

**COMUNE DI MURAVERA**  
**PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA**



**AUTORITA' DI BACINO**  
**AGENZIA REGIONALE DEL DISTRETTO IDROGRAFICO**  
**DELLA SARDEGNA**

**PROCEDURA DI VARIANTE AL PIANO DI ASSETTO**  
**IDROGEOLOGICO IN LOCALITA' COSTA PIREDDU**  
**AI SENSI DELL'ART. 37, COMMA 3 DELLE N.T.A. DEL PAI**

ELABORATO		
RELAZIONE SULLO STUDIO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO PER LA DEFINIZIONE DEL RISCHIO DI FRANA		
REL.01		

data: __/03/2025	aggiornamento: REV_2	scala:
------------------	----------------------	--------

I PROGETTISTI:

Dott. Ing. ALESSANDRO LAI

Dott. Geol. GIULIANO MADEDDU

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Premessa.....	2
1. Struttura e contenuti dello studio.....	4
2. Definizione dell'area di studio e dell'unità fisiografica.....	6
3. Analisi fisico ambientale dell'area di studio.....	7
3.1 Premessa metodologica.....	7
3.2 Inquadramento geologico e tettonico di settore.....	7
3.2.1 Depositi quaternari dell'area continentale.....	9
3.3 Inquadramento geomorfologico.....	10
3.3.1. Dominio montano-collinare.....	10
3.3.2. Dominio della piana alluvionale e della fascia pedemontana.....	11
3.4 Analisi dei fenomeni gravitativi a monte dell'area di studio.....	12
3.4.1. Il codice di calcolo QPROTO.....	13
4. Individuazione della pericolosità da frana (Hg).....	20
4.1. Metodologia.....	20
4.2. Analisi dei fattori di suscettività.....	21
4.3. Attribuzione dei pesi per i fattori di suscettività.....	22
4.3.1. Carta dell'Acclività.....	22
4.3.2. Carta Litologica.....	22
4.3.3. Carta dell'Uso del Suolo.....	23
4.4. <i>Overlay mapping</i> e suscettività franosa, carta dell'instabilità potenziale dei versanti.....	24
4.5. Carta Geomorfologica e della Franosità.....	25
4.6. Carta di sintesi della pericolosità da frana.....	25
4.6.1 Pericolosità nelle aree del dominio montano-collinare.....	26
4.6.2 Pericolosità nelle aree del dominio di piana alluvionale e pedemontano.....	27
5. Sintesi dei risultati relativi alle aree di pericolosità da frana Hg.....	29
6. Individuazione delle aree a rischio da frana Rg (o geomorfologico).....	30
7. Definizione della Carta del Danno Potenziale.....	31
8. Definizione della Carta del Rischio da Frana Rg (o Geomorfologico).....	33
Conclusioni.....	36

## Premessa

Il presente Studio di Assetto Idrogeologico, è finalizzato alla formulazione della proposta di variante ai sensi dell'art. 37, comma 3 lettera "e" delle Norme di Attuazione del PAI per la ridefinizione dei livelli di pericolosità da frana in località *Costa Pireddu*, a sud-est dell'abitato di Muravera.

La redazione del presente studio si inquadra all'interno degli indirizzi per la pianificazione urbanistica contenuti nell'**Art. 37 comma 3** lettera "e" delle Norme di attuazione del PAI il quale stabilisce che sono, tra gli altri, motivi di eventuali varianti del PAI dei competenti Enti Locali, le istanze motivate e puntuali di amministrazioni pubbliche supportate da adeguata documentazione.

Pertanto, il presente studio di dettaglio circoscritto al versante orientale di Punta Columbus nel territorio comunale di Muravera, costituisce la variante a quanto riportato nello studio di assetto idrogeologico vigente redatto ai sensi dell'art. Comma 2 e art.37 comma 3 lettera "b" approvati dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino con Deliberazione n. 6 del 19/02/2019.

Con Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino n. 14 del 28/10/2024 e pubblicata sul BURAS in data 21/11/2024, c'è stata l'adozione preliminare della *"Variante Generale di Revisione del Piano per l' Assetto Idrogeologico (PAI) parte frana della Regione Autonoma della Sardegna, derivante dallo studio di dettaglio e approfondimento del quadro conoscitivo della pericolosità e del rischio da frana nei SUB BACINI 1 (SULCIS), 2 (TIRSO), 4 (LISCIA), 5 (POSADA-CEDRINO), 6 (SUD-ORIENTALE), 7 (FLUMENDOSACAMPIDANO-CIXERRI)"*.

Nell'albo pretorio del Comune di Muravera, è stato dato avviso attraverso pubblicazione n. 1321 del 25/11/2024.

Nel presente studio è stata condotta un'analisi geologica, geomorfologica, idrogeologica riferita all'unità fisiografica (riportata nella Tavola 1a) collinare e pedemontana ricompresa tra il medio basso corso Rio Niu Crobu (a nord) e il FIUME\_244121 (torrente così codificato all'interno del reticolo idrografico regionale) al fine di individuare eventuali processi, criticità in atto o potenziali connessi alla dinamica dei versanti utile per la definizione di maggior dettaglio delle perimetrazioni di pericolosità da frana già individuate dal PAI vigente e per la revisione della pericolosità geomorfologica dell'area.

Lo studio contiene le analisi condotte su tale area con particolare riguardo ai fattori predisponenti l'instabilità potenziale dei versanti e alle dinamiche gravitative in atto nelle

formazioni rocciose affioranti. Tali aspetti, che risultano fondamentali e propedeutici, hanno costituito la base per le verifiche di dettaglio che sono state condotte in sito, le quali hanno permesso di individuare e definire nel dettaglio le aree soggette a fenomeni franosi, la tipologia di fenomeno, le aree di innesco-trasporto e deposito sia attuali che pregresse.

## **1. Struttura e contenuti dello studio**

Il presente studio finalizzato alla proposta di variante al Piano di Assetto Idrogeologico vigente, relativamente al rischio geomorfologico (o di frana) è redatto nelle modalità riportate all'art. 25 delle NTA del PAI.

Il presente studio di dettaglio dovrà contenere:

- L'inquadramento del territorio comunale relativamente agli strumenti di pianificazione regionale in tema di difesa del suolo e rischio idrogeologico (PAI);
- Eventuali informazioni storiche riguardo gli eventi franosi e di dissesto succedutisi nel territorio comunale;
- Lo studio geologico e geomorfologico delle aree di particolare interesse, con particolare attenzione alle dinamiche evolutive dei versanti e delle interazioni tra processi gravitativi, idrografia superficiale e assetto morfostrutturale;
- L'analisi dei fattori climatici e delle situazioni potenzialmente predisponenti ai fenomeni di dissesto;
- L'analisi geomeccanica qualitativa delle formazioni litoidi in merito all'assetto geostrutturale (giacitura degli strati) e allo stato di alterazione e fratturazione delle stesse;
- L'analisi dell'instabilità potenziale dei versanti (che rappresenta l'attitudine di un versante a condizioni di franosità e instabilità potenziale) effettuata sulla base delle caratteristiche generali dei versanti attraverso le stesse condizioni litologiche, di pendenza e di uso del suolo.
- L'individuazione e perimetrazione delle aree di pericolosità da frana non attualmente perimetrate da PAI;
- L'individuazione e perimetrazione delle aree a rischio da frana sulla base delle aree a pericolosità da frana e degli elementi a rischio individuati.

Sulla base dei contenuti sopra riportati, lo studio verrà supportato dalla seguente cartografia di base e di sintesi (carte derivate):

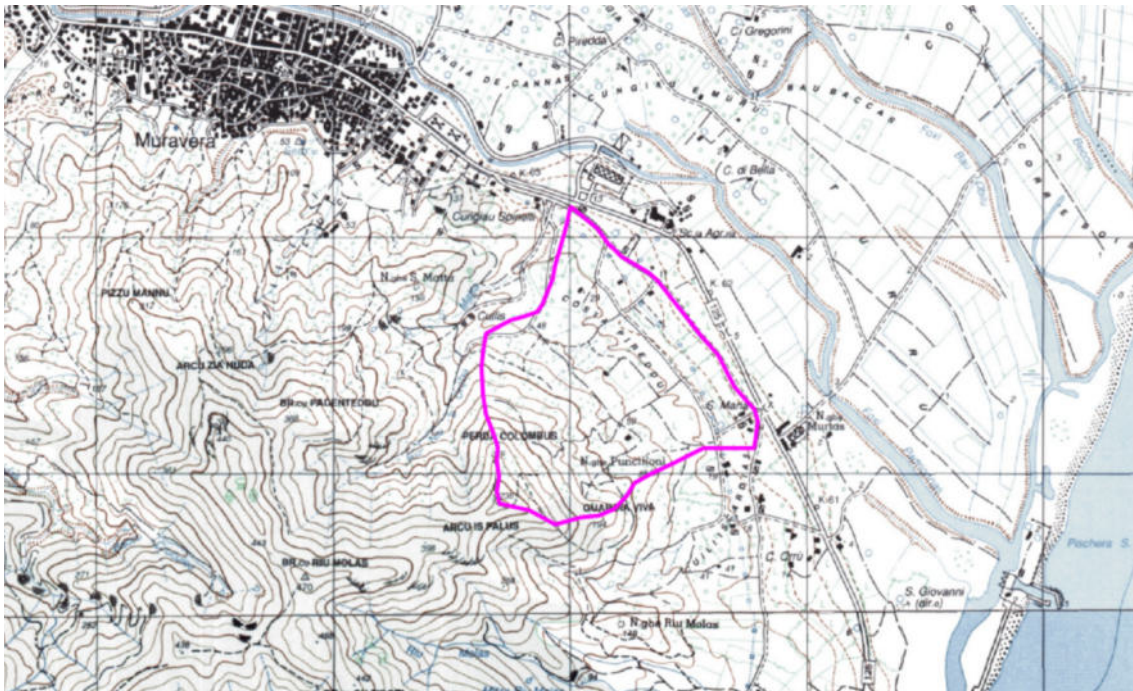
- TAV\_01 – Carta di inquadramento su IGM (scala 1:25.000)
- TAV\_01a – Carta dell'unità fisiografica di studio su IGM
- TAV\_02 – Carta Litologica (scala 1:5000)
- TAV\_03 – Carta dell'Acclività (scala 1:5.000)

- TAV\_04 – Carta dell’Uso del Suolo (scala 1:5.000)
- TAV\_05 – Carta dell'Instabilità potenziale dei versanti (scala 1:5.000)
- TAV\_06 – Carta Geomorfologica e della franosità Sud (scala 1:5.000)
- TAV\_07 – Carta di sintesi della Pericolosità da frana (Hg) (scala 1:5.000)
- TAV\_08 – Carta della Pericolosità da frana PAI vigente (Hg) (scala 1:5.000)
- TAV\_08a – Carta della Pericolosità da frana PAI Variante 2024 sub-bacino 07 Flumendosa (scala 1:5.000)
- TAV\_09 – Carta del danno potenziale (D) (scala 1:5.000)
- TAV\_10 – Carta del Rischio di frana (Rg) (scala 1:5.000)

Gli elaborati cartografici sono restituiti secondo le modalità previste dalle linee guida per l'adeguamento del PUC al PAI approvate con deliberazione del comitato istituzionale del 18.07.2007 dall'Autorità di Bacino della Regione Sardegna e all'allegato 1 alla deliberazione n.2 del 19.02.2019 del comitato istituzionale riportante le *“Specifiche tecniche per gli elaborati cartografici”*.

