



COMUNE DI VILLAPUTZU

*Provincia di Cagliari*

## *PIANO URBANISTICO COMUNALE*

**Relazione di Compatibilità Geologica e Geotecnica estratta,  
con integrazioni, dalla relazione Geologica del 30-07-2012**



## *Premessa*

Ai sensi dell'art. 4 comma 5, dell'art. 8 e degli art. 25 e 26 delle Norme di Attuazione del PAI l'Amministrazione Comunale di Villaputzu ha intrapreso le procedure di adeguamento del proprio strumento urbanistico al PAI.

Con contratto in data 20/09/2008 il committente, l'ECO-RESEARCH SCRL, affida al Dipartimento di Geingegneria e Tecnologie Ambientali (DIGITA) il coordinamento delle attività degli aspetti geologici per la redazione della ***“Variante al Piano Urbanistico Comunale – Adeguamento alle previsioni del P.P.R. del P.A.I. del T.U. sull’edilizia e urbanistica, alle norme sul risparmio energetico, in materia igienico-sanitaria, acustica, sicurezza, paesistica, e/o altro e alle altre norme eventualmente sopravvenute in materia”***. Con delibera di dipartimento il sottoscritto veniva incaricato per il coordinamento delle attività degli aspetti geologici.

Si vuole segnalare che nel territorio comunale, la cui estensione, come si vedrà più avanti, è una delle maggiori dei comuni presenti in Sardegna, sono presenti notevoli varietà geologiche che lo rendono tra i più complessi dell'intero territorio regionale. Inoltre le analisi e le elaborazioni, soprattutto le osservazioni di campagna, sono state fortemente condizionate dalla presenza di aree militari. Infatti, nelle ampie porzioni del territorio comunale sotto servitù militare non è stato possibile effettuare alcun rilievo, perché proibito per questioni di sicurezza nonostante, in taluni periodi, sia stato possibile l'accesso. Tali aree sono state riportate nella varie carte con una tonalità di grigio, fatta eccezione per la carta geologica, per la carta della geomorfologia (e litologica) e per la carta dell'acclività, di cui esistevano informazioni d'archivio sufficienti per la scala dei rilievi.

Il territorio oggetto dello studio è compreso in due sub bacini: nel Sub-bacino 6 – Sud Orientale, per la parte settentrionale, mentre la parte meridionale è compreso nel sub-bacino 7 del Flumendosa-Campidano-Cixerri.

Per il Sub-bacino 6 – Sud Orientale e relativamente alla stabilità, la cartografia del rischio, pericolo e degli elementi si identificano attraverso i seguenti codici alfanumerici:

Carta del rischio Rif. B6\_Villaputzu\_6\_RG

Carta degli elementi a rischio: Rif. B6\_Villaputzu\_4\_EG

Carta della pericolosità: Rif. B6\_Villaputzu\_5\_HG

In particolare, è stato reputato opportuno segnalare che nella scheda informativa per gli interventi connessi ai movimenti franosi (SCHE#V2O – 16.B6\_VILLAPUTZU), viene

riportata la seguente nota: *data la scarsa rilevanza dei problemi di instabilità dei versanti e la relativa incidenza del rischio franoso sugli elementi esposti al rischio, nella parte dei territori comunali di Villaputzu e San Vito, che ricadono all'interno del sub-bacino sud-orientale, non sono stati previsti interventi strutturali di mitigazione del rischio di frana.*

Per il Sub-bacino 7 del Flumendosa-Campidano-Cixerri e relativamente alla stabilità non risultano elaborati per la cartografia del rischio, pericolo e degli elementi.

Durante la prima fase sono state analizzate la cartografia PAI ufficiale, sopra riportata, verificandone la congruità alla scala grafica del PUC ed integrandola contestualmente con nuove criticità non individuate dallo strumento Regionale.

Lo studio si è svolto sulla scorta delle indicazioni riportate nelle Linee Guida per l'Adeguamento del PUC al PAI pubblicato nel Buras n 29 del 10/09/2007 e successivi aggiornamenti e integrazioni.

La cartografia tematica di base a corredo del PUC di Villaputzu comprende:

Carta geologica scala 1:25.000

carta idrogeologica 1:25.000

Carta delle unità di paesaggio 1:25.000

Carta delle valenze naturalistiche 1:25.000

carta morfologia 1:25.000

carta dell'uso del suolo 1:25.000

mentre il contratto prevede che tutti i tematismi siano prodotti in scala 1:10.000, oltre ai seguenti assenti nel PUC:

carta geomorfologia 1:10.000

carta litotecnica 1:10.000

carta delle pendenze scala 1:10.000

Inoltre il PAI ha introdotto i seguenti tematismi:

Carta dell'instabilità potenziale

Carta della pericolosità geomorfologica

Carta della pericolosità idraulica

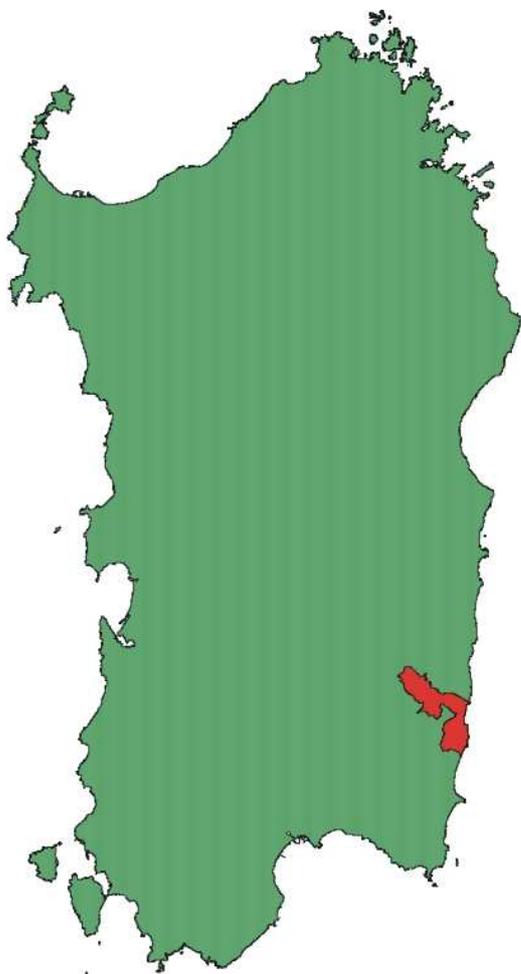
Carta degli elementi a rischio

Cartografia del rischio

## 1. INQUADRAMENTO DELL'AREA.

### 1.1) Localizzazione geografica e accessibilità

L'area del Comune di Villaputzu, situata nella Sardegna sud – orientale (*Fig. 1.1*), ricade in



*Fig.1.1: Localizzazione del territorio del comune di Villaputzu.*

gran parte nel **Foglio N° 549 Muravera – Serie 50 Edizione I**, e solo per una piccola porzione nel **Foglio N° 541 Jerzu – Serie 50 Edizione I**. Tali Fogli fanno parte della Carta Topografica Ufficiale dello Stato in scala 1:50.000 edita dall'Istituto Geografico Militare (IGMI) nel 1994. L'area comunale ricopre una superficie superiore ai 181 km<sup>2</sup>, che ne fa il 26° comune sardo per estensione. L'accessibilità è attualmente garantita, principalmente, dal nuovo tracciato veloce della SS 125, ormai in fase avanzata di realizzazione e conclusa per il tratto interessante il territorio in esame e che costituisce la direttrice principale nord – sud dell'area e che già contribuisce a migliorare il collegamento con Cagliari e Tortolì. A questa si aggiunge il vecchio percorso della stessa SS 125 “Orientale Sarda”, oggi in fase di lento disuso.

Un'altra importante via di accesso è la strada statale 387 che comunque si ricollega alla suddetta SS 125 nei pressi di Muravera. Alla rete viaria principale sopra menzionata si devono aggiungere alcune strade

provinciali che interessano anche le aree limitrofe e i centri abitati montani e che, ricollegandosi alle strade statali, hanno agevolato la pendolarità e diminuito l'isolamento.

La relativamente recente realizzazione di nuove strade agricole e turistiche costituisce una importantissima rete viaria minore la quale permette, ora, di percorrere agevolmente la regione dove, specialmente nelle parti interne e montane, fino agli anni cinquanta, la presenza dell'uomo era solo stagionale e legata all'arrivo delle greggi. In particolare, una serie di strade secondarie e di piste rendono facilmente raggiungibili le zone costiere, quali la Foce del Flumendosa ed il resto del litorale che va da Capo di San Lorenzo fino a Monte Santu, mentre le aree interne, caratterizzate dai rilievi montuosi, hanno una copertura viaria costituita

prevalentemente da piste, carrarecce e sentieri. Infine, l'eventuale riqualificazione della vecchia Strada Orientale Sarda, dopo il declassamento a "strada parco", potrà costituire l'infrastruttura principale del sistema d'accessibilità locale, per fruizione del paesaggio, dei principali beni paesaggistici quali, ad esempio, il Castello di Quirra e alcuni dei siti minerari (in particolare, la suggestiva miniera di Monte Narba, attualmente in fase di totale abbandono e altre) facenti parte del Parco Geominerario.

## 1.2) Dati amministrativi

Sebbene il territorio comunale di Villaputzu appartenga dal punto di vista amministrativo alla provincia di Cagliari, prendendo in considerazione l'insieme territoriale ed estendendolo alle aree limitrofe, si nota che esso è dotato di una sua omogeneità interna, sia per gli aspetti ambientali che culturali, dai quali si può facilmente osservare come sia ancora valido il concetto delle suddivisioni minori o **sub regioni**, la cui individualità si è andata definendo nel corso della storia. In particolare, la base storica delle antiche suddivisioni amministrative indicava, per l'area in studio, le **sub – regioni** del **Salto di Quirra** e del **Sarrabus** che, anche se si sono modificate attraverso nuovi rapporti tra città e territorio, tendono a definirsi in conformità ad aree di influenza dei centri urbani. Lo sviluppo economico e sociale ha subito un'evoluzione differente secondo le due sub regioni.

Nella **sub – regione del Salto di Quirra** (Regione Autonoma della Sardegna, 2006 – b), sebbene scarsamente popolata, presenta sia nella parte interna, dominata dall'altopiano, sia in quella vicina alla costa, una modalità insediativa che connota nell'area la diffusione agricola – residenziale, in parte sostituendo gli antichi ovili (*bacilli*). Nella bassa valle del Rio Quirra e in particolare nella piana alluvionale costiera, sono ubicati i nuclei insediativi, di tipo rurale, di Quirra e quello di San Giorgio, localizzati in relazione alla presenza di colture irrigue e agrumeti, mentre a Capo San Lorenzo si hanno installazioni e insediamenti militari. Del resto, oltre a quelle di Capo San Lorenzo, anche altre vaste porzioni di territorio dell'altopiano di Monte Cardiga sono interessate da usi militari.

L'economia si basa essenzialmente su due ambiti: il primo riguarda l'utilizzo diretto delle risorse ambientali, attraverso l'allevamento e l'agricoltura. L'allevamento degli ovini e specialmente dei caprini usufruiscono di ampi terreni pascolativi, in cui è presente una vegetazione costituita da sempre più rare formazioni boschive e più comuni formazioni arbustive, ma risente dei limiti imposti dalla presenza nel suo territorio del Poligono Militare di Perdas de Fogu. L'agricoltura, sviluppata prevalentemente nelle aree di piana lungo la valle del Torrente Quirra, è caratterizzata generalmente dalla coltivazione d'agrumi, colture ortive e viti. Il secondo ambito riguarda il turismo costiero, che costituisce una nuova risorsa,

lentamente in via di sviluppo, anche se la presenza della servitù militare rappresenta una criticità, in termini di limitazione alla fruizione del paesaggio, specialmente dei sistemi sabbiosi e delle zone umide costiere di Quirra, Tuttavia, in quest'area, esistono delle criticità naturali che andrebbero caratterizzate con attenzione, costituite dall'alto tenore in alcuni elementi nocivi per la salute, in particolare l'arsenico, il cadmio e il tallio.

La **sub – regione del Sarrabus** (Regione Autonoma della Sardegna, 2006 a) presenta, nell'area del territorio comunale di Villaputzu, una varietà di paesaggi che comprendono sia zone montagnose e collinari, in pratica prive di centri abitati, sia pianure, quest'ultime legate alle valli dei corsi d'acqua principali e alla costa. Il sistema insediativo, costituito dal comune di Villaputzu, è profondamente influenzato dai caratteri ambientali tipici di una situazione di transizione tra ambiente fluviale e marino. Il centro abitato occupa, in parte, lo spazio delle alluvioni antiche e in parte di quelle recenti (vedi carta geologica), conformandosi all'andamento del corso del Flumendosa. La disponibilità di una ricca risorsa idrica e la fertilità dei suoli alluvionali hanno costituito il fattore storico principale dell'insediamento, nonostante, specie in passato, i rischi connessi ai processi caratterizzati da frequenti esondazioni e alluvioni del Flumendosa.

La zona è stata teatro di vicende clamorose e dolorose, sotto gli aspetti tecnici, economici e umani, legate ad un periodo particolarmente florido, quello del ventennio 1870 – 1890 (Pomesano, 1965), in cui furono scoperte e messe in coltivazione alcune miniere d'argento ubicate lungo il cosiddetto “Filone Argentifero” e presente nel territorio comunale di Villaputzu, ad esempio, con la miniera piombo-argentifera, ormai abbandonata, di Gibbas, dando luogo ad euforiche infatuazioni, non supportate però da giacimenti veramente economici; di conseguenza questa situazione fu seguita, purtroppo, da un rapido declino e da un desolante abbandono d'ogni attività produttiva e prospettiva di sviluppo industriale basato su questa georisorsa.

Ad eccezione della parentesi industriale, l'economia di questa parte del Sarrabus è impostata, da sempre, sull'agricoltura e in particolare su colture pregiate legate all'acqua, come ortaggi, agrumi e riso. Al contrario di quanto accaduto per la sub regione del Salto di Quirra, pur essendo un'area anch'essa periferica rispetto a Cagliari e all'asse campidanese, questa parte del Sarrabus ha trovato negli ultimi anni nuove risorse e vitalità nel turismo nella fascia costiera, dove, ad eccezione del nucleo insediativo-turistico di Porto su Tramatzu – Porto Corallo in corrispondenza delle strutture portuali, si sono sviluppate seconde case e villaggi, offrendo nuove possibilità di lavoro ed evitando, di fatto, l'emigrazione e l'abbandono che invece è stato tipico delle aree interne e montane. Inoltre, hanno una certa importanza le attività d'itticoltura e pesca legate alla gestione degli ambienti salmastri delle foci. Infine,

nell'ultimo ventennio, sono state create alcune modeste attività commerciali legate al Poligono Militare di San Lorenzo e di Perdas de Fogu.

Pertanto, come può vedersi nell'allegata Tabella 1, la popolazione del centro abitato principale, Villaputzu, ha subito una diminuzione molto minore rispetto ai paesi montani dei comuni limitrofi.

*Tabella 1. Popolazione dell'abitato di Villaputzu in diversi periodi*

	1835 – 56	1872	1895	1961	1981	1991	1995	2000	2001
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Abitanti	2391	2531	2659	4997	5135	5048	5034	5004	4831

*(1) Angius – Casalis, 1856; (2) Anonimo, 1872 ; (3) Corona; (4) Touring Club Italiano, 1961; (5) Autori Vari, 1983; (6 – 7 – 8 – 9) ISTAT*

Infatti, dalla Tabella 1 si può notare come dal 1981 i residenti siano solo in lieve flessione, dimostrando come le nuove opportunità offerte dal turismo e particolarmente da quello costiero, hanno concorso ad evitare lo spopolamento dell'intera area.

## **2 Inquadramento geologico generale**

### **2.1 Geologia**

Dato lo scopo della presente relazione, è stato reputato opportuno fornire delle basi che permettessero di inquadrare e comprendere al meglio, da un punto di vista geologico, l'area compresa nel territorio di Villaputzu, riportando alcuni cenni della geologia generale della Sardegna e successivamente descrivendo più in dettaglio l'area del territorio comunale. Si rinvia, invece, alla bibliografia specifica per gli eventuali approfondimenti necessari ed in particolare alla nota Carmignani et Al. 2001 (“Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 –Foglio 549 - Muravera”), alla quale si rimanda anche per la bibliografia dei capitoli riguardanti le descrizioni geologiche.

#### *2.1.1) Cenni geologici sulla Sardegna*

Le isole di Sardegna e di Corsica, costituiscono un micro-continente, che viene considerato come una parte della zolla (o placca) europea, dalla quale si è separato, come conseguenza dell'apertura del Mediterraneo occidentale, circa 16 Ma, durante l'Oligo-Miocene.

