Firmato digitalmente da:
ALESSANDRO GIUSEPPE ARCHIMEDE VISALLI

REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

COMUNE DI PABILLONIS (SU)

Progettazione della Centrale Solare " Energia dell'olio sardo " da 52.557 kWp

Proponente: PACIFICO

Pacifico Lapislazzuli s.r.l.

Piazza Walther-von-der-Vogelweide,8 - 39100 (BZ)

Investitore agricolo superintensivo : OXY CAPITAL

OXY CAPITAL

Largo Donegani, 2 - 20121 Milano - Italia

Partner:

OLIO DANTE

Progettazione:

progetto verde
studio di architettura del paesaggio

AEDES GROUP
ENGINEERING

MARE RINNOVABILI

Titolo: Relazione geologica

N° Elaborato: 9

Cod: VR_05

Tipo di progetto:

- ○ RILIEVO
- ○ PRELIMINARE
- ● DEFINITIVO
- ○ ESECUTIVO

Progetto dell'inserimento paesaggistico e mitigazione

Progettista:
Agr. Fabrizio Cembalo Sambiase
Arch. Alessandro Visalli

Collaboratori:
Agr. Rosa Verde
Urb. Daniela Marrone
Arch. Anna Sirica

Progettazione elettrica e civile

Progettista:
Ing. Rolando Roberto
Ing. Marco Balzano

Collaboratori:
Ing. Simone Bonacini
Ing. Giselle Roberto

Progettazione oliveto superintensivo

Progettista:
Agr. Giuseppe Rutigliano

Consulenza geologia
Geol. Gaetano Ciccarelli

Consulenza archeologia
Archeol. Concetta Claudia Costa

Rev.	descrizione	data	formato	elaborato da	controllato da	approvato da
	Consegna	Luglio 2022	A4	Gaetano Ciccarelli	Alessandro Visalli	Fabrizio Cembalo Sambiase

Sommario

1 Premessa 3
2 Scopo del documento 4
3 Normativa di riferimento 4
4 Localizzazione geografica 6
5 Inquadramento geologico e tettonico regionale 7
5.1 Assetto litostratigrafico area di progetto 16
6 Inquadramento geomorfologico 19
7 Inquadramento idrogeologico 21
8 Rischio idraulico 23
9 Sismicità dell'area 27
9.1 Classificazione sismica e pericolosità sismica di base 27
9.2 Sismicità storica 28
9.3 Sorgenti sismogenetiche 30
9.4 Magnitudo di riferimento 31
10 Sintesi degli aspetti geologici 36
10.1 Analisi geologico-tecniche 36
10.2 Analisi delle cartografie geomorfologiche e idrauliche (P.A.I. e P.S.D.A) 36
10.3 Aspetti idrogeologici e rischio idraulico 40
10.4 Suscettività alla liquefazione 41
10.4.1 Analisi qualitative 41
10.4.2 Potenziale di liquefazione 43
11 Conclusioni 46
12 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 47

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 Pabillonis (Sardegna).

Il progetto in esame prevede la realizzazione di una centrale elettrica da 52,557 kWp di potenza "grid connected" (connessa alla rete) a tecnologia fotovoltaica nel Comune di Pabillonis, in Provincia Sud Sardegna denominata "Energia dell'Olio Sardo". Si tratta di una centrale a terra in un'area agricola di 80 ha (pari al 2,1 % della superficie comunale di 3.742 ha).

La centrale "Energia dell'Olio Sardo" sarà realizzata in assetto agrovoltaico e sarà accompagnata dalla realizzazione di un impianto olivicolo in assetto "superintensivo" realizzato e gestito da uno dei più importanti produttori di olio italiani e da una popolazione arborea di mitigazione e compensazione naturalistica di ca. 630 alberi e 5.000 arbusti. L'impianto produttivo olivicolo prevede l'impianto di 100.000 ulivi su 53 ettari netti utilizzati (67 % della superficie utilizzabile, mentre la superficie radiante fotovoltaica è il 19 %). Ai fini del calcolo del parametro "agrivoltaico" a questa va aggiunta la superficie della mitigazione di bordo, che è comunque agricola, e si arriva al 84% della superficie totale).

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 del reticolo idrico di superficie in funzione del rischio idraulico;

- 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.

L'impianto è proposto nel comune di Pabillonis, in Sardegna in Provincia di Sud Sardegna. Si tratta di un territorio a forte vocazione agricola, confermata dal progetto che inserisce un'attività produttiva olivicola di grande impatto e valenza economica. Insieme alla produzione fotovoltaica, necessaria per adempiere agli obblighi del paese, verranno infatti inseriti circa 100.000 alberi di olivo in assetto 'superintensivo' i quali occuperanno il 66 % del terreno lordo recintato (pari a ca 53 ettari). Solo il 11% sarà dedicata alla produzione fotovoltaica in modo esclusivo.

Complessivamente solo un quinto del terreno sarà interessato dalla proiezione zenitale dei pannelli fotovoltaici (tipicamente a metà giornata), mentre l'84% sarà impegnato o dall'uliveto produttivo o da mitigazioni e fasce di continuità ecologica (rispettivamente per 53 e 14 ettari, 100.600 alberi e 5.000 arbusti). L'intera superficie sarà protetta da prato permanente.

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 situata in una porzione di territorio localizzata a nord ovest del Comune di Pabillonis in provincia di Sud Sardegna. 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 225 "Guspini" della Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 ed è localizzata nella nuova cartografia a scala 1: 25.000 nelle sezioni 539-III e 547-IV.

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

Geograficamente l'area è individuata dalle seguenti coordinate:

- latitudine 39°36'30.38"N
- longitudine 8°41'42.59"E

5 Inquadramento geologico e tettonico regionale

In Sardegna sono presenti tre grandi complessi geologici: il basamento metamorfico paleozoico, il complesso intrusivo tardo-paleozoico, le coperture sedimentarie e vulcaniche tardo-paleozoiche, mesozoiche e cenozoiche.

L'area generale in cui è situato il sito in esame è costituita prevalentemente da sedimenti e subordinate vulcaniti di età cenozoica; solo nella parte SW affiorano originarie rocce sedimentarie paleozoiche deformate e variamente metamorfosate durante l'Orogenesi ercinica, intruse da rocce granitoidi appartenenti all'esteso plutone tardo-paleozoico dell'Arburese.

Basamento Metamorfico Paleozoico

Il basamento paleozoico sardo rappresenta un segmento della Catena ercinica sud-europea che in origine era verosimilmente in continuità col Massiccio Centrale Francese, i Mauri e la Montagna Nera (ARTHAUD & MATTE, 1977), prima del distacco e della deriva del Blocco sardo-corso nel Miocene Inferiore. In accordo con la maggior parte degli autori, la Catena ercinica si sarebbe evoluta mediante subduzione di crosta oceanica e metamorfismo di alta pressione a partire dal Siluriano e collisione continentale, con importante ispessimento crostale, metamorfismo e magmatismo, durante il Devoniano e il Carbonifero (MATTE, 1986a; 1986b; CARMIGNANI et alii, 1994b cum bibl.).

Nel segmento ercinico sardo la geometria collisionale della catena risulta ancora ben riconoscibile. Secondo CARMIGNANI et alii (1992c; 1994b; 2001c), il "Complesso metamorfico di alto grado" che affiora nella Sardegna settentrionale rappresenta il margine armoricano sovrascorso, mentre il "Complesso metamorfico di basso e medio grado", a sua volta suddiviso in Falde interne e Falde esterne ed affiorante nella Sardegna centrale, sud-orientale e, in parte, sud-occidentale, rappresenta il margine di Gondwana subdotto. I due complessi metamorfici sono separati dalla Linea di sutura Posada-Asinara, lungo la quale affiorano relitti di crosta oceanica (CAPPELLI, 1991). La fase collisionale è associata ad un metamorfismo prograd di pressione intermedia e grado variabile da S verso N dalla facies degli scisti verdi a quella anfibolitica,

quest'ultima sviluppata solo in prossimità della Linea Posada-Asinara; metamorfismo e deformazione aumentano poi di intensità passando dalle unità tettoniche geometricamente superiori a quelle inferiori.

Il basamento paleozoico del Foglio Villacidro fa parte delle Falde esterne. Esse affiorano tra la Barbagia e il Sulcis-Iglesiente e sono costituite da originarie successioni sedimentarie e vulcaniche di età compresa tra il Cambriano e il Carbonifero Inferiore. Queste falde si sono messe in posto con traslazione da NE verso SW nell'avanfossa della catena durante il Dinantiano. Il metamorfismo sin-cinematico delle Falde esterne varia dall'anchizona alla facies degli scisti verdi. Nelle Falde esterne, rocce metamorfiche in facies anfibolitica affiorano solo al M. Grighini (Oristanese), in corrispondenza della culminazione assiale di una pronunciata antiforme di falde (Antiforme del Flumendosa) diretta NW-SE, che si può riconoscere per una lunghezza di circa 100 km dal M. Grighini alla foce del fiume Flumendosa (Sarrabus).

La sezione più completa nelle Falde esterne è descritta nella bassa valle del Flumendosa (CARMIGNANI & PERTUSATI, 1977; CARMIGNANI et alii, 1978), dove affiora l'unità tettonica più profonda, l'Unità di Riu Gruppa, sottostante all'Unità del Gerrei, che a sua volta è sormontata, sul fianco settentrionale dell'antiforme, dall'Unità di Meana Sardo e, su quello meridionale, dall'Unità del Sarrabus. Queste unità tettoniche sono state impilate e deformate in un cuneo di accrezione radicato sotto le Falde interne, durante le fasi collisionali e di ispessimento crostale dell'Orogenesi ercinica.

Successivamente, durante il Carbonifero Superiore e il Permiano, un'importante tettonica distensiva post-collisionale si sovrappone alle strutture collisionali, portando all'esumazione delle metamorfiti ed alla messa in posto del "Complesso intrusivo tardo-paleozoico". Il basamento ercinico affiorante è rappresentato da rocce metamorfiche di anchizona-epizona appartenenti prevalentemente all'Unità tettonica dell'Arburese, alla Zona esterna dell'Iglesiente-Sulcis e all'Unità tettonica del Gerrei, che costituiscono tre domini con caratteristiche litostratigrafiche, strutturali e metamorfiche differenti. In questo Foglio è visibile l'accavallamento tettonico della Zona a falde (Unità dell'Arburese) sulla Zona esterna (Iglesiente-Sulcis) della Catena.