## 2. Definizione dell'area di studio e dell'unità fisiografica

Come accennato in premessa, l'area di studio copre una superficie di circa 170 Ha, delimitata a ovest dalle vette di Perda Colombus e Arcu Is Paulis e il tratto montano del Rio Niu Crobu. Verso nord-ovest è delimitata dal Riu Matta che attraversa la ex SS125 e la zona industriale a nord. Il limite est è costituito dalle propaggini collinari di Costa Pireddu e la superficie di raccordo fino a ex SS 125 all'altezza della località Santa Maria. Il limite sud-est è rappresentato dal FIUME\_244121, che ha origine il loc. Guardia Viva e si immette nel canale Foxi Padrionnas in loc. San Giovanni.



Inquadramento dell'area di studio (in rosso) su IGM

### **3. Analisi fisico ambientale dell'area di studio**

#### **3.1 Premessa metodologica**

La base di partenza per la redazione della carta geolitologica dell'area di studio indagata è stata la Carta Geologica di Base della Regione Sardegna in scala 1:25.000 relativa all'anno 2008 e disponibile nel SITR-IDT attraverso il geoportale della Regione Sardegna. Il dato regionale è stato poi implementato mediante fotointerpretazione (Ortofoto 2016 e immagini Bing Maps) coadiuvata e integrata dalle verifiche dirette sul campo a livello di dettaglio. Lo studio è stato condotto a una scala di dettaglio 1:5.000 e la successiva restituzione cartografica dei dati ad una scala di 1:5.000. La cartografia geolitologica prodotta illustra l'ubicazione spaziale e la descrizione delle unità litologiche, con particolare riferimento alla loro influenza nella predisposizione ai fenomeni di dissesto e in generale della loro incidenza sulle dinamiche dei processi gravitativi di versante. In alcune limitate aree, a partire dagli anni '90, sono state oggetto di lavorazioni e modifiche antropiche, pertanto si è tenuto conto delle risultanze di operazioni di movimento terra (es sbancamenti, abbancamenti). Inoltre è emerso che nello studio PAI vigente (studio di variante approvato nel 2019, parte frane), è stato utilizzato un dtm con maglia di 10x10 metri. Nel presente studio è stato utilizzato il dtm con passo 1x1 mt (2008) che ben riporta la conformazione attuale del terreno e quindi maggiormente attendibile e dettagliato per la valutazione di carattere geomorfologico.

#### **3.2 Inquadramento geologico e tettonico di settore**

Il territorio oggetto del presente studio, ricade interamente all'interno dell'area denominata Sarrabus. L'unità tettonica del Sarrabus, insieme a quella di Meana Sardo e dell'Arburese, secondo Carmignani et Alii (1992), costituirebbero il fronte alloctono delle Falde esterne che, scollate alla base delle metarenarie Cambro-Ordoviciane, avrebbero completamente scavalcato l'unità del Gerrei disponendosi direttamente sulla zona esterna (Sulcis-Iglesiente) ove costituirebbero il fronte della catena. L'unità tettonica del Sarrabus, vista la sua posizione in cima all'edificio a falde, è quella con minore deformazione e più basso grado metamorfico. All'interno dell'unità tettonica del Sarrabus vengono distinte tre sottounità: quella di Genn'Argiolas, quella di Minderrì e quella di Punta Ruggeri. L'area di Muravera ricade completamente all'interno della sottounità di Genn'Argiolas. Nell'area di studio (come del resto attorno dell'abitato di Muravera) affiorano principalmente litologie Paleozoiche con subordinate presenze locali di depositi alluvionali e di versante; solo nella parte Nord, oltre la ex SS 125, risultano predominanti le alluvioni Quaternarie. La formazione più antica è quella costituita dalle Arenarie di San Vito, a cui si sovrappongono le metavulcaniti (Formazione di Monte Santa



Vittoria "MSV" e Porfidi Grigi del Sarrabus "PGS"). Il contatto è marcato localmente dalla presenza di un metaconglomerato grossolano (Metaconglomerato di Muravera) spesso in giacitura discordante sul basamento Paleozoico; questa discordanza è nota come discordanza Sarrabese (questo contatto non è stato rilevato nell'area di studio).

Alle successioni vulcaniche, si sovrappone la Formazione di Punta Serpeddi "PSR", costituita da metarenarie grossolane e i microconglomerati metamorfosati. Questa formazione affiora in una fascia compresa tra Br.cu Padenteddu fino al colle del Nuraghe Riu Molas.

L'area di studio può essere suddivisa in due grandi domini, uno montano-collinare e l'altro comprendente la piana alluvionale del Flumendosa e le superfici di raccordo.

Di seguito vengono descritte in dettaglio, dalla più antica alla più recente, le formazioni affioranti secondo quanto riportato nelle note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 549 "Muravera":

#### **Arenarie di San Vito (SVI) (CAMBRIANO MEDIO-ORDOVICIANO INFERIORE)**

La formazione delle Arenarie di San Vito è quella che affiora più diffusamente all'interno dell'area di studio e ne occupa i settori centro-settentrionale e settentrionale. Essa è costituita da delle alternanze irregolari, da decimetriche a metriche, di metaquarzoareniti, metarenarie micacee e metapeliti con diffusi livelli di metaconglomerati minuti quarzosi e rari livelli carbonatici (**SVIb**) intercalati nella parte alta della formazione. L'ambiente di sedimentazione corrisponde ad un sistema deltizio sottomarino, con sedimentazione anche di tipo torbido.

#### **Formazione di M.te Santa Vittoria (MSV) (ORDOVICIANO MEDIO)**

Si tratta di una formazione costituita da una successione discontinua e non molto potente di metavulcaniti, metarioliti e metaepiclastiti che in parte corrispondono ai "Porfidi quarziferi bianchi in masse e filoni, loro tufi e agglomerati", come denominati da Calvino (1963) che si rinvengono in affioramenti di limitata estensione nei settori centrale e settentrionale dell'area di studio. All'interno della formazione è possibile distinguere due diverse litofacies. La prima litofacies (**MSVa**) è rappresentata principalmente da metaepiclastiti a matrice vulcanica con intercalate metaquarzogrovacche, metarenarie e metaconglomerati a prevalenti componenti di vulcaniti acide ("formazione di Manixeddu" Auct.) costituenti un affioramento in direzione NO-SE. La seconda litofacies (**MSVb**) è rappresentata principalmente da metaepiclastiti, prevalentemente metagrovacche, intercalate a metavulcaniti a chimismo andesitico e basaltico ("formazione di Serra Tonnai" Auct.) non rinvenibili però nell'area di studio.

#### **Formazione di P.ta Serpeddi (PSR) (ORDOVICIANO SUPERIORE)**

La formazione è costituita, alla base, da un'alternanza di metarcose, metarenarie grossolane e metaconglomerati poligenici di ambiente trasgressivo mentre nella parte alta si rinvencono quarziti, metarenarie a grana fine e metasiltiti con livelli fossiliferi di ambiente litorale e di piattaforma neritica a sedimentazione terrigena. Gli spessori massimi rilevati sono di circa 90 metri e gli affioramenti principali si rinvencono nella parte centro orientale dell'area di studio.

#### **Formazione di Tuviois (TUV) (ORDOVICIANO SUPERIORE)**

La formazione è costituita, alla base, da un'alternanza di livelli centimetrici di metarenarie micacee a grana fine e metasiltiti con locali affioramenti di metarenarie grossolane in banchi, mentre verso l'alto si ha la presenza metacalcari silicizzati (**TUVa**). L'ambiente di sedimentazione è quello di piattaforma distale e gli spessori sono generalmente di un centinaio di metri. Gli affioramenti sono di limitata estensione e si rinvencono principalmente nella parte sud-occidentale dell'area di studio.

#### **Porfidi grigi del Sarrabus (PGS) (CARBONIFERO SUP-PERMIANO)**

La formazione, nota con il nome di "Porfidi quarziferi grigi in masse e filoni, tipici del Sarrabus" (Calvino, 1963), è composta prevalentemente da metarioliti, tufi, tufi riolitici e metariodaciti con evidente struttura porfirica, con intercalati livelli epiclastici di metaconglomerati e metarenarie derivati dallo smantellamento subaereo dei litotipi principali. La formazione affiora principalmente nella parte centro-occidentale dell'area di studio e costituisce il picchi rocciosi di Perda Colombus. Di fatto questa formazione caratterizza i maggiori rilievi a monte dell'abitato di Muravera.

#### **3.2.1 Depositi quaternari dell'area continentale**

Sono state distinte due principali unità deposizionali separate da un'importante superficie di erosione corrispondente a una fase di incisione e terrazzamento: il Sintema di Portovesme e i depositi alluvionali olocenici.

#### **Subsintema di Portoscuso (sintema di portovesme) (PVM2) (PLEISTOCENE SUPERIORE)**

I depositi pleistocenici affioranti nell'area di studio sono rappresentati esclusivamente da sedimenti alluvionali cementati e ossidati costituiti da ghiaie da medie a grossolane, con subordinate sabbie (**PVM2a**), incisi e terrazzati dall'idrografia attuale (es. Riu Niu Crobu). Gli affioramenti si estendono continuamente a partire dai 50 metri di quota fino a poco oltre (verso valle) il tracciato della ex SS 125.

#### **Depositi alluvionali terrazzati (bna) (OLOCENE)**

I depositi alluvionali terrazzati olocenici occupano gran parte dei fondivalle e delle pianure costiere dei principali corsi d'acqua con un'altezza media sull'alveo attuale di circa 2.5 m. I depositi sono costituiti da ghiaie grossolane con subordinate sabbie.

#### **Depositi alluvionali (OLOCENE)**

Le alluvioni degli alvei attuali sono costituite da depositi a granulometria variabile lungo i corsi d'acqua principali e loro affluenti. Negli alvei incassati e lungo i tratti montani i depositi sono costituiti in prevalenza da ghiaie da grossolane e medie (**ba**), mentre si passa a granulometrie più fini, come sabbie con subordinati limi e argille (**bb**) nelle zone di pianura costiera dei principali corsi d'acqua.

#### **Sedimenti legati a gravità (a) (OLOCENE)**

Questo tipo di depositi sono rappresentati da coperture detritiche derivate da alterazione in situ delle rocce e in seguito mobilizzate da processi di versante. I depositi più rappresentativi rinvenibili nell'area di studio sono quelli di versante, costituiti da detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati e accumulati per gravità alla base dei versanti rocciosi più ripidi. Gli affioramenti più estesi si rinvencono al piede delle pareti carbonatiche di Monte Lora e lungo le sponde incassate del Flumendosa.

#### **Depositi antropici (ha) (OLOCENE)**

I depositi antropici cartografati all'interno dell'area di studio(**ha**), sono rappresentati da modesti abbancamenti a lato delle strade di penetrazione agraria e di accesso alle proprietà trattasi di depositi di terre grossolane e blocchi rocciosi .

### **3.3 Inquadramento geomorfologico**

L'assetto geomorfologico dell'area di studio può essere analizzato secondo due domini principali: il dominio montano-collinare e quello delle piane alluvionali e pedemontane

#### **3.3.1. Dominio montano-collinare**

Il dominio montano-collinare, caratterizzato da pendenze quasi sempre maggiori del 20%, rappresenta la maggior parte del territorio comunale occupandone il settore occidentale, dove affiora esclusivamente il complesso metamorfico ercinico cambro-ordoviciano.

