

Regione Umbria

COMUNE DI CASTEL GIORGIO (TR)

Progettazione della Centrale Solare "Maag Black Sheep" da 11.448 kWp



Proponente: Maag timo S.r.l.

Via Francesco Crispi N.98 - 80122 (NA)

Titolo: Relazione geologica e idrologica



N° Elaborato: **9**

Cod: **VR_05**

tipo di progetto:

- RILIEVO
- PRELIMINARE
- DEFINITIVO
- ESECUTIVO

Progetto dell'inserimento paesaggistico e mitigazione

Progettista:

Agr. Fabrizio Cembalo Sambiasi
Arch. Alessandro Visalli

Collaboratori:

Agr. Rosa Verde
Urb. Patrizia Ruggiero
Arch. Anna Sirica

Progettazione elettrica e civile

Progettista:

Ing. Rolando Roberto
Ing. Giselle Roberto

Collaboratori:

Ing. Simone Bonacini
Ing. Marco Balzano

Consulenza geologia

Geol. Gaetano Ciccarelli

Consulenza archeologia

Archeol. Concetta Claudia Costa



rev.	descrizione	data	formato	elaborato da	controllato da	approvato da
00	Consegna	Luglio 2022	A4	Gaetano Ciccarelli	Alessandro Visalli	Fabrizio Cembalo Sambiasi
01						
02						
03						
04						

	Sommario	
1	PREMESSA	2
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	2
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
4	LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA	2
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO REGIONALE.....	3
5.1	Assetto stratigrafico-strutturale locale.....	11
5.2	Assetto stratigrafico dell'area di progetto	12
5.2.1	<i>Colate di leucitite e di terfite leucititica λ</i>	12
5.2.2	<i>Prodotti di disfacimento delle formazioni piroclastiche: coperture eluviali e colluviali e.....</i>	12
6	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	13
7	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	14
8	SISMICITÀ DELL'AREA.....	15
9.1	Classificazione sismica e pericolosità sismica di base	15
9.2	Sismicità storica	16
9.3	Sorgenti sismogenetiche.....	17
9.4	Magnitudo di riferimento	18
10	SINTESI DEGLI ASPETTI GEOLOGICI	21
10.1	Analisi geologico-tecniche	21
10.2	Analisi delle cartografie geomorfologiche e idrauliche (P.A.I. e P.S.D.A)	21
10.3	Aspetti idrogeologici	24
10.4	Suscettività alla liquefazione.....	24
10.4.1	<i>Analisi qualitative.....</i>	24
10.4.2	<i>Potenziale di liquefazione</i>	26
11	CONCLUSIONI.....	27
12	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	28

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica, di compatibilità geomorfologica idraulica e sismica redatta nell'ambito di progetto di realizzazione di un impianto fotovoltaico a Castel Giorgio (Umbria).

Lo studio raccoglie e sintetizza le informazioni attualmente disponibili derivanti sia da fonti bibliografiche che indagini eseguite nell'area in esame.

In sintesi, nei paragrafi seguenti, verranno approfondite le seguenti tematiche:

- Inquadramento Geografico;
- Inquadramento generale dell'area di studio comprendente gli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici;
- Inquadramento sismico dell'area, definizione dell'azione sismica di riferimento e della magnitudo di riferimento, analisi del rischio liquefazione;
- Studio di compatibilità geomorfologica comprendente il controllo dei vincoli dell'Autorità di Bacino aggiornato al PAI vigente.

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Le presenti note contengono la sintesi dello studio effettuato, chiariscono gli aspetti connessi con lo scenario naturale relativamente alla componente geologica in cui si colloca il settore di studio e affrontano gli elementi ritenuti critici dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico e sono state redatte secondo gli *standard* metodologici più diffusi in ambito scientifico.

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Dal punto di vista normativo sono stati presi in riferimento

- UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.
- O.P.C.M. n.3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- Circ. Min. II.TT. 21/01/2019 n. 7, “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al decretoministeriale 17/01/2018”.

4 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA

L'area oggetto di studio è divisa in una porzione di territorio localizzata a nord del Comune di Castel Giorgio in provincia di Terni in Umbria al confine con il Lazio. L'area di studio è caratterizzata da un territorio essenzialmente pianeggiante. Per quanto riguarda la localizzazione cartografica, il territorio dell'area di progetto è compreso all'interno del Foglio 129 “S. Fiora” e 130 “Orvieto” della Geologica d'Italia alla scala 1:100.000.



Figura 4-1 Ubicazione dell'area di progetto(da Google Earth).

Geograficamente l'area è individuata dalle seguenti coordinate:

- latitudine 42°43'48.05'' N
- longitudine 11°58'40.39'' E

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO REGIONALE

Nei paragrafi seguenti si riporta l'inquadramento tettonico e strutturale, l'inquadramento geologico regionale, l'inquadramento geomorfologico e l'inquadramento idrogeologico dell'area di studio. Per quanto riguarda la bibliografia si è fatto riferimento alle note illustrative del Foglio 129 S. Fiora e dell'immediatamente adiacente Foglio 130 Orvieto della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 e ad altri studi geologici riferiti all'area in esame in particolare lo studio delle caratteristiche dell'acquifero e valutazione di vulnerabilità condotto nella stessa area di studio.

Evoluzione meso-cenozoica e quaternaria del mediterraneo centro-occidentale e magmatismo associato

L'evoluzione geodinamica del Mediterraneo centro-occidentale, a partire dal Mesozoico, è dominata dai movimenti relativi del blocco europeo verso quello africano e dall'intensa attività magmatica connessa al ciclo orogenico alpino-appenninico. Il magmatismo meso-cenozoico è estremamente variabile in termini di affinità seriale delle rocce che ne derivano (Conticelli & Peccerillo, 1992; Serri et alii, 2001): i termini più comuni sono rappresentati da tholeiiti di arco insulare, da prodotti calcoalcalini, calcoalcalini alti in potassio, shoshoniti potassiche e ultrapotassiche, prodotti appartenenti alla serie alcalino-sodica e c.d. lamproiti, kamafugiti e carbonati (Serri, 1997; Stoppa & Woolley, 1997).

Successivamente alle principali fasi di strutturazione dell'orogene alpino, la subduzione di imposta lungo l'avampaese della retrocatena, probabilmente in corrispondenza di un braccio orientale relitto

della Tetide (Doglioni et alii, 1998; 1999a, b) corrispondente ad un prolungamento settentrionale del bacino ionico mesozoico (Catalano et alii, 2001). In questo quadro, gli Appennini si sarebbero sviluppati principalmente dopo l'Oligocene superiore; la loro formazione è accompagnata dallo sviluppo, sempre a partire dall'Oligocene superiore, di un area in estensione a tergo della catena come conseguenza diretta dell'arretramento verso est della placca subducente. I bacini oligo-miocenici che caratterizzano il Mediterraneo occidentale sono interpretati nel loro insieme come un sistema di retroarco a tetto della subduzione appenninico-magherbide (Doglioni et alii, 1999a). Successivamente, con la mitigazione verso est del sistema arco-fossa, il trasferimento della distensione porterà nel tardo Miocene e nel Plio-Pleistocene all'apertura del bacino tirrenico (Doglioni et alii, 1999a, b).

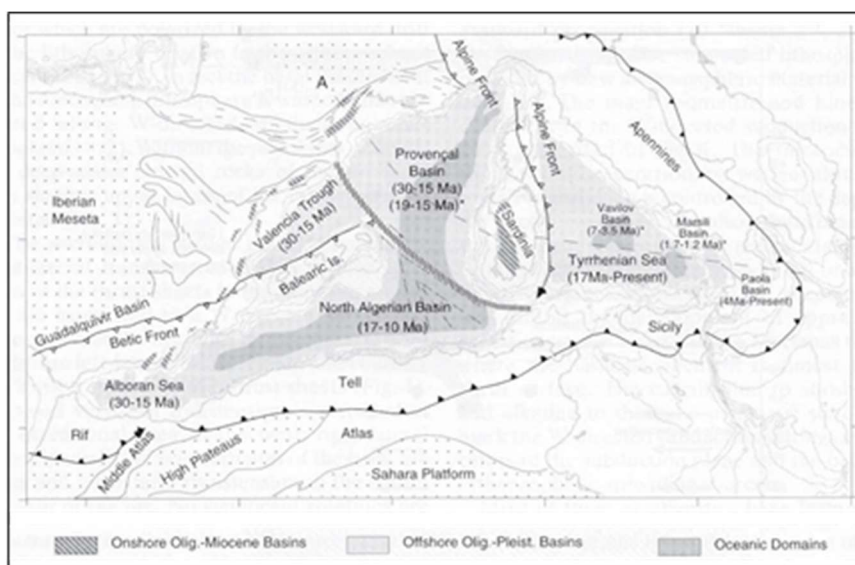


Figura 5-1 Quadro schematico del contesto geodinamico del Mediterraneo occidentale (da Doglioni et alii, 1999b). Si notino in particolare lo smembramento della Catena Alpina a seguito della rotazione del blocco Sardo-Corso e la distribuzione dei bacini di retroarco

Le prime manifestazioni magmatiche attribuite alla subordinazione della placca africana al di sotto del margine europeo risalgono all'Oligocene inferiore. A partire infatti da 34 Ma sino a 13 Ma si sviluppa in corrispondenza di Provenza, Corsica e Sardegna (per quest'ultima l'inizio dell'attività è datato 32 Ma) un arco magmatico, costituito principalmente da vulcaniti ad affinità calcoalcalina, tholeiitica e calcoalcalina alta in K (Boccaletti & Manetti, 1978; Beccaluvo et alii, 1984, 1989, 1994; Doglioni et alii, 1999a).



Figura 5-2 Distribuzione, affinità petrochimica ed età (Ma) dei centri magmatici Plio-quadernari dell'Italia centro-meridionale (Peccerillo, 2005). È altresì riportata l'ubicazione del magmatismo Eocenico-Miocenico di Puglia, Sardegnna, Alpi occidentali e Veneto

L'apertura del bacino ligure-provenzale-balearico e la conseguente rotazione antioraria del blocco sardo-corsico (smembramento della Catena Alpina fra Liguria e Corsica) sono accompagnate da un'intensa attività vulcanica, concentrata principalmente fra 21 e 19 Ma che, attraverso la produzione di ingenti volumi di piroclastiti riodacritiche, si manifesta in Provenza, nel sud della Corsica e in Sardegna dove sono associate a basalti ad affinità calcoalcalinica alti in Mg (Burrus, 1984; Rehault et alii, 1984; Beccaluva et alii, 1989) datati 18 Ma (Morra et alii, 1997).

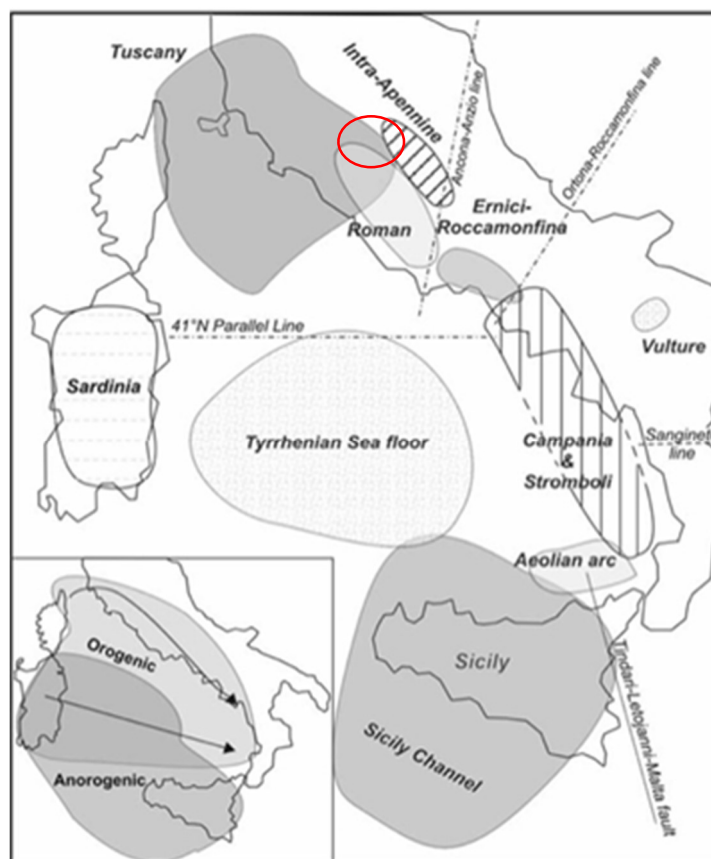


Figura 5-3 Province magmatiche secondo la definizione proposta da Peccerillo (2005). Sono inoltre riportate le principali linee tettoniche. Nel riquadro: distribuzione del vulcanismo ed affinità composizionale orogenica (alti rapporti LILE/HFSE) ed anorogenica (bassi rapporti LILE/HFSE). Le frecce indicano la migrazione del magmatismo orogenico dall'Oligocene al presente

Il magmatismo di retroarco neogenico-quadernario del Mediterraneo centro-occidentale mostra regolarmente associati termini ad affinità calcoalcalina con termini alcalini; questi ultimi risultano generalmente più giovani dei primi in ogni provincia magmatica (Savelli, 1984; Marti et alii, 1992). Lungo la fascia tirrenica, a partire da 7 Ma, si manifesta l'attività della provincia Magmatica Toscana (Marinelli, 1967, Innocenti et alii, 1992) i cui prodotti costituiscono le isole dell'Arcipelago Toscano (fatta eccezione per Pianosa) e affiorano inoltre in Toscana meridionale (Monte Amiata), Lazio settentrionale (Monte Cimino, Complesso Tolfetano-Manziate-Cerite) ed insulare (Ponza e Palmarola). L'intenso magmatismo intrusivo ed il vulcanismo di natura acida, associato ad un più recente vulcanismo potassico ed ultrapotassico (Serri 1990; Serri et alii, 1993; 2001; Peccerillo, 2005), denotano la complessità del quadro petrogenetico. Dati petrologici e geochimici indicano che i magmi anatectici che alimentano il plutonismo toscano furono coinvolti in processi di mixing con magmi ricchi in K di derivazione mantellica (Monte Amiata, Cimino, Isola di Capraia) (Innocenti et alii, 1992; Peccerillo, 2005). Un'estesa ed aggiornata trattazione del magmatismo plio-quadernario italiano è riportata in Peccerillo (2005).