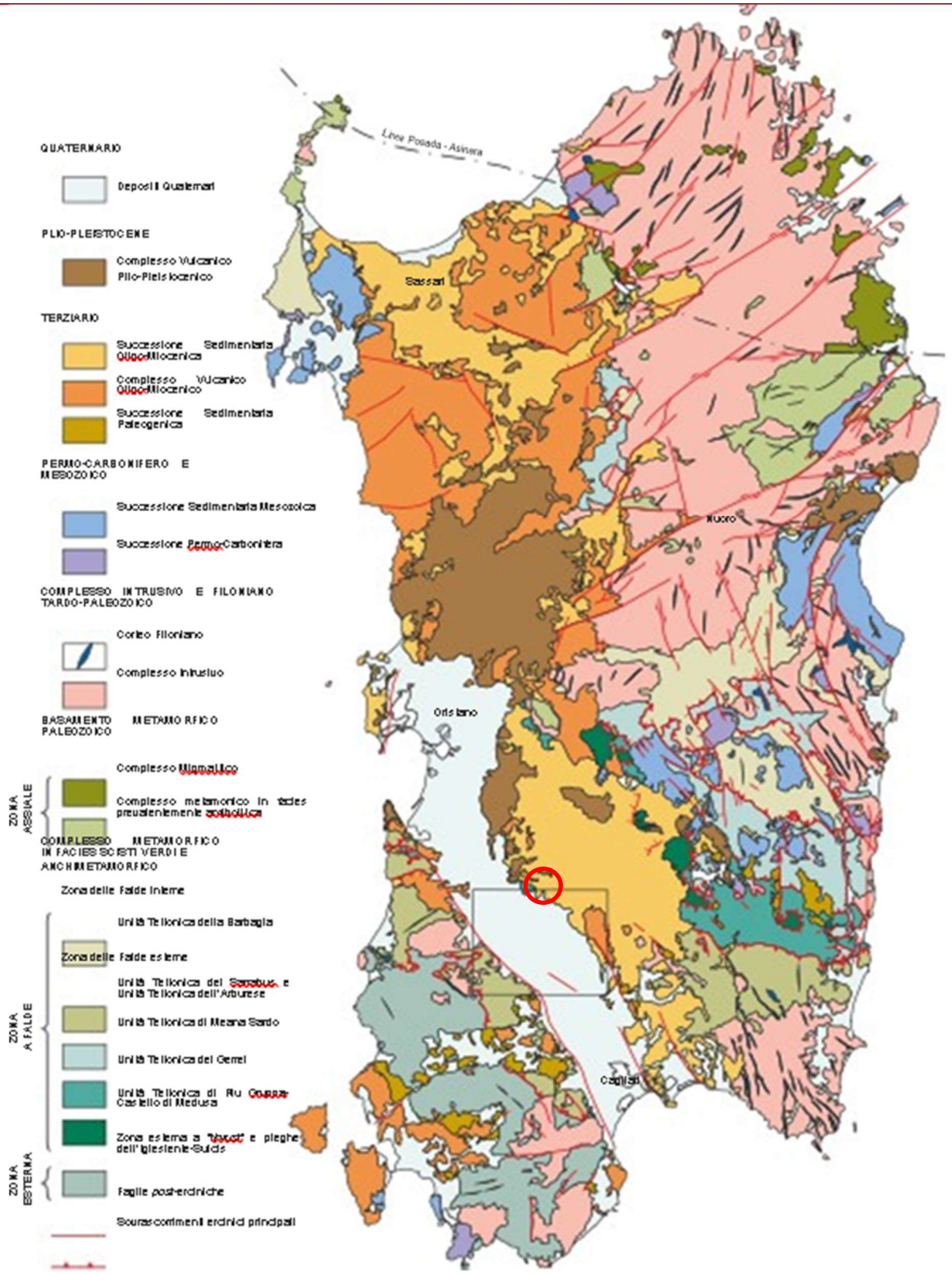


Figura 5-1 Schema stratigrafico-strutturale della Sardegna. Il rettangolo indica l'ubicazione del Foglio 547 "Villacidro" ed il cerchio in rosso l'area di studio. Da PROGEMISA S.P.A., 2009

In seno alla successione stratigrafica del Paleozoico sardo sono presenti importanti discordanze stratigrafiche. La più antica, nota come "Discordanza sarrabese" (CALVINO, 1959; 1961) è stata attribuita (BARCA et alii, 1987; 1988) alla "Fase sarda" (STILLE, 1939) dell'Iglesiente e separa la successione del Cambriano - Ordoviciano Inferiore dal sovrastante complesso vulcano-sedimentario dell'Ordoviciano Medio. La seconda è una non-conformity tra il complesso vulcanico subaereo meso-ordoviciano e la successione trasgressiva dell'Ordoviciano Superiore ("Trasgressione caradociana" Auct.). La terza discordanza si osserva alla base della successione terrigena sin-orogenica del Carbonifero Inferiore: questo contatto appare quasi sempre tettonizzato e sulla sua originaria natura stratigrafica o tettonica mancano ancora dati certi.

Le successioni comprese tra queste discordanze sono classificabili come "Unconformity Bounded Stratigraphic Units" (UBSU) o "Sintemi" (ISSC, 1987; 1994). Esse sono state informalmente così definite:

- Successione terrigena del Cambriano - Ordoviciano Inferiore pre-Discordanza sarrabese;
- Successione vulcano-sedimentaria dell'Ordoviciano Medio;
- Successione terrigena e carbonatica dell'Ordoviciano Superiore - Devoniano - Carbonifero Inferiore;
- Depositi sin-tettonici tipo "Culm" (Carbonifero Inferiore).

Nei dintorni dell'area di studio risultano presenti le prime tre successioni, mentre non sono stati rilevati i depositi del "Culm" eocarbonifero. La "Successione terrigena del Cambriano - Ordoviciano Inferiore" è una potente successione di originari depositi arenacei e siltosi, nota in letteratura con il nome di Arenarie di San Vito nel Sarrabus e nel Gerrei (CALVINO, 1963; 1972) e formazione di Solanas in Barbagia e Sarcidano (MINZONI, 1975). Tali depositi avrebbero subito una debole deformazione nell'Ordoviciano Inferiore ("Fase sarda" o "Fase sarrabese" Auct.). Si tratta di depositi di conoidi sottomarine che rappresentano facies più distali rispetto ai depositi misti terrigeni e carbonatici coevi della Zona esterna della Sardegna SW. La transizione da SW a NE,

da un ambiente di piattaforma terrigeno-carbonatica (Iglesiente-Sulcis) ad un ambiente di scarpata continentale distale (Sardegna SE) consente di ipotizzare il profilo di un margine continentale passivo persistente dal Cambriano fino all'Ordoviciano Inferiore, che viene riferito al margine settentrionale di Gondwana (CARMIGNANI et alii, 1992c).

La "Successione vulcano-sedimentaria dell'Ordoviciano Medio" caratterizza tutte le Falde esterne ed è costituita da grandi spessori di metavulcaniti e metaepiclastiti prevalentemente subaeree, discordanti sulle metarenarie cambro-ordoviciane. Questi prodotti magmatici, di composizione da andesitica a riolitica, sono attribuiti allo sviluppo di un arco vulcanico su crosta continentale, connesso con una fase di subduzione dell'Oceano Sud-Armoricano al di sotto del margine nord-gondwaniano divenuto attivo (CARMIGNANI et alii, 1994b). Un'originaria zonazione dell'arco vulcanico spiegherebbe le sensibili variazioni di composizione, spessore e presenza o meno delle vulcaniti nelle diverse unità tettoniche della Zona a falde (CARMIGNANI et alii, 1994b).

La "Successione terrigena e carbonatica dell'Ordoviciano superiore - Devoniano - Carbonifero Inferiore" nella sua porzione iniziale testimonia la trasgressione marina sugli apparati vulcanici ordoviciani ("Trasgressione caradociana" Auct.) ed è rappresentata da depositi detritici anche grossolani, di ambiente costiero (Caradoc), seguiti da depositi pelitico-arenacei con intercalazioni carbonatiche di ambiente neritico più profondo (Ashgill). Le successioni dell'Ordoviciano Superiore mostrano una grande variabilità di facies: i prodotti dello smantellamento degli apparati vulcanici subaerei sono infatti fortemente dipendenti sia dalla locale morfologia della superficie di trasgressione, che dalla natura del litotipo trasgredito. Con l'Ordoviciano Superiore si realizza anche un'importante variazione dell'ambientazione geodinamica da margine attivo nuovamente a margine passivo. Al diffuso vulcanismo orogenico dell'Ordoviciano Medio segue infatti nel Caradoc-Ashgill una più modesta attività vulcanica, caratterizzata nella Sardegna meridionale da basalti intraplacca che testimoniano una tettonica distensiva, cui è da riferire il collasso dell'arco vulcanico calcalcalino (per cessazione della subduzione) e la conseguente trasgressione caradociana. Nel dominio marino instauratosi alla fine dell'Ordoviciano si stabilisce sempre più una uniformità di sedimentazione che perdura anche nel Siluriano e nel Devoniano e Carbonifero Inferiore (Tournaisiano o Dinantiano). L'ambiente di sedimentazione è di mare aperto relativamente poco profondo, come

provano i resti fossili di faune pelagiche a tentaculiti, conodonti, cefalopodi, con apporti da terre emerse scarsi o assenti ("piattaforma carbonatica devoniana" Auct.) e frequenti condizioni riducenti sul fondo, soprattutto nel Siluriano (black shales). I successivi "Depositi sin-tettonici tipo Culm" del Carbonifero Inferiore (Dinantiano), anch'essi coinvolti nell'Orogenesi ercinica, sono noti come formazione di Pala Manna (BARCA, 1981; 1991; BARCA et alii, 1992) e affiorano estesamente nelle Unità tettoniche del Sarrabus, del Gerrei e del Sulcis (BARCA et alii, 2005; 2009; CARMIGNANI et alii, 2001a; 2001b). Generalmente sono costituiti da alternanze di metarenarie, metasiltiti e metapeliti, con frequenti intercalazioni di metaconglomerati, metabrecce con grandi olistoliti, e metavulcaniti. Questi depositi sin-orogenici di avanfossa, derivanti probabilmente dallo smantellamento delle porzioni più interne precocemente deformate ed emerse della Catena ercinica, non affiorano nell'area in esame.

