

COMUNE DI ORISTANO

Assessorato ai Lavori Pubblici - Servizio Lavori Pubblici



RECUPERO E RICONVERSIONE FUNZIONALE DELL'EX COMPLESSO ENTE RISI

CIG: 69632900B1

CUP: H19J17000000001

PROGETTO DEFINITIVO PRIMO STRALCIO

COMMITTENTE:

COMUNE DI ORISTANO:

IL DIRIGENTE settore sviluppo del territorio Ing. Giuseppe Pinna

R.U.P. Dott. Agr. Stefano Cadoni

PROGETTISTI:

Arch. Rossella Sanna (Capogruppo)

VPS Architetti (Mandante)

Arch. Luca Putzolu (Mandante)



vps
architetti

VPS srl
Via Asproni, 40 - 09123 Cagliari



DESCRIZIONE ELABORATO:

Relazione geologica

ELABORATO:

03RS.Doc.01

SCALA:

AGG.:	DATA:	DESCRIZIONE:	AGG.:	DATA:	DESCRIZIONE:
01	20/06/2017	EMISSIONE			

Provincia di Oristano

COMUNE DI ORISTANO



Recupero e riconversione funzionale dell'ex Complesso Ente Risi
I Stralcio Funzionale
PROGETTO DEFINITIVO

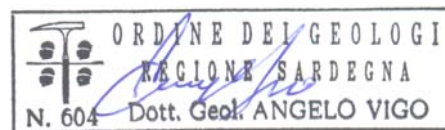
RELAZIONE GEOLOGICA

ALL. GL

Scala -

Il Professionista incaricato: _____

dott. Geol. Angelo Vigo



DATA: GIUGNO 2017

Rev.: 00

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....	4
3.1	<i>Sintesi del progetto.....</i>	4
4	ASSETTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO A SCALA DELL'AREA VASTA	7
5	CARATTERI MICROCLIMATICI DELL'AREA DI INTERVENTO	10
5.1	<i>Acquisizione ed analisi dei dati locali.....</i>	11
5.1.1	<i>Analisi della distribuzione delle temperature medie diurne</i>	13
5.1.2	<i>Elaborazione umbrotermica di Walter e Lieth.....</i>	13
6	MODELLO GEOLOGICO A SCALA D'INTERVENTO	15
6.1	<i>Caratteri geomorfologici e litostratigrafici dell'area in studio</i>	15
6.1.1	<i>Pericolosità geologica.....</i>	15
6.2	<i>Idrografia locale</i>	15
6.2.1	<i>Pericolosità idraulica</i>	17
6.3	<i>Assetto litostratigrafico ed idrogeologico locale.....</i>	17
6.3.1	<i>Assetto idrogeologico locale: falde superficiali</i>	19
6.4	<i>Indagini indirette: profilo di velocità MASW e calcolo delle V_{S30}</i>	20
6.4.1.1	<i>Illustrazione sintetica della metodologia applicata</i>	21
7	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E PRESCRIZIONI.....	26

1 PREMESSA

In data 26.05.2017 lo scrivente dott. geol. Angelo Vigo (n.604 Ordine Geologi della Sardegna), ha ricevuto l'incarico per l'esecuzione dello studio geologico in ordine al *Progetto di recupero e riconversione funzionale dell'ex Complesso Ente Risi - 1° stralcio Funzionale*.

Il presente elaborato ed i relativi allegati sono stati redatti, in conformità alla normativa vigente, a corredo del progetto summenzionato, del quale costituiscono parte integrante e non diversamente utilizzabile per scopi ed interventi differenti da quelli di destinazione.

Lo studio tratta le seguenti tematiche in ordine alla definizione del contesto geologico e geotecnico:

- Inquadramento geologico a scala di bacino, con identificazione delle formazioni prevalenti e descrizione dell'assetto strutturale, e a scala di intervento con la definizione dei caratteri dei litotipi in affioramento, di quelli profondi e dei loro rapporti stratigrafici;
- Inquadramento geomorfologico a scala di bacino e a scala di intervento, con individuazione delle forme prevalenti, del loro grado di evoluzione e delle possibili problematiche a carico del territorio;
- Inquadramento idrogeologico con definizione delle unità idrogeologiche principali, del grado di trasmissività e della geometria e profondità degli acquiferi a scala di intervento;
- pericolosità geologica ed idraulica in rapporto alla pericolosità intrinseca del territorio ed agli effetti dell'inserimento dell'opera.

Lo studio è stato articolato come segue:

1. reperimento delle fonti bibliografiche cui attingere per la definizione del contesto geologico-geomorfologico a scala locale e di bacino;
2. analisi cartografica e fotointerpretazione;
3. individuazione di criticità idrogeologiche ed idrauliche;
4. esecuzione di tre pozzetti geognostici mediante terna gommata;
5. esecuzione di un profilo MASW per la definizione delle V_{S30} ;
6. individuazione della natura e potenza dei litotipi compresi nel volume significativo;
7. definizione del modello geologico a scala dell'area di intervento.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Lo scrivente ha redatto il presente studio ai sensi alle seguenti disposizioni di legge:

- ❑ DM 14 gennaio 2008, pubblicato in Gazzetta Ufficiale il 4 febbraio 2008 contenente le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni e la relativa Circolare 2 febbraio 2009, n. 617.
- ❑ D.M. 11/03/1988 (G.U. 1-6-1988, n. 127 suppl.) - "*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*", e relativa Circolare di applicazione LL.PP. 24-09-1988 n. 30483 (Pres. Cons. Superiore - Servizio Tecnico Centrale).
- ❑ Delib.G.R. 30 marzo 2004, n. 15/31, pubblicata nel B.U. Sardegna 21 agosto 2004, n. 23 Disposizioni preliminari in attuazione dell'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- ❑ Legge 2 febbraio 1964 n. 74 – Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche (art. 1).
- ❑ Decreto Legislativo 12 aprile 2006, n. 163 – Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE.
- ❑ D.P.R. 21 dicembre 1999, n. 554 – Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994, n. 109 e successive modificazioni.

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'area oggetto di intervento è ubicata nella periferia orientale del Comune di Oristano, a ridosso del tracciato ferroviario FSI (Fig.1), ad una quota media di circa 10,00 metri s.l.m.



Figura 1. Vista aerea (Google Earth - 2014) dell'area di intervento (perimetro in rosso).

Nella Cartografia Tecnica Regionale (C.T.R.) in scala 1:10.000 essa ricade nel foglio 528120 – S. Giusta. Nell'inquadramento topografico ci si è avvalsi del DTM su rilievo Lidar con maglia 1 m della RAS ed in quello geologico si fa riferimento alla Carta Geologica di Italia in scala 1:50.000, foglio 528 – Oristano edito dall'ISPRA nell'ambito del progetto CARG su rilievo 1:10.000.

3.1 Sintesi del progetto

Il primo stralcio funzionale dell'intervento di recupero dell'intero complesso, prevede la ristrutturazione e la riqualificazione della palazzina uso uffici posta in prossimità dell'ingresso (Figg.2-3), che consisterà nel risanamento delle murature, a luoghi fortemente ammalorate, del massetto/pavimento al piano terra e nella generale riqualificazione dell'intero immobile.

Non sono previsti aumenti di volumetria e i modesti incrementi di carico sono strettamente connessi all'adeguamento normativo.

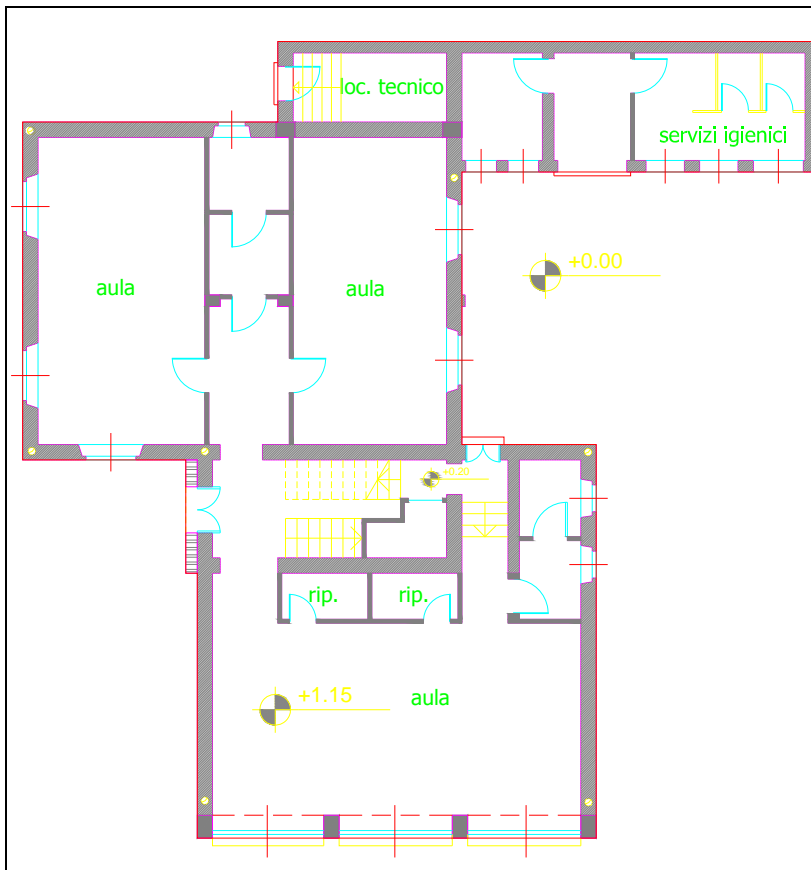


Figura 4. Stato di Progetto: pianta piano terra.

