Comune di Riola Sardo

Provincia di Oristano



ASSETTO IDROGEOLOGICO COMUNALE
— PARTE FRANA —

Variante puntuale al PAI ai sensi dell'articolo 37 c. 3 delle Norme di Attuazione del PAI		
Tavola **G.0.1**	**Relazione Illustrativa – parte frana**	Scala

ELABORAZIONE

RESPONSABILI DELLA PIANIFICAZIONE

Assetto idraulico

Ing. Tonino Mulas

Assetto geologico

Geol. Orlando Antonio Mereu

SINDACO

Dott. Lorenzo Pinna

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Ing. Alessandro Pisu

APPORTI ALLA PIANIFICAZIONE

Dott. Pianificatore Alessandro Multinu

Data di consegna	Approv. Progetto Preliminare	Adozione PUC	Consegna revisione PUC	Approv. Definitiva PUC
27/02/2025				

PREMESSA

Nella seguente relazione sono esposti i risultati dello studio geologico e geomorfologico svolto nel territorio di Riola Sardo e l'iter metodologico adottato per la definizione delle perimetrazioni delle aree con pericolosità da frana Hg e rischio di frana Rg.

In particolare, si è proceduto all'elaborazione cartografica necessaria per la procedura di variante al PAI prevista dall'art. 8, comma 2 e dall'art. 37, comma 3, lettera b) delle norme di attuazione del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI). Lo studio, concentrandosi sugli aspetti morfoevolutivi e sull'analisi geomorfologica dell'intero territorio, ivi compreso quello strettamente urbano, è stato eseguito, tramite la definizione delle aree soggette a pericolosità da frana non ancora studiate dal PAI, con l'obbiettivo cardine di elaborare una nuova cartografia del rischio da frana e di delineare un quadro informativo delle eventuali opere di mitigazioni strutturali e non strutturali necessarie alla riduzione di detti rischi.

Ai fini della redazione del presente studio si è fatto esplicito riferimento alle aree a pericolosità e rischio di frana e alle relative analisi, che sono state, di fatto, recepite e verificate nel presente studio, contenute nella variante al Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) - parte frana - 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 (Flumendosa-Campidano- Cixerri), approvata in via preliminare con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 14 del 28.10.2024.

Pertanto in questo studio, a seguito delle verifiche effettuate in dettaglio, dei sopralluoghi atti a verificare l'attendibilità del suddetto studio di variante, si è ritenuto che il medesimo potesse essere recepito integralmente, poiché derivato da un procedimento di dettaglio e comunque aggiornato anche in relazione alle pesistiche assegnate ai diversi tematismi.

Gli elaborati grafici allegati riportano la cartografia tematica prodotta in ambiente GIS nel corso dell'analisi territoriale, come richiesto dalle Linee Guida per l'individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia – D.L. 180 e Legge 267/1998.

RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBBLIOGRAFICI

Lo studio ha preso in considerazione seguenti rifermenti normativi e bibliografici:

-Cartografia del Piano Stralcio per L'Assetto Idrogeologico, approvato con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n.67 del 10.07.2006 (di seguito PAI).

- Piano Stralcio per L'Assetto Idrogeologico. Relazione Generale.

- Piano Stralcio per L'Assetto Idrogeologico. *Linee Guida* per l'individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia (D.L. 180 e Legge 267/1998), di seguito denominate LINEE GUIDA, e riferimenti bibliografici in esse riportati.

- Piano Stralcio per L'Assetto Idrogeologico. *Norme di Attuazione* (Agg. 2025 – Testo Coordinato);

- Allegato alla determinazione SDS n. 1859 del 30_12_2005. R.A.S. – Assessorato al LL.PP., Servizio Difesa del Suolo.

- D.P.C.M. 29_09_1998 e relativi allegati.

- Linee guida per l'adeguamento dei piani urbanistici comunali al PPR e al PAI: *Sezione 2.4. L'adeguamento del PUC al PAI*.

- Variante al Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) – Parte Frane, relativa allo 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 (Flumendosa – Campidano-Cixerri). Progetto di Variante Generale e di Revisione del Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna, approvata in via preliminare con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 14 del 28.10.2024

- Progetto IFFI. Allegato 1 – Guida alla compilazione della scheda frane IFFI.

- Guida al rilevamento. Carta Geomorfologica d'Italia – 1:50.000 – Servizio Geologico nazionale - *Quaderni Serie III, Volume 4*.

- D.P.C.M. 29_09_1998 e relativi allegati.