Nell'intero settore centro-settentrionale del territorio comunale affiorano le rocce del complesso metamorfico, le quali danno luogo a un dominio montano caratterizzato, anche in questo caso, da quote medie di circa 300 metri slm. Tratto morfologico distintivo di questo dominio è una vasta area a pendenze medio basse, comprese tra lo 0-20%, che rappresenta il "Penepiano post-ercinico". Questo si erge a una quota media di 400 m slm nel settore

occidentale dell'area di studio e rappresenta il tratto conclusivo dello spartiacque superficiale del Flumendosa e delle aste minori che si immettono nella piana alluvionale. Le quote massime, superiori ai 450 metri slm, si registrano lungo le creste rocciose di Br.cu Rio Molas (470 m slm), Br.cu Su Tidori (442 m slm) e di Su Pizzu Mannu (312 m slm) sopra l'abitato di Muravera.

Le valli del reticolo idrografico minore, invece, sono prevalentemente simmetriche, con profilo a V e versanti caratterizzati da pendenze sempre superiori al 50%, come ad esempio nel tratto montano del Riu Niu Crobu.

Nell'area non risultano frane censite all'interno del Progetto IFFI, tuttavia, alle pendici delle creste rocciose e picchi rocciosi di Perda Colombus, sono individuabili massi di diverse tonnellate (ora stabilizzati), corpi di frana di crollo e falde di detrito a testimonianza di processi gravitativi attivi (vedi carta geomorfologica)

### 3.3.2. Dominio della piana alluvionale e della fascia pedemontana

Nella fascia orientale dell'area di studio possibile individuare tre diversi sistemi di pianura alluvionale che, procedendo da O verso E, corrispondono alle porzioni distali della piana del Flumendosa che fungono da strutture di raccordo con la fascia collinare e poi montana. Queste zone sono contraddistinte da pendenze medie comprese nell'intervallo 0-10% mentre pendenze leggermente superiori, comprese nell'intervallo 10-20 %, sono osservabili lungo le fasce di raccordo tra il dominio di piana e quello montano e collinare adiacente. In generale, i processi geomorfici riconoscibili in questo dominio sono riconducibili alle dinamiche di evoluzione fluviale in ambiente di transizione tra quello montano e pedemontano ad alta e media energia (orlo di scarpata di erosione fluviale e solchi da ruscellamento concentrato) e quello di piana alluvionale vero e proprio a bassa energia.



**Alluvioni antiche terrazzate (PVM2a) che caratterizzano la fascia pedemontana in loc. Costa Pireddu**

### 3.4 Analisi dei fenomeni gravitativi a monte dell'area di studio.

Come accennato nel capitolo 3.3, particolare attenzione è stata rivolta all'analisi dei fenomeni gravitativi pregressi rilevati nel settore di monte e precisamente nell'area compresa tra i picchi e le cornici rocciose che caratterizzano Perda Columbus (250 mt slm) e le pendici del versante fino ad una quota di 60 mt slm. In tale area, sono rilevabili le aree di distacco e di accumulo di crolli di massi avvenuti in passato. Nella parte alta degli impluvi (questi ben delimitati da spartiacque) sono ben rilevabili massi ciclopici, di dimensioni medie di circa 5 mc. La natura di questi massi è ascrivibile alla formazione dei Porfidi grigi del Sarrabus (PGS). Tali fenomeni di crollo e rotolamento, i cui effetti sono rilevabili fino ad una quota di circa 60 mt slm, sono riferibili a condizioni climatiche e processi geomorfologici non attuali, più probabilmente riferibili al Pleistocene. Infatti i massi, risultano stabilizzati sul versante e generalmente inglobati nella coltre detritica superficiale nella parte basale. Gli unici fenomeni gravitativi "attivi" (o potenzialmente tali) sono dei crolli di massi e detriti di pezzatura decimetrica cartografati come falda detritica (VG16) o corpi di frana di crollo (VG07) presenti immediatamente alla base del punto sorgente e pertanto soggetti ad un trasporto minimo.



Vista da valle del picco roccioso di Perda Columbus, in primo piano un masso stabilizzato

Tuttavia, al fine di una più corretta valutazione della pericolosità da frana dell'area di studio, è stata effettuata una *back analysis* del fenomeno (relativamente ai blocchi di grandi dimensioni) al fine di prevedere la zona di massima espansione e rotolamento a seguito della caduta di blocchi. A tal fine, partendo dal dtm 1x1 mt, è stato utilizzato il codice di calcolo Qproto all'interno del software QGIS.

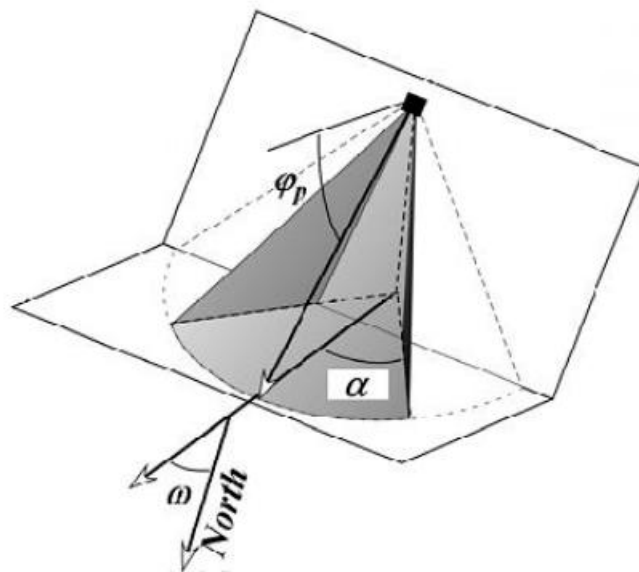
La *back analysis* effettuata tramite il Plugin QPROTO ha preso avvio dalla caratterizzazione del pendio. L'individuazione della linea di massima pendenza a partire dalla zona sorgente ha permesso l'estrapolazione del profilo altimetrico del pendio e la determinazione dell'angolo di inclinazione del pendio  $\beta$ , identificato in circa  $25^\circ$ .

#### 3.4.1. Il codice di calcolo QPROTO

QPROTO permette di identificare l'area di invasione e stimare la suscettibilità e la pericolosità relativa (spaziale) di un crollo in roccia per analisi speditive, che tengano conto delle caratteristiche geometriche e topografiche del versante e di alcune considerazioni empiriche.

Il punto focale di QPROTO è costituito dalla creazione di un cono di visibilità, utilizzando la funzione *r.viewshed* inclusa in GRASS 7; la funzione analizza l'area di visibilità e identifica tutti i punti visibili della superficie topografica, a partire da un punto in cui è situato un osservatore (Castelli et al, 2019). Tale punto diventa l'apice di un cono di visibilità, la cui estensione è associata alla definizione di tre angoli fondamentali (inclinazione, apertura, orientazione). Assumendo che all'apice del cono sia collocata una sorgente di caduta massi, il cono di visibilità può assumere il significato di cono di invasione e tutte le aree visibili della superficie topografica possono essere raggiunte da un masso in caduta. Con questa interpretazione, gli angoli caratteristici del cono sono

- $\varphi_p$ : angolo di energy line;
- $\alpha$ : angolo di dispersione laterale;
- $\omega$ : angolo di immersione del versante (*dip direction*).



La massima distanza percorsa da un blocco può essere stimata, in un sistema di riferimento bidimensionale, dall'intersezione della linea di energy line con la superficie topografica del pendio; in questo caso il valore di  $\varphi_p$  rappresenta la dissipazione dell'energia durante il moto del blocco. In un sistema di riferimento tridimensionale, la linea di energy line definisce nel piano verticale il cono di invasione mentre l'angolo  $\alpha$  definisce la dispersione laterale delle traiettorie generate dal software. Il software permette di ricavare l'energia cinetica per ogni punto situato sotto l'energy line.

I valori di energia cinetica ottenuti tramite QPROTO trascurano la combinazione di caduta libera, rimbalzi, rotolamenti e scivolamenti che avvengono in un moto reale di un punto; tali fenomeni sono simulati attraverso un moto equivalente di scivolamento lungo un piano con angolo di inclinazione  $\varphi_p$ . In aggiunta, l'energia cinetica non risulta pesata ma presenta la stessa probabilità di occorrenza per ogni punto compreso nell'area di invasione.

Per far fronte al problema, è stato inserito il parametro *propensity to detachment index ID* [0-1] che rappresenta un peso associato ad ogni punto sorgente, attraverso il quale è possibile definire la probabilità relativa che avvenga un distacco da quella sorgente. L'indice ID permette inoltre di calcolare le frequenze pesate rappresentate dalla mappa *susceptibility.tif* e due mappe di pericolosità relativa *w\_en.tif* e *w\_tot\_en.tif*.

I parametri di input necessari per l'avvio delle simulazioni tramite QPROTO sono identificati da un DTM e da uno shape file contenente i punti di distacco. Ogni punto di distacco (sorgente di blocchi) è caratterizzato da:

- ID: numero di identificazione del punto sorgente;
- ELEVATION: altezza in metri rispetto al livello del mare;
- ASPECT: direzione di immersione  $\omega$  del pendio nel punto sorgente. Valori espressi in gradi ( $^{\circ}$ ), in un intervallo compreso fra 0-360 $^{\circ}$ .
- PROPENSITY TO DETACHEMENT INDEX ID: esprime la probabilità di distacco associata ad ogni punto sorgente. Tale indice può essere definito con un differente livello di dettaglio, in funzione delle informazioni ricavabili dall'area oggetto di studio (dati storici, mappe che forniscono informazioni sulla densità delle fratture, inclinazione del pendio nella zona di distacco, ecc.) o in funzione dei risultati di indagini speditive condotte sul versante in esame. I valori possibili ricadono in un intervallo compreso fra 0-1 (nel caso in esame è stato attribuito il valore 1).
- BOULDER MASS: massa del blocco. Valori espressi in kg (nel caso in esame sono stati considerati massi di 5 tonnellate).

- ENERGY LINE ANGLE: angolo di energy line  $\phi_p$  del cono con apice nel punto sorgente. Valori espressi in gradi ( $^{\circ}$ ), in un intervallo compreso fra 0-90° (nel caso in esame è stato attribuito il valore 25°).

- LATERAL SPREADING ANGLE: angolo di dispersione laterale  $\alpha$  del cono con apice nel punto sorgente. Valori espressi in gradi ( $^{\circ}$ ), in un intervallo compreso fra 0-90° (nel caso in esame è stato attribuito il valore pari a 10°).

- VISIBILITY DISTANCE: massima distanza di estensione dell'analisi. Valori espressi in m.