A partire dal Pliocene e nel corso del Quadernario, a seguito della tettonica distensiva (E-O/NO-SE) che caratterizza, la porzione meridionale del Tirreno, l'attività vulcanica concentrata in quest'area porta alla formazione di nuova crosta oceanica nei sub-bacini Vavilov (4.5-2.6 Ma) e Marsili (1.9-1.7 Ma). Fra 5.3 e 1.8 Ma in Sardegna si sviluppa un vulcanismo, per lo più fissurale, caratterizzato da prodotti appartenenti alla serie tholeiitica e alcalina con affinità ocean island basalts (OIB).

Da circa 1.3-1 Ma è attivo l'Arco Eoliano, costituito da tholeiiti di arco insulare, da termini calcoalcalini/calcoalcalini alti in K, shoshonitici e alcalino-potassici. Questi ultimi in particolare caratterizzano i centri ancora attivi di Stromboli e Vulcano. I caratteri petrologici dei litotipi eoliani vengono ricondotti ad una sorgente mantellica tipo MORB/OIB, arricchita da una componente derivante dalla deidratazione di crosta oceanica subdotta (Francalanci et alii, 1993).

Ancora in relazione all'evoluzione della Catena Appenninico-Maghrebide, nell'avampese africano, a partire dal Miocene superiore, si sviluppa un sistema di rift continentale che porta alla formazione del Canale di Sicilia. L'attività magmatica si concentra lungo le strutture tettoniche principali e in corrispondenza del plateau ibleo (Calcanchi et alii, 1989). L'attività vulcanica, con prodotti da mediamente alcalini a peralcalini, inizia nel Miocene superiore mentre nel Pliocene inferiore diviene attivo il Graben di Pantelleria. Durante l'Olocene sono ancora attive tre aree vulcaniche: Pantelleria, Foerstner e Graham Bank.

Nel corso del Quaternario, un magmatismo ad attività alcalino-potassica dà origine alla "Regione Comagmatica Romana" (Washington, 1906; cfr. Peccerillo, 2005 per una dettagliata rassegna dei caratteri geochimico-petrologici e delle relazioni geodinamiche). La diffusa attività vulcanica manifestatasi lungo il margine peritirrenico dell'Italia centrale porta alla formazione di una catena di vulcani ad andamento appenninico (Vulsini, Vico, Sabatini, Colli Albani, Valle Latina, Roccamonfina, Ventotene, Ischia, Campi Flegrei e Somma-Vesuvio). Dopo sporadiche manifestazioni eruttive intorno a 0.8 Ma, l'attività vulcanica principale ha inizio intorno a 0.6 Ma in buona parte dei distretti laziali e a Roccamonfina, mentre i sistemi di Ischia-Campi Flegrei e Somma-Vesuvio sono attivi a partire da circa 0.35 Ma, quando i restanti distretti vulcanici sono nel pieno della loro fase paraossistica. I prodotti affioranti abbracciano l'intero spettro composizionale della serie potassica (KS) e di quella alta in potassio (HKS), così come definite da Appleton (1972), e di quella K-foiditica, caratterizzata da un rapporto K_2O/SiO_2 ancora maggiore, frequentemente associate anche in un medesimo distretto. Per la maggior parte dei centri vulcanici l'attività eruttiva termina intorno a 0.1 Ma, ad eccezione del Distretto Vulcanico dei Colli Albani, le cui ultime manifestazioni perossistiche si ebbero almeno fino a 0.03 Ma (Marra et alii, 2003) e dei vulcani dell'area napoletana tuttora attivi.

La distribuzione dei centri vulcanici alcalino-potassici quaternari risulta fortemente influenzata dalla tettonica distensiva e transtensiva che disarticola il margine tirrenico in una serie di graben caratterizzati da diversi tassi di subsidenza in atto nel corso dell'attività dei distretti (Faccenna et alii, 1994). Nel complesso, i caratteri geochimici e petrologici dei prodotti affioranti lungo la fascia peritirrenica mostrano come, ad eccezione di parte dei magmi che alimentano l'attività della Provincia Toscana, per i quali si riconosce una sorgente di tipo crostale (crosta continentale superiore), il resto dell'attività magmatica (vulcanica) sia legata a sorgenti di tipo mantellico riconducibili alle principali tipologie delle sorgenti magmatiche terrestri quali OIB, IAB (Island Arc Basalt), MORB (Middle-Ocean Ridge Basalt), ma caratterizzate per lo più da un arricchimento in K imputabile all'assimilazione di più tipologie di componenti (Trigilia et alii, 1991; Piccirello 1999; Serri et alii, 2001). In particolare, la sorgente del K andrebbe cercata in un mantello superficiale metasomatizzato a flogopite (Dolfi et alii, 1976).

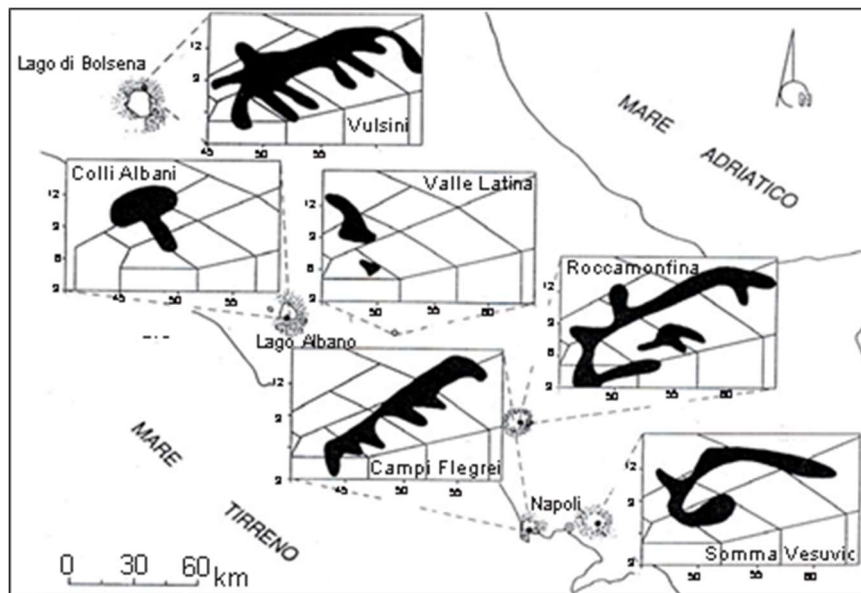


Figura 5-4 Campi composizionali, secondo il diagramma classificativo TAS, dei litotipi vulcanici di distretti alcalino-potassici rappresentativi (da Trigila et alii, 1991)

Lungo l'avampaese adriatico, a partire da 0.7 Ma sino a 0.1 Ma è attivo il Vulture, contraddistinto da un magmatismo alcalino-sodico fortemente sottosaturato. Infine, l'attività vulcanica etnea si localizza a nord degli Iblei, in corrispondenza della porzione più meridionale delle falde maghrebidi (Monaco et alii, 1997). La geochimica dei prodotti eruttivi è compatibile con la fusione parziale di sorgenti mantelliche arricchite tipo MORB e OIB (Armienti et alii, 1989; D'Orazio, 1994; Tonarini et alii, 1995)

L'assetto strutturale del Lazio settentrionale è il risultato della sovrapposizione tettonica distensiva terziaria, legata all'attività del bacino tirrenico, sulla porzione più interna dell'edificio a pieghe e sovrascorrimenti della Catena Appenninica, risultato a sua volta del processo di subduzione della placca adriatica al di sotto del sistema orogenico alpino (Doglioni et alii 1999c). In particolare, il Distretto Vulcanico Vulsino si imposta nel Pleistocene medio in corrispondenza dell'intersezione del Graben Siena-Radiocofani e del Graben Paglia-Tevere con una serie di faglie ad andamento NE-SO che disarticolano le porzioni interne della Catena Appenninica.

La catena in questo settore è il risultato dell'interazione tra due diversi tipi di subduzione: quella alpina, Europa-vergente, e quella appenninica O-vergente. Il risultato è un orogene complesso dove si riconoscono diverse unità strutturali riconducibili a diversi domini paleogeografici.

- Il dominio sardo-corso: rappresenta l'avampaese europeo ed è costituito da crosta continentale ercinica sulla quale è impostato il bacino Ligure-Provenzale;
- Il dominio oceanico ligure-piemontese: nel quale si sono deposte ofioliti giurassiche e la loro copertura sedimentaria pelagica di età compresa tra il Malm e il Cretacico, seguite dalle sequenze torbiditiche calcareo-marnose di età cretacico-eocenica. I complessi ofiolitiferi affiorano attualmente nella Corsica alpina, nell'Arcipelago Toscano e nella Toscana meridionale (Abbate et alii, 1980), ove sono stati riconosciuti nel sottosuolo (pozzo Pantani a nord di Civitavecchia), spesso metamorfosati in condizioni di alt P/ bassa T (Jolivet et alii, 1988);
- Il dominio subligure: costituito da successioni calcareo-arenacee di età Cretacico superiore-Oligocene, deposte su crosta di transizione tra il dominio oceanico ligure e quello continentale toscano;
- Il dominio toscano: in cui si distinguono successioni sedimentarie deposte su crosta continentale. Il dominio toscano interno consiste nei depositi non metamorfici della Successione Toscana (triassico

superiore-Oligocene superiore), mentre il dominio toscano esterno è costituito dal Complesso Metamorfico Toscano Auct. (Bertini et alii, 1991; Elter & Pandelli, 1990);

- Il dominio umbro-marchigiano: comprende le successioni sedimentarie triassico-mioceniche deposte sul margine continentale adriatico, caratterizzate da termini di piattaforma continentale e pelagica dal Triassico al Lias inferiore e di bacino pelagico fino al Miocene (Barchi et alii, 1998; Centamore & Micarelli, 1991; Santantonio et alii, 1996).

Successivamente alle principali fasi di sollevamento della Catena Appenninica (fasi compressive tortoniane toscane), a partire dal Miocene medio-superiore, con l'apertura del bacino di retroarco tirrenico, l'adiacente fascia costiera dell'Italia centrale è soggetta ad un'intensa tettonica distensiva (Bigi et alii, 1989; Boccaletti et alii, 1990; Serri et alii, 1991). La distensione provoca un assottigliamento crostale e la formazione di una serie di graben ad andamento NO-SE che interessa una vasta area dal Valdarno al Vulsini e che si estende verso SE fino a Terracina.

Lungo tali strutture fortemente subsidenti si impostano i bacini marini pliocenici (ingressione marina del Pliocene inferiore: bacini della Val di Fine, Volterra-Ppomarance-Radicondoli, Val d'Elsa, Siena-Radicofani, Val Teverina, Val di Chiana) e successivamente l'attività vulcanica (Ambrosetti et alii, 1978). Nel Pliocene inferiore si registra la massima estensione marina della Toscana meridionale e nel Lazio settentrionale, mentre a partire dalla fine del Pliocene inferiore tutta l'area comincia a sollevarsi con conseguente sviluppo di una fase regressiva (Ambrosetti et alii, 1978). Tale sollevamento, il cui acme si registra fra il Pliocene ed il Pleistocene inferiore, è connesso al riequilibrio isostatico della Catena Appenninica e localmente alla messa in posto di corpi intrusivi (Monti della Tolfa) e domi lavici (Monti Cimini) (Marinelli, 1975; Barberi et alii, 1991, 1994). Esso condizionerà lo sviluppo paleogeografico dell'area, determinando un progressivo restringimento delle zone occupate dal mare (Ambrosetti et alii, 1978). Durante lo sviluppo del magmatismo alcalinico-potassico peritirrenico quaternario, in conseguenza dell'alta termalità dell'area, la tettonica fu probabilmente meno attiva e l'entità del sollevamento si ridusse (Cavinato et alii, 1994).

fascia costiera fra la Toscana meridionale e il Lazio settentrionale si leghi essenzialmente alle fluttuazioni glacio-eustatiche, mentre eventuali fenomeni tettonici sono da considerare di ampiezza di ordine inferiore. I tre ordini di terrazzi più giovani riferiti al Pleistocene medio-superiore, sono caratterizzati da depositi contenenti materiale di origine vulcanica proveniente dai vicini distretti alcalino-potassici Vulsino e Vicano; le datazioni, ottenute secondo diversi metodi (U/Th, risonanza degli elettrospin, racemizzazione degli aminoacidi), danno età comprese fra 0.35 e 0.1 Ma (Ambrosetti et alii, 1981). De Rita et alii (2002) correlano questi tre ordini di terrazzi ai rispettivi stage isotopici della curva climatica tarata sui valori del O^{18} (Pisias et alii, 1994) relativi a fasi di alto stazionamento del livello del mare.

