



*Comune di Assemini
Città Metropolitana di Cagliari
Programma di Pianificazione Integrata per l'ambito di*

CUCCURU MACCIORRI

STUDIO DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA,
GEOTECNICA E IDROGEOLOGICA

Relazione

Dott. Geol. Fausto A. Pani

Dott. Ing. Alessandro Salis

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO DI SETTORE	3
3	QUADRO GENERALE	6
3.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO DEL SITO	7
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	8
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE	12
5.1	STRATIGRAFIA DEL SUBSTRATO	12
5.1.1	Paleozoico	12
5.1.2	Terziario	12
5.2	STRATIGRAFIA DEI DEPOSITI SUPERFICIALI	14
5.2.1	Quaternario	14
6	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	18
7	INQUADRAMENTO GEOPEDOLOGICO	20
8	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	24
8.1	ACQUE SUPERFICIALI	24
8.2	ACQUE SOTTERRANEE	24
9	STUDIO STRATIGRAFICO DEL SITO	26
9.1	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	26
9.1.1	Caratteristiche tecniche del penetrometro:	27
9.1.2	Cedimenti	30
10	VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA	31
10.1	Inquadramento territoriale e normativo	31
10.2	Finalità della disciplina dell'assetto idrogeologico	31
10.3	Indagine storica sui fenomeni di dissesto	32
11	EVENTI INCENDIARI CON RILEVANZA AI FINI DELLA VALUTAZIONE DELLA STABILITÀ DEI VERSANTI	33
12	LE AREE FRANOSE O POTENZIALMENTE FRANOSE	33
13	LA COMPATIBILITÀ GEOLOGICA DELLA PROPOSTA DI PROGETTO	34

1 PREMESSA

Il presente studio si propone di realizzare il supporto geologico, geotecnico e idrogeologico al progetto proposto, conformemente a quanto previsto dalla legislazione vigente.

Il presente documento fa, inoltre, riferimento a quanto previsto dalle norme PAI vigenti (03/10/2019) per il quale un progetto preliminare di interesse pubblico necessita di opportune relazioni tecniche, che riportino lo sviluppo di opportuni studi specialistici del progetto.



Mappa – Area di studio

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO DI SETTORE

La seguente relazione geologica è conforme a quanto richiesto da:

dal punto H del D.M. 11.3.1988 “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 e il collaudo delle opere di sostegno e delle terre e delle opere di fondazione”;

- dal DM NTC2018;
- dagli Eurocodici EC7 ed EC8.

In particolare, il D.M. 2018 e la Circolare applicativa stabiliscono le Norme Tecniche per le Costruzioni o meglio le norme per la progettazione ed il dimensionamento delle strutture.

Tale documento, come anche precisato dalla successiva Circolare Applicativa del 2019, con tutti gli ovvi risvolti sulle fasi preliminari della progettazione, è quindi riferito alla fase esecutiva della progettazione.

Relazione di compatibilità geotecnica, geologica e idrogeologica

Per quanto riguarda la sfera attinente la professionalità del geologo vengono richiesti all'interno della progettazione 3 documenti:

- relazione geologica
- relazione geotecnica
- relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base.

La relazione geologica deve contenere le indagini, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito in riferimento all'opera ed analizzare la pericolosità geologica del sito in assenza ed in presenza delle opere. La valenza di questo documento è fondamentale non solo per la progettazione esecutiva dell'opera ma per stabilire in fase di progettazione architettonica o preliminare se l'opera si "può fare" e quali saranno le problematiche relative alla stabilità dei terreni ed all'assetto idrogeologico dell'intorno.

La relazione geotecnica riguarda le indagini, la caratterizzazione e modellazione geotecnica del solo "volume significativo" e deve valutare l'interazione opera/terreno ai fini del dimensionamento.

La relazione sulla modellazione sismica deve valutare la pericolosità sismica di base del sito, tale documento riveste importanza per la valutazione della "pericolosità" e quindi va inserito non solo nel livello di progettazione definitivo ma già fin dal livello di progettazione preliminare. Dato che tale documento specie per la trattazione degli effetti di sito assume un carattere prettamente "geologico", lo stesso può essere redatto in forma indipendente o essere inserito nella relazione geologica.

In particolare la normativa generale presa a riferimento è costituita da:

- Decreto Ministeriale 2018
- Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. Circolare 2019.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
- Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007
- UNIEN 1998 5:2005 Eurocodice 8 (rev 2005)
- Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture
- Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- UNIEN 1997 1:2005 Eurocodice 7.1 (rev 2005)
- Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali
- UNIEN 1997 2:2002 Eurocodice 7.2 (rev 2002)
- Progettazione geotecnica – Parte I : Progettazione assistita da prove di laboratorio
- EC 1-20120 UNIEN 1997 2:2007 Eurocodice 7.2 (rev 2007)
- Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito
- Leggi regionali in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico
- Piano di Assetto Idrogeologico

Relazione di compatibilità geotecnica, geologica e idrogeologica

- Piano delle Fasce Fluviali
- Piano Gestione Rischio Alluvioni
- Ordinanze Autorità di Bacino nazionale, regionale o interregionale
- Piani Territoriali di coordinamento (Provincia)
- Piano Urbanistico, Regolamento edilizio e Norme Tecniche di Attuazione
- D.M. 11.03.1988

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità e dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Altresì, sono necessari i documenti di verifica dell'Invarianza idraulica delle NTA PAI art. 47 (agg. 03/10/2019) ed una opportuna valutazione della presenza di pericolosità geologica e idraulica, che paiono essere assenti, dai documenti ufficiali disponibili.

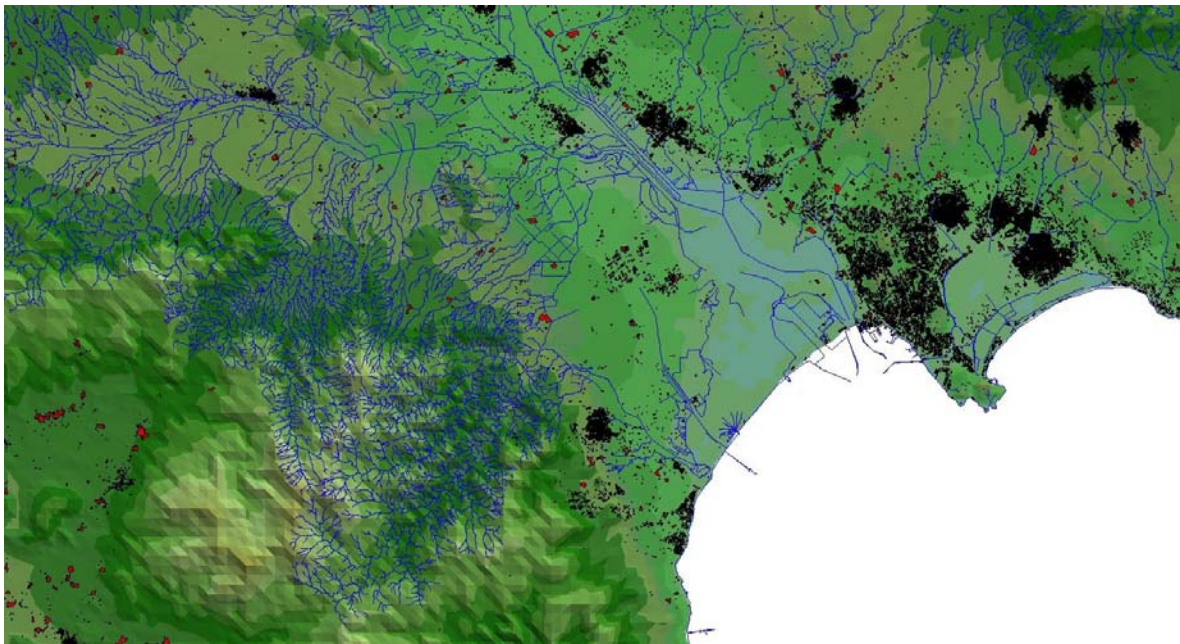
3 QUADRO GENERALE

Il settore di studio di Assemini è posto al centro del Campidano, in fronte alla immissione della valle del Cixerri, al piede della conoide del paleo Santa Lucia.

L'area è caratterizzata da una elevata coerenza di caratteristiche, in particolare con il sistema cagliaritano e campidanese.

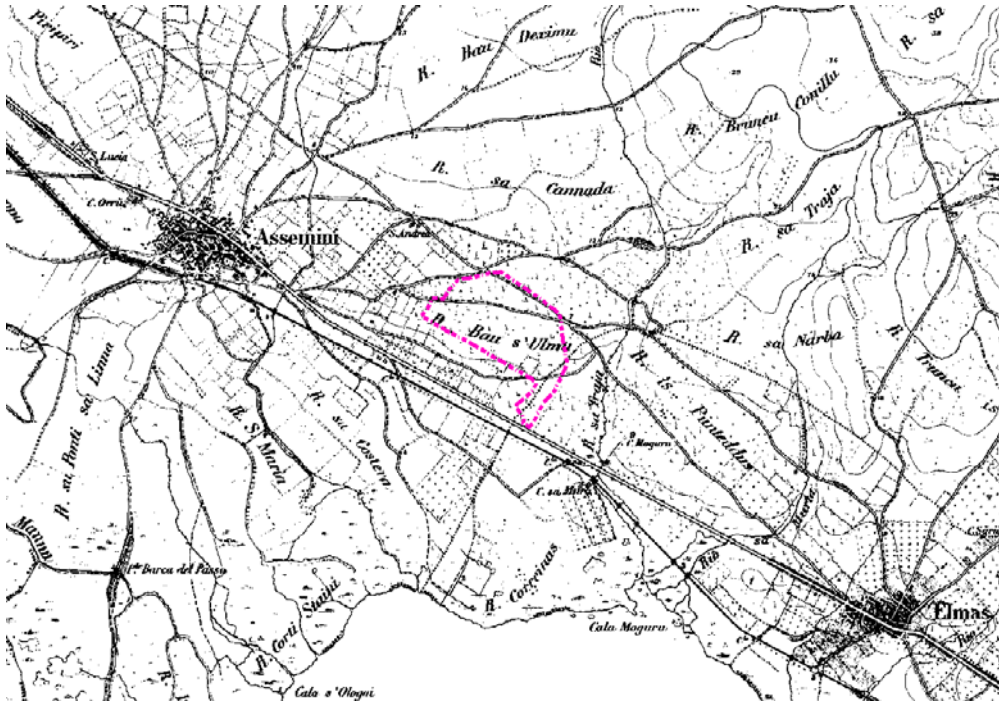


Vista 3d - Il settore di progetto(in viola) sul DTM della RAS colorato per fasce altimetriche ed illuminato da NW



Mappa – Il rilievo del suolo ombreggiato con sovrapposto il reticolo idrografico ed il settore di intervento di Assemini, posto nella fascia terminale della conoide del paleo Santa Lucia

Il settore costituisce un lembo del Bacino idrografico afferente lo stagno di Santa Gilla.