I parametri di output sono costenuti in 10 mappe raster che rappresentano per ogni cella l'area di invasione:

- count.tif (frequenza non pesata): restituisce il numero di punti sorgenti che raggiungono quella cella, cioè la frequenza di passaggio dei coni nella cella;

- v\_min.tif: restituisce il valore minimo di velocità di tutti i coni che "vedono" la cella. I dati sono espressi in m/s;

- v\_max.tif: restituisce il valore massimo di velocità di tutti i coni che "vedono" la cella. I dati sono espressi in m/s;

- v\_mean.tif: restituisce la media della velocità di tutti i coni che "vedono" la cella. I dati sono espressi in m/s;

- e\_min.tif: restituisce il valore minimo di energia cinetica di tutti i coni che "vedono" la cella. I dati sono espressi in J;

- e\_max.tif: restituisce il valore massimo di energia cinetica di tutti i coni che "vedono" la cella. I dati sono espressi in J;

- e\_mean.tif: restituisce la media dell'energia cinetica di tutti i coni che "vedono" la cella. I dati sono espressi in J;

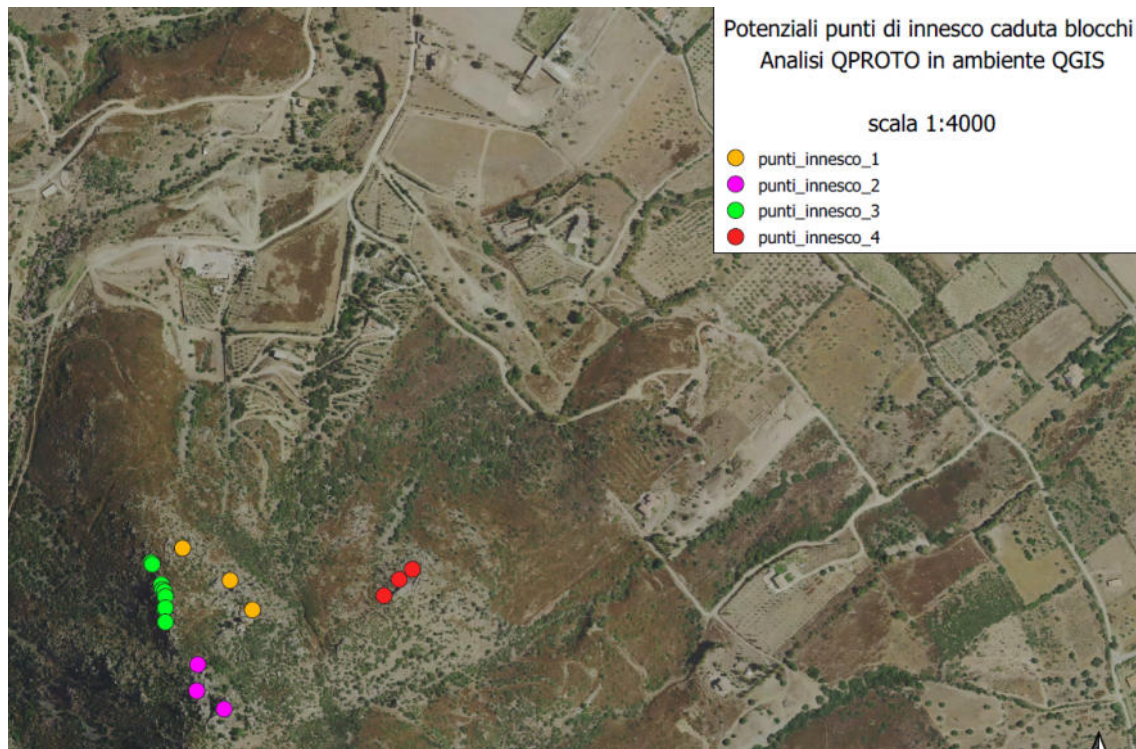
- susceptibility.tif (frequenza pesata): descrive in che modo è distribuito il fenomeno di caduta massi nella zona di invasione, evidenziando le zone maggiormente colpite in termini di probabilità relativa (spaziale) di occorrenza;

- w\_en.tif: restituisce la probabilità relativa (spaziale) che un evento, di una determinata magnitudo (energia), possa interessare quella determinata cella. È ottenuto dal prodotto fra l'indice ID associato a ogni cella sorgente e l'energia cinetica di ogni i-esimo cono di visibilità che raggiunge la cella;

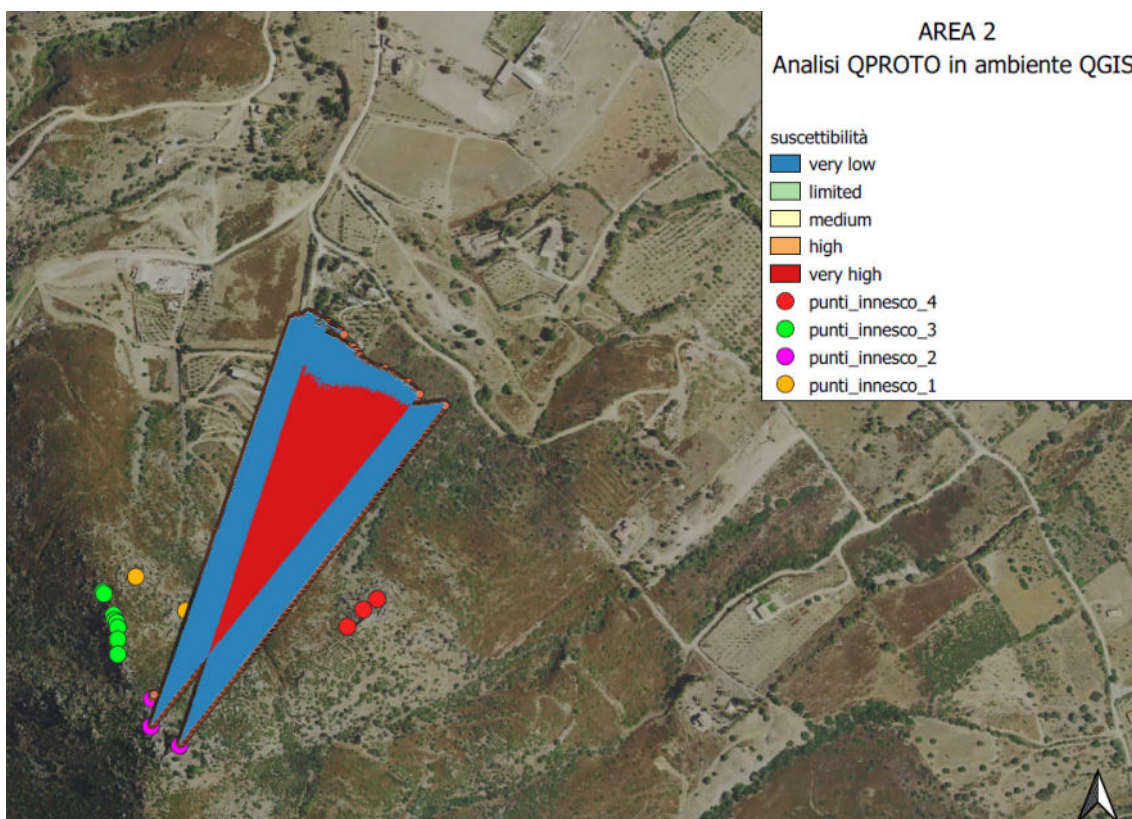
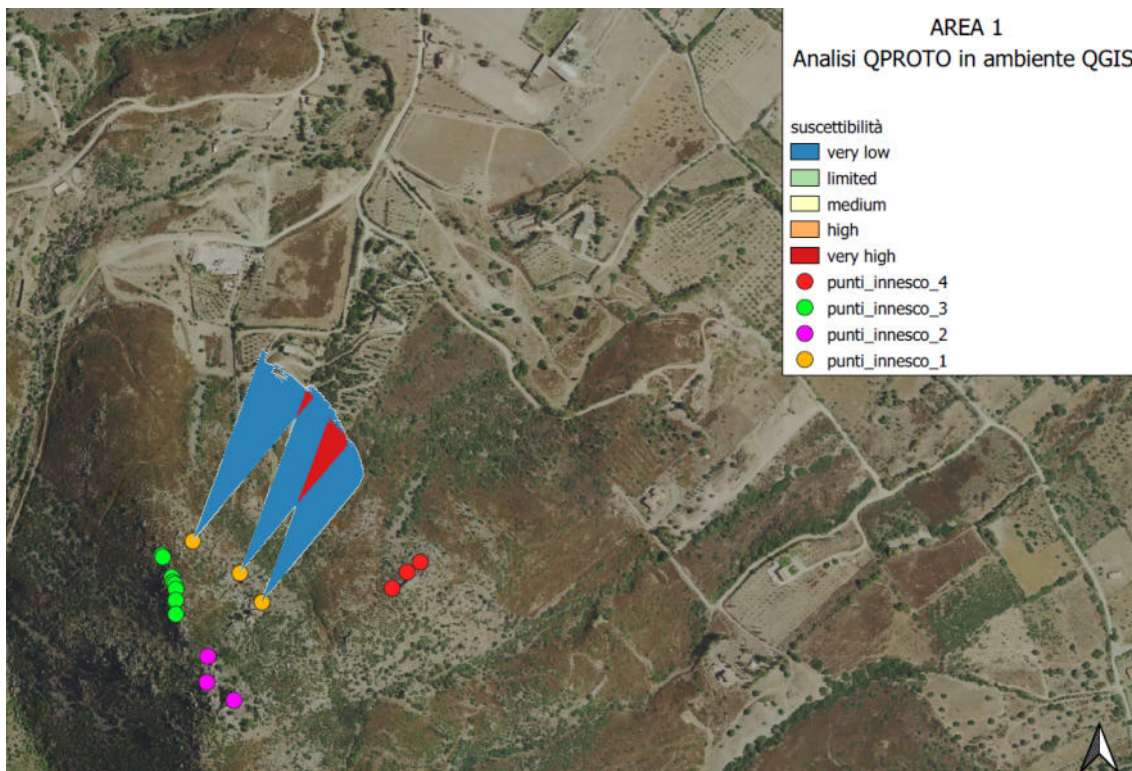


w\_tot\_en.tif: restituisce la probabilità relativa (spaziale) che un evento, di una determinata magnitudo (energia), possa interessare quella determinata cella. È ottenuto sommando tutti i prodotti fra l'indice ID associato a ogni cella sorgente e l'energia cinetica di ogni i-esimo cono di visibilità che raggiunge la cella.