Complesso intrusivo e filoniano tardo-paleozoico

Nel settore occidentale del Foglio Villacidro affiorano granitoidi e sistemi filoniani riferibili al magmatismo post-collisionale tardo-paleozoico, che in Sardegna comprende una notevole varietà di prodotti ignei intrusivi ed effusivi. I prodotti intrusivi appartengono al "Batolite sardo-corso", il quale risulta costituito da un insieme molto eterogeneo di litotipi riferibili ad associazioni a differente affinità petrochimica. Si tratta di plutoni coalescenti, con grande variabilità composizionale rappresentata in gran parte da tonaliti, granodioriti, monzograniti e monzograniti a tendenza marcatamente leucocrata, il cui carattere prevalentemente calcalcalino e metalluminoso è stato messo in evidenza da numerosi studi petrografici, mineralogici e geochimici (DI SIMPLICIO et alii, 1975; ORSINI, 1976; 1980; BRALIA et alii, 1981; ROSSI, 1986; POLI et alii, 1989; ROSSI & COCHERIE, 1991; POLI & TOMMASINI, 1999). A questi si associano subordinati plutoni a carattere peralluminoso, costituiti in prevalenza da granodioriti e monzograniti a due miche e talora a cordierite (OGGIANO & DI PISA, 1988; SECCHI et alii, 1991; DI VINCENZO & GHEZZO, 1996; DI VINCENZO et alii, 1996).

Le datazioni assolute coi metodi K-Ar e Rb-Sr a tutt'oggi note suggeriscono per i granitoidi sardi una sequenza di messa in posto a livelli alto-crostali in un intervallo di tempo compreso fra circa 310 e 280 Ma e cioè tra il Carbonifero Superiore e il Permiano

Inferiore (DEL MORO et alii, 1975; 1991; DI SIMPLICIO et alii, 1975; FERRARA et alii, 1978; BECCALUVA et alii, 1985; COCHERIE, 1985; SECCHI et alii, 1991; BROTZU et alii, 1994). I rapporti giaciturali fra le diverse intrusioni ed i dati di geocronologia isotopica evidenziano una sequenza di messa in posto dove le intrusioni tonalitiche, granodioritiche e monzogranitiche sono nell'ordine quelle più antiche, a partire da circa 310 Ma sino a circa 295 Ma (DEL MORO et alii, 1975; COCHERIE, 1985), generate e messe in posto nelle fasi terminali dello stadio di riesumazione; le intrusioni di leucograniti l.s. sono anche più recenti (285-290 Ma) e messe in posto dopo lo stadio principale di riesumazione del basamento (DEL MORO et alii, 1975; ORSINI, 1980; BRALIA et alii, 1981; GHEZZO & ORSINI, 1982; COCHERIE, 1985; CO-CHERIE et alii, 2005). Per le intrusioni peralluminose sono riportate età di messa in posto di 300-305 Ma (CARMIGNANI et alii, 1978; MACERA et alii, 1989; DI VINCENZO & GHEZZO, 1996).

La costruzione del batolite fra il Carbonifero Superiore e il Permiano Inferiore è pertanto contemporanea alla tettonica post-collisionale della catena ercinica, caratterizzata dalla sua riesumazione in regime estensionale con transizione alla fase anorogenica (CARMIGNANI et alii, 1992a; 1992b; 1992c; 1994a; 1994b).Le intrusioni sono predominanti nella Zona assiale (Sardegna settentrionale) mentre, procedendo verso la Zona a falde nella Sardegna centro-meridionale, esse costituiscono vari massici intrusivi, sempre alto-crostali, isolati entro il complesso metamorfico di basso grado (complessi intrusivi dell'Arburese, del Sarrabus, dell'Iglesiente-Sulcis). Tra le differenti ipotesi genetiche prospettate per queste intrusioni, evinte sulla base dei loro eterogenei aspetti petrogenetici, sono stati proposti processi di anatessi crostale, di derivazione dal mantello, di interazione e mixing fra magmi basici subcrostali ed acidi anatettici, di cristallizzazione frazionata (BRALIA et alii, 1981; POLI et alii, 1989; POLI & TOMMASINI, 1991; ROSSI & COCHERIE, 1991; TOMMASINI & POLI, 1994; TOMMASINI et alii, 1995; DI VINCENZO & GHEZZO, 1996; COCHERIE et alii, 2005). I caratteri geologici e petrografici suggeriscono che anche nella parte frontale dell'edificio a falde, come nel caso dell'Arburese e del Sarrabus, la messa in posto delle rocce granodioritico-tonalitiche, che generalmente presentano tessiture più o meno marcatamente foliate, si è realizzata in ambiente tardo-tettonico (SECCHI et alii, 1991; SECCHI & D'ANTONIO, 1996).

Durante il tardo-Carbonifero ed il Permiano nel Blocco sardo-corso-provenzale, così come in altre vaste aree dell'orogene ercinico, l'attività magmatica si è anche realizzata con prodotti effusivi prevalentemente a chimismo intermedio-acido ed affinità inizialmente calcalcalina e successivamente alcalina (BONIN et alii, 1998; CORTESOGNO et alii, 1998), prodotti che però non risultano presenti nell'area di studio.

Tutto il basamento e parte della sua copertura permo-carbonifera (TRAVERSA, 1969) risultano infine iniettati da sistemi di filoni che comprendono termini di composizione ed età assai variabili (TRAVERSA, 1979; ORSINI, 1980; GHEZZO & ORSINI, 1982; BECCALUVA et alii, 1985; ATZORI & TRAVERSA, 1986; VACCARO et alii, 1991; TRAVERSA & VACCARO, 1992; RONCA & TRAVERSA, 1996).

Successioni mesozoiche e cenozoiche

Durante il Mesozoico la Sardegna non è stata interessata da importanti movimenti tettonici né da attività magmatica. Pur tenendo conto delle brevi e parziali trasgressioni meso-triassica (Muschelkalk) e liassica (Sardegna occidentale), durante il Triassico e il Giurassico inferiore (Lias) la Sardegna costituiva un alto strutturale in gran parte emerso che nella paleogeografia alpina probabilmente rappresentava una propaggine del Dominio Brianzonese. Questo alto strutturale fu più estesamente trasgredito solo a partire dal Dogger, i cui depositi dolomitici e calcarei di ambiente neritico ricoprono in discordanza sia il basamento ercinico, che la successione continentale stefaniano-permiana o permo-triassica. successione mesozoica (Giurassico-Cretacico) della Nurra e del Sulcis è poi ben documentata una lacuna meso-cretacica, talvolta associata a discordanza angolare ("lacuna bauxitica").

Una nuova emersione, che interessò l'intera Isola, si manifestò alla fine del Cretacico e perdurò per quasi tutto il Paleocene. Nel area di studio non affiorano sedimenti mesozoici, diffusi però in tutta la Sardegna centro-orientale e localmente anche nella Sardegna sud-occidentale e nord-occidentale; si sono invece preservati piccoli lembi dei depositi trasgressivi dell'Eocene Inferiore, maggiormente rappresentati in altri settori della Sardegna meridionale (PECORINI & POMESANO CHERCHI, 1969; MURRU & SALVADORI, 1990; BARCA & COSTAMAGNA, 2000; CARMIGNANI et alii, 2001a; 2001b; PERTUSATI et alii, 2002a; 2002b cum bibl.). Verosimilmente in relazione con la

fase tettonica pirenaica (BARCA & COSTAMAGNA, 1997; 2000; CARMIGNANI et alii, 2004), nell'Eocene medio-superiore si ristabiliscono in tutta l'Isola condizioni di continentalità, che perdurano per quasi tutto l'Oligocene, come risulta dai depositi fluviali e lacustri riferiti a tale intervallo di tempo presenti anche nel Foglio Villacidro (formazione del Cixerri, PECORINI & POMESANO CHERCHI, 1969).

Nell'Oligocene superiore - Miocene Inferiore il Blocco sardo-corso subisce i contraccolpi della collisione nord-appenninica, di cui rappresenta il retropaese. In questo periodo nella Sardegna centro-settentrionale, così come nella Corsica ercinica, è attiva una importante tettonica trascorrente (CARMIGNANI et alii, 1994a; PASCI, 1995), con sistemi di faglie che seguono i lineamenti tettonici e le discontinuità del basamento ercinico. In concomitanza con tale evento geodinamico si manifesta in Sardegna il cosiddetto "ciclo vulcanico calcalcalino oligo-miocenico", cui si deve la messa in posto di grandi volumi di prodotti ignei, sia effusivi che esplosivi, con chimismo da basico-intermedio (basaltico-andesitico) ad acido (riodacitico-riolitico). Vulcaniti riferibili a tale ciclo sono presenti nel settore orientale dell'area di studio (distretto vulcanico di Serrenti-Furtei). La parte meridionale dell'Isola appare scarsamente interessata dalle dinamiche trascorrenti oligo-mioceniche. In quest'area sono attribuiti all'Oligocene superiore - ?Aquitaniano Inferiore solo alcuni depositi, da continentali a marino-litorali che, con spessori molto modesti.

Durante il Miocene inferiore-medio, contemporaneamente alla rotazione del Blocco sardo-corso (Burdigaliano) e all'apertura del Bacino Balearico e del Tirreno centro-settentrionale, si sviluppa tra il Golfo di Cagliari e quello dell'Asinara un sistema di fosse ("Fossa Sarda": VARDABASSO, 1962; "Rift sardo": CHER-CHI & MONTADERT, 1982; 1984) con sedimentazione prevalentemente marina, con associati notevoli spessori di vulcaniti calcalcaline, in parte sottomarine. A partire dal Miocene Superiore e fino al Pliocene-Pleistocene, tutta l'Isola è interessata da una nuova, importante fase distensiva da riferire all'apertura del Tirreno centro-meridionale, la quale favorisce una breve e localizzata (penisola del Sinis, Campidano di Cagliari e di Oristano, Orosei) ingressione marina nel Pliocene Inferiore. A questa tettonica distensiva sono da imputare le estese manifestazioni vulcaniche plio-pleistoceniche dell'Isola, prevalentemente basiche e ad affinità alcalina, transizionale e tholeiitica, di età isotopica compresa tra 5,3 e 0,14 Ma

(BECCALUVA et alii, 1978), nonché l'impostazione del graben subsidente del Campidano, colmato da potenti depositi detritici continentali plio-pleistocenici (formazione di Samassi, PECORINI & POMESANO CHERCHI, 1969; "Alluvioni antiche" Auct.)

Sia i sedimenti marini del Miocene inferiore-?medio che, più estesamente, i depositi quaternari sono ampiamente rappresentati nel Foglio Villacidro, mentre i sedimenti del Pliocene inferiore marino e del Pliocene Medio-Inferiore (formazione di Samassi Auct.) sarebbero presenti unicamente nel sottosuolo del Campidano come risulta dallo studio dei sondaggi (POMESANO CHERCHI, 1971, TILIA ZUCCARI, 1969; PECORINI & POMESANO CHERCHI, 1969).

5.1 Assetto litostratigrafico area di progetto

Per la determinazione delle caratteristiche geologiche del territorio comunale si è tenuto conto della bibliografia esistente e del rilevamento geologico.