7

[illegible]

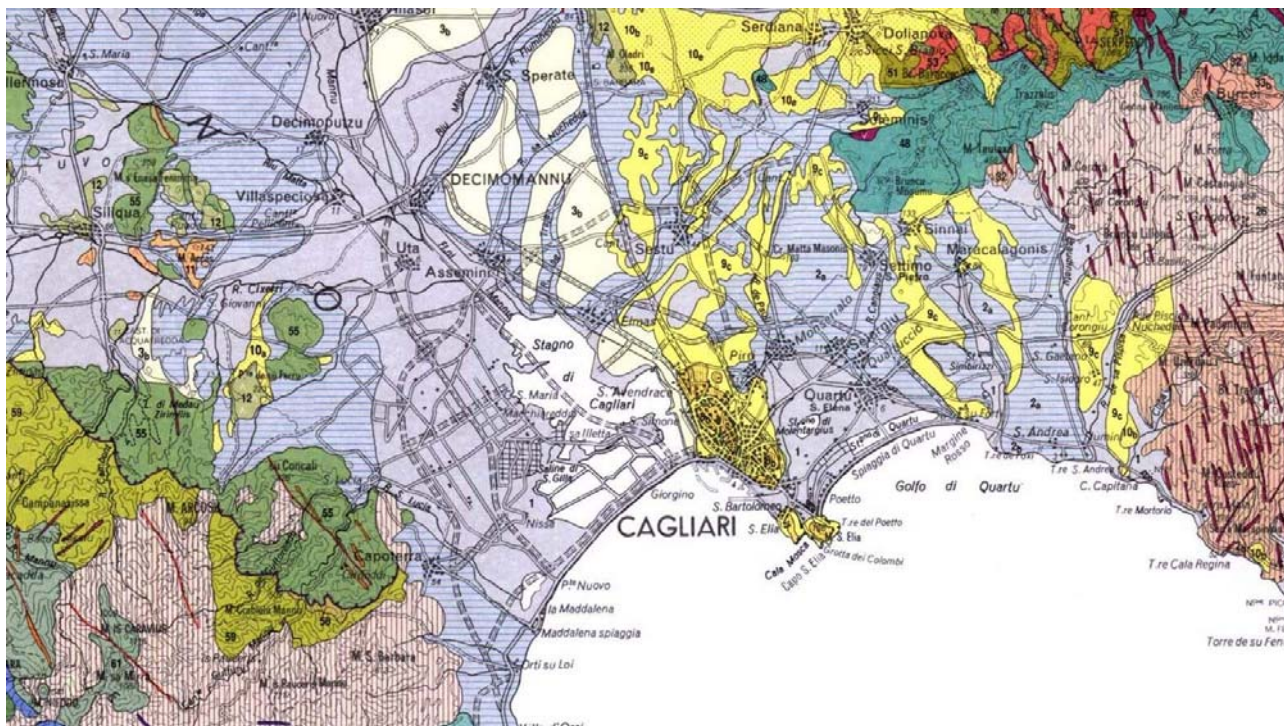
Gli eventi più antichi sono legati all'orogenesi ercinica che imprime al batolite granitico le principali linee strutturali attraverso deformazioni, metamorfismo ed un rilevante magmatismo effusivo e intrusivo. La zonazione tettonometamorfica del basamento sardo (Carmignani et al., 1980/1982), considerata "identica" a quella delle catene collisionali, è data da:

- Alla luce di questa osservazione alcuni autori sostengono che il basamento sardo sia un segmento della catena collisionale ercinica sudeuropea, interessata da subduzione di crosta oceanica e da metamorfismo di alta pressione nel Siluriano; mentre durante il Devoniano e il Carbonifero si sarebbe verificata una collisione continentale con sovrascorrimento della placca

Relazione di compatibilità geotecnica, geologica e idrogeologica

armoricana e con un importante appilamento dei frammenti strappati al margine subdutto del continente del Gondwana.

Su quest'ultimo si erano depositate varie sequenze sedimentarie costituite da depositi lagunari ed epicontinentali terrigeni e carbonatici, di oltre 3000 m di spessore, classicamente suddivisi nelle Formazioni di Bithia, di Nebida, di Gonnese e di Cabitza.



Mappa - Carta geologica della Sardegna

Nell'Ordoviciano si ha una situazione di arco vulcanico testimoniata dalla deposizione, al di sopra di questa sequenza sedimentaria, di prodotti lavici e piroclastici ad affinità calcalalina con composizione da acida ad intermedia.

Contemporaneamente il substrato del complesso vulcanico è interessato da intrusioni di tipo granitoide cui sono attribuiti anche gli ortogneiss di Capo Spartivento-Monte Filau; in tale zona queste rocce presentano un metamorfismo ercinico di alta pressione e bassa temperatura e affiorano come core complex. A loro volta gli ortogneiss sono intrusi negli "Scisti di Monte Settiballas".

Al piegamento della successione del Cambiano-Ordoviciano inferiore nell'ambito di un bacino di retroarco e alla sua emersione (Fase Sarda), seguì un'imponente fase erosiva sviluppatasi anteriormente al Caradociano. I prodotti di tale erosione costituiscono i potenti depositi sintettonici della "Puddinga", un conglomerato poligenico, a cemento ematitico-fillosilicatico, discordante rispetto alla Formazione di Cabitza o sulle formazioni cambriane precedenti. A questi depositi seguono i metasedimenti relativi alla "Trasgressione caradociana".

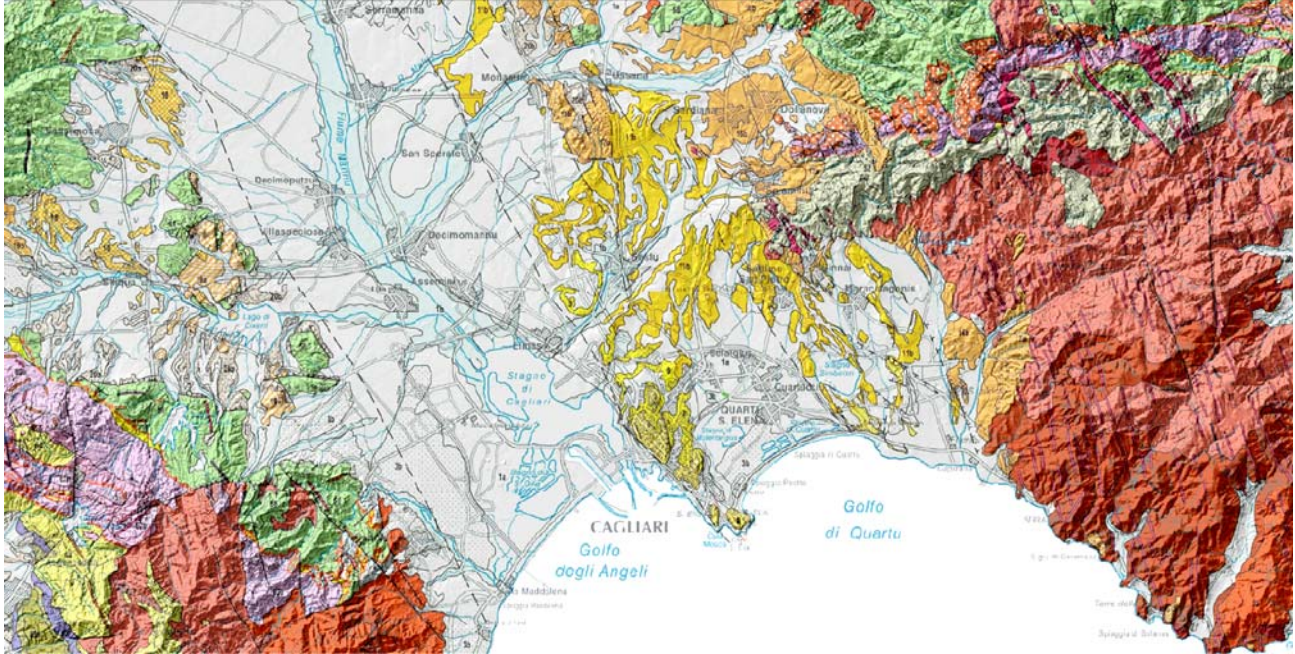
L'assenza di vulcanismo calcalalino a partire dall'Ordoviciano superiore testimonia l'interruzione della subduzione; sono invece presenti prodotti vulcanici di tipo basico alcalino tipici di ambiente sottomarino. A partire dal Carbonifero inferiore si assiste alla ripresa di attività tettonica di tipo trascorrente e alla comparsa di fenomeni vulcanici basico alcalini che vengono considerati come prodromi dell'orogenesi ercinica.

All'orogenesi sono associate le varie facies intrusive presenti in Sardegna. Il sistema filoniano legato a questo magmatismo si sviluppa in due fasi principali ed è formato essenzialmente da

Relazione di compatibilità geotecnica, geologica e idrogeologica

porfidi, porfiriti e diabasi. Successivamente all'acme compressivo si sviluppa una fase distensiva evidenziata sia dalle intrusioni dei granitoidi che da metamorfismo di alta temperatura e bassa pressione che interessano le rocce di facies anfibolica del core complex di Monte Filau. Sono inoltre presenti faglie dirette a basso ed alto angolo che si manifestano nei livelli superficiali.

Mentre l'evoluzione tettonica distensiva post-collisionale volge al termine, sulla nuova terra emersa è già in atto l'azione erosiva e modellatrice degli agenti esogeni.



Mappa - La geologia dell'area vasta di Assemini

La fase continentale si protrae fino al Trias inferiore ed in questo lasso di tempo il rilievo ercinico viene largamente eroso, mentre vaste aree assumono la configurazione di un penepiano. La Formazione del Cixerri è la prima testimonianza sedimentaria terziaria presente nella zona; è da evidenziare la totale assenza dei sedimenti marini ed epicontinentali del Mesozoico altrove presenti. La formazione del Cixerri poggia in discordanza sul basamento paleozoico; la causa di questa discordanza è la fase Pirenaica, una fase compressiva attiva a partire dall'Eocene medio. I sedimenti costituenti la Formazione sono di ambiente continentale, principalmente di tipo arenaceo siltoso e conglomeratico. L'importanza di questa formazione è anche di tipo paleogeografico, in quanto è considerata come l'ultimo episodio continentale testimoniante la continuità della Sardegna meridionale con il settore iberico, prima dell'apertura del bacino Balearico.

Questa situazione geodinamica distensiva interessa la Sardegna nell'Aquitano-Burdigaliano. Questa fase è riferibile al sistema di rift che interessa tutto il Mediterraneo occidentale di cui il bacino oligo-miocenico sardo ("Fossa Sarda") rappresenterebbe l'estremo margine orientale. E' sempre in questo periodo che si assiste alla deriva del blocco sardo-corso in accordo con l'apertura del bacino mediterraneo e con un vulcanismo calcalkalino. Il rift sardo, impostatosi nella parte mediana dell'Isola si sviluppa in lunghezza da sud (Golfo di Cagliari) a nord (Golfo dell'Asinara). Verso Sud esso continua nel mare del Golfo di Cagliari, estendendosi anche nel settore marino prospiciente l'area in esame. In particolare l'area del Campidano di Cagliari subisce, nel Messiniano, nell'ambito di un generale contesto tettonico distensionale, degli eventi compressivi di bassa intensità ma che generano tipiche strutture a Flower (Casula et al. 2001). Un intenso vulcanismo subaereo, a carattere calco-alcalino, precede e accompagna la formazione del rift sardo e continua in ambiente marino fino al Miocene medio. E' la tettonica distensiva plio-

Relazione di compatibilità geotecnica, geologica e idrogeologica

quaternaria, collegata con l'origine del bacino oceanico del Tirreno centro-meridionale, che va ricondotta in Sardegna la formazione del graben del Campidano e la diffusa attività vulcanica prevalentemente basaltica, di tipo alcalino, che non investe però le zone più meridionali del rift sardo. Nello stesso tempo gli *horst* del Sarrabus-Gerrei e del Sulcis vengono interessati da dislocazioni differenziali, con basculamenti. Dal Pleistocene medio la Sardegna acquista una certa stabilità tettonica.

