

UNIONE DEI COMUNI METALLA E IL MARE



COMUNE DI BUGGERRU

STUDIO IDROGEOLOGICO DEL TERRITORIO COMUNALE DI BUGGERRU EX ART. 8 COMMA 2 DELLE N.T.A. DEL P.A.I. PARTE FRANA



Allegato

G.1

Scala

RELAZIONE PARTE FRANA

file

rev.	data	oggetto
00	30/11/2019	
01	04/09/2020	
02	06/11/2020	

GRUPPO DI LAVORO - RTP

SarLand Srls
Ingegneria e Architettura

Ing. Alessandro Lai
Geol. Antonello P. L. Gellon



Ing. Alice Scanu



Ing. Nicola Marcia



Collaboratori:

Geol. Andrea Serreli - Michele F. Mannai

COMUNE DI BUGGERRU

**RESPONSABILE
DELL'UFFICIO TECNICO
Ing. Alessandro Girei**

**SINDACO
Ing. Laura Cappelli**

Indice

1	Introduzione e sintesi del documento.....	2
2	Definizione dell'area di studio e descrizione della zonazione del pericolo.....	4
2.1	Inquadramento territoriale.....	4
3	Inquadramento geologico.....	5
4	Inquadramento geomorfologico.....	9
4.1	Carsismo.....	11
4.2	Sinkholes.....	11
5	Inquadramento idrogeologico.....	13
6	Inquadramento geopedologico.....	14
7	Inquadramento geotecnico.....	15
7.1	Risultati di indagini pregresse in situ e in laboratorio.....	15
7.2	Caratteri geotecnici dei litotipi presenti.....	16
8	Pericolosità da frana pregressa.....	17
8.1	Piano stralcio per l'assetto idrogeologico.....	17
8.2	Inventario dei fenomeni franosi in Italia.....	17
8.2.1	Aree vulnerate italiane.....	17
9	Metodologia di zonizzazione.....	19
9.1	Carta geomorfologica e dei fenomeni franosi.....	19
9.1.1	Dissesti potenziali e in atto.....	20
9.2	Carta dell'instabilità potenziale dei versanti.....	35
9.2.1	Carta della pendenza dei versanti.....	35
9.2.2	Carta litologica.....	35
9.2.3	Carta dell'uso del suolo.....	37
9.2.4	Carta dell'instabilità potenziale dei versanti.....	38
9.3	Carta di sintesi della pericolosità da frana.....	39
10	Pericolosità, Elementi a Rischio e Rischio da frana.....	41
10.1	Aree a pericolosità geomorfologica (Hg).....	41
10.1.1	Metodologia.....	41
11	DEFINIZIONE DEL DANNO POTENZIALE.....	43
11.1	Elementi a rischio.....	43
11.2	Vulnerabilità.....	44
11.3	Danno potenziale.....	44
12	PERIMETRAZIONE DELLE AREE A RISCHIO FRANA.....	46

1 Introduzione e sintesi del documento

Il presente elaborato contiene la Relazione dello studio idrogeologico del comune di Buggerru – parte frana esteso a tutto il territorio finalizzato all'adeguamento del Piano Urbanistico Comunale alle Norme di Attuazione del Piano di Assetto Idrogeologico.

Conformemente a quanto stabilito dalle N.A. del P.A.I. *indipendentemente dall'esistenza di aree perimetrate dal PAI e tenuto conto delle prescrizioni contenute nei piani urbanistici provinciali e nel piano paesaggistico regionale relativamente a difesa del suolo, assetto idrogeologico, riduzione della pericolosità e del rischio idrogeologico, i Comuni, con le procedure delle varianti al PAI, assumono e valutano le indicazioni di appositi studi comunali di assetto idrogeologico concernenti la pericolosità e il rischio idraulico, in riferimento ai soli elementi idrici appartenenti al reticolo idrografico regionale, e la pericolosità e il rischio da frana, riferiti a tutto il territorio comunale o a rilevanti parti di esso, anche in coordinamento con gli altri.* In quest'ottica il presente Studio è volto alla conoscenza, estesa a tutto il Territorio comunale, delle pericolosità e rischio associate ad eventi alluvionali o da frana.

Conformemente a quanto stabilito dalle N.A. del P.A.I. *“Indipendentemente dall'esistenza di aree perimetrate dal PAI e tenuto conto delle prescrizioni contenute nei piani urbanistici provinciali e nel piano paesaggistico regionale relativamente a difesa del suolo, assetto idrogeologico, riduzione della pericolosità e del rischio idrogeologico, i Comuni, con le procedure delle varianti al PAI, assumono e valutano le indicazioni di appositi studi comunali di assetto idrogeologico concernenti la pericolosità e il rischio idraulico, in riferimento ai soli elementi idrici appartenenti al reticolo idrografico regionale, e la pericolosità e il rischio da frana, riferiti a tutto il territorio comunale o a rilevanti parti di esso, anche in coordinamento con gli altri Comuni confinanti. Gli studi comunali di assetto idrogeologico considerano, inoltre, il fenomeno delle inondazioni costiere, definiscono gli interventi di mitigazione e contengono anche le valutazioni afferenti agli studi dei bacini urbani di cui al comma 5 bis seguente”.* In quest'ottica il presente Studio è volto alla conoscenza, estesa a tutto il Territorio comunale, delle pericolosità e rischio associate ad eventi alluvionali o da frana.

Lo studio usufruisce di un contributo del Servizio regionale di Pianificazione paesaggistica e Urbanistica, che ha comunicato con nota prot. 28970 del 22.07.2016 la disponibilità di una somma pari a € 12.707,64 a favore del Comune di Buggerru e con nota prot. 28983 del 22.07.2016 la disponibilità di una somma pari a € 29.419,62 a favore del Comune di Fluminimaggiore quali contributi integrativi per la redazione degli strumenti urbanistici Comunali.

Oltre ciò, sono oggetto dell'incarico affidato allo scrivente anche gli adempimenti e verifiche di cui alle Direttive in materia di opere interferenti col reticolo idrografico (Delib.G.R. n. 43/2 dell'1.9.2016), così come successivamente rettificata con la deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 del 27.10.2015 e n. 2 del 17.10.2017. Tali studi sono finanziati con fondi della Regione Autonoma della Sardegna, che con DGR n. 67/2 DEL 16.12.2016 ha assegnato € 7.609,85 al Comune di Buggerru e € 11.235,98 al Comune di Fluminimaggiore quali contributi per gli adempimenti e verifiche di cui sopra.

Con Deliberazione n. 39-6 Del 31.07.2018 le somme di cui sopra sono state integrate con ulteriori € 10.000,00 per Buggerru e € 14.000,00 per Fluminimaggiore.

La relazione dopo un breve inquadramento del territorio di riferimento procede con l'illustrazione della metodologia utilizzata per la definizione delle aree a pericolosità da frana, secondo quanto definito dalle Linee Guida del PAI, integrato dalle indicazioni metodologiche reperite nella variante al PAI del Sub-bacino 3 - Coghinas Mannu Temo. Successivamente si illustrano le modalità di elaborazione delle carte tematiche relative a uso del suolo, geolitoologia e pendenza dei versanti, con indicazione dei pesi attribuiti e delle modalità di overlay mapping per la definizione dell'instabilità dei versanti. Si procede poi all'analisi delle modalità di realizzazione della carta dei fenomeni franosi, per arrivare, infine alla metodologia utilizzata per la definizione della pericolosità geologica Hg1, Hg2, Hg3 e Hg4.

Sulla base della carta degli elementi a rischio pubblicate all'interno del PGRA è stata prodotta una nuova carta degli elementi a Rischio che a sua volta è stata presa a base per il calcolo delle carte del Rischio allegate alla presente.

Il presente studio (versione settembre 2020) rivede e integra quello precedentemente consegnato sulla base delle interlocuzioni avvenute con gli uffici preposti all'istruttoria e alle sopraggiunte modifiche ai limiti comunali.

In particolare:

- Si sono aggiornate le carte a seguito della Det. n. 290 del 22.04.2020 della Direzione generale della pianificazione urbanistica territoriale e della vigilanza edilizia - servizio osservatorio del paesaggio e del territorio, sistemi informativi territoriali, che ha modificato i confini comunali di Buggerru;
- Sono state aggiornate le tavole All. 3G -- Carta geomorfologica, All. 1G -- Carta della pericolosità da frana, All. 8G -- Carta degli elementi a rischio, All. 10G -- Carta del rischio di frana; rappresentando i tematismi oltre il confine comunale a seguito dell'aggiornamento di quest'ultimo;
- È stata aggiornata e integrata, con analisi di dettaglio, la Carta geomorfologica finalizzata ad una lettura comparativa ed esaustiva con la zonazione della pericolosità da frana;
- Sono state approfondite descritte e documentate le situazioni dei dissesti potenziali e in atto che interessano il territorio comunale (si veda a tal proposito il paragrafo 9.1.1);
- È stata rivista corretta e aggiornata la zonazione della pericolosità da frana in aree studiate con maggiore dettaglio nello studio geomorfologico, nello specifico:
 - Località San Nicolò – C. Deschino
 - Località Arcu su Ludragu
 - Località Punta Pirastu
 - Località Serra Trigus – Su Zinnibiri
 - Località Planedda – Monte Regio
- Vengono forniti gli shapefile Hg, E, Rg con il taglio lungo il confine comunale e con il taglio oltre il confine comunale.

2 Definizione dell'area di studio e descrizione della zonazione del pericolo

2.1 Inquadramento territoriale

Il comune di Buggerru è situato nella zona sud-occidentale della Sardegna. Il comune fa parte della provincia del Sud Sardegna istituita il 4 Febbraio 2016.

Il suo territorio ricopre una superficie di quasi 50 kmq, caratterizzato dalla presenza di numerose miniere e grotte di origine carsica. Il territorio comunale è compreso tra la quota minima del livello del mare e la quota massima di circa 651 m slm, che si rileva sulle pendici di Monte Gennargentu.

L'area in esame è rappresentata topograficamente nel foglio n° 691 della carta d'Italia I.G.M. alla scala 1:100.000 ed è localizzata nella nuova cartografia a scala 1: 25.000 nelle sezioni 546-III e 555-IV.

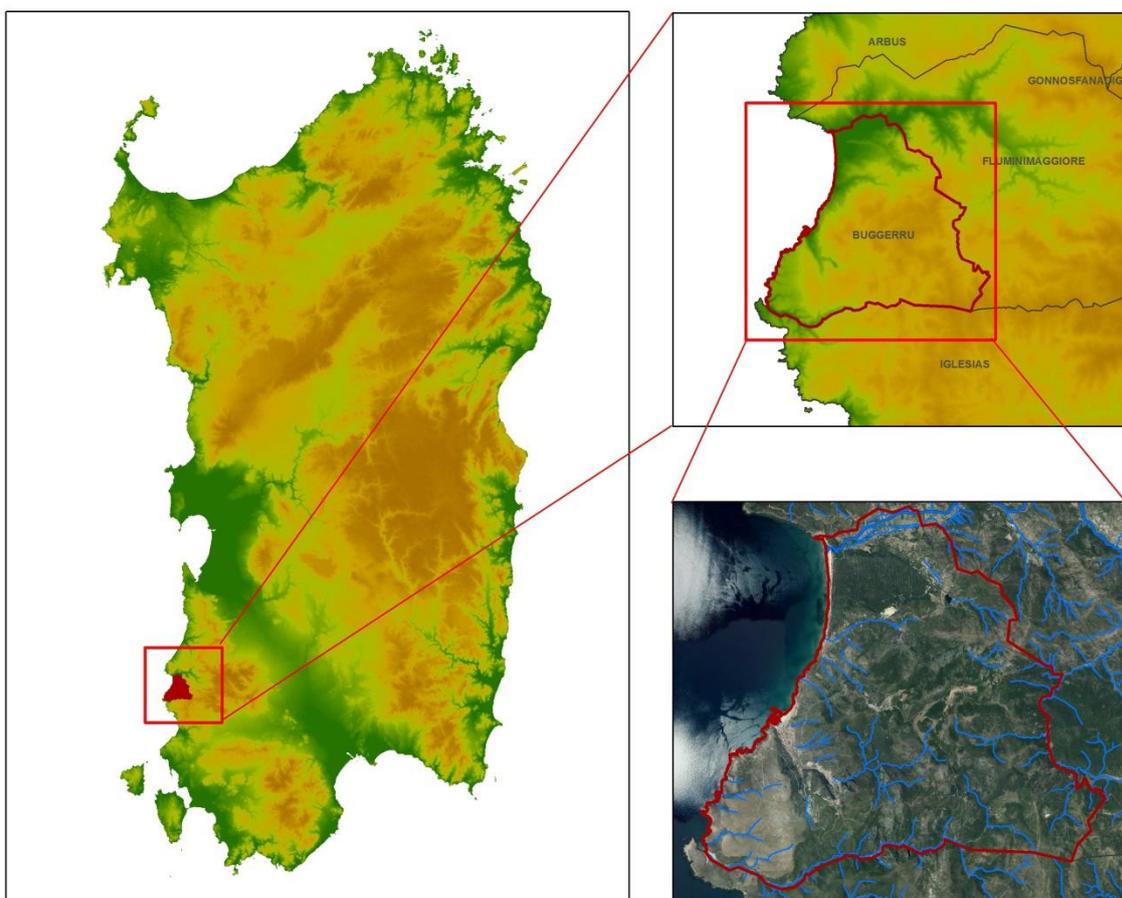


Figura 1: Inquadramento del territorio oggetto dello studio

3 Inquadramento geologico

La zona in studio è inclusa nella Provincia geopetrografica della Sardegna meridionale; questa area è situata stratigraficamente a ridosso delle formazioni antiche di età cambrico–ordoviciana, che caratterizzano la litologia della sub-zona geologica.

I caratteri geostrutturali presenti sono conseguenza della serie Cambro-Ordoviciana che ha subito gli effetti plicativi di due principali fasi orogenetiche: la *Caledoniana* e l'*Ercinica*; una terza orogenesi distensiva, detta *Alpina*, si osserva solo a livello di sbloccamento del substrato.

La prima ebbe inizio alla fine del Cambrico medio con la cosiddetta “*Fase Sarda*”, che avrebbe portato ad una emersione con conseguente interruzione della sedimentazione per tutto il Cambrico superiore.

Più intensa della prima fu la seconda orogenesi, quella *Ercinica*, le cui strutture si sovrapposero alle precedenti mascherandole o facendole sparire; per la differente resistenza alle spinte orogenetiche offerta dai vari litotipi, si ebbero strutture con pieghe disarmoniche a scaglie in anticlinali e sinclinali rotte.

L'orogenesi *Alpina* fu caratterizzata da una tettonica distensiva, con azioni esclusivamente disgiuntive, che si manifestarono con faglie dirette a ricalcare antiche linee tettoniche; si ebbero strutture ad “*Horst* (pilastro tettonico) e *Graben* (fossa tettonica)” e manifestazioni vulcaniche ai margini.

Spesso le discontinuità meccaniche e non, come fratturazioni, faglie, giunti di strato, scistosità con direzioni da N-W e NW-SE, si intersecano formando figure geometriche a losanga, a scala spesso decametrica ed in tale situazione si ha la possibilità di distacchi litoidi soprattutto sulle falesie e sui versanti molto acclivi in generale.

La geologia del territorio in osservazione, come riportata in dettaglio nella relativa carta geologica allegata al presente studio, è schematizzata di seguito:

Paleozoico

Cambriano

Partendo dal basso verso l'alto incontriamo:

Gruppo di Nebida (*Cambriano inferiore*)

Dal basso la successione inizia nel Cambriano inferiore con il Gruppo di Nebida costituito da due formazioni:

- alla base la *Formazione di Matoppa* costituita da sedimenti terrigeni ben stratificati con la presenza di lenti calcaree ad archeociatine ed alghe;
- nella parte alta dalla *Formazione di Punta Manna* costituita da silicoclastiti con alternanza di facies carbonatiche.

Gruppo di Gonnese (*Cambriano inferiore*)

E' costituito da sedimenti carbonatici e al cui interno si possono individuare due formazioni:

- alla base la *Formazione di Santa Barbara* costituita dalla dolomia rigata e dalla dolomia grigia massiva.
- nella parte alta la *Formazione di San Giovanni* con sedimenti calcarei, massivi e compatti di colore bianco-ceruleo, oppure grigio-bluaastro.