Ciò significa che questo micro-continente, o massiccio sardo-corso, non è stato sempre nell'attuale posizione geografica ma, anzi, il periodo più lungo e importante della sua

esistenza si è consumato quando si trovava in una localizzazione completamente differente, vale a dire a ridosso dell'Europa occidentale. Solo in tempi geologicamente recenti, ovvero durante il Miocene inferiore, esso ha ruotato e traslato, in senso antiorario, per assumere la localizzazione attuale.

Ne consegue che la sua lunga e tormentata storia geologica è, in alcuni casi, più simile a quella d'alcune aree del nord-est della Spagna e del sud della Francia, mentre è chiaramente molto differente da quella dell'Italia Peninsulare e delle più vicine regioni del Nord Africa.

Da un punto di vista della posizione geografica, pertanto, possiamo suddividere la storia geologica del micro-continente sardo-corso, in due periodi principali:

- un primo periodo che va dalle origini fino all'Oligo-Miocene (della durata di oltre 500 Ma), in cui esso ha subito le stesse vicissitudini (orogenesi, metamorfismi ecc.) del continente europeo occidentale, come dimostrano alcune similitudini che si riscontrano in Sardegna, nelle Montagne Noir della Francia e in alcune regioni della Spagna (rocce, effetti tettonici, ecc.);
- un secondo periodo che va dall'Oligo - Miocene fino ai nostri giorni (durata circa 16 Ma), in cui i fenomeni geologici che lo hanno interessato, sono evidenti solo nel territorio regionale e quindi non hanno affinità con le altre regioni.

Il primo periodo è caratterizzato dalla presenza sia di una *successione di rocce metamorfiche paleozoiche e di rocce intrusive granitoidi*, che costituiscono il basamento cristallino, sia di una *copertura vulcanica-sedimentaria* d'età compresa tra il tardo Paleozoico e l'Oligo-Miocene inferiore.

La *successione paleozoica*, considerata la più completa del territorio italiano, comprende **rocce scistoso-arenacee e vulcaniche** in esse intercalate, affioranti attualmente in varie zone della Sardegna e principalmente nella parte centro-meridionale (Baronia, Barbagia, Ogliastra e Gerrei-Sarrabus) e sud-occidentale (Sulcis-Iglesiente) e **rocce carbonatiche** (calcari e dolomie del Cambrico) presenti in queste ultime aree.

La serie di terreni paleozoici ha subito gli effetti di alcune orogenesi e in particolar modo risulta piegata e metamorfosata dal corrugamento ercinico, assumendo una struttura a coltri di ricoprimento, cui seguono intrusioni granitiche post-orogenetiche, con metamorfismo di contatto, manifestazioni idrotermali e vulcaniche ed emersione finale. Sulla nuova terra emersa ha inizio l'azione modellatrice degli agenti esogeni.

Le rocce intrusive, legate al suddetto magmatismo, sono costituite da varie intrusioni di differente composizione, che danno luogo a un batolite granitico composito, la cui ossatura

fondamentale affiora in continuità nella Sardegna Settentrionale e nella Corsica Occidentale. Nel resto dell'Isola affiorano plutoni isolati, anch'essi compositi, di minori dimensioni, quali quelli del Sarrabus, dell'Iglesiente, ecc. Le età di questi numerosi plutoni, misurata radiometricamente, è compresa in un intervallo di tempo che va da 320 a 290 Ma.

Dopo una fase tettonica così intensa, segue un lungo periodo di relativa quiete che dura dal Paleozoico Superiore fino al Miocene Inferiore, durante il quale il micro-continente non solo subisce una serie di emersioni alternate a periodi in cui viene invaso totalmente, o in parte, dal mare, ma è coinvolto anche in traslazioni orizzontali, lungo faglie trascorrenti, come quelle del nord dei Pirenei, subito ai margini della Provenza. Questi movimenti hanno interessato anche il basamento della Toscana facente parte, fino ad allora, della zolla europea. Uno stiramento della crosta sialica, durante il Giurassico superiore, porta però all'apertura di un bacino oceanico (bacino ligure-piemontese) e alla separazione definitiva della Toscana dal Massiccio Sardo-Corso. Dopo tale separazione il micro-continente Sardo-Corso continua ad evolversi, insieme con la parte stabile della placca europea mentre, verso est, il basamento della Toscana è interessato da nuovi fenomeni evolutivi nel margine continentale degli Appennini.

Si depositano in questo intervallo di tempo le coperture vulcaniche-sedimentarie, costituite da rocce vulcaniche e da sedimenti. Questi ultimi, prevalentemente carbonatici, affiorano nella Sardegna centro-orientale, ove costituiscono i noti "tonneri", nella parte nord-occidentale e nella Corsica occidentale.

Quasi alla fine del Cretaceo comincia la chiusura del bacino ligure-piemontese e come conseguenza della consunzione della connessa crosta simatica, il continente africano si avvicina ancora all'Europa. La collisione ha luogo durante l'Eocene Medio. Tuttavia occorre far notare che mancano in Sardegna chiare prove di fenomeni compressivi collegati con questo evento mentre, al contrario, la sua evoluzione post-ercinica sembra essere caratterizzata da fenomeni che creano strutture distensive. Sono tali strutture che, nel Miocene Inferiore, causano la separazione dalla placca europea del Massiccio dando inizio al secondo periodo.

Il secondo periodo è caratterizzato dalla deriva subita dal massiccio sardo-corso e dalla deposizione di rocce, sia sedimentarie sia vulcaniche, fino a raggiungere la sua posizione attuale.

Questo micro-continente vive, da questo momento, una storia autonoma e diversa da quelle delle altre aree del Mediterraneo. Esso inizia, nell'Oligocene Superiore, il suo movimento di distacco dall'Europa e di deriva verso sud-est nel Mediterraneo, con rotazione antioraria di

circa 30°, che termina nel Miocene.

La deriva è accompagnata da un'intensa attività magmatica calcalkalina, iniziata nell'Oligocene inferiore, che porta alla messa in posto d'importanti massicci vulcanici nella parte occidentale della Sardegna, che si smembra nei suoi pilastri ("horst") principali, fra i quali si crea una vasta depressione allungata nord-sud, il "graben" sardo, che si estende dal golfo dell'Asinara a quello di Cagliari.

Entro questa depressione si depositano, oltre che i prodotti dell'attività vulcanica (rioliti, riodaciti, tufi, ecc.), presenti prevalentemente nella parte occidentale della Sardegna, anche i sedimenti del mare oligo-miocenico (arenarie, marne, calcari) spesso in alternanza con le vulcaniti, che colmano la fossa tettonica con spessori complessivi di almeno 600-800 m .

Esauriti i movimenti di rotazione e traslazione, la fossa continua ad approfondirsi e la trasgressione diventa pressoché generale, separando due aree emerse, una a sud-ovest e una a sud-est rispetto allo stesso graben, costituite dalle zone più alte dei rilievi paleozoici .

Dal Miocene Superiore fino all'Attuale, tutta la Sardegna emerge nuovamente, con variazioni del livello del mare legate ai cicli glaciali, come testimoniano i sedimenti fossiliferi del Tirreniano ("Panchina"). Si sviluppa anche un'attività vulcanica alcalina (basalti) che cessa nel Pliocene, lasciando coni di ceneri e colate basaltiche in varie parti dell'Isola.

Nel Pliocene medio, all'estremità meridionale della fossa, si forma il graben campidanese, fra il golfo di Oristano e quello di Cagliari, derivante da una tettonica distensiva che ha interessato il Mediterraneo. Nella nuova fossa si depositano sabbie e limi, ghiaie e argille di ambiente fluvio-lacustre (alluvioni) e attualmente esistono alcune lagune ubicate, prevalentemente, all'estremità della piana del Campidano.

## **2.1.2) *Inquadramento geologico e strutturale dell'area compresa nel territorio del comune di Villaputzu***

### **2.1.2.1) *Inquadramento geologico***

Nell'area in studio (Carmignani et Al. 2001), sono state distinte, partendo dalle più recenti verso le più antiche, le seguenti formazioni:

- a) depositi quaternari dell'area continentale;**
- b) successioni sedimentarie terziarie;**
- c) complesso intrusivo tardo - paleozoico;**
- d) basamento metamorfico ercinico.**

### **a) I depositi quaternari dell'area continentale**

Tali depositi costituiscono una porzione rilevante del territorio comunale, essendo quelli delle pianure costiere legati al Fiume Flumendosa, ove sono state accertati depositi quaternari con potenza di circa 100 m e al Torrente Quirra - Flumini Durci.

Essi sono costituiti da: depositi d'età olocenica, quali gli alluvionali in evoluzione (*ghiaie e sabbie fluviali*), gli eolici (*sabbie di dune costiere*), quelli di spiaggia (*sabbie e ghiaie litorali*), i palustri (*limi e argille*), le diffuse piccole frane, i colluviali, gli eluviali, i travertini (*incrostazioni*), i terrazzi di II ordine (*conglomerati e sabbie fluviali*); depositi d'età pleistocenica costituiti dalle alluvioni dei terrazzi di I ordine reinciati, (*conglomerati fluviali cementati*).

Durante il lavoro di campagna è stato rilevato, presso l'ex Casa Cantoniera di Rio Gironi, al km 110 della strada Orientale sarda, a nord di Villaputzu, un piccolo affioramento di roccia vulcanica plio - quaternaria (*basalto alcalino*), che non si eleva al disopra della morfologia circostante. Attualmente è difficile poter determinare il tipo di giacitura di questa roccia, probabilmente perché è stata oggetto d'estrazione per ottenere inerti per l'edilizia che lo hanno ridotto a pochi metri quadrati, ma secondo Calvino (1965), si tratta di un *neck* di basalto che intrude il basamento metamorfico ercinico lungo una faglia nord - sud, riattivata nel Pliocene.

### **b) Successioni sedimentarie terziarie**

Nel territorio del comune di Villaputzu è presente con la "Formazioni di Monte Cardiga".

La "Formazione di Monte Cardiga", dell'Eocene inferiore, è ben conservata nell'altipiano del Monte omonimo e in limitati e discontinui altri affioramenti. Le caratteristiche della Formazione fanno ritenere che nell'Eocene l'area sia stata completamente sommersa e coperta da sedimenti terziari. La serie raggiunge, in totale, uno spessore di 280 m ed è costituita, dall'alto verso il basso, da arcose, da arenarie feldspatiche grossolane e conglomerati, da sedimenti carbonatici (*calcari, calcari argillosi e arenacei, calcareniti*), arenarie e puddinghe, arenarie e conglomerati poligenici e infine argilliti, nella parte più antica.

### **c) Complesso intrusivo tardo - paleozoico**

Tale complesso è costituito da prodotti intrusivi ed effusivi che si sono messi in posto tra il Carbonifero superiore e il Permiano, contemporaneamente al sollevamento, al collasso e allo spianamento della catena ercinica ed è costituito da filoni idrotermali a prevalente quarzo, filoni basici e da filoni e ammassi di porfidi quarziferi, che presentano direzioni comprese fra nord ovest - sud est e nord - sud. I principali filoni idrotermali di quarzo tagliano la

“Formazione delle Arenarie di San Vito” e possono essere accompagnati da una serie di minerali utili, generalmente solfuri, mentre i filoni basici (*dioritici o alcalini*) hanno spessori modesti, sono fortemente alterati e risultano difficilmente cartografabili. Le rocce granitoidi presenti nell’area sono classificabili come *leucogranito* e affiorano lungo la costa alla sinistra idrografica del Torrente Quirra, e rappresentano l’estrema propaggine del batolite dell’Ogliastro. Tali masse granitiche hanno indotto sulle formazioni che hanno intruso un’aureola metamorfica più o meno estesa.

#### **d) Basamento metamorfico ercinico.**

Il basamento è costituito da numerose successioni stratigrafiche, che coprono in buona parte il territorio comunale e sono interrotte da alcune discordanze, descritte qui di seguito dalla più antica alla più recente. La più antica discordanza angolare separa la successione Cambro - Ordoviciano dal sovrastante complesso vulcanico dell’Ordoviciano medio, con conglomerati prevalentemente derivati dal vulcanismo d’arco e testimonia, insieme all’importante magmatismo calcocalcino e alla presenza di conglomerati e arenarie grossolane continentali, la *tettonica eocaledoniana* d’età ordoviciano della Sardegna sud - orientale. Essa è nota in letteratura come “Discordanza Sarrabese” ed è attribuita alla Fase Sarda istituita da Stille (1939) nell’Iglesiente, ove è testimoniata dalla presenza di un potente conglomerato (“Puddinga” Auct.). Più giovane della precedente è la discordanza tra il complesso vulcanico ordoviciano e la successione trasgressiva dell’Ordoviciano superiore, definita *non - conformity* (“trasgressione caradociana Auct.”). La terza, quasi sempre tettonizzata, è una discordanza alla base della successione terrigena del Carbonifero inferiore.

Sintetizzando le caratteristiche delle formazioni presenti e comprese fra le discordanze sopra descritte, si riporta, qui di seguito, lo schema (dalle più antiche verso le più recenti):

- Successione terrigena del Cambriano - Ordoviciano inferiore nota anche come *pre discordanza sarrabese*, è costituita da una potente successione arenacea e siltosa (“*Arenarie di San Vito*”) che rappresentano i prodotti di depositi di conoidi sottomarine con facies distali.
- Successione vulcano - sedimentaria, è caratterizzata da potenti banchi di metaepiclastiti discordanti sulla formazione descritta in precedenza e attribuita all’Ordoviciano medio, in base all’età delle formazioni sottostanti e sovrastanti. Questo complesso magmatico, di composizione di chiara affinità sub - alcalina, che costituisce una suite completa, con composizione da riolitica ad andesitica, più raramente basaltica, presenta marcate variazioni (*metarioliti, metandesiti, metavulcaniti a chimismo intermedio e basico, metaepiclastiti “Porfiroidi Auct.”*), attribuibili ad una originaria zonazione dell’arco vulcanico. Nella parte

sedimentaria sono presenti formazioni clastiche (*conglomerati e grovacche*), arenacee (*metarcose, metaquarzoareniti*) e più sottili (*metasiltiti, filladi*).

- Successione terrigena e carbonatica dell'Ordoviciano superiore - Carbonifero inferiore, esordisce con la trasgressione caradociana, testimoniata da depositi detritici, anche grossolani, d'ambiente costiero del Caradoc (*metaconglomerati, metarcose, metarenarie*) delle "Formazioni di Genna Mesa, Orroleddu, Argilloscisti di Riu Cannoni", seguiti da depositi pelitico - arenacei (*metapeliti, metasiltiti*) con intercalazioni carbonatiche d'ambiente neritico (Caradoc - Ashgill). Queste successioni, accompagnate da modesta attività vulcanica (*basalti*), sono caratterizzate da una gran varietà di facies dovute ai prodotti dello smantellamento dei diversi apparati vulcanici subaerei e alla morfologia della superficie di trasgressione. Alla fine dell'Ordoviciano si imposta un'uniformità di sedimentazione che arriva fino all'inizio del Carbonifero, con un ambiente di mare aperto relativamente poco profondo, con apporti da terre emerse scarsi o assenti e frequenti condizioni riducenti sul fondo (*metapeliti carboniose e metasiltiti a graptoliti, calcari scuri nodulari*), nella "Formazione degli Scisti a Graptoliti Auct." del Siluriano.

#### 2.1.2.2) *Inquadramento strutturale*

Nel territorio comunale sono presenti praticamente tutti i termini costituenti il basamento della Sardegna sud orientale, ovvero una pila di falde di ricoprimento che rappresentano l'elemento più comune dell'area, ove si conserva una buona registrazione dell'evoluzione tettonica ercinica. Tale elemento strutturale è dovuto a due eventi deformativi con caratteri strutturali, metamorfici e magmatici che sono stati riconosciuti in tutto il basamento della Sardegna, ovvero una iniziale e importante tettonica compressiva che nel Carbonifero inferiore ha determinato l'impilamento delle successioni paleozoiche e un metamorfismo sin - cinematico connesso con l'ispessimento crostale, a cui è seguito una pervasiva tettonica distensiva tardo - orogenica, che si sviluppa nel Carbonifero superiore - Permiano inferiore. Quest'ultimo evento è stato correlato con il collasso della catena alla fine delle fasi d'ispessimento crostale (fase distensiva post - collisionale) e ha determinato fenomeni di denudazione tettonica con esumazione delle metamorfiti e sviluppo del magmatismo calcalkalino. La deformazione si è realizzata durante la risalita e il raffreddamento delle metamorfiti e quindi a livelli strutturali sempre più superficiali. Ne deriva una gran varietà di strutture con stili differenti, che vanno da zone di taglio duttile e associati sistemi di pieghe, a faglie dirette poco inclinate, faglie dirette molto inclinate e faglie trascorrenti.