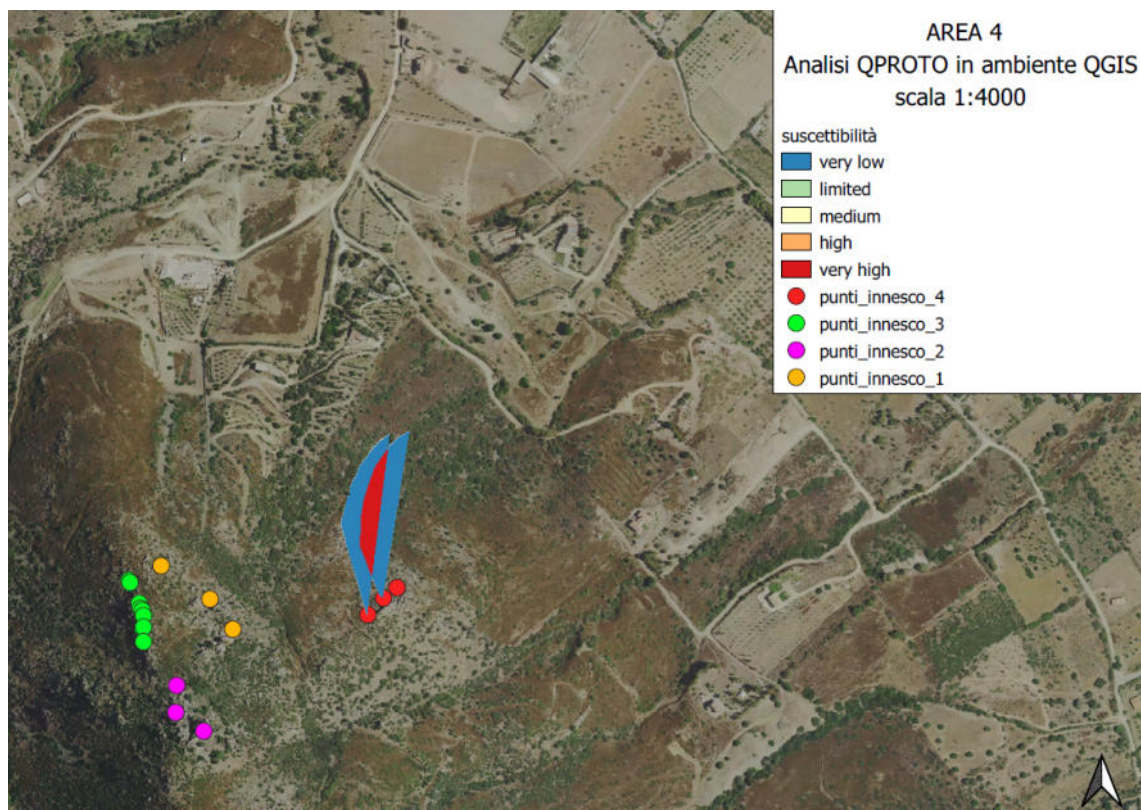
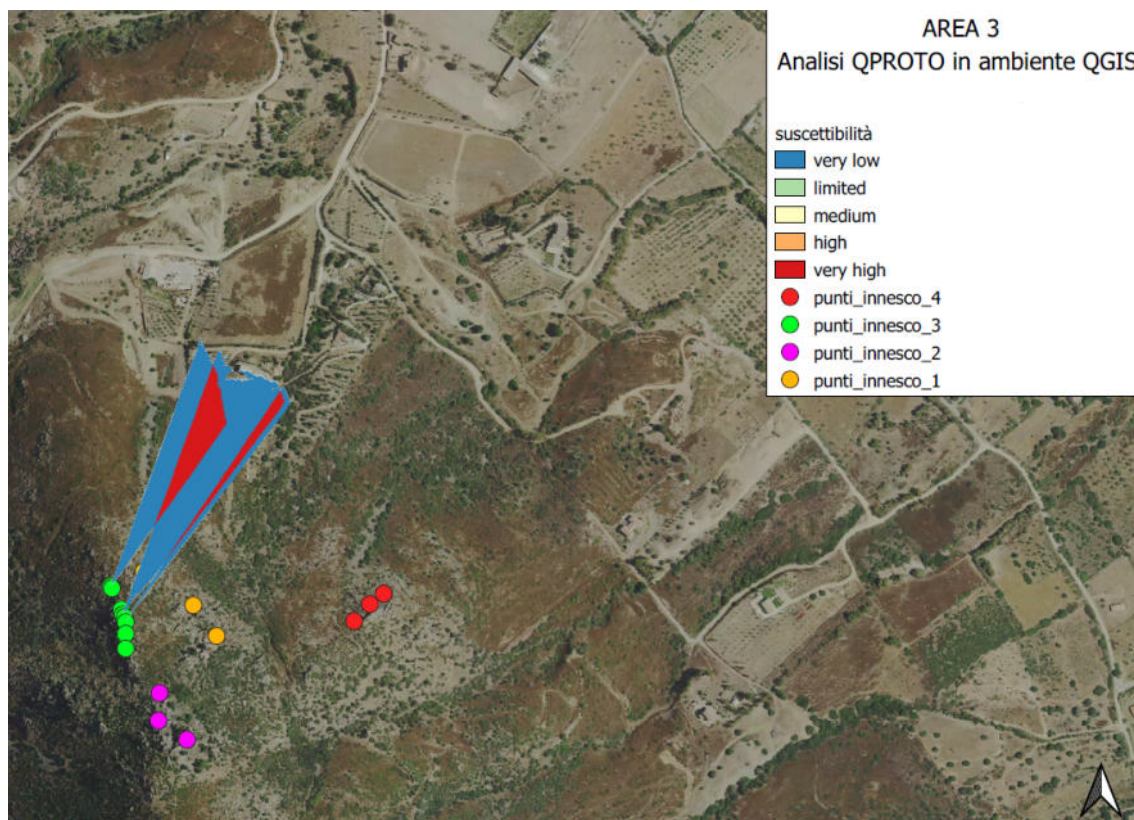
La mappa può essere interpretata in termini di cinetica totale pesata.



Di seguito la restituzione della mappa relativa alla suscettibilità della zona di caduta per i punti di innesco individuati.







Come si evince dalle risultanze della simulazione in QPROTO, le aree a valle dei punti di innesco, maggiormente suscettibili all'invasione dei blocchi (considerati di 5 mc) trovano forte corrispondenza con quanto rilevato in sito. Alla luce di quanto emerso, è stato possibile classificare in maniera più

precisa le aree caratterizzate da un'instabilità potenziale media e forte ma soggette a fenomeni gravitativi pregressi di una certa rilevanza. Tale valutazione ha consentito una mappatura più puntuale sia delle aree a pericolosità geomorfologica molto elevata (Hg4) che a pericolosità elevata (Hg3). Queste ultime infatti definiscono zone con frane quiescenti, zone di possibile espansione areale di frane quiescenti e nelle quali sono presenti indizi geomorfologici di instabilità dei versanti.

#### **4. Individuazione della pericolosità da frana (Hg)**

Sulla base della metodologia esposta nelle Linee Guida del PAI “Attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia - DL. 180 e Legge 267 del 3-08-1998” e integrata con lo studio di dettaglio dei fenomeni franosi presenti nel dominio montano, l'analisi della pericolosità geomorfologica ha lo scopo di:

- acquisire un quadro sul tipo, la distribuzione, la ricorrenza e la gravità dei fenomeni di instabilità;
- individuare i fenomeni di dissesto più frequenti o comunque significativi dell'area presa in esame e quali sono le cause e i fattori che li hanno determinati, al fine di concentrare su quelli e su queste le indagini sugli elementi predisponenti, per poter prevenire i luoghi di eventuali e futuri fenomeni di dissesto.

Nell'ambito del presente studio, la valutazione delle varie aree a pericolosità da frana è stata condotta valutando e pesando l'incidenza che i diversi fattori attivi e passivi di suscettività da frana (acclività, uso del suolo e litologia) hanno sulle condizioni di stabilità dei versanti.

##### **4.1. Metodologia**

La metodologia utilizzata per la realizzazione della Carta della Pericolosità da Frana si basa sullo studio geologico, geomorfologico, geologico-tecnico e di uso del suolo condotto sull'area i cui limiti sono stati descritti in premessa.

Oltre allo studio fisico e ambientale del territorio è stata elaborata la carta delle acclività. Questa è stata classificata secondo le disposizioni date dalle suddette Linee Guida del PAI. La carta delle acclività è stata ricavata dal modello digitale del terreno (DTM passo 1x1 mt) liberamente scaricabile dal SITR-IDT dal geoportale della Regione Sardegna. Al fine di poter relazionare i vari tematismi sono state convertite in formato raster anche le carte litologica e di uso del suolo (sempre secondo una restituzione di 1x1 mt in modo tale che i tematismi fossero perfettamente sovrapponibili al fine del successivo calcolo). Tale passaggio è fondamentale per poter effettuare l'operazione di *overlay mapping* dei tematismi rappresentanti la suscettività franosa e arrivare alle successive mappe derivate.

A supporto della definizione delle aree a pericolosità da frana è stata elaborata una carta geomorfologica del territorio comunale con particolare dettaglio sui fenomeni franosi presenti e sulle dinamiche di versante.

La metodologia adottata può essere schematizzata in due fasi principali, come descritto di seguito:

1. realizzazione della Carta dell'Instabilità Potenziale dei Versanti in scala 1:4.000, che riporta la propensione al dissesto del territorio. La realizzazione di questa carta offre un'indicazione sulla situazione del territorio che va poi verificata e analizzata sul campo e approfondita;
2. realizzazione della Carta Geomorfologica in scala 1:4.000, nella quale sono riportati i fenomeni franosi reali e potenziali dei quali si hanno evidenze morfologiche, geomorfologiche e dinamiche e che definiscono condizioni oggettive di instabilità potenziale.
3. Studio di dettaglio di fenomeni franosi pregressi (crolli e rotolamenti) e definizione delle potenziali aree di invasione di blocchi rocciosi attraverso una *back analysis* in ambiente GIS (come descritto al capitolo 3.4.1).

L'integrazione dei risultati ottenuti dall'applicazione dei due suddetti passaggi conduce alla redazione della Carta di sintesi della Pericolosità da Frana dell'area di studio finalizzata ad una revisione delle pericolosità da frana vigenti.

#### **4.2. Analisi dei fattori di suscettività**

Per arrivare alla valutazione della pericolosità da frana sono stati presi in considerazione i seguenti fattori di suscettività rispetto ai fenomeni di dissesto:

- distribuzione di fenomeni franosi pregressi;
- acclività dei versanti;
- litologia;
- uso del suolo.

Per poter attribuire, a ciascun fattore di suscettività, il “peso” rappresentativo del grado di propensione al dissesto, è stato necessario rilevare ed elaborare le seguenti carte tematiche:

- Carta dell'Acclività;
- Carta Litologica;
- Carta dell'Uso del Suolo.

Altre informazioni utili alla valutazione della pericolosità da frana sono state riportate, per motivi di chiarezza grafica, all'interno della Carta Geomorfologica e della Franosità. Questa riporta la distribuzione delle litologie del substrato e dei materiali alluvionali/di copertura, nonché la mappatura delle forme fluviali e di versante dovute alle acque superficiali, delle forme di versante dovute alla gravità e ai processi franosi, le forme strutturali e quelle artificiali.

### 4.3. Attribuzione dei pesi per i fattori di suscettività

#### 4.3.1. Carta dell'Acclività

La Carta dell'Acclività rappresenta l'intensità della componente gravitativa destabilizzante ed è stata redatta accorpando in classi i valori di acclività e attribuendo a ciascuna classe i pesi numerici previsti dalle Linee Guida del PAI .

Classi di pendenza	Peso PAI
> 50 %	-2
35,1-50 %	-1
20,1-35%	0
10,1-20%	+1
0-10%	+2

**Classi di acclività e relativi pesi**

Rispetto allo studio di cui all'art. 8 comma 2 approvato nel 2019, è stato utilizzato il DTM passo 1x1 m scaricabile gratuitamente dal SITR-RAS. Nello studio precedente infatti, la carta delle acclività era stata ottenuta dal DTM con passo 10x10, quindi di minor dettaglio. I pesi attribuiti a ciascuna classe corrispondono a quelle previste dalle Linee Guida per la determinazione della Carta dell'Instabilità dei Versanti.

Inoltre nella Variante 2024, dalla consultazione del raster contenuto nella cartella "7123\_07-FA-02-01-002G-00\_Copertura\_Pendenze", sembrerebbe che il range di pesi attribuiti (da +2 a -4) sia differente da quelli indicati nelle Linee Guida (da +2 a -2). Tale valore rientrerebbe nel calcolo dell'instabilità potenziale.

#### 4.3.2. Carta Litologica

La Carta Litologica è stata realizzata per poter valutare la propensione al dissesto delle litologie descritte nella carta geologica. Sono stati valutati in maniera specifica i parametri che, nel complesso, determinano il comportamento geomeccanico di ogni singola litologia, anche in relazione ai fenomeni di infiltrazione e all'eventuale circolazione idrica sotterranea.