Il territorio comunale di Pabillonis è ubicato nella Sardegna centro meridionale.

Nel territorio di Pabillonis sono presenti le seguenti unità litologiche:

- Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate. OLOCENE.
- Depositi alluvionali terrazzati.Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE
- Depositi alluvionali terrazzati. OLOCENE.
- Depositi alluvionali. OLOCENE.
- Depositi alluvionali terrazzati. Sabbie con subordinati limi e d argille. OLOCENE.
- Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE.
- Depositi alluvionali. Sabbie con subordinati limi e d argille. OLOCENE.
- Depositi lacustri, palustri. Argille molto plastiche, localmente ricche di materiaorganica. OLOCENE.

- Litofacies del Subsintema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME); Ghiaie alluvionali terrazzate con subordinate sabbe. PLEISTOCENE SUP.
- Litofacies nel Subsintema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME); sabbie e arenarie eoloche con subordinati detriti e depositi alluvionali. PLEIS. SUP.
- FORMAZIONE DI NURAGHE CASTEDDU. Argilliti, siltiti, arenarie arcosiche conglomerati e brecce ad elementi calcari mesozoici. PLIOCENE MEDIO.

In particolare, il settore di studio è caratterizzato prevalentemente da depositi alluvionali e lacustri appartenenti al Pleistocene-Olocene che vanno a colmare la "fossa campidanese", erede della più grande "fossa sarda" oligo-miocenica.

Si tratta principalmente di depositi alluvionali a composizione variabile da depositi grossolani costituiti da ghiaie da grossolane a medie a depositi ghiaiosi sabbiosi o sabbiosi con subordinati limi ed argille o ancora costituiti da limi e argille (Olocene).

In generale presentano uno spessore molto variabile, un costipamento variabile da basso a medio a elevate ad esclusione dei depositi limosi presentano una elevata porosità e permeabilità che favorisce la formazione di falde idriche sotterranee di tipo freatico e talora interconnesse con falda di subalveo dei principali corsi d'acqua.

I depositi sono costituiti da corpi eterometrici e poligenici (marne, calcari detritici e arenarie, andesiti, basalti, ossidiane, lave, dispri, selci, silice amorfa, metaforfiti, granitoidi) in matrice sabbiosa o sabbiosa limosa con cementazione variabile ma in genere scarsa.

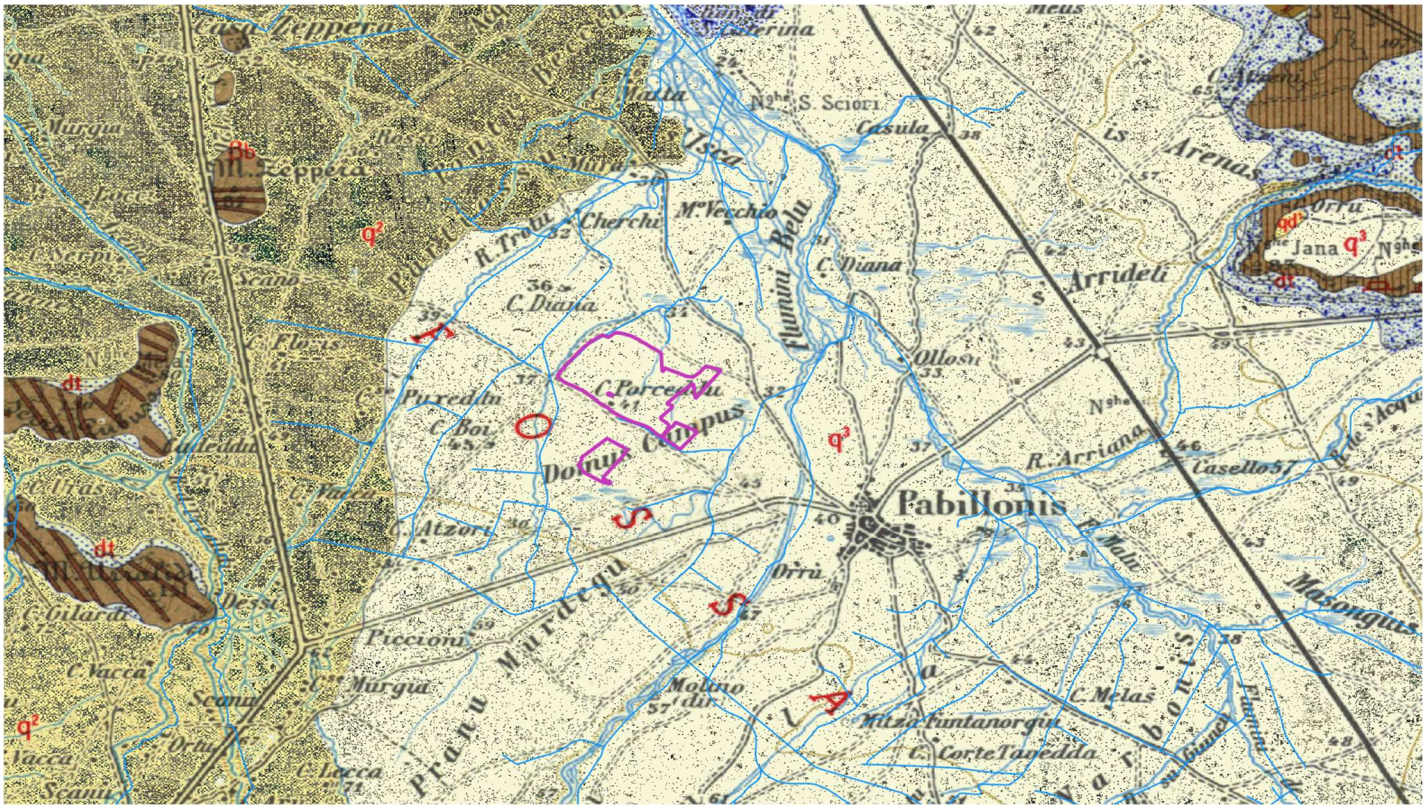
Non presentano una pericolosità geomorfologica e generalmente sono terreni granulai incoerenti, sia grossolani sia fini; presentano un comportamento geo-meccanico abbastanza buono, comunque da analizzare ogni qualvolta siano previsti interventi ingegneristici anche in funzioni delle oscillazioni delle falde presenti nel settore.

I Depositi lacustri, palustri sono rappresentati da argille molto plastiche, localmente ricche di materia organica, talvolta con sottili intercalazioni si sabbie contenenti gisci di bivalvi, di gasteropodi polmonati e ostracoidi (Olocene). Tali terreni in genere non creano

nessun problema dal punto di vista geologico e geomorfologico ma considerata l'elevata componente fine (limi e argille) necessitano di una caratterizzazione geotecnica accurata se devono sopportare carichi strutturali in funzione dei possibili cedimenti che potrebbero generarsi.

Le litofacies del Subsintema di Portoscuso (Sintema di Portovesme) sono caratterizzate da ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane con subordinate sabbie e sabbie arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali (Pleistocene Superiore).

Non presentano una pericolosità geomorfologica e generalmente sono terreni granulari incoerenti, sia grossolani sia fini; presentano un comportamento geo-meccanici abbastanza buono, comunque da analizzare ogni qualvolta siano previsti interventi i ingegneristici anche in funzione delle oscillazioni delle falde presenti nel settore.



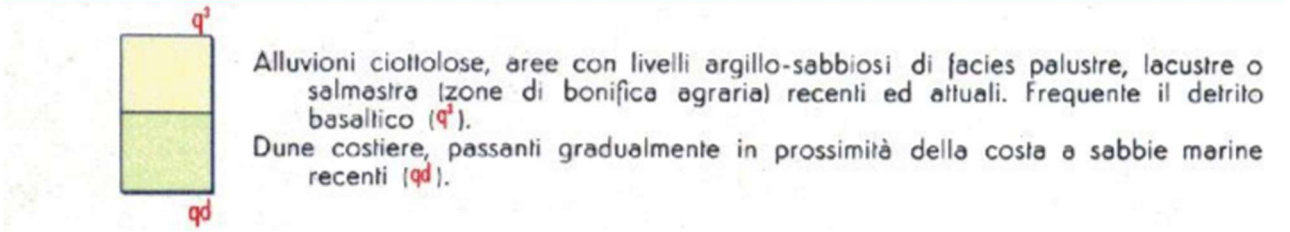


Figura 5-6. Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 foglio n.224-225 S. Capo Pecora - Guspini (non in scala) con legenda. Il poligono arancione indica l'area di studio.

6 Inquadramento geomorfologico

L'area di studio si sviluppa a nord ovest del centro abitato di Pabillonis in una vasta area con un andamento morfologico del paesaggio sub-pianeggiante al bordo della depressione del medio-campidano, alla base dei rilievi collinari di M. Furoni Mannu (560 m s.l.m.) – M. Candelazzu (193 m s.l.m.).

La superficie topografica dell'area di progetto è sub-pianeggiante e debolmente pendente difatti, in relazione all'andamento pianeggiante della superficie topografica nell'area in oggetto non sono presenti fenomeni franosi in atto, ne quiescenti in accordo agli esiti del Piano Assetto Idrogeologico (PAI) e dallo studio di compatibilità idraulica, geologica e geotecnica del territorio comunale di Pabillonis come evidenziato nello stralcio della "Carta della pericolosità da frana" in figura seguente.