Le oscillazioni climatiche del Quaternario, a partire dal Pleistocene, e il susseguirsi delle variazioni eustatiche, generano nell'Isola degli evidenti mutamenti morfologici. Nell'Olocene, infine, assistiamo alla deposizione di sedimenti (alluvioni, depositi litorali, dune etc.) che conferiscono alla Sardegna l'attuale aspetto morfologico. Riassumendo, in riferimento agli aspetti tettonici, l'area è caratterizzata dalle due grandi depressioni tettoniche: la piana del Campidano (semigraben pliocenico) e la valle del Cixerri (blanda sinclinale tardo paleogenica).

I lineamenti fisiografici sono dettati dalla tettonica cenozoica anche se la maggior impronta deformativa è riferibile alle rocce paleozoiche interessate dall'Orogenesi ercinica.

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE

5.1 STRATIGRAFIA DEL SUBSTRATO

Nell'intera area studiata sono presenti litologie ascrivibili, per la maggior parte, al Quaternario. Sebbene nella zona ad est dell'abitato ritroviamo affioramenti terziari, essi sono completamente assenti nel settore di progetto.

Di seguito viene descritta la stratigrafia dell'area tenendo in particolare considerazione l'intorno del sito di interesse.

5.1.1 Paleozoico

Le formazioni paleozoiche sono costituite da scisti più o meno metamorfosati e dalle litologie costituenti il batolite granitico che si estende lungo il settore montuoso a ovest del centro abitato di Capoterra. Hanno subito modificazioni strutturali principalmente per cause tettoniche e per termometamorfismo associato all'orogenesi ercinica. L'età delle formazioni abbraccia un periodo compreso tra il Cambro-Ordoviciano inferiore e il Siluriano. Più precisamente possiamo distinguere due successioni, la "Zona esterna dell'Iglesiente-Sulcis" e l'"Unità tettonica dell'Arburese". La Zona esterna dell'Iglesiente-Sulcis è rappresentata dalle metarenarie, metasiltiti, da calcari e dolomie, da calcari alternati ad argilloscisti, da metargilliti e metaconglomerati, suddivisibili nelle successioni pre e post "Discordanza Sarda" ed ascrivibili a tredici formazioni paleozoiche distinte che interessano un arco temporale che va dal Cambriano inferiore al Carbonifero. L'Unità dell'Arburese è rappresentata da alternanze irregolari di metarenarie micacee grigio-scure, quarziti e metasiltiti con laminazioni piano-parallele ed incrociate, metapeliti violacee e rari livelli conglomeratici (Arenarie di San Vito – Cambriano medio - Ordoviciano inferiore). Gli affioramenti presentano un grado di metamorfismo piuttosto variabile. Il complesso intrusivo e filoniano tardo paleozoico è invece caratterizzato da materiali intrusivi datati dal Carbonifero superiore al Permiano (Leucomonzograniti e Leucosienograniti, a biotite, dell' Unità Intrusiva di Villacidro) interessati da filoni idrotermali, intermedio-basici e di gabbro.

5.1.2 Terziario

I sedimenti terziari si sono depositati, a partire dall'Oligocene fino al Miocene inferiore, all'interno della fossa tettonica ("Fossa Sarda") facente parte del sistema di *rifting* che ha interessato la placca europea. Il sistema è stato attivo a partire dall'Oligocene medio fino all'Acquitano ed ha preceduto la rotazione antioraria della microplacca sardo-corsa nel Burdigaliano. Il complesso terziario del settore ampio di studio non si presenta in affioramento continuo poiché è stato ricoperto dalle alluvioni quaternarie.

Complessivamente troviamo in ordine:

- Il Lignifero (Auct.), rappresentato da calcari di colore biancastro con resti di bivalvi, brecce cementate e rari livelli carboniosi, al tetto presentano talvolta un livello organogeno di spessore decimetrico. Lo spessore di questo deposito risulta limitato alla quindicina di metri e lo stesso risulta inquadrabile cronologicamente nell'Eocene inferiore-medio.
- La Formazione del Cixerri è una formazione sedimentaria in *facies* continentale riferibile all'Oligocene costituita da un'alternanza di arenarie quarzose grigio-violacee, bianche-verdastre, arenarie siltose rosso violacee e livelli o lenti conglomeratiche poligeniche. Il contenuto fossilifero è

assai scarso. La formazione affiora estesamente nel Sulcis Iglesiente e in modo discontinuo lungo il bordo orientale del Campidano, compresa la zona di interesse.

Le facies arenacee sono di solito compatte, a cemento calcareo, spesso con rilevante contenuto in ossidi di ferro, contrariamente a quelle marnoso-argillose, le quali si presentano poco coerenti. La composizione mineralogica delle *facies* psammitiche è caratterizzata dall'associazione di litoidi di quarzo, porfidi, scisti, graniti, feldspati e miche. La matrice è di solito arenaceo-siltosa, con contenuto di carbonato di calcio spesso elevato. I livelli conglomeratici sono poco classati e la composizione litologica è data in prevalenza da elementi di calcare, quarzo, scisti, graniti, liditi e porfidi. Le caratteristiche metamorfiche dei livelli psefitici mettono in evidenza un elevato grado di elaborazione e di arrotondamento, con basso indice di arrotondamento, fattori che indicano un lungo trasporto fluviale in un clima probabilmente temperato caldo e una successiva deposizione in area deltizia. La datazione precisa della parte superiore della Formazione del Cixerri è possibile per la presenza al tetto della stessa di vulcaniti, le più antiche delle quali sono datate tra 35-32 M.A (Saltelli et alii, 1979; Montigny et alii, 1981; Beccaluva et alii, 1987), quindi un'età che non può essere più recente dell'Oligocene inferiore. All'interno della Formazione sono presenti vari tipi di strutture sedimentarie. Alla base degli strati sono stati ritrovati *load casts* e solchi di erosione, mentre negli strati più interni sono presenti esempi di *graded bedding* e laminazioni parallele ed oblique. Come già detto, l'ambiente di sedimentazione è prevalentemente fluvio-deltizio, specie nel settore occidentale mentre in quello orientale (che comprende la zona in esame) la sedimentazione è tipo lagunare, con ricorrenti e forti apporti terrigeni, che hanno dato luogo a processi di tipo torbido (Barca e Palmerini, 1972).

La Formazione del Cixerri assume una grande importanza paleogeografia in quanto costituisce l'ultimo deposito continentale prima dell'apertura del bacino mediterraneo.

- Il complesso vulcanico oligo-miocenico (Complesso vulcanico di Siliqua) è costituito da litotipi dacitici ed andesitici in diverse facies effusive; si presentano sia cupuliformi, massivi ed autobrecciati sia in facies sub-vulcaniche con giacitura filoniana, entrambe in facies conglomeratica attribuite al ciclo calcalcalino oligo-miocenico. Le vulcaniti sono successive alla formazione del Cixerri in quanto in molte zone la ricoprono. Infatti, in età miocenica, con la collisione Africa-Europa, si instaura un'estesa fase distensiva a causa della quale una serie di fratture ha interessato l'area comprendente sia i bordi della fossa del Campidano, sia il massiccio paleozoico; da queste hanno poi avuto origine tutta una serie di manifestazioni vulcaniche, comprese quelle a carattere andesitico del distretto sud-occidentale sardo. I rilievi, appaiono tagliati da dorsali (filoni successivi) che presentano lo stesso allineamento delle fratture (NW-SE e subordinatamente N-S) e cioè secondo una linea tettonica principale orientata N 25 E. In generale si può affermare che le manifestazioni filoniane sono relative a movimenti tettonici tardivi che hanno interessato la formazione andesitica quando questa era già in posto.



Foto - Argille violacee della “Formazione del Cixerri”

- Le marne di Gesturi sono rappresentate da sedimenti marini miocenici, a carattere trasgressivo, di ambiente pelagico discordanti sia sulle vulcaniti oligo-mioceniche che sulle formazioni triassiche e sui graniti ercinici e prendono il nome dal paese di Gesturi nella Marmilla. Dal punto di vista litologico sono rappresentati da marne arenacee bianco-giallastre ben stratificate. Lo spessore complessivo dell'intero corpo sedimentario è notevole e raggiunge i 450 m di spessore. Nell'area studiata gli affioramenti sono presenti prevalentemente sul settore occidentale e gli spessori sono assai ridotti in quanto rappresentano residui dei processi erosivi verificatisi nei periodi di successiva continentalità (Pecorini & Pomesano Cherchi, 1969). Il contenuto fossilifero presente nella parte basale, è costituito da una microfauna planctonica assegnata al Burdigaliano. Per quanto riguarda la posizione stratigrafica è presente, al letto, la “Formazione della Marmilla” (totalmente assente nella zona studiata) di età aquitaniana mentre al tetto compaiono le “Argille di Fangario” di età langhiana, affiorante ad est dell'area di interesse (zona di Cagliari).

5.2 STRATIGRAFIA DEI DEPOSITI SUPERFICIALI

5.2.1 Quaternario

I depositi quaternari sono di natura prevalentemente alluvionale ed eluvio-colluviale ed in subordine di origine marino-costiera.

I *depositi di versante* sono strettamente legati alle lineazioni tettoniche. Processi legati principalmente alla gravità e subordinatamente all'azione delle acque di dilavamento hanno permesso l'accumulo di colluvi e depositi di pendio sia in epoca attuale che passata. Attualmente sono attivi anche fenomeni di ruscellamento diffuso riscontrabili in tutta l'area, laddove le pendenze sono maggiori ed in presenza di sedimenti facilmente erodibili. L'erosione areale si esplica in modo particolare sui suoli, anche a causa delle inadeguate modalità di aratura. Un esame a parte va fatto per ciò che riguarda i depositi di versante che si estendono a partire dai monti di Capoterra. Si

tratta di una serie di conoidi di deiezione costituiti da depositi conglomeratici sotto forma di glacis e dai depositi ciottolosi che costituiscono una fascia più o meno continua di detrito di falda, lungo i versanti di faglia che si affacciano alla piana di Cagliari. Il detrito di falda si presenta generalmente scarsamente alterato con un basso grado di cementazione. I ciottoli costituenti tale deposito di pendio sono generalmente di origine metamorfica e granitica, rispecchianti le litologie dei rilievi su cui si appoggiano.

I *depositi palustri, lagunari e litorali* sono quelli relativi allo Stagno di Cagliari. Si tratta di uno specchio d'acqua gran parte del quale è stato arginato dall'uomo per creare dei bacini d'evaporazione per lo sfruttamento del sale. Attualmente nella laguna esistono delle comunicazioni col mare situate presso il Ponte della Scafa e il Porto S. Pietro; inoltre essa è fornita di numerosi immissari, tra cui i più importanti sono il Flumini Mannu, il Rio Cixerri e il Rio Santa Lucia.