Litologia	Peso PAI
a – Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. OLOCENE	1
bb - Depositi alluvionali. Sabbie con subordinati limi e argille. OLOCENE	4
bn-a- Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE	5

PVM2a - Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie. PLEISTOCENE SUP.	5
PSR - FORMAZIONE DI PUNTA SERPEDDÌ. Metarosse, metarenarie e metaconglomerati poligenici; al tetto quarziti, metarenarie a grana fine e metasiltiti con livelli fossiliferi. ORDOVICIANO SUP. (CARADOC-ASHGILL)	4
PGS - PORFIDI GRIGI DEL SARRABUS. Metarioliti e metariodaciti grigio-scure porfiriche, metatufi e metaepiclastiti con vario grado di alterazione. ORDOVICIANO MEDIO	5
MSV - FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA. Metarioliti biancastre afanitiche, talvolta con piccoli fenocristalli di quarzo e di feldspati in pasta di fondo microcristallina ("Porfidi bianchi" Auct.). ORDOVICIANO ?MEDIO	5
SVI - ARENARIE DI SAN VITO. Alternanze irregolari, da decimetriche a metriche, di metarenarie micacee, quarziti e metasiltiti con laminazioni piano-parallele ed incrociate. CAMBRIANO MEDIO - ORDOVICIANO INF.	5

**Elenco delle litologie affioranti nel territorio comunale e relativi pesi; per la descrizione di dettaglio delle litologie si rimanda al § 3.2.**

Per quanto riguarda le litologie presenti, è stata confermata la situazione descritta nello studio di cui all'art. 8 comma 2 vigente e i relativi pesi attribuiti.

Rispetto allo studio di Variante 2024, che per la litologia B2.1 (Rocce parametamorfiche terrigene: (Filladi, Micascisti, Gneiss, Miloniti, Filoniti, Fels, Quarziti, Metaconglomerati, Metarenarie, Metargilliti, Liditi, Diaspri) a cui viene assegnato un peso pari a "4", nello studio proposto viene assegnato un peso pari a 5.

#### 4.3.3. Carta dell'Uso del Suolo

La carta dell'Uso del Suolo fornisce indicazioni sul fattore di protezione idrogeologica rappresentato da determinate categorie di utilizzo del suolo. Ad ogni categoria (o livello) è stato attribuito un peso che rappresenta il grado di "impedenza", ossia l'attitudine delle diverse classi di uso del suolo alla protezione e mantenimento del suolo in relazione ai potenziali dissesti.

Classi d'uso del suolo	Peso PAI
133 - Cantieri	-1
221 - Vigneti	-2
223 - Oliveti	0
242 - Sistemi colturali e particellari complessi	-1
2111 - Seminativi in aree non irrigue	-1
2112 - Parti artificiali	0
2121 - Seminativi semplici e colture orticole a pieno campo	0
3111 - Bosco di latifoglie	2



321 - Aree a pascolo naturale	0
3231 - macchia mediterranea	1
3232 - Gariga (brughiera)	1

#### Classi di uso del suolo e relativi pesi.

Come suggerito dalle Linee Guida del PAI, agli usi che proteggono il suolo viene attribuito un peso positivo (massima impedenza), mentre per tutti gli altri usi che potenzialmente determinano uno scarso impedimento nei confronti dell'erosione viene assegnato un peso negativo o nullo (impedenza minima o nulla).

E' stata in gran parte confermata la situazione riportata nello studio di cui all'art. 8 comma 2 approvato nel 2019. L'unica modifica è stata apportata all'attribuzione del peso assegnato alla classe 3232 "Gariga" (o brughiera). Infatti nello studio precedente veniva attribuito un valore pari a -3, nonostante le linee guida suggeriscano dei valori alle classi d'uso del suolo in un range compreso tra -2 e +2. Nel caso in esame, trattandosi di una vegetazione bassa ma che si sta evolvendo a caratteri di "macchia", è stato attribuito un valore pari a "1".

#### 4.4. *Overlay mapping* e suscettività franosa, carta dell'instabilità potenziale dei versanti

Il processo di *overlay mapping* tra i vari tematismi, pesati con i rispettivi valori dei fattori di suscettività franosa, è stato sviluppato seguendo quanto suggerito dal diagramma di flusso riportato nelle Linee Guida del PAI. Il primo passo di questa procedura vede la redazione della Carta dell'Instabilità Potenziale dei Versanti. A ogni area elementare del territorio oggetto di indagine, rasterizzato in maglie quadrate di 1x1 m per lato, è stato assegnato un indice numerico, variabile nell'intervallo -3 e 12, ottenuto per somma algebrica dei pesi attribuiti ai 3 tematismi di base (acclività, litologia e uso del suolo) e traduce, in termini numerici, la loro incidenza sulle condizioni di instabilità del versante.

In accordo con quanto previsto dalle Linee Guida del PAI, la zonazione delle aree con potenziale propensione al dissesto è stata effettuata suddividendo l'intervallo dei possibili risultati ottenibili attraverso la sovrapposizione dei diversi tematismi (e relativi pesi) in cinque classi di instabilità potenziale, come illustrato nella tabella seguente:

Classe di instabilità	Descrizione	Pesi
1	Situazione potenzialmente stabile	da 10 a 12
2	Instabilità potenziale limitata	da 7 a 9
3	Instabilità potenziale media	da 4 a 6

4	Instabilità potenziale forte	da 1 a 3
5	Instabilità potenziale massima	da -3 a 0

**Classi di instabilità potenziale, descrizione e relativo range di pesi.**

Nello studio di Variante 2024, nella carta di instabilità potenziale di riferimento, alcune aree della fascia pedemontana, presentano una stabilità potenziale limitata e media (che però nella carta della pericolosità da frana vengono poi rappresentate con una pericolosità Hg3).

#### **4.5. Carta Geomorfologica e della Franosità**

La carta è stata redatta sulla base del rilievo di dettaglio, fotointerpretazione delle immagini satellitari storiche ed attuali. Vista l'importante presenza di picchi rocciosi (Perda Colombus) nell'area montana a SO di Costa Pireddu, e la presenza di grossi massi all'interno dei canali entro i 60 mt di quota è stata effettuata un'analisi per la definizione delle aree suscettibili a tali fenomeni gravitativi. Al fine di calibrare il modello di calcolo è stata effettuata una *back analysis* partendo dai blocchi presenti alle pendici dei picchi rocciosi, per la definizione di alcune grandezze fisiche per il calcolo (dalle ortofoto sono ben individuabili diversi blocchi sul pendio, ora stabilizzati o comunque non mobilizzabili con le condizioni climatiche attuali).

Sono stati individuate 4 aree di innesco e attraverso un applicativo GIS (QPROTO) sono state individuate le aree di maggiore suscettibilità. Gli aspetti di dettaglio riguardo la metodologia applicata verranno esposti più avanti.

Lo studio geomorfologico è stato condotto partendo dalle ortofoto recenti e l'analisi del DTM passo 1x1 mt. Dapprima è stata definita l'orografia di dettaglio dell'area, con l'individuazione degli spartiacque secondari, le creste rocciose sulla sommità dei rilievi e le forme derivanti dalle acque superficiali (solchi da ruscellamento concentrato e orli di scarpata da erosione fluviale nelle aree più vallive) viste anche le pendenze dei versanti. Pertanto sono state individuate le aree maggiormente interessate da fenomeni gravitativi sia con estensione puntuale (picchi rocciosi, blocchi e massi) che areale (corpi di frana di crollo, detrito falda e conoidi). I corpi di frana di crollo, generalmente costituiti da massi angolosi pluridecimetrici, che sottostanno a creste rocciose (anche di limitata estensione) laddove presenti litologie porfiroidi (PGS) fratturate o comunque allentate in superficie.

#### **4.6. Carta di sintesi della pericolosità da frana**

La Carta di sintesi della Pericolosità da Frana deriva dalla verifica dei risultati dell'analisi geomorfologica di terreno (vedi "TAV\_06 - Carta Geomorfologica e della Franosità") e

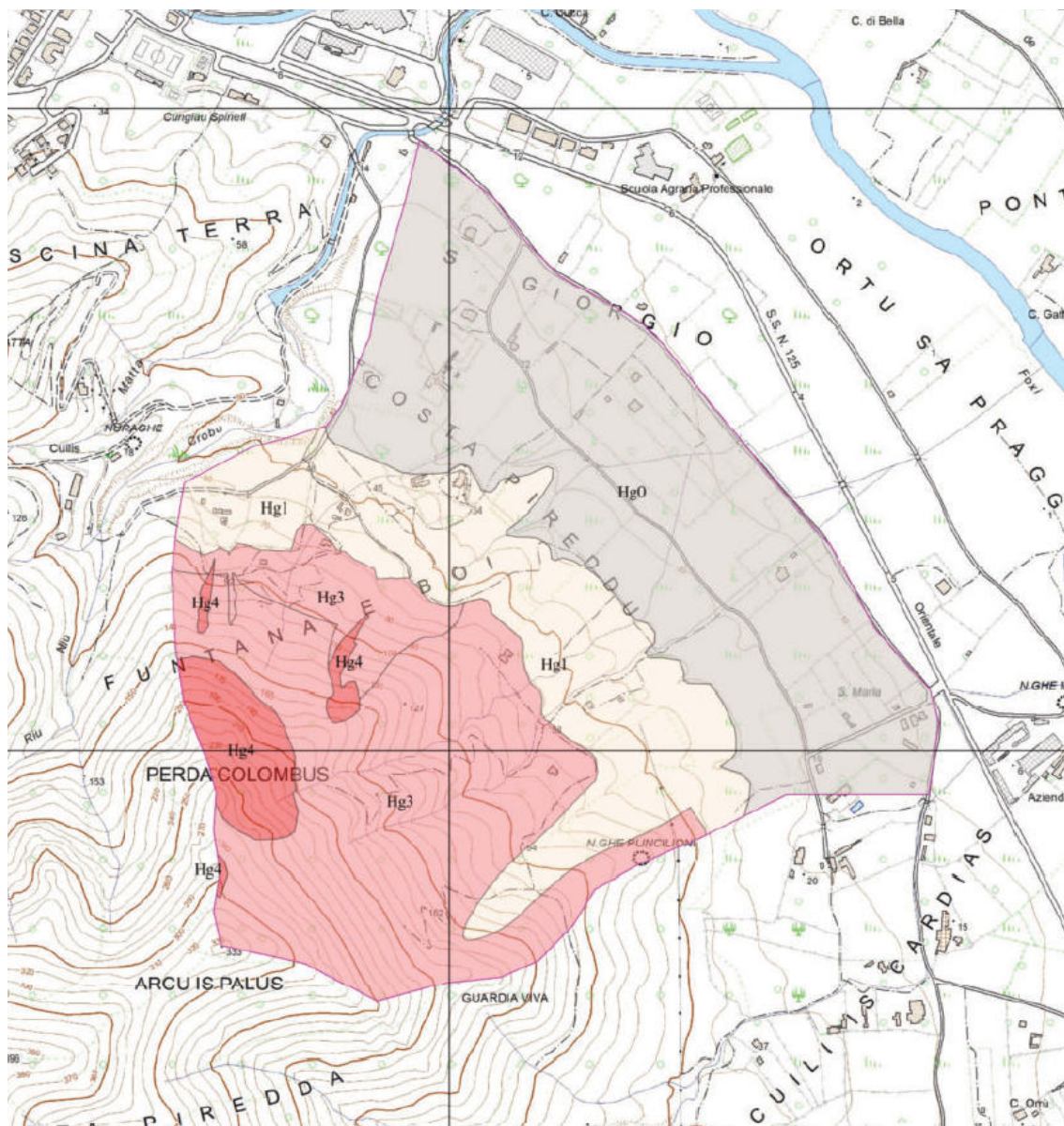
dall'analisi delle condizioni di potenziale instabilità (vedi “ TAV\_05 - Carta dell'Instabilità Potenziale dei Versanti”).