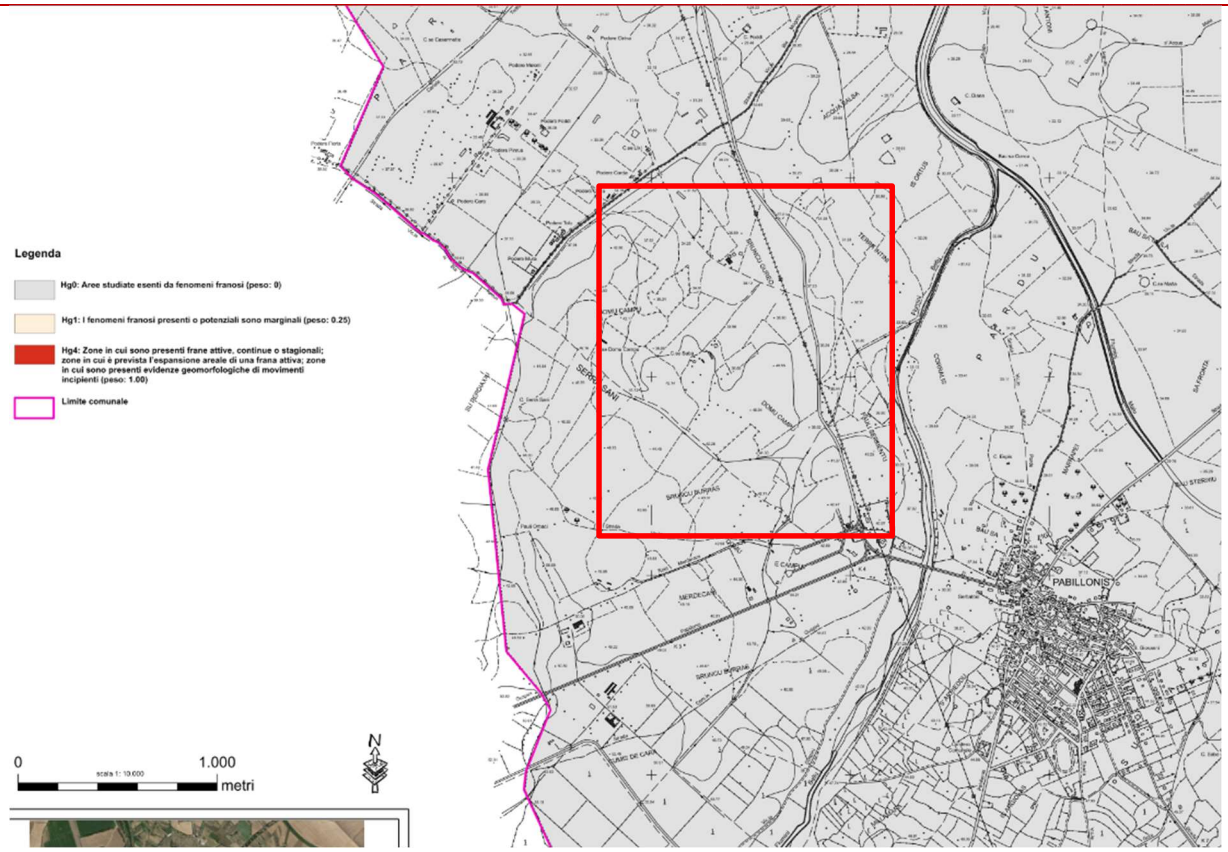


Figura 6-1. Stralcio della Carta da pericolosità da frana tratta dagli allegati dello studio di compatibilità idraulica, geologica e geotecnica del territorio comunale di Pabillonis. Il poligono rosso indica l'area di studio.

Il comune di Pabillonis è situato in Provincia di Oristano, nel centro-nord della pianura del Campidano, più esattamente al nord del "Pranu Murdegu", vicino alla confluenza di due corsi d'acqua denominati Flumini Mannu e Flumini Bellu.. Il suo terreno argilloso ha reso famosi i suoi artigiani per la lavorazione delle terre cotte. Un tempo paludoso e malsano, fu bonificato a metà degli anni Trenta. Il territorio comunale ha una superficie complessiva di circa 37.5 m2 ed una altitudine media sul livello del mare di 42 m.

7 Inquadramento idrogeologico

Nel dettaglio dell'area in esame si ha quindi la presenza di un complesso idrogeologico, individuato dalla carta della permeabilità della Sardegna e direttamente collegato alla geologia presente nell'area di studio.

Difatti, i depositi alluvionali e lacustri appartenenti al Pleistocene-Olocene principalmente ciottolosi sono caratterizzati come a permeabilità alta e permeabili per porosità.

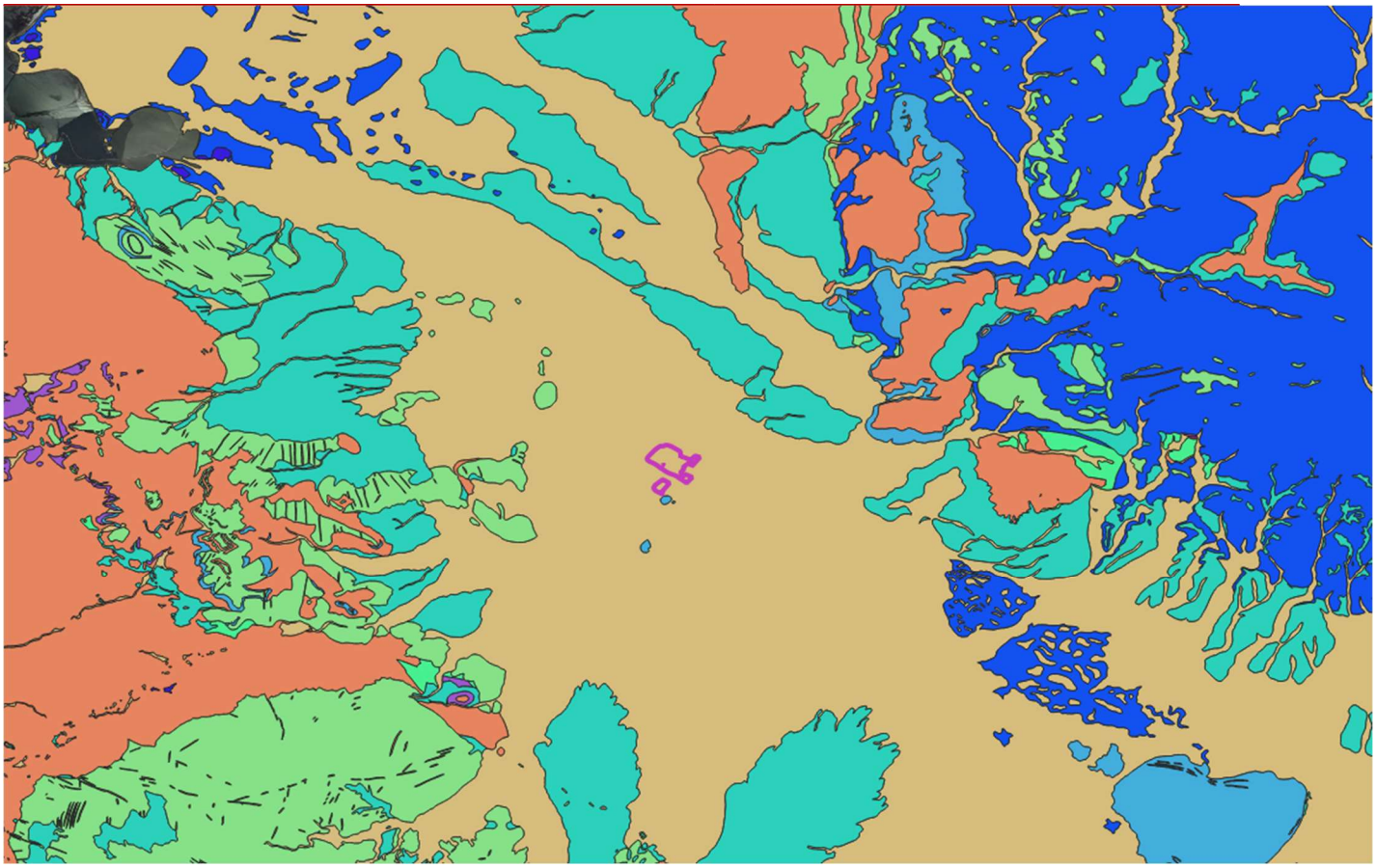


Figura 7-1. Stralcio della Carta della Permeabilità (2019) Regione Sardegna. Il poligono indica l'area di studio.

Come specificato in precedenza nel territorio Comunale di Pabillonis si ha la presenza di due corsi d'acqua principali denominati Flumini Mannu e Flumini Bellu. Dalla visione del reticolo idrografico su ortofoto in figura seguente si noti come l'area di progetto non è attraversata da corsi d'acqua principali. Si ha comunque la presenza di due corsi d'acqua secondari che confinano con l'area di progetto.

Figura 7-2. Reticolo idrografico su ortofoto. Il poligono indica l'area di studio.

8 Rischio idraulico

Per l'individuazione delle aree a pericolosità idraulica si è proceduto all'analisi della bibliografia presente al fine di individuare le aree storicamente soggette a dissesto idrogeologico. In particolare, si è fatto riferimento allo Studio Idrogeologico ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle N.A. del P.A.I. esteso a tutto il territorio comunale di Pabillonis finalizzato all'aggiornamento della pianificazione del settore redatto nel febbraio 2020.

Dalla visione della carta della pericolosità idraulica inviluppo e delle fasce di prima salvaguardia ex art. 30 ter. Si noti come l'area di progetto non ricade in nessuna porzione di territorio considerata a pericolosità idraulica. È fondamentale sottolineare come il sia il corso d'acqua secondario che lambisce a nord l'area di progetto che quello a sud è classificato come fascia di prima salvaguardia dall'art. 30 tar con deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino n.1 febbraio 2018. Dalla visione della tabella attributi associata allo shapefile il N_Strahler dei corsi d'acqua in considerazione è 1 e quindi la fascia di tutela su entrambi i lati è di 10 metri.

Secondo l'art. 30 tar, riportato in seguito:

ARTICOLO 30ter Identificazione e disciplina delle aree di pericolosità quale misura di prima salvaguardia:

1. Per i singoli tratti dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico dell'intero territorio regionale per i quali non siano state ancora determinate le aree di pericolosità idraulica, con esclusione dei tratti le cui aree di esondazione sono state determinate con il solo criterio geomorfologico di cui all'articolo 30 bis, quale misura di prima salvaguardia finalizzata alla tutela della pubblica incolumità, è istituita una fascia su entrambi i lati a partire dall'asse, di profondità L variabile in funzione dell'ordine gerarchico del singolo tratto:

ordine gerarchico (numero di Horton-Strahler)	profondità L (metri)
1	10
2	25
3	50
4	75
5	100
6	150
7	250
8	400

2. Per le opere e per gli interventi da realizzare all'interno della fascia di cui al comma 1, i proponenti sono tenuti preliminarmente ad effettuare apposito studio idrologico-idraulico volto a determinare le effettive aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1); tale studio dovrà contemplare i corsi d'acqua interessati nella loro interezza o almeno i tronchi degli stessi idraulicamente significativi in relazione alle opere e agli interventi da realizzare.
3. Anche in assenza degli studi di cui al comma 2, nelle aree interne alla fascia di cui al comma 1, sono consentiti gli interventi previsti dall'articolo 27 delle NA.
4. Gli studi di cui al comma 2 sono approvati dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino e per le aree a pericolosità idraulica così determinate si applicano le relative norme di salvaguardia di cui all'art. 65, comma 7 del Decreto Legislativo 152/2006.
5. Per le parti del territorio comunale diverse da quelle che possiedono significativa pericolosità idraulica ai sensi degli articoli 22 e 26 delle NA (quali a titolo esemplificativo le aree edificate, gli agglomerati industriali, commerciali e turistici e le aree con presenza di infrastrutture), gli studi previsti dall'articolo 8, commi 2 e 2bis, possono prescindere dalle analisi idrauliche e confermare le sole aree di pericolosità di prima salvaguardia istituite ai sensi del precedente comma 1