Gruppo di Iglesias (*Cambriano medio*)

Questo presenta la seguente successione dal basso verso l'alto:

- *Formazione di Campo Pisano* costituita da una fitta alternanza di sottili livelli di argilloscisti più o meno siltosi con struttura nodulare;
- *Formazione di Cabitza* costituita essenzialmente da una sequenza formata da un'alternanza ritmica di lamine argillitiche e siltitiche varicolori, anche carbonatiche con subordinati livelli di arenarie generalmente molto fini.

Ordoviciano

Le rocce attribuibili all'Ordoviciano autoctono sono suddivisibili in due sequenze principali, le quali sono separate da una discordanza angolare:

- la sequenza inferiore, la quale è formata dalla parte più alta della *Formazione di Cabitza*;
- la sequenza superiore la quale inizia con la "*Puddinga*" e finisce, senza apparenti discordanze con l'inizio delle litologie Siluriane.

Puddinga (Ordoviciano medio e superiore)

È caratterizzata da una grande eterogeneità, sono infatti, riscontrabili conglomerati con clasti appartenenti a tutti i gruppi sottostanti, a spigoli vivi o arrotondati e di dimensioni variabili, con alternanze di siltiti e arenarie.

La matrice arrossata dalla presenza di ossidi di ferro testimonia la presenza di una terra emersa notevolmente evoluta dal punto di vista pedogenetico, caratterizzata da clima variabile da quello intertropicale del Cambriano a quello periglaciale del Caradociano.

Postgotlandiano

Il Postgotlandiano è costituito da una formazione terrigena discordante sul siluriano, di ambiente continentale o di estuario a testimoniare una trasgressione carbonifera.

Ancora di notevole importanza è la cosiddetta successione clastica del "Postgotlandiano" auct. costituita prevalentemente da un'alternanza monotona di arenarie, siltiti e argilliti anchimetamorfiche, di colore grigio-verdastro e nerastro, con abbondanti e tipiche strutture sedimentarie (laminazioni, slumping, canali) riferibili a sistemi deposizionali di conoide e piana di bacino.

La successione inizia con arenarie e conglomerati poco potenti (da qualche metro a poche decine di metri), cui seguono alternanze ritmiche arenaceo-pelitiche molto spesse, di evidente deposizione torbiditica, con associazioni di facies tipiche di conoide esterna (torbiditi arenaceo-pelitiche, torbiditi pelitico-arenacee), con tendenza a piana di bacino nella porzione terminale della successione.

I limiti occidentali degli affioramenti postgotlandiani, costituirebbero il fronte di accavallamento di una unità di traslazione verso Ovest-Sud-Ovest e questa unità tettonica postgotlandiana viene denominata Unità dell'Arburese.

Quaternario

Olocene

È rappresentato da depositi alluvionali, depositi alluvionali terrazzati e depositi eolici, costituiti da sabbie, ghiaie, limi e argille sabbiose.

La formazione sabbiosa si è depositata nell'ultima fase di continentalità del complesso carbonatico scistoso ad opera dei venti.

I venti, orientati prevalentemente dai quadranti settentrionali, hanno rimosso e depositato materiali fini provenienti dal disfacimento degli altopiani granitici, immediatamente limitrofi nella zona a Nord Est delle formazioni sopra elencate.

La forma dei granuli è generalmente arrotondata, la dimensione degli stessi è prevalentemente equigranulare, per cui si ritiene siano di origine fluvio-deltizia.

La geologia del territorio di Buggerru è caratterizzata dalla presenza di rocce datate oltre 600 milioni di anni; le litologie affioranti nell'area vasta sono essenzialmente dalla serie Paleozoica Cambro-Ordoviciano costituita da rocce di natura sedimentaria che comprendono: calcari, calcari dolomitici e dolomie ed argilloscisti.

Il territorio comunale di Buggerru si inserisce nel contesto geologico del *Cambriano inferiore*, in un'area prettamente mineraria, che in passato è stata oggetto di importanti lavori di coltivazione per minerali di Piombo e Zinco.

La successione litologica locale è rappresentata dal basso verso l'alto:

- *Metarenarie, metasiltiti e metargilliti*, grigio verdastre in alternanze irregolari associate a livelli carbonatici ad Archeociatidi, ("*Membro di Matoppa*").
- *Metacalcari dolomitici e/o oolitici* nella parte superiore in banchi, lenti di metacalcari ed Archeociatidi e alghe, con intercalazioni di metasiltiti e quarzo areniti ("*Membro di Punta Manna*").
- *Dolomie e meta calcari* sottilmente laminati a tappeti e livelli oolitici, livelli di ossidi ed idrossidi di ferro e breccie intraformazionali ("*Membro della Dolomia rigata*" – *Formazione di Santa Barbara*).
- *Dolomie massive grigie* ("*Membro della Dolomia grigia*" – *Formazione di Santa Barbara*).
- *Metacalcari micritici* grigi o bluastri, generalmente massivi a grana fina, localmente stratificati, compatti e definiti microscopicamente come micro-spariti; essi mostrano frattura concoide ed aspetto "ceroidi", ("*Membro di Is Ollastus*" – *Formazione di San Giovanni*).

Queste litologie sono ovunque interessate da fenomeni carsici superficiali ed ipogei; ospitano spesso vaste aree brecciate con clasti di natura calcarea ben cementati spesso a matrice ematitica, originatesi in fase di continentalità probabilmente già dalla emersione preordoviciano.

L'Ordoviciano è costituito da due successioni separate da una discordanza angolare:

- una sequenza inferiore formata dalla parte sommitale della *Formazione di Cabitza*: *metargilliti, metasiltiti e metarenarie* varicolori in alternanze ritmiche, con frequenti strutture sedimentarie e rari livelli carbonatici ("*Membro degli argilloscisti di Cabitza*") - *Cambriano medio - Ordoviciano inferiore*;
- una sequenza superiore che inizia con la "*Puddinga*": *meta conglomerati poligenici*, eterometrici, in matrice siltoso argillosa rosso-violacea, *metarenarie, metasiltiti e metargilliti* basali varicolori *Formazione di Monte Argentu* dell'Ordoviciano *superiore* (Caradociano inferiore - medio) e termina senza apparente discontinuità con il Siluriano.

Sono presenti nel sito in studio limitate aree che mostrano tracce della presenza di litologie stratigraficamente posteriori al Paleozoico.

La più recente delle ere geologiche, il *Quaternario* è rappresentato da:

- depositi di spiaggia, depositi olocenici alluvionali;
- depositi di versante;
- arenarie marine ed eoliche;
- detriti di falda ed accumuli di pietrisco ai quali si aggiungono;
- le sabbie cementate dell'interglaciale *Riss- Würm*;
- campi dunali costieri imponenti;

- discariche, accumulate dall'uomo nel corso dello svolgimento dell'attività mineraria.

L'area nella quale è ubicato l'abitato di Buggerru è caratterizzata prevalentemente dalle Formazioni carbonatiche Cambriane sopradescritte.

Nel fondovalle, fino all'area portuale, è evidente la presenza di più recenti terreni sedimentari quaternari, formati da depositi detritici di versante (Olocene) originati dal disfacimento chimico e fisico-meccanico dei calcari.

Questi depositi si localizzano alla base del versante montuoso e nella parte alta rispetto alla vecchia laveria "La Marmora", dove risultano parzialmente coperti da macchia mediterranea e presentano evidenti segni di dilavamento causato dalla corrivazione superficiale delle acque meteoriche.

La dolomia "Grigia Massiva" è priva di stratificazione ed ha origine diagenetica; presenta un colore grigio chiaro o giallastro per alterazione ed è visibile lungo la parte inferiore di Punta Banderuola.

Il *Calcare Ceroide* (Membro di "Is Ollastus") è costituito da calcari perlopiù massivi a grana fina, localmente stratificati, compatti, con evidenti piegamenti per cui la morfologia appare aspra, con frequenti spuntoni di roccia e pareti sub-verticali prive di vegetazione.

Questi calcari definiti microscopicamente come micro-spariti, hanno frattura concoide, aspetto "ceroide" e colori che variano dal grigio perla al bluastro; gli spessori sembrano superare i 500 metri e sono in affioramento nell'area portuale.

Il passaggio al *Calcare Ceroide* non è facilmente riconoscibile a causa della presenza di una particolare facies di dolomia, detta "*Dolomia Gialla*", che maschera i contatti.

Le rocce carbonatiche presenti sono perlopiù massive, dure e compatte, mostrano assenza di alterazione limitata alle aree interessate dalla presenza di mineralizzazioni.

Queste litologie sono interessate da fenomeni carsici superficiali ed ipogei, spesso sono sede di vaste aree brecciate con clasti di natura calcarea ben cementati a matrice ematitica originatesi in fase di continentalità probabilmente ascrivibile alla emersione preordoviciana.

La degradabilità di questi litotipi è piuttosto lenta e risulta evidente solo a scala geologica.

Da una osservazione delle foto aeree e dal rilievo di campagna si sono individuate due principali direzioni di discontinuità all'interno degli ammassi rocciosi; la famiglia principale ha direzione N190°W e immersione 60°-70°W.

4 Inquadramento geomorfologico

L'area vasta in osservazione è posizionata nel settore centro meridionale della Sardegna ed è situata nella zona dell'Iglesiente.

Il paesaggio si caratterizza per la presenza di superfici arrotondate, creste ripide con presenza di numerose ed in molti casi rotture di pendio nette, con versanti in cui è marcata la presenza di detriti di falda.

Il paesaggio è, inoltre, caratterizzato dalle evidenze antropiche legate alle pregresse attività minerarie che hanno lasciato in eredità i segni evidenti del loro operato: scavi, detriti, residui delle laverie e vecchi ruderi.

Le montagne dell'Iglesiente, nel loro complesso mostrano forme regolari e poco differenziate.

L'area in studio mostra la presenza di una serie di creste impostate su litologie sedimentarie, metamorfiche ed eruttive, con un paesaggio caratterizzato da zone estremamente aspre alternate ad aree depresse con forme poco movimentate.

Tra queste aree occorre citare per la loro peculiare caratterizzazione le creste calcaree allineate secondo la direttrice Est – Ovest e quelle presenti tra la valle di Fluminimaggiore ed il mare con la presenza in alcuni punti di una stratificazione quasi verticale.

Le litologie su cui si è modellato il paesaggio sono rappresentate da arenarie, dolomie e calcari; su questi ultimi si sono sviluppate delle forme aspre e irregolari, mentre sulle dolomie, le forme sono più morbide e regolari.

Nell'area comunale urbanizzata si evidenzia nel settore portuale posizionato alle pendici settentrionali del rilievo di "Cuccuru Trebini", un contesto ambientale tipico delle formazioni calcaree cambriche dell'Iglesiente con numerose attività per la ricerca mineraria e le relative discariche che ne hanno caratterizzato l'attuale struttura morfologica e l'aspetto paesaggistico.

Sono presenti rilievi collinari calcarei paleozoici, che rapidamente declinano verso la costa alta a falesia.

L'abitato di Buggerru sorge in una gola degradante verso il mare sovrastato dai rilievi di *P.ta Perdosa* (496 m s.l.m.) e *M.te Malfidano* (535 m s.l.m.) ad Est; *M.te Cuccuru Trebini* (331 m s.l.m.) e *M.te Palma* (404 m s.l.m.) a SSW; *M.te Regio* (426 m s.l.m.) a Sud.

L'area di Monte Rosmarino ubicata sul versante Est della valle di Buggerru è inserita in un contesto ambientale tipico delle formazioni calcaree cambriche dell'Iglesiente, ove numerose attività per la ricerca mineraria e le relative discariche caratterizzano la struttura morfologica e paesaggistica del territorio.

Il versante sovrastante l'area portuale è caratterizzato da una morfologia rupestre che, in sommità, presenta pareti sub verticali con lame e piramidi instabili; un tratto del versante, quello prospiciente le vestigia della laveria "La Marmora", è caratterizzato da accumuli di detrito di versante, da ghiaioni e massi calcarei posizionati su pendenze rilevanti i quali frequentemente producono locali scivolamenti di sassi che raggiungono la strada e le aree prossime al porticciolo.

L'area portuale si colloca allo sbocco della valle di Buggerru che è una valle asimmetrica di origine tettonica (faglia inversa del canale di Buggerru), caratterizzata da una antica incisione fluviale profonda con residua presenza di depositi di versante.

Queste litologie danno luogo a differenti morfologie a seconda del differente grado di erodibilità e risposta alle azioni orogenetiche.

Le aree calcareo-dolomitiche mostrano rilievi arrotondati (*M.te Palma*, *Cuccuru Trebini*, *M.te Malfidano*), oppure ampi pianori (*Planu Sartu*, *Planedda*), ma non mancano le balze, i dirupi e le rotture di pendio originate dalle azioni tettoniche

(pieghe, faglie) e dal carsismo; quest'ultimo si è esplicato con imponenti fenomeni che diedero luogo a importanti cavità, il cui crollo ha causato morfologie "relitto" visibili oggi in diverse zone del territorio in esame.

Le rocce calcareo dolomitiche, in relazione al loro grado di fratturazione, ma soprattutto in funzione della loro differente struttura e composizione mineralogica, evidenziano differenze nei confronti della resistenza all'alterazione chimico-fisica e all'erosione.

I Calcari Ceroidi dal punto di vista geochimico, si caratterizzano per i fenomeni di dissoluzione e concrezionamento che ne hanno modificato le caratteristiche (*carsificazione*).

Tale fenomeno è diffuso alla scala superficiale e profonda con la creazione di cavità, doline, solchi di ruscellamento, micro-carsismo che rappresentano morfologie tipiche di ambienti carsici.

Le Dolomie, invece a differente composizione geochimica, si presentano quasi sempre, molto più resistenti dei calcari ai fenomeni di dissoluzione e alterazione; il carsismo in esse è fenomeno decisamente minore.

Su entrambe queste litologie, ma soprattutto quelle calcaree, l'azione disagregatrice degli agenti atmosferici, guidata dalla fratturazione, ha portato alla formazione di speroni rocciosi e più raramente blocchi isolati, nelle parti più esposte e superficiali degli affioramenti che, in concomitanza di pareti sub-verticali o pendenze elevate generano localmente, una pericolosità potenziale da frana per il possibile crollo, ribaltamento, scivolamento e rotolamento dei blocchi litoidi stessi.

Tali tipologie di frana sono le più significative riscontrabili in queste litologie e sono ipotizzabili, a prescindere dai tempi, con le attuali condizioni sismiche e climatiche.

In generale i caratteri geolitologici e strutturali dell'area in studio non escludono la possibilità di movimenti gravitativi profondi e volumetricamente significativi di materiali su versanti, come non sono da escludere fenomeni di scivolamento delle coltri detritiche presenti nelle incisioni vallive che, anche se appaiono in sostanziale equilibrio morfodinamico, in condizioni di intense e continue precipitazioni atmosferiche potrebbero essere attivate, dando origine a movimenti franosi superficiali sui pendii naturali.

Le caratteristiche generali sono più montuose che collinari pur avendosi altimetrie al di sotto dei 700 m (*M.te Segarino* 636 m s.l.m., *M.te Palma* 404 m s.l.m., *M.te Regio* 453 m s.l.m.).

Verso Nord domina la costa bassa e sabbiosa, con la spiaggia di *San Nicolò - Portixeddu* che si allunga per diversi chilometri sino al confine col territorio di Fluminimaggiore.

Le aree occupate dalle discariche minerarie presenti nell'abitato di Buggerru, evidenziano quanto la presenza mineraria ha caratterizzato la struttura morfologica e paesaggistica sui rilievi collinari calcarei paleozoici, che rapidamente declinano verso il fondo valle e la costa alta a falesia sul mare.

Il versante Est della valle di Buggerru, il meno acclive, ospita in modo discontinuo per una lunghezza di circa 800 m., i depositi antropici costituiti da pietrame calcareo delle discariche minerarie originate dalle operazioni di "cernita a mano" del minerale estratto, depositato tramite linea ferrata in oltre un secolo di attività.

L'area di *Caitas*, inserita all'ingresso del paese percorrendo la S.P. 83 da Sud, è caratterizzata da un contesto ambientale tipico delle formazioni calcaree cambriche dell'Iglesiente, dove si sono sviluppate numerose attività minerarie e le relative discariche condizionando l'attuale struttura morfologica e paesaggistica con i rilievi collinari calcarei

paleozoici, che delimitano la valle di Malfidano, la quale confluisce lungo l'attuale via Santa Barbara con la valle di Buggerru.