Il fondo della laguna è interessato da movimenti legati alle condizioni meteo-marine: quando spira il maestrale (direzione NW) e in condizioni di bassa marea i movimenti preferenziali sono quelli dalla laguna verso il mare; con condizioni contrarie, i movimenti sono opposti, dal mare alla laguna. Inoltre nell'area di foce del Flumini Mannu e del Rio Cixerri i movimenti nel fondo sono legati all'afflusso delle loro acque nella laguna. Oltre che da movimenti il fondo della laguna è interessato da deposizione di limi argillosi d'origine fluviale ed organica. Il prolungamento delle foci dei due fiumi succitati mediante canalizzazione ha portato alla formazione di un'area paludosa lateralmente alla foce stessa. La deposizione di limi interessa anche i bordi della laguna, quando questi vengono parzialmente sommersi dalle acque in seguito alle variazioni delle maree. All'interno della laguna si sono formate delle isolette, oggi collegate tra loro, costituite da limi sabbiosi scuri compatti, ai cui bordi sono presenti spiaggette prevalentemente organogene a *Tapes diana*, *Cerithium sp.*, etc.. Nell'area sono presenti una gran quantità di piane paludose la cui formazione è dovuta all'interrimento subito dalla laguna. In passato, la laguna stessa ha subito modificazioni nella sua morfologia: è stata anzitutto interessata dalla trasgressione tirreniana che ha lasciato depositi marini, riscontrabili a Sa Illetta e lungo il bordo orientale, che, nel Tirreniano costituivano un deposito pressoché continuo. La presenza di depositi di Tirreniano salmastro, nella parte più settentrionale della laguna starebbe ad indicare che esisteva già una paleolaguna limitata rispetto all'attuale, separata dal mare dal cordone litorale tirreniano che passava all'incirca presso Sa Illetta. Con la regressione marina, in seguito all'avvento del Wurm, si è avuta la sovraescavazione dell'attuale laguna da parte delle acque del Flumini Mannu, rio Cixerri e di altri immissari, che scavavano la loro valle seguendo probabilmente direzione all'incirca NW-SE, erodendo fortemente il tratto tra Sa Illetta e Campo S. Gilla ed uscendo poi nel golfo di Cagliari dalla zona dell'attuale porto. Con la trasgressione Versiliana nella laguna tendono a depositarsi, da una parte i sedimenti sabbiosi marini, dall'altra i sedimenti limosi fluvio-palustri per potenze notevoli, contribuendo così al raggiungimento dell'assetto attuale.

- ampiamente diffusi risultano i *depositi antropici* ai quali fanno capo tutti i materiali "manipolati" dall'uomo per il raggiungimento dei suoi scopi portando inevitabilmente all'alterazione morfologica di diversi settori della zona. Si tratta di saline e vasche di salificazione, discariche minerarie, discariche industriali, per inerti e rifiuti solidi urbani, materiali di riporto e aree bonificate.

Di seguito, nel dettaglio, vengono descritti i materiali preponderanti affioranti nell'area di studio, ovvero i *depositi alluvionali*.

L'ordine cronologico di descrizione è sempre quello dal più antico al più recente.

- Depositi Pleistocenici

Durante tutto il Pleistocene i processi fluviali sono stati molto intensi, quando le variazioni glacio-eustatiche hanno portato, attraverso i mutamenti dei livelli di base dei fiumi, ad importanti erosioni nonché alla successiva deposizione di alluvioni terrazzate a quote differenti. Si tratta di ghiaie,

sabbie e limi fluviali, alterati, a matrice limoso sabbiosa, rossastra per ossidi di ferro. Si distinguono diversi ordini di terrazzi alluvionali. I più antichi si trovano a quote variabili e generalmente elevate (da 30 a 60 m). Sono caratterizzati da alterazione spinta della matrice e dei ciottoli che compongono i relativi depositi, sono state presumibilmente deposte nell'arco di tempo tra il Pleistocene inferiore ed il Pleistocene medio. Esse sono delimitate dalle rotture di pendio non nette, ma facilmente distinguibili, degli orli di terrazzo.

Un secondo ordine di terrazzi è costituito dai depositi alluvionali situati a quote variabili tra i 15 e i 20 m circa, più estesi, riscontrabili nell'area in località Is Punteddus-Sa Costera e da Grogastu sino a quasi al Rio S. Lucia. Al loro margine sono presenti orli di terrazzo il più delle volte non distinguibili. L'alterazione subita da tali depositi, meno spinta delle precedenti alluvioni, mostra che essi sono più recenti e vengono riferiti al Pleistocene superiore.

Questi sono costituiti da depositi ciottolosi, sabbiosi e argillosi con ciottoli di scisti cornubianitici, di granito, di quarzo e magnetite. L'alternanza erosione-deposizione ha portato alla formazione di terrazzi a diversi livelli dei quali i più elevati corrispondono alle alluvioni più antiche.

Si può operare una suddivisione tra i depositi fluviali di questo settore in:

1. Alluvioni antiche bruno rossastre terrazzate da ben costipate e fortemente cementate a matrice sabbiosa-limosa costituite da ciottoli di scisto, porfido etc... (Pleistocene medio);
2. Alluvioni recenti conglomeratiche (di condizioni climatiche arido-fredde) terrazzate costituite da ciottoli di granito e scisto di varia granulometria non arrotondati scarsamente cementate, a matrice sabbiosa (Pleistocene superiore).



Foto - Alluvioni pleistoceniche a ciottoli, eterometrici e poligenici, ad elevato grado di arrotondamento immersi in matrice limo-argillosa.

Le alluvioni più recenti (*Subsistema di Portoscuso*), nonché le più diffuse tra quelle del Pleistocene superiore, si presentano spesso costituite da elementi grossolani che raggiungono non eccezionalmente la dimensione dei blocchi anche di grosse dimensioni, a spigoli subangolosi o subarrotondati. Si tratta di depositi tipici di corsi d'acqua a canali intrecciati tendenti alla migrazione laterale. Malgrado l'aspetto frammentario è verosimilmente presumibile che gli stessi costituissero estese conoidi alluvionali coalescenti che bordavano e colmavano le depressioni vallive del Campidano e del Cixerri. In alcuni casi le caratteristiche dei materiali (morfologia del deposito, forma e dimensione dei costituenti) lasciano ipotizzare condizioni di scarso trasporto idrico. Le conoidi formate da questi materiali giacciono generalmente sulle superfici di spianamento di clima arido (pediment). L'intensa attività antropica ha portato ad un rimodellamento topografico che rende molto difficile il riconoscimento dei limiti di questi depositi in superficie. Lo spessore va da 5 a 50 m circa e ricoprono il sottostante basamento costituito prevalentemente dalla Formazione del Cixerri.

- Depositi olocenici

Si tratta dei sedimenti attuali e recenti (olocenici) che ricoprono i precedenti ascrivibili al Sistema di Portovesme. Sono generalmente ghiaie grosse e sabbie che formano conoidi terrazzate. Lungo gli alvei fluviali presenti dell'intera area si riscontrano depositi alluvionali di diversa natura in funzione delle molteplici litologie attraverso le quali scorrono i corsi d'acqua e della loro energia. Si tratta comunque di alluvioni all'interno delle quali è possibile fare una distinzione a seconda del materiale predominante; abbiamo così depositi dei letti fluviali ghiaie prevalenti, sabbie prevalenti e limi e argille prevalenti. Il loro spessore è difficilmente valutabile anche se dovrebbe aggirarsi, al massimo, intorno ai 10 m. In questo contesto è doveroso tener presente che i processi legati all'azione diretta dei fiumi attualmente non sono molto sviluppati, sia per le deboli pendenze sia per la poca energia dei corsi d'acqua, i quali molto spesso nelle stagioni aride sono secchi o hanno una portata minima. La presenza ravvicinata del Flumini Mannu e del Rio Cixerri, a causa delle loro portate elevate rispetto agli altri corsi d'acqua presenti, ha reso necessaria la loro



canalizzazione entro degli argini che non permettono l'esondazione dei fiumi stessi nelle piane limitrofe intensamente coltivate ed abitate. Il bilancio di questi corsi d'acqua è comunque più di deposito che d'erosione. Sebbene i processi fluviali siano stati maggiormente attivi durante il Pleistocene, i sedimenti continuano a deporsi negli alvei attuali. L'età di questi depositi è stata attribuita con certezza per via del ritrovamento di alcune ceramiche fluitate inglobate all'interno degli stessi.

Foto - Alluvioni oloceniche a ciottoli, eterometrici e poligenici, ad elevato grado di arrotondamento, immersi in matrice sabbiosa. Al contrario dei ciottoli di granito presenti nelle alluvioni pleistoceniche, quelli relativi alle alluvioni oloceniche presentano un grado di alterazione molto meno spinto con un'areola di alterazione di qualche mm.

6 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Da un punto di vista generale l'area in esame si colloca all'interno di un territorio che presenta una morfologia piuttosto varia, dovuta alla combinazione ed alla sovrapposizione di processi morfogenetici differenti tuttora in atto. Essa è costituita da un'ampia piana costiera di origine alluvionale che ospita lo Stagno di Cagliari, separato dal mare da un cordone litorale che dalla città di Cagliari si sviluppa, in direzione NE-SW, per una lunghezza di circa 10 km. All'interno della laguna si immettono: nel settore nord-occidentale i fiumi Cixerri e Flumini Mannu mentre, all'estremità sud-occidentale, il Rio Santa Lucia. Ai bordi della piana si elevano i rilievi granitico-metamorfici paleozoici del Sulcis orientale e quelli calcarei, decisamente meno elevati, delle colline di Cagliari.



Foto - Scarpata erosiva di natura antropica

Occupano rispettivamente il settore occidentale e quello orientale della zona in studio. L'origine di questo assetto geologico, che rappresenta la base per la successiva morfologia quaternaria, è da attribuire, come indicato nel paragrafo *Inquadramento geologico generale*, a cause tettoniche. La Piana di Cagliari giace infatti all'interno del graben del Campidano che è il risultato di una tettonica disgiuntiva verificatasi a partire dal Messiniano e le cui direttrici tettoniche hanno andamento NW-SE. In particolare, lungo la fascia montuosa presso Capoterra (settore Ovest), lo sprofondamento ha determinato il formarsi di una serie di scarpate di faglia che costituiscono i versanti dei rilievi stessi, alla base dei quali si sviluppano conoidi alluvionali e depositi di versante modellati a glacis, degradanti più o meno dolcemente verso le zone più basse (come quella di studio) fino al mare. Negli ultimi decenni si è assistito ad una forte modificazione dell'assetto morfologico di un' ampia porzione del settore costiero ed interno della piana in virtù delle intense attività antropiche come ad