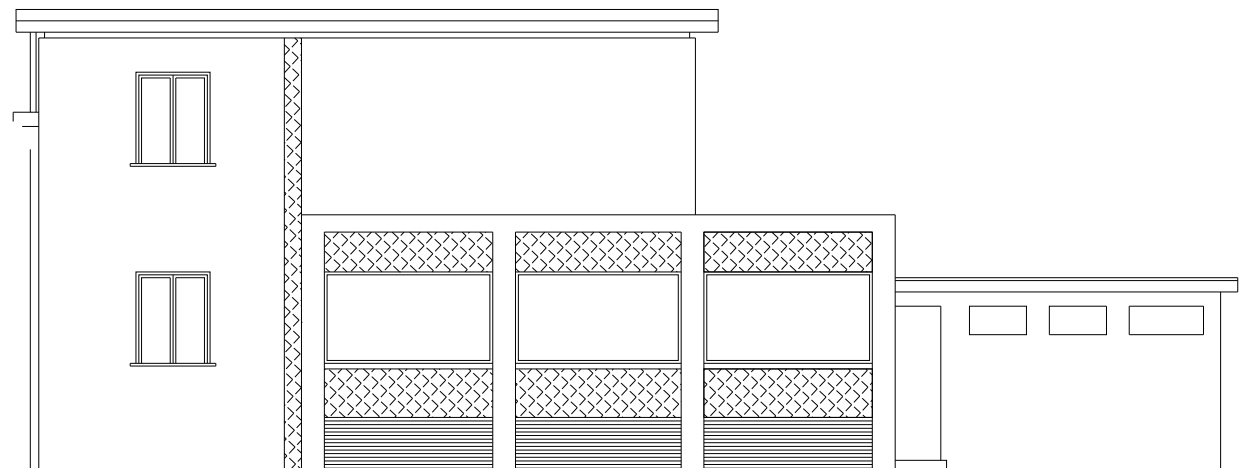


Figura 5. Stato di Progetto: prospetto nord.

4 ASSETTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO A SCALA DELL'AREA VASTA

L'area di intervento ricade nell'estremità nord-occidentale del Graben del Campidano (Fig.6), che costituisce un segmento della più ampia fossa Sarda, riattivata per effetto della tettonica distensiva Pliocenica la cui subsidenza, in questo settore, si è protratta probabilmente sino al Pleistocene inferiore.

Sino al quaternario, quindi, la fossa campidanese costituisce un ampio bacino di sedimentazione, che raccoglie i prodotti dello smantellamento del massiccio del Monte Arci, che si distribuiscono su una conoide ("Conoide del Tirso") estesa per oltre 20 km.

Tale imponente cono di deiezione si è generato in un paleoclima assai più umido di quello attuale, con un livello marino più elevato che imponeva il precoce rilascio dell'abbondante apporto solido mobilizzato, dalle falde detritiche del M.te Arci, in virtù delle copiose portate del Tirso e delle aste minori. Il protrarsi della subsidenza, inoltre, manteneva in attività il bacino sedimentario, permettendo di compensare gli incrementi di quota derivanti dall'accumulo dei depositi.

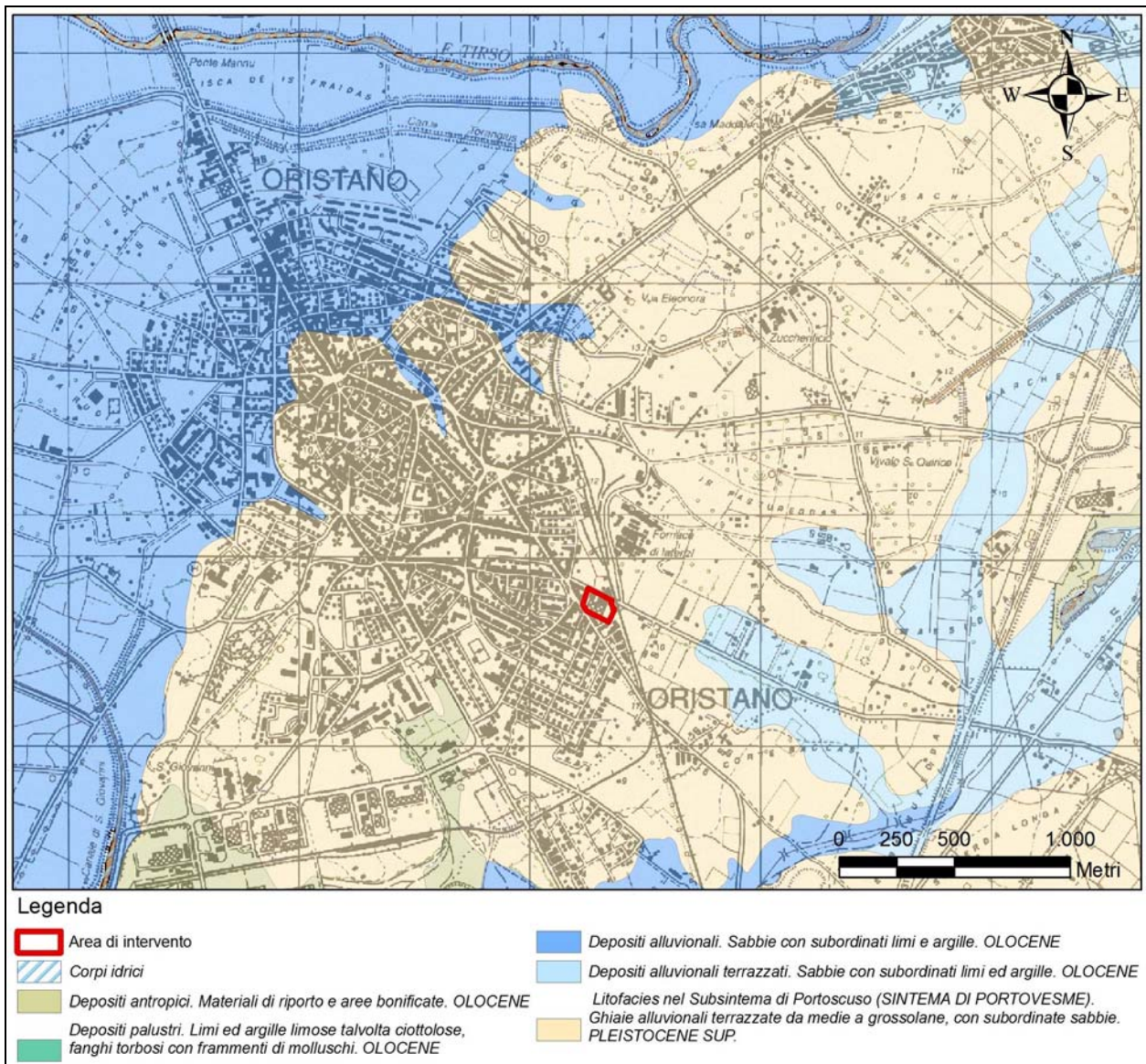


Figura 6. Carta Litologica dell'area vasta, su base Geologica 1:25.000 della RAS.

Questi ultimi, in generale, sono costituiti da ghiaie e sabbie medio-grossolane, fittamente intercalati e talora in eteropia di facies, presi in carico dalle falde detritiche e dai glacis del Monte Arci.

Il paesaggio in cui si inserisce l'intervento, quindi, è quello tipico di un'ampia piana alluvionale che giace su una colmata di sedimenti quaternari di ambiente fluvio-deltizio, frequentemente terrazzati (Fig.7).

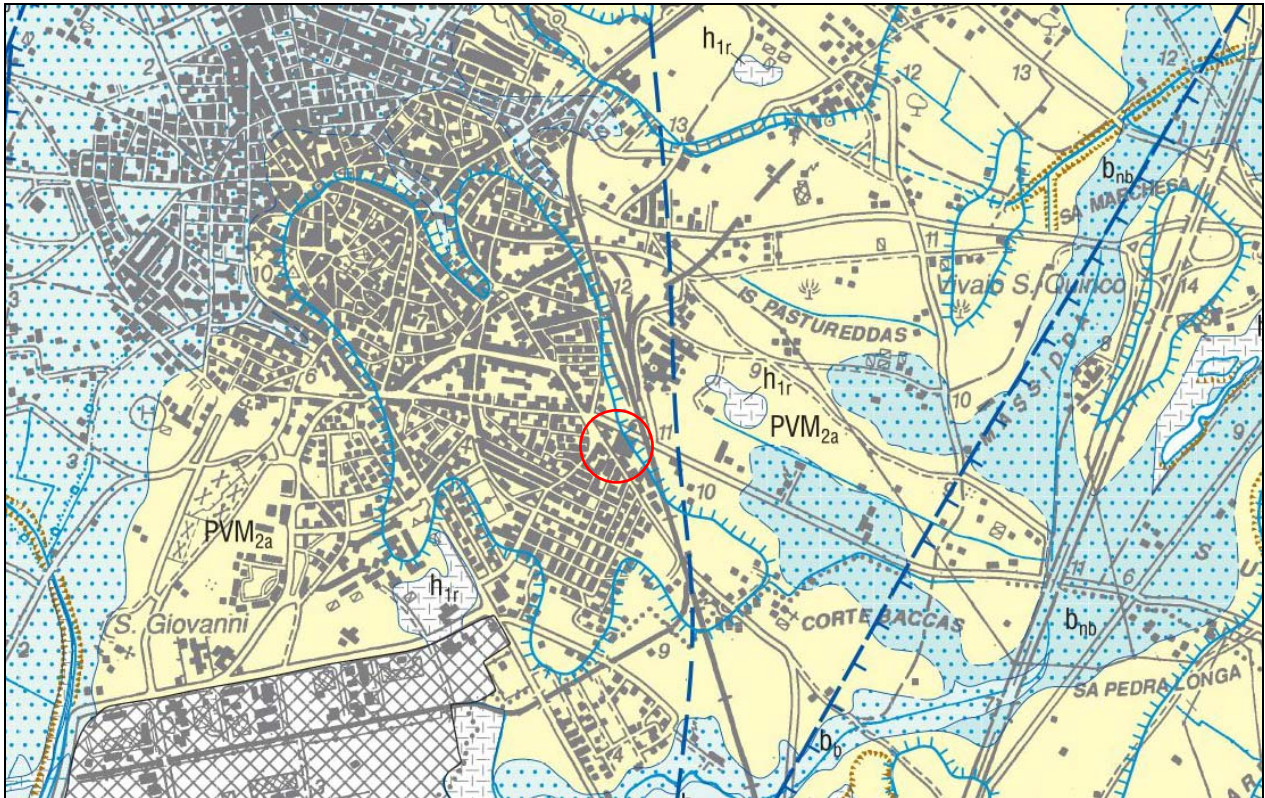


Figura 7. Particolare dei sedimenti alluvionali terrazzati del Pleistocene sup., sui cui bordi ricade l'area di intervento (circonferenza in rosso). (da: Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000. ISPRA - Progetto CARG. Stralcio modificato)

Il paesaggio urbano e periurbano di Oristano è quindi dominato da forme morbide e sub-tabulari, che si interrompono soltanto nelle principali incisioni fluviali ed in corrispondenza di forme antropiche quali rilevati stradali e ferroviari, come si evince agevolmente dal modello digitale del terreno ricavato dal volo LIDAR 2008 della RAS (Fig.8).