Le azioni tettoniche con pieghe, faglie inverse ed accavallamenti, accentuano in questa zona l'asprezza di taluni dirupi carbonatici, la cui stratificazione è spesso sub-verticale.

L'azione morfogenetica di queste litologie impostata sulla fratturazione, in presenza di pareti sub-verticali o pendenze elevate, può generare una pericolosità potenziale da frana.

4.1 Carsismo

Nel territorio comunale, per il notevole sviluppo areale delle formazioni carbonatiche, è diffuso il fenomeno carsico.

L'interesse di questo fenomeno è molto elevato dal punto di vista idrologico-scientifico per le abbondanti riserve d'acqua sotterranea che si possono accumulare nel sottosuolo e speleologico-turistico per la sua esplorazione.

Negli affioramenti carbonatici (dolomie e calcari), sede di fenomeni carsici di questo territorio è possibile distinguere *fenomeni carsici superficiali e profondi*.

Fenomeni superficiali

I "relitti" carsici superficiali di grandi dimensioni, sono poco diffusi; se ne osservano solo alcuni con forma ad anfiteatro, originati per crollo della volta di alcune cavità.

Il microcarsismo è invece maggiormente diffuso; si osservano "lapiez" (campi solcati), scannellature, fori di varie dimensioni e microdoline, mentre sulle superfici erosive compaiono spuntoni e scaglie.

La modesta presenza di appariscenti e diffuse manifestazioni superficiali può essere ricondotta al fatto che le rocce calcaree della zona sono piuttosto compatte e in parte ricristallizzate; il clima caldo locale fa evaporare subito le gocce di pioggia e la fratturazione spinta favorisce le azioni aggressive maggiormente in profondità, anche perché si ha una prevalenza areale delle dolomie rispetto ai calcari.

Fenomeni profondi

Il livello di carsificazione è massicciamente diffuso e probabilmente più evidente di quanto riscontrabile dalle emergenze superficiali; sono numerosissime le cavità incontrate in passato nei lavori minerari e dunque le grotte con sbocco all'esterno sono solo una parte del totale di quelle esistenti nel sottosuolo.

Molte cavità e soprattutto quelle verticali mostrano collegamenti con la tettonica; si tratta di pozzi e/o camini impostati su diaclasi, con fenomeni di crollo graviclastico lungo faglie dove la strutturazione tettonica è stata determinante per lo sviluppo del fenomeno.

Sono presenti anche morfologie derivanti da scorrimento idrico, seppure in misura minore che altrove; causa di ciò è la presenza dei condotti di deflusso delle acque carsiche che hanno portato alla creazione di collettori ipogei che drenano e convogliano le acque di ampi bacini carsici.

Le morfologie derivanti da erosione idrica sono ampiamente rappresentate da meandri, cupole, pozzi-cascata, marmitte, tubi freatici e paleo-livelli idrici. Sono note molte risorgenze a mare di acqua dolce lungo tutto il tratto di Buggerru.

4.2 Sinkholes

La presenza in questo territorio di litologie carbonatiche connesse alla circolazione d'acqua a loro interno, pone attenzione sulla eventuale presenza di fenomeni di *sinkholes*.

Questi fenomeni possono essere rappresentati con voragini in aree suscettibili a fenomeni di sprofondamento in presenza di un substrato carbonatico e di un potente pacco di depositi di copertura.

La notevole ed intensa attività mineraria sviluppatasi in questa zona, ha determinato molte implicazioni sul sistema idrico sotterraneo ed una sua eventuale interazione fra movimenti di corpi idrici in falda, gallerie minerarie e cavità ipogee da carsismo.

Tale interazione potrebbe rendersi responsabile di fenomeni di sprofondamento che si manifestano in superficie con l'apertura di voragini di forma in genere sub-circolare, con diametri medi di qualche decina di metri e profondità intorno alla decina di metri.

I *fattori predisponenti* da porre all'origine delle voragini sono: il substrato litoide cambrico di natura calcareo-dolomitica, interessato da strutture carsiche ipogee ed epigee, la circolazione delle acque sotterranee profonde, nonché la falda freatica presente nelle coperture continentali.

I *fattori innescanti* sono da ricercarsi nell'alterazione della dinamica delle falde sotterranee, ovvero nel repentino abbassamento del livello piezometrico per emungimento eccessivo e nei regimi pluviometrici con alternanza di periodi di siccità e di alluvionamento.

Infatti, il repentino abbassamento del livello piezometrico, comporta il crollo della copertura per perdita di equilibrio statico e ripercussione dei vuoti verso l'alto per compensazione.

Tuttavia, non possono essere escluse concause antropiche, quali l'alterazione dell'equilibrio statico per aumento del carico sovrastante o vibrazioni in corrispondenza di importanti infrastrutture viarie o ferroviarie.

Una lenta erosione potrebbe inoltre essere operata dalle acque di falda idrica superficiale nei confronti della roccia alterata e dei terreni clastici appartenenti alla copertura continentale.

I sedimenti sciolti asportati, vengono convogliati verso le cavità carsiche che determinano progressivi ampliamenti verticali ed orizzontali dei vuoti sotterranei.

La problematica legata alla presenza di *sinkholes* è di difficile identificazione e non può essere trascurata o dimenticata in questo territorio, ma attentamente presa in considerazione in presenza di nuove progettazioni, con sopralluoghi ed indagini specifiche in sito tali da escluderne la presenza.

5 Inquadramento idrogeologico

L'idrografia dell'area risulta influenzata dalla struttura geologica del substrato e dal regime pluviometrico; la forma del reticolo, orientato circa E-W può localmente variare con evidenti condizionamenti dovuti alla tettonica.

Le acclività sono localmente piuttosto elevate e ciò determina per le acque meteoriche, un elevato coefficiente di corrivazione con conseguente alta capacità erosiva.

Le litologie dominanti sono quelle calcareo – dolomitiche, dove il carsismo si è sviluppato e quindi, pur tenendo conto delle acclività e della posizione dell'area, una parte non secondaria delle precipitazioni segue percorsi superficiali ed ipogei sino al mare.

Nel territorio in studio le formazioni geologiche presenti mostrano caratteristiche idrogeologiche omogenee; solo a scala più vasta, possiamo raggrupparle in due grandi gruppi o Unità idrogeologiche principali: le rocce *carbonatiche* e quelle *arenaceo-argillitiche*.

- Le rocce *carbonatiche* composte da calcari e dolomie ad elevata permeabilità, costituiscono l'acquifero principale che, a causa del carsismo, ospita talvolta riserve d'acqua sotterranea.
- Le rocce *arenaceo-argillitiche* per la loro natura fungono da idrostruttura "impermeabile".

A queste due distinte Unità idrogeologiche, si deve aggiungere il *Complesso recente* costituito dalle sabbie del Quaternario.

Tale complesso, dotato di permeabilità elevata, raramente diventa sede di acquifero e nel caso in cui si riescano ad immagazzinare le acque costituiscono serbatoi limitati per estensione areale e per capacità.

La loro esistenza è sempre legata alla presenza di soglie di permeabilità per la presenza verso il basso di zone impermeabili argillose o lenti di materiale ghiaioso conglomeratico ad elevata cementazione.

I fenomeni carsici superficiali di grandi dimensioni sono poco diffusi; nel territorio si osservano solo alcuni relitti carsici con forma ad anfiteatro, originati per crollo della volta di ampie cavità.

Segni di questo fenomeno, sono le grandi aree brecciate caratteristiche ed associate alle mineralizzazioni; tali fenomeni comportano per la presenza delle sacche "calaminari", spesso argillificate e per la presenza di brecce molto cementate, una sensibile riduzione della permeabilità di queste rocce.

Le acque dolci del territorio sono da collegarsi direttamente alle precipitazioni meteoriche ed una considerevole porzione di queste acque è destinata a ritornare rapidamente all'atmosfera per effetto dell'evapotraspirazione che nell' Isola è particolarmente elevata per le alte temperature, per la frequenza con cui soffiano i venti e per l'elevata percentuale di giorni soleggiati.

Un'altra frazione viene trattenuta direttamente dalla vegetazione e l'acqua restante rappresenta almeno la metà di quella originariamente pervenuta; parte scorrendo sulla superficie emersa e parte infiltrandosi nel sottosuolo.

Il reticolo idrografico risulta fortemente influenzato da fattori strutturali, con le valli che sono impostate lungo le faglie e le fratture esistenti ed in periodi particolarmente piovosi lo scorrimento superficiale di dette acque origina fenomeni di erosione incanalata e diffusa.

L'idrografia nell'area vasta è inserita all'interno del bacino del *Rio Mannu* di Fluminimaggiore; non esistono corsi d'acqua permanenti nella valle del paese di Buggerru e non sono state rilevate emergenze della falda nell'area urbanizzata.

Sulla base del regime di precipitazioni e della natura geologica del territorio i corsi d'acqua presenti sono limitati alla parte terminale del *Rio Mannu* di Fluminimaggiore che sfocia a *Portixeddu*, in territorio di Buggerru.

6 Inquadramento geopedologico

La natura litologica del substrato e la sua giacitura forniscono al territorio comunale di Buggerru terreni con scarse caratteristiche geopedologiche, per cui non si rinvengono estese aree nelle quali si possa svolgere e sviluppare una attività di tipo agricolo.

Siamo in presenza di un territorio montuoso-collinare con una morfologia aspra, scarsamente coperto da vegetazione ed interessato da una intensa attività estrattiva mineraria che ormai è dismessa, ma che mostra ancora oggi i segni della sua presenza con forme antropiche che hanno modellato e caratterizzano la sua attuale morfologia.

Le aree carbonatiche sono in genere rappresentate da suoli poveri a scarsissimo spessore, spesso ricchi in scheletro, perlopiù costituiti dalle classiche terre rosse dei calcari alternati ad ampi tratti di affioramenti rocciosi.

In sintesi, il principale gruppo pedologico riscontrato sui paesaggi calcarei, secondo lo schema tassonomico della *Soil Taxonomy*, è quello degli *Entisuoli*, appartenenti al gruppo dei *Lithic Xerorthents*, con scheletro grossolano variabile, a tessitura prevalente mutabile tra l'argillosa e l'argillosa sabbiosa.

In sub ordine *Rhodoxeralfs* e *Xerochrepts* che talora presentano pietrosità elevata, scarsa profondità, mediamente permeabili e forte pericolo di erosione.

Sui depositi alluvionali si trovano dei suoli a debole e modesto sviluppo, poco profondi da sabbiosi a sabbioso – franchi (*Typic Haploxeralfs*), da permeabili a molto permeabili, da neutri a subalcalini, saturi, privi di orizzonti pedogenetici o assai poco evidenti.

Questo territorio è in generale scarsamente ricoperto dalla vegetazione e mostra anche segni di degrado conseguente al taglio di alberi effettuato dai taglialegna nella seconda metà del secolo scorso, dal taglio del legname per uso minerario, dalla stessa attività mineraria di ricerca e di superficie (scavi a cielo aperto), dagli incendi boschivi e dal pascolo.

Sono presenti poche e limitate aree di bosco a *Leccio*, *Sughera*, più raramente a *Ginepro*, con *Erica*, *Corbezzolo* e *Olivastro* con un rigoglioso sottobosco costituito da *Felci*, *Muschi*, *Agrifoglio* e *Licheni*.

A quote più basse si rinviene la macchia mediterranea bassa rappresentata da *Erica*, *Cisto*, *Ginestra*, *Mirto*, *Lentischio* e *Rosmarino*.

Sono presenti opere di riforestazione a conifere ed acacia attorno al centro abitato e sul litorale di S.Nicolò; queste opere oggi sono ben sviluppate che hanno favorito lo sviluppo di una folta vegetazione autoctona a macchia mediterranea ad alto fusto.

7 Inquadramento geotecnico

Viene di seguito proposto un inquadramento geotecnico di massima, premesso che tale valutazione non può prescindere e quindi essere sostitutiva di indagini puntuali eseguite in situ e di indispensabili analisi specifiche di laboratorio che identifichino i parametri geotecnici dei terreni indagati.

Si specifica, inoltre, che le caratteristiche geotecniche dei terreni e delle rocce devono essere effettuate alla scala di dettaglio di eventuali singoli interventi progettuali.

In tal senso devono essere eseguite prove penetrometri che SPT, prove di laboratorio, classificazioni CNR-UNI 10006, prove di taglio dirette e prove edometriche, su campioni significativi prelevati nei sondaggi e/o pozzetti.

Queste indagini devono anche riguardare le caratteristiche geologico-tecniche dell'area vasta sottoposta a trasformazione ed in tal senso devono permettere l'accertamento di situazioni di pericolo reali o potenziali ante e post-intervento.

I dati ottenuti dalle indagini permettono di indicare parametri ai quali riferire le caratteristiche geotecniche e geomeccaniche delle terre e delle rocce, mirate alla realizzazione e al dimensionamento di opere in situ, in rapporto alla stabilità globale dell'insieme opera – terreno.

L'obbligatorietà di questi studi è motivata dal fatto che la conoscenza della situazione geotecnica di un dato territorio può permettere, in certi casi, notevoli risparmi in fase costruttiva qualora, a parità di altri fattori, esistano zone vicine con caratteristiche geotecniche scadenti ed altre invece con caratteristiche elevate.

Tale conoscenza può, tra l'altro, evitare il sovradimensionamento delle opere di fondazione, con aumenti anche notevoli dei costi delle opere o l'adozione di fondazioni inadeguate.

7.1 Risultati di indagini pregresse in situ e in laboratorio

I più significativi passaggi litologici presenti nel territorio comunale, in particolare dell'area urbanizzata, sono stati indagati a seguito di indagini di laboratorio (prove di taglio, coesione, angolo d'attrito e peso di volume) e l'esecuzione di pozzetti geognostici per lavorazioni eseguite (ancoraggi, chiodature, barriere e muri paramassi) finalizzate, in tempi passati, alla stabilizzazione dei versanti sovrastanti la zona urbanizzata; questi hanno evidenziato le seguenti caratteristiche geotecniche.

Depositi di versante olocenici

Le prove di taglio in laboratorio hanno messo in evidenza una coesione praticamente nulla e un angolo di attrito interno attorno ai 27°, rappresentativo del materiale sabbioso che costituisce la parte fine del deposito di versante.

Dalle analisi granulometriche il materiale presenta un medio - basso contenuto in argilla e limo e la frazione granulometrica predominante è formata da ghiaia.

Emerge una generale situazione di buoni e ottimi valori di portanza, soprattutto dove si riscontra la presenza sul piano di fondazione del basamento carbonatico.

Le caratteristiche geotecniche dei terreni indagati sono risultate generalmente buone, con valore di angolo di attrito (φ) mediamente intorno ai 32° - 35°, portanza (Q_a) di 5,44 Kg/cm² che, seppure trattato applicando opportuni valori di riduzione per terreni scarsamente addensati, si mostra sempre superiore a 1.5 Kg/cm².

Per le aree dei versanti, dove affiora il basamento carbonatico (calcereo-dolomitico) l'inquadramento geomeccanico, è stato eseguito utilizzando studi recenti e metodi di analisi e classificazione per ammassi rocciosi e opere in sottosuolo, che si rifanno a BIENIAWSKY (C.S.I.R.- *Council for Scientific and Industrial Research*), con il completo rilevamento

delle discontinuità meccaniche: direzione, immersione, inclinazione, stato dei giunti e loro rugosità, spaziatura ed eventuale presenza d'acqua.

Sono state prese in considerazione, inoltre, lo stato di alterazione della roccia, le aree interessate da mineralizzazione e carsificazione, ed eseguito il prelievo di campioni per lo studio della resistenza a carico puntuale (*Point load test index*).

Le caratteristiche dell'ammasso roccioso, a seguito di numerose prove sclerometriche, alla base del versante in prossimità del contatto dolomia calcare e la successiva elaborazione dei dati ottenuti ha fornito valori di resistenza alla compressione per la dolomia di 125 MPa e per il calcare di 140 MPa.

Schematicamente, si alternano affioramenti di roccia aventi caratteristiche geomeccaniche buone e discrete che vengono di seguito così indicate:

1) *Rocce competenti* con medie caratteristiche di auto sostentamento, caratterizzate da una intensità di fratturazione limitata, non degradate, in genere sane, stabili e raramente soggette a caduta di blocchi o frammenti circoscritti; il comportamento della roccia non è influenzato dall'acqua.

