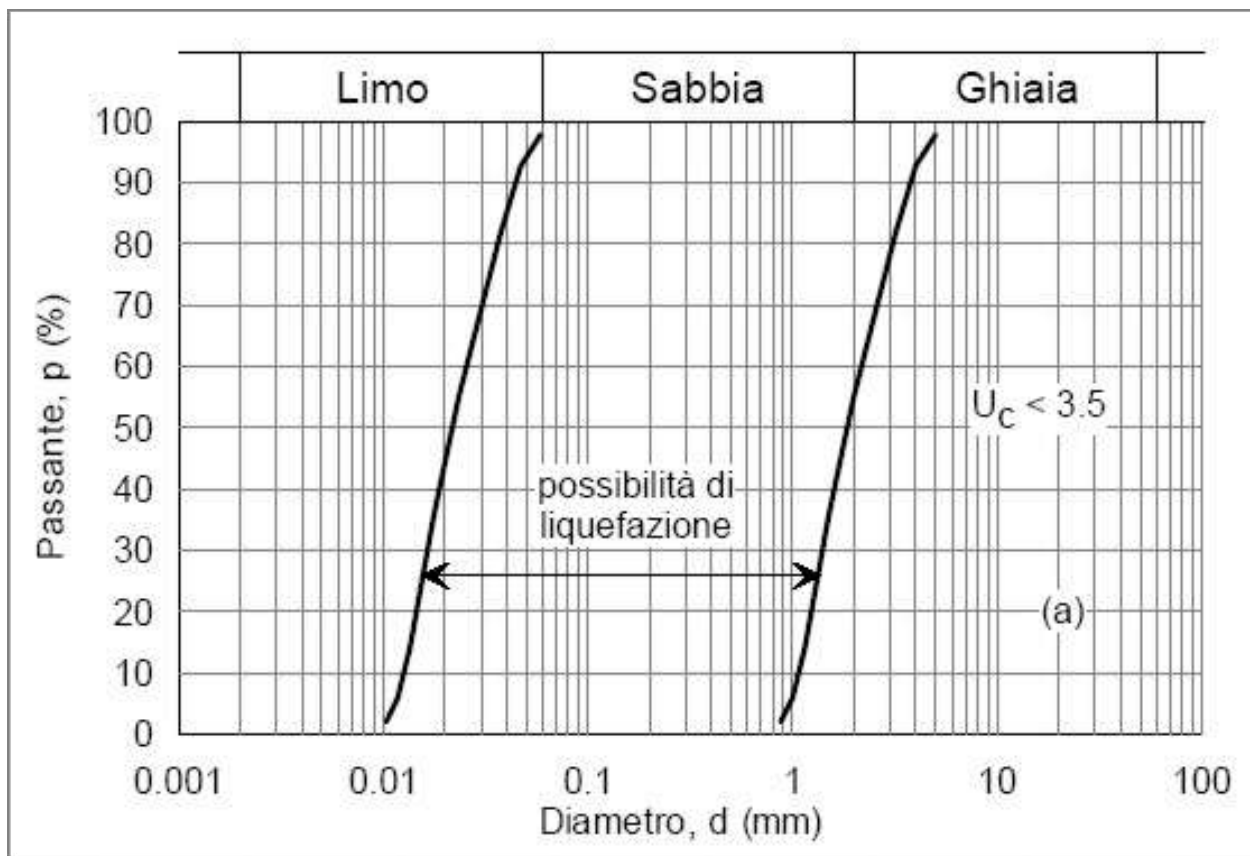


Figura 8 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione ($U_c < 3,5$)