In questo contesto la porzione più a sud dell'area in esame riveste una particolare importanza in quanto zona di raccordo fra le aree più interne del Distretto Vulcanico Vulsino e la fascia costiera. A tal riguardo, degna di nota è la formazione, in concomitanza con l'attività vulcanica, di un piccolo bacino continentale fluvio-lacustre-plaustre, colmato da sedimenti vulcanoclastici.

5.1 Assetto stratigrafico-strutturale locale

L'assetto stratigrafico-strutturale dell'area di stretto interesse progettuale è stato ricostruito integrando i dati ottenuti dal rilevamento geologico con tutte le informazioni ricavate dalla fotointerpretazione appositamente condotta, dalle fonti bibliografiche disponibili e da sopralluoghi nell'area di progetto.

Per quanto riguarda la bibliografia si è fatto riferimento al Foglio 129 S. Fiora e 130 Orvieto della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000

OLOCENE

-dt: detriti.

PLEISTOCENE

-t₁,t₂,t₃: tufi terrosi (t₁), tufi gialli e pomice chiare (t₂), tufi gialli e pomice grigie (t₃) alternanti alle rocce magmatiche del gruppo vulcanico dei Monti Vulsini.;

-λ: Latiti appartenenti al gruppo vulcanico dei Monti Vulsini;

-e: Prodotti di disfacimento delle formazioni piroclastiche; coperture eluviali e colluviali.

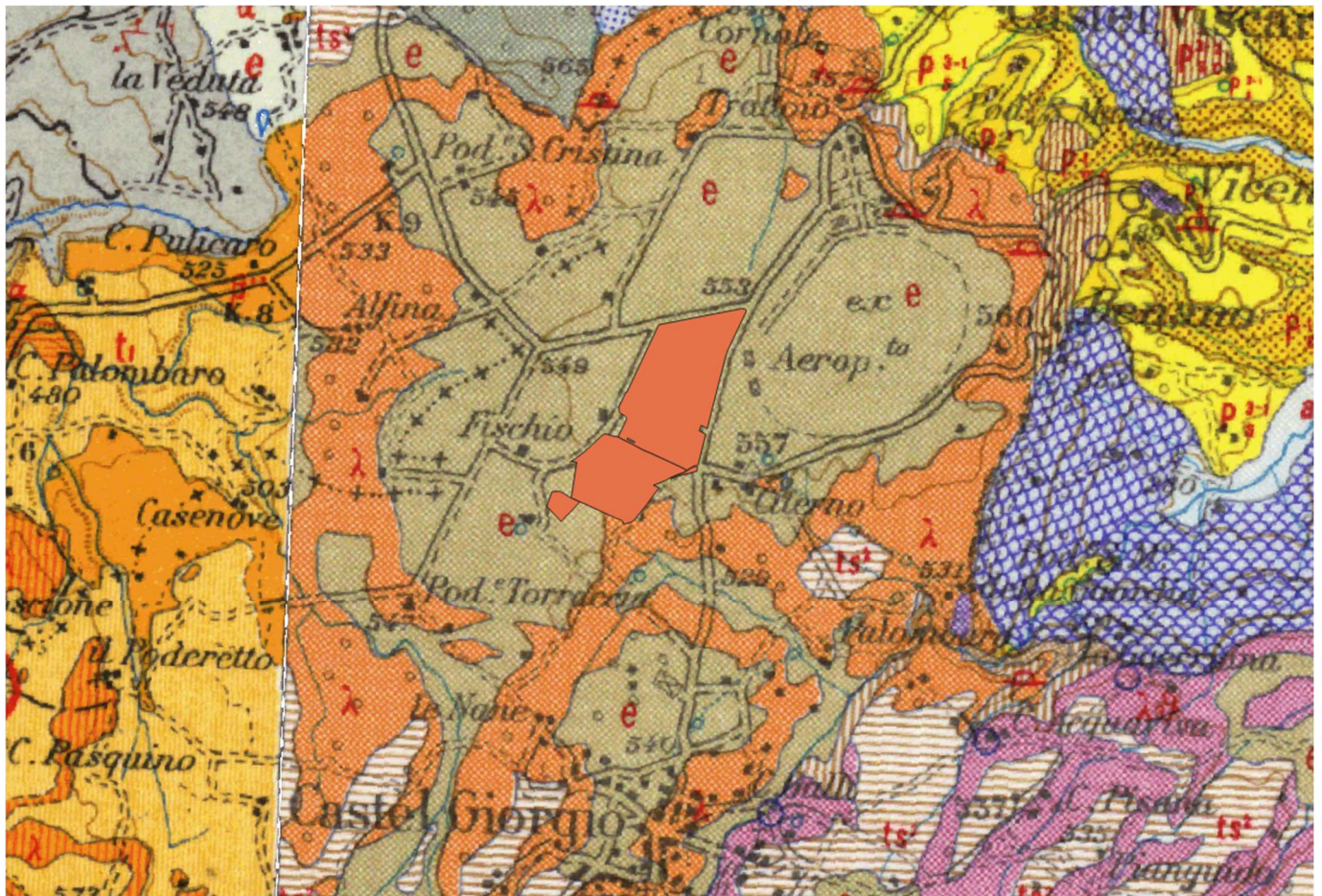


Figura 5-6. Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 foglio n.129 S. Fiora e n.130 Orvieto (non in scala). Il poligono arancione indica l'area di studio.

5.2 Assetto stratigrafico dell'area di progetto

Le unità geologiche che interessano esclusivamente l'area oggetto di studio, cartografate nella Carta Geologica d'Italia (Foglio 129 e 130, scala 1:100.000) vengono descritte secondo la bibliografia relativa alle note illustrative dei fogli sopracitati.

5.2.1 Colate di leucitite e di terfite leucititica λ

Nella parte superiore di ts2 le lave, pur non alterando in modo significativo la paragenesi mineralogica si differenziano gradualmente per un progressivo arricchimento di fenocristalli di leucite, diversamente sviluppati e addensati nella massa. La lava λ presenta attorno a Castel Giorgio spessori che raggiungono i 20-25 metri. La struttura è porfirica olocristallina con fenocristalli e pasta di fondo costituiti soprattutto da leucite a geminazione polisintetica e, subordinatamente, da plagioclasio e da pirosseno di tipo augutico.

La colata ha un aspetto scoriaceo alla base ed al tetto e talora anche entro tasche nel corpo della roccia; in corrispondenza di questa facies la leucite è alterata e meno abbondante. Si trova spesso anche abbondante materiale scoriaceo che indica la vicinanza ai centri di eruzione.

5.2.2 Prodotti di disfacimento delle formazioni piroclastiche: coperture eluviali e colluviali e

Gli agenti meteorici hanno portato un notevole disfacimento nella porzione superficiale delle vulcaniti

più antiche. Il materiale ricavatoone si è raccolto nelle depressioni morfologiche oppure è rimasto a ricoprire la formazione originaria come, ad esempio, nell'area in esame e quindi sulle ampie spianate settentrionali ed occidentali di Castel San Giorgio. Nel primo caso ad esso sono intercalati sottili livelli di sedimenti palustri.

I prodotti di disfacimento si trovano, naturalmente, sui tufi più che sulle lave, anche commisti a materiale pulverulento di trasporto eolico, ripreso dalle formazioni piroclastiche vicine.

6 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area di studio si sviluppa a nord del centro abitato di Castel Giorgio in una zona con un andamento morfologico del paesaggio sub-pianeggiante.

Il paese di Castel Giorgio, che si trova ad un'altitudine di 559 metri sul livello del mare, si estende sull'Altopiano dell'Alfina, all'estremo sud-ovest della Regione Umbria, ai confini con Lazio e Toscana. Il paese, che fa parte del comprensorio Orvietano, è vicinissimo al lago di Bolsena e non lontano dal Monte Amiata. All'interno del territorio comunale è situato il Poggio del Torrone, la vetta più alta dei Monti Volsini, 690 m. slm. catena collinare di origine vulcanica situata intorno al bacino del Lago di Bolsena.

La morfologia dell'area di studio, è stata condizionata principalmente da eventi vulcanici, infatti nel dettaglio è un area pianeggiante e forte vocazione agricola situata tra il centro abitato di Castel Giorgio e a sud della località Alfina in quello che viene definito "il plateau di Castel Giorgio".

Come specificato nei capitoli precedenti si nota come affiora una estesa coltre detritico-eluviale con suolo agrario di rilevante spessore. In alcune incisioni affiora il substrato in genere costituito da piroclastiti stratificate.

Dalla visione della Carta delle Frane IFFI, nell'area di progetto non si ha la presenza di frane né quiescenti né attive.

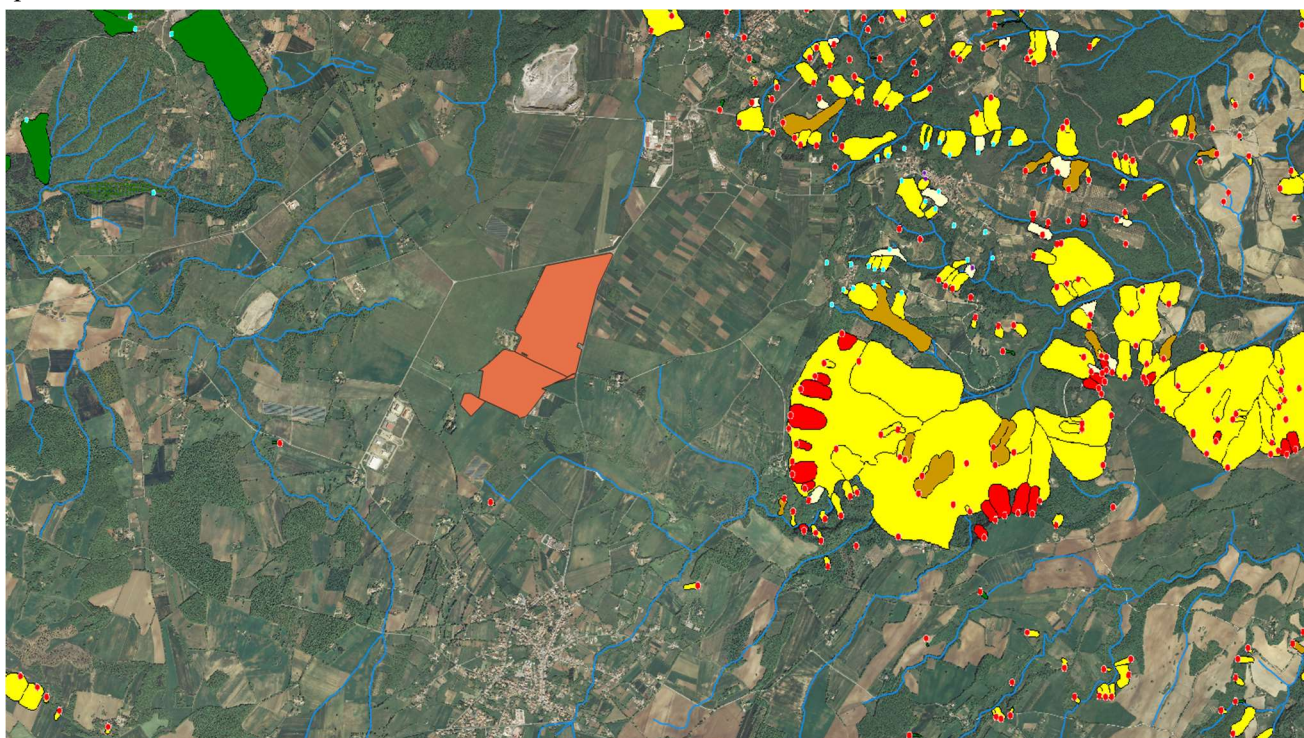


Figura 6-1 Stralcio della Carta delle frane del Progetto IFFI (portale <http://www.progettoiffi.isprambiente.it/cartanetiffi/carto3.asp?cat=2&lang=IT#>). Il poligono in arancione l'area di studio.

7 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nel dettaglio dell'area in esame si ha quindi la presenza di due diversi complessi idrogeologici, uno presente direttamente in entrambe le aree di progetto ed uno immediatamente adiacente all'area ad est che sono elencati in seguito dal più recente al più antico.

- Complesso dei depositi alluvionali (Pleistocene-Olocene):

I depositi alluvionali permeabili per porosità ospitano in genere acquiferi a falda libera, raramente e localmente acquiferi in pressione. I valori della trasmissività nelle aree degli acquiferi principali sono mediamente compresi tra 100 e i 2.000. mq/g, con valori massimi anche superiori ai 5.000 mq/g rilevati nei settori degli acquiferi più produttivi.

- Colate laviche (Pleistocene):

Costituiscono con i depositi piroclastici l'acquifero dell'apparato vulcanico Vulsino. Gli spessori dell'acquifero nel territorio regionale sono di alcune decine di metri nel settore orientale, mentre superano i 250 m nell'area occidentale (Castel Giorgio). In generale risultano permeabili per fatturazione ma, ove presentano una struttura compatta, possono svolgere un ruolo locale di acquitardo rispetto alla circolazione idrica sotterranea. L'insieme del sistema acquifero vulcanico presenta una trasmissività compresa in un range abbastanza ampio tra i 300 e i 3.000 mq/g.