A questa categoria, corrispondono le rocce appartenenti alla *Classe II* della classificazione C.S.I.R. che fa riferimento al metodo BIENIAWSKY; queste rocce sono considerate buone, con parametro R.M.R (sistema Rock Mass Rating) compreso tra 61-80.

2) *Rocce mediamente fratturate* e con modesto grado di alterazione, scomposizione per fratturazione e stratificazione a prevalente separazione decimetrica; si ha presenza di porzioni a bassa resistenza e tendenza di distacchi di porzioni di roccia.

A questa categoria corrispondono rocce appartenenti alla *Classe III* della classificazione soprammenzionata; queste rocce sono considerate "discrete", con parametro R.M.R. compreso tra 41 e 60.

7.2 Caratteri geotecnici dei litotipi presenti

Sulla base delle caratteristiche geolitologiche del settore del territorio comprendente la valle di Buggerru, in riferimento alla litologia, alla valutazione dello stato di aggregazione, al grado di alterazione e del conseguente comportamento geomeccanico che le singole unità assumono nei confronti dei possibili interventi insediativi e infrastrutturali, è possibile aggregare i litotipi presenti nell'area, secondo la seguente classificazione:

- *litotipi coerenti* – metacalcari e metadolomie, non stratificate e localmente fratturate;
- *litotipi semi-coerenti* – materiale granulare cementato o molto addensato a grana prevalentemente grossolana;
- *litotipi incoerenti* – materiale detritico eterogeneo ed eterometrico;
- *litotipi incoerenti* – materiale granulare sciolto/poco addensato a prevalenza sabbiosa.

I settori nei quali è presente l'edificazione, sono rappresentati da:

- Centro urbano di Buggerru-area di fondovalle: prevalenza di *litotipi semi-coerenti*, materiale granulare cementato o molto addensato a grana prevalentemente grossolana.
- Centro urbano di Buggerru-area portuale: prevalenza di *litotipi coerenti* costituiti da metacalcari e metadolomie, non stratificate, localmente fratturate con presenza di *litotipi incoerenti* sul versante, rappresentati da litologie eluvio colluviali degradanti a sabbie e suoli con notevole antropizzazione.

Nella parte altimetricamente più elevata, si evidenzia la presenza di affioramenti litoidi *coerenti* di natura carbonatica che, caratterizzati dal punto di vista geotecnico, presentano buone caratteristiche di resistenza.

Per ciò che concerne i *litotipi semi-coerenti* e *incoerenti*, presenti nelle porzioni vallive inferiori, considerata la variabilità locale di tali sedimenti, si ritiene indispensabile eseguire una accurata indagine utilizzando, oltre ai sopralluoghi sul campo, la documentazione di precedenti lavori di indagine.

8 Pericolosità da frana pregressa

8.1 Piano stralcio per l'assetto idrogeologico

Parte del territorio comunale di Buggerru è già stato mappato dal P.A.I., che riconosce nel territorio comunale aree a pericolosità da frana Hg1, Hg2 e Hg3. Tuttavia, il territorio è stato oggetto solo di uno studio parziale, che si intende dettagliare ed ampliare all'intero territorio comunale con la presente Variante.

8.2 Inventario dei fenomeni franosi in Italia

L'Inventario dei Fenomeni franosi italiani identifica in nel territorio comunale di Buggerru diversi fenomeni franosi, alcuni dei quali localizzati sulla 126, al confine con il Comune di Fluminimaggiore, ed altri in prossimità dell'abitato. Le frane identificate sono di tipo diffuso, caratterizzate da crolli e ribaltamenti.

La Tabella 1 riporta l'elenco delle frane identificate e la loro classificazione nel suddetto inventario.

Si può osservare le che aree mappate dal PAI succitate ricadono in corrispondenza di tali fenomeni,

id frana	movimento	attivit�	litologia	metodo	danno
0920026101	Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi	Attivo/riattivato/sospeso	rocce carbonatiche	Rilevamento sul terreno	Nuclei/centri abitati, Strade
0920026001	Attivo/riattivato/sospeso	Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi	rocce carbonatiche	Rilevamento sul terreno	Nuclei/centri abitati, Strade
0920025801	Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi	Attivo/riattivato/sospeso	rocce carbonatiche	Rilevamento sul terreno	Strade, Opere di sistemazione
0920026201	Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi	Attivo/riattivato/sospeso	rocce carbonatiche	Rilevamento sul terreno	Strade
0920027200	Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi	Attivo/riattivato/sospeso	rocce carbonatiche	Rilevamento sul terreno	Opere di sistemazione, Strade
0920026900	Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi	Attivo/riattivato/sospeso	r. metamorfiche poco o nulla foliate	Rilevamento sul terreno	Strade, Opere di sistemazione
0920026500	Aree soggette a frane superficiali diffuse	Stabilizzato	detriti	Rilevamento sul terreno	Nuclei/centri abitati, Strade
0920026600	Aree soggette a frane superficiali diffuse	Attivo/riattivato/sospeso	detriti	Rilevamento sul terreno	Strade
0920026400	Aree soggette a frane superficiali diffuse	Stabilizzato	detriti	Rilevamento sul terreno	Nuclei/centri abitati, Strade

Tabella 1: Inventario dei fenomeni franosi per il Comune di Buggerru.

8.2.1 Aree vulnerate italiane

Il database AVI riporta quattro fenomeni franosi per il territorio di Buggerru.

Il fenomeno con ID 600045 verificatosi l/8/8/1974 riguarda lo sfondamento di una delle due dighe di contenimento dei residui di lavorazione della miniera Pb-Zn che ha causato lo sversamento di sterili in mare e danni di inquinamento chimico. Il fenomeno ID 2001875 rilevato da Barroccu e Barbieri nel 1987 riferisce di fenomeni in centro urbano per il quale era previsto all'epoca un progetto preliminare di lavoro di consolidamento e recupero ambientale dei versanti a monte dell'abitato redatto dalla Provincia di Cagliari per una spesa di 3,3 miliardi di lire.

Sono inoltre indicati altri tre eventi negli anni '80 sui quali non si hanno dettagli (ID2000385, 600094, 2001395).

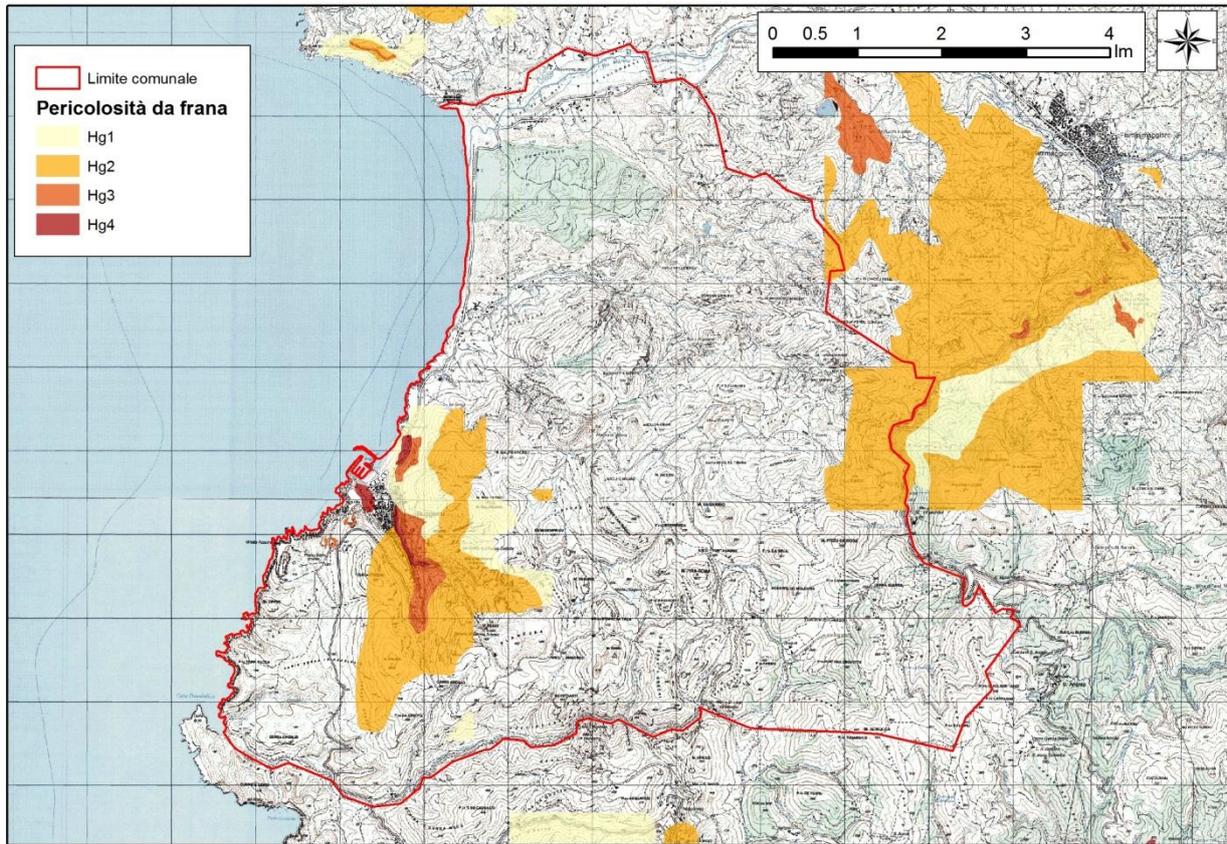


Figura 2: Pericolosità da frana. Fonte: P.A.I.

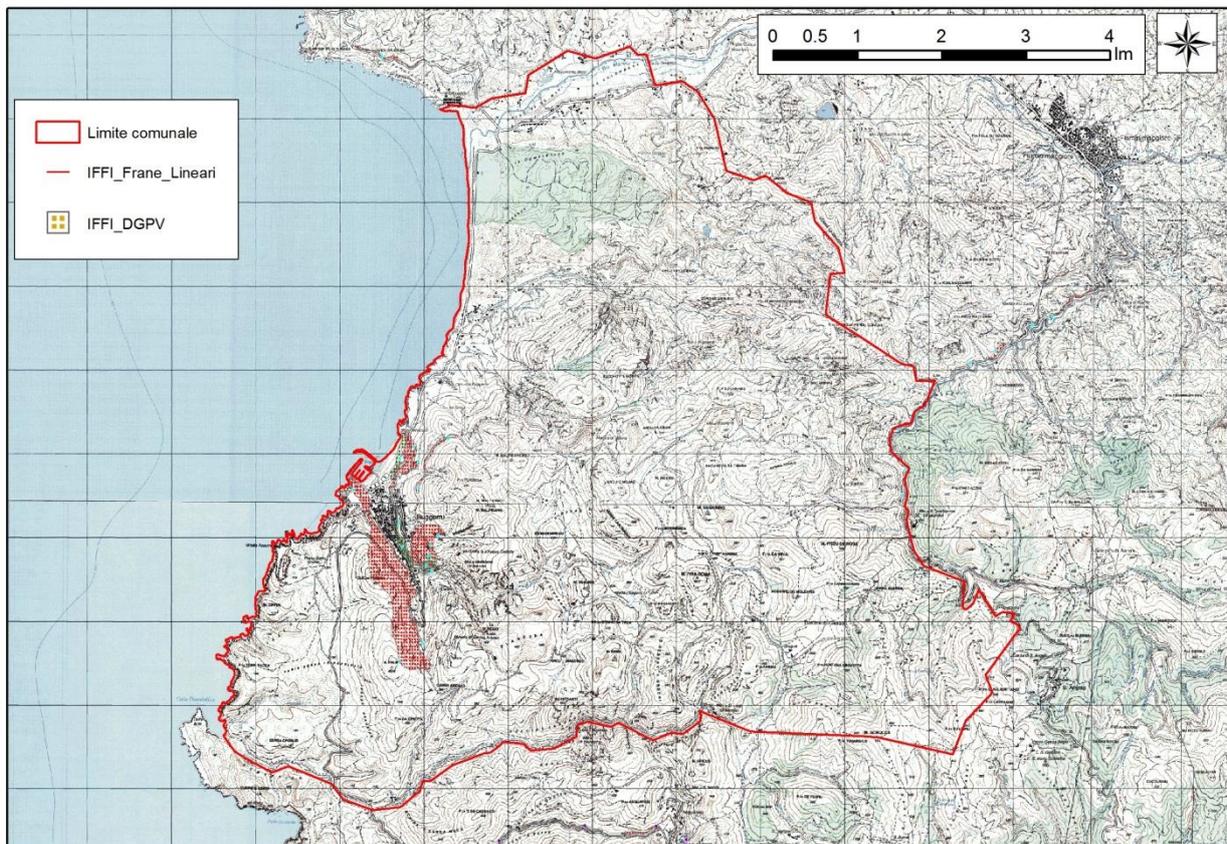


Figura 3: Pericolosità da frana. Fonte: P.A.I.

9 Metodologia di zonizzazione

La metodologia proposta per la realizzazione della Carta della pericolosità da frana, si basa su una serie di esperienze, disponibili nella documentazione bibliografica tecnica, ampiamente documentate. Il principio comune su cui si basano le diverse metodologie, volte alla definizione di aree caratterizzate da una diversa propensione al dissesto, è l'analisi dei dissesti, al fine di individuare le condizioni in cui essi si verificano, e la valutazione dell'influenza che tali condizioni rivestono. Le conoscenze acquisite vengono poi utilizzate per individuare se le condizioni riscontrate sussistano nelle aree non interessate da fenomeni di instabilità, al fine di prevenirne il manifestarsi.

La consiste nella predisposizione di alcune carte tematiche che rappresentano, rispettivamente i fenomeni geomorfologici esistenti sul territorio e i singoli fattori predisponenti alla franosità; e nella verifica attraverso l'incrocio e la sovrapposizione (overlay) di queste carte, secondo il diagramma di flusso schematizzato in Figura 4. Tale diagramma fa riferimento alla metodologia originaria proposta delle Linee Guida del P.A.I. del 2000 e nella sua Relazione Generale del 2004. Nella metodologia attuata per il presente studio, seguendo le modalità di attuazione dello studio di Variante del Sub-Bacino 3¹, non si sono considerate le carte dei fattori climatici e dell'esposizione dei versanti.

Mutuando la metodologia del succitato studio di Variante, si è scelto di utilizzare la metodologia PAI senza modifiche per il calcolo dell'instabilità potenziale, procedendo in seguito ad una conversione della stessa in termini di pericolosità sulla base dei risultati delle indagini in campo e dell'attività di fotointerpretazione, e quindi degli esiti della caratterizzazione geomorfologica. Tale analisi critica ha permesso di escludere le aree in cui, per i motivi sopra citati, si aveva una evidente sopravvalutazione dell'instabilità potenziale ovvero dove tale parametro non aveva riscontro con la pericolosità reale.