Tale modello evidenzia la ridotta escursione altimetrica che caratterizza l'area circostante il centro abitato, con picchi di quota che, significativamente, si ritrovano soltanto in corrispondenza di manufatti in materiali sciolti connessi a opere di attraversamento stradali e ferroviarie.



Figura 8. DTM ricavato dal volo LIDAR 2008 RAS: si osserva la modesta escursione altimetrica, con quote massime di circa 15,6 metri. L'area di intervento giace ad una quota media di circa 10,00 metri s.l.m.

5 CARATTERI MICROCLIMATICI DELL'AREA DI INTERVENTO

La posizione geografica, il carattere di insularità e l'orografia della Sardegna costituiscono i principali fattori che ne condizionano il clima (M. Pinna, 1954): occupando il centro del bacino occidentale del mediterraneo, essa è esposta al dominio dei venti occidentali e delle masse d'aria calda tropicale.

Nella classificazione di Köppen (1936) il clima regionale ricade nel novero di quelli temperati, corrispondente al tipo C – *Climi temperati delle medie latitudini* caratterizzato dal mese più freddo con temperature medie inferiori a 18°C ma superiore a -3°C e da almeno un mese avente temperatura media pari ad almeno 10°C. Si tratta quindi di un clima che esprime sia una stagione estiva che una invernale, ed è genericamente definito come clima Mediterraneo.

In ambito regionale la quasi totalità del territorio, ad eccezione delle zone interne e montuose, ricade nel sottotipo Csa della classificazione di Köppen, che si caratterizza per una temperatura media, nel mese più caldo, superiore ai 22°C e precipitazioni, nel mese più secco del semestre arido, inferiore a un terzo di quello del mese invernale più piovoso, e comunque non superiore a 30 mm.

Tale classificazione è stata ulteriormente dettagliata da Pinna nella Carta Climatica d'Italia (Fig.9) dove sono distinti quattro sottotipi del tipo C: *subtropicale* lungo tutta la costa meridionale e per un breve tratto della costa orientale (Siniscola-Orosei); *temperato caldo* nelle restanti zone costiere, in particolare quelle occidentali, e per tutto il Campidano e Logudoro-Marghine; le aree interne e montuose sono

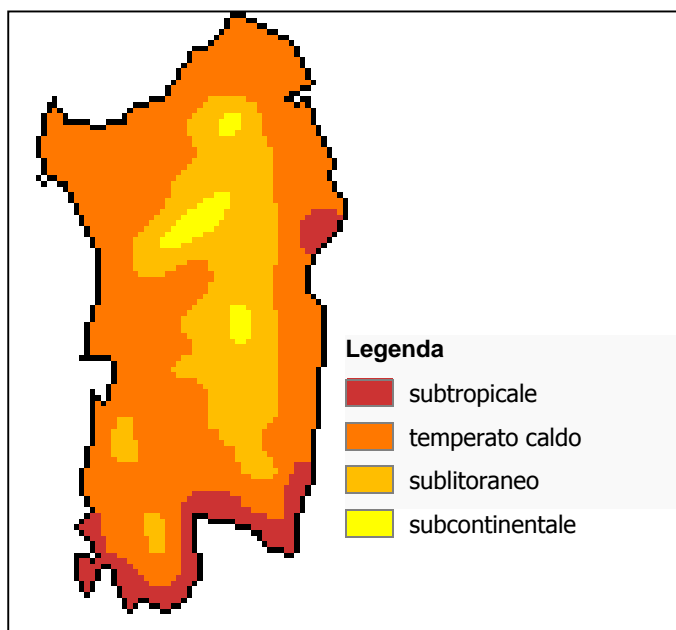


Figura 9. Climi temperati (tipo C di Köppen) caratteristici della Sardegna nella classificazione di Pinna (da Carta Climatica d'Italia - Modificata).

interessate prevalentemente dai climi *sublitoraneo* e, limitatamente ai rilievi più pronunciati, *subcontinentale*. Il comune di Oristano ricade nel secondo sottotipo.

La peculiare differenziazione delle stagioni deriva principalmente dalla migrazione del limite settentrionale delle celle di alta pressione che insistono nelle fasce subtropicali (Peixoto, 1992). Lo spostamento dell'alta pressione (*Anticiclone delle Azzorre*) raggiunge l'arco alpino nei mesi estivi, determinando un regime stabile talvolta tipico di climi subtropicali aridi, con temperature elevate e precipitazioni scarse o assenti lungo le coste.

A partire dall'autunno l'alta pressione rimane confinata al margine Nordafricano, favorendo la circolazione di aria umida atlantica che, scontrandosi con le masse d'aria calda ancora stazionanti sul mediterraneo, dà vita alla *ciclogenesi*¹ che interessa la Sardegna (Pinna, 1954) generando le perturbazioni cui si deve il più elevato apporto in termini di

¹ La regione mediterranea presenta la più alta frequenza e concentrazione di ciclogenesi del mondo (Landsberg, 1988).

precipitazioni, seguito dal meno abbondante massimo primaverile.

5.1 Acquisizione ed analisi dei dati locali

La base dati di riferimento è stata ricavata dal nuovo Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna (SISS) pubblicato nel 1998 per conto della R.A.S. dall'Ente Autonomo del Flumendosa (oggi ENAS), nel quale si considera un modulo di riferimento che va dal 1922 al 1992 per le pluviometrie e dal 1924 al 1992 per le termometrie. Dette misure sono state completate con i dati resi disponibili dal *Servizio tutela e gestione delle risorse idriche* della RAS sul sito istituzionale: il modulo pluviometrico è stato esteso sino al 2007, per un totale di 86 anni, mentre quello delle temperature riporta le misure sino al 2002 per un totale di 79 anni. Per i pluviogrammi è stata considerata la stazione pluviometrica di Oristano (12 m s.l.m.), mentre per le temperature, in assenza di serie complete relative a detta stazione, si è fatto riferimento a quella di Santa Giusta (10 m s.l.m.).

Di seguito (Tabella 1) si riportano le medie delle precipitazioni e delle temperature medie diurne mensili rispetto al modulo considerato:

Tabella 1. Medie termo-pluviometriche dell'area di intervento.

MESE	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
MEDIA PLUV. (mm)	65,4	61,5	47,4	49,5	31,9	11,2	2,6	6,9	35,4	75,3	90,2	85,2
MEDIA TEMP. (°C)	10,7	11,0	12,5	14,6	17,8	21,9	24,7	24,8	22,8	19,0	15,1	12,0

I dati pluviometrici rivelano l'andamento che caratterizza il settore costiero meridionale, con una evidente prevalenza delle precipitazioni nel periodo autunnale ed un minimo altrettanto netto nel periodo estivo (Istogramma in Fig.10). Il cumulato annuo è pari a circa 562,5 mm, un valore che rientra nella media dei dati costieri.

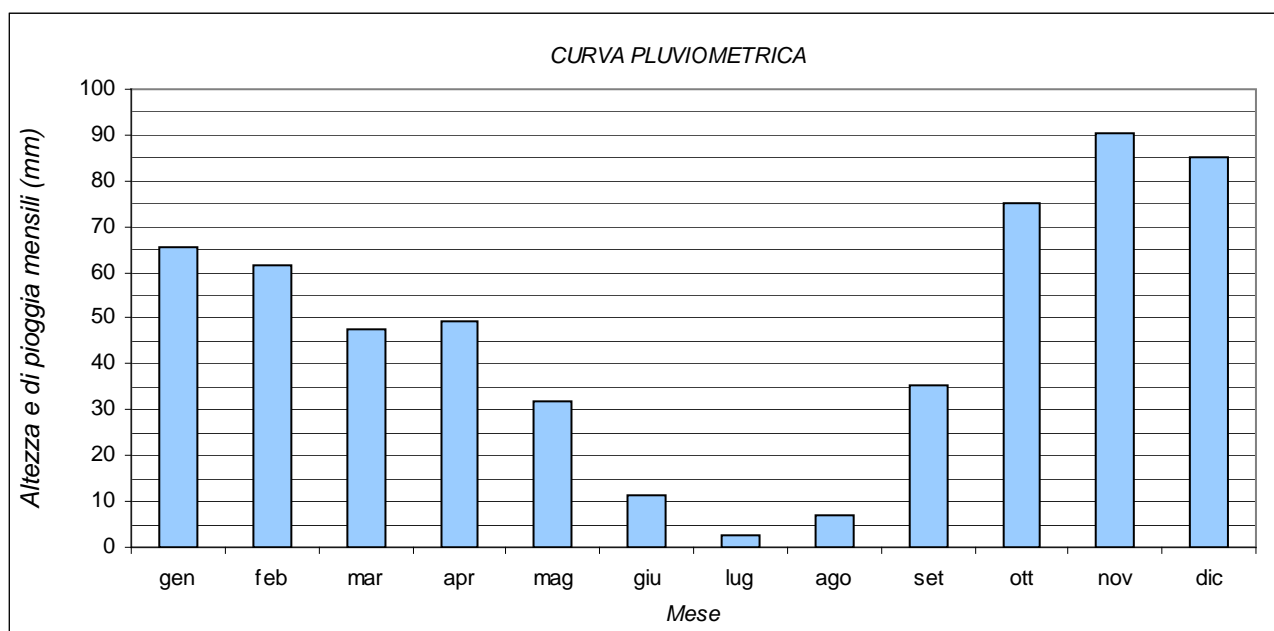


Figura 10. Diagramma delle pluviometrie medie mensili ed annue, su un modulo di 86 anni.

Il trimestre autunnale ottobre-dicembre, in particolare, fa registrare un cumulato medio pari a circa 250,5 mm, contro i 174,3 mm del trimestre invernale e i 92,6 mm di quello primaverile. Come accade per le zone costiere della Sardegna, dove la norma è costituita da estati aride con scarsissime precipitazioni,

nell'area in studio nel trimestre luglio-settembre si registra un'altezza media di pioggia pari a circa 44,9 mm, che si concentrano in gran parte nel mese di settembre.