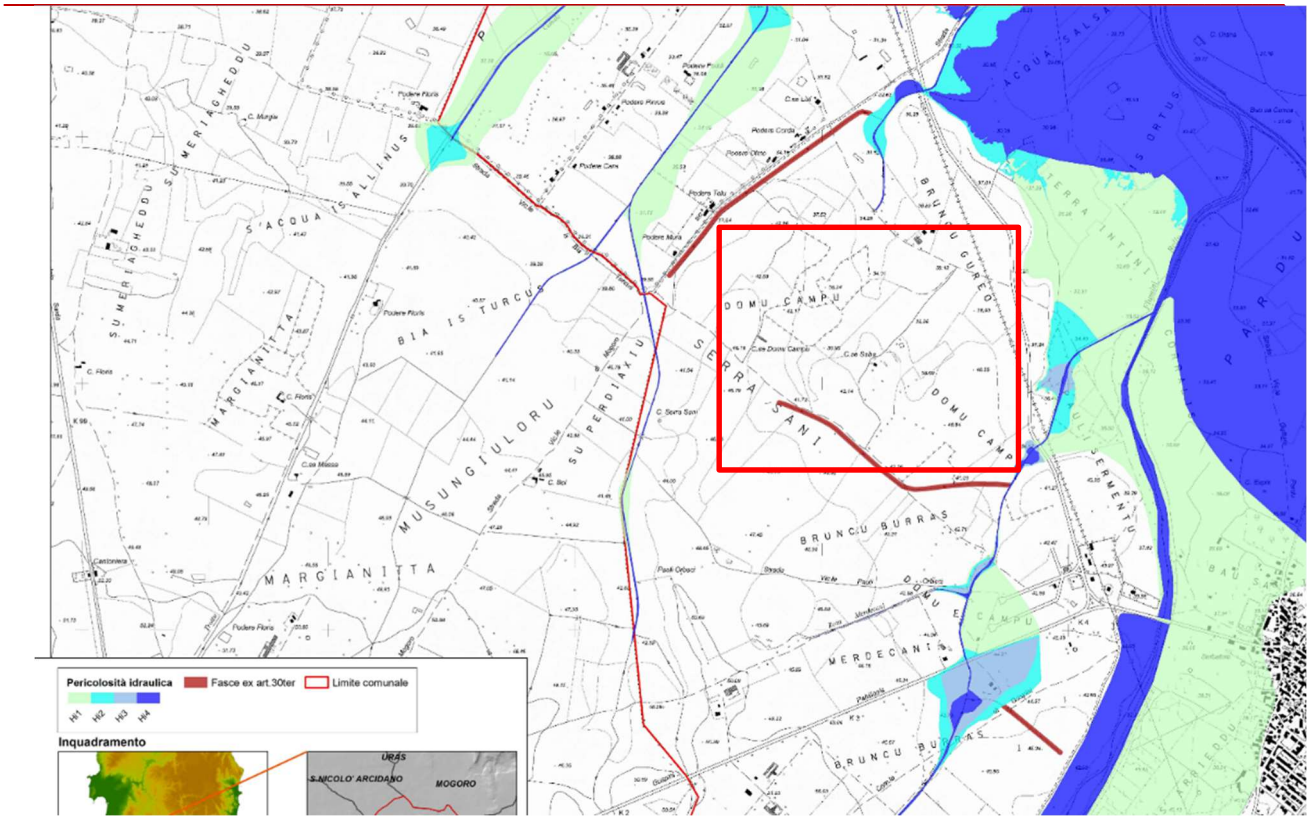


Figura 8-1. Stralcio della carta della pericolosità idraulica inviluppo e delle fasce di prima salvaguardia ex art. 30 ter. Fonte: studio di compatibilità idraulica del Comune di Pabillonis, Tav 5H.

Nella figura seguente è riportato uno stralcio della carta del rischio idraulico prodotta in seguito allo Studio Idrogeologico ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle N.A. del P.A.I. esteso a tutto il territorio comunale di Pabillonis finalizzato all'aggiornamento della pianificazione del settore redatto nel febbraio 2020 dove sono state elaborate anche le fasce di pericolosità dei corsi d'acqua secondari sopracitati. Si noti come la porzione di territorio interessata dalle opere in progetto non rientra in nessuna zona delimitata a rischio idraulico.

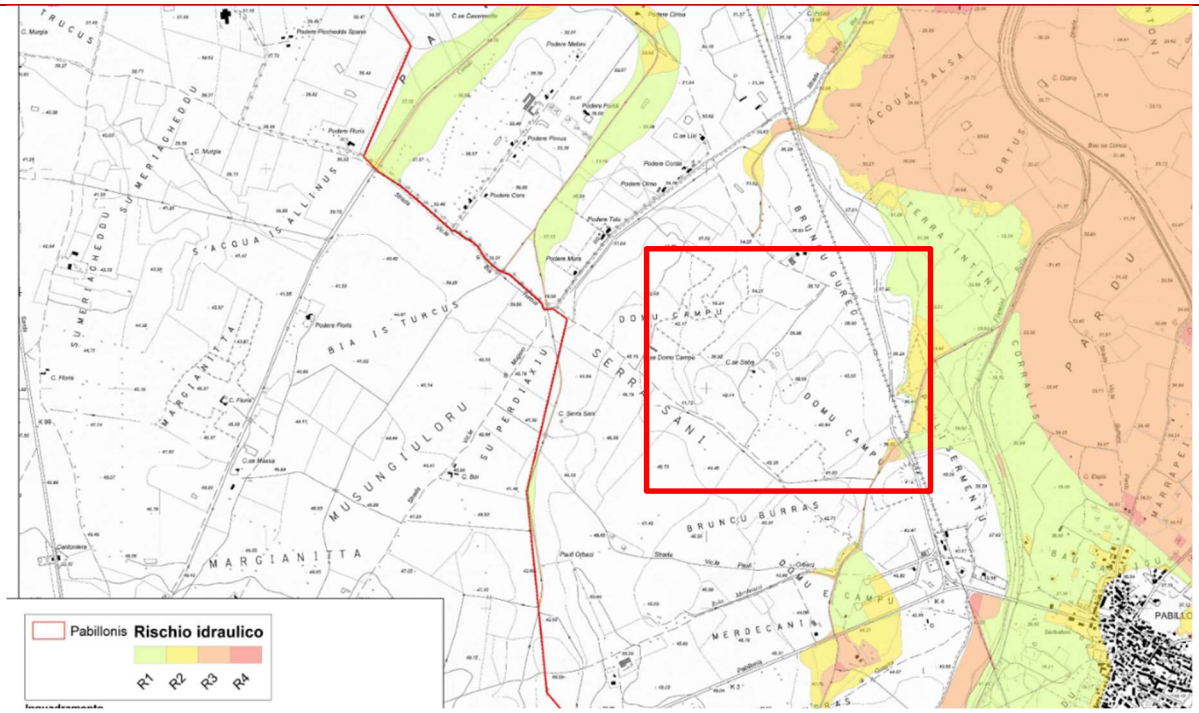


Figura 8-2. Stralcio della carta del rischio idraulico. Fonte: studio di compatibilità idraulica del Comune di Pabillonis, Tav 12H.

9 Sismicità 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 Pabillonis.

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 quale risiede 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 "4".

Rispetto alla classificazione sismica del comune di Pabillonis 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 inferiore a 0.05 g (Tabella 9-1).

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità disuperamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche, a_g/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 asuoli rigidi caratterizzati da Vs,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	2000	04	26	13	37	4	Tirreno centrale	265		4.77

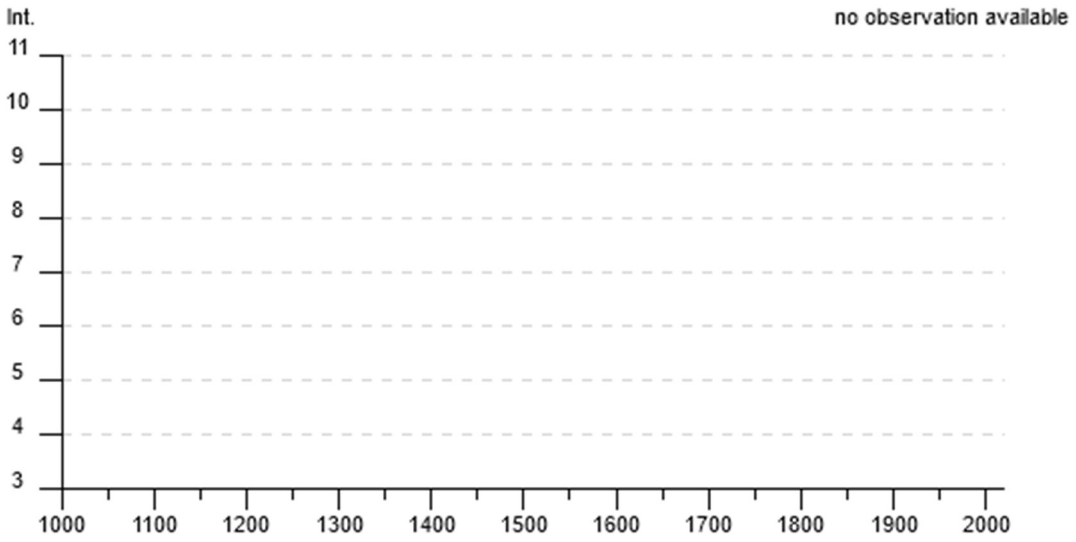


Figura 9-2 Storia sismica del Comune di Pabillonis

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, consentendoin 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.