Relazione di compatibilità geotecnica, geologica e idrogeologica

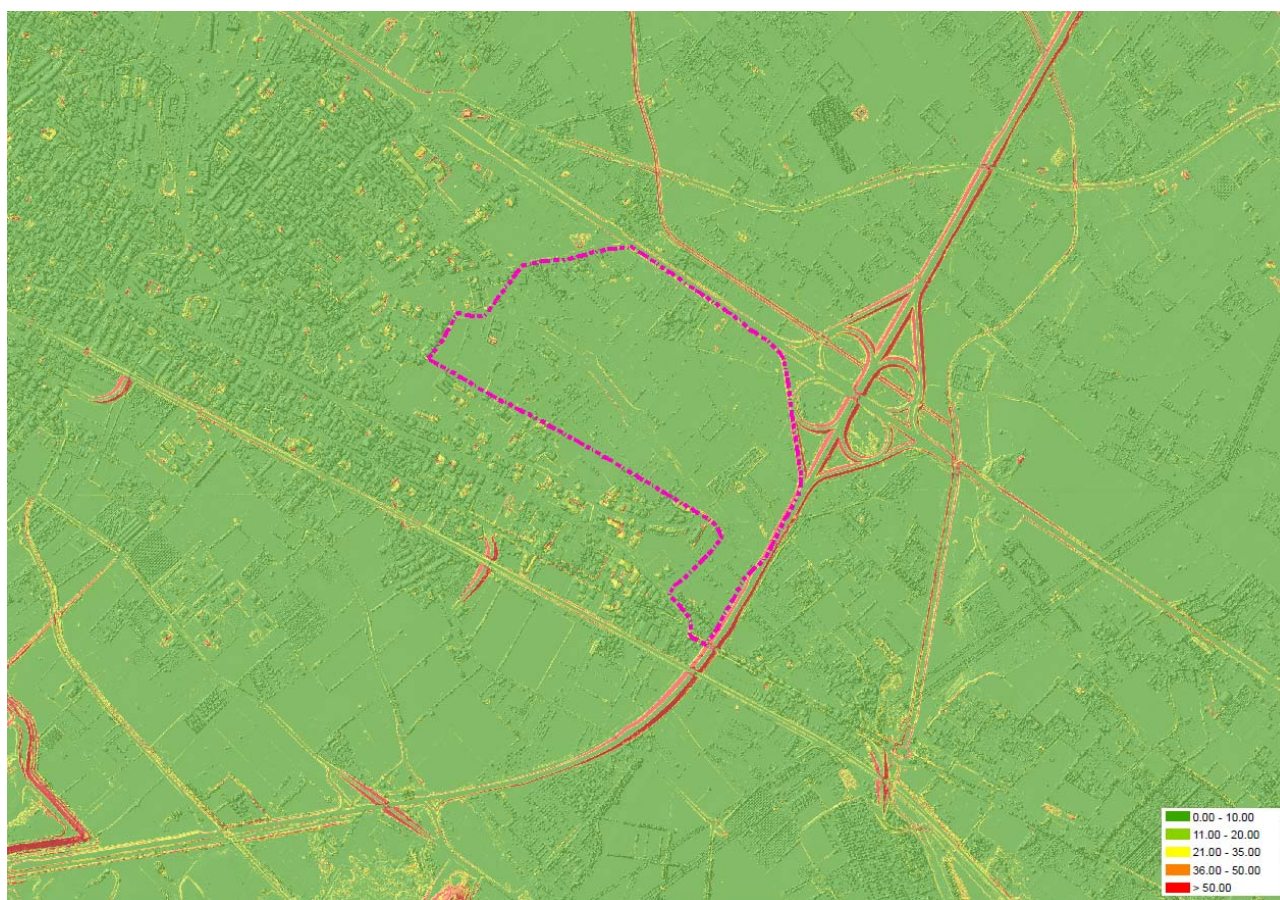
esempio la costruzione del nuovo porto canale di Cagliari e lo sviluppo dell'area industriale del Casic.

Il sito di indagine risulta attualmente morfologicamente stabile in riferimento alla non attività dell'agente principale che ha portato alla deposizione dei materiali alluvionali che caratterizzano l'area.

La canalizzazione del tratto finale dei due corsi d'acqua principali (Cixerri e Flumini Mannu) ne inibisce l'azione erosivo/deposizionale con conseguente stasi dei processi morfogenetici. Attualmente le uniche modificazioni morfologiche sono sostanzialmente frutto dell'azione antropica.

L'attività industriale porta ad una costante ed importante movimentazione di materiali al fine di poter realizzare le nuove opere ingegneristiche. A

lo stesso modo la pastorizia e l'agricoltura contribuiscono in modo importante all'attuale evoluzione del paesaggio.



Mappa – L'area è sostanzialmente pianeggiante

In relazione al *PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL BACINO UNICO DELLA REGIONE SARDEGNA*, finalizzato principalmente a garantire adeguati livelli di sicurezza in riferimento agli eventi idrogeologici e la tutela delle attività umane, i beni economici ed il patrimonio ambientale e naturale, il sito in esame ricade nel Sub Bacino 7 del Flumendosa, Campidano e Cixerri.

Nell'intorno del territorio di interesse non sono presenti aree incluse nei "Siti a Rischio Frana e Piena" in riferimento all'Individuazione e perimetrazione delle aree a Rischio Idraulico e Geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia (Legge 267/98).

7 INQUADRAMENTO GEOPEDOLOGICO

Per la descrizione dei caratteri pedologici dell'area di studio si è fatto ricorso al rilievo diretto in campagna associato ai lavori pubblicati di carattere generale. In particolare si è fatto riferimento sia alla *Carta dei Suoli della Sardegna* scala 1:250.000, II^a edizione, di Aru et alii (1990, 1991) ed alla *Carta dei Suoli delle aree irrigabili della Sardegna* scala 1:100.000, di Arangino et alii (1986), sia a lavori inediti realizzati per scopi differenti: ricerca idrica, irrigabilità delle superfici, studi di forestazione etc.

Lo standard utilizzato per la restituzione cartografica è quello relativo alle metodologie proposte a livello internazionale; Soil Survey Staff (1990), FAO-Carta mondiale dei suoli (1988), R.E.R. (1994). Le associazioni dei suoli risultano pertanto relative ai paesaggi di riferimento con caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geopedologiche, di uso del suolo e della vegetazione omogenee.

Nell'ambito della caratterizzazione proposta nel presente lavoro si fa inoltre riferimento allo stato di conservazione dei suoli, ai processi che ne influenzano l'evoluzione, in genere morfogenici, alle limitazioni d'uso ed alle loro capacità produttive con particolare riferimento agli usi potenzialmente più appropriati.

L'area difatti è caratterizzata da un'intensa attività antropica, prevalentemente di tipo industriale, secondariamente di tipo agricolo che si ripercuote fortemente sullo stato dei suoli.

In riferimento alle caratteristiche pedologiche dell'area in esame i suoli presenti possono essere raggruppati nelle tre principali categorie:

- a) suoli tipici dei depositi alluvionali del Pleistocene (PEDO1)
- b) suoli tipici dei depositi alluvionali dell'Olocene (PEDO2)
- c) suoli su sedimenti litoranei (paludi, lagune costiere, etc.) dell'Olocene (PEDO3)

Riferendoci alla Soil Taxonomy statunitense (Classificazione tassonomica dell'USDA – U.S. Department of Agriculture) nell'area sono presenti principalmente 4 ordini di suoli:

- quello degli ALFISOLS, suoli acidi, ad orizzonte B illuviale, con rivestimenti di argilla cristallina (argillans); caratteristici di ambienti umidi e subumidi, ad intensa lisciviazione.
- quello degli ENTISOLS, suoli a pedogenesi iniziale, mancanti di orizzonti diagnostici, tipici di zone collinari e montane sottoposte ad intensi fenomeni erosivi o di pianure alluvionali di recente formazione (caso di studio);
- quello degli ARIDISOLS, suoli tipici di climi aridi, con regime di umidità di tipo aridico, caratterizzato dall'accumulo di sali sodici e carbonatici e da un epipedon ocrico.
- quello degli INCEPTISOLS (in subordine), suoli ad evoluzione moderata, con un epipedon diagnostico e un orizzonte cambico contenente minerali alterabili ma poveri in argilla illuviale.

Le tre categorie principali, distinte livello cartografico sulla base del substrato geologico e delle osservazioni di superficie, vengono di seguito descritte.

La prima classe è quella relativa ai *Suoli tipici dei depositi alluvionali del Pleistocene*. Si tratta prevalentemente di Alfisuoli (Typic, Acquic ed Ultic Palexeralfs) e subordinatamente di Entisuoli (Xerofluvents) caratteristici di morfologie da subpianeggianti a pianeggianti, dei depositi alluvionali pleistocenici.

Relazione di compatibilità geotecnica, geologica e idrogeologica

Sono suoli profondi a tessitura da franco sabbiosa a franco sabbioso argillosa in superficie e da franco sabbioso argillosa ad argillosa in profondità, a forte vocazione agricola.

La struttura può essere poliedrica angolare e subangolare e la permeabilità è generalmente medio-bassa come moderata risulta inoltre la loro erodibilità, anche in funzione delle morfologie sulle quali generalmente si impostano.

Sono caratterizzati da assenza di carbonati e reazione subacida ad acida. Il loro contenuto in sostanza organica è scarso.

La capacità di scambio cationico va da bassa a media e si presentano da saturi a desaturati in basi. L'eccesso di scheletro e la lentezza nel drenaggio comportano limitazioni dell'uso. In riferimento al drenaggio lento, in caso di morfologie depresse si possono verificare fenomeni di ristagno idrico.

L'attitudine di questi suoli è relativa a colture prevalentemente erbacee anche irrigue. In relazione alla capacità d'uso di questi suoli le limitazioni sono importanti e la resa ottimale si ottiene in funzione di una scelta ottimale delle colture e di un'accurata conduzione atta a prevenire il deterioramento del suolo.



Foto - Alfisuolo impostato su deposito alluvionale pleistocenico

La seconda classe, che caratterizza anche il sito di interesse, è quella dei *Suoli tipici dei depositi alluvionali dell'Olocene*. Si tratta prevalentemente di Entisuoli (Typic, Acquic, Vertic e Mollic Xerofluvents) e subordinatamente di Inceptisuoli (Xerochrepts), per le alluvioni a granulometria più grossolana, e da Vertisuoli (Typic Pelloxererts e Typic Chromoxererts) ed in subordine Entisuoli (Xerofluvents) per i materiali più fini. Sono caratteristici di morfologie pianeggianti, localmente

Relazione di compatibilità geotecnica, geologica e idrogeologica

anche depresse, dei depositi alluvionali olocenici. Sono suoli profondi a scheletro anche molto abbondante e tessitura variabile. Hanno una forte vocazione agricola, spesso intensiva, asciutta e irrigua. La struttura è poliedrica subangolare e angolare, per i grossolani, generalmente poliedrica angolare per i materiali fini.