Secondo la caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei redatta dall'ARPA – Umbria, l'area del complesso vulcanico vulsino interessa la Regione Umbria nell'area compresa tra Orvieto, Castel Giorgio e Bolsena, per una superficie di circa 130 km².

L'acquifero, è costituito da una sequenza di depositi piroclastici e colate laviche, con permeabilità differenziate in funzione della porosità e grado di fatturazione, sovrapposta ad un basamento sedimentario prevalentemente costituito dai terreni argillosi pliocenici impermeabili.

La potenza della sequenza dei depositi vulcanici risulta superiore anche ai 200- 300 m. Le quote piezometriche sono situate intorno ai 500 m s.l.m. all'altezza di Castel Giorgio, e decrescono al di sotto dei 300 m.s.l.m. in corrispondenza del bordo orientale della struttura. Le linee di drenaggio principali sono due, una verso la Valle del Paglia e l'altra verso il Lago di Bolsena. La soggiacenza della superficie piezometrica va da un minimo di alcune decine di metri dal piano campagna fino a 100-150 metri.

Le perforazioni profonde realizzate dalla Regione dell'Umbria hanno raggiunto il substrato impermeabile e hanno permesso di ricostruire nel dettaglio le caratteristiche idrogeologiche del sistema, evidenziando la presenza di più livelli acquiferi, di cui il più superficiale di tipo freatico. Dal bilancio idrogeologico stimato per l'area si deduce che l'infiltrazione efficace è pari a 250-300 mm/anno, cui corrisponde un volume medio di ricarica di circa 25 Mm³

Si riporta in seguito uno stralcio della Carta Idrogeologica della Regione Umbria in scala 1:100.000 con l'ubicazione dell'area di progetto.

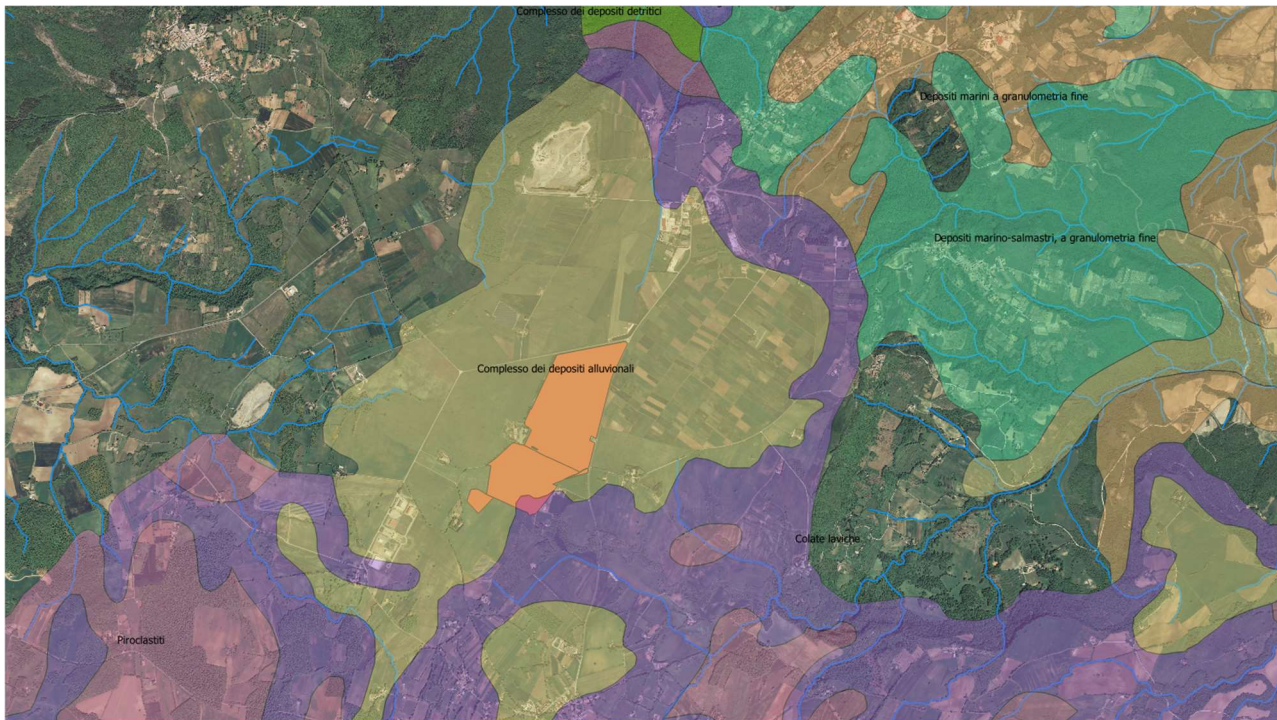


Figura 7-1 Stralcio della Carta Idrogeologica dell'Umbria, il poligono arancione è l'area di progetto.

8 ISMICITÀ DELL'AREA

Sulla base di quanto riportato dalle NTC '18 nel seguente capitolo verranno riportate la classificazione sismica e la microzonazione sismica del comune interessato dall'area di progetto e quindi quello di Castel Giorgio.

9.1 Classificazione sismica e pericolosità sismica di base

La classificazione sismica del territorio nazionale è stata elaborata e rivisitata in seguito ai principali terremoti; tra questi, in particolare, quelli verificatisi in Irpinia nel 1980 ed in Molise nel 2002.

Fino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità. I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102, che corrispondono al 45% della superficie del territorio nazionale, nel qualerisiede il 40% della popolazione; la sismicità era definita attraverso il grado di sismicità S.

Per quanto concerne la classificazione sismica del territorio in esame, trova attuazione la classificazione sismica stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n.3274/2003, la quale ha introdotto una nuova classificazione sismica, suddividendo il territorio nazionale in quattro zone caratterizzate da diverso grado di sismicità e sottoposte alle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Le zone sono definite rispettivamente ad alta sismicità la zona 1, a media sismicità la zona 2 e a bassa sismicità la zona 3, mentre nella zona 4 viene demandata alle regioni la facoltà di imporre o meno l'obbligo della normativa.

Il Comune di Castel Giorgio risulta classificato in zona "3".

Rispetto alla classificazione sismica del comune di Castel Giorgio ed in base alla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (O.P.C.M. 28/04/2006 n.3519), il range di accelerazione

massima del suolo, con probabile eccedenza del 10% in 50 anni, nell'area in studio è compresa tra 0.05 e 0.15 g (Tabella 9-1).

	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche, ag/g)
1	>0.25	0.35
2	0.15 □ 0.25	0.25
3	0.05 □ 0.15	0.15
4	<0.05	0.05

Tabella 9-1 Valori di accelerazione massima del suolo ag con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s

9.2 Sismicità storica

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, si riporta di seguito un riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente il Comune di Castel Giorgio.

Nello specifico, le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del DBMI15 (Locati et al., 2016), il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 (Rovida et al., 2016, consultabile on-line al sito <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

Nella successiva tabella sono indicati con i seguenti simboli: Is = intensità in sito (MCS);

Anno = anno Me = mese Gi = giorno Or = ora;

NMDP = numero di osservazioni

macrosismiche del terremoto; Io = intensità massima (MCS);

Mw = magnitudo momento.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1901	01	19	05	15		Orvieto	6	5	4.16
NF	1954	03	23	17	55		Collestatte	20	5	4.16
7-8	1957	12	06	04	54		Orvietano	63	7	4.97
NF	1970	05	25	12	56		Ternano	17	5	4.35
NF	1971	02	06	18	09		Tuscania	89	7-8	4.83
NF	1971	02	11	18	49	2	Valle del Chiascio	71	6	4.61
4	1979	09	19	21	35	3	Valnerina	694	8-9	5.83
NF	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
NF	1985	09	09	04	45	2	Orvietano	20	4-5	3.81
5	1992	02	07	23	17	5	Monti Volsini	34	5	3.76
5	1993	06	05	19	16	1	Valle del Topino	326	6	4.72
4-5	1994	02	09	21	49	1	Val di Paglia	27	4-5	3.55
3-4	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
4-5	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
4-5	1997	10	03	08	55	2	Appennino umbro-marchigiano	490		5.22
NF	1997	10	06	23	24	5	Appennino umbro-marchigiano	437		5.47
4-5	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62
4	2000	04	01	18	08	0	Monte Amiata	68	6	4.52
NF	2005	12	15	13	28	3	Val Nerina	350	5	4.14

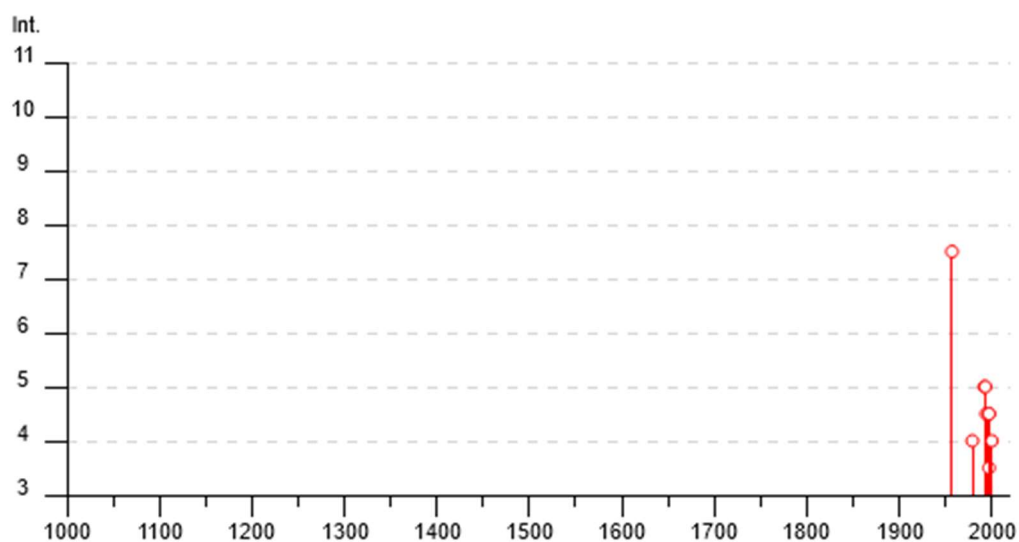


Figura 9-2 Storia sismica del Comune di Castel Giorgio.

9.3 Sorgenti sismogenetiche

Recentemente è stata presentata la nuova versione (vers. 3.3.0) del database “*A compilation of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*” (<https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>), inizialmente divulgato in forma preliminare nel luglio

2000 come versione 1.0 e quindi pubblicato nel 2001 come versione 2.0 (Valensise & Pantosti, 2001).

Il Database contiene sorgenti sismogenetiche individuali e composite ritenute in grado di generare grandi terremoti. La nuova versione del Database contiene oltre 100 sorgenti sismogenetiche identificate attraverso studi geologico-geofisici (70% in più rispetto alla precedente versione). Tali sorgenti ricadono sull'intero territorio italiano e su alcune regioni confinanti.

L'assetto di queste sorgenti fornisce informazioni sull'andamento dei maggiori sistemi di faglie attive, consentendo in alcuni casi di individuare aree di potenziale gap sismico.

Obiettivo del Database è quello di rendere quanto più possibile completa l'informazione sulle sorgenti sismogenetiche potenziali del territorio nazionale; per questa ragione, oltre ad un numero maggiore di sorgenti individuali, viene proposta una forma di rappresentazione e caratterizzazione di tutte le aree che, pur essendo certamente in grado di generare forti terremoti, sono ancora poco comprese. È stata pertanto istituita una nuova categoria di aree sismogenetiche per le quali, in analogia con quanto proposto dalla nuova zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti & Valensise, 2004), viene fornita la localizzazione geografica, la stima del meccanismo di fagliazione, la profondità efficace e la magnitudo massima attesa.

Dall'esame del Database, il sito in esame non è in prossimità di nessuna zona sismogenetica.