La distribuzione delle precipitazioni, quindi, ricalca tipicamente la media dei climi mediterranei costieri, con un massimo, non particolarmente abbondante, in novembre (90,2 mm) ed un minimo in luglio, con soli 2,6 mm.

Per quanto attiene la durata e l'intensità delle piogge, esse sono rappresentate a scala regionale nello studio "Il clima in Sardegna" predisposto a cura di P.A. Chessa e A. Delitala per il Dipartimento Specialistico Regionale Idrometeorologico dell'ARPA Sardegna (<http://www.sar.sardegna.it>).

Tale studio è stato realizzato su dati circoscritti al periodo 1951-1980 per temperature e precipitazioni, e al 1951-1993 per i restanti parametri. Nella fattispecie, è di notevole interesse la distribuzione del numero di giorni piovosi sul territorio regionale (Fig.11), che evidenzia un massimo di oltre 80 giorni in corrispondenza dell'altipiano di Campeda, e dei massicci del Gennargentu e del Limbara.

Il Comune di Oristano ricade tra quelle a minore piovosità, con valori medi annui compresi tra 60 e 70 giorni.

In termini di intensità giornaliera, espresse in numero medio di giorni per altezza di pioggia, è significativa la carta regionale del numero di giorni con valore di precipitazioni superiore a 50 mm (Fig.12), nella quale si evidenzia un netto gradiente W-E con oltre 3 giorni piovosi in corrispondenza dell'Ogliastra: i rovesci violenti ed intensi sono quindi nettamente localizzati lungo il settore orientale dell'isola, benché il numero dei giorni piovosi sia tra i più bassi, contrariamente a quanto accade nel settore in studio dove al valore non elevato dei giorni piovosi corrisponde comunque una distribuzione più uniforme delle precipitazioni.

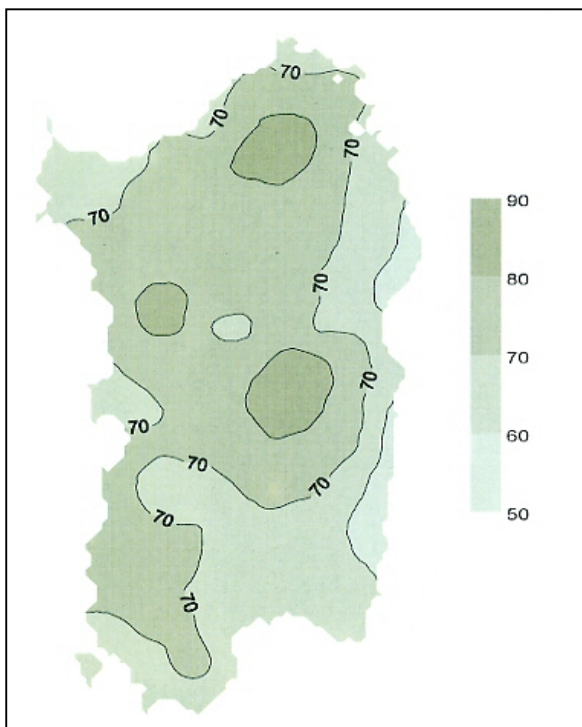


Figura 12. Distribuzione del numero medio annuo dei giorni piovosi.

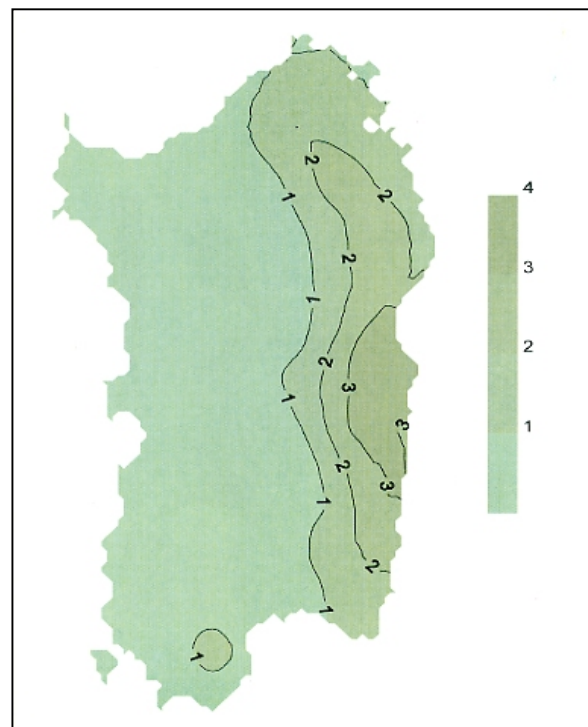


Figura 11. Distribuzione del numero medio annuo dei giorni con altezze di pioggia superiori a 50 mm.

5.1.1 Analisi della distribuzione delle temperature medie diurne

La temperatura è un parametro geograficamente più stabile e meno soggetto a variazioni locali rispetto alle precipitazioni, per cui è oggettivamente arduo, e talora artificioso, stabilire correlazioni a scala così ridotta. Con i dati riferiti alla Tabella 2 è stato elaborato il grafico (Fig.13) della distribuzione delle medie diurne mensili.

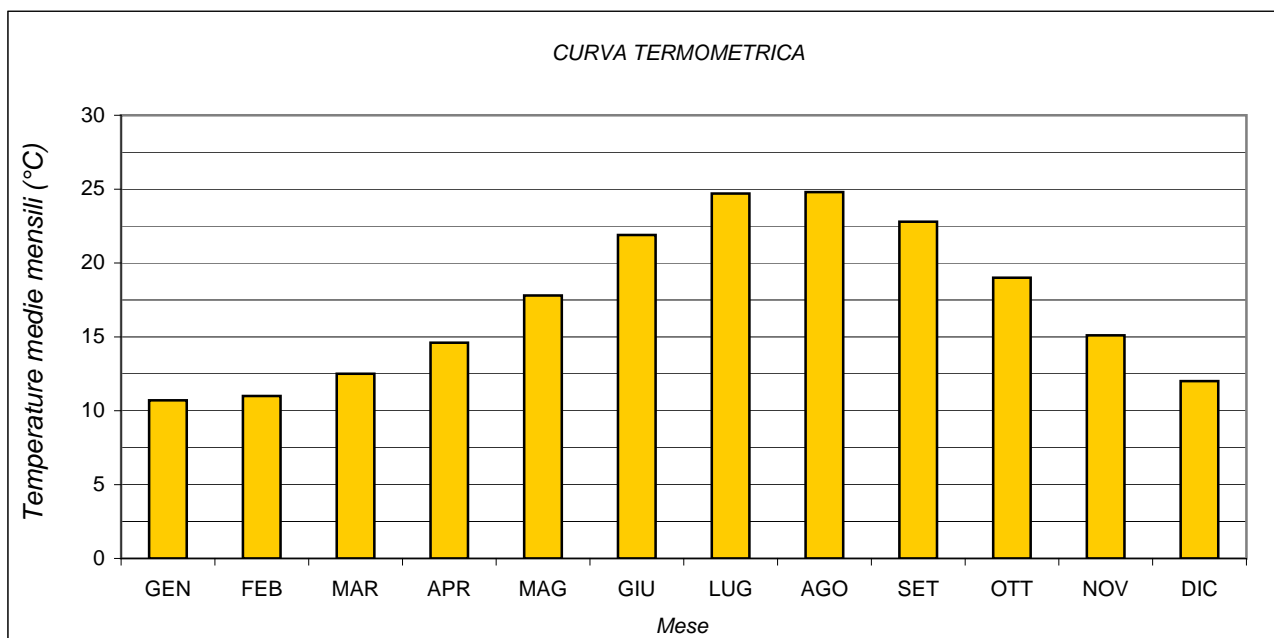


Figura 13. Trend annuo delle temperature medie mensili.

La stazione di riferimento descrive un clima costiero mite con una media annua pari a 19,2°C ed un trend delle temperature che presenta il picco estivo nei mesi di luglio ed agosto, con medie praticamente coincidenti (rispettivamente 24,7 e 24,8°C), leggermente più elevate di quelle medie della costa, di norma entro l'isoterma dei 24°C (P.A. Chessa, A. Delitala, 1997). Anche la stagione invernale rientra pienamente nei canoni descritti per il sottotipo climatico, con un minimo di 10,7°C collocato nel mese di gennaio, seguito da 11,0°C in febbraio.

Tali valori sono tipici di un inverno mite che si accompagna ad una ridotta escursione termica annua, con un valore medio di 15,0°C, corrispondente all'isodiafora dei 15°C che segna il limite minimo ubicato nella costa meridionale (Pinna, 1954).

5.1.2 Elaborazione ombrotermica di Walter e Lieth

Nella definizione del regime microclimatico è di notevole utilità la correlazione tra la curva termometrica e quella pluviometrica, ottenuta mediante la costruzione del diagramma di Walter e Lieth (Fig.14) sulle medie dell'intero comune.

Il diagramma confronta in modo diretto l'andamento stagionale dei due parametri, posti convenzionalmente su scale fisse, con quella delle precipitazioni doppia rispetto a quella delle temperature, evidenziandone il trend stagionale e le reciproche interazioni nel corso dell'anno.

Nel caso in oggetto, si osserva la caratteristica "sfasatura" tra le due curve, tipica del clima mediterraneo: la curva delle temperature subisce un netto incremento nella stagione estiva, con un massimo in luglio-agosto, mentre contemporaneamente le precipitazioni calano ai minimi annui; nella stagione autunno-

invernale il processo si inverte, con una progressiva diminuzione delle temperature, con un minimo tra dicembre e gennaio, a fronte di un rapido incremento delle precipitazioni che culmina nei mesi di novembre-dicembre.