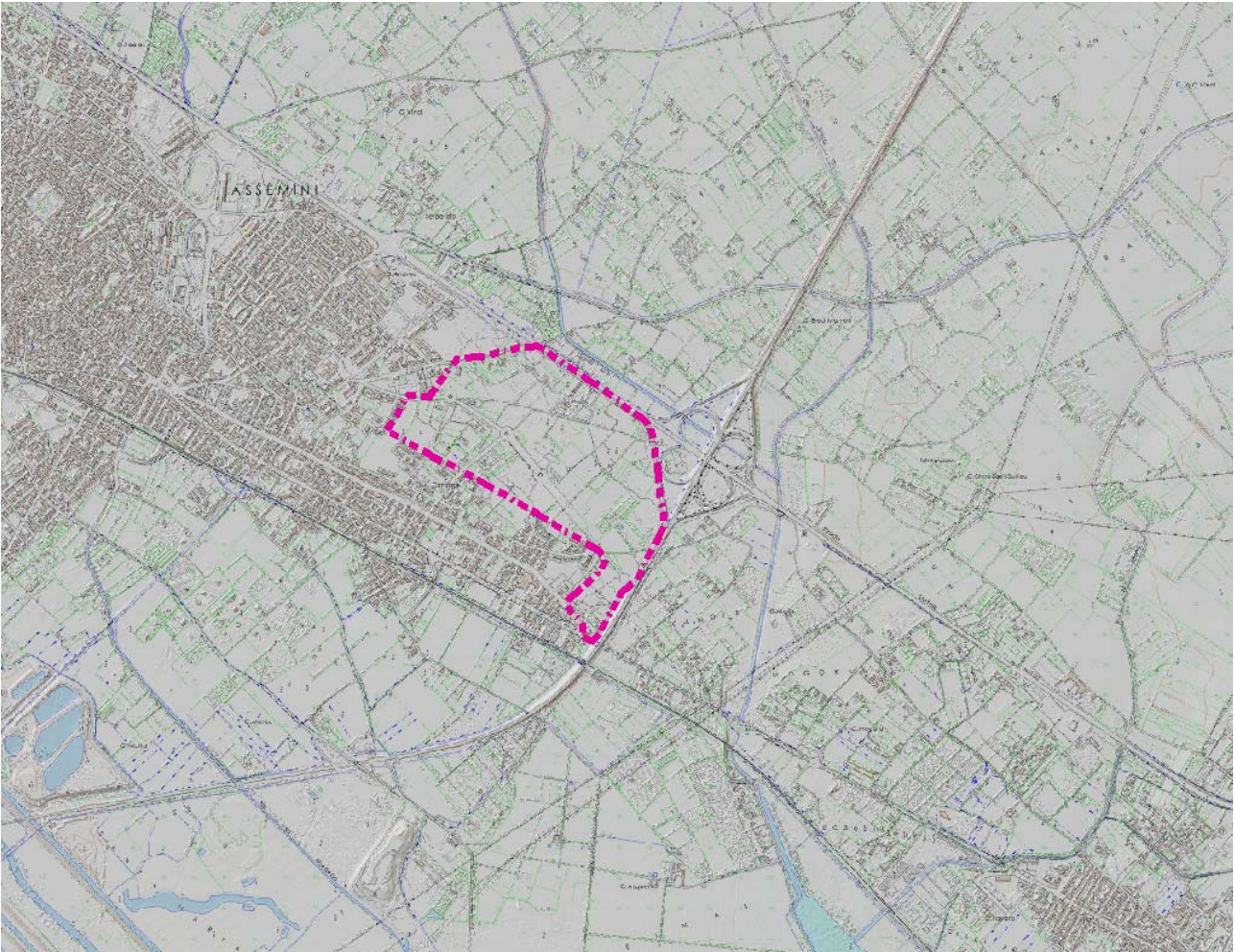
La permeabilità è variabile da elevata a medio-bassa. Bassa o scarsa risulta la loro erodibilità, anche in funzione delle morfologie sulle quali generalmente si impostano. Sono caratterizzati da bassi tenori in carbonati (scarsi o assenti) e reazione da neutra a subalcalina. Il loro contenuto in sostanza organica è in genere scarso. La capacità di scambio cationico va da media a elevata e si presentano saturi in basi. L'eccesso di scheletro grossolano o in alternativa il drenaggio lento possono comportare forti limitazioni d'uso. L'attitudine di questi suoli è relativa ad un'agricoltura intensiva con colture erbacee e arboree anche irrigue. Il loro spessore può tranquillamente raggiungere e superare il metro. In relazione alla capacità d'uso di questi suoli le limitazioni sono poche o nulle e la resa ottimale si ottiene con un'accurata conduzione (pratiche ordinarie).



Foto - Entisuelo impostato su deposito alluvionale olocenico

L'ultima classe, meno diffusa, è quella dei Suoli su sedimenti litoranei (paludi, lagune costiere, etc.) dell'Olocene.

Si tratta prevalentemente di aridosuoli (Typic Salorthids) ed in subordine entisueoli (Fluvaquents). Presentano generalmente morfologie pianeggianti o depresse. Sono suoli profondi a tessitura argillosa o argilloso-limosa. Non hanno nessuna vocazione agricola e la struttura può essere massiva o colonnare e la permeabilità bassa. Sono caratterizzati da tenori in carbonati estremamente variabili e reazione da subalcalina ad alcalina. Il loro contenuto in sostanza organica è in genere scarso. La capacità di scambio cationico è media e si presentano saturi in basi. La tessitura fine, la salinità elevata ed il forte pericolo d'inondazione comportano forti limitazioni d'uso. L'attitudine di questi suoli è relativa alla conservazione dell'ambiente naturale.



8 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

8.1 ACQUE SUPERFICIALI

I corsi d'acqua che caratterizzano l'area appartengono al bacino idrografico del Flumini Mannu e del Cixerri. In particolare si tratta della parte terminale dei bacini, fortemente modificata e regolarizzata dalle opere di canalizzazione che hanno interessato il tratto finale dei due corsi d'acqua con conseguente separazione dei due fiumi principali. I bacini idrografici sono comunque relativi a due dei più importanti fiumi della Sardegna (i più importanti di quella meridionale) e l'assetto e la configurazione degli stessi sono fortemente influenzati da diversi fattori tra cui quelli geologici (ad es. tipo di roccia, fatturazione e tettonica), morfotopografici (ad es. pendenza dei versanti), meteorologici e biologici. I reticoli si presentano piuttosto ramificati. Il Flumini Mannu, dall'altopiano calcareo del Sarcidano, scende attraverso la Marmilla e, sempre con la stessa direzione, attraversa parte della pianura del Campidano fino a sfociare nello Stagno di Cagliari. L'alveo principale si imposta su una serie di faglie con direzione prevalente NO-SE che interessano tutta la regione del Campidano. Altri sistemi di faglie secondarie, orientate ortogonalmente alle precedenti, costituiscono la via preferenziale per alcuni affluenti. Le aree di alimentazione di tutto il sistema di affluenti dei due corsi d'acqua sono localizzate prevalentemente su rilievi montuosi paleozoici. La morfologia del reticolo idrografico risente delle condizioni climatiche e dei fattori strutturali della regione; il reticolo di tipo sub-parallelo è estremamente sviluppato e presenta localmente ramificazioni dendritiche. I corsi d'acqua sono caratterizzati da un regime stagionale il cui deflusso dipende dalla frequenza e intensità degli eventi piovosi con picchi legati ad eventi pluviometrici repentini e violenti che generano piene di entità importante.

8.2 ACQUE SOTTERRANEE

La definizione dell'assetto idrogeologico dell'area interessata dal presente lavoro è stata realizzata sulla base di studi idrogeologici regionali condotti da diversi autori, a partire dal 1960, e da dati provenienti da lavori inediti eseguiti a scopi differenti, principalmente applicativi, anche in aree esterne all'area di interesse ma su materiali analoghi. Un attento esame geologico-idrogeologico associato alle conoscenze acquisite dallo scrivente in precedenti lavori, eseguiti in zone limitrofe e finalizzati alla ricerca ed allo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee, ha posto in evidenza la potenziale stratigrafia dei terreni ai quali è possibile associare e ipotizzare dei parametri idrogeologici di massima.

In linea di massima l'area è caratterizzata da litotipi a permeabilità medio/alta fortemente condizionata dai rapporti stratigrafici locali. Sono state distinte due Unità Idrogeologiche principali date dall'accorpamento di domini idrogeologici omogenei effettuato sulla base dei seguenti criteri, omogeneità stratigrafica, litologica, strutturale e morfologica, tipo e grado di permeabilità, meccanismi di circolazione ed immagazzinamento delle acque sotterranee e presenza di limiti idraulici, litologici e strutturali. Per ogni unità è stato definito un grado di permeabilità in termini qualitativi.

Sulla base di misure dirette ed in particolare di dati bibliografici (**l'area si presenta particolarmente ricca di punti di prelievo idrico**) è stato possibile realizzare una ricostruzione di massima della piezometrica rappresentativa di uno schema generale di circolazione idrogeologica nell'area di studio.

Di seguito vengono descritte le due unità idrogeologiche discriminate.

Relazione di compatibilità geotecnica, geologica e idrogeologica

La prima è l'*Unità Idrogeologica dei depositi alluvionali quaternari*, caratterizzata da una permeabilità, primaria, medio alta (probabilmente compresa tra $10^{-2} < K < 10^{-4}$ m/sec). In questa unità sono compresi diversi tipi di depositi quaternari (pleistocenici ed olocenici) caratterizzati da spessori e granulometria variabile. Le falde rinvenibili in questi depositi sono in genere importanti e caratterizzate da portate che raggiungono e superano i 15 l/s. Risultavano fortemente influenzati dalle acque dei corsi d'acqua principali, che drenavano, prima che questi venissero canalizzati. Queste falde offrono una risorsa idrica particolarmente importante per le attività industriali ed agricole. Il substrato impermeabile di questi acquiferi impostati sui materiali alluvionali quaternari è rappresentato dalla formazione del Cixerri.

La seconda è l'*Unità Idrogeologica dei depositi litorali*. Interessa terreni olocenici e attuali di natura esclusivamente sedimentaria e depositati in ambiente costiero. Si tratta di depositi a bassa permeabilità (probabilmente compresa tra $10^{-5} < K < 10^{-8}$ m/sec).

E' molto probabile che gli acquiferi presenti siano di tipo multifalda costituiti da più livelli in genere sabbiosi e conglomeratici attraverso i quali si esplica una discreta circolazione idrica. Questi ultimi risultano separati da strati argillosi e limosi impermeabili che conferiscono, soprattutto alle falde sottostanti, un comportamento artesianico (falde in pressione). In genere gli acquiferi localizzati in tali formazioni forniscono acque con buone caratteristiche in riferimento all'utilizzo per fini irrigui.

Nell'area di interesse la falda freatica è stata individuata con un livello piezometrico posizionato a circa 2.50-3.00 m di profondità dal piano di campagna.

Nell'area non sono presenti risorgive che risultano di contro localizzate al contatto tra i materiali alluvionali ed i litotipi paleozoici dei rilievi situati ad ovest dell'area di studio.

9 STUDIO STRATIGRAFICO DEL SITO

Nell'ambito del presente lavoro, di fondamentale importanza, in relazione ai risvolti applicativi, risulta la conoscenza della stratigrafia dei terreni sui quali verranno realizzate le opere in progetto.

L'approccio cognitivo della condizione stratigrafica del sito di interesse è stato condotto realizzando osservazioni e misure dirette e analizzando i dati in possesso, frutto dell'esperienza sul territorio del professionista scrivente e di lavori scientifici pubblicati e non.

Le indagini realizzate in tale ambito e nei lavori professionali sopra descritti sono state finalizzate a:

- ricostruire l'assetto stratigrafico nel sito d'indagine;
- osservare direttamente la struttura del sottosuolo (tipo e natura dei terreni, giacitura, successione e potenza delle eventuali stratificazioni, stato di alterazione etc.);
- fornire indicazioni sulle acque del sottosuolo;
- ottenere informazioni finalizzate ad ipotizzare future campagne geognostiche per lo studio esecutivo.

In sintesi le opere da realizzare insisteranno su configurazioni stratigrafiche del tipo indicato nella stratigrafia descritta.

Sostanzialmente si riscontra la presenza di un primo livello superficiale caratterizzato da suolo agrario bruno (suoli tipici dei depositi alluvionali quaternari descritti nel paragrafo relativo alla geopedologia). Lo spessore di questo livello si aggira generalmente intorno ai 30 cm e generalmente lo stesso si presenta rimaneggiato a seguito di lavorazioni o frammisto a materiali di riporto di varia natura.