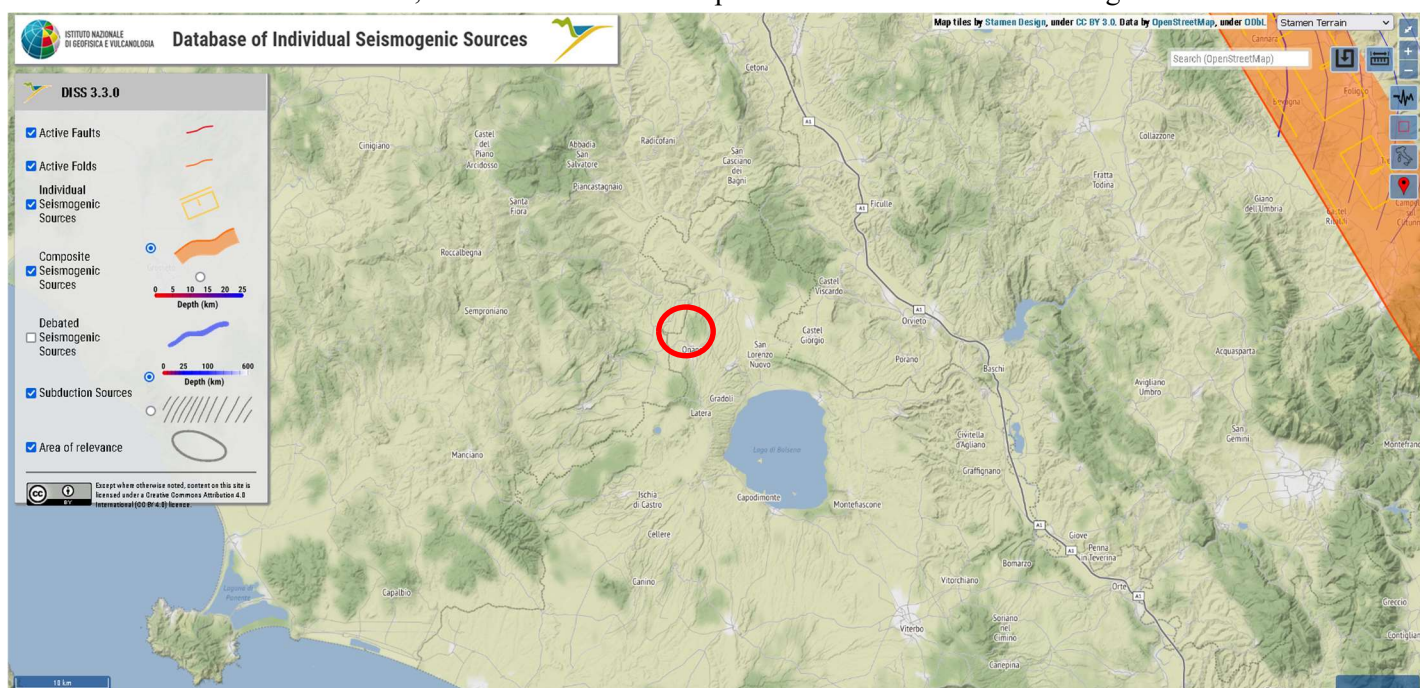


Figura 9-3 Sorgenti sismogenetiche contenute nella nuova versione del “Database of Potential Sources or Earthquakes larger than M 5.5 in Italy” per l’area in oggetto.

9.4 Magnitudo di riferimento

Sulla base delle originali elaborazioni relative alla definizione delle sorgenti sismogenetiche (DISS2.0-2001) è stato elaborato un modello sintetico che descrive la localizzazione delle sorgenti di futuri terremoti, la magnitudo massima che questi potranno raggiungere ed i rate di sismicità attesa zona per zona. Questo modello, che si pone come base per la redazione della carta di pericolosità sismica è rappresentato dalla mappa delle zone sismogenetiche ZS9 (Meletti & Valensise, 2004).

In base alla zonazione sismogenetica ZS9 del territorio nazionale, la sismicità in Italia può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una legge di ricorrenza della magnitudo, espressa in termini di magnitudo momento M_w .

Nel caso di siti che ricadono al di fuori di tali zone si dovrà eseguire un'analisi accoppiata magnitudo distanza per il calcolo del valore di magnitudo in relazione alla distanza minima di ogni sito dalle zone sismogenetiche circostanti.

Il territorio in oggetto ricade all'interno della zona sismogenetica 921 "Etruria", caratterizzata da $M_w=5.91$ (Figura 9-4).

Appennino Emiliano-Romagn.	913		5.85	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Forlivese	914		5.97	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Garfagnana-Mugello	915	6.4	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60
Versilia-Chianti	916		5.52	5.45	5.45	+1(c)	5.68	+3(d)	6.14
Rimini-Ancona	917	6.1	5.94	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzz.	918		6.23	6.14	6.14	+1(a)	6.37	+1(a)	6.37
Appennino Umbro	919	6.0	6.33	6.37	6.37		6.37		6.37
Val di Chiana-Ciociaria	920		5.57	5.68	5.45	+1(h)	5.68	+3(d)	6.14
Etruria	921		5.91	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Colli Albani	922		5.53	5.45	5.45		5.45		5.45
Appennino Abruzzese	923	6.7	6.99	7.06	7.06		7.06		7.06
Molise-Gargano	924	6.7	6.73	6.83	6.83		6.83		6.83
Ofanto	925		6.72	6.83	6.83		6.83		6.83
Basento	926	5.8	5.84	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Sannio-Irpinia -Basilicata	927	6.8	6.96	7.06	7.06		7.06		7.06
Ischia-Vesuvio	928		5.78	5.68	5.68	+1(a)	5.91	+1(a)	5.91
Calabria Tirrenica	929	7.0	7.24	7.29	7.29		7.29		7.29
Calabria Ionica	930	6.0	6.60	6.60	6.60		6.60		6.60
Canale d'Otranto	931		6.90	6.83	6.83		6.83		6.83
Eolie-Patti	932	6.1	6.06	6.14	6.14		6.14		6.14
Sicilia settentrionale	933		5.89	5.91	5.91	+1(c)	6.14	+1(c)	6.14
Belice	934		6.12	6.14	6.14		6.14		6.14
Iblei	935		7.41	7.29	7.29		7.29		7.29
Etna	936		5.30	5.22	5.22	+1(a)	5.45	+1(a)	5.45

Figura 9-4 Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9.

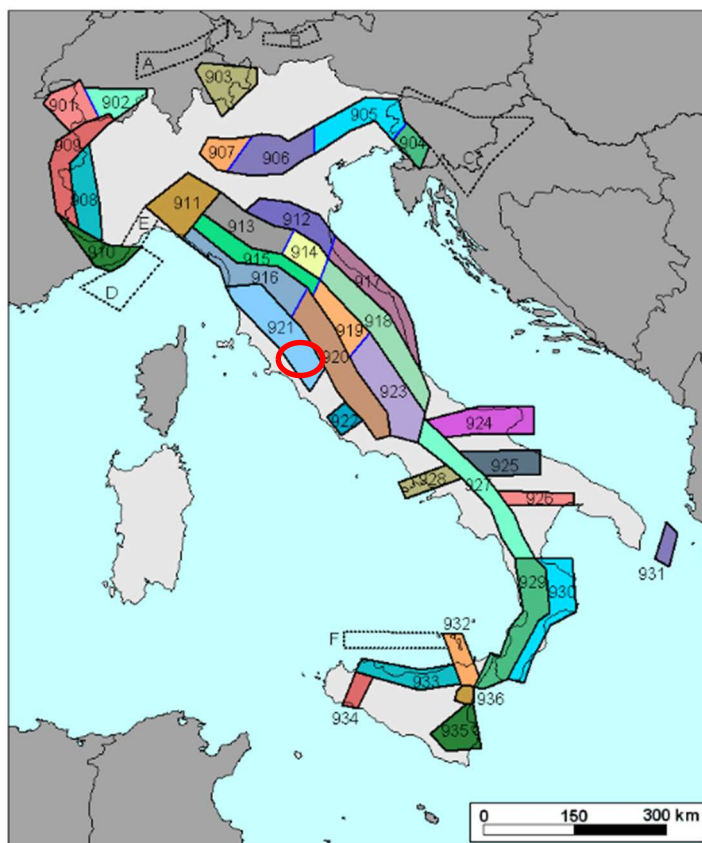


Figura 9-5 Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento.

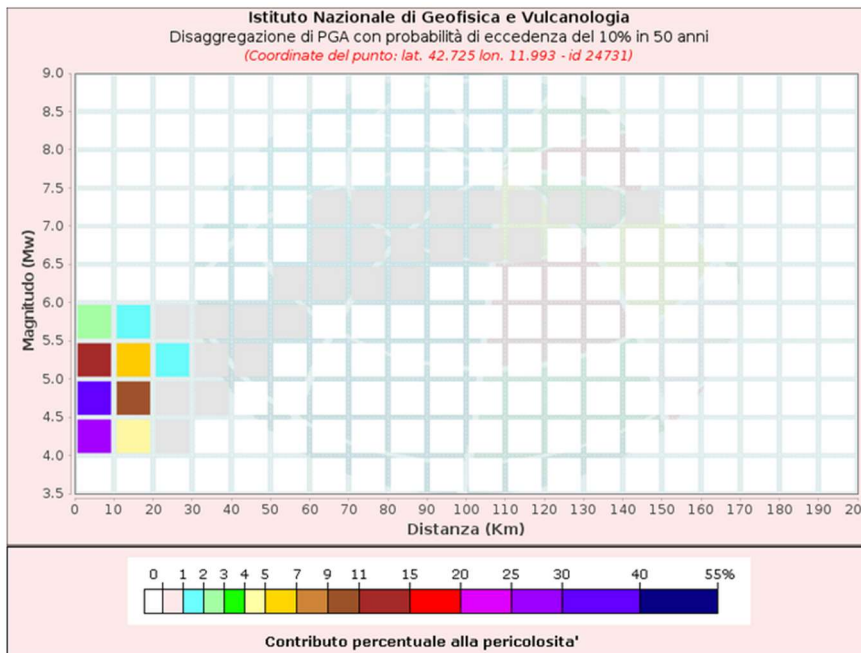
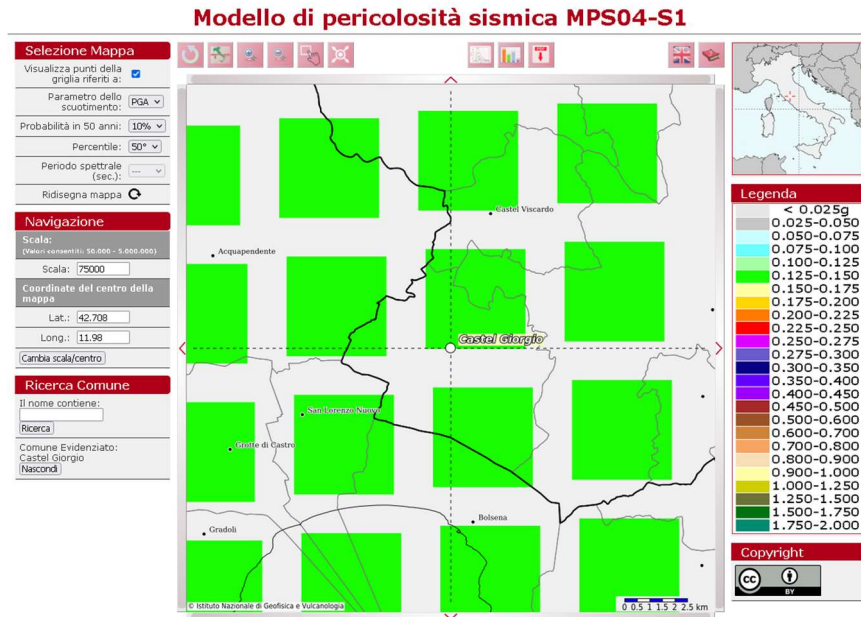


Figura 9-6 Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s) – da INGV.

Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza (Coordinate del punto: lat. 42.725 lon. 11.993 - id 24731)			
Frequenza annuale di eccedenza	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.1930	0.2292	0.2772
0.0010	0.1449	0.1790	0.2080
0.0021	0.1120	0.1445	0.1630
0.0050	0.0786	0.1075	0.1188
0.0071	0.0667	0.0937	0.1034
0.0099	0.0567	0.0823	0.0910
0.0139	0.0477	0.0722	0.0790
0.0199	0.0386	0.0620	0.0684
0.0332	0.0286	0.0506	0.0550

Figura 9.7 – Analisi di disaggregazione del dato di pericolosità al sito di progetto, da elaborazioni DPC-INGV S1 per TR = 475 anni.

Il risultato dell'analisi di disaggregazione della pericolosità sismica svolta per il punto di griglia più prossimo all'area di studio, mostra come siano dominanti terremoti con valori di magnitudo bassi (compresi tra 4.0 e 6.0) ed epicentro a distanza ridotta (0-20 km).

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, essendo le aree in oggetto localizzate in ambito di pianura e non essendovi particolari emergenze topografiche che possano dar luogo ad effetti di amplificazione sismica locale, le morfologie possono essere ricondotte ad una delle configurazioni superficiali semplici previste nel D.M. 17/01/2018 in Tabella 3.2.IV.

In particolare, i siti in oggetto possono essere classificati di categoria T1, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$ ", caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica $ST = 1,0$.

In aggiunta a quanto sopra riportato, le magnitudo massime delle sorgenti sismogenetiche identificate nel progetto DISS3.2.1 e i dati macrosismici, portano a considerare cautelativamente il valore di magnitudo per le verifiche a liquefazione a 6.

10 SINTESI DEGLI ASPETTI GEOLOGICI

A conclusione delle presenti note, vengono di seguito sintetizzati i principali elementi di potenziale criticità per le opere in progetto, che risultano direttamente connessi con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche che contraddistinguono l'area di studio.

10.1 Analisi geologico-tecniche

Per quanto concerne l'assetto litostratigrafico locale si è visto come nell'area in esame sono presenti principalmente coperture eluviali e colluviale composte da prodotti di disfacimento delle formazioni piroclastiche e colate di leucitite e di terfite.

10.2 Analisi delle cartografie geomorfologiche e idrauliche (P.A.I. e P.S.D.A)

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) ha valore di piano territoriale di settore e rappresenta lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale l'Autorità di Bacino, nell'ambito del territorio di propria competenza, pianifica e programma le azioni e le norme d'uso finalizzate a minimizzare i possibili danni connessi ai rischi idrogeologici, per la tutela e la

difesa delle popolazioni, degli insediamenti, delle infrastrutture, del suolo e del sottosuolo e lo sviluppo compatibile delle attività future.