Il processo di *overlay mapping*, utilizzato per la redazione della Carta dell'Instabilità Potenziale dei Versanti, può portare alla delimitazione di aree ad instabilità potenziale anche in aree pianeggianti a causa della forte influenza dei fattori litologici o di uso del suolo. In questi casi si darà maggior rilevanza alle analisi e alle valutazioni effettuate sulla base dei rilievi condotti sul campo e alle analisi di dettaglio condotte soprattutto nel settore di monte.

Per semplicità di trattazione le aree a pericolosità da frana verranno presentate e descritte seguendo lo stesso criterio riportato nell'analisi dei domini geomorfologici caratterizzanti l'area di studio.

#### 4.6.1 Pericolosità nelle aree del dominio montano-collinare

Attraverso l'analisi effettuate e elaborazioni cartografiche, unitamente alle considerazioni di carattere geomorfologico, è stata modificata la pericolosità geomorfologica in località Costa Pireddu mentre nella zona a monte (Perda Colombus) la situazione è stata confermata, salvo limitate aree. Le aree con pericolosità Hg4, sono quelle nella quale è stata riscontrata un'instabilità potenziale media-forte e vi è presenza di fenomeni gravitativi dei quali è individuabile la zona di innesco e di deposito (falde di detrito e corpi di frana di crollo). Le aree a pericolosità Hg3 caratterizzano le aree di massima estensione di fenomeni gravitativi pregressi con depositi e accumuli di massi stabilizzati e comunque non movimentabili con le condizioni climatiche attuali.



**Estratto della Carta di Sintesi della Pericolosità da Frana**

#### 4.6.2 Pericolosità nelle aree del dominio di piana alluvionale e pedemontano

Entro il dominio di piana alluvionale e pedemontano le situazioni di maggior pericolosità sono state riscontrate in corrispondenza delle fasce pedemontane.

Le aree a pericolosità media da frana (Hg2) caratterizzano le aree più vallive ma contraddistinte da un'instabilità potenziale media-forte, marginali alle Hg3 e potenzialmente soggette a dinamiche fluviali/torrentizie (Riu Niu Crobu).

Le aree di fondovalle e pianura caratterizzate da pendenze comprese tra 0-10 %, non sono soggette in alcun modo a potenziali fenomeni franosi e, pertanto, sono state perimetrate e classificate come aree a pericolosità Hg0.

Per quanto riguarda i caratteri climatici e di esposizione dei versanti, questi non incidono sull'esito della Carta di sintesi della Pericolosità da Frana. Le precipitazioni sono infatti inferiori ai 700 mm annui (media 656 mm/annui - dati SISS, stazione di Muravera per il periodo 1922-1992), valore che rappresenta una piovosità media annua non predisponente al dissesto. Il parametro dell'esposizione dei versanti non costituisce un fattore rilevante ai fini della discriminante delle varie classi di pericolosità già individuate.

La Carta della Pericolosità da Frana rappresenta la sintesi delle valutazioni e analisi geomorfologica della porzione di territorio indagata. Tale carta rappresenta il territorio indagato, suddiviso secondo aree a diverso grado di pericolosità, crescente da Hg1 a Hg4. Le aree non soggette a fenomeni franosi e quindi con pericolosità assente (o nulla), è stato attribuito il valore Hg0.

## 5. Sintesi dei risultati relativi alle aree di pericolosità da frana Hg

Nell'attribuzione delle varie classi di pericolosità da frana hanno assunto grande rilevanza gli aspetti geomorfologici individuati e riportati nella Carta Geomorfologica e nella Carta delle Acclività, i quali definiscono condizioni di instabilità potenziale intrinseca oppure indizi di elevata stabilità. Queste informazioni, derivate dal lavoro di rilievo geomorfologico sul campo, risultano fondamentali per integrare i risultati del processo di *overlay mapping*, seppur quest'ultimo risulti un utile strumento di indirizzo per condurre il rilievo puntuale sul campo. Gli elementi geomorfologici rilevati e cartografati individuano aree per le quali si è reputato di attribuire in maniera diretta una specifica classe di pericolosità e acquistano un rango di priorità rispetto all'esito della Carta dell'Instabilità Potenziale dei Versanti, rappresentando un valore aggiunto e reale. Nella successiva tabella si riportano gli elementi geomorfologici areali/puntuali per le quali si è associata una specifica classe di pericolosità Hg. La restante parte dall'area di studio, all'interno della quale non sono stati individuati gli elementi geomorfologici rilevanti e con valori di acclività compresi tra 0-10%, è stata cartografata come area ricadente in classe Hg0. Le aree caratterizzate da una pericolosità da frana moderata Hg1 e aventi un'acclività inferiore al 10% sono state classificate con Hg0; tale classe definisce aree studiate ma non interessate da fenomeni franosi attuali o potenziali.

Elemento geomorfologico	Classe di pericolosità (Hg)
Corpi di frana di crollo diffusi con blocchi instabili (Carta Geomorfologica e della franosità).	Hg4
Picchi rocciosi esposti nicchie e corpi di frana di crollo, creste rocciose con connesso corpo di frana di crollo.	Hg4
Aree caratterizzate da instabilità potenziale da media a elevata con presenza di fattori predisponenti al dissesto (elevata acclività, pareti in roccia, copertura vegetale rada o assente) aree potenzialmente invase da crolli di blocchi	Hg3
Aree ad elevata acclività con instabilità potenziale media/elevata e a margine di aree Hg3 e Hg4. Aree in cui esistono condizioni geologiche e morfologiche favorevoli all'erosione superficiale e prive di indicazioni morfologiche di processi gravitativi in s.s.	Hg2
Aree di modesta pendenza delle aree pedemontane e di raccordo con instabilità potenziale media e con assenza di fattori geomorfologici predisponenti a un potenziale dissesto allo stato naturale.	Hg1

**Elementi geomorfologici areali/puntuali e relative classi di pericolosità Hg individuate**

## **6. Individuazione delle aree a rischio da frana Rg (o geomorfologico)**

Di seguito si riporta la procedura applicativa utilizzata per l'individuazione delle aree a rischio da frana Rg (o geomorfologico), secondo quanto definito in prima istanza dalle "Linee Guida per l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia" della Regione Sardegna di cui al D.L. 180 e Legge 267 del 3-08-1998 nonché alla luce degli aggiornamenti successivi.

In particolare, con il presente studio sono stati acquisiti gli aggiornamenti introdotti dal "Testo Coordinato" delle "Norme Tecniche di Attuazione" del PAI pubblicate nel Marzo 2022 (approvate dal Comitato Istituzionale dell'autorità di Bacino con Deliberazione n. 5 del 24marzo 2022), con specifico riferimento agli artt. 40 e 41 del Titolo V "Norme in materia di coordinamento tra il PAI e il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PRGA)" insieme alle linee guida definite a con la nuova Circolare n. 1 del Febbraio 2019 riguardante "Indirizzi interpretativi e procedurali relativi alle norme di attuazione del Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico (PAI)" allegata alla Deliberazione n. 2 del 19/02/2019.

Quindi, lo studio esplicitato nella presente relazione, ha il compito di delimitare le nuove aree di rischio da frana alla luce dello studio delle aree di pericolosità, scaturite dalle analisi geologiche e geomorfologiche di dettaglio entro i limiti delle unità fisiografiche indicate, al fine di definire compiutamente una proposta di variante ai sensi dell'Art. 37 delle N.T.A. del P.A.I.

## 7. Definizione della Carta del Danno Potenziale

La carta degli Elementi a Rischio (o del Danno Potenziale) definisce ai sensi del DPCM 29.09.1998 come elementi sensibili e quindi a rischio: “l'incolumità delle persone, gli agglomerati urbani comprese le zone di espansione urbanistica, le aree su cui insistono insediamenti produttivi, impianti tecnologici di rilievo, le infrastrutture a rete e le vie di comunicazione di rilevanza strategica, il patrimonio ambientale e i beni culturali di interesse rilevante, le aree sede di servizi pubblici e privati, di impianti sportivi e ricreativi, strutture ricettive ed infrastrutture primarie”.

Al fine della definizione della variante al PAI, a supporto dell'attività di individuazione del relativo rischio derivante dalle pericolosità idrogeologiche individuate il Servizio Difesa del Suolo, Assetto Idrogeologico e Gestione del Rischio Alluvione della Direzione Generale dell'Agenzia del Distretto Idrografico Sardegna, ha messo a disposizione l'informazione degli elementi a rischio che il Comune dovrà opportunamente verificare, aggiornare ed integrare secondo la codifica e standard già individuati dalla RAS.

Nel presente studio, la carta degli elementi a rischio (danno potenziale) è stata redatta sulla base dello strato informativo regionale (Database Multi Precisione -DBMP) fornito a corredo del Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA).

A ciascuno degli elementi a rischio così individuati è stato attribuito un peso che ne definisce l'importanza intrinseca e che verrà utilizzato successivamente per la quantificazione del rischio geologico-geomorfologico e quindi la definizione della Carta del Rischio Geologico.

Classi	Elementi	Peso
<b>E1</b>	Aree libere da insediamenti e aree improduttive; zona boschiva; zona agricola non edificabile; demanio pubblico non edificato e/o edificabile	<b>0.20</b>
<b>E2</b>	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	<b>0.50</b>
<b>E3</b>	Nuclei urbani non densamente popolati; infrastrutture pubbliche (strade statali, provinciali e comunali strategiche, ferrovie, <i>lifelines</i> , oleodotti, elettrodotti, acquedotti); aree sedi di significative attività produttive (insediamenti artigianali, industriali, commerciali minori); zone per impianti tecnologici e discariche RSU o inerti, zone a cava.	<b>0.75</b>
<b>E4</b>	Centri urbani ed aree urbanizzate con continuità (densità abitativa superiore al 20% della superficie fondiaria); nuclei rurali minori di particolare pregio; zone di	<b>1.00</b>



	completamento; zone di espansione; grandi insediamenti industriali e commerciali; servizi pubblici prevalentemente con fabbricati di rilevante interesse sociale; infrastrutture pubbliche (infrastrutture viarie principali strategiche); zona discarica speciali o tossico nocivi; zona alberghiera; zona campeggi e villaggi turistici; beni architettonici, storici e artistici	
--	---	--

**Classificazione degli elementi a rischio e attribuzione del relativo peso.**

## 8. Definizione della Carta del Rischio da Frana Rg (o Geomorfologico)

Sulla base delle considerazioni maturate durante le varie fasi in cui si è articolato il presente studio, è stata elaborata la Carta del Rischio da Frana (elaborati TAV\_10 – Carta del Rischio di Frana) che descrive, attraverso l'analisi della Carta della Pericolosità da Frana e della Carta degli Elementi a Rischio o Danno Potenziale, "l'entità del danno atteso in una data area e in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un particolare evento calamitoso".