Il secondo livello è dato da alluvioni ciottolose con scheletro immerso in matrice argillosa da alterata a molto alterata di colore rosso-marrone. Lo spessore di questo livello risulta variabile ma generalmente inferiore ai 2 m.

Il materiale sottostante è caratterizzato dall'alternanza di livelli sabbiosi e conglomeratici in matrice argillosa da alterata a molto alterata. Questo materiale è interessato, a differenti profondità e con spessori variabili, da livelli a blocchi arrotondati, anche di grosse dimensioni, collegati ad eventi di piena particolarmente intensi. Lo spessore di questi livelli è variabile ma generalmente superiore al metro.

9.1 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Lo scopo di questa sezione è quello di fornire un'analisi tecnico applicativa di tipo qualitativo e quantitativo attinente ai terreni di posa delle opere in progetto. Come esposto nel capitolo precedente nel settore in esame le formazioni risultano essere ricoperta da una coltre pedogenizzata. In relazione alle proprietà geotecniche dei terreni in esame il suolo agrario, rimaneggiato, localmente misto a materiali di riporto di varia natura, è caratterizzato da scarsa capacità portante. Contrariamente i livelli sabbioso-conglomeratici in matrice argillosa sottostanti sono caratterizzati da una buona resistenza alle sollecitazioni meccaniche, nonché alla penetrazione ed allo scavo, essendo caratterizzati da un buon grado di addensamento che tende ad aumentare con la profondità. L'esecuzione di opere fondali su tali materiali non potrà esimere dalla realizzazione di strutture di drenaggio, opportunamente dimensionate, al fine di consentire il normale deflusso delle acque di ruscellamento evitando ristagni idrici che potrebbero causare

variazione nelle caratteristiche meccaniche del terreno. Nonostante la buona omogeneità stratigrafica del sito il livello del piano di sedime dovrà essere attentamente verificato in fase esecutiva al fine di evitare l'applicazione disomogenea dei carichi.

Da un punto di vista prettamente parametrico è possibile fornire alcune indicazioni riguardo i principali parametri geotecnici caratteristici dei materiali. Tali parametri sono stati ricavati attraverso l'analisi congiunta di dati misurati tramite prove in situ (penetrometriche dinamiche leggere) e dati bibliografici. I parametri sono stati calcolati sulla base di elaborazioni di tipo statistico. La valutazione quantitativa dei parametri geomeccanici è stata eseguita dall'elaborazione di dati acquisiti tramite l'esecuzione di 3 prove penetrometriche continue con penetrometro dinamico medio-leggero mod.16- T0013/E della CONTROLS S.r.l..

9.1.1 Caratteristiche tecniche del penetrometro:

Sistema d'infissione:

A: maglio di caduta libera Kg. 30 (a+b) = 20+10 aggiuntivi.

B: aste acciaio speciale Ø 22 mm, L= 100 cm P= 2.9 Kg/m.

C: Punta conica Ø 3.6 cm, B = 60°/90° - S = 5/10 cm²

H: Altezza di caduta libera del maglio 20 cm.

Gruppo motore:

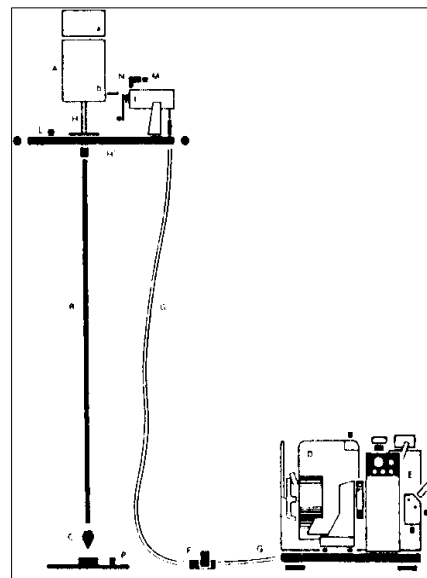
D: motore, Honda, 4 tempi KW 1.9 -97 CC 4200 giri/minuto.

E: Pompa idraulica con serbatoio

I: Motore

Frequenza caduta maglio = max. 45 colpi/minuto.

Sistema estrazione aste: a leva.



Schema Penetrometro dinamico

La prova consiste nel lasciar cadere un maglio del peso di 20 Kg (o 30 Kg) da un'altezza di 20 cm sopra un'incudine che trasmette l'energia su delle aste di diametro Ø 22 mm, tali aste spingono una punta conica che in tal modo penetra nel terreno. In base al numero di colpi necessari per avere un approfondimento successivo e continuo di 10 cm delle aste, si risale, attraverso formule empiriche, alle caratteristiche meccaniche del terreno considerato. La grande casistica nonché l'enorme diffusione di questa tipologia di prova, standardizzata a livello internazionale, consente di ottenere dei dati significativi altamente attendibili.

Sono state eseguite tre prove (P1_2010, P2_2010 e P3_2010,) per le quali si è giunti a rifiuto al raggiungimento della parte superiore del materiale conglomeratico grossolano. Inoltre, sono state prese in considerazione altre due prove (P3_2007 e P4_2007) eseguite dallo scrivente in un lotto limitrofo nel giugno del 2007.

I risultati delle prove penetrometriche sono riportati negli elaborati allegati. I dati spuri di significato (incongruenti) sono indicati con colore differente (rosso), mentre con 99 (sempre in rosso) sono indicati i tratti per i quali la penetrazione, per motivi localizzati (es. grossi ciottoli), è stata raggiunta con un numero di colpi maggiore di 100 (dato non considerabile in relazione al tipo di prova e strumento). Le tabelle indicano, oltre al numero di colpi per tratto ed alla resistenza dinamica alla punta, dei dati di portanza unitaria (pressione ammissibile specifica sull'interstrato con effetto di

Relazione di compatibilità geotecnica, geologica e idrogeologica

riduzione per svergolamento o no) calcolata secondo le elaborazioni proposte da Herminier e ottenuti utilizzando un coefficiente di sicurezza pari a 22 (caratteristico dello strumento) corrispondente ad un coefficiente di sicurezza standard pari a 4, relativo ad una geometria fondale di larghezza pari a 1 m ed un immorsamento $d=1$ m. I dati sono stati elaborati in ambiente Dynamic Probing della Geo Stru Software.

In riferimento alle indagini eseguite ed alle prove (tipologia di strumento utilizzato) si devono considerare in maniera critica i valori di portanza ammissibile.

In funzione dell'elaborazione delle prove è possibile ipotizzare i seguenti parametri geotecnici.



Foto - Esecuzione prova penetrometrica

Il livello pedogenetico superficiale (disomogeneo, estremamente plastico e a spessore variabile da 0 a 30 cm circa) è caratterizzato dai seguenti valori:

Peso unità di volume $\gamma(\text{g/cm}^3)$	Angolo d'attrito interno $\varphi(^{\circ})$	Coesione non drenata $c_u(\text{Kg/cm}^2)$
1.73 – 1.95	-	0,22 - 0,47

Secondo la classificazione qualitativa A.G.I. (1977) il materiale è definito da MODERATAMENTE CONSISTENTE a CONSISTENTE.

Il secondo livello sabbioso conglomeratico può essere inquadrato secondo i seguenti parametri:

Peso unità di volume $\gamma(\text{g/cm}^3)$	Angolo d'attrito interno $\varphi(^{\circ})$	Coesione non drenata $c_u(\text{Kg/cm}^2)$
--	--	--

1.60 – 3.00	26 - 36	-
-------------	---------	---

Secondo la classificazione qualitativa A.G.I. (1977) il materiale è definito ADDENSATO.

Il materiale sottostante è estremamente variabile e probabilmente caratterizzato dai seguenti parametri:

Peso unità di volume $\gamma(\text{g/cm}^3)$	Angolo d'attrito interno $\varphi(^{\circ})$	Coesione non drenata $c_u(\text{Kg/cm}^2)$
3.00 – 3.50	18 - 24	–

Secondo la classificazione qualitativa A.G.I. (1977) il materiale è definito CONSISTENTE.

Secondo lo schema di progetto definitivo gli interventi previsti verranno realizzati con riferimento alla sola parte superficiale del sedime.

In relazione alla progressione delle prove è evidente come le stesse siano state interrotte per rifiuto strumentale relativo al raggiungimento della parte superiore dello stesso livello grossolano.

Al fine di poter determinare con sicurezza i parametri geomeccanici caratteristici dei terreni di posa, dovranno essere predisposte, in fase esecutiva, ulteriori indagini di dettaglio.

Da un punto di vista cartografico sono state discriminate 3 categorie sulla base di considerazioni prevalentemente qualitative.

La prima è relativa ai depositi di materiali palustri ed alluvionali fini, compressibili, con caratteristiche geotecniche variabili, in funzione della granulometria e dello stato di addensamento, da scadenti a molto scadenti (Olocene). In questa categoria sono stati raggruppati i depositi con sigla *Sla*, *LA* e *pal*. La seconda è relativa ai depositi alluvionali grossolani, poco compressibili, con caratteristiche geotecniche variabili, in funzione della granulometria e dello stato di addensamento, da discrete a molto buone (Pleistocene sup.). In questa categoria sono stati raggruppati i depositi con sigla *G*, *Gs* e *GsPI*.

L'ultima categoria, meno rappresentata, è quella dei Depositi di materiali litorali, generalmente poco compressibili, con caratteristiche geotecniche variabili, in funzione della granulometria e del grado di cementazione, da discrete a buone (?Pleistocene superiore-?Olocene). Questa categoria è relativa al deposito identificato dalla sigla *lit*.

Tutti i calcoli e le correlazioni eseguite sono state realizzate secondo il seguente modello geotecnico. Il comportamento teorico del terreno di fondazione sottoposto all'applicazione di un carico viene generalmente schematizzato secondo le indicazioni di Terzaghi (1943). Si suppone quindi che, per una fondazione ruvida, nel terreno caricato del peso di fabbricato si possano individuare tre zone comportamento meccanico reologico differente.

- *Zona geometricamente assimilabile ad un cuneo*, in cui il terreno mantiene un comportamento elastico e tende a penetrare negli strati sottostanti, solidalmente con la fondazione; questo cuneo forma un angolo uguale φ (φ =angolo di resistenza al taglio del terreno su cui poggia la fondazione) rispetto all'orizzontale secondo Terzaghi, uguale $45^{\circ} + \varphi / 2$ secondo Meyerhof.

- *Zona di scorrimento radiale*, rappresentabile graficamente da una serie di archi di spirale logaritmica per $\varphi > 0$ o di cerchio per $\varphi = 0$, dove avviene la trasmissione dello sforzo applicato dal cuneo di materiale che costituisce la zona 1 alla zona 3;

- *Zona che si oppone alla penetrazione del cuneo nel terreno*; si assume teoricamente che assuma la forma di un triangolo isoscele con inclinazione dei due lati uguali rispetto all'orizzontale di $45^\circ - \varphi/2$; sulla superficie di questa zona agisce, con effetto stabilizzante, il peso del terreno sopra il piano di posa della fondazione ed altri eventuali sovraccarichi. Si ha la rottura del terreno di fondazione quando il carico applicato dal cuneo della zona supera la resistenza passiva della zona 3. In questo caso la zona penetrerà nel terreno di fondazione, che tenderà a rifluire lateralmente lungo la zona di scorrimento plastico, dando luogo rigonfiamenti superficiali. Si può giungere alla rottura del terreno attraverso tre modalità differenti:

Rottura di tipo generalizzato: in terreni addensati e/o consolidati la resistenza al taglio mobilitata aumenta rapidamente per piccoli incrementi di deformazione; al superamento della portanza limite il terreno si rompe e subisce grosse deformazioni; riportando in grafico gli sforzi applicati le deformazioni relative risulta facilmente identificabile il valore della resistenza al taglio massima;

Rottura di tipo locale: in terreni sciolti e/o scarsamente consolidati la resistenza al taglio mobilitata aumenta gradualmente in relazione significativi incrementi di deformazione; risulta difficile individuare in questo caso la resistenza al taglio massima, superata la quale si ha la rottura del terreno, in quanto qui il fenomeno avviene con maggiore gradualità;

Rottura di tipo intermedio: presenta caratteristiche intermedie fra la rottura di tipo generalizzato quella locale.