In particolare, il PAI riguarda sia l'assetto geomorfologico, relativo alla dinamica dei versanti e al pericolo di frana e di valanga, sia l'assetto idraulico, relativo alla dinamica dei corsi d'acqua e al pericolo d'inondazione, nonché la definizione delle esigenze di manutenzione, completamento ed integrazione dei sistemi di difesa esistenti in funzione del grado di sicurezza compatibile e del loro livello di efficienza ed efficacia. Il PAI è fortemente correlato con tutti gli altri aspetti della pianificazione e della tutela delle acque, nonché della programmazione degli interventi prioritari.

Le prescrizioni contenute nel PAI approvato, ai sensi dell'art. 17, comma 5 della L. 18 maggio 1989, n. 183 e ss.mm.ii., hanno carattere immediatamente vincolante per le Amministrazioni e per gli Enti Pubblici, nonché per i soggetti privati. Il territorio d'esame è attualmente ricompreso nei seguenti distretti idrografici:

- Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale, relativamente alla limitata porzione del territorio dell'ex Autorità Bacino Idrografico del fiume Fiora (bacino interregionale);
- Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale, che interessa la maggior parte del territorio regionale compreso nei bacini idrografici dell'ex Autorità di Bacino del fiume Tevere (bacino nazionale), dell'ex Autorità di Bacino del fiume Tronto (bacino interregionale) nonché dell'ex Autorità dei Bacini Regionali;
- Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale, relativamente al bacino idrografico dei fiumi Liri-Garigliano (bacino nazionale).

Nelle aree classificate a pericolosità e a rischio idraulico e di frana, le normative attuative definiscono i livelli di tutela e di salvaguardia relativi agli usi e alle attività di trasformazione di suolo ammissibili.

In considerazione sia del continuo mutare del quadro territoriale, in virtù del dinamismo della fenomenologia afferente al dissesto idrogeologico e dei connessi interventi di mitigazione e di messa in sicurezza, sia conseguentemente ad ulteriori approfondimenti conoscitivi di settore, l'Autorità di Bacino competente provvede alla successiva tempestiva corrispondenza tra il P.A.I. e le suddette dinamicità del territorio, mediante l'aggiornamento dei Piani stessi.

Per quanto riguarda l'area in esame, situata a nord del Comune di Castel Giorgio, è stato analizzato al PAI aggiornato distribuito tramite servizio WMS dove sono state analizzate la pericolosità geomorfologica, pericolosità idraulica ed il rischio.

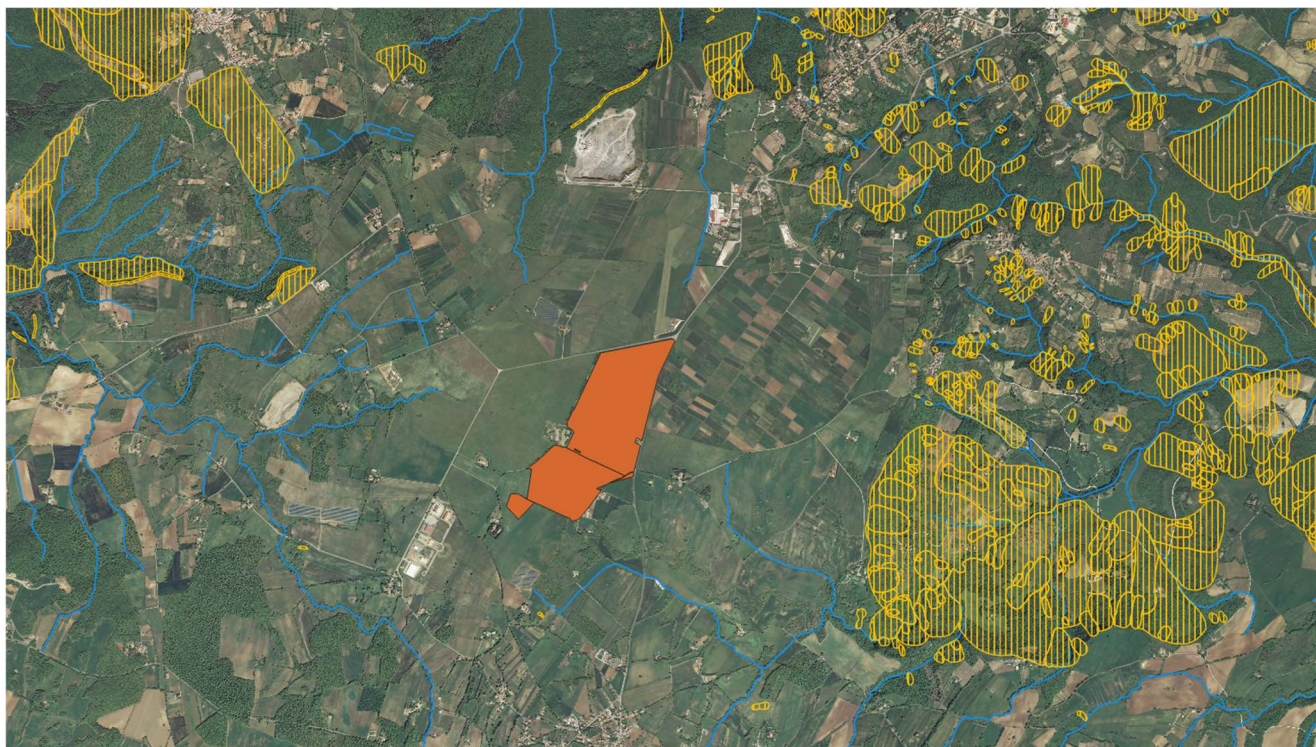


Figura 10-1 PAI stralcio carta Pericolosità Idrogeologica, perimetro in arancione l'area di studio

L'area in esame non ricade in nessuna zona classificata a rischio per quanto riguarda la Pericolosità Idrogeologica.

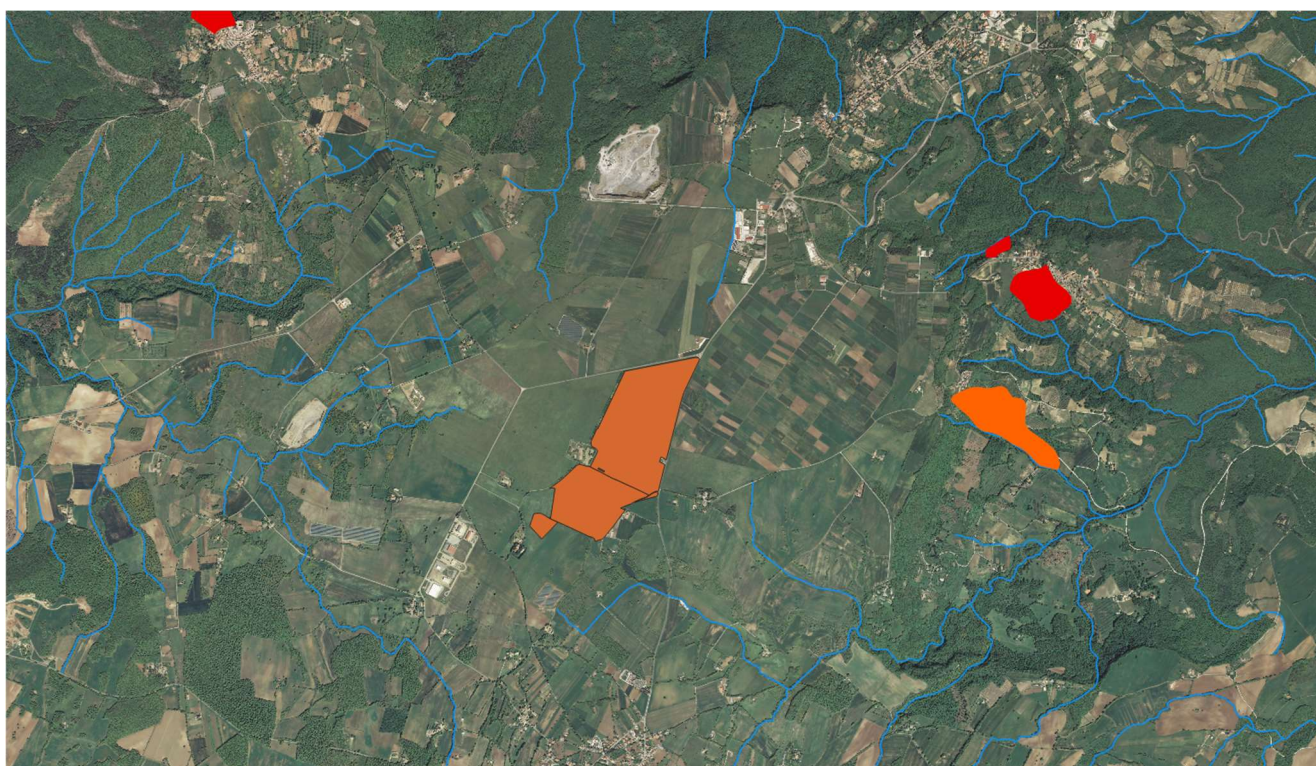


Figura 10-2 PAI stralcio della carta Rischio Idrogeologico, poligono arancione è l'area di studio.

Per quanto riguarda il Rischio Idrogeologico l'area in esame non ricade in nessuna porzione di territorio posta a vincolo.

10.3 Aspetti idrogeologici

Per quanto concerne gli aspetti connessi alla circolazione delle acque si ha la presenza di due diversi complessi idrogeologici, uno presente direttamente in entrambe le aree di progetto ed uno immediatamente adiacente all'area ad est che sono elencati in seguito dal più recente al più antico il Complesso dei depositi alluvionali (Pleistocene-Olocene), e quindi depositi alluvionali permeabili che per porosità ospitano in genere acquiferi a falda libera, raramente e localmente acquiferi in pressione e il complesso delle Colate laviche (Pleistocene) i quali costituiscono con i depositi piroclastici l'acquifero dell'apparato vulcanico Vulsino.

10.4 Suscettività alla liquefazione

La liquefazione è un particolare processo che causa la temporanea perdita di resistenza di un sedimento che si trova al di sotto del livello di falda, portandolo a comportarsi come un fluido viscoso a causa di un aumento della avviene, cioè, quando la pressione dei pori aumenta fino ad eguagliare la pressione inter-granulare.

L'incremento di pressione neutra è causato, principalmente, dalla progressiva diminuzione di volume che si registra in un materiale granulare sciolto o poco addensato soggetto alle azioni cicliche di un sisma. Ovviamente, per quanto detto in precedenza, sono suscettibili di liquefazione terreni granulari, da poco a mediamente addensati, aventi granulometria compresa tra le sabbie ed i limi, con contenuto in fine nullo o piuttosto basso. Tali terreni devono essere altresì posti al di sotto del livello di falda e a profondità relativamente basse, generalmente inferiori ai 15 m dal p.c..

Al fine di verificare la possibile suscettività a liquefazione dei terreni costituenti il sottosuolo del sito in esame sono state condotte una serie di analisi qualitative basate sia sugli studi bibliografici di maggior rilievo a livello internazionale. I metodi qualitativi si basano sulla conoscenza di parametri di studio come il contesto geologico-stratigrafico-geomorfologico, topografia dell'area e livello di falda. Esistono diversi criteri di classificazione in termini qualitativi, di seguito si riportano quelli più diffusi.

10.4.1 Analisi qualitative

I metodi qualitativi si basano sulla conoscenza di parametri di studio come il contesto geologico-stratigrafico- geomorfologico, topografia dell'area e livello di falda. Esistono diversi criteri di classificazione in termini qualitativi, di seguito si riportano quelli più diffusi.

Classe	Unità geomorfologica	Potenziale di liquefazione
A	Letti di fiumi recenti, paleovalvei, paludi, zone bonificate, zone interdunari.	Probabile
B	Conoidi, argini naturali, dune di sabbia, pianure di esondazione, spiagge, altre pianure.	Possibile
C	Terrazzi, colline, montagne.	Non probabile

Figura 10-3 Unità geomorfologiche e suscettività alla liquefazione (Iawasaki e al., 1982), tratta da “La liquefazione deiterreni” Giulio Riga, 2007 – Dario Flaccovio Editore.

Fattore	Peso	Suscettibilità alla liquefazione				
		Molto alta	Alta	Media	Bassa	Molto bassa
Profondità del livello della falda	Molto importante	< 1,5 m	< 1,5 - 3 m	3 - 6 m	6 - 10 m	> 10,0
Dimensione dei grani	Molto importante	0,075 - 1 mm	1 - 3 mm	> 3 mm	< 0,075 mm	-
Profondità del deposito	Molto importante	1,5 - 3 m	3 - 6 m	6 - 10 m	< 1,5 m	> 10 m
Strato ricoprente	Molto importante	-	-	Ricoprimento buono	Ricoprimento discreto	Ricoprimento assente
Età del deposito	Importante	< 500 anni	Tardo Olocene ⁽¹⁾	Olocene	Pleistocene ⁽²⁾	Pre-Pleistocene
Spessore dello strato liquefacibile	Importante	> 2 m	1,2 - 2,5 m	0,6 - 1,2 m	< 0,6 m	-

Note: ⁽¹⁾ ≤ 10.000 anni; ⁽²⁾ 10.000 - 1,6 milioni di anni

Figura 10-4 Fattori, pesi e criterio per valutare la suscettività alla liquefazione di un sito (Juang e Elton, 1991), tratta da “La liquefazione dei terreni” Giulio Riga, 2007 – Dario Flaccovio Editore.