Durante la fase collisionale si ha la messa in posto delle varie *unità tettoniche* costituite da successioni più o meno complete, le cui età sono comprese tra il Cambriano e il Carbonifero

inferiore e il cui livello di scollamento è ritenuto essere alla base delle metarenarie cambro - ordoviciane, (*“Arenarie di San Vito”*) presenti anche nella Sardegna centrale.

Il basamento metamorfico ercinico affiorante nell'area in esame è stato suddiviso in quattro unità tettoniche, che mostrano la migliore esposizione in corrispondenza dell'”*Antiforme del Flumendosa*”, una struttura plicativa plurichilometrica che, con direzione sud est - nord ovest, attraversa lo spazio dal Monte Grighini fino alla bassa valle del Flumendosa. Esse sono, a partire dalla più profonda:

- *“Unità di Riu Gruppa”*. Affiora in una serie di finestre tettoniche, in corrispondenza delle culminazioni assiali dell'*Antiforme del Flumendosa*. La successione stratigrafica di quest'unità è ben esposta lungo il Riu Gruppa, nella valle Baccu Locci e nel Salto di Quirra. Le rocce che la compongono sono interessate da ricristallizzazione e deformazione sin-metamorfica lievemente maggiori rispetto alle metamorfiti delle unità sovrastanti. Per la posizione che essa occupa nell'edificio delle Falde esterne, l'*Unità di Riu Gruppa* è da collocarsi in un'area paleogeografica più esterna rispetto alle altre unità tettoniche del Gerrei. La sua successione presenta, infatti, qualche somiglianza con quella dell'”*Unità del Gerrei*”, ma mostra anche marcate differenze come deformazioni interne e ricristallizzazione più intense (*marmi*) e l'assenza di porfiroidi ordoviciani. Vista la profonda deformazione subita dall'Unità, non si può comunque escludere che alcune formazioni siano state elise tettonicamente. Tutte le litologie sono interessate da fenomeni di milonitizzazione, con formazione di scistosità molto penetrative, lineazioni d'estensione e da complicate strutture a scaglie. Inoltre, pieghe isoclinali metriche sono diffuse in tutte le unità litostratigrafiche che la compongono.

- *“Unità del Gerrei”*. Da un punto di vista litostratigrafico è caratterizzata soprattutto da un notevole spessore di metarioliti, metariodaciti e metavulcanoclastiti dell'Ordoviciano medio, con struttura occhiadina (*“Porfiroidi Auct.”*) e da una caratteristica successione dell'Ordoviciano superiore. Affiora esclusivamente lungo l'*Antiforme del Flumendosa* ove, sul fianco settentrionale, sono radicate grandi pieghe isoclinali e sul suo fianco meridionale affiorano ad anticlinali sinformi. Nella bassa valle del Flumendosa questa Unità è suddivisa in due sottounità: la *“Sottounità di Monte Lora”* e la *“Sottounità d'Arcu de su Bentu”*, immediatamente sottostante il sovrascorrimento dell'”*Unità di Meana Sardo*”, ove è interessata sia da un'intensa deformazione, molto evidente anche nella struttura interna dei porfiroidi, sia da un marcato grado di ricristallizzazione dei metacalcari.

- *“Unità di Meana Sardo”*. Affiora in modo continuo in zone limitrofe fino al Salto di Quirra, sul fianco settentrionale dell'*Antiforme del Flumendosa* e risulta costantemente compresa tra la sottostante *Unità del Gerrei* e le sovrastanti Falde interne. La successione litostratigrafica

comprende termini che vanno dal Cambriano al Devoniano. La strutturazione fondamentale in quest'unità è costituita da pieghe isoclinali chilometriche rovesciate verso sud ovest. Il nucleo delle anticlinali è costituito dalle metarenarie cambriane, mentre nelle sinclinali i termini più recenti sono generalmente costituiti da metavulcaniti o metasedimenti dell'Ordoviciano. Il quadro deformativo - metamorfico è sostanzialmente analogo a quello dell'*Unità del Gerrei*, da cui si differenzia solamente per un maggiore grado di ricristallizzazione delle rocce. Il metamorfismo associato resta nell'ambito della facies degli scisti verdi.

- "*Unità del Sarrabus*" correlabile con le unità tettoniche di Meana Sardo e dell'Arburese insieme alle quali costituirebbe il maggiore complesso alloctono delle Falde esterne che, scollate alla base delle metarenarie del Cambriano - Ordoviciano inferiore, avrebbe completamente scavalcato l'*Unità del Gerrei*, andandosi ad accavallare direttamente sulla zona esterna (Iglesiente - Sulcis), ove costituirebbe il fronte alloctono della catena. Le originarie relazioni di sovrapposizione tra le unità potrebbero essere state localmente modificate. Inoltre, la direzione di trasposto dell'*Unità del Sarrabus* (da est verso ovest) è sensibilmente diversa da quelle delle Falde esterne (da nord est a sud ovest). L'*Unità del Sarrabus*, è stata suddivisa in tre sottounità: la "*Sottounità di Genn'Argiolas*", la "*Sottounità di Minderrì*" e la "*Sottounità di P.ta Ruggeri*". La deformazione interna è sensibilmente minore rispetto alle altre unità ed è lievemente minore anche il grado di ricristallizzazione metamorfica. La maggior parte dell'unità è costituita dalle "*Arenarie di San Vito*" ed il metamorfismo varia dall'anchizona all'epizona. Durante questa stessa fase deformativa si sviluppano sovrascorrimenti interni, ben riconoscibili, per esempio, nella complicata struttura a scaglie che interessa tutte le formazioni della successione paleozoica, dal Cambriano al Carbonifero inferiore. Inoltre, si ha lo sviluppo di sovrascorrimenti e zone di milonitizzazione di una certa importanza, come la "*Zona milonitica di Baccu Locci*", che si estende per una lunghezza di circa 15 km, per uno spessore che può superare i 300 m.

Durante la distensione post - collisionale, si sono impostate zone di taglio dirette in modo preferenziale, seguendo le superfici di minore resistenza, quali i contatti tettonici, la scistosità e la stratificazione.

Nella regione sono state individuate due direzioni di piegamento caratteristiche delle fasi post - collisionali, che ripiegano tutti gli elementi strutturali della fase deformativa. In base ai criteri di sovrapposizione, si può generalmente riconoscere una seconda fase deformativa, con assi mediamente diretti nord ovest - sud est e una terza fase, con assi con direzione media circa ortogonale ai precedenti (nord est - sud ovest). Gli elementi più caratteristici della tettonica post - collisionale sono zone di taglio dirette e grandi faglie a basso angolo che elidono grandi spessori delle successioni. In tutta la zona delle Falde esterne è ben sviluppato

un sistema di faglie trascorrenti orientate prevalentemente nord - sud. Queste faglie sono state sicuramente attive durante il Terziario come faglie trascorrenti contemporanee della collisione nordappenninica e, durante il Plio - Pleistocene, come faglie dirette legate all'apertura del Tirreno meridionale: i sedimenti mesozoici e terziari sono infatti chiaramente rigettati secondo tali faglie. In diversi casi, comunque, le relazioni con le magmatiti del Carbonifero superiore - Permiano permettono di dimostrare la loro età paleozoica. Un bell'esempio è presente nell'aria in studio, ove la faglia che taglia con direzione nord - sud la zona di Riu Gruppa, rigetta le coperture eoceniche dell'altopiano del Salto di Quirra.

## 2.2) Geomorfologia

L'area del territorio comunale di Villaputzu si presenta alquanto eterogenea (foto 1): si va, infatti, dalle zone montuose del Salto di Quirra, alle zone collinari fino a quelle pianeggianti e a quelle costiere, ove si trovano la foce del Flumendosa, nella parte meridionale e del Rio Flumini Durci nella parte nord orientale del territorio comunale.



*Foto1: panoramica dell'area meridionale del comune di Villaputzu. Dalla foto sono facilmente distinguibili, per questa parte del territorio comunale, le varietà morfologiche. Nella parte destra, in alto, si distingue lo stagno di Sa Praia e si intravede la foce del Flumendosa e la parte più settentrionale del bacino ospitante l'aggregato urbano di Villaputzu*

Tutta l'area ha subito, durante il Pliocene, un sollevamento, legato ai movimenti delle faglie ad andamento nord – sud, connesse con l'apertura del bacino tirrenico, pertanto deve essere considerata come un horst compreso tra il graben del Campidano a ovest e la piattaforma continentale del Mar Tirreno ad est.

La caratteristica geomorfologia principale dell'area è la presenza di un *penepiano post - ercinico*, spesso riesumato, o fossilizzato da formazioni più recenti come nel caso del Salto di Quirra (foto 2). Si tratta di un elemento sub - strutturale coincidente con la superficie di

erosione dovuta al lungo periodo di continentalità, che ha interessato tutta l'Isola, nel tardo Paleozoico ed è presente in varie parti dell'area in studio.



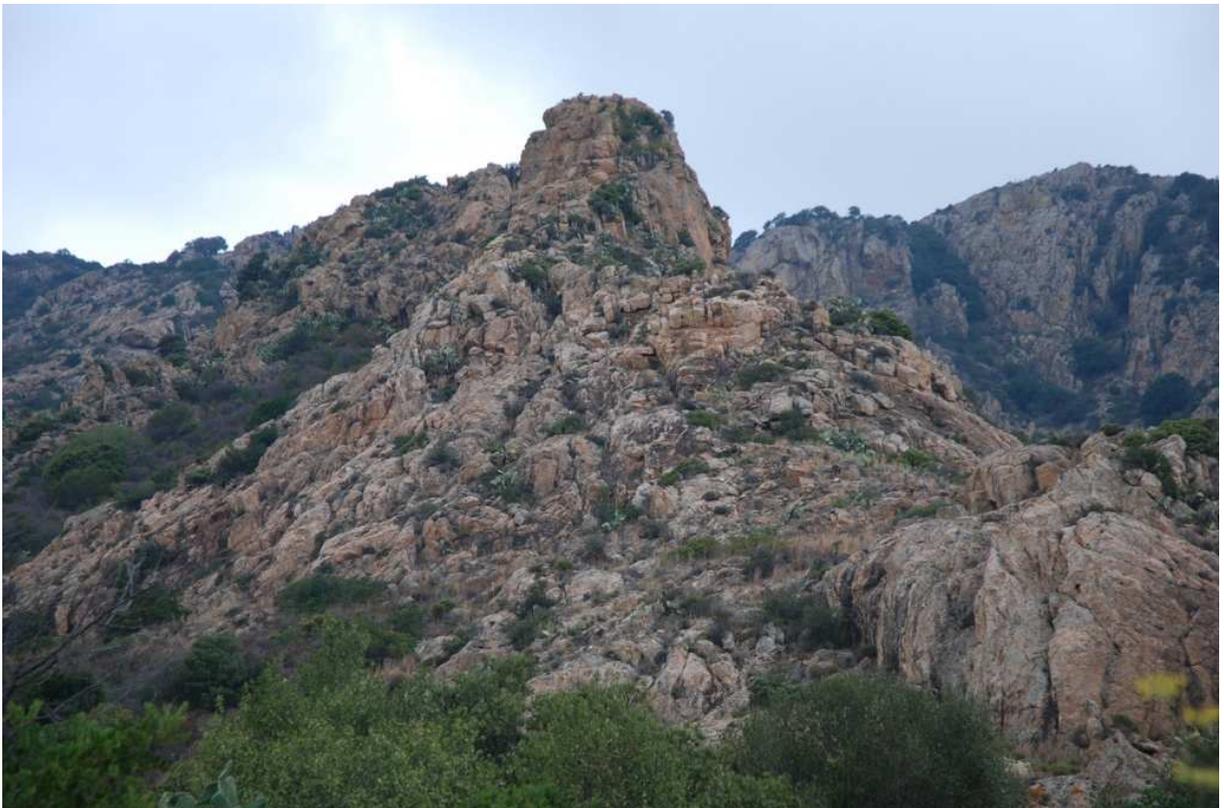
*Foto 2: Peneplano post – ercinico fossilizzato dalle formazioni eoceniche di Monte Cardiga*

Il reticolo idrografico, in generale, presenta la forma delle valli a **V** nei corsi d'acqua minori, a **U** o fondo piatto in quelli principali, in cui la presenza di depositi alluvionali terrazzati, di spessore e compattezza variabile e di differente età, denotano una genesi policiclica delle valli, con alternati cicli erosivi e di sedimentazione.

L'area in studio presenta nel Salto di Quirra la più estesa e caratteristica delle superfici morfologiche pianeggianti: quella modellata sulla copertura eocenica, che ha fossilizzato l'antico peneplano post - ercinico. Essa, conservata tra le valli del Torrente Quirra a est e del Flumendosa a sud - ovest, si sviluppa prevalentemente intorno ai 500 m di altitudine ed è dominata dal caratteristico rilievo di M. Cardiga (673 m) (Regione Autonoma della Sardegna, 2006 b). La continuità di tale superficie è talora interrotta da faglie trascorrenti di direzione nord - sud che dislocano la copertura eocenica, di cui è stata già riportata notizia nel paragrafo 2.1.2.2, abbassandone i lembi occidentali. Le incisioni operate dagli affluenti dei principali corsi d'acqua conferiscono ai suoi margini un andamento estremamente articolato, talvolta formando piccoli affioramenti isolati, che risaltano sui più regolari versanti scistosi del

basamento, per i loro orli a gradinata o sub - verticali. Peculiari sono inoltre le piccole valli, con alveo piatto, che solcano l'altipiano, secondo un prevalente andamento strutturale nord - sud o nord ovest - sud est, le doline, le caverne e un'idrografia sotterranea ramificata che poi affiora nella stagione invernale, ai margini dell'altopiano (sorgente Nuraghe Cresia).

Il settore orientale del territorio comunale, che si estende ad est della valle del Torrente Quirra e verso sud sino alla piana del Fiume Flumendosa, non presenta tracce evidenti dell'antico penepiano, in quanto esso è pressoché obliterato dall'intensa erosione innescatasi a seguito della tettonica plio - pleistocenica lungo le faglie con direzione nord - sud. Nella parte settentrionale di questo settore si trovano forme particolarmente aspre (foto 3 - 4) lungo i rilievi granitici compresi tra la valle del Torrente Quirra e la costa orientale e fra Torre Murtas a sud e Punta sa Figu a nord.



*Foto 3: rocce granitoidi (leucograniti) affioranti lungo la costa alla sinistra idrografica del Torrente Quirra*



*Foto 4: granitoidi della foto precedente ripresi da una diversa angolazione*

Nella parte meridionale sono presenti le pianure alluvionali costiere e gli stagni del Riu Flumini Durci - Flumini Pisale, separati dal sistema costiero roccioso di Costa su Franzesu, da quelli del Flumendosa che, con la sua foce a delta, crea numerose zone umide di retrospiaggia, definendo l'interfaccia tra la piana e l'adiacente sistema di spiaggia di San Giovanni.

L'origine di queste zone umide retrolitorali è riferibile alla divagazione dei fiumi lungo l'arco costiero, come risposta alle alterne condizioni di predominanza delle dinamiche fluviali e marino-litorali del cordone sabbioso. Quello relazionata con il Flumendosa è interessato, al momento, dall'arretramento della linea di spiaggia, a causa del diminuito apporto solido da parte di questo fiume per la presenza, a monte della piana, di diversi invasi artificiali negli adduttori più importanti (Flumendosa, Flumineddu e Mulargia) e della bonifica, spesso con cementificazione degli alvei, negli affluenti minori (Regione Autonoma della Sardegna, 2006 a). Il sistema costiero roccioso di Costa su Franzesu, di cui si è accennato sopra, presenta in qualche caso versanti a picco sul mare, che costituiscono falesie dove è evidente una forte azione erosiva da parte del mare, il quale arriva a lambire la base delle falesie stesse. Le falesie presentano evidenti indizi di attività alla quale si associano fenomeni franosi diffusi, ma sempre di piccola entità.

Nelle altre parti del territorio comunale, i tratti geomorfologici sono dati da rilievi, spesso sub - orizzontali, a quote relativamente modeste, incise dai fiumi principali presenti nel territorio in esame (Flumendosa e Quirra) o dai corsi d'acqua minori, affluenti dei precedenti, che formano, spesso, valli con versanti molto acclivi, conferendo al paesaggio un aspetto aspro (Istituto Geografico Militare Italiano, 1994).