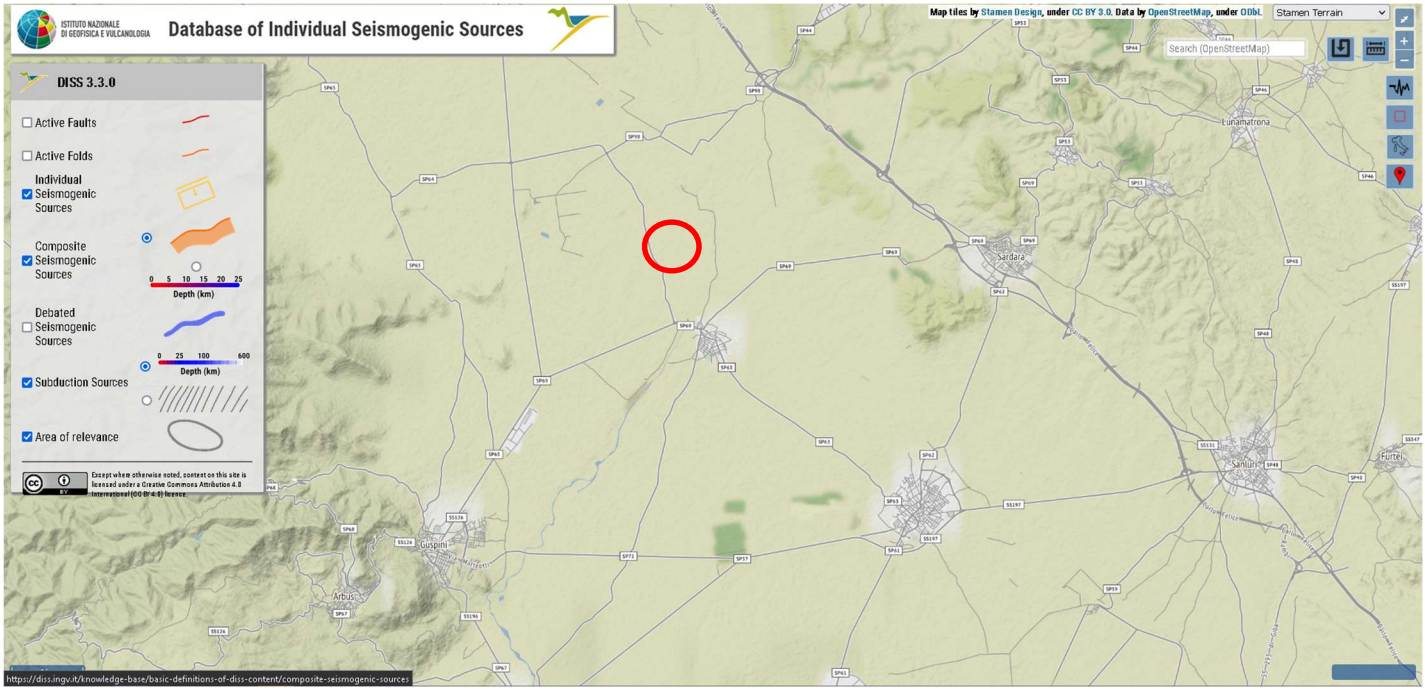


Figura 9-3 Sorgenti sismogenetiche contenute nella nuova versione del "Database of Potential Sources for Earthquakeslarger than M 5.5 in Italy" per l'area in oggetto.

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 Mw.

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 non ricade in nessuna zona sismogenetica.

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(b)	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 Mwmax per le zone sismogenetiche di ZS9.

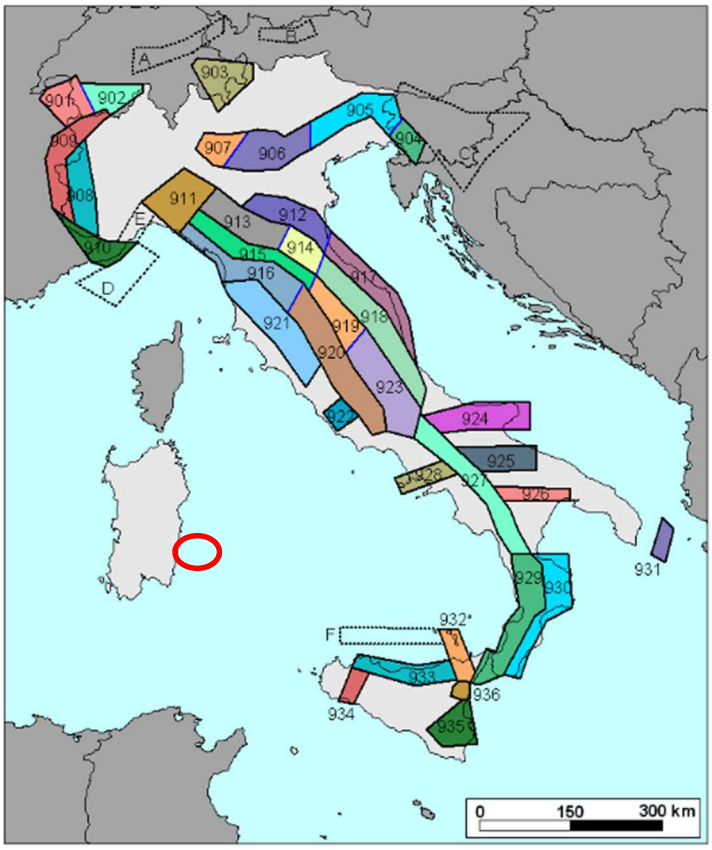


Figura 9-5 Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento.

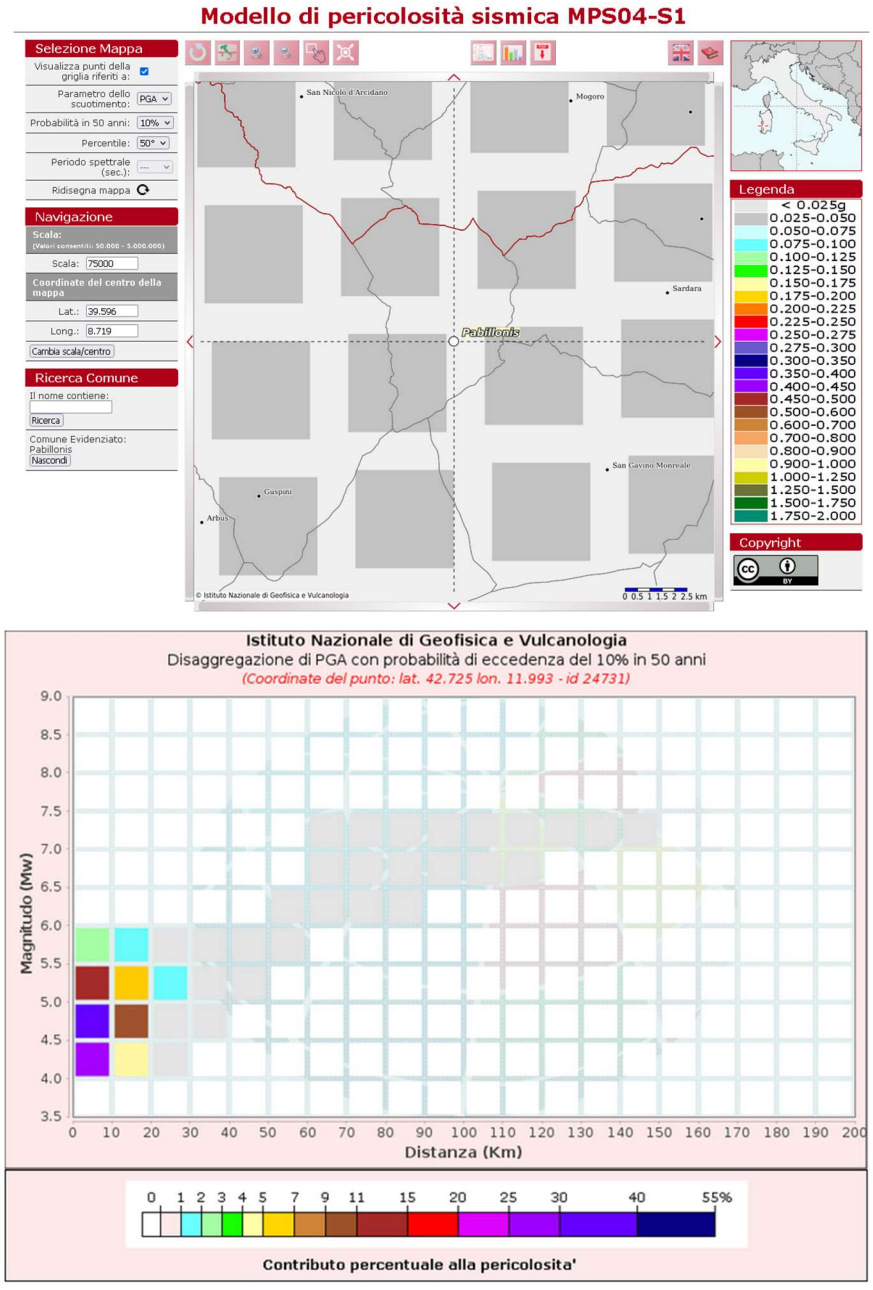


Figura 9-6 Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilitàdi eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (Vs30>800 m/s) – da INGV.

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 i≤15°”, caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica ST = 1,0.

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 di depositi alluvionali ciottolosi a composizione variabile da depositi grossolani costituiti da ghiaie da grossolane a medie a depositi ghiaiosi sabbiosi o sabbiosi con subordinati limi ed argille o ancora costituiti da limi e argille.

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.
l Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino unico regionale PAI, è redatto ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998, con le relative fonti

normative di conversione, modifica e integrazione.

Il PAI è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.

Il PAI ha valore di piano territoriale di settore e prevale sui piani e programmi di settore di livello regionale.

Il P.A.I. è stato approvato con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n.67 del 10.07.2006 con tutti i suoi elaborati descrittivi e cartografici.

Il PAI si applica nel bacino idrografico unico della Regione Sardegna, corrispondente all'intero territorio regionale, comprese le isole minori. L'intero territorio della Sardegna è stato suddiviso nei seguenti sette sub-bacini, caratterizzati da omogeneità geomorfologiche, geografiche e idrologiche ma anche da forti differenze di estensione territoriale:

- Sulcis;
- Tirso;
- Coghinas-Mannu-Temo;
- Liscia;
- Posada-Cedrino;
- Sud Orientale;
- Flumendosa-Campidaro-Cixerri.

La zona dell'intervento ricade a sud rispetto al corso del fiume Tirso, il fiume più importante della Sardegna, per lunghezza ed ampiezza del bacino, che domina e caratterizza tutto l'assetto idrologico ed idraulico del settore.

La circolazione idrica superficiale è pertanto dominata dalla presenza del fiume e da numerosi canali di scolo a servizio della rete di irrigazione del Consorzio di Bonifica dell'Oristanese (CBO). Il bacino idrografico del Tirso, nella suddivisione del Bacino Unico della Sardegna in sottobacini, costituisce l'U.IO n. 2, dove l'unico corso d'acqua principale del bacino è il Tirso. Il fiume Tirso ha origine nell'altopiano di Budduso tra i rilievi di Monte Longos (925 m slm) e Sa Ianna Bassa (955 m slm) e dopo aver attraversato la Sardegna centrale con andamento sfocia nel golfo di Oristano presso lo stagno di Santa Giusta

ricoprendo una superficie di circa 3.287 kmq. Nel settore in esame il sistema idraulico locale è rappresentato dai canali di scolo del sistema di infrastrutturazione irrigua del CBO. Le acque di precipitazione sono raccolte e drenate attraverso la rete di canalizzazione agricola e sono convogliate sul Rio Tanui, emissario dello Stagno di Cabras.