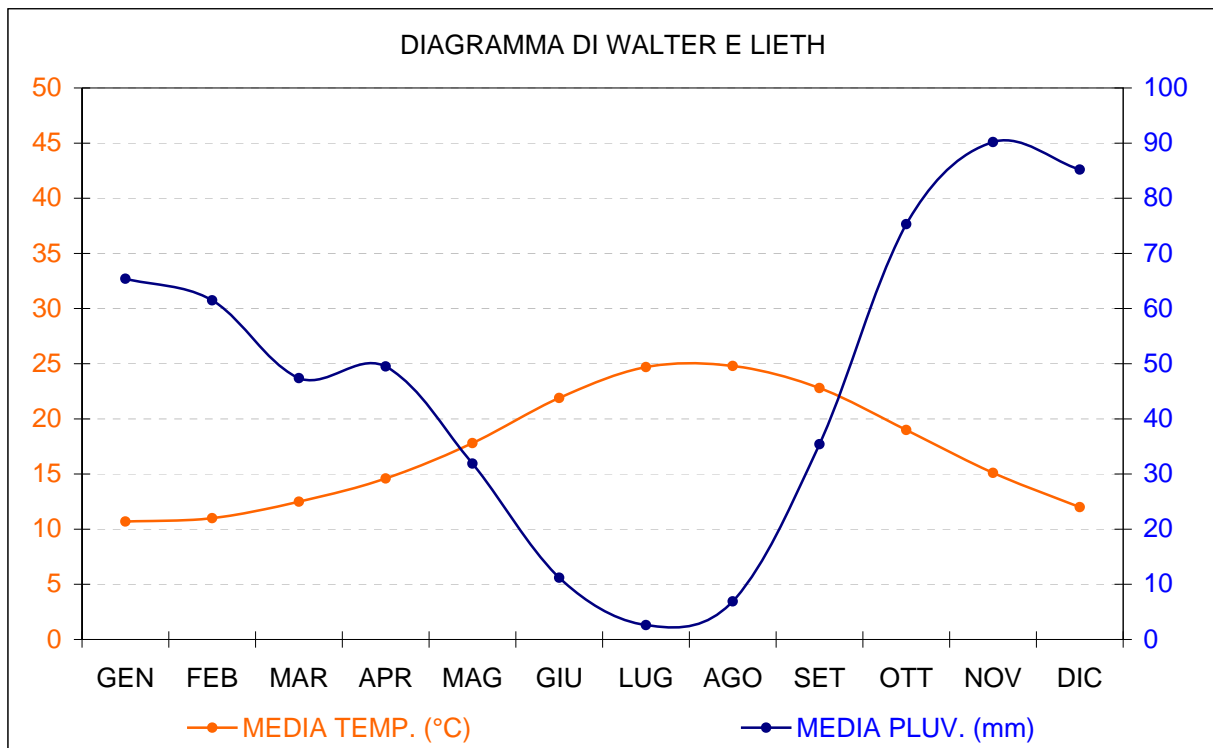


Figura 14. Diagramma umbrotermico di Walter-Lieth riferito alle medie dell'area di intervento.

Si registrano quindi due punti di intersezione delle curve che delimitano sulle ascisse l'intervallo di aridità cui corrisponde un periodo di deficit idrico: esso è compreso, in questo caso, tra maggio e settembre, come di norma accade nelle coste della Sardegna e si caratterizza per un tasso elevato di evapotraspirazione e una piovosità ridotta.

L'alternanza così netta di stagioni secche e stagioni umide riveste notevole importanza nella gestione del territorio sia sotto il profilo idrogeologico che idraulico, con apprezzabili oscillazioni delle portate dei corsi d'acqua principali e delle aste secondarie.

6 MODELLO GEOLOGICO A SCALA D'INTERVENTO

6.1 Caratteri geomorfologici e litostratigrafici dell'area in studio

6.1.1 Pericolosità geologica

Data la fisiografia sub-pianeggiante e l'assenza di scarpate artificiali di qualche rilievo, non si registrano fenomeni di dissesto gravitativo in atto. Coerentemente con quanto osservato, il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) non delimita aree di pericolosità, sia nella versione vigente (approvata nel 2007), sia nello studio di dettaglio ex Art.8 c.2 delle N.A., redatto a corredo dell'adeguamento del PUC al PAI e PPR, adottato in regime di salvaguardia con delibera CC n.29 del 22/03/2016. In quest'ultimo caso (Fig.15) l'area ricade in classe di pericolosità Hg0, ossia tra quelle studiate ma *prive di pericolosità da frana attuale o potenziale*.

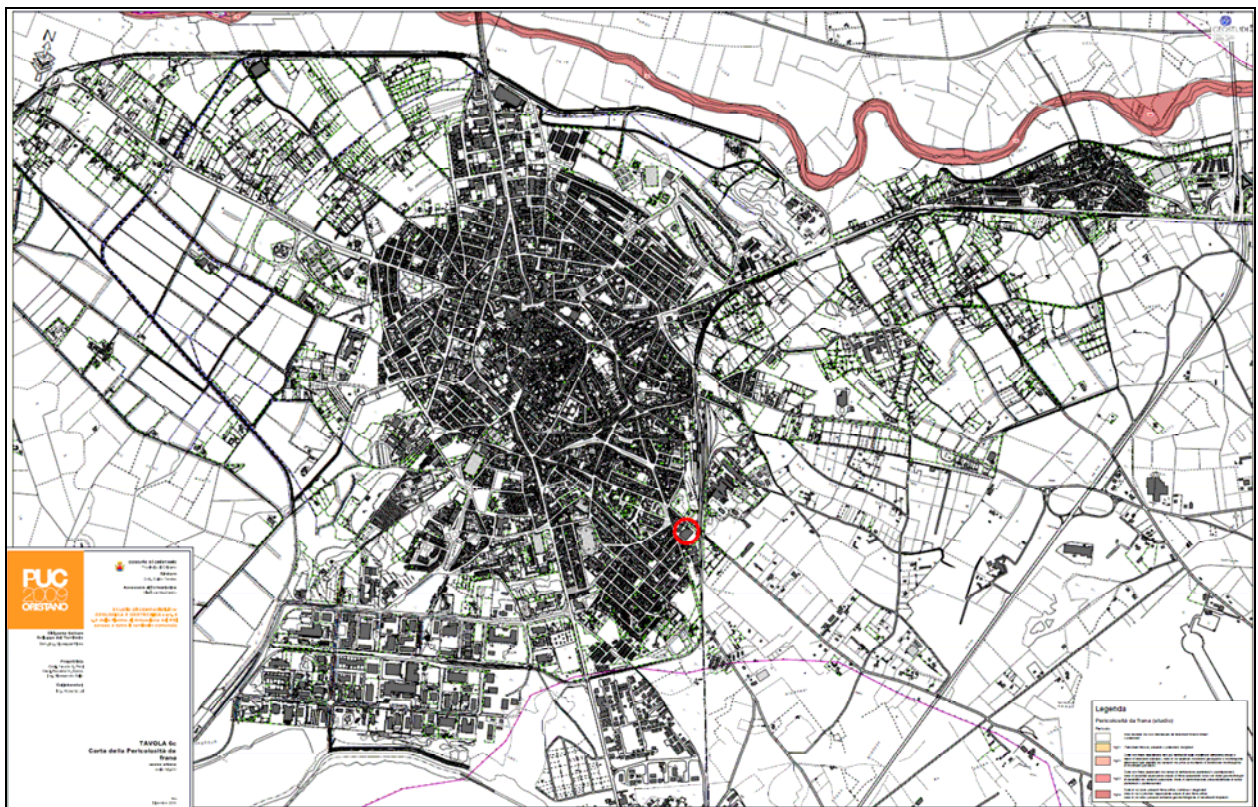


Figura 15. Studio di compatibilità geologica e geotecnica ex art.8 c.2 delle N.A. del PAI, Tavola 6b - Carta della pericolosità da frana - settore ovest. In evidenza l'ampia campitura in grigio che identifica le aree studiate e prive di dissesti significativi, in atto o potenziali. L'area in studio è contenuta nella circonferenza rossa.

6.2 Idrografia locale

L'idrografia dell'area è dominata dal bacino del Tirso che con 3365.78 km² di estensione e circa 185 km di lunghezza dell'asta principale, rappresenta il fiume più importante della Sardegna. La geometria a scala di bacino evidenzia un pattern evoluto, prevalentemente dendritico, con aste che localmente assumono direzioni sub-parallele, dando vita ad una caratteristica geometria di tipo "pennato". Queste ultime si osservano in particolare nel quadrante sud-orientale dell'area in studio (Fig.16), in corrispondenza di conoidi detritiche in cui le aste che le incidono tendono più facilmente ad allinearsi secondo la massima pendenza in forza della facile erodibilità di tali sedimenti.

Nelle aree pianeggianti e depresse si evidenzia in modo netto l'azione antropica sul governo delle acque

superficiali, attuato mediante una fitta rete di canali di bonifica e irrigazione, tutt'ora attivi, che fanno oramai parte del paesaggio.



Figura 16. Reticolo idrografico dell'Area Vasta di Oristano: in evidenza il tracciato meandriforme del Tiro e la presenza di pattern assai differenti, in particolare nel quadrante sud-orientale, dove compaiono geometrie di tipo pennato.

Il grado di evoluzione dell'asta principale si evidenzia in particolare sulla piana, con un tracciato sinuoso, a tratti con cenni di meandri abbandonati ed anastomizzazioni, delimitato dalla fascia golenale che ospita la porzione settentrionale dell'abitato di Oristano.

L'area in studio, in particolare, ricade in prossimità di una delle tante incisioni, oramai oblitrate dall'urbanizzazione, colmate di sedimenti perlopiù limoso-argillosi, con potenze di alcuni metri.

Le coperture sedimentarie superficiali, inoltre, possiedono una scarsa capacità di infiltrazione efficace e favoriscono locali e perduranti ristagni, specie nelle zone più depresse ed acquitrinose, innescati da precipitazioni anche di intensità non eccezionale.

6.2.1 Pericolosità idraulica

Il settore centro-settentrionale dell'area urbana di Oristano ricade in aree di pericolosità idraulica definite sia nell'ambito del PAI che del PSFF. La relazione di compatibilità idraulica a corredo del PUC propone nuove perimetrazioni e recepisce le prime in regime di salvaguardia, con la citata Delibera CC n.29/2016: sia le precedenti perimetrazioni che quelle di nuova estensione, non interessano l'area oggetto di intervento, nemmeno per tempi di ritorno pari a 500 anni (rispettivamente classe di pericolosità Hi1 e Fascia C dei predetti studi).