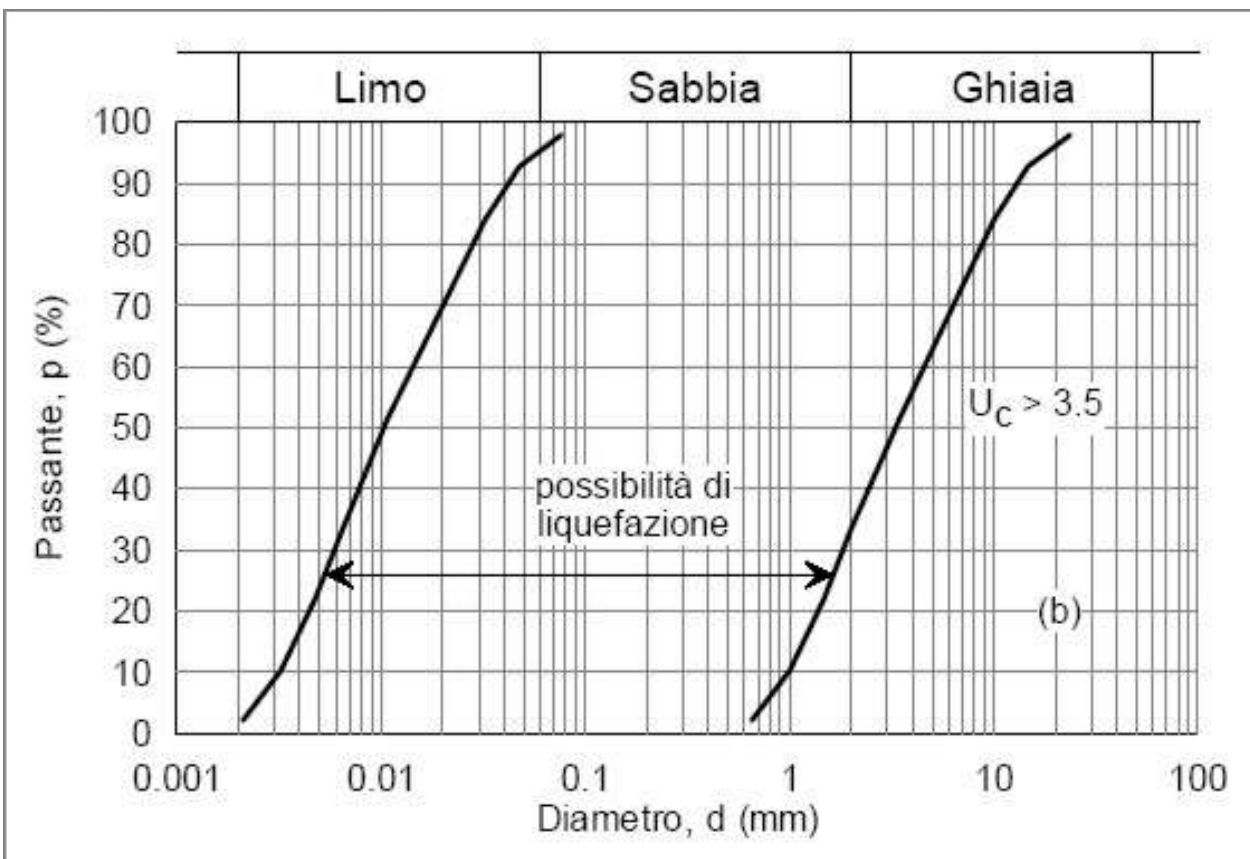


Figura 9 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione ($U_c > 3,5$)

8. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Nel corso del presente studio sono state schematizzate principali caratteristiche geologiche morfologiche ed idrogeologiche delle aree oggetto degli interventi previsti in progetto e sono stati forniti tutti gli elementi utili ad evidenziare le problematiche connesse alla realizzazione delle opere in oggetto.

La ricostruzione della successione litostratigrafica dei terreni d'imposta dei manufatti e la caratterizzazione delle proprietà fisico-meccaniche dei litotipi facendo riferimento a risultati scaturiti da indagini geognostiche eseguite nelle aree d'intervento.

Il rilevamento geomorfologia ha evidenziato la presenza di aree potenzialmente soggette a fenomeni geomorfici e gravitativi complessi ed in particolare, di quelle aree che maggiormente risentono dell'azione erosiva operata dagli agenti morfogenetici sulle scarpate che degradano verso i corsi d'acqua e quella operata dalle stesse acque incanalate che scorrono nelle incisioni vallive.