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 ovest, è stato analizzato al PAI aggiornato tramite servizio WMS dove sono state analizzate la pericolosità geomorfologica, pericolosità idraulica ed il rischio.

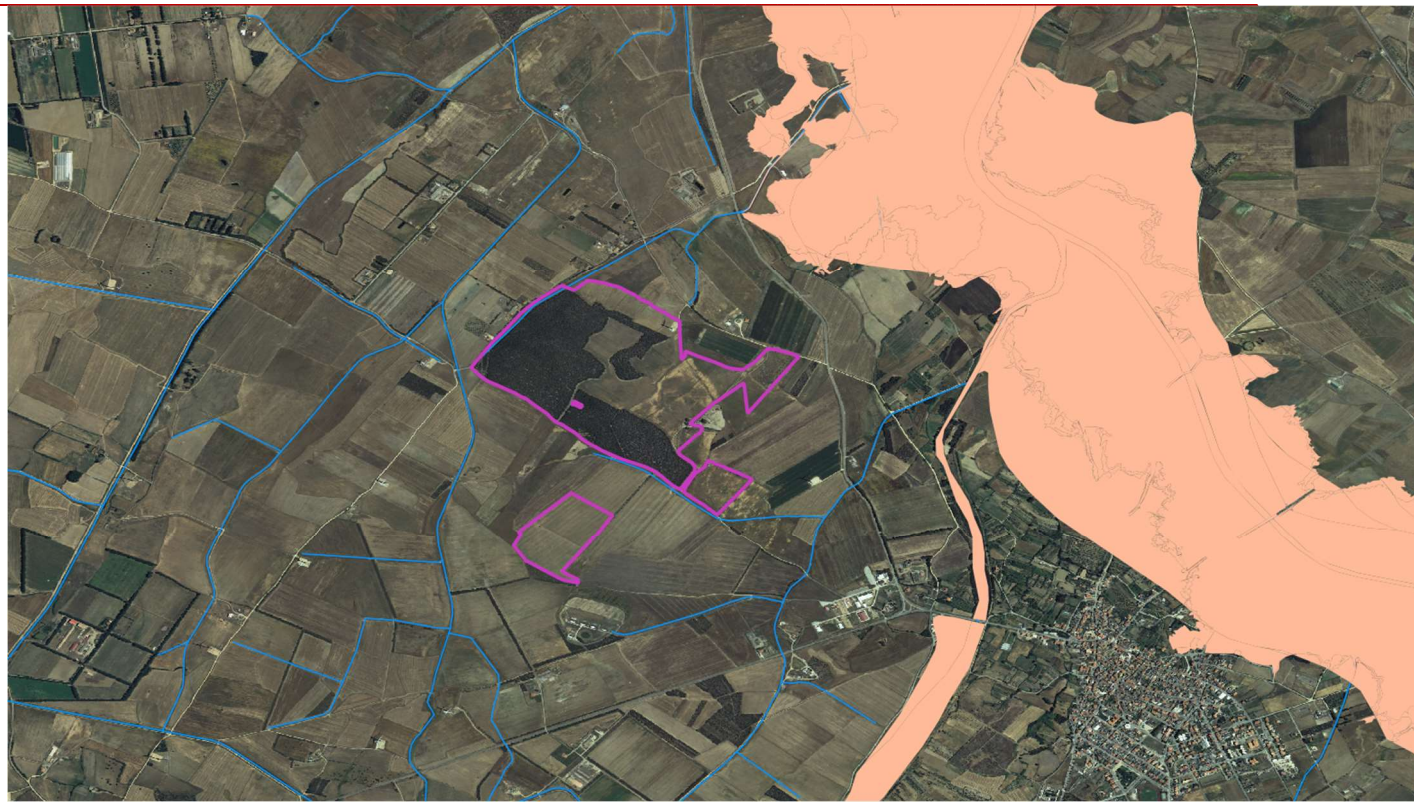


Figura 10-1 PAI stralcio carta Pericolosità Idraulica, perimetro in magenta l'area di studio

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

Figura 10-2 PAI stralcio della carta Pericolosità Frana, poligono magenta è l'area di studio.

Per quanto riguarda la Pericolosità da Frana l'area in esame non ricade in nessuna porzione di territorio posta a vincolo.

10.3 Aspetti idrogeologici e rischio idraulico

Per quanto concerne gli aspetti connessi alla circolazione delle acque si ha la presenza di depositi alluvionali e lacustri appartenenti al Pleistocene-Olocene principalmente ciottolosi sono caratterizzati come a permeabilità alta e permeabili per porosità. Per quanto riguarda il rischio idraulico, nella figura 8-2 è riportato uno stralcio della carta del rischio idraulico prodotta in seguito allo Studio Idrogeologico ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle N.A. del P.A.I. esteso a tutto il territorio comunale di Pabillonis finalizzato all'aggiornamento della pianificazione del settore redatto nel febbraio 2020 sopracitato dove sono state elaborate anche le fasce di pericolosità dei corsi d'acqua secondari individuati nel capitolo dedicato.

Si noti come la porzione di territorio interessata dalle opere in progetto non rientra in nessuna zona delimitata a rischio idraulico.

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, paleoalvei, 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.

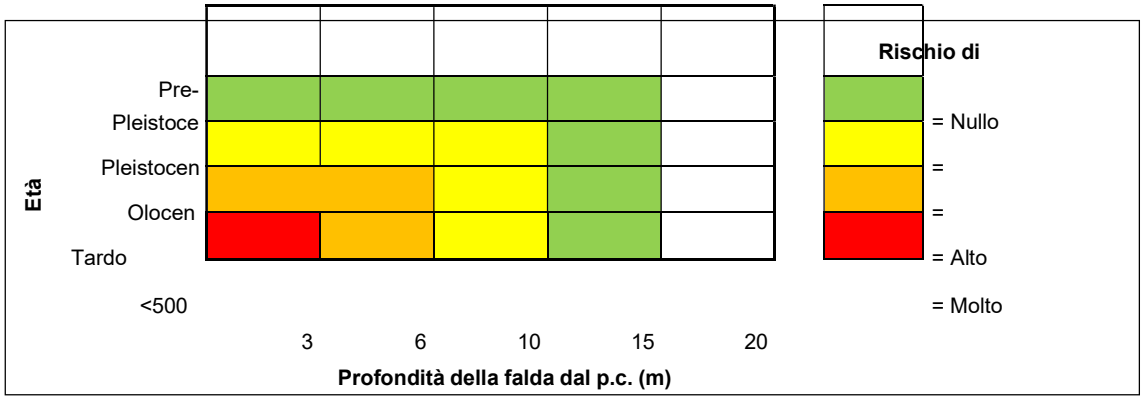


Tabella 10-1 Rischio liquefazione in funzione dell'età del deposito e della profondità della falda, tratta da "La liquefazione dei terreni" Giulio Riga, 2007, ridisegnata – Dario Flaccovio Editore.

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
Tardo Pleistocene	Bassa	Nulla	Nulla

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 sul-le 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 rinvengono in queste unità.

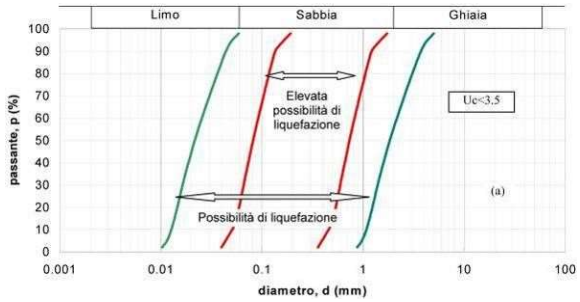
La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

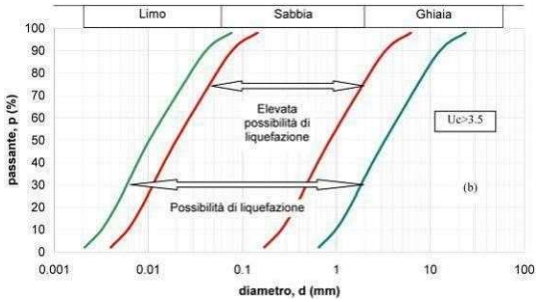
1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;

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 penetro-metriche 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 Uc < 3,5 e in figura n. 19 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5.





a) b)

Dal momento che nel sito le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) sono minori di 0,1g la verifica di 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 ovest del centro abitato di Pabillonis (Sardegna).

Dal punto di vista geologico e stratigrafico nell'area in esame si ha la presenza di depositi alluvionali ciottolosi a composizione variabile da depositi grossolani costituiti da ghiaie da grossolane a medie a depositi ghiaiosi sabbiosi o sabbiosi con subordinati limi ed argille o ancora costituiti da limi e argille.

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

Dal punto di vista sismico il sito risulta classificato in zona sismica 4 (Molto Bassa Sismicità), zona con pericolosità sismica molto bassa. La zona 4 indica un valore dell'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico ag inferiore a 0.05 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, inoltre è stato analizzato il rischio idraulico relativo alla zona di progetto analizzando lo Studio Idrogeologico ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle N.A. del P.A.I. esteso a tutto il territorio comunale di Pabillonis finalizzato all'aggiornamento della pianificazione del settore redatto nel febbraio 2020 dove sono state elaborate anche le fasce di pericolosità dei corsi d'acqua secondari presenti. Si noti come la porzione di territorio interessata dalle opere in progetto non rientra in nessuna zona delimitata a rischio idraulico

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., Rosskopf 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 e tutela 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 Geolologica 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., Chiocchini 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 Cartografiques 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

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 Parlagreco 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).* QuaternaryInternational, 232, 179-186, Elsevier B.V.

12.49 Parotto M. & Praturlon A. (1975) - *Geological summary of the Central Appenins*. Quad. De “La ricerca Sciaentifica”, 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 piedimont 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 Pianoadottati con DGR 614/2010. REGIONE ABRUZZO- SERVIZIO ACQUE E DEMANIO IDRICO.http://www2.regione.abruzzo.it/pianoTutelaacque/index.asp?modello=elaboratiPiano&servizio=li sta&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 - SERVIZIOACQUE E DEMANIO IDRICO.htt

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 lucedelle 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: areview, J. Seismol., 5, 287-306.

12.72 Vai G.B. & Martini I.P. (2001) - *Anatomy of an orogen: the Apennines and adjacent Mediterraneanbasins*. Kluver 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.