La carta di sintesi dei tre studi illustrati è riportata in Fig.17)

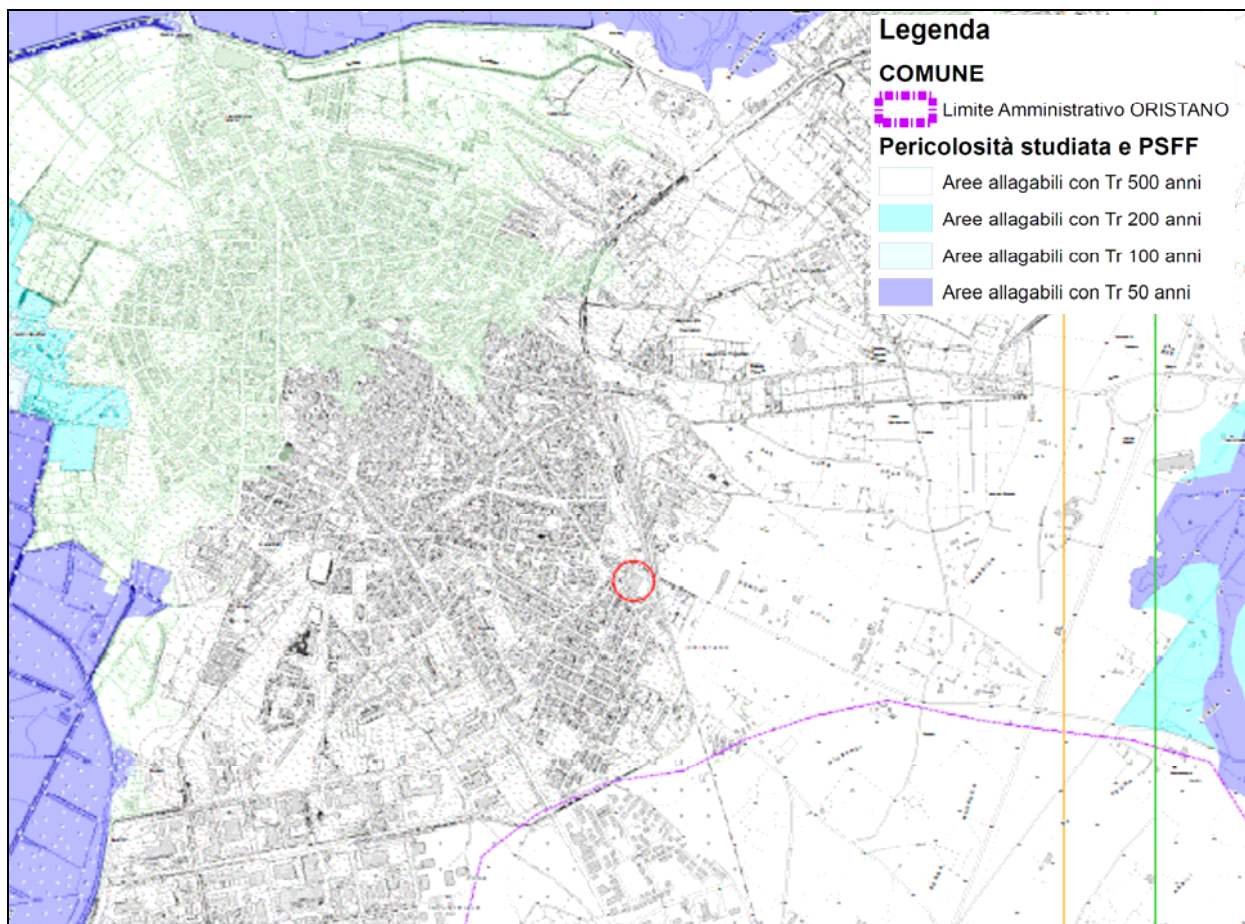


Figura 17. Stralcio della Tav.07 - Carta delle misure di salvaguardia (Studio-PSFF). Si tratta di un elaborato coordinato tra PSFF vigente e lo studio di compatibilità idraulica a corredo del PUC.

6.3 Assetto litostratigrafico ed idrogeologico locale

L'area di sedime è stata indagata mediante l'esecuzione di tre pozzetti geognostici (Tabella 2 e Fig.18), disposti approssimativamente secondo un triangolo equilatero circoscritto al fabbricato, e spinti a profondità comprese tra 4,10 (P2) e 4,80 metri (P3).

Tabella 2. Consuntivo delle indagini geognostiche.

LITOTIPO	QUOTA (m s.l.m.)	CAMPIONE	PROFONDITÀ (m)	PROVA DI LABORATORIO
Limi sabbiosi debolmente addensati	10,25	P3-C1	0,50 – 1,90	Classificazione CNR UNI 10006
Limi argillosi consistenti	9,90	P2-C2	1,60 – 3,20	Taglio diretto con scatola di Casagrande (ricostruito) Classificazione CNR UNI 10006
Sabbie limoso-argillose compatte	9,95	P3-C3	1,90 – 3,,10	Classificazione CNR UNI 10006



Figura 18. Esecuzione del pozzetto 1 mediante terna gommata.

distingue nettamente il P1 dal P2 e P3: nel primo caso, infatti, il riporto si presenta prevalentemente sabbioso, sciolto, con qualche frammento di risulta, mentre dai restanti due si ritrova una massciata in blocchi grossolani, decimetrici, frammisti a sabbia e ghiaia eterometrica, debolmente addensata.

In entrambi i casi gli spessori sono contenuti in 0,40-0,50 metri, oltre i quali si raggiunge il substrato naturale che, sino a profondità variabili da 1,40 (P1) a 1,90 metri da p.c. (P3), è costituito da limi argilloso-sabbiosi di colore nerastro, inizialmente rimaneggiati e debolmente addensati, con abbondante contenuto in frustoli e apparati radicali e abbondante matrice organica. Alla base presentano un addensamento nettamente maggiore, accompagnato dal sensibile aumento della consistenza della frazione argillosa.

I limi argilloso-sabbiosi rimaneggiati e pedogenizzati

La correlazione dei log stratigrafici ricavati dalle tre verticali di indagine (Stratigrafie in allegato e Fig.19), descrive un assetto caratterizzato da una buona omogeneità latero-verticale, con netta prevalenza di litotipi coerenti, prevalentemente limoso-argillosi.

In tutti i pozzetti si ritrova uno strato superficiale di riporto, che

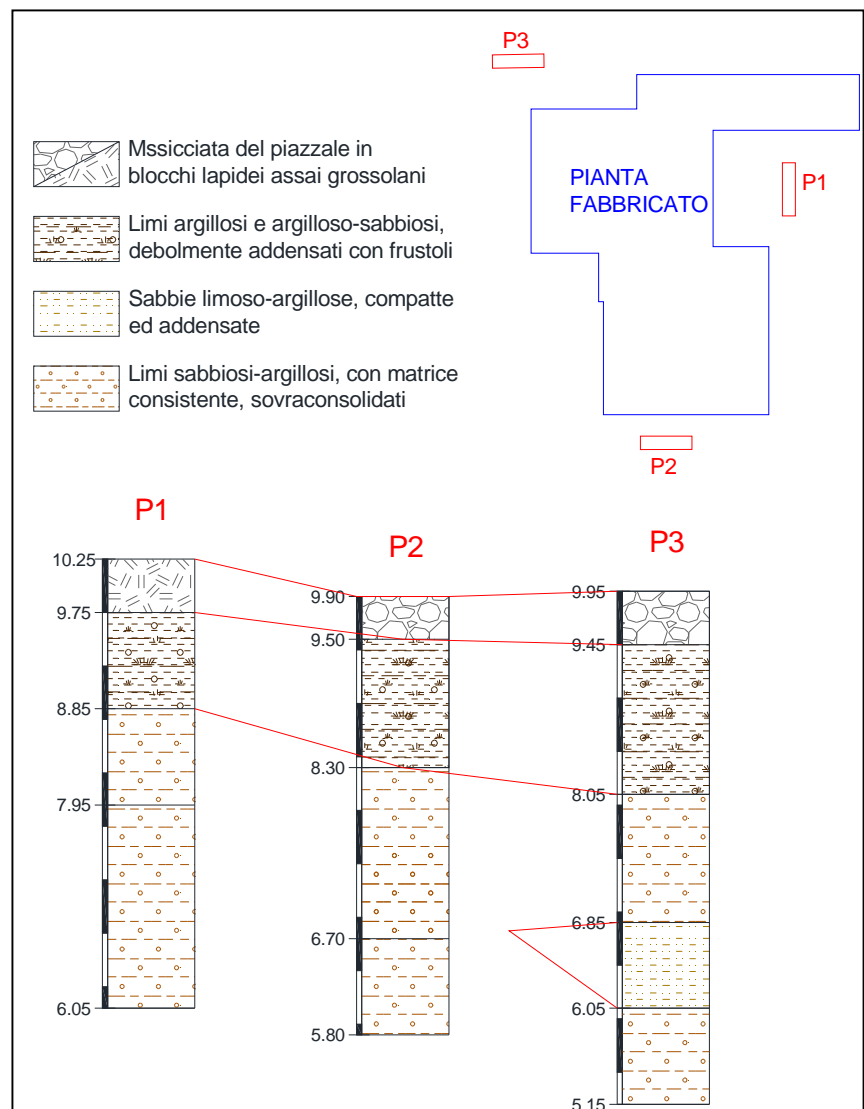


Figura 19. Correlazione litostratigrafica tra le verticali di indagine.

passano in profondità a limi leggermente più sabbiosi, con un contatto scarsamente definito e debolmente immergente verso il P3. Anche in questo caso si tratta di un litotipo di un deposito terrigeno di ambiente continentale, in facies fluvio-deltizia a bassa energia. La matrice argillosa, piuttosto abbondante e consistente, talora prevale in sottili livelli intercalati ai limi senza nette soluzioni di continuità che ne consentano (ove ve ne fosse una qualche necessità) la classificazione in unità litostratigrafiche distinte. L'ambiente tipicamente transizionale, infatti, è fisiologicamente caratterizzato da sedimentazione in eteropia di facies, con frequenti interdigitazioni di litotipi di natura e tessitura spesso assai differenti. Quest'ultima fattispecie si ritrova nel P3, dove in senso ai limi argillosi, tra 3,10 e 3,90 metri di profondità, si ritrova una lente di sabbie fini e medie, in abbondante matrice limoso-argillosa (Fig.20), non rilevata nei restanti pozzetti.



Figura 20. Pozzetto 3: sabbie limose campionate da 3,10 a 3,90 metri di profondità.

La sporadicità di talune intercalazioni e il loro modesto spessore, ne rende spesso scarsamente significativa, la loro distinzione, soprattutto nella modellazione geotecnica (per la quale si rimanda alla specifica Relazione), nella quale le unità litostratigrafiche confluiscono in più ampie unità geotecniche, omogenee per comportamento geomeccanico a breve e lungo termine.