Ne consegue pertanto la necessità di prevedere una serie di interventi finalizzati alla messa in sicurezza delle aree indagate.

Detti interventi consisteranno in opere di presidio a protezione dei settori di versante e di fondovalle maggiormente esposti all'azione erosiva operata dagli agenti morfogenetici ed in opere atte a contenere i fenomeni di instabilità che potrebbero generarsi ad opera dell'erosione di fondo e laterale dei corsi d'acqua.

Tanto dovevasi per incarico ricevuto.

Il geologo
dott. Lucio Gnazzo

ALLEGATO N. 1

CERTIFICATI INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE

STRALCI CARTOGRAFIE TEMATICHE ED ESTRATTO
RELAZIONE ILLUSTRATIVA A CORREDO DELLO STUDIO DI
MS DI LIVELLO 1 DEL COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO



PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
 DELLE PROVINCE AUTONOME

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

OCDPC n.171/2014

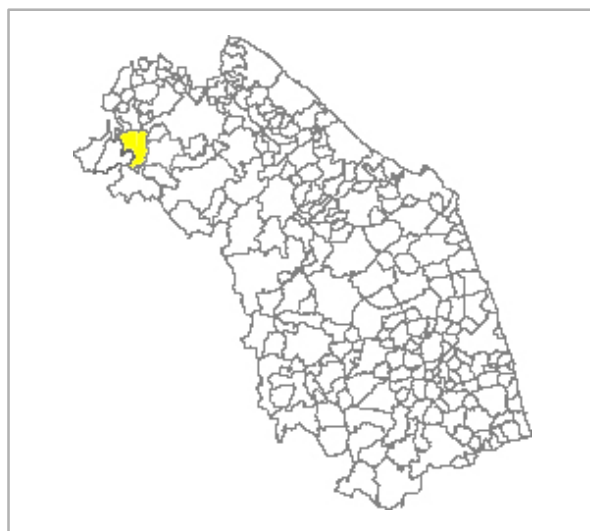
PROGRAMMA REGIONALE DEGLI STUDI E INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA. ANNUALITA' 2013