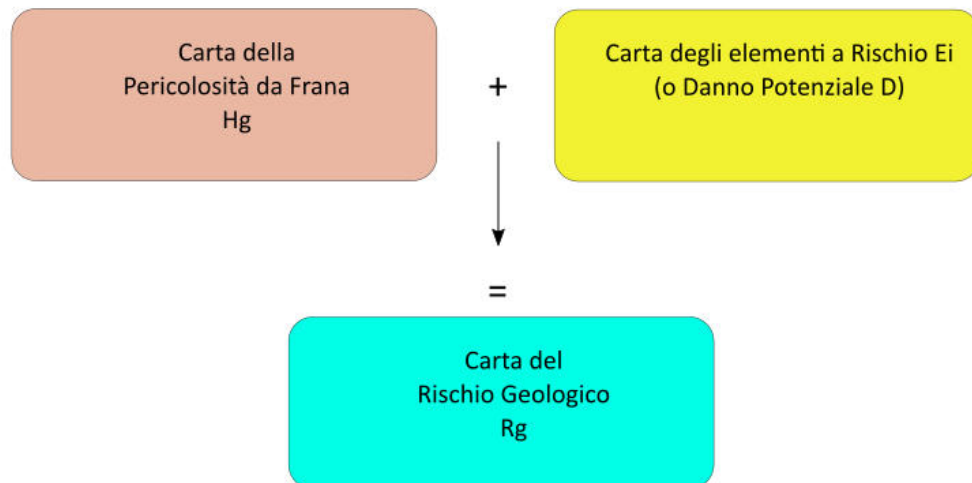


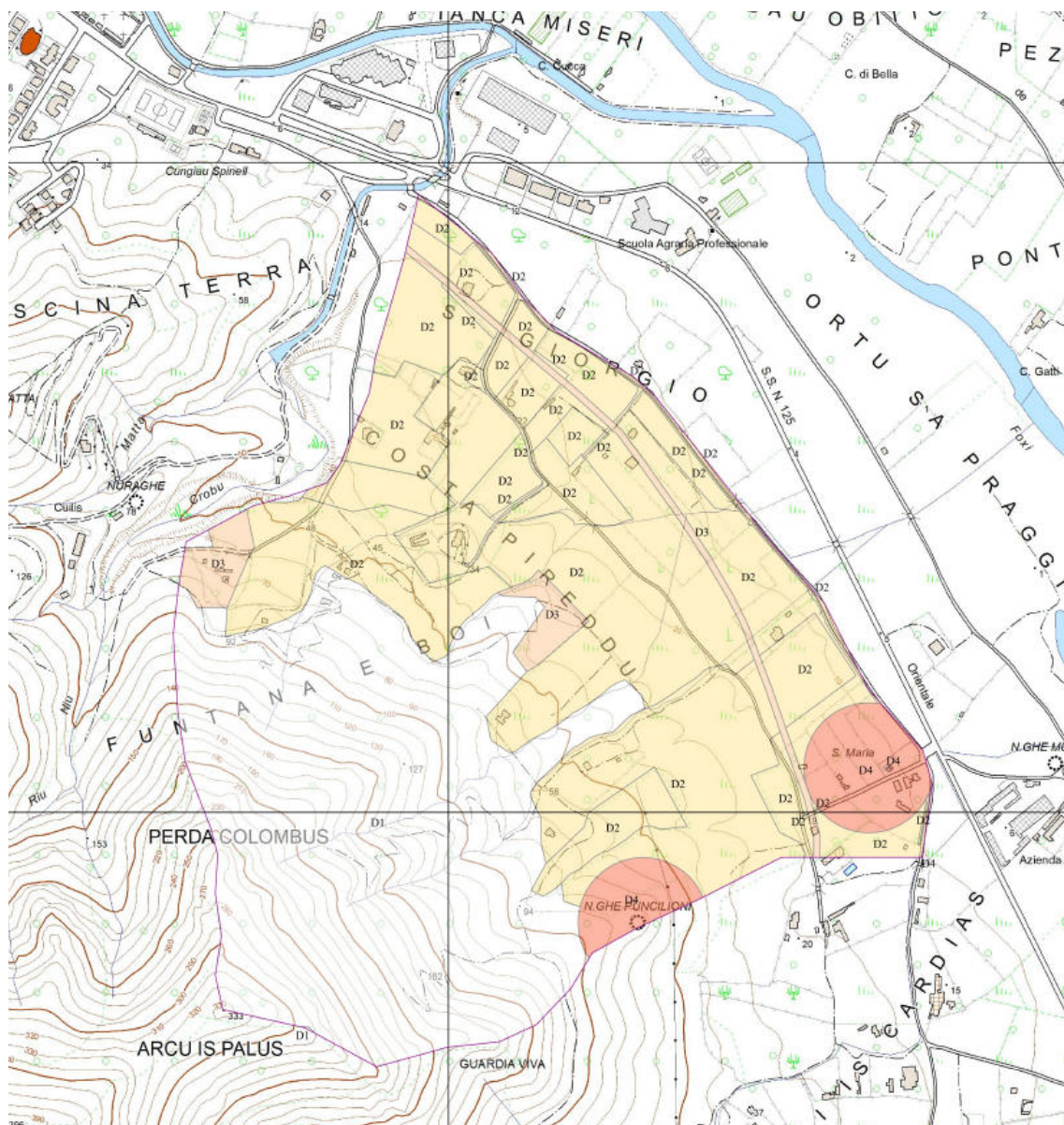
Diagramma per operazione di overlay mapping per la definizione delle classi di rischio da frana.

Il rischio geomorfologico o da frana (Rg) è definito come il prodotto tra la pericolosità (Hg) e le classi degli elementi a rischio (E) e la loro vulnerabilità (V).

$$Rg = Hg * E * V$$

Dove:

- Hg - Pericolosità: ovvero la probabilità che un evento calamitoso si verifichi entro un certo intervallo di tempo e in un determinato spazio fisico;
- E (o D) - Elementi a rischio (o Danno Potenziale): ovvero la popolazione, le proprietà e le attività economiche, inclusi i servizi pubblici, a rischio in una data area;
- V - Vulnerabilità: ovvero il grado di danneggiamento che ciascun elemento a rischio subisce a causa del verificarsi di un evento calamitoso (espresso in una scala da zero = "nessun danno" a uno = "perdita totale").

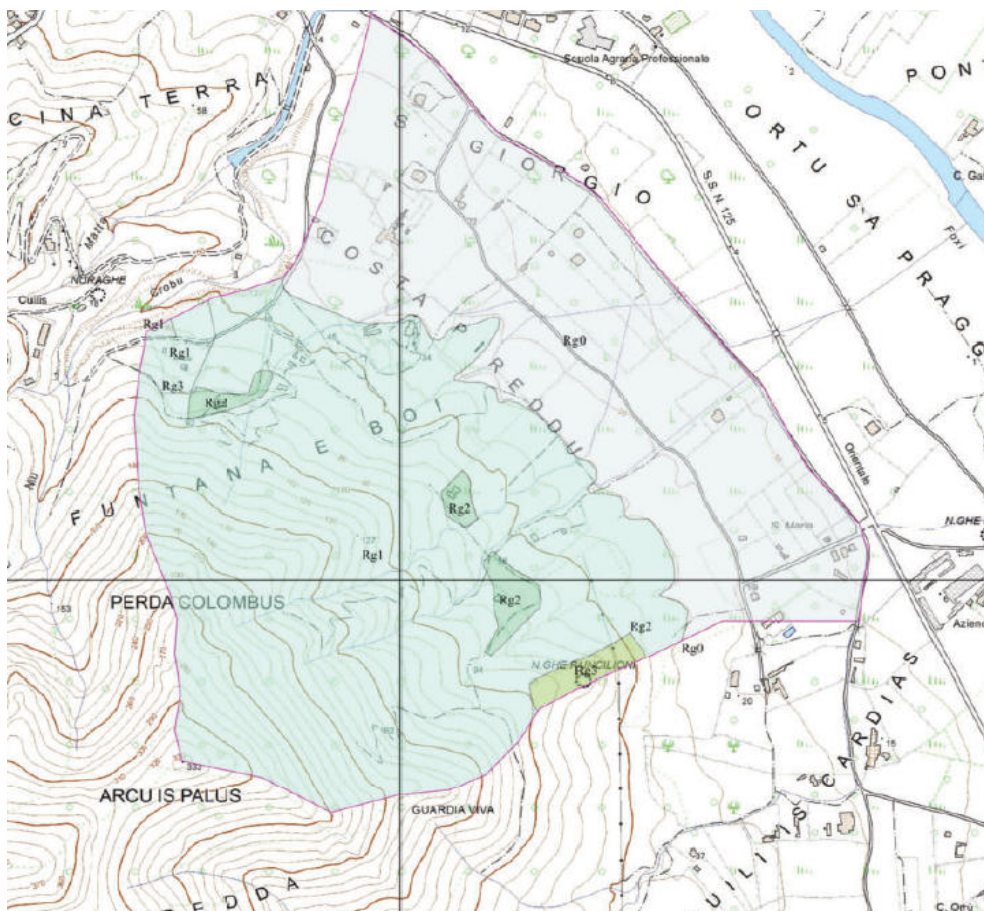


Carta del Danno Potenziale del settore di studio

La valutazione dei livelli di rischio è stata condotta incrociando la pericolosità Hg con le classi di elementi a rischio E, così come previsto dalle LL.GG. del PAI e secondo la matrice di calcolo espressa nella seguente tabella:

Classi elementi a rischio	Hg1	Hg2	Hg3	Hg4
E1	Rg1	Rg1	Rg1	Rg1
E2	Rg1	Rg1	Rg2	Rg2
E3	Rg1	Rg2	Rg3	Rg3
E4	Rg1	Rg2	Rg3	Rg4

Matrice di valutazione del rischio da frana.



Stralcio della Tavola TAV\_10 riportante le aree di rischio da frana perimetrare nel settore di studio

Di seguito vengono riportate le quattro classi di Rischio studiate nell'area di studio e riportate nella Carta del Rischio da Frana (TAV\_10)

Rischio Geologico totale			Descrizione degli effetti
Classe	Intensità	Valore	
Rg1	Moderato	$\leq 0,25$	Danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali.
Rg2	Medio	$\leq 0,50$	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.
Rg3	Elevato	$\leq 0,75$	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.
Rg4	Molto elevato	$\leq 1,00$	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 socioeconomiche.

Descrizione delle classi di rischio di frana e loro quantificazione.

## **Conclusioni**

Sulla base delle risultanze della Carta della Pericolosità da Frana e della Carta degli Elementi a Rischio aggiornati (o Danno potenziale) è stata predisposta la Carta del Rischio Geologico (o Rischio Frana) che rappresenta l'elaborato di sintesi dell'analisi di interazione tra fenomeno naturale (evento franoso) ed elemento a rischio. La Carta del Rischio da Frana rappresenta l'elaborato finale ed è stata ottenuta attraverso l'analisi di una matrice ottenuta dal prodotto della Pericolosità da Frana (intesa come funzione della probabilità accadimento di un evento franoso) per il peso assegnato all'elemento a rischio coinvolto, seguendo le indicazioni disposte dalle LL.GG. del PAI.

Nel settore di studio l'unica area a Rischio da Frana Rg4 è stata localizzata in prossimità strada comunale in loc. San Giorgio (acquedotto) che consente l'accesso alla zona di Costa Pireddu. Le aree a Rischio da Frana Rg3 hanno carattere areale limitato e circoscritto ai beni storici e culturali (Nuraghe S. Matta a monte del Campo Sportivo Comunale e Nuraghe Puncilloni a sud in loc. Guardia Viva).

*Muravera (SU), Marzo 2025*

I tecnici incaricati

Dott. Geol. Giuliano Madeddu

Dott. Ing. Alessandro Lai