6.3.1 Assetto idrogeologico locale: falde superficiali

Le potenti coltri detritiche, da argillose a ghiaiose, costituiscono un tipico acquifero multistrato, caratterizzato da un'ampia variabilità latero-verticale dei parametri di conducibilità idraulica, con falde ospitate nei livelli sabbioso-ghiaiosi, e confinate (parzialmente o totalmente) tra *aquitard/aquiclude* limoso-argillosi.

La soggiacenza della falda, pari a circa 8,35 metri, è stata rilevata in modo diretto da un pozzo a largo diametro profondo circa 15 metri, collocato a ridosso del limite occidentale del lotto. La quota

piezometrica risulta in linea con quanto rilevato per altri studi su aree contermini, nel corso dei quali è stata accertata la presenza di un acquifero sabbioso-ghiaioso assai permeabile, alla profondità di circa 7-8 metri, confinato dalle soprastanti argille.

6.4 Indagini indirette: profilo di velocità MASW e calcolo delle V_{S30}

Il presente studio risponde alle prescrizioni dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 e del decreto attuativo n.14 del 14/01/2008 i quali prescrivono l'adozione di una classificazione dei terreni secondo cinque categorie (A, B, C, D, E) oltre due speciali (S1 ed S2), da determinare in base alla velocità di propagazione delle onde di taglio mediate nei primi 30 metri di profondità, ovvero alla cosiddetta V_{S30} , da calcolare mediante l'equazione:

$$V_{S30} = 30 / \sum_{i=1,n} (h_i / V_{s_i}) \quad (1)$$

Dove:

- n rappresenta il numero degli strati nel modello del terreno;
- h_i sono gli spessori dei diversi strati;
- V_{s_i} sono le velocità delle onde di taglio nei diversi strati.

In dettaglio, le cinque categorie ordinarie sono così definite:

- A:** formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V_{S30} maggiori di 800 m/s, comprendenti eventuali strati d'alterazione superficiale di spessore massimo di 3 metri;
- B:** depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{spt} > 50$, o coesione non drenata $C_u > 250$ kPa);
- C:** depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argilla di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < C_u < 250$ kPa);
- D:** depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 180$ m/s ($N_{spt} < 15$, $C_u < 70$ kPa);
- E:** profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali con valori di V_{S30} simili a quelli dei tipi C e D e spessore non superiore a 20 metri, giacenti su un substrato di materiale più rigido con $V_{S30} > 800$ m/s.

Si tralasciano, in quanto non d'interesse, le due ultime categorie, per le quali sono prescritti studi speciali per la definizione della risposta a sollecitazioni sismiche.

Nel presente studio, ai fini della caratterizzazione del sito sono state eseguite stime della V_{S30} con misure effettuate in corrispondenza di un profilo lungo circa 92 metri, lungo la viabilità centrale del complesso, come riportato nella planimetria delle indagini. I rilievi, l'elaborazione e la restituzione sono stati eseguiti dalla società TERGAM s.r.l.

6.4.1.1 Illustrazione sintetica della metodologia applicata

Per la stima della V_{s30} , è stato adottato il metodo ReMi (Refraction Microtremor), che consiste essenzialmente nei seguenti passi:

- 1) si esegue una registrazione sismica multicanale del disturbo naturale e/o indotto dalle attività antropiche, senza ricorrere ad energizzazioni di tipo impulsivo come quelle normalmente impiegate nella sismica di prospezione (rifrazione, riflessione, tomografia cross-hole etc.); la registrazione deve avere lunghezza temporale adeguata (p.e. alcune decine di secondi); la geometria dello stendimento sismico deve essere stabilita in funzione delle caratteristiche e dell'obiettivo con l'ausilio di geofoni con bassa frequenza naturale (non maggiore di 14 Hz);
- 2) per uno stesso stendimento sismico vengono eseguite diverse registrazioni (da alcune a qualche decina);
- 3) dopo le fasi di preparazione (*pre-processing*) i dati, acquisiti nel dominio spazio-tempo (s-t), vengono trasformati nel dominio lentezza-frequenza (p-f), essendo la lentezza p il reciproco della velocità; questa operazione produce per ciascuna registrazione uno spettro di lentezza che, rappresentato graficamente, di norma secondo una scala cromatica, mostra la localizzazione nel piano p-f degli eventi dotati di maggiore energia; al fine di migliorare il rapporto segnale/disturbo, è possibile selezionare solo gli spettri migliori, i quali vengono sommati tra loro in modo da ottenere un solo spettro da interpretare;
- 4) una volta ottenuto lo spettro p-f si devono riconoscere, in esso, gli eventi sicuramente associati alle onde superficiali (onde di Rayleigh e/o onde di Love); dato che le onde superficiali hanno la caratteristica di essere dispersive, il loro riconoscimento può non essere difficile se i dati sono di buona qualità ed elaborati in modo corretto;
- 5) si esegue quindi il *picking* della curva di dispersione, ottenendo le coppie *p-f* riconosciute come appartenenti alle onde superficiali;
- 6) l'inversione della curva di dispersione delle onde superficiali fornisce i valori della velocità di propagazione delle stesse in funzione della profondità e, poiché la velocità di propagazione delle onde superficiali è in rapporto noto con quella delle onde di taglio (p.e. $V_{\text{Rayleigh}} \approx 0.9 V_s$), quest'ultima risulta stimata.

Una volta ottenuto un modello stratificato del terreno in cui sono stimati gli spessori e le relative V_s , si stima la V_{s30} mediante l'equazione (1) in premessa.

Nella fattispecie i dati sono stati acquisiti mediante uno stendimento di 24 geofoni verticali con frequenza naturale di 14 Hz, disposti in linea con un passo costante di 3.0 metri. Sono state eseguite 15 registrazioni sfruttando il *rumore di fondo* indotto da un'energizzazione casuale prodotta in testa al profilo e acquisizioni su una lunghezza di registrazione pari a 30 secondi. Lo studio ha riguardato le onde di Rayleigh.

La curva di dispersione è stata interpretata in modo soddisfacente con un modello a quattro strati. Detti strati, è bene precisarlo, si basano esclusivamente sulla distinzione delle velocità di propagazione delle

onde S nel substrato e non su caratteri geologico-stratigrafici rilevabili (e, almeno nei primi metri, rilevati) mediante indagini dirette.

Nelle figure 21, 22, 23 e 24 sono mostrati nell'ordine:

- ❑ *lo spettro p-f;*
- ❑ *la curva di dispersione con sovrapposta la curva di migliore adattamento (la linea blu che separa i campi bianco e grigio);*
- ❑ *il modello corrispondente alla curva di migliore adattamento;*
- ❑ *il grafico della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità.*