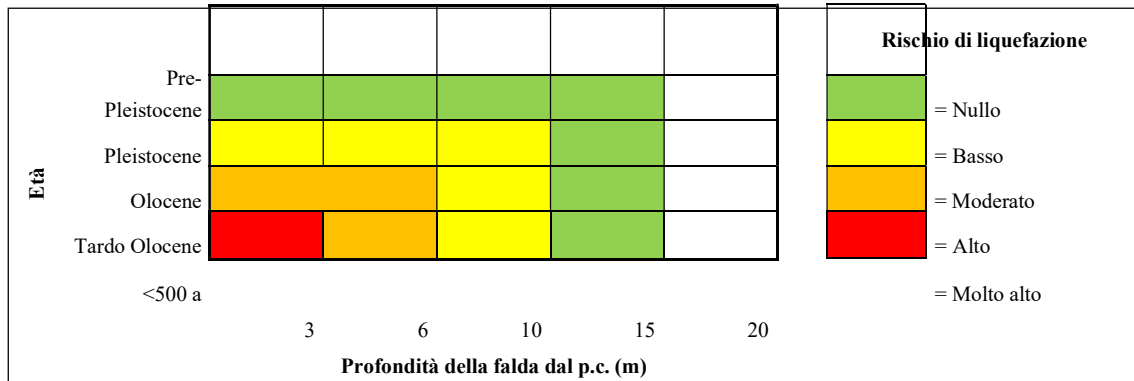


Tabella 10-1 Rischio liquefazione in funzione dell'età del deposito e della profondità della falda, tratta da “La liquefazione dei terreni” Giulio Riga, 2007, ridisegnata – Dario Flaccovio Editore.

Età del deposito	Profondità della falda dal p.c. (m)		
	0-3 m	3-10 m	> 10 m
Tardo Olocene	Alta	Bassa	Nulla
Primo Olocene	Moderata	Bassa	Nulla

	er	s	l
	at	s	l
	a	a	a
Tardo	Ba	N	N
Pleistocene	ss	u	u
	a	l	l
		l	l
		a	a

Tabella 10-2 Suscettività alla liquefazione (Obermeier, 1996), tratta da “La liquefazione dei terreni” Giulio Riga, 2007 –Dario Flaccovio Editore.

10.4.2 Potenziale di liquefazione

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto in esame deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate (NTC 2018 7.11.3.4).

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

Le analisi qualitative in questione sono state condotte, pertanto, in riferimento alle caratteristiche geologiche e stratigrafiche dell’area di intervento. In tal modo, sono state condotte una serie di valutazioni speditive e di carattere puramente qualitativo circa la possibilità di liquefazione dei terreni interessati il sottosuolo del sito. Sulla base dei dati stratigrafici dedotti dalle prove eseguite, dei criteri riportati, che considerano la genesi, la natura e l’età assoluta dei depositi, risulta che in assenza di una vera e propria falda idrica e per la natura prevalentemente argillosa dei terreni presenti nell’area di riferimento, essi sono poco suscettibili alla liquefazione. Tale considerazione deriva, in particolare, sia dalle condizioni geologiche e stratigrafiche dell’area in esame che dall’assenza di una circolazione idrica posta entro i primi 15 m dal piano campagna.

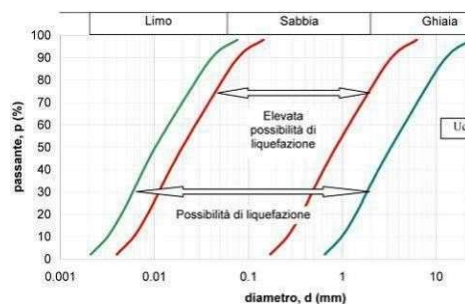
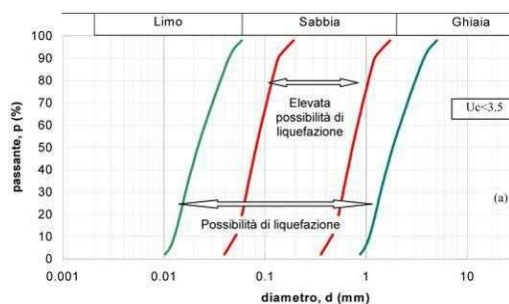
In relazione alla diffusa presenza di depositi alluvionali, transizionali e marini caratterizzati di frequente da una granulometria sabbiosa e sabbioso-limosa, di età compresa tra il Pleistocene medio-superiore e l’Olocene-Attuale, alcuni settori specifici della piana ove ricade il sito in esame, possono essere considerati come potenzialmente liquefacibili nel caso di terremoti di una certa intensità. I depositi più antichi presentano una bassa o nulla suscettività alla liquefazione, mentre i depositi recenti ed attuali presentano una suscettività variabile da moderata ad alta. Tali considerazioni valgono ovviamente per i terreni granulari con limitato contenuto della frazione ghiaiosa, mentre non valgono per gli orizzonti prevalentemente pelitici che localmente si rinvencono in queste unità.

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 (N1)60 > 30

oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)60$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura n. 18 e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in figura n. 19 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



a)

b)

Dal momento che nel sito, secondo indagini bibliografiche la falda si trova generalmente dopo i 15 metri di profondità ed i terreni fino a tale profondità sono prevalentemente coesivi e/o ghiaiosi, la verifica a liquefazione può essere omessa.

11 CONCLUSIONI

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica, di compatibilità geomorfologica idraulica e sismica di un impianto fotovoltaico situato in una porzione di territorio a nord del centro abitato di Castel Giorgio (Umbria).

Dal punto di vista geologico e stratigrafico nell'area in esame si ha di due unità geologiche quella riferita alle coperture eluviali e colluviale composte da prodotti di disfacimento delle formazioni piroclastiche e colate di leucitite e di terfite.

Dal punto di vista geomorfologico il terreno dall'area di progetto si sviluppa a nord del centro abitato di Castel Giorgio in un'area prevalentemente agricola e pianeggiante.

Dal punto di vista sismico il sito risulta classificato in zona sismica 3 (Bassa Sismicità), zona con pericolosità sismica bassa che può essere soggetta a scuotimenti modesti. La zona 3 indica un valore dell'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico a_g compreso tra $0,05 > a_g > 0,15$ g (dove g è l'accelerazione di gravità).

Per quanto concerne l'inquadramento idrogeologico sono stati definiti e riportati nel paragrafo dedicato i complessi idrogeologici e definito l'acquifero relativo all'area di studio.

Dall'analisi della cartografia del PAI vigente il sito in esame per quanto riguarda si è osservato che secondo la Carta del Pericolo Idrogeologico e del Rischio, l'area in esame non ricade in nessuna zona delimitata a rischio o pericolosità.

12 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- 12.1 Alvarez W. (1999) - *Drainage on evolving fold-thrust belts: a study of transverse canyons in the Apennines*. Basin Research, 11: 267-284
- 12.2 Ascione A. & Cinque A. (1999) - *Tectonics and erosion in the long term relief History of the Southern Apennines (Italy)*. Zeitschrift für Geomorphologie. N.F., 118: 1-16.
- 12.3 Aucelli P.P.C., Roskopf C. (2000) - *Last Century valley floor modifications of the Trigno river (S. Italy): A preliminary report*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 23: 105-115.
- 12.4 Autorità dei Bacini Regionali (2010) - *Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico dei bacini di rilievo regionale abruzzesi e del bacino interregionale del Fiume Sangro*. Regione Abruzzo - direzione territorio urbanistica, beni ambientali, parchi, politiche e gestione dei bacini idrografici - servizio gestione etutela della risorsa suolo.
- 12.5 Bally A.W., Burbi L., Cooper C. & Ghelardoni R. (1986) – *Balanced sections and seismic reflection profiles across the central Apennines*. Mem. soc. geol. It., 35, 257-310.
- 12.6 Beltrando M., Peccerillo A., Mattei M., Conticelli S. & Doglioni, C. (2010) - *The Geology of Italy: tectonics and life along plate margins*. Journal of the Virtual Explorer, 36, ISSN 1441–8142.
- 12.7 Ben-Avraham Z., Boccaletti M., Cello G., Grasso M., Lentini F., Torelli L. & Tortorici L. (1990) - *Principali domini strutturali originatisi della collisione Neogenico-Quaternaria nel Mediterraneo centrale*. Memorie Società Geologica Italiana, 45: 453-462.
- 12.8 Bigi S., Cantalamessa G., Centamore E., Didaskalu P., Dramis F., Farabollini P., Genitli B., Invernizi C., Micarelli A., Nisio S., Pambianchi G. & Potetti M. (1995) - *La fascia periadriatica marchigiano-abruzzese dal Pliocene medio ai tempi attuali: evoluzione tettonico-sedimentaria e geomorfologica*. In: Studi Geologici Camerti, volume speciale I: 37-49, Camerino.
- 12.9 Bigi S., Centamore E. & Nisio S. (1997) - *Caratteri geologico-strutturali dell'area pedeappenninica marchigiano-abruzzese durante il pleistocene*. Studi Geologici Camerti, XIV: 193-200.
- 12.10 Bigi S., Cosentino D., Parotto M., Sartori R., Scandone P. (1992) - *Structural model of Italy. Scale 1:500000*. CNR - Progetto Finalizzato Geodinamica: 114.
- 12.11 Boccaletti M., Calamita F., Centamore E., Chicocchini U., Deiana G., Micarelli A., Moratti G., Potetti M. (1986) - *Evoluzione dell'Appennino tosco-umbro-marchigiano durante il Neogene*. Giornale di Geologia, 48(1-2), 227-233, Bologna.
- 12.12 Boccaletti M., Ciaranfi N., Cosentino D., Deiana G., Gelati R., Lentini F., Massari F., Moratti G., Pescatore T., Ricci Lucchi F., Tortorici L. (1990) - *Palinspastic restoration and paleogeographic reconstruction of the peri-Tyrrhenian area during the Neogene*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 77: 41-50.
- 12.13 Bolis G., Carruba S., Casnedi R., Perotti C.R., Ravaglia A., Tornaghi M. (2003) - *Compressional tectonics overprinting extensional structures in the Abruzzo Periadriatic Foredeep (Central Italy) during Pliocene times*. Boll. Soc. Geol. It., 122: 251-266, Roma.
- 12.14 Calamita F., Deiana G., Invernizzi C. & Pizzi A. (1991) – *Tettonica*. Da “L'ambiente fisico delle Marche”, Regione Marche, Assessorato urbanistica. Ed. S.E.L.C.A., pp. 69 - 79
- 12.15 Calamita F., Scisciani V., Montefalcone R., Paltrinieri W. & Pizzi A. (2002) - *L'ereditarietà del paleomargine dell'Adria nella geometria del sistema orogenico centro-appenninico: l'area abruzzese esterna*. Memorie Società Geologica Italiana, 57 (1): 355 – 368.
- 12.16 Cantalamessa G. & Di Gelma C. (2004) – *Sequence response to syndepositional regional uplift: insights from high-resolution sequence stratigraphy of late Early Pleistocene strata, Periadriatic Basin, central Italy*. Sedimentary Geology, 164 (3-4): 283-309.