In generale i corsi d'acqua minori sono costituiti da aste con deflusso a carattere stagionale, con sezione a V o a U stretta, caratterizzati da alvei moderatamente infossati. La natura incoerente del materiale sul quale si impostano le sponde facilita i distacchi di porzioni delle stesse, talvolta causando la parziale ostruzione dell'alveo e il conseguente assottigliamento della sezione utile di scorrimento e quindi facilitando maggiormente criticità di tipo idraulico. Se a questo si aggiunge il cronico disinteresse degli organi preposti alla manutenzione e pulizia di detti alvei, anche appartenenti alle aree urbane, emerge una condizione di perenne pericolo (foto 5).



*Foto 5: affluente del Riu Sulis, che attraversa l'area golenale a valle del centro urbano di Villaputzu . Si può notare la rigogliosa vegetazione che invade alveo e strada.*

I versanti vallivi modellati negli scisti paleozoici sono solo localmente asimmetrici (foto 6) e diventano invece complessi, a gradinata o sub - verticali verso l'alto, in corrispondenza delle coperture terziarie.



*Foto 6: morfologia degli scisti in località Bruncu Perda Bianca, a nord ovest del centro urbano di Villaputzu.*

Infine, a causa dell'asperità dei pendii, della distruzione sistematica della vegetazione arborea operata dal disboscamento, dai periodici incendi, dall'estensione delle colture agricole anche in aree a forte pendenza e più in generale dall'antropizzazione del territorio, il terreno vegetale manca quasi del tutto su molti rilievi, fatto particolarmente evidente dove affiorano i graniti, i porfiroidi e le metarenarie del Paleozoico.

Viste le peculiarità e la fragilità dei sistemi appena citati, è fortemente raccomandata particolare attenzione a eventuali futuri interventi di urbanizzazione o di qualsiasi altra natura e si consiglia, inoltre, un attento e frequente monitoraggio delle opere già in essere.

Qui di seguito sono illustrate alcune peculiarità geomorfologiche attinenti alla presente relazione, per l'area compresa nel territorio comunale prima e per l'area su cui insiste l'aggregato urbano di Villaputzu poi, quali i processi e le criticità, in atto o potenziali, con la dinamica dei versanti, i dati morfogenetici, morfocronologici e la presenza di fenomeni franosi o erosivi in atto, la presenza di fenomeni franosi o erosivi quiescenti o inattivi e la presenza di indicatori geomorfologici che possono rappresentare indizi precursori di fenomeni di instabilità.

### *2.2.1 Processi e criticità in atto o potenziali con la dinamica dei versanti nel territorio comunale di Villaputzu*

Da quanto riportato nel precedente paragrafo, risultano evidenti le aree a maggior criticità, che in questo paragrafo saranno riportate in maggior dettaglio.

Piccoli ( $< 1 \text{ m}^3$ ) e diffusi fenomeni franosi sono stati osservati in tutto il territorio comunale. Questi, in genere, vanno dai piccoli smottamenti, scivolamenti e scoscendimenti, generalmente associati a litologie detritiche o alla parte alterata degli scisti in pareti particolarmente scoscese, fino a fenomeni di crollo in litologie più competenti, quali vulcaniti, porfiroidi, granitoidi e marmi. Questi ultimi si riscontrano, ad esempio, nei marmi del Castello di Quirra, con colamenti detritici lungo i canaloni (foto 7)



*Foto 7: nella foto sono ben visibili le colate detritiche nei marmi dei versanti meridionali del Castello di Quirra*

Tuttavia, se si esclude il rilievo del Castello di Quirra, la quasi totalità delle litologie soggette a tali fenomeni di crollo o sono esterne all'area comunale o ricadono nelle aree militari.

Per quanto riguarda i restanti fenomeni di instabilità, come già detto, sono sempre fenomeni di piccola entità, generalmente originati da modifiche antropiche, che vanno dalla modifica della morfologia dei versanti alla modifica dei deflussi superficiali e comunque a quasi tutte le operazioni che implicano una trasformazione del territorio, ad esempio strade o sbancamenti per l'ampliamento o la costruzione di strutture abitative, ecc.

A quanto già esposto risulta importante sottolineare la considerevole erosione dei suoli nell'area, a cui sono sottoposte tutte le litologie, figlia soprattutto di una scarsissima copertura vegetale incapace, quindi, di contrastare l'azione erosiva del ruscellamento diffuso. A tale azione si sovrappone il dissodamento e l'aratura nei versanti particolarmente acclivi e l'esasperato sfruttamento dei pascoli. Considerando il particolare regime pluviometrico dell'area, caratterizzato da ricorrenti eventi di abbondanti precipitazioni in un contenuto arco

di tempo, è facilmente intuibile che una più oculata gestione del territorio eviterebbe o quanto meno attenuerebbe il verificarsi di tali fenomeni di dissesto. A quanto appena detto si deve aggiungere che il denudamento delle litologie permette agli agenti esogeni una maggiore attività di alterazione degli ammassi rocciosi e quindi al rischio di frana in talune condizioni (versanti acclivi, presenza di scistosità o giunti, presenza di solfuri negli ammassi rocciosi, ecc), amplificando, così, un rischio che potrebbe verificarsi anche in aree finora in equilibrio.

### *2.2.2 Processi e criticità in atto o potenziali con la dinamica dei versanti dell'area urbana di Villaputzu*

La morfologia dell'area esaminata è sensibilmente influenzata dalla storia geologica del territorio. Sono evidenti i contrasti e le differenze morfologiche che intercorrono tra le zone pianeggianti, su cui sorge gran parte dell'abitato e i versanti che lo sovrastano a nord. Infatti, l'abitato di Villaputzu è localizzato a valle di un piccolo bacino idrografico, in un'area sub pianeggiante, quasi completamente a quote comprese tra i dieci e i trenta metri s.l.m. (Fig...). L'area a monte dell'abitato presenta piccole valli molto incise, con versanti acclivi, in cui le litologie prevalenti sono costituite da sedimenti metamorfosati (arenarie di S. Vito) che formano l'ossatura del rilievo. Verso valle si passa attraverso una fascia di transizione costituita da depositi pedemontani e alluvionali, che sfumano in depositi francamente alluvionali proseguendo verso l'alveo del Flumendosa, dove l'apporto dei materiali alluvionali dal piccolo bacino si miscela con quello ben più imponente e con caratteristiche litologiche differenti del Flumendosa.

I depositi alluvionali coprono tutta l'area pianeggiante a sud dell'abitato di Villaputzu, buona parte dell'abitato stesso e i tratti terminali dei corsi d'acqua, che confluiscono nel Flumendosa. Tali depositi si raccordano verso monte con le conoidi alluvionali. I clasti hanno dimensioni da centimetriche (prevalenti) a decimetriche (subordinati) (Fig...).

I depositi alluvionali più recenti sono presenti per lo più negli alvei dei piccoli rii che arrivano all'area urbana dal rilievo a monte dell'abitato e mostrano una modesta classazione e un blando grado di arrotondamento. La maturità dei clasti delle alluvioni, infatti, è molto ridotta per il continuo apporto di materiale dai versanti.

Il detrito di falda è costituito prevalentemente da clasti spigolosi poco elaborati, di dimensioni da centimetriche a decimetriche.

I fattori morfogenetici principali, in ordine d'importanza, sono: la tettonica, la litologia e i fattori climatici (agenti esogeni). La scistosità, inoltre, favorisce l'azione di disgregazione e di alterazione propria degli agenti esogeni, rendendo le aree a forte pendenza particolarmente critiche.

Sono state osservate delle piccole frane di scivolamento, di dimensioni non cartografabili e comunque di volume inferiore o uguale al metro cubo, che si sono sviluppate sia in litologie detritiche, sia su litologie scistose molto fratturate e alterate. Queste piccole frane sono sempre localizzate in corrispondenza di fronti di scavo artificiali ed è quindi ragionevole supporre che siano dovute a scarsa cura nell'effettuare le operazioni di scavo, piuttosto che ad un'effettiva instabilità dell'area. Tuttavia, data l'estrema variabilità dei fenomeni piovosi e i cambiamenti climatici in atto, alcune aree a monte dell'abitato ricadono in categoria Hg3 proprio per il grado di alterazione rilevata negli ammassi rocciosi e nei clasti costituenti i depositi pedemontani che, unita alla pendenza, potrebbe provocarne lo scollamento. Infatti è noto che i movimenti franosi e i fenomeni di dissesto più in generale, subiscono una attivazione o riattivazione in concomitanza con gli eventi meteorici più significativi.

### **2.3) Idrografia e idrogeologia**

Il reticolo idrografico dell'area è costituito principalmente da due importanti bacini di primo livello, il bacino del **Flumendosa** e il **Torrente Quirra - Flumini Durci** con alcuni affluenti di una certa importanza e secondariamente da alcuni altri bacini di modesta entità.

Il **Flumendosa**, uno dei fiumi più importanti della Sardegna, che attraversa territori che vanno dal Sarrabus alla Barbagia, interessa l'area in studio solo per un breve tratto, ma di grande importanza, ovvero la sua foce (foto **8**), percorrendo la fertile piana costiera alluvionale chiusa dal lungo lido sabbioso di San Giovanni. In essa sono presenti alcune zone umide, la più importante delle quali è lo *stagno di Sa Praia* (foto **9 - 10**), caratterizzato da estese sistemazioni idrauliche e di valorizzazioni produttive, che hanno regolato gli afflussi marini e quelli di acqua dolce provenienti dal Riu Geroni.



*Foto 8: Foce del Flumendosa*



*Foto 9: veduta dello stagno di Sa Praia*



*Foto 10: veduta panoramica dello stagno di Sa Praia*

Nel Flumendosa convergono vari affluenti, della riva destra e sinistra, che a loro volta sono alimentati da torrenti più o meno importanti. Il loro contributo è spesso irruente e dannoso, sia a causa delle variazioni climatiche in atto sia per la scarsa manutenzione dei loro alvei da parte delle strutture che dovrebbero monitorare e svolgere azioni di mantenimento dell'efficienza di deflusso nell'alveo (foto **11 – 12**).



*Foto 11: nell'immagine risulta evidente lo stato di abbandono in cui versa l'alveo del Flumendosa, dove la vegetazione ha invaso l'alveo stesso, creando barriere al libero deflusso. Da notare che la foto è stata scattata immediatamente a monte del centro urbano (in alto si può notare il ponte della nuova SS 125)*

Dato che la foce del Flumendosa risente in modo particolare degli apporti degli affluenti e più nello specifico da parte di quelli relativamente importanti e vicini, qui di seguito sono illustrate le principali peculiarità di interesse per gli obiettivi di questo lavoro, attraverso una breve sintesi, partendo da quelli della destra idrografica.

*Riu Sessini*, drena il bacino ove sono ubicati i principali lavori minerari e gli impianti delle ex miniere di antimonio di Su Suergiu - Martalai;

*Riu S'Acqua Callenti*, con i suoi affluenti (Riu Nottua, Riu Furittu - Riu Maxia, Riu Larda, Riu Ossumannu, Riu Giovanni Spada), dà un notevole incremento idrico alla falda costiera,

altrimenti fortemente impoverita dagli sbarramenti a monte del Flumendosa, del Mulargia e del Flumineddu;

*Flumini Uri*, con gli affluenti Baccu Nuedda, Bruncu Malu, Baccu Traversu che, con le sue piene impetuose, contribuisce in modo determinante alle periodiche esondazioni e alluvioni del Flumendosa nella parte terminale del suo corso e che in parte costeggia l'abitato di S. Vito.



*Foto 12: una panoramica della foto precedente in cui è evidente lo stato di abbandono dell'alveo*

Gli affluenti della sinistra idrografica del Flumendosa sono quelli che, anche se solo in parte, hanno origine o comunque attraversano il territorio comunale, la cui sintesi è qui di seguito riportata.

*Riu Gruppa - Baccu su Ruaxiu - Riu Semida* che ha origine nell'altopiano del Salto di Quirra e che, con alcuni affluenti (*Riu su Dottu, Riu Murdega*, ecc.) interessa un vasto bacino idrico; *Riu Parredis*, meno vasto del precedente, drena l'area mineraria di Sa Lilla – Parredis.

La foce del Flumendosa rappresenta il terminale di un vasto sistema idrografico, che alimenta una piana costiera particolarmente fertile e ricca d'acqua e che costituisce anche un'area di rilevante interesse per lo svernamento, la sosta e la nidificazione degli uccelli acquatici

(Regione Autonoma della Sardegna, 2006 a). Tuttavia è da segnalare l'energia fluviale che il Flumendosa è in grado di sviluppare. A questo proposito, anche in maniera speditiva, una analisi degli elementi litoidi trasportati e presenti nell'alveo, permette di farsi una idea dell'energia normalmente sprigionata e dell'estrema pericolosità di tale corso d'acqua. Nelle foto seguenti (foto **13** – **14** - **15**), è evidente quanto sopra riportato.



*Foto 13: nella foto sono visibili le dimensioni degli elementi presenti nell'alveo immediatamente a valle dell'abitato di Villaputzu. Si notino le dimensioni degli elementi e il loro arrotondamento.*



*Foto 14: nelle sezioni derivanti dall'erosione in alveo, si può facilmente notare come le dimensioni eterometriche segnalino eventi più o meno importanti che si sono verificati nel tempo*



*Foto 15: il grosso elemento presente in foto, appiattito e con gli angoli smussati, evidenzia l'elevata energia che il Flumendosa è in grado di sviluppare per permetterne il trasporto, anche per distanze notevoli.*

Il **Torrente Quirra** rappresenta il limite orientale del sistema orografico degli altipiani del Salto di Quirra. Esso scorre lungo una piana, relativamente stretta (foto **16**) e con andamento nord – sud, fino alle vicinanze della rocca del castello di Quirra, per poi deviare bruscamente verso est e prendere il nome di **Flumini Durci**, nel breve tratto che precede la foce.



*Foto 16: la valle del torrente Quirra, vista dall'omonimo castello*

Gli affluenti della destra idrografica del Torrente Quirra, la cui azione erosiva hanno formato profonde incisioni negli altipiani sono, da nord a sud:

*Riu San Giorgio*, in cui fluiscono le acque del *Riu Tuvurai* e del *Riu Buddidorgiu*, quest'ultimo alimentato anche dalle sorgenti dell'altopiano; *Riu de Ulivedu*, il cui bacino idrografico ricade pressoché totalmente nell'altopiano; *Riu Antas* di piccole dimensioni; *Riu Corr'e Cerbu* che riceve le acque del *Riu Baccu Foxi* e del *Riu Baccu Locci*; quest'ultimo attraversa i lavori minerari dell'omonima dismessa miniera di arsenico, così da essere un importante veicolo di diffusione di questo pericoloso elemento e non solo, nelle alluvioni a valle (foto **17**) su cui, normalmente, vengono coltivati gli orti.



*Foto 17: depositi alluvionali del Riu Corr'e Cerbu costituiti da elementi eterometrici e sedimenti a stratificazione incrociata, dilavati dalle discariche della miniera di Baccu Locci. Si notino le dimensioni degli elementi che segnala una talora moderata viscosità ed energia delle acque e quindi una discreta distanza nel trasporto di tali elementi. La distanza è valutabile anche dal grado di arrotondamento degli elementi*

Gli affluenti della riva idrografica sinistra, meno importanti dei precedenti, sono costituiti da: *Riu Foccus*, *Riu Perda Maiori* che attraversa le mineralizzazioni a molibdeno dell'omonima piccola miniera; *Riu Baccu de Luas* e *Rio S'Omu*, tutti di ridotte dimensioni.

I fenomeni di erosione accelerata dei suoli sono principalmente dovuti all'elevata acclività media delle sponde dei bacini idrografici del Torrente Quirra e dei suoi affluenti, alla scarsa copertura vegetale dei versanti e ai caratteri del regime pluviometrico locale. Tali fenomeni concorrono anche all'attivazione di processi di intenso ruscellamento legati all'impermeabilità di varie formazioni geologiche. Di conseguenza, in occasione di periodici eventi meteorici di eccezionale entità, sempre più frequenti, nei settori di fondovalle pedemontani e di piana alluvionale, si manifestano fenomeni di esondazione fluviale, erosione laterale delle sponde e alluvioni, spesso disastrose, in relazione all'incapacità degli alvei a smaltire il carico idrico e solido in eccesso.