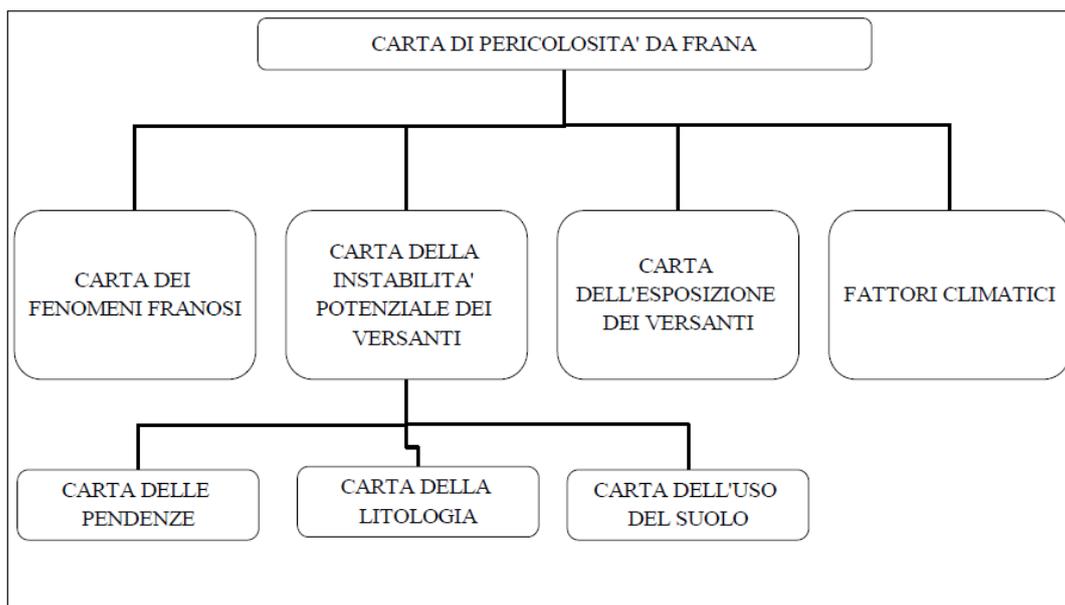


Figura 4: Schema metodologico per la redazione della Carta di Pericolosità da Frana

9.1 Carta geomorfologica e dei fenomeni franosi

Quali fonti di informazione per la predisposizione della carta dei fenomeni franosi sono state considerate le informazioni disponibili archiviate dal Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche (GNDCICNR) nell'ambito del progetto Aree vulnerate italiane (AVI), e la documentazione elaborata dal Servizio Geologico Nazionale (Miscellanea VII, 1996). E' stato inoltre considerato il Progetto IFFI - Inventario dei fenomeni

¹ Studio di dettaglio e approfondimento del quadro conoscitivo della pericolosità e del rischio da frana nel sub bacino n°3 Coghinas – Mannu –Temo. Progetto di variante generale e di revisione del Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna (di cui all'Art. 37, comma 1, delle vigenti Norme di Attuazione) - Redazione e consegna di un prototipo dello studio Report attività di determinazione delle aree a pericolosità da frana - Report attività aree a pericolosità da frana - Marzo 2013

franosì in Italia, realizzato dall'ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome, che fornisce un quadro dettagliato sulla distribuzione dei fenomeni franosi sul territorio italiano. La ricognizione documentale dei fenomeni pregressi effettuata nella fase di studio preliminare non ha evidenziato la presenza all'interno del comune di aree individuate da censimenti pregressi, in particolare dal censimento IFFI.

Successivamente all'analisi documentale si è proceduto, così come previsto dalle Linee Guida del PAI, al rilievo e alla restituzione dei dissesti e i fenomeni morfologici esistenti. Al fine di identificare i fenomeni franosi, fondamentale è stata la conoscenza diretta del territorio, acquisita tramite l'analisi di campo e le informazioni reperite direttamente dai tecnici comunali e l'individuazione degli interventi di stabilizzazione realizzati o in via di progettazione e/o realizzazione. A seguito dei sopralluoghi, si è proceduto all'individuazione su carta delle aree di dissesto, e le informazioni di georeferenziazione delle frane reperite da sopralluogo sono state integrate dall'uso delle foto aeree recenti. Questo ha permesso di verificare, ed eventualmente ampliare, le aree di dissesto. Lo studio del territorio è stato effettuato a scala di dettaglio non inferiore a 1:10.000, come richiesto dalle Linee guida; e restituito in scala 1: 10.000.

Le analisi ed i sopralluoghi eseguiti il territorio di Buggerru hanno evidenziano i principali fattori a cui è sottoposto il territorio comunale ed in particolare:

- il crollo e distacco di blocchi dai costoni rocciosi con varie tipologie di franamento;
- la rimobilizzazione dei depositi di versante e delle discariche minerarie in presenza di pendenza elevata ed in assenza di copertura vegetale;
- l'erosione per dilavamento diffuso e per ruscellamento concentrato sui versanti, dove la copertura vegetale si presenta intensamente degradata; in tal senso si evidenziano sui versanti fenomeni erosivi dovuti ad incisioni calanchive;
- l'esondazione dei corsi d'acqua nei fondivalle, in presenza di forti e prolungate precipitazioni atmosferiche.

Questi fenomeni sono spesso amplificati o associato a fenomeni di instabilità dalla presenza di tracciati stradali e piste a supporto della attività mineraria.

Il movimento terra a mezza costa sui versanti e la realizzazione degli stessi manufatti stradali, realizzati senza un adeguato sistema di smaltimento delle acque superficiali, ha innescato fenomeni di erosione localizzata e in alcuni casi di scalzamento del piano stradale lungo tracciati non stabilizzati, predisponendo lo stesso ad erosione accelerata con fenomeni di smottamento che hanno interessato la stessa strada.

La viabilità dei tracciati esistenti deve essere adeguata alle attuali necessità e migliorata, evitando al massimo i movimenti terra e predisponendo un adeguato sistema di smaltimento delle acque superficiali, per evitare l'instaurarsi di fenomeni di erosione localizzata lungo i tracciati stradali non stabilizzati.

Inoltre, deve essere garantito il regolare drenaggio delle acque incanalate attraverso periodici interventi di pulizia degli alvei e dei ponti.

9.1.1 Dissesti potenziali e in atto

Lo studio del territorio comunale, finalizzato alla individuazione delle litologie affioranti e delle forme e dei processi geomorfologici, connessi con l'evoluzione del paesaggio e con la dinamica evolutiva attuale, ha consentito la specifica lettura dei fenomeni di dissesto e successivamente la definizione della pericolosità geomorfologica ad essi conseguente.

Sono state individuate forme connesse alla struttura e forme di degradazione che diffusamente interessano i versanti ed è stato possibile osservare come le caratteristiche litologiche, strutturali, giaciture, di fratturazione e di alterazione degli ammassi rocciosi costituiscano una determinante nella predisposizione dei pendii al dissesto.

Gli agenti atmosferici, acqua, vento, radiazione solare, ecc., ma anche le azioni antropiche che hanno interessato e dissestato profondamente il territorio sono invece le cause scatenanti di fenomeni franosi che interessano i pendii, con

maggiore intensità laddove questi presentano elevata energia di rilievo, ammassi rocciosi con scadenti caratteristiche geomeccaniche e scarsa o assente copertura vegetale.

I fenomeni franosi prevalentemente riscontrati, sia nella zona interna e sia nel tratto costiero, sono crolli e ribaltamenti di elementi lapidei singoli di varia pezzatura o di porzioni di variabile volume di ammassi rocciosi, con conseguente movimentazione dei detriti lungo i pendii in relazione alla massa franata, alla forma degli elementi movimentati, alla energia del rilievo e alla tipologia e densità della copertura vegetale.

Sono state riscontrate aree in cui si manifesta il fenomeno di dilavamento diffuso che spesso evolve in processi di deflusso incanalato, con generazione di forme di dissesto che interessano i pendii con asportazione della copertura detritica e pedologica e maggiore vulnerabilità verso fenomeni di dissesto in massa che possono interessare gli ammassi rocciosi esposti in cornici e creste.

9.1.1.1 Centro abitato

Versante ovest

Nell'area a ridosso del centro abitato e a monte di questa, sono presenti sistemi di protezione attiva e passiva da eventuali fenomeni di franamento sul versante, che può essere in questa situazione associato al crollo di blocchi litoidi isolati anche di grosse dimensioni e/o di materiale detritico di varie pezzature. All'osservazione in situ si individuano puntualmente e localmente situazioni di instabilità potenziale di blocchi isolati o di materiale detritico di dimensioni variabili. Tale materiale dovrebbe essere intercettato e/o contenuto dagli attuali sistemi di protezione, tuttavia si ritiene, comunque, opportuno un monitoraggio costante del versante al fine di verificare il corretto funzionamento di questi presidi di protezione.



Figura 5: Veduta da Est del versante Ovest con il muro di contenimento della S.P.83.



Figura 6: Particolare versante Ovest sul quale si sviluppa il tracciato della S.P. 83.

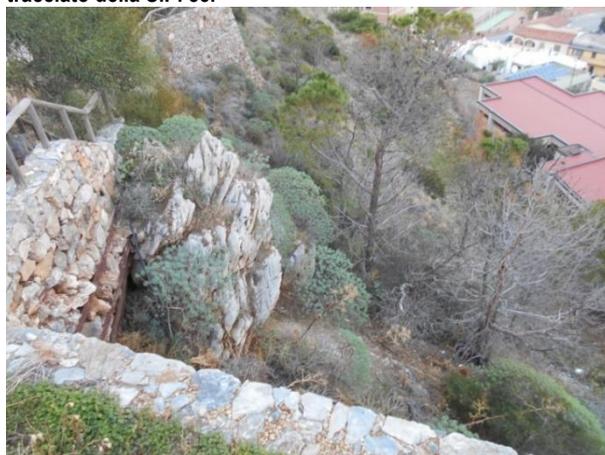
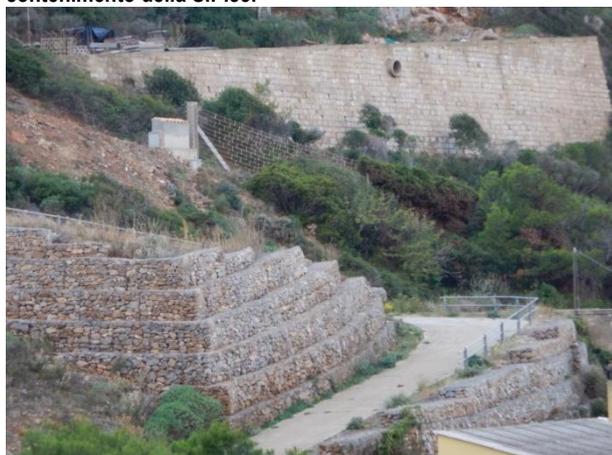


Figura 7: Sistemi di protezione da frana nel versante Ovest con gabbionate e muri di contenimento in pietrame.



Figura 8: Versante Ovest (particolare): “ancoraggio” masso in condizioni di precario equilibrio.

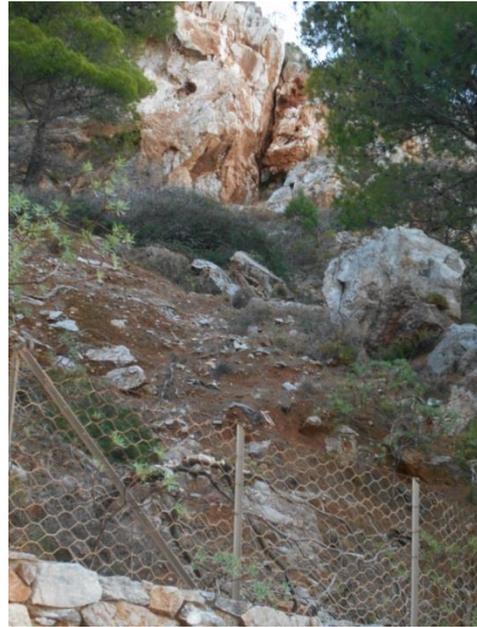


Figura 9: Versante Ovest (particolare): deposito di frana, con situazione di instabilità potenziale dell’ammasso roccioso a monte, nel quale sono presenti lineazioni di fratturazione e fenomeni di alterazione superficiale.



Figura 10: Veduta d’insieme del versante Ovest dal porto.



Figura 11: Versante Ovest (particolare): condizioni di alterazione superficiale su cornici rocciose aggettanti.



Figura 12: Deposito di versante a ridosso del porto con fenomeni di colamento per azione delle acque piovane di corrivazione.



Muri di contenimento, gabbionate, barriere e reti paramassi



Muri di contenimento e gabbionate



Reti paramassi in aderenza



Gabbionate e barriere paramassi



Reti paramassi in aderenza



Muri di contenimento e reti paramassi



Reti paramassi; nella parte bassa si evidenzia il "contenimento" di un masso franato.

Figura 13: Sistemi di protezione del centro abitato - area porto

Versante Est dell'abitato

La strada provinciale 83 continua il suo tracciato in questo versante, per alcuni tratti sopra le discariche minerarie residuo di lavorazioni nel sottosuolo dell'area circostante e in alcuni casi ne attraversa il corpo a mezza costa (da Figura 14 a Figura 17).

Fenomeni di franamento attivo sono presenti e sono stati segnalati a gennaio del 2018, in particolare sul Monte Rosmarino di questo versante (Figura 19).



Figura 14: Discarica mineraria a valle della S.P.



Figura 15: Discarica mineraria a monte della S.P.



Figura 16: Discarica mineraria a valle della provinciale



Figura 17: Strada provinciale ripresa da monte



Figura 18: Discarica mineraria sul versante



Figura 19: Manifestazione fenomeno di frana per rotolamento (versante Est valle di Buggerru), segnalato il 24 gennaio 2018.

Area a monte dell'abitato – Strada principale d'accesso al Paese

In questa zona sono presenti discariche minerarie stabilizzate con sistemi di ingegneria naturalistica, gabbionate e inerbimento. Tali sistemi, oramai datati, iniziano a mostrare segni di degrado e perdita, anche se parziale della loro funzione originaria come evidenziato in Figura 20; si ritiene, nello specifico, per quelli in prossimità della viabilità e di alcuni manufatti, una manutenzione e, in generale, una verifica di tutto lo stato di conservazione dei materiali utilizzati per realizzare tali opere e del loro perfetto funzionamento.



Figura 20: Stabilizzazione delle discariche minerarie

9.1.1.2 Versanti

Nella individuazione e differenziazione dei fenomeni gravitativi di versante è stato importante valutare le caratteristiche litologiche e strutturali degli ammassi rocciosi che affiorano lungo i pendii ed in particolare nei settori di versante di alta quota.

Di fatto si evidenzia in linea generale che le metarenarie, metapeliti, metargilliti, ecc. sono caratterizzate da una fratturazione molto intensa connessa alla scistosità, mentre i metacalcari e le dolomie primarie e metamorfiche, sono caratterizzate da un sistema di fratturazione meno intenso, ma comunque pervasivo ed inoltre da forme di alterazione dovute al carsismo.

Questa principale differenziazione si associa alle modalità con cui gli ammassi rocciosi tendono a franare.

Nel caso delle rocce scistose si osserva che i dissesti sono prevalentemente generati dalla movimentazione di porzioni di ammasso roccioso con elementi di varia pezzatura, ma prevalentemente della dimensione dei blocchi, dei ciottoli e delle ghiaie.

I detriti franati tendono a disporsi in falde, coni e canali in depositi sciolti con continua alimentazione e con alto potenziale di rimovimentazione anche connesso alla presenza d'acqua.

Nel caso delle rocce carbonatiche si osserva che i dissesti sono invece prevalentemente connessi al crollo e/o al ribaltamento o allo scivolamento di porzioni elementari di ammasso roccioso isolate da fratture o da vuoti carsici, il moto di questi elementi lungo i pendii coinvolge successivamente altri elementi aumentando la magnitudo del fenomeno franoso.

Le dimensioni degli elementi mobilizzati sono molto varie ed arrivano anche ai megablocchi e a blocchi ciclopici.

In alcune zone a valle di cornici impostate su litologie scistose è stato possibile osservare estese falde detritiche e canali incisi in roccia carichi di detrito che occupano tutto il pendio fino a valle, in altri casi, a valle di creste o cornici conformate su rocce carbonatiche/dolomitiche è stato possibile riscontrare distese di blocchi e megablocchi sparpagliati sul pendio in una condizione di potenziale quiescenza legata alla presenza più meno fitta di vegetazione e alla presenza di un substrato pedologico su cui poggiano gli elementi lapidei franati e rotolati; da qui è stata valutata l'importanza della presenza della copertura vegetale e della coltre pedologica nella valutazione della pericolosità da frana connessa alla potenziale rimovimentazione degli elementi franati.

In questo contesto si inseriscono le trasformazioni antropogeniche connesse alle diffuse attività minerarie del passato e quindi anche allo sviluppo di tracciati stradali a mezza costa; in particolare è evidente in tutto il territorio comunale la presenza di visibili, meno visibili e non visibili forme di origine antropica o conseguenti all'attività mineraria (scavi a cielo aperto, cunicoli, discariche, scarpate, vuoti per collasso di volte di gallerie, estemporanei sistemi di stabilizzazione ecc.) che conferiscono ai pendii forme predisponenti al dissesto e talvolta sono proprio le cause scatenanti dei dissesti.

Le aree minerarie sono state analizzate attraverso la fotointerpretazione, lo studio cartografico, bibliografico e numerosi sopralluoghi; con dovuta attenzione, per il potenziale pericolo che esse manifestano anche laddove non sono esplicite nel soprassuolo, ma ne è riconosciuta l'estensione nel sottosuolo, seppur non con dovizia e precisione cartografica alla scala del presente lavoro, sono state prese in considerazione nella zonazione della pericolosità da frana.