- 12.17 Castiglioni B. (1935) - *Ricerche morfologiche nei terreni pliocenici dell'Italia centrale*. Pubblicazioni dell'Istituto di Geografia della R. Università di Roma, serie A, n°4, 1-81, Roma.
- 12.18 Centamore E. & Nisio S. (2003) - *Effects of uplift and tilting in the Central-Northern Apennines (Italy)*. In: Bartolini C. (ed.): Uplift and erosion: driving processes and resulting landforms, International workshop, Siena, September 20 - 21, 2001. Quaternary International, 101-102C: 93-101.
- 12.19 Centamore E., Cantalamessa G., Micarelli A., Potetti M., Berti D., Bigi S., Morelli C. & Ridolfi M. (1992)
- 12.19.1 *Stratigrafia e analisi di facies dei depositi del Miocene e del Pliocene inferiore dell'avanfossa marchigiano-abruzzese e delle zone limitrofe*. In - Studi preliminari all'acquisizione dati del profilo CROP 11 Civitavecchia -Vasto. a cura di Tozzi M., Cavinato G.P., Parotto M., Studi Geologici Camerti, vol. spec.1991/2: 125-131, Camerino.
- 12.20 Cipollari P., Cosentino D. & Parotto M. (1997) - *Modello cinematico –strutturale dell'Italia centrale*. StudiGeologici Camerti, vol. spe. 1995/2: 135-144, Camerino.
- 12.21 Cosentino D. & Parotto M. (1991) – *La struttura a falde della Sabina (Appennino centrale)*. StudiGeologici Camerti, Vol. Spec. Crop11, 381-387.
- 12.22 Crescenti (1971) – *Sul limite Micoene-Pliocene in Italia*. Geologica Romana X, 1-22, 3 figg.
- 12.23 Crescenti U., D' Amato C., Balduzzi A., Tonna M. (1980) - *Il Plio-Pleistocene del sottosuolo abruzzese- marchigiano tra Ascoli Piceno e Pescara*. Geol. Romana, 19, 63-84.
- 12.24 D'Alessandro L., Miccadei E. & Piacentini T. (2003) – *Morphostructural elements of central-eastern Abruzzi contributions to the study of the role of tectonics on the morphogenesis of the Apennine chain*. In- "Uplift and erosion– driving processes and resulting landforms". Quaternary International, 101-102: 115- 124, Elsevier Science Ltd and INQUA, Oxford U.K.
- 12.25 D'Alessandro L., Del Sordo L., Buccolini M., Miccadei E., Urbani A. (2007) - *Rapporto sulle frane in Italia*. Il Progetto IFFI. Risultati, elaborazioni, e rapporti regionali. Regione Abruzzo (Cap.18). Rapporti APAT 78/2007, 464 – 497.
- 12.26 Della Seta M., Del Monte M., Fredi P., Miccadei E., Nesci O., Piambianchi G., Piacentini T. & Troiani F. (2008) - *Morphotectonic evolution of the Adriatic piedmont of the Apennines: an advancement in the knowledge of the Marche-Abruzzo border area*. In: P. G. Silva, F.A. Audemard and A. E. Mather Eds. "Impact of active tectonics and uplift on fluvial landscapes and drainage development". Geomorphology, 102: 119–129, Elsevier B.V.
- 12.27 Demangeot, J. (1965) - *Geomorphologie des Abruzzes Adriatiques*. Centre de Reserches et Documentation Cartographiques et Geographiques. Memoires et Documentes. 1-403.
- 12.28 Desiderio G., Ferracuti L., Rusi S. (2007) - *Structural-Stratigraphic Setting of Middle Adriatic Alluvial Plains and its Control on Quantitative and Qualitative Groundwater Circulation*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia. 2007.
- 12.29 Desiderio G., Nanni T., Rusi S. (2001) - *La Pianura alluvionale del Fiume Pescara (Abruzzo): idrogeologia e vulnerabilità dell'acquifero*. Mem. Soc. Geol. It., 56, 197-212, Roma.
- 12.30 Donzelli G. (1968) – *Studio geologico della Majella*. In: Studio della Majella, Un. G. D'Annunzio, Dipartimento di Scienze della Terra (Ed.) 1997, 49 pp.
- 12.31 Dramis F. (1992) - *Il ruolo dei sollevamenti tettonici a largo raggio nella genesi del rilievo appenninico*. Studi Geologici Camerti, Volume Speciale, 1992/1: 9-15.
- 12.32 Frepoli A. & Amato A. (1997) - *Contemporaneous extension and compression in the northern Apennines from earthquake fault-plane solutions*. Geophys. J. Int., 129, 368-388.
- 12.33 Ghisetti F. & Vezzani L. (2002) – *Normal faulting, extension and uplift in the outer thrust belt of central Apennines (Italy): role of the Caramanico Terme fault*. Basin Research, 14,225-236

pp.

- 12.34** ISPRA (2010a) - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 361 "Chieti". Servizio Geologico d'Italia, Roma. Estratto da http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/361_CHIETI/Foglio.html
- 12.35** ISPRA (2010b) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 361 "Chieti". Servizio Geologico d'Italia, Roma. Estratto da http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/361_CHIETI/Foglio.html
- 12.36** 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>.
- 12.37** Lipparini T. (1939) - *I terrazzi fluviali delle Marche*. Giornale di Geologia, serie II, 13: 5-22.
- 12.38** Manzo C. (2008) – *Riduzione del trasporto solido fluviale e modificazioni della linea di riva tra le foci del Vomano e del Pescara: trend storico recente*. Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences 21(1B), 2008 - 193-206.
- 12.39** Meletti C. & Valensise G. (2004) - *Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20/03/2003 n.3274) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Zonazione sismogenetica ZS9, App.2 al Rapporto Conclusivo*.
- 12.40** Miccadei E., Mascioli F., Piacentini T. & Ricci F. (2011a) – *Geomorphological features of coastal dunes along the Central Adriatic Coast (Abruzzo, Italy)*. Journal of Coastal Research, 27 (6): 1122-1136. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.
- 12.41** Miccadei E., Piacentini T., Marsala V. & Esposito G. (2011b) - *Il dissesto geomorfologico indotto dalle precipitazioni negli eventi meteorici critici degli ultimi dieci anni in Abruzzo (Italia Centrale)*. Geologia tecnica e ambientale, 1-2011: 44-65.
- 12.42** Mostardini F. & Merlini S. (1986) - *Appennino centro-meridionale. Sezioni geologiche e proposta di modello strutturale*. Mem. Soc. Geol. It., 35(1), 177-202.
- 12.43** Nanni T., Desiderio G., Folchi Vici C., Petitta M., Ruggieri G., Rusi S., Tallini M., Vivalda P.M. (2011) - *Schema Idrogeologico dell'Italia centro-adriatica. (Ed. T. Nanni) Scala 1:250.000*. ISBN 9788890652912
- 12.44** Nisio S. (1997) - *Evoluzione geologica e morfotettonica dell'area compresa tra il Gran Sasso ed il Mare Adriatico*. Geol. Romana, 33, 13-27, Roma.
- 12.45** Ori G.G., Serafini G., Visentin F., Ricci Lucchi F., Casnedi R., Colalongo M.L. & Mosna S. (1991) - *The pliocene-pleistocene Adriatic foredeep (Marche and Abruzzo, Italy): an integrated approach to surface and subsurface geology*. In: Third Conference of the European Association of Petroleum Geology, May 1991, Adriatic Foredeep Field Trip Guide Book, 85 pp., Florence, Italy.
- 12.46** PAI (2005) – *Carta geomorfologica in scala 1:25.000, Quadrante 361O. Autorità dei bacini Regionali e Interregionali del Fiume Sangro: Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini di Rilievo Regionale Abruzzesi e del Bacino del Fiume Sangro*. (L.R. 18.05 1989 n.81 e L. 24.08.2001)
- 12.47** PAI (2010) – *Carta della pericolosità in scala 1:25.000, Quadrante 361O. Autorità dei bacini Regionali e Interregionali del Fiume Sangro: Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini di Rilievo Regionale Abruzzesi e del Bacino del Fiume Sangro*. (L.R. 18.05 1989 n.81 e L. 24.08.2001)
- 12.48** Parlagraeco L., Mascioli F., Miccadei E., Antonioli F., Gianolla D., Devoti S., Leoni G. & Silenzi S. (2011)

- 12.48.1** *New data on Holocene relative sea level along the Abruzzo coast (central Adriatic, Italy)*. Quaternary International, 232, 179-186, Elsevier B.V.
- 12.49** Parotto M. & Praturlon A. (1975) - *Geological summary of the Central Apennines*. Quad. De "La ricerca Scientifica", 90: 257-311. C.N.R., Roma.
- 12.50** Parotto M. & Praturlon A. (2004) - *The southern Apennine arc*. In: Geology of Italy. Special Volume of the Italian Geological Society for the IGC 32 Florence, 53-58.
- 12.51** Patacca E. & Scandone P., (1989) - *Post-Tortonian mountain building in the Apennines, the role of the passive sinking of a relic lithospheric slab*. In: *The Lithosphere in Italy - Advances in Earth Science Research*. Atti dei convegni Lincei 80: 157-176.
- 12.52** Patacca E. & Scandone P. (2004) - *The 1627 Gargano earthquake (Southern Italy): Identification and characterization of the causative fault*. Journal of Seismology 8: 259-273.
- 12.53** Patacca E. & Scandone P. (2007) - *Geology of the Southern Apennines*. Bollettino della Società Geologica Italiana vol. spec. 7: 75-119.
- 12.54** Piacentini T. & Miccadei E. (2014) - *The role of drainage systems and intermontane basins in the Quaternary landscape of the Central Apennines chain (Italy)*. Rend. Fis. Acc. Lincei (2014) 25 (Suppl 2):S139–S150. DOI 10.1007/s12210-014-0312-2
- 12.55** Piacenti T., Urbano T. Sciarra M., Schipani I. & Miccadei E. (2016) - *Geomorphology of the floodplain at the confluence of the Aventino and Sangro rivers (Abruzzo, Central Italy)*. Journal of Maps, 12, 3, 443-461. DOI: <https://doi.org/10.1080/17445647.2015.1036139>
- 12.56** Piacentini T., Sciarra M., Miccadei E. & Urbano T. (2015) - *Near-surface deposits and hillslope evolution of the Adriatic piediment of the Central Apennines (Feltrino Stream basin and minor coastal basins, Abruzzo, Italy)*. Journal of Maps, 11, 2, 299-313. DOI: 10.1080/17445647.2014.949884.
- 12.57** Piano Tutela delle Acque (2010a) - *Carta dei Complessi Idrogeologici* (Elaborato 1-4). Elaborati di Piano adottati con DGR 614/2010. REGIONE ABRUZZO - SERVIZIO ACQUE E DEMANIO IDRICO. <http://www2.regione.abruzzo.it/pianoTutelaacque/index.asp?modello=elaboratiPiano&servizio=lista&stileDiv=elaboratiPiano>
- 12.58** Piano Tutela delle Acque (2010b) - *Carta della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento degli acquiferi* (Elaborato 5-4). Elaborati di Piano adottati con DGR 614/2010. REGIONE ABRUZZO - SERVIZIO ACQUE E DEMANIO IDRICO. <http://www2.regione.abruzzo.it/pianoTutelaacque/index.asp?modello=elaboratiPiano&servizio=lista&stileDiv=elaboratiPiano>
- 12.59** Pizzi A. (2003) - *Plio-Quaternary uplift rates in the outer zone of the Central Apennine fold-and-thrust-belt, Italy*. Quaternary International, 101-102: 229-237.
- 12.60** Pizzi A. & Scisciani V. (2000) - *Methods for determining the Pleistocene Holocene component of displacement on active faults reactivating pre Quaternary structures. Examples from the Central Apennines*. Journal Geodynamics, 29: 445-457.
- 12.61** Riga G. (2007) – *La liquefazione dei terreni: Analisi - Valutazione - Calcolo*. Manuale pratico alla luce delle nuove norme tecniche per le costruzioni. Dario Flaccovio Editore.
- 12.62** Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (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>.
- 12.63** Sciarra M., Coco L., Urbano L. (2017) - *Assessment and validation of GIS-based landslide susceptibility maps: a case study from Feltrino stream basin (Central Italy)*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 76:437–456. DOI 10.1007/s10064-016-0954-7.

- 12.64** Sciarra M. (2016) - *Analisi della suscettività da frana nella fascia pedemontana-collinare e costiera abruzzese*. Università “G. D’Annunzio” Chieti-Pescara, Scuola Superiore “G. D’Annunzio”. Dipartimento di Ingegneria e Geologia –Settore Scientifico Disciplinare GEO/04. Coordinatore Prof.sa Ing. N. Sciarra, Tutor Dott. T. Piacentini. Dottorato di Ricerca in “Progettazione ed Ingegneria del Sottosuolo e dell’Ambiente del Costruito”, Curriculum Engineering Geology and Environment – XXVIII Ciclo (2013- 2015).
- 12.65** Scisciani V., Bigi S., Rusciadelli G., Calamita F. & Paltrinieri W. (2000) - *The influence of syn-orogenic normal faults on Pliocene thrust system development: the Maiella structure (Central Apennines, Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., 55: 193-204, Roma.
- 12.66** SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA - SGI (1963) - *Foglio 141 Pescara della Carta Geologica d’Italia al 1:100.000 e relative note illustrative*. Rilevato da A. Alberti, T. Lipparini, G. Stampanoni, A. Zappelli. Roma.
- 12.67** Sonmez H. (2003) - *Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey)*. Environ. Geology 44(7), pp. 862–871.
- 12.68** Surian N., Rinaldi M., (2003) - *Morphological response to river engineering and management on alluvial channels in Italy*. Geomorphology 50: 307-326.
- 12.69** Urbano T. (2014-2016) - *Analisi morfotettonica del Bacino del Fiume Pescara*. Università “G. D’Annunzio” Chieti-Pescara, Scuola Superiore “G. D’Annunzio”. Dipartimento di Ingegneria e Geologia –Settore Scientifico Disciplinare GEO/04. Coordinatore Prof.sa I. Raffi, Tutor Dott. T. Piacentini. Dottorato di Ricerca in Architettura, Geologia, Ingegneria Civile, Curriculum Scienze della Terra e dei Pianeti – XXIX Ciclo.
- 12.70** Urbano T., Piacentini T. & Buccolini M. (2017) - *Morphotectonics of the Pescara River basin (CentralItaly)*. Journal of Maps, 13:2, 511-520, DOI: 10.1080/17445647.2017.1338204
- 12.71** Valensise G. & Pantosti D. (2001). The investigation of potential earthquake sources in peninsular Italy: a review, J. Seismol., 5, 287-306.
- 12.72** Vai G.B. & Martini I.P. (2001) - *Anatomy of an orogen: the Apennines and adjacent Mediterraneanbasins*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 632 pp.
- 12.73** Vezzani L. & Ghisetti F. (con la collaborazione di A. Bigozzi, U. Follador & R. Casnedi) (1997) - *Carta geologica dell’Abruzzo in scala 1:100.000*. S.E.L.C.A., Firenze.
- 12.74** Westway R. (1992) - *Seismic moment summation for historical earthquakes in Italy: tectonic implication*. JGeophys. Res. 97, 15,437-15, 415-464.