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Marche

Comune di Sant'Angelo in Vado



Regione



Soggetto realizzatore

Giovanni Sacchi

Collaboratore incaricato

Francesco Cangiotti

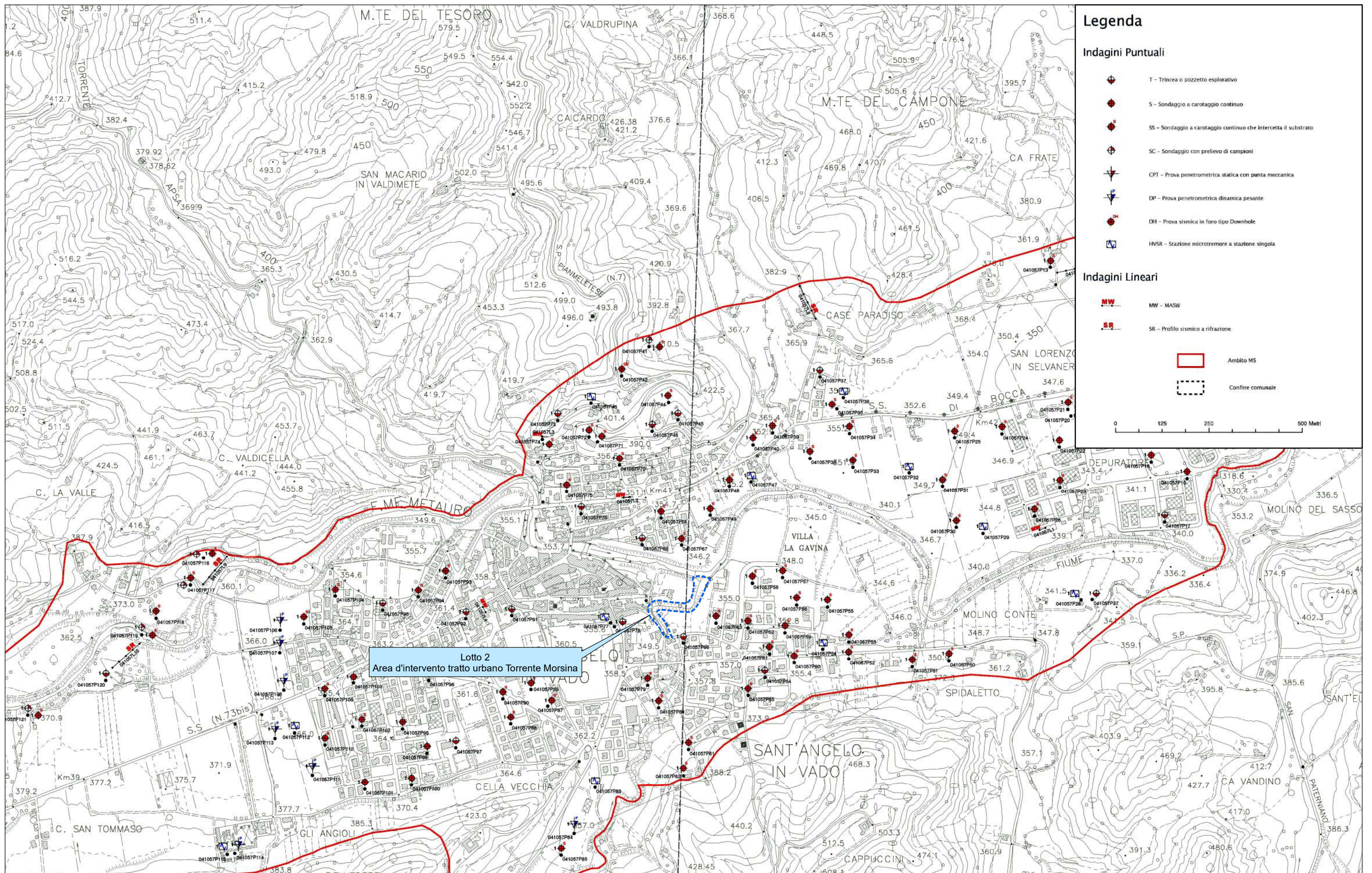
Collaboratori esterni

Paolo Ceccarini

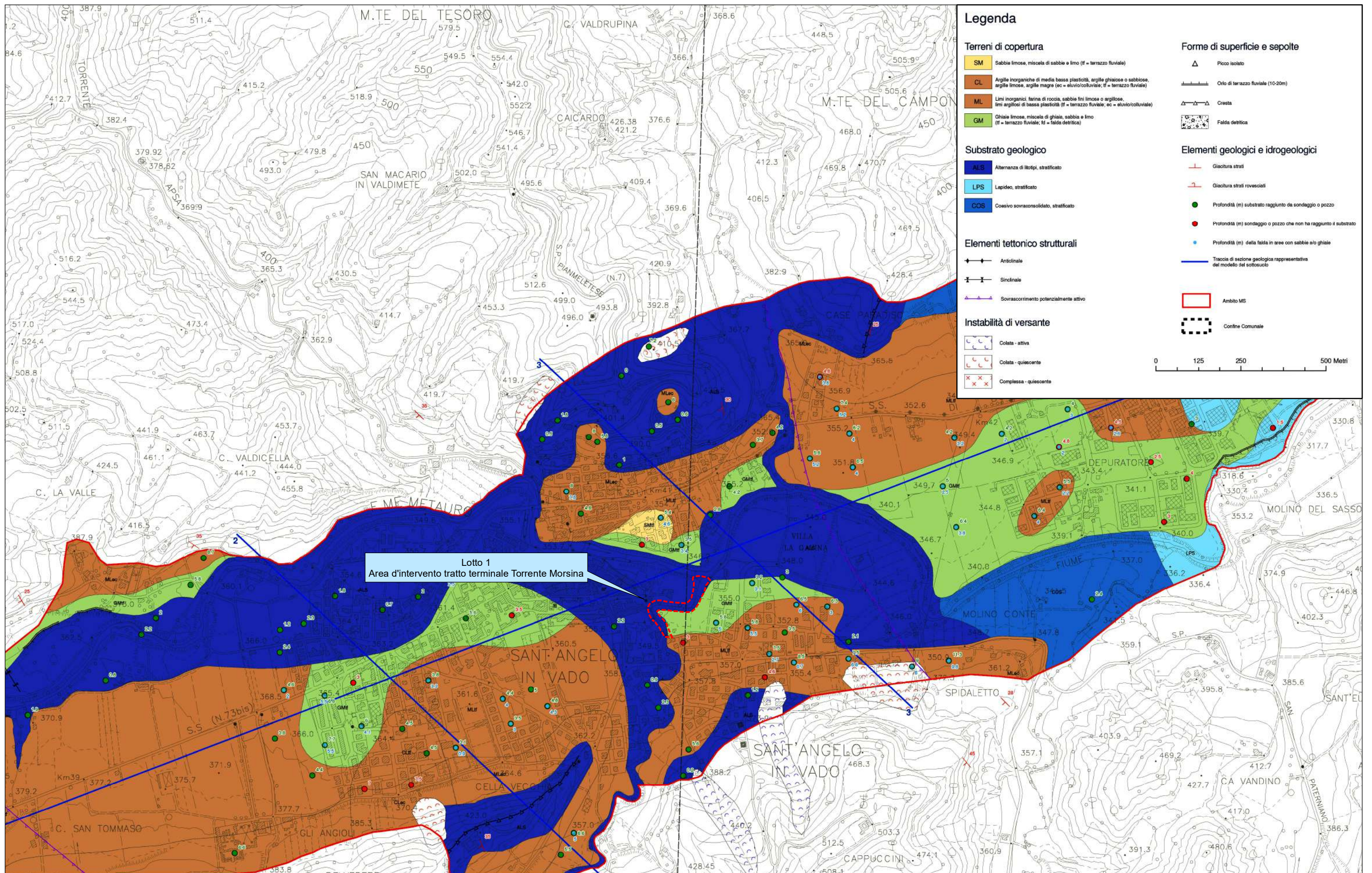
Giovanni Guidi

Data

Settembre 2015



STRALCIO DELLA CARTA DELLE INDAGINI ALLEGATA ALLO STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1 DEL COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO
 SCALA 1:10000



STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICO-TECNICA ALLEGATA ALLO STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1 DEL COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO
SCALA 1:10000

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

I dati geotecnici e geofisici riportati ed interpretati nel presente studio, provengono essenzialmente dalle indagini sia di tipo puntuale che di tipo lineare reperite nella iniziale fase di raccolta delle informazioni disponibili, come accennato al Capitolo 1.

Le principali fonti di informazioni, oltre ai dati in possesso degli scriventi, sono stati l'Ufficio Tecnico del Comune di Sant'Angelo in Vado ed il Progetto della SGC E78 Fano-Grosseto (messo a disposizione dalla Provincia di Pesaro e Urbino e dall'ANAS S.p.A di Ancona).

In sintesi e nello specifico sono stati raccolti ed elaborati i dati provenienti dalle seguenti indagini:

- N. 113 sondaggi a carotaggio continuo (di cui 95 raggiungono il substrato e 10 con prelievo di campioni analizzati in laboratorio);
- N. 9 prove penetrometriche (N. 1 prova statica e N. 8 prove dinamiche)
- N. 1 prove sismiche in foro (Down-Hole)
- N. 14 indagini puntuali di sismica passiva (HVSR)
- N. 6 indagini sismiche lineari (MASW)
- N. 5 prospezioni sismiche a rifrazione (SR).