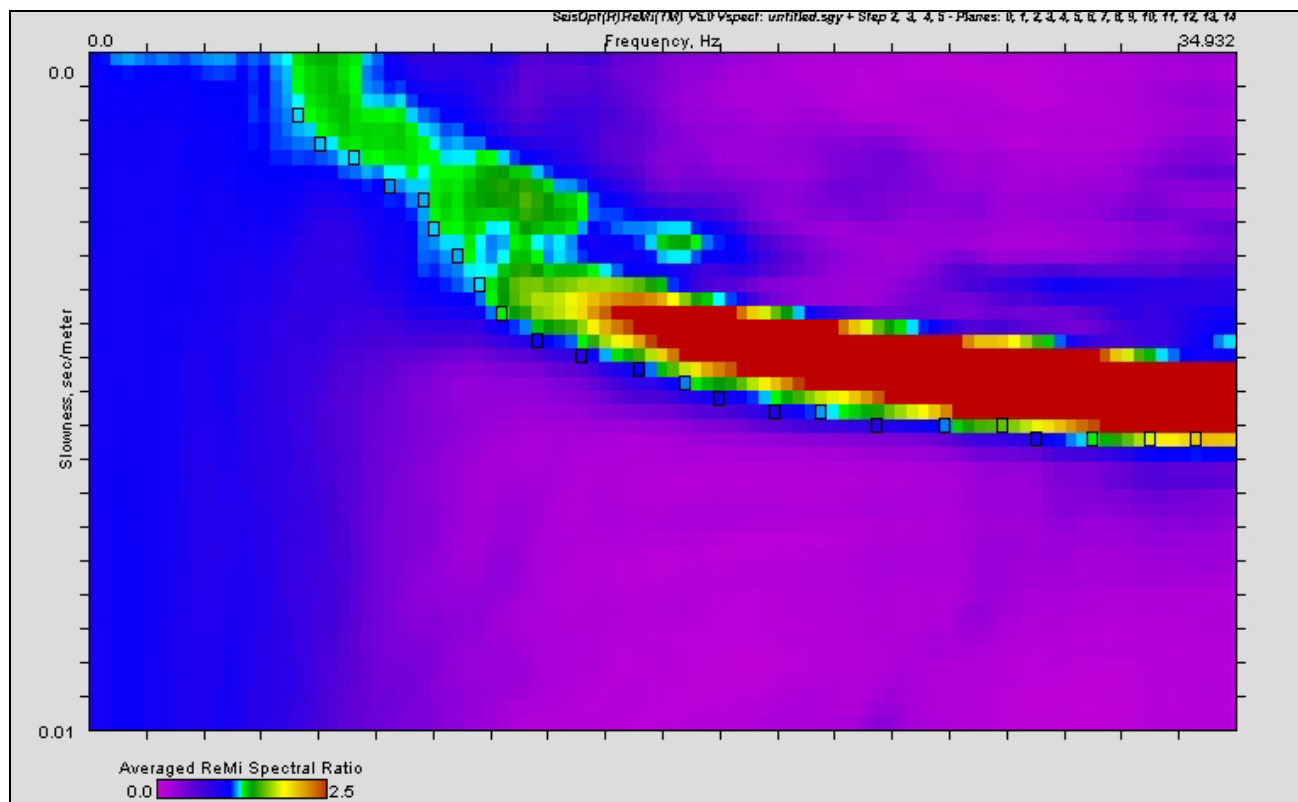


Figura 21. Spettro p-f

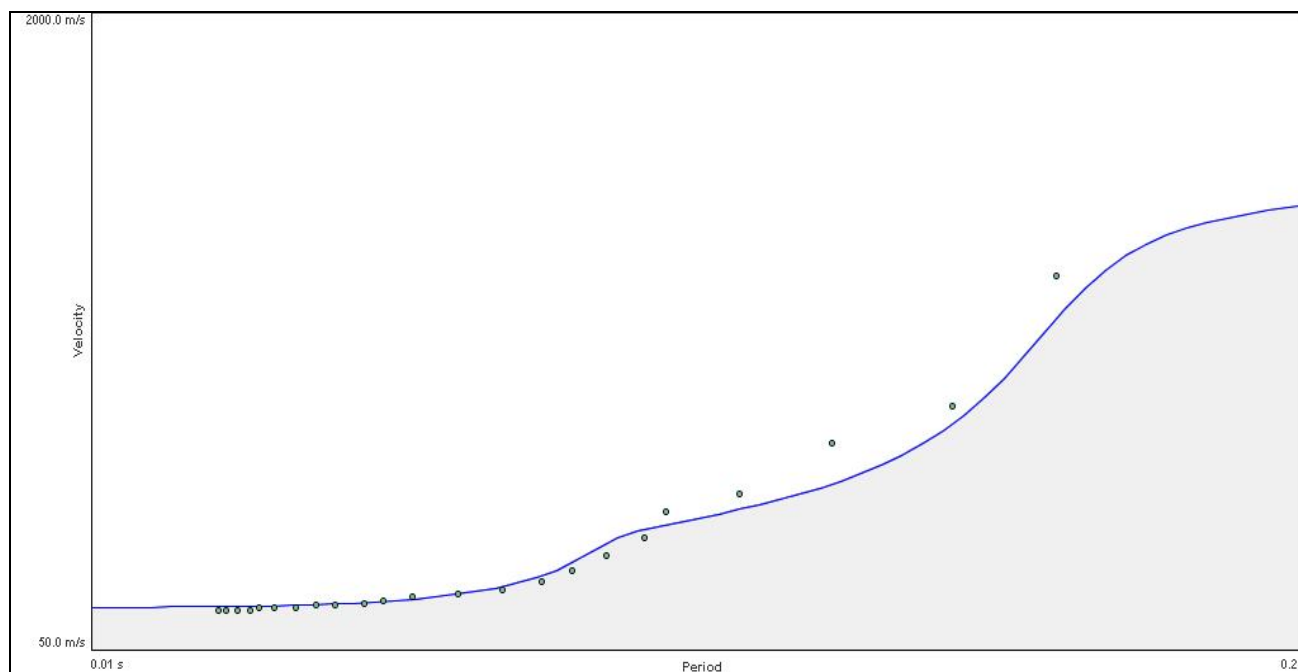


Figura 22. Curva di dispersione.



Figura 23. Modello di interpretazione: si distinguono 4 orizzonti di Vs30.

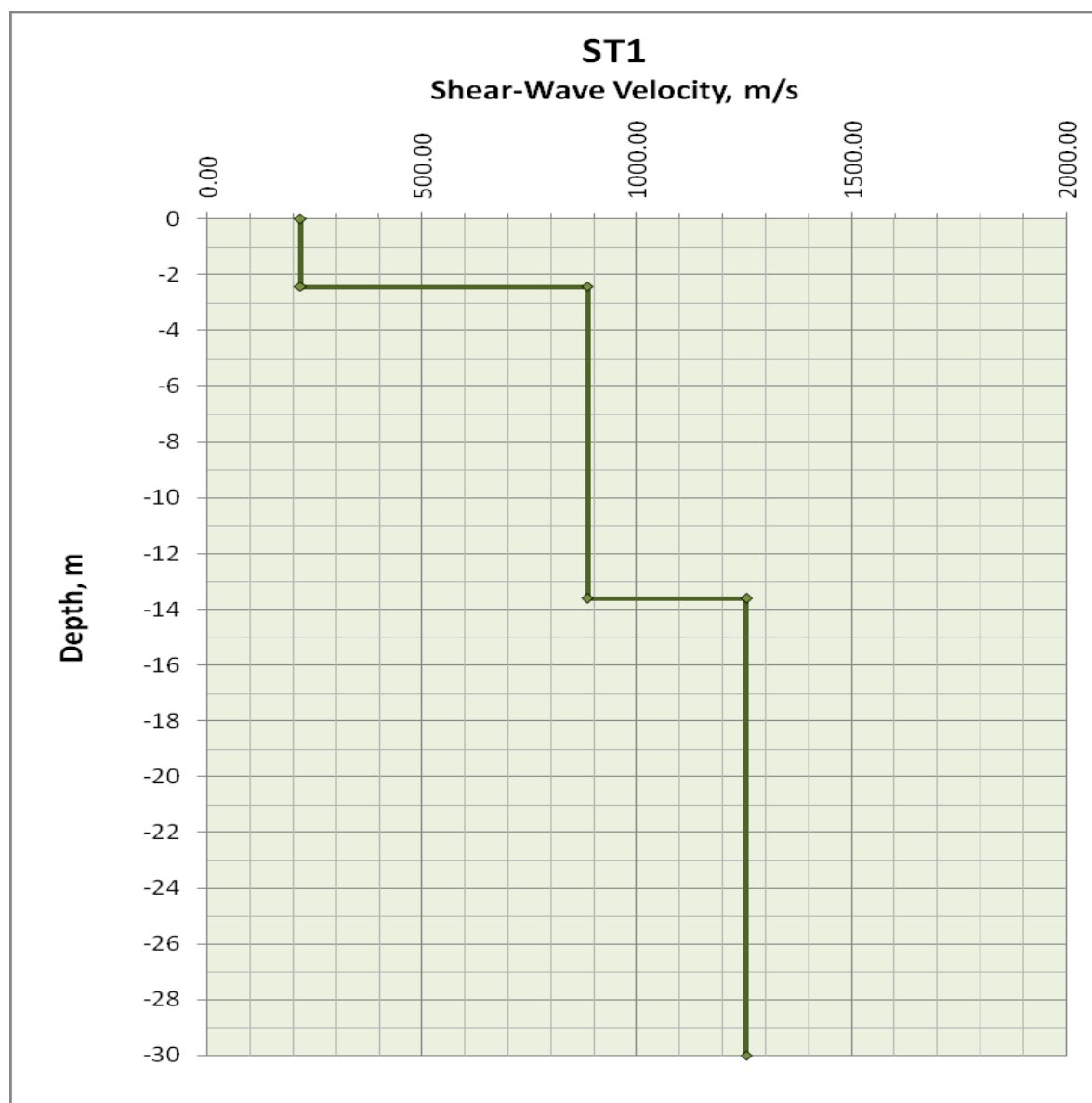


Figura 24. Velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità.

Dal confronto tra le funzioni di velocità ricavate con l'inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, si osserva che la velocità di propagazione delle onde di taglio cresce con la profondità (Tabella 3) raggiungendo valori superiori a 800 m/s solo a partire da circa 14 metri di profondità dall'attuale p.c. mentre per profondità inferiori i valori possono ritenersi modesti.

Tabella 3. Strati con Vs omogenee.

Strato	Profondità (m)	Densità (t/m ³)	Vs (m/s)
1	0.00 – 6.30	2.00	204.49
2	6.30 – 9.45	2.00	394.78
3	9.45 – 13.95	2.36	445.65
4	13.95 – 30.00	2.57	1704.20

L'interpretazione stratigrafica di tali valori può essere condotta solo in presenza di verticali di indagine altrettanto profonde, di cui non si dispone. Tuttavia, almeno nei primi metri, si riconosce una favorevole corrispondenza, con velocità (ed addensamenti) modeste sui primi strati limoso-argillosi, plastici e debolmente consolidati, che tendono ad incrementarsi in profondità sino ad un picco oltre i 14 metri, presumibilmente riconducibile a sedimenti pliocenici ben cementati (arenarie/argilliti).

Per quanto riguarda la stima dalla Vs₃₀, è stata applicata l'equazione (1) al profilo di velocità completo dalla quale risulta **Vs₃₀ = 613.68 m/s** che inquadra il sedime nel substrato in **Categoria E**, come definita nel decreto attuativo n. 14 del 14/01/2008, illustrato in precedenza, ossia alluvioni simili alle categorie C e D, con spessore inferiore a 20 metri, poggianti su substrato rigido Vs₃₀ > 800 m/s).

Come sancito dai contenuti dell'allegato A dell'O.P.C.M. n.3274/2003, inoltre, tutti i comuni della Regione Sardegna sono classificati in Zona 4 la quale, nella zonazione sismica del territorio italiano, rappresenta quella a rischio sismico *molto basso*. In tutto il territorio regionale, pertanto, l'azione sismica di riferimento, ossia accelerazione orizzontale massima attesa "a_g" cui corrisponde la probabilità di eccedenza del 10% in un periodo di 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni) su suolo rigido di tipo A, è pari a 0,05g.

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E PRESCRIZIONI

L'area in studio giace ad una quota media di circa 10,00 metri s.l.m. su sedimenti continentali pleistocenici in facies di conoide. Il sito non ricade in aree di pericolosità idraulica e/o da frana delimitate nell'ambito del PAI, del PSFF e del PGRA.

A scala di intervento non si individuano criticità geomorfologiche connesse a dissesti gravitativi potenziali od in atto, mentre sotto il profilo idraulico va rimarcata la scarsa capacità di infiltrazione superficiale delle coperture sedimentarie superficiali pedogenizzate che, unitamente alla giacitura sub-orizzontale dell'area, può dare luogo a ristagni superficiali delle acque meteoriche.

L'area di sedime del fabbricato attuale è stata investigata mediante indagini dirette, consistite in 3 pozzetti geognostici, ed indirette, rappresentate da un profilo MASW per la definizione delle V_{S30} . I primi hanno consentito di ricavare il dettaglio litostratigrafico del volume significativo sotteso alle opere fondali, nel quale sono stati distinti due litotipi limoso-argillosi, a stratificazione sub-orizzontale, ed un litotipo in giacitura lentiforme, rappresentato da sabbie limose, riconducibili a facies alluvionali terrazzate.

La soggiacenza della falda freatica, ospitata nell'acquifero sabbioso non intercettato nei pozzetti, è stata rilevata in un pozzo interno all'area di intervento, è pari a circa 8,35 metri.

Cagliari, 25/06/2017

Il geologo

dott. Angelo Vigo