Le scarpate stradali, lungo i tracciati di principale e secondaria percorrenza presentano generalmente fenomenologie di frana e forte potenziale al dissesto, in genere si tratta di fenomeni prevalentemente gravitativi accentuati in occasione di eventi meteorici rilevanti.



Figura 21: Cala Domestica, versante in destra idraulica: creste rocciose con processi di degradazione con crolli e ribaltamenti diffusi lungo i pendii

9.1.1.3 Falesia e ripa costiera

Il perimetro costiero del territorio comunale, soprattutto nel suo tratto meridionale, è caratterizzato da alte falesie carbonatiche attive a picco sul mare che possono raggiungere quote anche superiori ai 100 m.

Queste morfologie rappresentano un versante sottoposto all'azione meccanica meteo-marina nella loro evoluzione naturale all'arretramento, soprattutto per ribaltamento e crollo da scalzamento alla base ad opera diretta del mare.

Inoltre, le stesse sono soggette all'erosione causata dalla corrivazione delle acque meteoriche libere che agiscono nella cresta della falesia dilavando la superficie esposta e riversandosi in mare, determinando un arretramento del ciglio.

Nel caso specifico, queste sono interessate dalla presenza dell'uscita di gallerie minerarie a varie quote sul livello del mare ed attraversate dalle stesse gallerie eseguite per l'estrazione mineraria dell'area retrostante, che a prescindere dalla naturale evoluzione all'arretramento della falesia, possono concorrere ad accelerare il fenomeno di franamento con

il crollo e il distacco di costoni rocciosi, non quantificabili volumetricamente e non definibili nella loro manifestazione temporale.



Figura 22: Vista aerea della scogliera tra Cala Domestica e Buggerru (fonte Google Earth)



Figura 23: Vista della scogliera tra Cala Domestica e Buggerru (fonte Google Earth)

Nella ripa costiera, che caratterizza il settore meridionale della spiaggia di San Niccolò, si evidenzia la presenza di fenomeni localizzati di instabilità potenziale che sono manifestati dal franamento di materiale di varia pezzatura in matrice argilloso sabbiosa e dalla copertura sovrastante parzialmente cementata, direttamente sul retrospiaggia.





Figura 24: Fenomeni localizzati di instabilità potenziale e franamento di materiale dalla ripa costiera (settor meridionale spiaggia di S. Nicolò).

9.1.1.4 Itinerario minerario Buggerru-Fluminimaggiore

L' itinerario minerario Buggerru-Fluminimaggiore si sviluppa nell'entroterra del territorio comunale, con lunghi tratti a mezza costa su litologie paleozoiche.

Inizia il suo tracciato con una strada asfaltata dal raccordo con la S.P. 83 nel territorio comunale di Buggerru per poi proseguire, con un percorso sterrato, nel territorio di Fluminimaggiore fino a raccordarsi con la S.S 126 che collega questo comune con Iglesias, passando per le aree miniere di *Nanni Frau*, *Su Solu* e *Candiazus*.



Figura 25: Tracciato del percorso minerario Buggerru-Fluminimaggiore



Figura 26: Fenomeni di franamento a monte e a valle nello sviluppo a mezza costa dell'itinerario minerario Buggerru-Fluminimaggiore.



Figura 27: Discarica mineraria nel tratto alto dell'itinerario minerario Buggerru-Fluminimaggiore.



Figura 28: Discarica mineraria attraversata dalla strada sterrata, lungo l'itinerario minerario Buggerru-Fluminimaggiore.



Figura 29: Piede discarica mineraria, bordo strada sterrata, lungo l'itinerario minerario Buggerru-Fluminimaggiore.



Figura 30: Tratto stradale sterrato a mezza costa dell'itinerario minerario Buggerru- Fluminimaggiore.



Figura 31: Area mineraria Candiazzus.



Figura 32: Area mineraria Candiazzus. Nella zona si è sviluppata una intensa attività mineraria, prima a cielo aperto e poi in sotterraneo; tutta l'area è recintata per la presenza di numerosi di pozzi, cunicoli di estrazione e fornelli, spesso nascosti dalla vegetazione.



Figura 33: Itinerario minerario Buggerru-Fluminimaggiore, a monte di Buggerru, con evidente fenomeno di franamento di materiale di pezzatura varia, a valle e a monte del percorso stradale



Figura 34: Conoide di detrito sulla strada dell'itinerario minerario Buggerru-Fluminimaggiore che si sviluppa sul versante Est sopra il centro abitato



Figura 35: Depositi di versante sul percorso minerario Buggerru-Fluminimaggiore nel tratto iniziale asfaltato

9.1.1.5 Attività e discariche minerarie

Tutto il territorio comunale è stato sede di una intensa attività mineraria a cielo aperto con cave ed in sotterraneo con metodi estrattivi di perforazione meccanica, di conseguenza in esso, in genere a ridosso delle zone estrattive, sono presenti le relative discariche di sterile minerario.

Oggi vaste aree sono interessate dalla presenza in superficie di zone minerarie dismesse, ruderi di villaggi minerari con resti di macchinari ed attrezzature di lavoro all'aria aperta per i materiali estratti.

In tali aree sono presenti estese e profonde porzioni sotterranee di scavi per l'estrazione mineraria documentate ed analizzate nel corso di questo studio, per presa visione diretta dei piani estrattivi di miniera, gentilmente resi disponibile presso il Servizio Attività Estrattive dell'Assessorato Industria della RAS con sede ad Iglesias.

A seguito di questa ricerca, si evidenzia in generale, che nel sottosuolo delle aree interessate dall'industria mineraria, in alcune zone del territorio comunale, esse sono difficilmente e puntualmente individuabili e non è stato possibile eseguire una esatta localizzazione in superficie, né quantificarne la profondità e la sezione di scavo.

Discarica mineraria a monte della spiaggia di Buggerru

Nel tratto settentrionale della spiaggia di Buggerru è presente una estesa discarica mineraria sopra la quale passa la S.P. 83. In essa si evidenziano fenomeni di smottamento sulla superficie esposta, probabilmente legati al prelievo incontrollato di materiale alla base in tempi passati ed oggi, anche se circoscritti, parzialmente riattivati da fenomeni di corrivazione delle acque meteoriche.



Figura 36: Veduta d'insieme della discarica dal porto



Figura 37: Particolare della discarica soprastante la spiaggia di Buggerru

Area di "Planu Sartu" e "Planedda"

Queste aree, poste a Sud del centro abitato, sono attraversate dalla S.P. 83 che porta al Paese e sono delimitate verso l'entroterra dai versanti occidentali del Monte *Cuccuru Trebini* e Monte *Palma* e verso il mare dalle alte falesie a picco sul mare di cui abbiamo già scritto, sono interessate dalla presenza in superficie di vaste zone minerarie dismesse.

L'area si mostra densamente antropizzata dall'attività mineraria passata con manufatti e ruderi di villaggi minerari e con resti di attrezzature e di macchinari per la lavorazione all'aria aperta dei materiali estratti.

Il sottosuolo di queste zone è stato interessato da una intensa attività mineraria, in esso sono identificabili gallerie di estrazione e scavi, gallerie, cunicoli e fornelli di ricerca di minerale.

Nelle litologie del sito sono visibili morfologie tipiche di superficie dei fenomeni carsici e di fenomeni di subsidenza associabili alla presenza di *sinkholes*.

In riferimento ai *sinkholes*, la loro eventuale presenza ed estensione è di difficile identificazione, si rimarca che questa situazione non può essere trascurata o dimenticata e attentamente presa in considerazione in presenza di nuove progettazioni, accertando con sopralluoghi ed indagini in sito di non essere in presenza di questi fenomeni.



Figura 38: versanti occidentali del Monte *Cuccuru Trebini* e Monte *Palma*



Figura 39: *Pranu Sartu*

Area Mineraria di “Scalittas” e relative discariche circostanti

Miniera di piombo e zinco localizzata nel settore meridionale del territorio comunale e caratterizzata dalla presenza di numerose discariche di sterile minerario.



Figura 40: Discariche minerari in località “*Scalittas*”.

Miniera Malfidano

Ubicata a monte, sul versante Est della valle dove è posizionato l’abitato, è l’esempio minerario più importante di Buggerru e da questa si è sviluppato nel tempo l’attuale centro urbano.

Si tratta di una miniera piombo-zincifera, nella quale gli impianti estrattivi hanno lavorato all’incirca tra il 1870 e il 1977.

Da essa si estraevano considerevoli ammassi di calcare ceroide, il *metallifero*, con coltivazioni a cielo aperto e nel sottosuolo, che da sotto il livello del mare salgono sino a quota 115 metri.

Le lavorazioni furono sviluppate a vari livelli intermedi, collegati mediante pozzo *Renato*, per una estensione complessiva di sei chilometri.

Attualmente tutta l'area è delimitata all'accesso antropico, per la presenza di fenomeni attivi di frana con blocchi litoidi di grandi dimensioni instabili e/o rimobilizzazione, anche con smottamenti, di materiale litoide scarto delle lavorazioni minerarie (Figura 41).

Riferimento parametri geotecnici delle terre per le discariche stabilizzate

Nel presente studio presentato al Comune al capitolo 7 – *Inquadramento geotecnico*, al paragrafo 7.1 – *Risultati indagini pregresse in situ ed in laboratorio* e al paragrafo 7.2 – *Caratteri geotecnici dei litotipi presenti*, viene riassunto quanto riportato nello Studio di Variante al P.A.I. (ai Sensi del Titolo IV - Art. 37- comma 7 delle N.T.A.), datato Aprile 2014, con gli Studi di Compatibilità Geologica e Geotecnica (Art. 23 c. 6 e Art. 25 all. F delle N.T.A del PAI), per:

- **L'area Monte Rosmarino** riferito al: “Consolidamento costoni rocciosi periferia Sud – Est Monte Rosmarino”
- **L'area Discariche Ex Minerarie** per: “Interventi di riqualificazione ambientale di due discariche minerarie all'interno del centro abitato”
- **Caitas Nord** per: “Opere di consolidamento periferie Nord Caitas-MALFIDANO”
- **Caitas Est** per: “Intervento per la riduzione del rischio di caduta massi del costone roccioso di Caitas (Est)”
- **Area Portuale** per: “Opere di consolidamento a ridosso dell'area portuale”

Tali dati resi disponibili dalla Amm.ne comunale sono stati ritenuti, dopo ripetute verifiche e sopralluoghi in situ, importanti ed esaustivi per le considerazioni geotecniche riportate nello studio eseguito, oltre che per la localizzazione dei fenomeni da frana in atto e potenziali e per le conseguenti mappature della pericolosità, così come riportato nei relativi allegati cartografici al medesimo studio, con riferimento all'ubicazione delle litologie interessate dagli interventi previsti in variante.



Figura 41: Miniera “Malfidano”.

9.2 Carta dell'instabilità potenziale dei versanti

La Carta dell'instabilità potenziale dei versanti rappresenta le condizioni di franosità e di instabilità potenziale dei versanti, si deve disporre di alcune caratteristiche generali dei versanti (litologia, pendenza, uso del suolo, etc.).

L'elaborazione e l'analisi dei dati, secondo la metodologia descritta nelle linee guida del PAI, è stata effettuata attraverso l'utilizzando di software con struttura GIS.

La metodologia di riferimento, si fonda sull'individuazione dei principali elementi descrittivi che giocano un ruolo fondamentale nella propensione al dissesto dei versanti: i caratteri morfologici, la composizione litologica, le condizioni di copertura vegetale e caratteristiche geomorfologiche.

Dapprima gli elementi dei singoli tematismi sono stati raggruppati in classi, per ottenere una rappresentazione aggregata del territorio; ad ogni classe è stato attribuito un valore (peso) in funzione del ruolo esercitato nella produzione di un dissesto. Nelle successive operazioni di sovrapposizione, è stata effettuata una combinazione complessiva che i fattori considerati hanno sulla stabilità del versante.

Questo valore ricade in un intervallo definito cui corrisponde una classe di instabilità potenziale.

Vengono considerati in particolare i seguenti fattori:

- pendenza dei versanti
- litologia
- uso del suolo.

Le modalità di calcolo della carta di instabilità dei versanti seguono la proposta effettuata nel succitato studio di dettaglio del bacino 3, che ha considerato dei fattori correttivi utili per la determinazione dell'instabilità potenziale. Tale correzione considera quale variabile indipendente la pendenza, e due variabili da essa dipendente, l'uso del suolo e il comportamento litotecnico, come sarà meglio spiegato nel Paragrafo 9.2.4.

9.2.1 Carta della pendenza dei versanti

La pendenza dei versanti è stata ottenuta derivando le classi di pendenza dal modello digitale del terreno DTM passo 10 m della Regione Autonoma della Sardegna. Sono state definite cinque classi di pendenza con valori ricompresi tra -2 e +2 secondo quanto riportato nella seguente tabella:

Classi di pendenza	Peso
0-10%	+2
10-20%	+1
20-35%	0
35-50%	-1
50-100%	-2

Tabella 2: Classi di pendenza

Nella classificazione proposta si tiene conto del campo di maggior ricorrenza dell'angolo di attrito delle litologie più rappresentate (dai 27° ai 45°) considerando che per valori oltre un certo angolo di pendenza della parete la cinematica si innesca per effetto della gravità.

9.2.2 Carta litologica

La copertura litologica è stata determinata considerando la carta geologica del PUC di Buggerru in scala 1:10.000, integrata e confrontata con la Carta geologica in scala 1:25.000 della Regione Autonoma della Sardegna. Tali litologie sono state verificate sulla base dei sopralluoghi, della fotointerpretazione e degli studi di dettaglio del territorio di studio.

Per l'attribuzione dei pesi si è fatto riferimento, in prima battuta, alle principali esperienze metodologiche riportate in bibliografia e alla conoscenza diretta delle caratteristiche dei litotipi affioranti nel territorio di studio. Si è applicata una scala di valori da 1 e 10 con i valori più alti corrispondono ai termini litologici più resistenti, compatti, poco alterati, mentre quelli più bassi ai termini più fragili e sciolti. La determinazione dei pesi è stata poi valutata, nella fase finale, sulla base dei sopralluoghi effettuati.

Di seguito si riportano le principali litologie individuate nel territorio di Buggerru e i pesi ad essi attribuiti. E, a seguire, le specifiche natura e sulle relative caratteristiche fisico-meccaniche delle litologie affioranti che hanno portato all'attribuzione di tali pesi.