Le prospezioni sismiche, di qualsiasi tipo esse siano, sono state utilizzate (ove possibile) per la determinazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (V_s) nei vari terreni, la cui conoscenza risulta fondamentale negli studi di microzonazione sismica.

La corretta ubicazione delle prove sopra elencate è riportata nella Carta delle indagini e, in parte, nella Carta geologico-tecnica.

4.1. Descrizione e parametrizzazione delle unità litotecniche

Di seguito vengono sinteticamente descritte le caratteristiche litologiche dei terreni presenti nell'area di studio, indicandone le principali proprietà geotecniche e geofisiche, espresse come **valori medi rappresentativi**.

I terreni vengono schematicamente suddivisi in:

- depositi di copertura
- unità del substrato geologico

4.1.1. Depositi di copertura

Per la parametrizzazione geotecnica e geofisica dei terreni della copertura si è ritenuto opportuno distinguere i materiali sulla base della loro natura litologica, facendo

ricorso alla stessa suddivisione che sarà poi utilizzata negli schemi dei rapporti stratigrafici (Cap. 8).

CL – Argille inorganiche di media plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di origine eluvio-colluviale (ec) e di terrazzo fluviale (tf)

Materiale costituito prevalentemente da argilla limosa mediamente consistente, costituente generalmente la parte superiore dei depositi terrazzati (tf). Nella fascia di raccordo tra terrazzi fluviali e sovrastanti versanti ha origine eluvio-colluviale (ec).

(Spessore variabile da 0.5 m a 4 m)

- Peso di volume $\gamma = 18.5 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di resistenza al taglio $\varphi = 20^\circ \div 24^\circ$
- Coesione non drenata $C_u = 50 \div 120 \text{ kN/m}^2$
- Coesione $c' = 5 \div 20 \text{ kN/m}^2$
- Velocità delle onde S $V_s = 150 \div 250 \text{ m/s}$

ML – Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di terrazzo fluviale (tf) e di origine eluvio-colluviale (ec)

Materiale costituito prevalentemente da limo argilloso mediamente consistente, costituente generalmente la parte superiore dei depositi terrazzati (tf). Nella fascia di raccordo tra terrazzi fluviali e sovrastanti versanti ha origine eluvio-colluviale (ec).

(Spessore variabile da 0 m a 14.5 m)

- Peso di volume $\gamma = 18.5 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di resistenza al taglio $\varphi = 20^\circ \div 24^\circ$
- Coesione non drenata $C_u = 50 \div 120 \text{ kN/m}^2$
- Coesione $c' = 5 \div 20 \text{ kN/m}^2$
- Velocità delle onde S $V_s = 150 \div 250 \text{ m/s}$

SM – Sabbie limose, miscela di sabbie e limo di terrazzo fluviale (tf)

Terreno sabbioso-limoso che, in ambiti arealmente limitati, può costituire la parte superficiale di depositi di origine alluvionale (tf) e, più diffusamente, si può anche trovare in lenti e/o livelli interdigitati a ghiaie, sempre di origine alluvionale (tf). Lo stato di addensamento/compattezza è buono.

(Spessore variabile da 2 m a 4.5)

- Peso di volume $\gamma = 18.5 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di resistenza al taglio $\varphi = 24^\circ \div 28^\circ$
- Coesione non drenata $C_u = 40 \div 70 \text{ kN/m}^2$

- Coesione $c' = 2 \div 10 \text{ kN/m}^2$
- Velocità delle onde S $V_s = 200 \div 300 \text{ m/s}$

SW – Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose di terrazzo fluviale (tf)

Sono state rilevate solo nel sondaggio 125 (campagna geognostica relativa alla S.G.C. E78), alla base del deposito alluvionale. Si tratta di sabbia color nocciola con poca matrice limosa con inclusioni clastiche arenacee a spigoli arrotondati.