Oltre i due corsi d'acqua principali summenzionati, nell'area in esame si trovano bacini di primo livello di dimensioni relativamente modeste, ovvero:

il **Riu Pisale** in cui confluiscono le acque del *Riu Baracconi - Zibiri Mannu* e del *Riu Baccu Ordoni*. Esso forma, insieme al Flumini Durci, nei pressi della foce, fra Capo San Lorenzo a sud e la collina di Torre di Murtas a nord, un'ampia piana costiera percorsa da canali di foce abbandonati e riattivati durante le piene, che alimentano alcuni stagni (Murtas, s'Acqua Durci, Pisale) e la peschiera di Quirra (foto **18 - 19**).



*Foto 18: panoramica dello sbocco a mare del torrente Flumini Durci*



*Foto 19: panoramica della parte della spiaggia di Murtas. Nella parte sinistra della foto è visibile il torrente Flumini Durci*

Da un punto di vista idrogeologico, le formazioni presenti nell'area in esame possono essere suddivise in tre gruppi costituiti (Carmignani et Al. 2001):

- *rocce del basamento*, a permeabilità molto scarsa, ad eccezione di alcune zone molto fratturate o dei graniti arenizzati;
- *coperture sedimentarie*, generalmente semipermeabili, ad eccezione della formazione eocenica di Monte Cardiga la cui permeabilità medio - alta è dovuta alla porosità delle arenarie, alla fatturazione e ai fenomeni carsici dei calcari;
- *depositi quaternari*, che presentano nelle alluvioni recenti, specialmente in quelle delle pianure costiere, una permeabilità medio - alta e sono, quindi, sede di falde freatiche di grande importanza; le alluvioni antiche, invece, solitamente cementate e ricche di una componente argillosa, sono praticamente impermeabili o semipermeabili e permettono solo una modesta circolazione lungo i giunti.

Da tutto ciò ne deriva che le sorgenti sono in numero esiguo, di modesta portata, solitamente stagionali, essendo quelle perenni molto scarse (*Sorgente Conchedda*, *Funtana Corre Pruna*, *Funtana Sessinargiu*) e sparse un po' ovunque nell'intero territorio in esame, ma in modo più marcata intorno all'altopiano del Salto di Quirra, dove le emergenze sorgive sono localizzate al contatto fra il basamento e la copertura eocenica, che funge da serbatoio. Tra queste si trovano la *Sorgente Cuili sa Maista* e la *Sorgente Spaulatzus* che, avendo una portata più costante, sono state captate per alimentare l'acquedotto di Villaputzu.

Gli acquiferi costieri alimentati dai due corsi d'acqua principali, sopra descritti, ovvero il Fiume Flumendosa e il Torrente Quirra – Flumini Durci, costituiscono, senza dubbio, le più importanti risorse idriche dell'area in esame, utilizzate per scopi irrigui e idropotabili, ma sono, purtroppo da alcuni anni, soggetti a fenomeni di salinizzazione (foto **20**) e di inquinamento (Ardau et al, 2000, 2002; Carmignani et Al. 2001). Inoltre i due corsi d'acqua sono a valle di importanti mineralizzazioni, talvolta coltivate, ad antimonio (Flumendosa) e arsenico (Flumini Durci) che ne compromettono la qualità anche dal punto di vista chimico.



*Foto 20: salinizzazione dei sedimenti del Flumendosa nei pressi della sua foce.*

La sempre più spinta antropizzazione è la causa principale della progressiva degenerazione dell'equilibrio tra acque dolci continentali e acque salate marine delle falde della piana costiera del Flumendosa, facilitata anche da una specifica predisposizione morfo - stratigrafica, innescando un grave fenomeno di intrusione marina. La risorsa idrica sotterranea e le zone umide risultano oggi degradate e i suoli, particolarmente fertili e produttivi della bassa valle del Flumendosa, sono soggetti ad un progressivo deterioramento. Tutto ciò a causa di un eccessivo sfruttamento delle falde per diversi usi (specialmente irrigui) non bilanciato alla reale disponibilità della risorsa, specialmente nei periodi estivi, durante i quali si ha un sensibile incremento demografico dovuto al turismo. Questo fenomeno è dovuto, in parte, anche all'apertura delle bocche a mare dei vecchi bracci abbandonati dal Flumendosa, (*Foxi Padrionnas, Foxi Bau Obilu*) per regolare le attività dell'acquacoltura, che si sono in esse sviluppate, intervenendo e modificando l'equilibrio naturale.

Tale fenomeno si ripresenta anche nella piana costiera del Torrente Quirra - Flumini Durci, mentre il sistema stagnale è interessato, in alcuni punti, da problemi di inquinamento delle acque a causa della presenza di reflui civili e agricoli (Regione Autonoma della Sardegna, 2006 a e b). Inoltre, in tale area sono presenti anche altri problemi legati agli alti tenori naturali di taluni elementi (Marcello A. et al., 2008), sopra descritti.

## **2.4) Geotecnica dei litotipi**

Le caratteristiche stratigrafiche, strutturali e meccaniche delle rocce determinano la risposta dei versanti ai processi di alterazione da parte degli agenti esogeni e ai processi gravitativi. Alcune di tali caratteristiche sono state descritte in dettaglio nei capitoli relativi (geologia e geomorfologia).

Ai fini dello studio, si riporta nel seguito una descrizione sintetica delle caratteristiche geotecniche delle litologie affioranti, derivate da studi eseguiti in precedenza nel territorio comunale, da materiale bibliografico più in generale e dall'attenta osservazione in campagna.

Tuttavia, si ritiene importante sottolineare che uno stesso litotipo può affiorare in superficie presentando caratteristiche talora sensibilmente differenti (alterazioni, strutture plicative e disgiuntive, intrusioni filoniane, metamorfismo, ecc), anche in siti spazialmente contigui, per cui i parametri geotecnici descritti nel seguito hanno un valore puramente indicativo.

Per definire le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, attraverso parametri geotecnici, esistono diverse classificazioni tecnico-scientifiche riconosciute a livello internazionale, tuttavia l'estrema complessità litologica dell'area non permette eccessive semplificazioni, per cui verranno riportati dati di bibliografia, anche recente, su alcune tipologie litologiche mentre per altre, laddove è stato possibile, si utilizzeranno generalizzazioni derivanti dai dati d'archivio e dalle osservazioni di campagna.

Partendo dal presupposto che la distinzione fondamentale in questa classificazione è tra rocce coerenti, pseudocoerenti, semicoerenti e incoerenti, si possono differenziare nei seguenti gruppi:

Rocce coerenti: materiali caratterizzati da elevati valori di resistenza meccanica;

Rocce Semicoerenti: litologie che presentano caratteristiche intermedie fra rocce coerenti e incoerenti;

Rocce Incoerenti: litotipi costituiti da materiali sciolti aventi coesione nulla.

Nel territorio si distinguono, come già ampiamente descritto nella geologia, litotipi riferibili al complesso intrusivo, effusivo e metamorfico del basamento paleozoico, al complesso sedimentario terziario e ai depositi quaternari. Tali litologie sono state raggruppate (vedi carta geomorfologica), sia per caratteristiche litotecniche, sia per rappresentare i differenti acquiferi presenti nel territorio comunale.

Le rocce metamorfiche del basamento paleozoico sono prevalentemente rappresentate da metarenarie, scisti, metacalcari e marmi il cui metamorfismo, come descritto sopra più in dettaglio, risiede nell'ambito della facies degli scisti verdi. Le metarenarie e gli scisti presentano delle caratteristiche geotecniche che variano in funzione della foliazione e della scistosità. Di conseguenza, a seconda del materiale, tanto più è evidente il grado di

metamorfismo tanto più le superfici di scistosità sono coerenti e quindi la roccia assume delle discrete caratteristiche geotecniche le quali, per contro, tendono a diminuire in presenza della foliazione, spostandosi verso la classificazione di rocce semicoerenti. Altro parametro è l'alterazione, normalmente superficiale ma molto repentina, delle rocce ricche in solfuri, come nel caso degli scisti neri silurici, che nell'area in studio presentano normalmente una buona competenza che tuttavia viene meno quando sono pervasi dai solfuri, in quest'area solitamente costituiti da arsenopirite prevalente. In quest'ultima litologia sarà opportuno, vista l'estrema variabilità determinata dai fattori sopra descritti, determinare di volta in volta le caratteristiche fisico-meccaniche.

#### *Rocce coerenti*

Per quanto riguarda le litologie SVI e MSV (termini riferiti, rispettivamente, alle arenarie di San Vito, cambriche e alle metavulcaniti, ordoviciane), i dati sono stati ricavati dalla pubblicazione dei risultati della caratterizzazione di tali litologie in occasione delle indagini per la nuova SS 125 (Serangeli S. et al., 2012). Da questo lavoro emerge una sensibile variazione delle caratteristiche mano a mano si scende in profondità, rimarcando, in tal modo, la sensibile influenza che gli agenti esogeni hanno su tali litologie. Da tale pubblicazione si ricavano i seguenti dati, in riferimento ad un campo di applicazione generico:

	SVI	MSV
Angolo di resistenza al taglio $\varphi'$	15°	23°
Coesione $c'$ (MPa)	0.25	1.0
Deformazione E (MPa)	2500-3500	6500-8500
Peso dell'unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	22	23

Per le metamorfite calcaree marmoree, esse sono normalmente competenti e con buona resistenza alla rottura a compressione, tuttavia è stato possibile essere più precisi grazie all'esistenza di una relazione connessa all'attività di estrazione di questi materiali situata presso Quirra, da cui i dati sono stati estratti, il cui toponimo è Pedras Siddas, che vengono qui di seguito riportati:

Resistenza a compressione uniassiale Kg/cm<sup>2</sup> 1742

Resistenza a flessione semplice Kg/cm<sup>2</sup> 157

Resistenza all'usura per attrito radente mm 3,60

Coefficiente di imbibizione % 4,25

Peso dell' unità di Volume Kg/m<sup>3</sup> 2757

Per quanto riguarda gli ammassi intrusivi (leucograniti) ed effusivi (porfiroidi) paleozoici, in parte già trattati precedentemente (MSV, metavulcaniti ordoviciane), in generale si presentano in ammassi rocciosi massivi, talvolta con deformazioni connesse con le fasi tettoniche regionali e presentano una foliazione acquisita allo stato solido. I litotipi sani e compatti, tendono ad avere delle eccellenti caratteristiche geotecniche, fatta eccezione per quelli con fratture, giunti o comunque superfici di discontinuità. A seconda del chimismo, mostrano una arenizzazione più o meno spinta che si presenta, nella parte superficiale della roccia, come un sabbione semicoerente.

### *Rocce Semicoerenti e Incoerenti*

Per ciò che concerne i litotipi semi-coerenti e incoerenti, considerata l'estrema variabilità locale di tali sedimenti nell'area in esame, a causa dell'estensione dei bacini di apporto di tali materiali è, anche in questo caso, auspicabile effettuare una accurata caratterizzazione geotecnica atta ad individuare correttamente i parametri geotecnici necessari per le verifiche di stabilità dei pendii e di dimensionamento di eventuali opere.

Al fine di avere un quadro conoscitivo delle principali caratteristiche dei litotipi incoerenti presenti nell'area, si riportano di seguito i principali parametri fisico meccanici, tratti dalla letteratura, che avranno comunque un valore indicativo (Tab.2).

Terreno	sciolta	compatta
Ghiaia sabbiosa	35°	50°
Sabbia uniforme a granuli arrotondati	27.5°	34°
Sabbia assortita a spigoli vivi	33°	45°
Sabbia limosa	27°-33°	30°-34°
Limo organico	27°-30°	30°-45°

*Tabella 2 – Angoli di attrito interno delle più comuni rocce incoerenti (da Terzaghi K. e Peck R.B., 1984)*

Tutti i valori elencati hanno significato puramente indicativo e giova ricordare che in fase di realizzazione di qualsiasi progettazione, sia pubblica sia privata, il modello geotecnico di riferimento deve essere ricostruito unicamente con valori provenienti da specifiche indagini in situ.

### **3. Pericolosità franosa**

#### ***3.1 Attività di individuazione e perimetrazione delle aree a pericolosità franosa***

Gli studi e le indagini volti alla valutazione della propensione al dissesto di una determinata area hanno l'obiettivo di fornire un quadro di insieme non solo delle condizioni ambientali, ma anche di tutte quelle informazioni connesse all'uso del territorio.

Questo si traduce nella elaborazione di carte tematiche, riguardanti fattori ambientali ed antropici, la cui sovrapposizione da luogo ad una carta di sintesi che individua la maggiore o minore propensione al dissesto.

Come primo approccio, sono state acquisite tutte le informazioni necessarie alla realizzazione di tali carte. In particolare, è stata acquisita e consultata la cartografia di base (carte topografiche, aerofometriche e geologiche, ortofoto e foto aeree), digitalizzata e non, integrando i dati ottenuti con numerosi e mirati rilievi di campagna.

L'area oggetto dell'intervento ricade su tutta la parte meridionale del comune di Villaputzu, comprendenti due piccoli bacini idrografici dell'abitato di Villaputzu e del Rione Santa Maria, la parte a mare comprendente Porto Corallo e tutta l'area in corrispondenza della piana di Sa Praia.

Il resto del territorio comunale ricade o in aree militari o in aree già sottoposte ad indagini (PAI) o, infine, su porzioni di territorio non popolate e contraddistinte da una frequentazione umana occasionale o sporadica e legata prevalentemente ad attività ludiche e non produttive. Quindi, queste aree, non sono state comprese nelle elaborazioni cartografiche ma sono state comunque oggetto di osservazioni, riportate nei capitoli precedenti.

La valutazione della pericolosità ha preso in considerazione i seguenti fattori: la litologia e coerenza delle formazioni affioranti, la geomorfologia, la distribuzione dei fenomeni franosi pregressi, l'acclività dei versanti e l'uso del suolo. Per ogni parametro è stata realizzata una carta.

Tutte le carte sono state rilevate ed elaborate alla scala 1:10.000 ad esclusione delle aree urbane (Villaputzu e S. Maria) per la quale è stato utilizzato, in aggiunta al topografico CTR (Carta Tecnica della Regione Sardegna) in 3D (tridimensionale), l'aerofotogrammetrico in scala 1:2000.

Le carte corrispondenti ai differenti tematismi sono state suddivise in poligoni caratterizzati da un medesimo contenuto informativo. Ad ogni poligono e per ciascun tematismo si è attribuito successivamente un peso, o codice numerico, in funzione della maggiore o minore influenza sulla propensione al dissesto (vedi tabella 3), ottenuto sia da archivi (Linee Guida PAI - DL180 e L 267/98) sia dalle osservazioni sul campo.

Tabella 3 – Pesi assegnati ad ogni singola parametro

<i>Unità litologiche</i>	<i>Peso</i>	<i>Uso del suolo (codice)</i>	<i>Peso</i>
Depositi antropici	4	Seminativi e agrumeti (2a)	-2
Depositi di versante	4	Agrumeti, seminativi asciutti (2b)	-2
Depositi alluvionali	4	Agrumeti, seminativi asciutti (3)	-2
Depositi alluvionali terrazzati	5	Bosco di lecci (5a)	2
Depositi palustri	4	Macchia bassa (5b)	2
Depositi di spiaggia	4	Macchia alta degradata (5bb)	2
Depositi di spiaggia antichi	5	Rimboschimenti (5c)	1
Subsistema di Portoscuso	4	Pascoli cespugliati (6a)	1
Litof. Sistema di Calamosca	4	Rimboschimenti più o meno degradati (6b)	1
Filoni basaltici	6	Macchia degradata (6c)	1
Porfidi granitici	7	Prato-pascolo, rimboschimento (6d)	-2
Filoni idrotermali	5	Pascol (7)	1
Formazione di Orroledu	5	Tessuto residenziale (A-U)	1
Litof. Formazione di Orroledu	6		
Metarose di Genna Mesa	7		
Porfidi riodacitici	7		
Formazione di Monte Santa Vittoria	6		
Metaconglomerati di Muravera	6		
Litof. Formazione di Monte Santa Vittoria	6		
Scisti a graptoliti	4		
Litof. Scisti a graptoliti	6		
Argilloscisti di Rio Canoni	4		
Porfiroidi	6		
Arenarie di San Vito	5		

<b>Pendenza</b>	<b>Peso</b>
0 – 10 %	2
11- 20 %	1
21 – 35 %	0
36 – 50 %	-1
> 50 %	-2

Le elaborazioni, eseguite in ambiente GIS, hanno consentito di realizzare primariamente la Carta della Instabilità Potenziale al Dissesto (somma algebrica delle carte tematiche riguardanti la geologia, la pendenza e l'uso del suolo) e successivamente quella di Pericolosità da Frana (somma algebrica della prima carta di sintesi, delle pendenze inferiori al 20 %, dei fenomeni franosi pregressi, delle osservazioni fotogrammetriche e del lavoro sul campo).