Descrizione	Peso
Depositi antropici. Discariche industriali. OLOCENE	1
Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate. OLOCENE	1
Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE	1
Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. OLOCENE	1
Depositi alluvionali. OLOCENE	1
Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE	2
Depositi alluvionali terrazzati. OLOCENE	2
Depositi eolici. Sabbie di duna ben classate. OLOCENE	1
Depositi di spiaggia. Sabbie e ghiaie, talvolta con molluschi, etc. OLOCENE	1
Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali. PLEISTOCENE SUP.	2
Filoni basaltici a serialità transizionale, di composizione basaltica olivinica e trachibasaltica, a struttura porfirica per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx, tessitura intersertale-ofitica. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO	7
Porfidi granitici, di colore prevalentemente rosato e rossastro, a struttura da afirica a porfirica per fenocristalli di Qtz, Fsp e Bt e tessitura isotropa; in giacitura prevalentemente filoniana, talvolta in ammassi. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO	7
Filoni idrotermali a prevalente quarzo, spesso mineralizzati a barite e fluorite, talora anche con solfuri metallici (Pb, Zn, Cu, Fe, etc). CARBONIFERO SUP. - PERMIANO	7
Facies Gutturu Derettu (UNITÀ INTRUSIVA DI VILLACIDRO). Microleucosienograniti biotitici, da bianco-grigi a rosati, a grana da medio-fine a fine, inequigranulari, porfirici per fenocristalli centimetrici di Qtz globulare e di Or micropertitico, con tes	7
Facies Monte Omu (Subunità intrusiva di Gonnosfanadiga - UNITÀ INTRUSIVA DI ARBUS). Granodioriti biotitico-anfibolite, a grana media, equigranulari, a tessitura isotropa, con frequentii inclusi microgranulari tonalitico-granodioritici. Locali granod	7
Facies Corru Longu (Subunità intrusiva di Capo Pecora). Granodioriti monzogranitiche, biotitiche, equigranulari, a grana medio-fine, ricche in inclusi basici; tessitura orientata. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO	7
ARENARIE DI SAN VITO. Alternanze irregolari, da decimetriche a metriche, di metarenarie medio-fini, metasiltiti con laminazioni piano-parallele, ondulate ed incrociate, e metasiltiti micacee di colore grigio. Intercalazioni di metamicroconglomerati poli	5
FORMAZIONE DI BUGGERRU. Alternanza di calcari e metapeliti scure, ricche in nautiloidi, graptoliti, bivalvi, crinoidi e conodonti. SILURIANO INF.-DEVONIANO INF. (WENLOCK-LOCHKOVIANO INF.)	4
FORMAZIONE DI GENNA MUXERRU. Metapeliti e metasiltiti nere carboniose con intercalazioni di liditi e metarenarie nere, con graptoliti. SILURIANO INF. (LLANDOVERY)	4
ORDOVICIANO SUPERIORE INDISTINTO. Questa unità cartografica ingloba le formazioni MRI, PTX, DMV e RSM laddove non distinte in cartografia. ORDOVICIANO SUP.	4
FORMAZIONE DI MONTE ARGENTU	4
Membro di Punta Sa Broccia (FORMAZIONE DI MONTE ARGENTU). Metaconglomerati e metabrecce eterometrici, poligenici, alternati a metasiltiti e metarenarie violacee. ORDOVICIANO ?MEDIO-SUP.	4
FORMAZIONE DI CABITZA. Alternanza ritmica di lamine centimetriche metasiltitiche e metargillitiche di colore rosso-violaceo e verde di origine tidale, lamine metasiltitiche gradate grigio-verdi e metarenarie quarzoso-	4

Descrizione	Peso
feldspatiche grigie con laminazioni	
Membro di Punta Su Funu (FORMAZIONE DI CABITZA). Alternanze ritmiche di metasiltiti e metapeliti rosso-violacee verdi; subordinati livelli di metarenarie quarzoso-feldspatiche con laminazioni piano parallele e incrociate. CAMBRIANO MEDIO - ORDOVICIANO I	4
Membro di Punta Camisonis (FORMAZIONE DI CABITZA). Alternanze di strati di metarenarie grossolane e metasiltiti grigio-verdi con laminazioni piano parallele ed incrociate. CAMBRIANO MEDIO - ORDOVICIANO INF. (MAYAANO-TREMADOC)	4
FORMAZIONE DI CAMPO PISANO. Alternanze di metacalcari, metacalcari marnosi rosati, metasiltiti grigie e metacalcari grigio-rosati a struttura nodulare, talora silicizzati, ricchi in frammenti di fossili. CAMBRIANO INF. - MEDIO (LENIANO-AMGAIANO)	7
Membro del Calcare ceroide (FORMAZIONE DI GONNESA). Calcari grigi massivi, talora nerastri, spesso dolomitizzati. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO SUP. - LENIANO)	8
Litofacies nel Membro del Calcare ceroide (FORMAZIONE DI GONNESA). Dolomie e calcari dolomitici di colore da giallastro a bruno, massivi ("Dolomia grigia" Auct.). CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO SUP. - LENIANO MEDIO)	8
Membro della Dolomia rigata (FORMAZIONE DI GONNESA). Dolomie grigio chiare ben stratificate e laminate, spesso con laminazioni stromatolitiche, con noduli e livelli di selce scura alla base. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO SUP.-LENIANO)	8
Membro di Punta Manna (FORMAZIONE DI NEBIDA). Metarenarie quarzose e siltiti, con laminazioni incrociate e piano-parallele, verso l'alto alternanze di calcari, talvolta ricchi in archeociati, e dolomie con bioturbazioni, spesso silicizzate. CAMBRIANO IN	4
Litofacies nel Membro di Punta Manna (FORMAZIONE DI NEBIDA). Alla base calcari oolitici e oncolitici con subordinate intercalazioni di metarenarie e metasiltiti. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO)	4
Membro di Matoppa (FORMAZIONE DI NEBIDA). Metarenarie e metasiltiti, con laminazioni piano-parallele, alternate a bancate decimetriche di metarenarie quarzose, con rari livelli carbonatici. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO)	4

Tabella 3: Attribuzione dei pesi alle classi litologiche.

9.2.3 Carta dell'uso del suolo

La presenza di una copertura vegetale costituisce una protezione della superficie del terreno dall'azione degli agenti atmosferici e un'azione di consolidamento esercitata dall'apparato radicale. Un bosco ad alto fusto è, generalmente, un impedimento al dissesto idrogeologico (massima impedenza), mentre un terreno lavorato stagionalmente, arato con sistemazione ad esempio a "ritocchino" è uno scarso impedimento all'erosione e all'instabilità del pendio (impedenza minima o nulla).

A partire dai pesi attribuiti nelle Linee Guida PAI e nello studio di dettaglio del Sub-bacino 3, considerando le classi di uso del suolo indicate nella Carta di Uso del Suolo del 2008 (RAS), sono stati definiti i pesi per ciascuna classe così come indicato nella Tabella 4, integrando le informazioni fornite dalla carta con i sopralluoghi effettuali e le evidenti individuate dalle ortofoto più recenti a disposizione.

Sigla	Classe Uso del suolo	Peso
3.2.3.1	Macchia mediterranea	2
3.3.3	Aree con vegetazione rada <5% e >40%	0
3.2.3.2	Gariga	1
3.1.1.1	Bosco di latifoglie	2
3.2.1	Aree a pascolo naturale	1
3.2.4.1	Aree a ricolonizzazione naturale	1
2.4.4	Aree agroforestali	-1
1.3.1	Aree estrattive	-2
2.4.3	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	-2

Sigla	Classe Uso del suolo	Peso
2.1.1.2	Prati artificiali	-2
2.4.1.1	Colture temporanee associate all'olivo	-2
2.1.1.1	Seminativi in aree non irrigue	-2
2.4.2	Sistemi colturali e particellari complessi	-1
1.1.2.2	Fabbricati rurali	0
3.1.1.2.1	Pioppeti, saliceti, eucalitteti ecc., anche in formazioni miste	0
2.2.1	Vigneti	-2
1.3.3	Cantieri	-1
2.1.2.1	Seminativi semplici e colture orticole a pieno campo	-2
3.2.4.2	Aree a ricolonizzazione artificiale	0
2.2.3	Oliveti	0
2.2.2	Frutteti e frutti minori	0
1.1.1.2	Tessuto residenziale rado	1
2.4.1.3	Colture temporanee associate ad altre colture permanenti	-2
3.1.2.1	Boschi di conifere	2
3.2.2.1	Cespuglieti e arbusteti	0
3.1.3	Boschi misti di conifere e latifoglie	2
1.1.1.1	Tessuto residenziale compatto e denso	1
3.3.2	Pareti rocciose e falesie	-2
1.4.3	Cimiteri	0
1.4.2.1	Aree ricreative e sportive	0
1.2.1.2	Insedimenti di grandi impianti di servizi	0
1.4.2.2	Aree archeologiche	0
3.1.1.2.2	Sugherete	0
1.1.2.1	Tessuto residenziale rado e nucleiforme	1

Tabella 4: Classi di uso del suolo e relativi pesi

9.2.4 Carta dell'instabilità potenziale dei versanti

Le modalità di calcolo della carta di instabilità dei versanti seguono la proposta effettuata nel succitato studio di dettaglio del bacino 3, che ha considerato dei fattori correttivi utili per la determinazione dell'instabilità potenziale. Tale correzione considera quale variabile indipendente la pendenza, e due variabili da essa dipendente, l'uso del suolo e il comportamento litotecnico.

Considerando che nel caso di pendenze limitate non vi siano le condizioni fisiche per lo sviluppo di dissesti di natura gravitativa, indipendentemente dal tipo di substrato ed uso del suolo, sotto il 20% di pendenza (circa 10°) si può postulare che non vi sia probabilità di sviluppo di dissesti di natura gravitativa.

Sommando i pesi attribuiti alle carte della litologia, della pendenza e dell'uso del suolo descritte precedentemente, sono state definite 5 classi di instabilità, secondo i pesi riportati in Tabella 6, così come indicato nelle Linee Guida PAI e nella metodologia utilizzata per il sub-bacino 3.

Correzione acclività		Uso del Suolo	Instabilità potenziale
Pendenza	Peso pendenza	Peso	
>275%	-4	-	Instabilità potenziale massima Peso instabilità =-3
100%÷275%	-3	-	Peso instabilità = peso pendenza + peso uso del suolo + 1/2 peso litologia
35%÷100%	-2;-1	-	Peso instabilità = peso pendenza + peso uso del suolo + 1/2 peso litologia
35%÷20%	0	<0	Peso instabilità = 7 + peso litologia
		>0	Situazione potenzialmente stabile Peso instabilità =11
<20%	1, 2	-	Situazione potenzialmente stabile Peso instabilità =11

Tabella 5:Matrice per l'attribuzione dei pesi di instabilità potenziale

Classe di instabilità	Descrizione	Pesi
1	Situazione potenzialmente stabile	10-12
2	Instabilità potenziale limitata	7-9
3	Instabilità potenziale media	4-6
4	Instabilità potenziale forte	1-3
5	Instabilità potenziale massima	-3-0

Tabella 6:Classi di instabilità potenziale

9.3 Carta di sintesi della pericolosità da frana

La “Carta di sintesi di pericolosità da frana” fornisce il quadro delle condizioni di stabilità del territorio rappresentando i fenomeni di dissesto in atto e i fattori che determinano la suscettibilità dei versanti al verificarsi di movimenti gravitativi e di massa. La “Carta di sintesi di pericolosità da frana”, rappresenta la condizione di pericolosità del territorio, indicata attraverso il parametro Hg.

Rispetto alle indicazioni presenti nelle linee guida del PAI del 2004, che prevedeva la presenza di quattro classi, la relazione generale del 2004 introduceva, inoltre, la classe Hg0, a indicazione delle aree studiate con pericolosità assente.

Sulla scorta della metodologia utilizzata per l'aggiornamento del Sub bacino 3, inoltre, l'attribuzione alle classi Hg2, Hg3 e Hg4 è stata legata alla presenza di riscontri, sia pure indiretti, di carattere geomorfologico, al fine di correggere quelle sopravvalutazioni dell'instabilità potenziale insite nella metodologia della prima versione del PAI. La classe Hg1 è stata adottata nei casi in cui all'indicazione d'instabilità potenziali significative o di classi del PAI vigenti elevate corrispondono condizioni geomorfologiche che tenderebbero ad escludere la possibilità di dissesto. I criteri di attribuzione delle singole classi sono stati definiti come proposti nella metodologia dell'aggiornamento al PAI per il sud bacino 3, e sono riportati in Tabella 7.

In estrema sintesi e fermo restando il fatto che non sono gli unici fattori considerati, nella classe Hg4 sono riportati i dissesti attivi, ovvero quelli per cui vi sono elementi effettivi tali da poter ritenere che vi siano stati movimenti recenti (segnalazioni, studi sulla pericolosità, evidenze in sito o visibili da fotointerpretazione) mentre alla classe Hg3 vengono

assegnate le aree interessate da dissesti quiescenti, ovvero per i quali non sussistono informazioni che portino a affermare che vi siano stati, ragionevolmente, movimenti recenti. Mutuando la metodologia utilizzata per la variante al bacino 3, nell'intorno dei dissesti attivi o quiescenti e degli elementi morfologici ad essi connessi si ritiene necessario prevedere una fascia di rispetto in estensione alle aree in dissesto in senso stretto. Per i dissesti descritti con i tematismi areali, tale fascia si è individuata tenendo conto dell'area coinvolta verso valle, della morfologia, e dell'eventuale possibile sviluppo dei processi di arretramento delle scarpate stesse. Ove opportuno si è portato il limite verso monte sullo spartiacque (se prossimo) e verso valle fino all'incisione valliva o alla prima vera rottura di pendenza del versante interessato. Per quanto riguarda i temi lineari, ovvero le scarpate rocciose e di terrazzo, è stata definita una fascia di riferimento di 15 m, realizzata con metodi GIS costruendo un buffer in modo tale da incrementare l'estensione dell'area di pericolosità verso valle, portandola, come si è già detto sopra, alla prima evidente rottura di pendenza. Tale fascia ha inoltre tenuto conto della presenza di barriere naturali.

Le carte prodotte hanno una scala a 1:10.000 per l'intero territorio comunale, e inoltre si è prodotta la scala di dettaglio 1: 2.000 per l'area urbana. Nell'area di San Nicolò, in corrispondenza di un impluvio, sebbene le carte siano redatte in scala 1:10.000, le perimetrazioni ottenute derivano da un esame di dettaglio in scala 1:2.000 delle caratteristiche morfometriche e geomorfologiche del settore studiato, che ha consentito di dettagliare la zonazione della pericolosità da frana del settore specifico poiché interessata da abitati sparsi.

Classe	Intensità	Descrizione
Hg0	Nulla	Aree non soggette a fenomeni franosi con pericolosità assente, Aree studiate non soggette a potenziali fenomeni franosi e con pendenze inferiori al 20%
Hg1	Moderata	Aree con pericolosità moderata aventi classi di instabilità potenziale limitata o assente - classe 2 e classe 1.
Hg2	Media	Aree con pericolosità media con fenomeni di dilavamento diffusi, frane di crollo e/o scivolamento non attive e/o stabilizzate, falesie lungo le coste (stabili e o vegetate); zone in cui sono presenti solo frane stabilizzate non più riattivabili nelle condizioni climatiche attuali a meno di interventi antropici (assetti di equilibrio raggiunti naturalmente o mediante interventi di consolidamento), zone in cui esistono condizioni geologiche e morfologiche sfavorevoli alla stabilità dei versanti ma prive al momento di indicazioni morfologiche di movimenti gravitativi ovvero corrispondenti alla classe di instabilità potenziale media (classe 3). Aree percorse da incendi con pendenza maggiore del 20% e caratterizzate da copertura alberata e/o boschiva. Cave attive. Paleofrane o DGVP stabilizzate. Presenza di doline, di cavità sotterranee naturali, o artificiali di vecchia fattura per cui non vi sono evidenze di colassi o cedimenti.
Hg3	Elevata	Aree con pericolosità elevata con frane di crollo e/o scorrimento quiescenti, fenomeni di erosione delle incisioni vallive. Fronti di scavo instabili lungo le strade; aree nelle quali sono state svolte in passato attività minerarie che hanno dato luogo a discariche di inerti, cave a cielo aperto, cavità sotterranee con rischio di collasso del terreno e/o subsidenza, siti minerari dismessi; aree interessate in passato da eventi franosi nelle quali sono stati eseguiti interventi di messa in sicurezza. Classe di instabilità potenziale forte (classe 4), pareti in roccia (fra cui falesie a mare aventi tali caratteristiche), orlo di scarpata o di terrazzo (potenzialmente instabili per pendenza e altezza), frane di crollo quiescenti, frane di scorrimento quiescenti, fenomeni di dilavamento diffuso e concentrato (calanchi).
Hg4	Molto elevata	Aree con pericolosità molto elevate con manifesti fenomeni di instabilità attivi o segnalati nel progetto AVI, IFFI o dagli Enti interpellati o rilevate direttamente dal Gruppo di lavoro. Classe di instabilità potenziale massima (classe 5), frane di crollo attive (compresi falde e coni di detrito attivi e canali in roccia [e non] con scarico di detrito), frane di scorrimento attive, o scivolamenti rapidi in roccia, detrito, fluidificazione di terreni sciolti superficiali, piccole frane (attive), deformazioni gravitative profonde di versante attive, crolli e fenomeni di instabilità lungo l'intaglio stradale. Cavità sotterranee naturali o artificiali soggette a processi di crollo o sprofondamento ovvero sinkhole. Falesie marine in arenarie, marne, calcari marnosi terziari e/o pleistocenici.

Tabella 7: Definizione delle classi di pericolosità

10 Pericolosità, Elementi a Rischio e Rischio da frana

Indipendentemente dall'esistenza di aree perimetrate dal PAI e tenuto conto delle prescrizioni contenute nei piani urbanistici provinciali e nel piano paesaggistico regionale relativamente a difesa del suolo, assetto idrogeologico, riduzione della pericolosità e del rischio idrogeologico, i Comuni, con le procedure delle varianti al PAI, assumono e valutano le indicazioni di appositi studi comunali di assetto idrogeologico concernenti la pericolosità e il rischio idraulico, in riferimento ai soli elementi idrici appartenenti al reticolo idrografico regionale, e la pericolosità e il rischio da frana, riferiti a tutto il territorio comunale o a rilevanti parti di esso, anche in coordinamento con gli altri.