(Spessore variabile da 0 m a 4 m)

- Peso di volume $\gamma = 18.5 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di resistenza al taglio $\varphi = 26^\circ \div 30^\circ$
- Velocità delle onde S $V_s = 200 \div 300 \text{ m/s}$

GM – Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di terrazzo fluviale (tf) e di falda detritica (fd)

Le ghiaie di terrazzo fluviale (tf) o, in ambiti limitati, di falda detritica (fd), hanno natura arenaceo-marnosa, sono eterometriche, da mediamente a ben addensate con un tenore variabile di matrice limoso-sabbioso - argillosa. Lo stato di addensamento è variabile

(Spessore variabile da 0 m a 8 m)

- Peso di volume $\gamma = 19.0 \div 20.0 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di resistenza al taglio $\varphi = 30^\circ \div 34^\circ$
- Velocità delle onde S $V_s = 300 \div 450 \text{ m/s}$

4.1.2. Unità del substrato geologico

ALS – Alternanza di litotipi stratificato

COS – Coesivo sovraconsolidato stratificato

ALS – Lapideo stratificato

Nella tipologia “Alternanza di litotipi stratificato” sono stati inserite la Formazione Marnoso-Arenacea Marchigiana (Membro di Sant'Angelo in Vado), che caratterizza la maggior parte dell'ambito di studio, e la Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola (Membro di Galeata e Membro di Collina).

Nella tipologia “Coesivo sovraconsolidato stratificato” sono state invece incluse la Formazione della Scaglia Cinerea e la Formazione dello Schlier.

Infine con il tipo “Lapideo stratificato” è stata identificata la Formazione del Bisciario.

Considerato che nell'ambito della stessa formazione sono possibili variazioni anche consistenti nelle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso, si è ritenuto di definire dei campi di variabilità dei diversi parametri che possano risultare validi per tutte le unità geologiche sopra elencate.

(Spessore indicativo da 100 m a 2000m)

- | | | |
|-----------------------------|------------|-----------------------------------|
| • Peso di volume | $\gamma =$ | 22.0÷25.0kN/m ³ |
| • Resist.acompr.monoassiale | $Q_u =$ | 20000÷80000 kN/m ² |
| • Modulo di deformazione | $E_u =$ | 3000000÷8000000 kN/m ² |
| • Velocità delle onde S | $V_s =$ | 400÷700 m/s |

Si precisa che la velocità delle onde S nei litotipi di substrato affioranti o subaffioranti è decisamente inferiore agli 800 m/s ma tende ad aumentare abbastanza regolarmente con la profondità fino a valori prossimi a 1000 m/s (a profondità superiori ai 20 m).

I valori di peso di volume, resistenza a compressione monoassiale e modulo di deformazione derivano da prove di laboratorio effettuate nell'ambito di una campagna geognostica svolta per la progettazione della SGC E78 Fano-Grosseto.

Le prove sono state eseguite su campioni arenacei e marnosi prelevati dalla Formazione Marnoso - Arenacea, a profondità variabili da 8 a 30 m, in sondaggi ubicati in loc. Mercatello sul Metauro (PU). I dati di laboratorio possono comunque essere considerati significativi.

I parametri geotecnici sopra riportati si riferiscono a campioni di roccia intatta. Le caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso nel suo insieme possono essere determinate con il cosiddetto metodo R.M.R.. Questa procedura di classificazione (Rock Mass Rating), elaborata da Bieniawsky, tiene conto dei seguenti parametri:

- resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta (da prove di laboratorio);
- indice della qualità della roccia (R.Q.D.);
- spaziatura delle discontinuità;
- qualità delle discontinuità;
- condizioni idrogeologiche;
- orientamento delle discontinuità.

Senza tener conto di situazioni penalizzanti dovute alla giacitura degli strati o di famiglie di fratture, nel seguito si forniscono dei valori indicativi per il parametro RMR e per corrispondenti parametri di resistenza al taglio:

- | | | |
|----------------------------------|-------------|--------------------------|
| • Rock Mass Rating | RMR = | 25÷50 |
| • Angolo di resistenza al taglio | $\varphi =$ | 17.5°÷30.0° |
| • Coesione | $c' =$ | 125÷250kN/m ² |