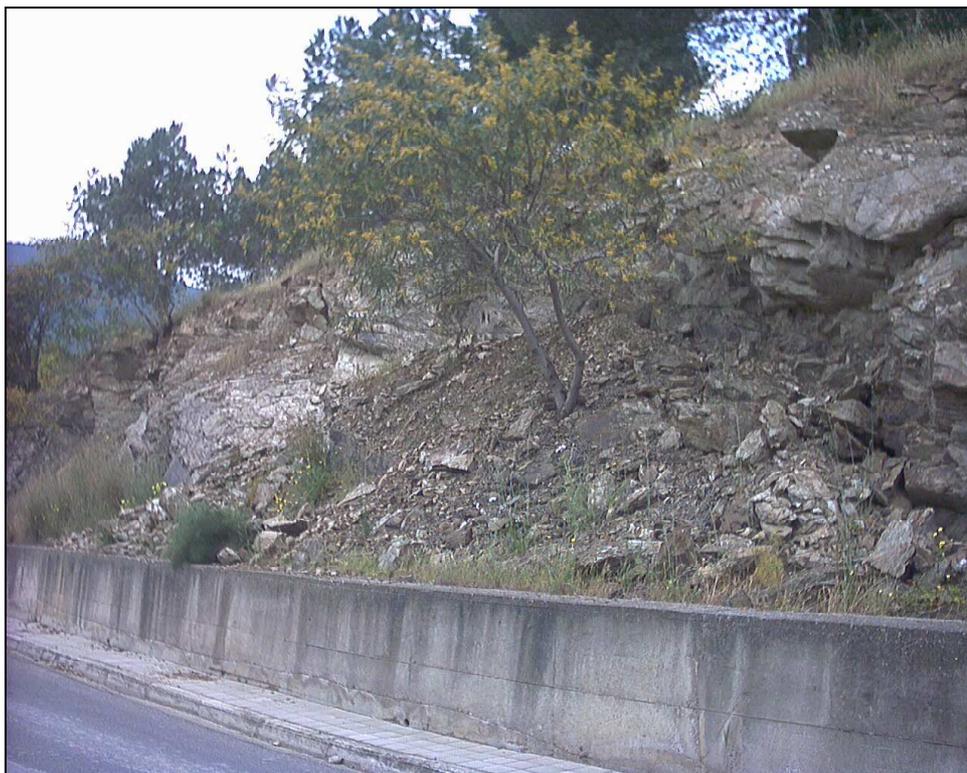
La carta delle pendenze inferiori al 20% (intervallo compreso fra 0 e 11° circa), nominata filtro pendenze, è stata utilizzata quasi esclusivamente nell'area di pianura che dal paese di Villaputzu arriva sino a Porto Corallo.

Per quanto detto e non avendo rilevato, in campagna e dallo studio delle foto aeree e ortofoto, alcuna evidente criticità, queste superfici sono state assegnate alla classe di pericolosità Hg<sub>1</sub>.

In riferimento alle frane pregresse risultano solo due fenomeni catalogati nel Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia). Entrambe vengono classificate come frane di crollo in litotipi metamorfici del basamento paleozoico, peraltro molto limitate, in prossimità di tagli stradali (foto 21 - 22), di cui si riportano, qui di seguito, le schede IFFI.

IDFrana	920034500
Regione	SARDEGNA
Provincia	CAGLIARI
Comune	VILLAPUTZU
Autorita' di Bacino	Sardegna
Tipo di movimento	Crollo/Ribaltamento
Attivita	Quiescente
Litologia	r. metamorfiche a fogliazione pervasiva
Uso del suolo	
Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attivita'	Rilevamento sul terreno, Segnalazione
Danno	Strade, Nuclei/centri abitati
Area della frana (m2)	
Data evento (gg/mm/aaaa)	
Causa	materiale alterato, materiale fratturato, erosione fluviale base versante, scavo al piede del pendio, precipitaz. eccezionali prolungate
Interventi	

IDFrana	920034600
Regione	SARDEGNA
Provincia	CAGLIARI
Comune	VILLAPUTZU
Autorita' di Bacino	Sardegna
Tipo di movimento	Crollo/Ribaltamento
Attivita	Quiescente
Litologia	r. metamorfiche a fogliazione pervasiva
Uso del suolo	
Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attivita'	Rilevamento sul terreno
Danno	Strade
Area della frana (m2)	
Data evento (gg/mm/aaaa)	
Causa	materiale alterato, materiale fratturato, scavo al piede del pendio, erosione fluviale base versante, precipitaz. eccezionali prolungate
Interventi	



*Foto 21: fenomeno franoso segnalato IFFI, presso la strada di ingresso al Rione Santa Maria (codice 920034600)*



*Foto 22: fenomeno franoso a ridosso di una abitazione nel Rione di Santa Maria (codice 920034500)*

Durante il lavoro sul campo sono state rilevate diverse piccole frane ( $< 1 \text{ m}^3$ ), particolarmente nell'area del centro abitato (foto **23** - **24**) dove, come è facile intuire, l'azione antropica è più importante.



*Foto 23: fenomeno franoso presso il Rione di Santa Maria*



*Foto 24: fenomeno franoso presso il campo sportivo*

Oltre questi piccoli fenomeni che ricadono all'interno di aree rese instabili dalle modifiche apportate dall'azione antropica, sono stati individuati, attraverso il lavoro sul campo, altri fenomeni, in particolare presso lo spartiacque del piccolo bacino in cui risiede il centro abitato di Villaputzu.

In queste zone, inoltre, la pericolosità derivante dalla sovrapposizione dei tre tematismi risultava ricadere specialmente nella classe Hg<sub>3</sub>, evidentemente connessa ai valori dell'uso (-2), della litologia (4) e della pendenza (principalmente 0).

Nella figura che segue è riportato il diagramma di flusso riportante la procedura usata per la determinazione della carta di Pericolosità da Frana (Figura 3.1).

Come si evince dal diagramma, è necessario passare da un iniziale formato vettoriale (rappresentazione di elementi discreti) ad uno raster (rappresentazione di elementi che non hanno confini netti, ma che variano gradualmente nello spazio), in modo tale da assegnare ad ogni cella o pixel un peso o codice numerico.

Le celle relative ad ogni carta sono state impostate di dimensioni pari a 10 m x 10 m; un dettaglio confortato dalla quantità e qualità delle numerose informazioni in possesso dello scrivente.

La carta della pericolosità franosa (Hg) rappresenta la carta di sintesi finale, corretta attraverso l'accorpamento delle classi di pericolosità, seguendo il criterio di omogeneizzare piccole aree contigue e differenziate alla classe di pericolosità più frequente o, a parità di frequenza, alla classe di pericolosità più elevata.

La carta derivata è stata rappresentata in quattro classi (Hg1, Hg2, Hg3, Hg4), così come stabilito dalle linee guida della Regione Sardegna, che definiscono la localizzazione e la pericolosità relativa dei fenomeni di dissesto.

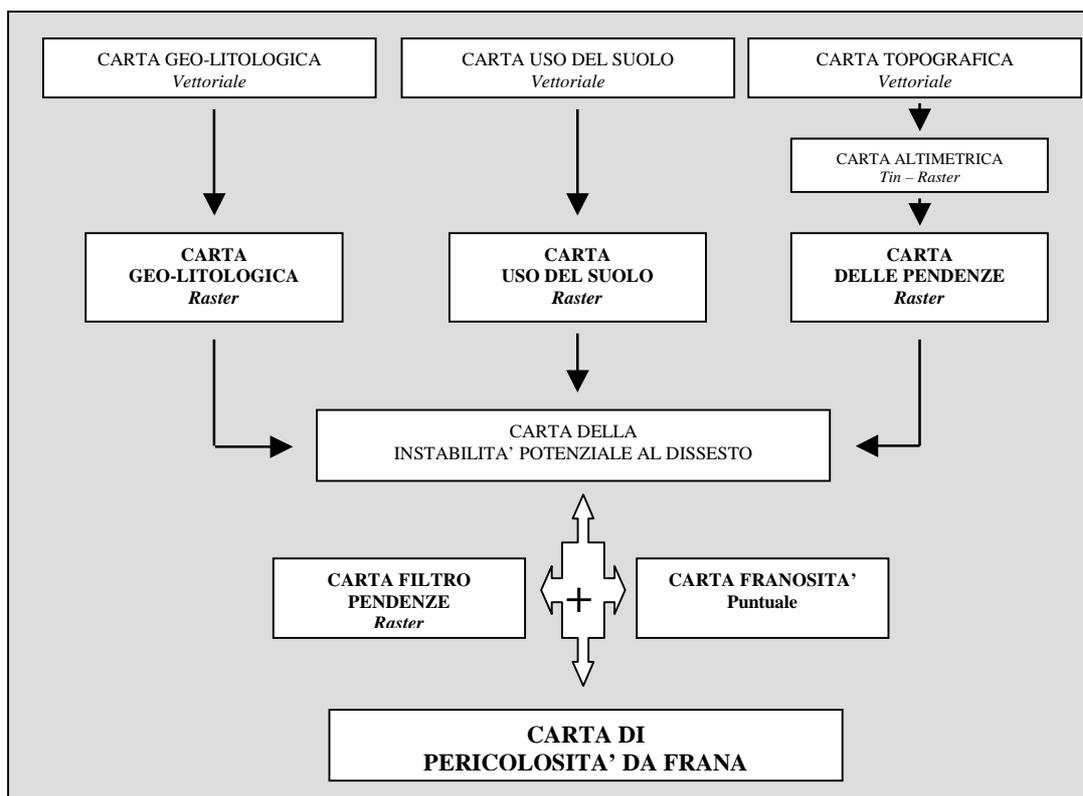


Figura 3.1 - Diagrammi di flusso per la determinazione della Pericolosità da Frana

### 3.2 Attività connesse alla pericolosità franosa

Le attività sono state condotte partendo dagli elaborati risultanti dal Piano di Assetto Idrogeologico - Perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e relative misure di salvaguardia (Legge 267/1998) ed apportando le necessarie modifiche, in ottemperanza con le “Linee Guida” della RAS. In sostanza, per la porzione settentrionale e centrale dell’area comunale, si è operata una semplice trasposizione delle perimetrazioni PAI, rilevate nella cartografia del pericolo, alla scala dello strumento urbanistico ovvero 1:10.000 per le aree extra urbane e 1:2000 per l'urbano. Le modifiche apportate ai perimetri originali rientrano nel mero adeguamento cartografico e pertanto non costituiscono variante. Tuttavia è stato necessario estendere lo studio in tutta l’area meridionale del comune, che costituisce anche la parte maggiormente interessata da fenomeni di antropizzazione.

#### 3.2.1 Aspetti metodologici per la individuazione della pericolosità franosa

Si descrivono sinteticamente le indagini svolte, gli elementi raccolti, le considerazioni sviluppate e le conclusioni cui si è pervenuti relativamente al Rischio di Frana, il cui dettaglio è consultabile nei precedenti capitoli.

La prima fase ha preso avvio con l'elaborazione del modello digitale del terreno utilizzando la Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10.000 in 3D implementata con dati di maggiore dettaglio estrapolati dalle carte aerofogrammetriche o da rilievi puntuali.

Una prima analisi delle informazioni presenti nelle CTR 3D ha messo in evidenza molti errori presenti nelle stesse e che è stato possibile emendare solo con un lungo lavoro di pulizia e correzione. Tra gli errori più comuni, il principale riguarda le quote dei vari elementi costituenti le CTR, ad esempio: rete idrografica con quota normalmente inferiore a quella di campagna; elevato numero di punti quotati le cui quote risultavano anche a diverse migliaia di metri sopra o sotto il piano di campagna, isoipse che si intersecano o intere aree prive di curve di livello. Quest'ultimo problema è stato risolto copiando e incollando le curve di livello dalle CTR vestite a cui poi è stato dato il corrispondente valore di quota.

Grazie alla cartografia digitale e dopo il lungo e complesso lavoro sopra accennato, è stato estrapolato il relativo modello del terreno denominato DEM (Digital Elevation Model) che ha consentito di ricostruire fedelmente la morfologia del terreno.

### ***3.2.2 Determinazione del rischio franoso***

Il rischio franoso  $R_g$  esprime il "danno atteso in una data area e in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un particolare evento calamitoso". La valutazione del rischio si realizza quindi attraverso il confronto fra le Carte della pericolosità e la carta degli elementi a rischio.

Per un dato elemento a rischio ( $R_g$ ) l'entità dei danni attesi può essere valutata attraverso:

- la pericolosità geologica ( $H_g$ ) suddivisa in quattro classi;
- la vulnerabilità ( $V$ ) ovvero il grado di perdita prodotto su un certo elemento o gruppo di elementi esposti a rischio risultante dal verificarsi dell'evento calamitoso temuto;
- gli elementi a rischio ( $E$ ).

Il rischio può essere quindi espresso dalla seguente espressione, nota come "equazione del rischio":

$$R_g = H_g \times V \times E$$

Per ottenere la carta del rischio da frana è stato necessario realizzare una carta degli elementi a rischio ( $E$ ) sapendo che questi vengono individuati, ai sensi del DPCM 29.09.1998, e classificati in base al danno relativo a:

- l'incolumità delle persone;
- gli agglomerati urbani comprese le zone di espansione urbanistica;

- le aree su cui insistono insediamenti produttivi, impianti tecnologici di rilievo (distributori di benzina, serbatoi di gas), in particolare quelli definiti a rischio rilevante ai sensi di legge;
- le infrastrutture a rete (reti distribuzione idrica, energetica, telefonica; reti di fognatura; reti di trasporto urbano) e le vie di comunicazione di rilevanza strategica anche a livello locale;
- il patrimonio ambientale e i beni culturali, storici, architettonici d'interesse rilevante;
- le aree sede di servizi pubblici (strutture di soccorso - ospedali, vigili del fuoco), e privati, di impianti sportivi e ricreativi, strutture ricettive e infrastrutture primarie.

Anche per questa carta sono state individuate quattro classi ( $E_1, E_2, E_3, E_4$ ) ed in particolare, come si evince dalla L.267/98, nella categoria  $E_4$  sono stati inclusi tutti gli elementi nei quali è ipotizzabile la presenza di persone.

Per quanto riguarda la vulnerabilità, secondo quanto si desume dal DPCM, è stata assunta pari all'unità.

Dalla sovrapposizione, quindi, della carta della pericolosità franosa ( $Hg$ ) e di quella degli elementi a rischio ( $E$ ) abbiamo derivato la carta del rischio geologico ( $Rg$ ) suddiviso anch'esso in quattro classi ( $Rg_1, Rg_2, Rg_3, Rg_4$ ).

Nella tabella 4 è riportato il relativo valore di  $Rg$  in funzione del corrispondente valore di  $Hg$  ed  $E$ .

Tabella 4 – Classificazione delle aree a rischio di frana

$E_1$	$Hg_1$	$Rg_1$	$E_2$	$Hg_1$	$Rg_1$	$E_3$	$Hg_1$	$Rg_1$	$E_4$	$Hg_1$	$Rg_1$
	$Hg_2$	$Rg_1$		$Hg_2$	$Rg_1$		$Hg_2$	$Rg_2$		$Hg_2$	$Rg_2$
	$Hg_3$	$Rg_1$		$Hg_3$	$Rg_2$		$Hg_3$	$Rg_3$		$Hg_3$	$Rg_3$
	$Hg_4$	$Rg_1$		$Hg_4$	$Rg_2$		$Hg_4$	$Rg_3$		$Hg_4$	<b><math>Rg_4</math></b>

Dalla combinazione dei due parametri ( $Hg$  ed  $E$ ) si può trovare un rischio con il valore massimo solo quando abbiamo una pericolosità franosa e un elemento a rischio pari rispettivamente ad  $Hg_4$  ed  $E_4$ . Nel caso specifico del aree in studio, non si rilevano aree in  $Rg_4$  mentre si segnalano relativamente piccole porzioni di territorio in  $Rg_3$  (vedi Figura 3.2).