9.1.2 Cedimenti

L'applicazione di carichi provoca una variazione nello stato tensionale dei terreni con conseguente riduzione di volume delle terre compressibili. Il suolo agrario, rimaneggiato e non, risulta notoriamente inadatto alle sollecitazioni per elevata plasticità e contenuto in materia organica, pertanto tale livello non andrà mai preso in considerazione come materiale su cui realizzare opere fondali.

Il materiale conglomeratico sottostante, fino e grossolano, a seguito dell'applicazione di carico, presenterà cedimenti modesti pertanto tali materiali, mantenuti in condizioni ottimali di umidità, costituiscono un idoneo a sopportare sollecitazioni esterne.

10 VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA

10.1 Inquadramento territoriale e normativo

Nella redazione del Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico della Regione Sardegna il bacino unico regionale è stato suddiviso in sette sub-bacini.

Si è provveduto all'individuazione degli elementi a rischio presenti sul territorio ed alla perimetrazione delle aree a pericolosità e rischio idrogeologico, nonché della definizione dei criteri di salvaguardia, insieme ad una prima programmazione delle misure di mitigazione del rischio rilevato.

La redazione del PAI, per ragioni legate alla scala di analisi a livello regionale, alla disponibilità dei dati di base su scale ridotte, nonché ai tempi previsti per l'elaborazione, non ha consentito la mappatura di tutte le aree pericolose e i dissesti potenziali o in atto presenti sul territorio

Tali aree sono state quindi individuate e perimetrate con il dettaglio proprio delle mappature di pianificazione.

Il PAI avente valore di Piano di settore, prevale sui piani e programmi di settore di livello Regionale in quanto finalizzato alla salvaguardia di persone, beni, ed attività dai pericoli e dai rischi idrogeologici (N.T.A. PAI, Art. 4, comma 4).

Le previsioni del PAI prevalgono su quelle degli altri strumenti regionali di settore con effetti sugli usi del territorio e delle risorse naturali, sulla pianificazione urbanistica provinciale, comunale, delle Comunità montane, anche di livello attuativo, nonché su qualsiasi pianificazione e programmazione territoriale insistente sulle aree di pericolosità idrogeologica (N.T.A. PAI, Art. 6, comma 2). Sono fatte salve le norme di legge o di strumenti di programmazione e di pianificazione territoriale o di settore che direttamente o indirettamente stabiliscano per aree con pericolosità idrogeologica anche potenziale prescrizioni più restrittive di quelle stabilite dal PAI (N.T.A. PAI, Art. 4, comma 14). Nel caso di sovrapposizione delle discipline del PAI e del Piano Paesaggistico Regionale per le aree a pericolosità idrogeologica si applicano quelle più restrittive (N.T.A. P.P.R., Art 44).

In ottemperanza alle Norme di Attuazione del PAI si è provveduto a riportare alla scala grafica della strumentazione urbanistica vigente i perimetri delle aree a rischio R4, R3, R2 e delle aree pericolose H4, H3, H2 e ad adeguare contestualmente le norme dello strumento urbanistico (N.T.A. PAI, Art. 4, comma 5). Le N.T.A. PAI prevedono inoltre che nell'adeguamento della Pianificazione comunale vengano delimitate le aree di significativa pericolosità idraulica non perimetrate in precedenza dal PAI (N.T.A. PAI, Art. 26).

Ove si è ritenuto che le perimetrazioni del PAI non fossero sufficientemente adeguate a descrivere i problemi di pericolosità del territorio comunale, sono state effettuati studi di maggior dettaglio redigendo analisi idrauliche e/o geologiche a livello locale.

10.2 Finalità della disciplina dell'assetto idrogeologico

La disciplina dell'assetto idrogeologico si prefigge il raggiungimento di due obiettivi:

- la messa in sicurezza delle aree già antropizzate attraverso azioni strutturali e non strutturali;
- la prevenzione del rischio attraverso norme d'uso del territorio.

Relazione di compatibilità geotecnica, geologica e idrogeologica

Mentre la riduzione del pericolo o la mitigazione del rischio sono competenza di sponte regionale attraverso un piano programmatico di interventi.

La prevenzione è competenza sia del governo regionale attraverso regole e linee di indirizzo per l'uso del territorio sia del governo locale come attuazione delle regole generali del Piano ma, soprattutto, nella fase decisionale della pianificazione locale.

In tale ottica l'attività di indagine locale è stata operata, sia al fine di pervenire al necessario approfondimento delle problematiche sia, soprattutto, per sfruttare l'opportunità di pervenire a una conoscenza partecipata delle caratteristiche del territorio che consenta una assunzione condivisa delle decisioni.

La definizione delle aree di pericolosità ovvero di quelle aree soggette a fenomeni di dissesto quali aree esondabili o aree soggette a fenomeni franosi, è stata necessaria per fondare la pianificazione sulla base della sua zonizzazione e per la definizione della realizzazione delle necessarie opere, attività e interventi.

L'individuazione delle aree di pericolosità e degli elementi a rischio presenti sul territorio, porterà a riconoscere le aree a rischio ovvero le aree dove il realizzarsi di un fenomeno di dissesto può comportare danni, quantificabili con perdita di vite umane o di risorse del territorio.

La successiva quantificazione del danno atteso consentirà la programmazione degli interventi da realizzare per la mitigazione del rischio.

10.3 Indagine storica sui fenomeni di dissesto

Nell'ambito della procedura di adeguamento del PUC al PAI è stata attivata un'analisi conoscitiva dei fenomeni di dissesto e delle condizioni di pericolosità e rischio sul territorio comunale.

L'indagine svolta è consistita nell'esame della bibliografia presente che ha consentito l'identificazione delle aree storicamente soggette a dissesto idrogeologico.

Sono state consultate numerose fonti, analizzate e sintetizzate, che vengono elencate di seguito, utilizzate per le valutazioni sulla instabilità.

In particolare, sono state consultate :

- **Progetto Aree vulnerate Italiane (AVI) - Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche del CNR (GNDCICNR), si tratta di una raccolta di dati storici di piene e frane messe a disposizione per la consultazione al sito internet www.gndci.cnr.it;**
- **Progetto SCAI - Studio sui Centri Abitati Instabili – Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche del CNR G.N.D.C.I.**
- **Progetto Naz. M.P.I. – C.N.R. “Dinamica, dissesti e tutela delle spiagge”**
- **Servizio Geologico Nazionale (SGN) in collaborazione con le Regioni e le Provincie Autonome, Progetto IFFI, Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia, messo a disposizione nel sito dell'APAT;**
- **Le frane della Sardegna – Sebastiano Crinò – da “L'ingegnere” – Roma, 1930;**
- **Censimenti e catalogazioni o raccolta di notizie effettuati presso Province, Comunità Montane, Comuni limitrofi;**
- **Progetto VAPI – Valutazione delle Piene in Sardegna – Pubblicazione CNR 1418;**
- **Memorie e testimonianze storiche di particolari eventi di piena e di frana storica.**

L'area è interessata da uno studio ex Art. 8 c. 2 approvato in data 01.08.2012 con Delibera del Comitato Istituzionale n.3 e relativo al Comune di Assemini.

Il comune dispone, altresì di uno studio di Variante ex art. 37 c 3 l b approvato con DCC n° 11 del 26 maggio 2016 che viene in questo studio assentito interamente.

Le informazioni raccolte e successivamente mappate sono state verificate a campione per la verifica dello stato attuale dei luoghi che sono stati interessati da fenomeni di dissesto, l'eventuale persistere di situazioni di pericolo e la valutazione dello stato e dell'efficacia delle opere di messa in sicurezza adottate.

Il materiale informativo raccolto ha costituito la base di partenza per la conoscenza della vulnerabilità del territorio e della sua sensibilità nei confronti dei fenomeni di dissesto idrogeologico ed ha rappresentato un ulteriore supporto alla definizione delle aree di pericolosità.

Le aree sono state oggetto di studi in tempi sufficientemente recenti e sia per livello di pianificazione, e sia per mutate norme, l'area non è soggetta ad un ulteriore studio comunale di assetto idrogeologico.

11 EVENTI INCENDIARI CON RILEVANZA AI FINI DELLA VALUTAZIONE DELLA STABILITÀ DEI VERSANTI

Sulla base dei materiali disponibili e delle notizie raccolte, non sono stati individuati eventi che negli ultimi anni (2005-2019) possano contribuire ad un rilevante incremento della instabilità dei versanti o anche di un incremento dei fenomeni franosi locali.

In ogni caso la morfologia dei luoghi non mostra particolare sensibilità alle mutazioni della copertura vegetale apportate dal passaggio degli incendi.

12 LE AREE FRANOSE O POTENZIALMENTE FRANOSE

La carta della pericolosità connessa ai fenomeni franosi costituisce una valutazione della pericolosità da frana finalizzata alla zonazione del territorio in aree suscettibili di innesco.

Per i fenomeni franosi in genere, quindi, i modelli predittivi si limitano a definire dove un determinato fenomeno è possibile che accada e con quale probabilità, senza determinare in modo esplicito i tempi di ritorno e le intensità.

Le aree, ricercate attraverso le metodologie delle Linee Guida PAI 2000, e reinterpretate attraverso le metodologie illustrate e verificate con sopralluoghi, non hanno sortito che una pericolosità di frana di livello Hg0.

Il Territorio studiato è sostanzialmente, per natura, scevro da situazioni morfologiche che possano produrre spontaneamente pericolosità rilevanti.

L'area del progetto proposto, in particolare, non è interessata da pericolosità e le aree circostanti sono omogeneamente mappate e si estendono in ogni caso al di fuori di settori pericolosi.

13 LA COMPATIBILITÀ GEOLOGICA DELLA PROPOSTA DI PROGETTO

Il territorio, è mappato dal progetto AVI, dal PAI e dall'IFFI, e non è interessato in nessun modo da problematiche morfologiche.

Non sono presenti fenomeni storici o comunque anche recentemente censiti, significativi.

In particolare, non si riconoscono eventi o frane potenziali nel settore di progetto.

In ogni caso la trasformabilità del progetto non può non prevedere altro se non il rispetto delle limitazioni derivanti dai livelli di pericolosità Hg.

Il progetto è quindi compatibile con la pericolosità di frana riscontrata.

L'ipotesi definita progettualmente, adeguatamente supportata dagli studi svolti, non introduce o amplifica criticità relative al sistema geologico ed idrogeologico e conseguentemente si ritiene compatibile con il contesto nel quale viene ad inserirsi ed è altresì compatibile con le caratteristiche geotecniche del sedime.

Fausto Alessandro Pani

Geologo

Collaboratore:

Roberta Maria Sanna

Geologo