Le Norme di Attuazione del PAI (su si cita l'art. 8 comma 2) prevedono dunque lo studio esteso a tutto il territorio comunale finalizzato all'individuazione delle aree a *pericolosità idraulica* (Hg) e *pericolosità da frana* (Hg). La definizione stessa di "pericolosità" prescinde dalla presenza o meno di elementi che possano subire un danno a seguito dell'evento, cioè la pericolosità è intrinseca nel territorio ed è legata alla morfologia del territorio, agli eventi meteo-climatici e alle condizioni al contorno che possano innescare fenomeni potenzialmente pericolosi o registrare fenomeni in atto.

Lo scopo ultimo dello studio delle *pericolosità da frana* (Hg), in breve, è quello di perimetrare e classificare le aree del territorio comunale secondo un grado di criticità che va da 1 a 4:

- *Hg1: pericolosità moderata*
- *Hg2: pericolosità media*
- *Hg3: pericolosità elevata*
- *Hg4: pericolosità molto elevata*

In ognuna di esse, una volta adottato lo studio da parte del Consiglio Comunale (prima fase) entreranno in vigore le norme di salvaguardia che, in base agli articoli del PAI (artt. 31 e seguenti) ne regoleranno l'uso e ne disciplineranno le possibilità di intervento.

Successivamente a ciò sono stati definiti gli elementi a rischio secondo la metodologia esposta e infine, determinate le carte de Rischio secondo l'algoritmo di seguito riportato.

10.1 Aree a pericolosità geomorfologica (Hg)

La pericolosità geologica indica la probabilità che un fenomeno naturale di tipo geomorfologico (frana) si verifichi con una particolare intensità, in una determinata area in un determinato tempo. L'insieme dei fenomeni e dei processi geologici che insistono in un territorio permettono di definire in quella zona la *pericolosità* geologica.

L'agente principale che è causa del fenomeno franoso è l'azione della forza di gravità associata ad azioni secondarie come l'azione delle acque o il disturbo antropico (scavi, carichi, trincee), che portano a processi gravitativi di instabilità dei versanti, scarpate e fronti di scavo.

La suscettibilità' a franare è invece la propensione di una certa area al movimento di franamento.

La densità della vegetazione fornisce una misura della predisposizione all'erosione e al dissesto idrogeologico; la sua efficacia regimante ed antierosiva è giudicata in base alla densità di copertura che consente di smorzare l'energia cinetica della pioggia e di contenere gli effetti del dilavamento.

Sulla base delle considerazioni sopra esposte e nel contesto ambientale di riferimento del territorio comunale di Buggerru, vengono di seguito descritti i fattori di potenziale rischio idrogeologico, legati alle caratteristiche geologiche presenti in situ e gli scenari dei possibili eventi conseguenti.

10.1.1 Metodologia

La metodologia utilizzata per la determinazione delle aree a pericolosità da frana ha seguito le Linee Guida del P.A.I., del 2000 e la Relazione generale del P.A.I. del 2004, integrate dalle metodologie utilizzate nell'aggiornamento P.A.I. per il Sub-bacino n. 3.

Lo studio è stato effettuato sull'intero territorio comunale, per arrivare alla carta della pericolosità geomorfologica. A tal fine, si considerano diversi fattori che incidono sulla potenziale instabilità dei versanti. In particolare, si considerano:

- litologia
- pendenza dei versanti
- uso del suolo

A ciascuno di questi fattori è attribuito un peso in funzione del ruolo esercitato nella produzione di un dissesto. Le modalità di calcolo della carta di instabilità dei versanti seguono la proposta effettuata nel succitato studio di dettaglio del bacino 3, che ha considerato dei fattori correttivi utili per la determinazione dell'instabilità potenziale. Tale correzione considera quale variabile indipendente la pendenza, e due variabili da essa dipendente, l'uso del suolo e il comportamento litotecnico.

Classe di instabilità	Descrizione	Pesi
1	Situazione potenzialmente stabile	10-12
2	Instabilità potenziale limitata	7-9
3	Instabilità potenziale media	4-6
4	Instabilità potenziale forte	1-3
5	Instabilità potenziale massima	-3-0

Considerando che nel caso di pendenze limitate non vi siano le condizioni fisiche per lo sviluppo di dissesti di natura gravitativa, indipendentemente dal tipo di substrato ed uso del suolo, sotto il 20% di pendenza (circa 10°) si può postulare che non vi sia probabilità di sviluppo di dissesti di natura gravitativa.

Sulla base della carta dell'instabilità potenziale e della carta dei fenomeni franosi, si è proceduto alla mappatura delle

- Hg1: Aree a pericolosità moderata;
- Hg2: Aree a pericolosità media, con frane non attive e/o stabilizzate;
- Hg3: Aree a pericolosità elevata con frane di crollo e/o scorrimento quiescenti;
- Hg4: Aree a pericolosità molto elevate, con manifesti fenomeni di instabilità attivi.

La mappatura del territorio comunale secondo quanto sopra indicato, vincola le aree a diverse classi di pericolosità alla disciplina stabilita negli articoli 31,32,33 e 34 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I.

11 DEFINIZIONE DEL DANNO POTENZIALE

11.1 Elementi a rischio

Classi	Elementi	Peso
E1	Aree libere da insediamenti e aree improduttive; zona boschiva; zona agricola non edificabile; demanio pubblico non edificato e/o edificabile	0.25
E2	Aree con limitata presenza di persone; aree extraurbane, poco abitate; edifici sparsi Zona agricola generica (con possibilità di edificazione); zona di protezione ambientale, rispetto, verde privato; Parchi, verde pubblico non edificato; infrastrutture secondarie	0.50
E3	Aree ricreative e sportive Cantieri Aree cimiteriali Aree estrattive Discariche Fognature e impianti di depurazione Reti tecnologiche e di servizio, strutture tecnologiche a supporto delle reti Reti di comunicazione e trasporto primarie (strade provinciali, reti stradali e spazi accessori)	0.75
E4	Zone residenziali Edifici pubblici, anche al di fuori delle aree residenziali Strutture ospedaliere, sanitarie e scolastiche Zone industriali e commerciali Zone industriali, commerciali ed insediamenti produttivi Reti di comunicazione e trasporto strategiche (strade statali) Reti di comunicazione e trasporto primarie (aree portuali, reti ferroviarie e spazi annessi, aree aeroportuali ed eliporti) Strutture ed impianti a supporto delle reti di comunicazione e trasporto che non ricadono nelle aree residenziali Impianti a rischio Aree di rilievo storico-culturale e archeologico Aree protette (parchi nazionali, regionali ed aree protette)	1.00

Tabella 8: Classificazione degli elementi a rischio e attribuzione del relativo peso. Fonte: Circolare 1/2019 allegato alla Del.C.I. N. 2 del 19 febbraio 2019/PAI

In riferimento al rischio di tipo idraulico o franoso, sono considerati elementi a rischio le persone, i beni e le cose in genere, suscettibili ad essere colpiti e a subire danni da eventi calamitosi.

In particolare, secondo il D.P.C.M. del 29, gli elementi a rischio sono definiti come:

- 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 di 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.

I diversi elementi a rischio vengono dunque suddivisi in quattro classi, a ciascuna delle quali si attribuisce un 'peso' variabile tra zero e uno, crescente con l'importanza dell'elemento interessato. La tabella Tabella 8 riporta le informazioni sulle classi degli elementi a rischio e sul peso attribuito, sintetizzando le informazioni presenti nel PAI, nel PGRA e nella recente Circolare 1/2019 allegato alla Del.C.I. N. 2 del 19 febbraio 2019.

11.2 Vulnerabilità

La vulnerabilità è intesa come la capacità a resistere alla sollecitazione indotte dall'evento e quindi dal grado di perdita degli elementi a rischio. In caso del manifestarsi del fenomeno.

Ogni qualvolta si ritenga a rischio la vita umana, ovvero per gli elementi di tipo E4, E3 e parte di E2, la vulnerabilità, deve essere assunta pari all'unità. Per quanto concerne gli elementi di alto tipo occorrerebbe provvedere ad effettuare analisi di dettaglio sui singoli elementi a rischio, ma considerata l'estrema variabilità e casualità in base alla quale questa può variare, a favore di sicurezza si assume anche per tali elementi un valore unitario. Questo porta di fatto a rendere immediato il passaggio dalle carte degli elementi esposti a quelle del danno potenziale (danno stimato pari al valore dell'elemento stesso).

11.3 Danno potenziale

Dalla sovrapposizione degli elementi a rischio e della vulnerabilità si arriva a definire il danno potenziale.

L'approccio metodologico adottato, per rappresentare tutti gli elementi per i quali è ipotizzabile una qualunque forma di danno per pericolo idraulico o da frana, fa riferimento allo schema di legenda proposto nel Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), dove per la definizione degli elementi a rischio sono individuate sei macrocategorie, ognuna delle quali è composta, a sua volta, da sottocategorie specifiche alle quali è stato attribuito un peso secondo una scala compresa fra 0 e 1 in base alla rilevanza e alla sensibilità della tipologia in esame.

L'esame del territorio comunale per l'individuazione e classificazione degli elementi a rischio ha preso come riferimento iniziale la carta del Danno Potenziale condotta dalla RAS su tutto il territorio regionale. A tale studio, che costituisce un valido punto di partenza, si è dovuto necessariamente procedere a integrazioni e aggiornamenti perché l'analisi fosse maggiormente rappresentativa della realtà e godesse di maggior dettaglio.

A questo scopo, si è proceduto ad aggiornare il perimetro dell'area residenziale pertinente il nucleo urbano principale; a controllare ed implementare in mappa le nuove aree d'espansione di tipo residenziale, così come quelle dedicate alle attività produttive; a censire e rilevare sia eventuali strutture mancanti nell'analisi regionale sia l'edificato nucleiforme distribuito nell'agro. Questo tipo di integrazioni sono state condotte in primo luogo mediante un'attenta analisi delle ortofoto satellitari più recenti, confortata successivamente da un confronto con i referenti tecnici del comune di Buggerru.

In generale i risultati dell'analisi sul territorio di Buggerru evidenziano la concentrazione delle aree residenziali (classe D4) ad alta densità all'interno del nucleo urbano principale. Non sono presenti altri centri minori di rilievo sparsi sul territorio comunale, sebbene esista un edificato sparso diffuso a carattere prettamente nucleiforme (classe D4). In particolare, nelle aree limitrofe al centro urbano e, ancor più, lungo le strade principali di collegamento, tali edifici hanno carattere residenziale a tutti gli effetti; nelle aree più esterne o più difficilmente collegate i fabbricati sono generalmente da considerarsi di tipo rurale, a servizio di aziende agricole o allevamenti. Le aree artigianali, commerciali e industriali rivestono un'incidenza minima, così come le strutture e infrastrutture strategiche. Queste ultime (classe D4), si limitano alla presenza delle due strade statali di collegamento con i comuni limitrofi e al depuratore comunale. La maggior parte del territorio comunale è caratterizzato da un livello di danno potenziale pari a D1 – D2, rappresentato rispettivamente dalla presenza di seminavi e aree agricole in genere da una parte, e da prati e aree boscate dall'altra.

STUDIO IDROGEOLOGICO DEL TERRITORIO COMUNALE DI BUGGERRU – PARTE FRANA
Articolo 8 comma 2 delle N.T.A. del P.A.I.

Macrocategoria	Descrizione	Elemento	Codice	Peso	Classe di Danno Potenziale
Zone urbanizzate	Agglomerati urbani, nuclei abitati con edificazione diffusa e sparsa, zone di espansione, aree commerciali e produttive, con indicazione sul numero di abitanti potenzialmente interessati da possibili eventi alluvionali - <i>corrispondenza con la classe A del DPCM 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera a, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010</i>	Zone residenziali	1a	1	D4
		Zone industriali, commerciali ed insediamenti produttivi	1b	1	D4
		Aree verdi urbane	1c	0,5	D2
Strutture Strategiche	Ospedali e centri di cura pubblici e privati, centri di attività collettive civili, sedi di centri civici, centri di attività collettive militari – <i>corrispondenza con la classe E del DPCM 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera b, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010</i>	Strutture Ospedaliere, Sanitarie e scolastiche	2a	1	D4
		Edifici pubblici, anche al di fuori delle aree residenziali	2b	1	D4
		Aree ricreative e sportive	2c	1	D3
		Aree cimiteriali	2d	1	D3
Infrastrutture strategiche	Linee elettriche, metanodotti, oleodotti, gasdotti e acquedotti, vie di comunicazione di rilevanza strategica sia carrabili che ferrate, porti e aeroporti, invasi idroelettrici, grandi dighe. Per le strade carrabili andranno riportate almeno tre tipologie: autostrade, strade di grande comunicazione e le strade di interesse regionale, tralasciando i tronchi, anche asfaltati, di interesse locale – <i>corrispondenza con la classe C del DPCM 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera b, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010</i>	Reti di comunicazione e trasporto strategiche	3a	1	D4
		Reti di comunicazione e trasporto primarie	3b	1	D3
		Reti di comunicazione e trasporto secondarie	3c	0,5	D2
		Strutture ed impianti a supporto delle reti di comunicazione e trasporto non ricadenti in aree residenziali	3d	1	D4
		Reti tecnologiche e di servizio, strutture tecnologiche a supporto delle reti	3e	1	D3
		Fognature e impianti di depurazione	3f	1	D3
Beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse	Aree naturali, aree boscate, aree protette e vincolate, aree di vincolo paesaggistico, aree di interesse storico e culturale, zone archeologiche – <i>corrispondenza con la classe D del DPCM 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera c, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010</i>	Aree di rilievo storico-culturale e archeologico	4a	1	D4
		Aree protette	4b	0,5	D4
Zone interessate da attività economiche, industriali o impianti tecnologici, potenzialmente pericolosi dal punto di vista ambientale	Ai sensi di ai sensi di quanto individuato nell'allegato I del D.L. 59/2005), zone estrattive, discariche, depuratori, inceneritori – <i>corrispondenza con la classe B del DPCM 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera d, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010</i>	Aree estrattive	5a	0,75	D3
		Discariche	5b	0,75	D3
		Cantieri	5c	0,75	D3
		Impianti a rischio	5d	1	D4
Zone agricole, zone umide, corpi idrici	Zone destinate ad uso agricolo o caratterizzate da elementi di naturalità	Superfici agricole seminate	6a	0,5	D2
		Superfici agricole permanenti ed eterogenee	6b	0,5	D2
		Aree boscate e prati	6c	0,2	D1
		Zone Umide	6d	0,2	D1
		Corpi idrici	6e	0,2	D1
		Superfici a vegetazione rada	6f	0,2	D1

Tabella 9: Schema di legenda per la definizione degli elementi a rischio e del danno potenziale come da “Relazione sulle mappe di pericolosità e rischio idraulico” del PGRA

12 PERIMETRAZIONE DELLE AREE A RISCHIO FRANA

Il rischio di frana è definito come prodotto fra la pericolosità Hg dei fenomeni di dissesto, la presenza sul territorio di elementi a rischio E e la loro vulnerabilità V.

$$R_g = H_g E V$$

Applicando la matrice proposta nelle “Linee Guida del PAI e recentemente confermata dalla Circolare 1/2019 allegata alla Del. C. I. n. 2 del 19 febbraio 2019/PAI, si ottiene la mappatura e la indicizzazione delle classi di rischio di frana (Tabella 10). Per il rischio geologico totale Rg le Linee Guida P.A.I. effettuano una quantificazione secondo 4 livelli riportati in Tabella 11.

Matrice del Rischio da Frana				
Classi	Hg4	Hg3	Hg2	Hg1
E4	Rg4	Rg3	Rg2	Rg1
E3	Rg3	Rg3	Rg2	Rg1
E2	Rg2	Rg2	Rg1	Rg1
E1	Rg1	Rg1	Rg1	Rg1

Tabella 10: Matrice del Rischio frana. Fonte: Circolare 1/2019 allegato alla Del.C.I. N. 2 del 19 febbraio 2019/PAI

Rischio geologico totale			Descrizione degli effetti
Classe	Intensità	Valore	
R _{g1}	Moderato	≤0,25	danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali
R _{g2}	Medio	≤0,50	sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
R _{g3}	Elevato	≤0,75	sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale
R _{g4}	Molto elevato	≤1,00	sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione delle attività socio-economiche

Tabella 11: Descrizione delle classi di rischio di frana e loro quantificazione.