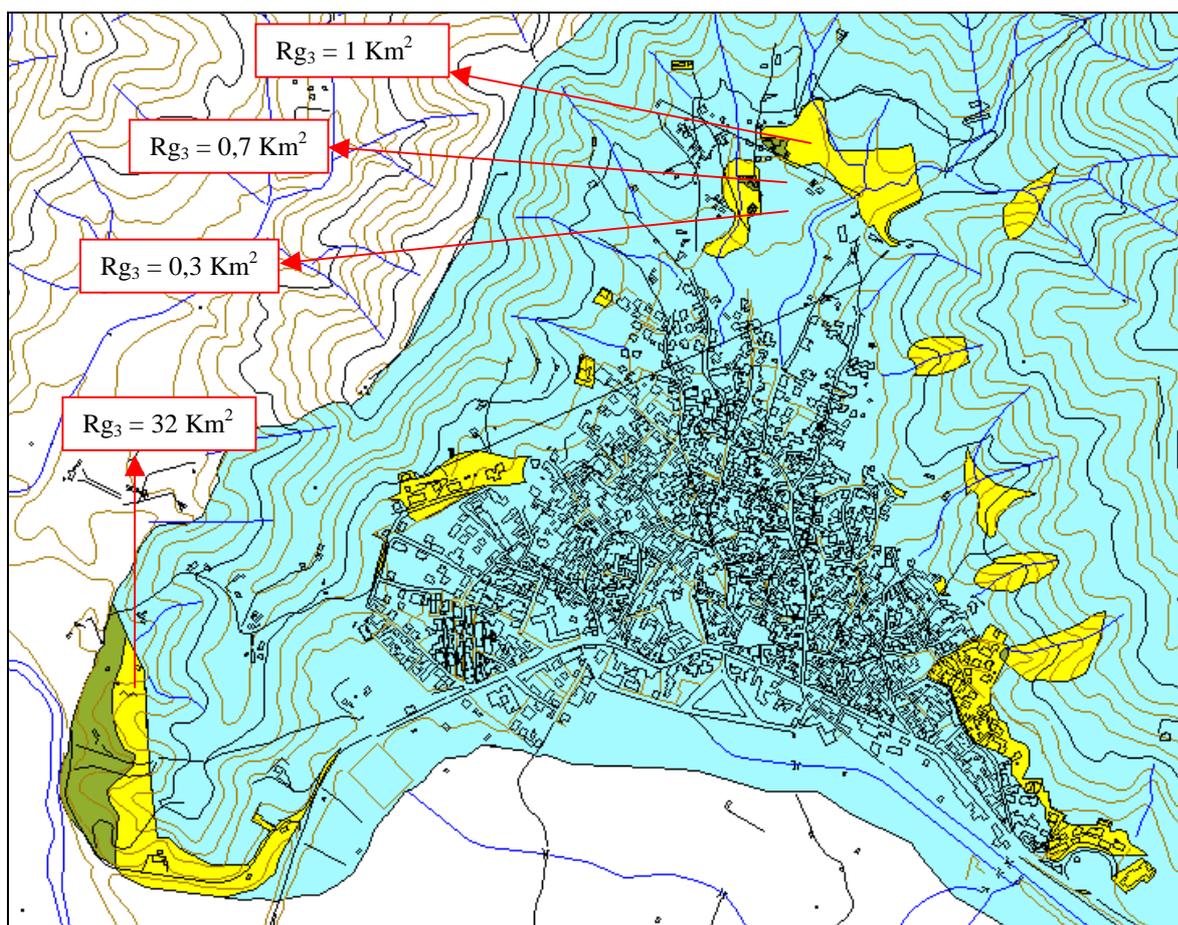


Figura 3.2 – Principali aree a rischio  $R_{g3}$

### 3.2.3 Aree a Rischio di frana

Per dette aree sono indicati i seguenti indirizzi per la definizione delle norme di salvaguardia.

a) Aree a rischio molto elevato. In tali zone sono consentiti esclusivamente:

- gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
- gli interventi di manutenzione ordinaria così come definiti alla lettera a) dell'art. 31 della legge n. 457/1978;
- gli interventi strettamente necessari a ridurre la vulnerabilità degli edifici esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di superficie e volume, senza cambiamento di destinazione d'uso che comportino aumento del carico urbanistico;
- gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche o di interesse pubblico;
- tutte le opere di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi.

b) Aree a elevato rischio. Oltre agli interventi ammessi per l'area a), sono consentiti esclusivamente:

- gli interventi di manutenzione straordinaria, restauro, risanamento conservativo, così come definiti alle lettere b) ed e) dell'art. 31 della legge n. 457/1978, senza aumento di superficie o volume, interventi volti a mitigare la vulnerabilità dell'edificio;
- gli interventi di ampliamento degli edifici esistenti unicamente per motivate necessità di adeguamento igienico-sanitario.

Le misure di salvaguardia suddette, tuttavia, dovranno essere inquadrare in un più ampio impianto normativo mirante da un lato alla disciplina delle aree soggette a rischio idrogeologico, secondo opportuni programmi di attuazione degli interventi, dall'altro provvedere idonee direttive e vincoli per le aree pericolose al fine di predisporre un sistema di prevenzione adeguato alle situazioni specifiche del territorio.

## **Conclusioni**

Nella presente relazione, come accennato nella premessa, si è tenuto conto delle molteplici caratteristiche e complessità del territorio comunale di Villaputzu, nonostante la notevole estensione dell'area comunale. Sebbene una parte significativa del territorio comunale non sia stata presa in considerazione negli elaborati di sintesi di questo studio, perché facente parte delle aree militari, in cui non è permesso svolgere alcun tipo di rilievo, il territorio comunale di Villaputzu presenta peculiarità specifiche di alto pregio che, anche attraverso indagini più accurate che dovranno essere auspicabilmente pianificate, potrebbero essere valorizzate per un più sensibile sviluppo dell'area.

A parte questi aspetti, dal punto di vista del rischio franoso, nel territorio comunale sono presenti delle aree particolarmente esposte a rischio, principalmente per le caratteristiche litologiche del territorio, ma tale rischio è dovuto anche ad altri fattori, che variano nel tempo e che dipendono soprattutto da attività umane, ad esempio per le aree interessate da incendi. In questi siti, è ormai noto, l'arrivo di precipitazioni sempre più improntate a fenomeni di rovesci improvvisi e violenti, a causa dei cambiamenti climatici in atto, possono creare situazioni ad alto rischio con la comparsa di fenomeni di instabilità. Tuttavia, a seconda dell'area, della litologia, della morfologia e del grado di alterazione delle litologie, dovuto soprattutto alla presenza di solfuri, anche aree apparentemente stabili possono diventare instabili a causa di interventi antropici anche di modesta entità, come la realizzazione di strade. Si consiglia, pertanto, che qualunque intervento sul territorio sarà pianificato per il futuro debba essere prima studiato approfonditamente e anche dal punto di vista giacimentologico e mineralogico-petrografico, in modo da garantire la sicurezza ai massimi livelli.

## Bibliografia

- 1) Agency For Toxic Substances And Disease Registry (2004) Toxicological profile for copper. U.S. Department of Health and Human Service.
- 2) Agency For Toxic Substances And Disease Registry (2005) Toxicological profile for zinc. U.S. Department of Health and Human Service.
- 3) Anginoni F. (2002) Tossicità dei metalli non ferrosi. Corso di Metallurgia dei metalli non ferrosi. Università degli Studi di Trento.
- 4) Angius V., Casalis G. (1856) - *La Sardegna Paese per Paese*. In *Dizionario Angius/Casalis*, Volumi: 1, 9, 14, 18. Ristampa 2004. La Biblioteca dell'Identità. L'Unione Sarda. Cagliari. Mondatori Printing, Cles (TN).
- 5) Anonimo, (1872) - *Itinerario Generale dell'Isola di Sardegna*.
- 6) Autori Vari, (1983 a) - *La Provincia di Cagliari. Ambiente storia cultura*. Silvana Editoriale, Cagliari.
- 7) Ardaù F., Marredda L., Scintu C., Vernier A. (2004) – Il dissesto idrogeologico del bacino del rio Pibilia (Sardegna sud-orientale). Atti del IV<sup>e</sup> Congrès International Environnement et Identité en Méditerranée, Corte (Corsica, Francia), 19-25 Juillet 2004, volume I, pp. 199-207.
- 8) Balìa R., Gavaudo E., Ardaù F., Ghiglieri G. (2003) – “Geophysical approach to the environmental study of a coastal plain”, *Geophysics*, vol. 68, n°5, pp.1-14.
- 9) Ardaù F., Vernier A. (2003) – Caratteristiche di erodibilità di alcuni litotipi dei bacini montani del Sarrabus, Sardegna sud-orientale, ai fini di una corretta valutazione del dissesto idrogeologico. C.N.R., Contratto n. 00.00483.PF42, Gruppo Nazionale per la Difesa

dalle Catastrofi Idrogeologiche, Pubblicazione n° 2662. Conservazione dell'ambiente e rischio idrogeologico, 11–12 dicembre 2002, Assisi, pp. 344-351.

10) Arda F., Balia R., Barbieri G., Barrocu G. Gavaudo E., Ghiglieri G., (2002) – Recent developments in hydrogeological and geophysical research in the Muravera coastal plain (SE Sardinia, Italy). 17° Salt Water Intrusion Meeting, Delft (Olanda) 6-10 maggio 2002, pp. 456-460.

11) Arda F., Ghiglieri G., Sanna F., Trudu C., Vernier A. (2002) – Applicazione GIS per la determinazione della propensione al dissesto idrogeologico del bacino del Rio Uri (Sardegna sud-orientale). C.N.R., Contratto n. 00.00483.PF42, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Pubblicazione n° 2588. 6a Conferenza Nazionale ASITA, Geomatica per l'Ambiente, il Territorio e il Patrimonio Culturale, Perugia (Italia), pp. 167-173.

12) Arda F. & Barbieri G. (2000) - Aquifer configuration and possible causes of salination in the Muravera plain (SE Sardinia, Italy). Atti del 16° Salt Water Intrusion Meeting, Miedzyzdroje (Polonia), pp.11–18, vol. 80.

13) Arda F., Balia R., Barbieri G., Barrocu G. Gavaudo E., Ghiglieri G., Vernier A. (2000) – Geophysical and hydrogeological study of a coastal plain affected by salt water intrusion – The Annual Meeting of The Environmental and Engineering Geophysical Society, 20-24 febbraio, Crystal City Hyatt, Arlington (USA), pp. 223-231.

14) Arda F., Barbieri G., Barrocu G. (1996) - “Gli acquiferi costieri della piana di Muravera”. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 549 – Muravera, Servizio Geologico d'Italia, pp. 111-116.

15) Autori Vari, (1983 b) - *La Provincia di Cagliari. I comuni*. Silvana Editoriale Cagliari.

- 16) Autori vari (1988) *Enciclopedia Medica Italiana*. USES Edizioni Scientifiche Firenze.
- 17) Bakos F. (1968 a) - *Osservazioni geologico - minerarie sul giacimento molibdenite e wolframite di Perda Maggiore (Sardegna Sud Orientale)*. *Rendiconti Associazione Mineraria Sarda* A LXXIII n.8, pp 5 – 66, Iglesias.
- 18) Bakos F. (1968 b) - *Le mineralizzazioni fluoritiche di Is Crabus - Sarrabus (Sardegna sud orientale)*. *Atti della Giornata di studio “ Le fluoriti italiane”* C.3/2, Torino.
- 19) Bakos F., Carcangiu G., Fadda S., Mazzella A., Valera R., (1986) - *La mineralizzazione aurifera di Baccu Locci (Sardegna sud/orientale)*. *Nota preliminare. Rendiconti Associazione Mineraria Sarda - A XCIII n.1*, pp 5 – 10, Iglesias
- 20) Bakos F., Carcangiu G., Fadda S., Mazzella A., Valera R. (1988) - *The Au - Ag - As - Fe - Cu - Pb - Zn - Sb - W paragenesis of Baccu Locci (SE Sardinia): an example of multistage evolution from a protore of volcano - sedimentary origin*. *Zuffar’ Days*, pp 5 – 8, Cagliari.
- 21) Bakos F., Garbarino C., Mazzella A., Valera R.G., Pani E. (1991) *Mineral association in the Sarrabus, SE Sardinia, Italy, gold - silver lode and its genetic relevance*. *Brazil Gold ‘91* -pp 515 – 522, E.A. Ladeira - Belo Horizonte
- 22) Bakos F., Carcangiu G., Fadda S., Mazzella A., Valera R. (1994) - *The gold mineralization of Baccu Locci (Sardinia, Italy): origin, evolution, and concentration processes*. *Terra Research - Terra Nova* 2, pp 232 – 237.
- 23) Barca S., Carmignani L., Eltrudis A., Gattiglio M., Pala L. (1992) - *Relationships between foredeep deposits and hercynian nappe building in Southeastern Sardinia (Italy)*. *Contributions to the geology of Italy - A volume dedicated to T: Coccozza Newsletter* Vol.5, pp 45 – 49, Siena.
- 24) Biste M. (1977) - *Stratabound polymetallic and F-Ba deposits of the Sarrabus Gerrei region (SE Sardinia)*. In *Report: the ipothermal Cu-As mineralization with occur of Wolframite Scheelite*. *N. Jb. Miner. Mh.* pp 548 – 558, Stuttgart.

- 25) Boi M., Brotzu P., Maxia M., Salvadori I., Valera R. (1982) - *The vein deposit of Monte Genis (S - E Sardinia). In the framework of Sardinian; F - Ba Mineralizations.* Bull. du B.R.G.M. pp 303 – 307 Orleans.
- 26) Brigo L., Ferrario A., Marcello A., Natale P., Omenetto P., Padalino G., Salvadori I., Tocco S., Uras I., Valera R., Zucchetti S., Zuffardi P. (1982) - *Gites filoniens Pb, Zn, F, Ba de basse temperature du domaine varisque d'Italie. Bulletin du B.R.G.M. S.2, n.2* pp 195 – 206, Orleans.
- 27) Calvino F. (1957) - *Relazione preliminare sul rilevamento geologico del 1954 in Sardegna (Foglio 227 - Muravera) - Bollettino Servizio Geologico d'Italia, LXXVI*, pp 439 – 443, Roma.
- 28) Calvino F. (1961) - *Mineralizzazioni filoniane di età alpina in Sardegna. Barite di Santoru e fluorite di Monte Cardiga. Rendiconti Associazione Mineraria Sarda, A LXV n° 8*, pp 1 – 22, Iglesias.
- 29) Calvino F. (1965) - *I basaltici Riu Gironi (Villaputzu). Nuova manifestazione di vulcanismo recente presso la costa orientale sarda. La Ricerca Scientifica, Anno 35, serie 2, parte II - A, vol. 8 n° 5*, pp 1218 – 1243, Roma.
- 30) Calvino F. (1967) - *Foglio 227 - Muravera. Note descrittive della Carta Geologica d'Italia*, pp 1 – 60, Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- 31) Cantoni A. (1884) - *Relazione sul permesso minerario "Monte Is Crabus".* pp 1 – 12.
- 32) Corona F. (1894) - *Guida dell'Isola di Sardegna*
- 33) Carmignani L., Cortecci G., Dessau G., Duchi G., Oggiano G., Pertusati P.C., Saitta M. (1978) - *The antimony and tungsten deposit of Villasalto in South - Eastern Sardinia and its relationship with hercynian tectonics. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, pp 163 – 188.

- 34) Carmignani L. (2001) - *Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 549 - Muravera*. Servizio Geologico d'Italia, Roma
- 35) Cavarretta G., Patera, Spadoni M. (2002) *Geochemical Mapping of Stream Sediments in the Mignone River Basin (Italy) Using the Sample Catchment Basin Technique*. Proc. SWEMP 2002, R.Ciccu (Ed.), Cagliari., Italy, pp.175-180.
- 36) Coccozza T. Decandia F.A. Marcello A. Pretti S. Salvadori I. Uras I, Valera R. (1986) - *Geo - tectonic evolution of the Sardo - Corsican massif and metallogeny of Sardinia*. *Schriftenreihe der Erdweissen.... band 8*, pp 164 – 174, Vienna.
- 37) Camera dei Deputati (1911)- Commissione Parlamentare di Inchiesta sulla Condizione degli Operai delle Miniere di Sardegna - Atti della commissione. Volume IV. Tipografia della. Roma.
- 38) Cortecchi G., Oggiano G. (1983) - Studio genetico di un affioramento di barite sinsedimentaria nel Siluriano. Atti Società. Toscana. Scienze. Naturali. Memorie Servizio. A 90 - 262 - 274. Pisa.
- 39) Dessau G. (1956) - *Cenni sul giacimento di tungsteno e molibdeno di Pedra Majori (Sardegna)*. *Bollettino. Società' Geologica Italiana*, 75, pp 239 - 251
- 40) De Castro C. (1890) - *Descrizione geologico - mineraria della zona argentifera del Sarrabus (Sardegna)*. In *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, 5, 68, Servizio Geologico d'Italia. Roma.
- 41) De Vivo B., Boni M., Marcello A., Costabile S., Di Bonito M., Russo A. (1999) *Cartografia geochimica della Sardegna*. In: *Cartografia Geochimica Ambientale: primi esempi di applicazione: Calabria, Monti Peloritani, Sardegna, Toscana Meridionale*. De Vivo, Riccobono, Sabatini Memorie Serv. Geol. Ital. Mem. Descr. Carta Geologica d'Italia. Servizio Geologico, Vol. LVII. pag 97-106. Roma.
- 42) Di Gennaro A., Quagliarella, Acsiano F. (1974) - *Antimonpearceite di Serra S'Illixi (Sarrabus)*. *Rendiconti Società Italiana Mineralogia e Petrologia*, XXX, Fasc. II, pp 1193 – 1199, Milano.

- 43) Fadda S., Fiori M., Grillo S.M., Manca M.G, Marcello A., Matzuzzi C., Pretti S. (1996) *Influenza della vecchia attività mineraria nel bacino del Flumendosa e sui contenuti di metallo nei sedimenti del lago Mulargia*. Congresso Centenario Associazione Mineraria Sarda, pp 149, Iglesias.
- 44) Fadda S., Fiori M., Grillo S.M., Marcello A., Pretti S., Valera P. (2002) *Heavy metal pollution risks after mining activity in the Rio Flumendosa basin, Sardinia, Italy*. Geological Survey of Namibia (ed), 11th Quadrennial IAGOD Symposium and Geocongress 2002 - July 2002 Windhoek, Namibia (ext. abstracts - in CD).
- 45) Ferrero A. (1897) - *Sulla regione antimonifera del Gerrei*. *Rendiconti Associazione Mineraria Sarda*, 2, pp 8 – 11, Iglesias.
- 46) Fiori M., Pretti S., Uras I. (1988) - *L'oro nella metallogenesi sarda. L'industria mineraria*, 4, pp 1 – 8, Roma.
- 47) Fiori M., Grillo S.M., Pretti S., Uras I., Marcello A., Sanna M. (1988) - *Behaviour of silver in different types of mineralization, Sardinia, Italy: record of a geochemical reconnaissance*. Conference “Silver - exploration, mining and treatment”, pp 111 - 127 Mexico City.
- 48) Fiori M., Grillo S.M., Marcello A., Pretti S., Vacca S., Muntau H. (1992) *Metal pollution in sediments from lake Mulargia, Sardinia-Italy*. V.M. Goldschmidt Conference 8-10 maggio - Reston (Virginia) USA
- 49) Fiori M., Grillo S.M., Marcello A., Pinna D., Pretti S. (2001) *Heavy metals pollution of natural origin in the Rio Norizzi basin (Southwestern Sardinia, Italy). The As aspect*. Proceedings of the Tenth International Symposium on Water-Rock Interaction WRI-10 Villasimius/Italy 10-15 July- Vol. 2. pag. 1091-1094
- 50) Gattiglio M., Oggiano G. (1992) - *Stratigraphical and structural outline of the riu Grappa tectonic Unit (southeastern Sardinia): Contributions to the geology of Italy – in A volume dedicated to T. Cocozza – Newsletter*, 5, pp 143 – 146, Siena

- 51) Grammaccioli C.M., Campostrini I., Demartin F., Pilati T. (1966) - *Presenza di nuove interessanti specie mineralogiche in Sardegna. Congresso centenario Associazione Mineraria Sarda*. Sessione 3, pp 217 – 225, Iglesias.
- 52) S. M. Grillo, A. Mazzella, F. Melis, R. Porcu, S. Pretti, S. Rivoldini, I. Uras, G. Carcangiu, S. Fadda, M. Fiori, M. Paolomba, C. Marini (1986) *Mineralizzazioni a solfuri associate alle vulcaniti terziarie della Sardegna – Nota I: primi risultati della prospezione dell'area di Perdaxius*. Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrografia, 41 (2), 369 - 383
- 53) Istituto Geografico Militare Italiano (1994) - *Foglio n° 549 Muravera*. Serie 50 Edizione I. Firenze
- 54) Introzzi P. (1991) *Trattato di medicina Interna - Parte undicesima: malattie professionali intossicazioni*. USES Edizioni Scientifiche Firenze.
- 55) L. Maccioni, M. Marchi, G. Padalino, S. Pretti (1992) *Preliminary geochemical exploration in semiarid climate: the case of a porphyry – type occurrence in Sardinia (Italy)*. *Journal of Geochemical Exploration*, 42, Elsevier Science Publishers B.V., pp 261-272
- 56) Manca M.G., Matzuzzi C., Muscas F., Valera P. (2003) *Example of Geochemical Environmental Cartography: Sheet IGMI 546 - Guspini In Scale 1: 50.000*. Proceedings of the 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information System, June 17th/20th Bologna, Italy. Vol. II, pag. 651
- 57) Marcello A. (1968) - *Bibliografia geomineraria del Cambrico - Ordoviciano inferiore della Sardegna*. pp. 251 Stabilimento Editoriale Fossataro, Cagliari.
- 58) Marcello A., Mazzella A., Pretti S., Valera P., Fiori M. (2005) *Sedimenti fluviali (stream sediments) e suoli: analisi delle correlazioni esistenti fra le due tipologie di campioni. Primi risultati*. Rendiconti Associazione Mineraria Sarda A CX, pp 49-57, Iglesias.
- 59) Marcello A., Pretti S., Salvadori I. (1974)- *Primi risultati delle ricerche sul terreno effettuate nell'ambito del Programma Generale avviato dall'EMSa. Notiziario Tecnico Economico Ente Minerario Sardo*, II/2, Cagliari.

- 60) Marcello A., Pretti S., Salvadori I. (1978 a) *Le prospezioni geominerarie in Sardegna: la prospezione geochimica strategica*. Boll. Servizio Geologico d'Italia V.99 277-310 Roma.
- 61) Marcello A., Pretti S., Salvadori I. (1978 b) *Le prospezioni geominerarie in Sardegna. La prospezione geochimica tattica*. Notiziario tecnico-economico dell'Ente Minerario Sardo. N° 3-4. Cagliari.
- 62) Marcello A., Pretti S., Salvadori I., Zuffardi P. (1975) - *Memorie illustrative della Carta Mineraria d'Italia scala 1:1000.000. Cap. IX Sardegna. XIV*, Servizio Geologico d'Italia Roma.
- 63) Marcello A., Pretti S., Salvadori I. (1980) - *La ricerca mineraria in Sardegna. Centro Sud Isolano*. Volume unico, pp 46 – 52, Cagliari.
- 64) Marcello A., Pretti S., Uras I. (1983) - *La barite in Sardegna. L'industria Mineraria*, 5. Roma
- 65) Marcello A., Pretti S., Salvadori I., Uras I. (1989) - *Analisi della situazione e delle prospettive delle risorse minerarie non energetiche a breve e medio termine*. Congresso Internazionale di Geoingegneria "Suolo e sottosuoli", 1.1, Sessione I, II, III, IV, pp 265 – 271, Torino.
- 66) Marcello A., Pretti S., Salvadori I., Uras I. (1994) - *Introduction to the minerogenesis and the economic geology of Sardinia*. In L.Carminiani, C. Grezzo, A. Marcello, P.C. Pertusati, S. Pretti, CA. Ricci, I. Salvatori "16 th General Meeting of the International Mineralogical Association. Guide book to the field excursion: Petrology, geology and ore deposits of the Palaeozoic basement of Sardinia. 37.43.Pisa.
- 67) Masi U., Turi B., Valera R. (1975) - *Composizione isotopica del Quarzo e della Calcite di ganga del "giacimento argentifero" del Sarrabus (Sardegna Sud - orientale) e sue implicazioni genetiche*. Rend. Soc. Italiana di Mineralogia e Petrologia, 31, n.2, pp 467 – 485, Milano

- 68) Olmi F., Rizzo R., Sabelli C., Stara P. (1996) - *Contributo alla conoscenza della storia mineraria e della mineralogia di Parredis (SE Sardegna) con particolare riferimento alla scoperta di rari minerali di alterazione. Rendiconti Associazione Mineraria Sarda*, pp 103 – 110 –Iglesias.
- 69) Mazzella A., Pretti S., Valera R. (1983), *Valutazione dei giacimenti e geostatistica: rischi e prospettive. Industria Mineraria*, 6, 23 – 27
- 70) Mazzella A., Pretti S., Valera R. (1984), *Valutazione dei giacimenti e geostatistica. Industria Mineraria*, 2, 15 – 18
- 71) Pomesano L. (1965) - *Studio geominerario della zona Sarrabus – Gerrei*, Rapporto interno.Dattiloscritto
- 72) Regione Autonoma della Sardegna (2006 a) - *Piano Paesaggistico Regionale. Scheda d'Ambito n° 25 Bassa Valle del Flumendosa*. Cagliari.
- 73) Regione Autonoma della Sardegna (2006 b) - *Piano Paesaggistico Regionale. Scheda d'Ambito n° 24 Quirra*. Cagliari.
- 74) Revello G. (1965) - *Stelle di Blenda e corpi tondi di Cubanite in Pirrotina cataclasata e ricristallizzata a Sa Lilla (Cagliari). Symposium sui "Problemi Minerari della Sardegna"* 369 – 379, Cagliari.
- 75) Salminen, R. (ed.), Batista M.J., Bidoc M., Demetriades A., De Vivo B., De Vos W., Gilucis A., Gregorauskiene V., Halamic J., Heitzmann P., Lima A., Jordan G., Klaver G., Klein P., Lis J., Locutura J., Marsina K., Mazreku A., Mrnkova J., O'Connor P.J., Olsson S., Ottesen R.T., Petersell V., Plant J.A., Reeder S., Salpeteur I., Sandström H., Siewers U., Steenfelt A., Tarvainen T.. (2005). *Geochemical atlas of Europe. Part 1:Background information, methodology and maps*. Geological Survey of Finland. Espoo, 525 p.
- 76) Schneider V.H.J. (1972) - *Schichtgebundene NE metall - und F - Ba - lagerstätten im Sarrabus - gerrei - gebiet, se Sardinien. I. Bericht zur Lagerstättenkunde und Geologie N. Jb. Miner. Mh H.12*, pp 529 – 541, Stuttgart.

- 77) Serangeli S., Scarano S., Mitiga E. (2012) *Un esempio di caratterizzazione geologica e geomeccanica di ammassi rocciosi nella zona sudorientale della Sardegna*. GEAM – Geingegneria Ambientale e Mineraria. Anno XLIX, n. 2, pp. 19-28
- 78) Sibbick S.J. (1994) *Preliminary Report on the Application of Catchment Basin Analysis to Regional Geochemical Survey Data*, Northern Vancouver Island (NTS 92L/03,04,05 and 06), Geologic Fieldwork 1993, Grant B.& Newell J.M. (Eds), B.C. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, Paper 1994-1, pp. 111-117
- 79) Karl Terzaghi, Ralph B. Peck, (1984) *Geotecnica*. Ed. UTET. II edizione. pp. 644. ISBN: 8802030103
- 80) Toso P. (1897) - *Note sul giacimento di antimonite Su Suergiu*. *Rendiconti Asssociazione Mineraria Sarda*, 2, pp 11 - 15. Iglesias.
- 81) Touring Club Italiano (1961) - *Guida d'Italia – Sardegna*.
- 82) Traverso G.B. (1898) - *Embolite di Brecca (S.Vito)*. *Rendiconti Associazione Mineraria Sarda*, 1, pp 10, Iglesias.
- 83) Traverso G.B. (1898) - *Sarrabus e i suoi minerali. Note descrittive sui minerali del Sarrabus facenti parte della collezione dei minerali italiani presso il Museo Civico di Genova*. Pp. 72 Tip. Sasoldi. Alba.
- 84) Traverso S. (1881) - *Giacimenti e minerali d'argento del Sarrabus*. *Annali Museo Civico Storia Naturale Genova*, 16, pp 493 – 522, Genova.
- 85) Traverso S. (1890) - *Nota sulla geologia e sui giacimenti argentiferi del Sarrabus*. Editore Fratelli Casanova. Torino
- 86) Valente R. Malsani M.G. (1992) *Dizionario Medico Larousse*. Editrice SAIE
- 87) Valera P., (2005) - *Distribuzione dei metalli pesanti nel reticolo idrografico della Sardegna: risultati e prospettive d'indagine*. In: WAU: I Workshop degli Assegnisti UNICA -

XV Settimana della Cultura Scientifica e Tecnologica, 16, 17 e 18 Marzo 2005, pp 187, Cittadella Universitaria di Monserrato, Cagliari.

88) Valera P., (2005) - *Paolocon: un software per la cartografia tematica in tre dimensioni*. In: *WAU: I Workshop degli Assegnisti UNICA - XV Settimana della Cultura Scientifica e Tecnologica, 16, 17 e 18 Marzo 2005*, pp 187, Cittadella Universitaria di Monserrato, Cagliari.

89) Valera R. (1966 a) - *Considerazioni sul campo di frattura del “filone argentifero” del Sarrabus (Sardegna Sud - Orientale)*. *Rendiconti Associazione Mineraria Sarda*, A.71, n.7, pp 72 – 83, Iglesias.

90) Valera R. (1966 b) - *Le mineralizzazioni del Sarrabus - nota I: Sa Terra Mala*. *Rendiconti Associazione Mineraria Sarda*, A.72, n.7, pp 49 – 77, Iglesias.

91) Valera R. (1971) Sarrabus – *Relazione sulle prospettive geominerarie nel settore della fluorite*. Rapporto interno, Cagliari

92) Valera R., Pretti S. (1970) - *Le mineralizzazioni del Sarrabus (Sardegna Sud - orientale) - nota III: Tuviois*. *Rendiconti Associazione Mineraria Sarda*, A 75 n.4, pp 3 – 41, Iglesias.

93) Valera R. (1972 a) - *Mineralizzazioni a Fluorite del Sarrabus (Sardegna Sud - orientale)*. *Nota I: Il giacimento argentifero*. *Atti della Giornata di studio “ Le fluoriti italiane”*, C.3/18°, pp 405 – 425, Torino.

94) Valera R. (1972 b) - *Mineralizzazioni a Fluorite nel Sarrabus (Sardegna Sud - orientale)*. *Nota II: Il settore di San Vito*. *Atti della Giornata di studio “ Le fluoriti italiane”*, C.3/18°, pp 405 – 425 Torino.

95) Valera R. (1974) - *Genesi ed evoluzione delle mineralizzazione del Sarrabus (Sardegna sud - orientale)*. *Rendiconti Società Mineralogia Petrologia*, XXX, Fasc. II, pp 1081 - 1108 Milano.

- 96) Valera R. (1978) - *La Fluorite in Sardegna. Ricorrenze e criteri di ricerca. Atti della Facoltà di Ingegneria*, pp 149 – 159, Cagliari.
- 97) Vardabasso S. (1939) - *Schema geochimico dei giacimenti metalliferi sardi del ciclo magmatico ercinico. Rendiconti Seminario Facoltà di Scienze – Università di Cagliari*, 9, n.4, pp 231 – 232, Cagliari.
- 98) Venerandi I. (1968) - *Il giacimento a molibdenite e wolframite di Perda Maiori (Studio minerografico). Istituto Lombardo Accademia Scienze e Lettere*, 102, pp 678 – 715 Milano.
- 99) Venerandi Pirri I. (1988) - *The ore parageneses of the Villasalto Sb - W deposit (Gerrei, SE Sardinia). Zuffar' Days*, pp 127 – 135, Cagliari.
- 100) Violo M. (1966) - *Contributo alla conoscenza dei giacimenti stratoidi polimetallici in area metamorfica - Il giacimento di Sa Lilla (San Vito, Cagliari - Sardegna). Rendiconti Associazione Mineraria Sarda*, A 71, n.8, pp 50 – 132, Iglesias.
- 101) Zucchetti S. (1958 a) - *The lead - arsenic - sulfide ore deposit of Bacu Locci (Sardinia, Italy). Economic Geology*, 53, n° 7, pp 867 – 876, USA.
- 102) Zucchetti S. (1958 b) - *Il caratteristico deposito a solforati di piombo e arsenico di Bacu Locci (Sardegna). Bollettino Servizio Geologico d'Italia*, LXXX, 2° e 3°, pp 275 – 301, Roma.
- 103) Zuffardi P. (1965) - *Contributo alla conoscenza delle mineralizzazioni nel Cambrico sardo. Nota VI: Riassunto e interpretazione provvisoria delle conoscenze attuali. Symposium sui "Problemi Minerari della Sardegna"*, pp 315 – 324, Cagliari.
- 104) Zuffardi P. (1968) - *Transformism in the genesis of ore deposits: examples from Sardinian Lead-Zinc deposits. Congresso Geologico Internazionale*, 7, pp 137 – 149, Praga.