- Circolare 1/2019 del Comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino e relativi allegati.

- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (di seguito PSFF), approvato in via definitiva, per l'intero territorio regionale, con Delibera n. 2 del 17.12.2015 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino della Regione Sardegna.

− Piano di Gestione del Rischio Alluvioni della Sardegna II° ciclo di pianificazione (di seguito PGRA), approvato con la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 14 del 21/12/2021.

- Direttive applicative della L. n. 120/2020 ai procedimenti di variante dei piani per l'assetto idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Sardegna - Allegato alla delibera del Comitato Istituzionale n. 5 del 17.03.2025.

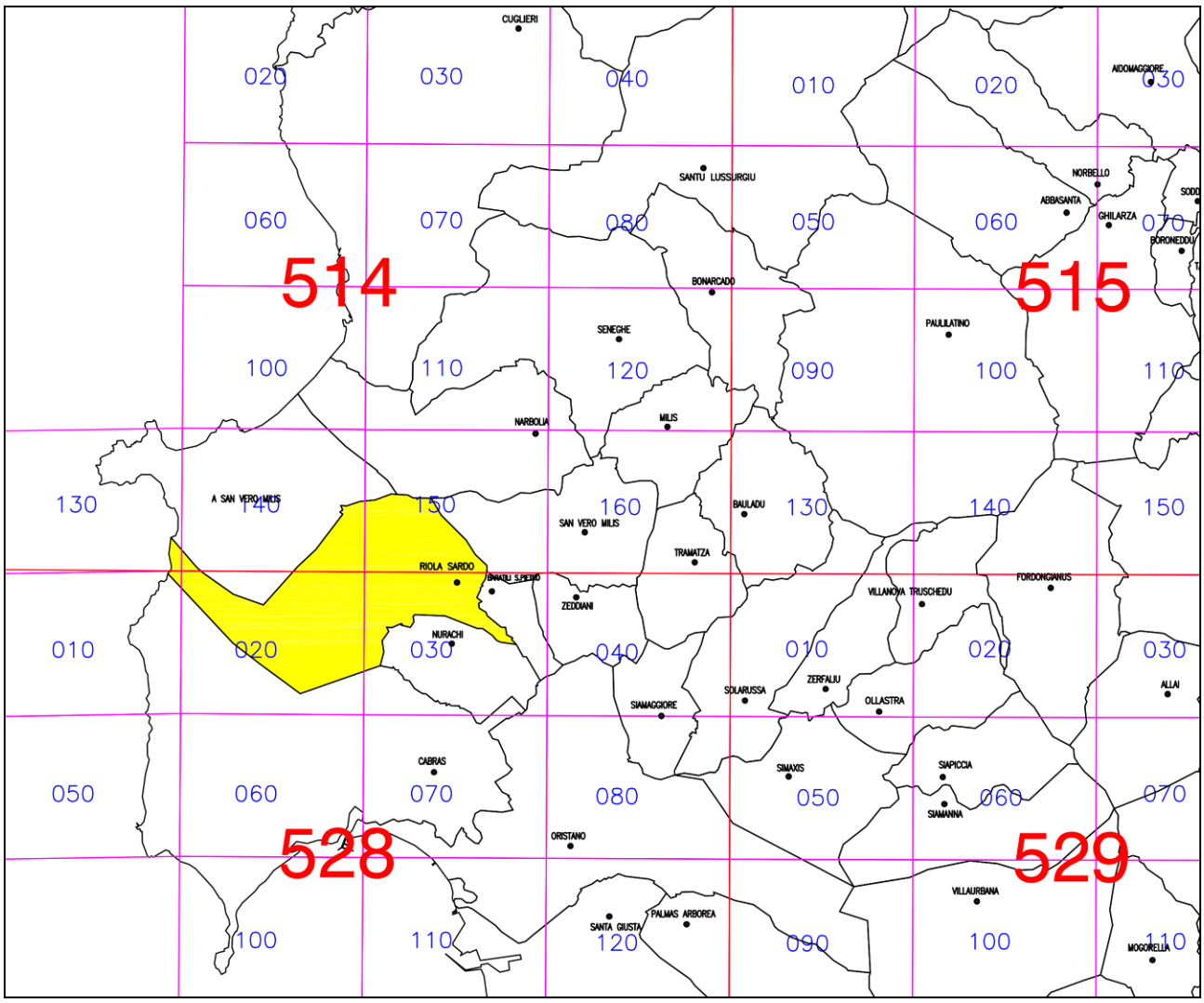


Fig. 1 – Quadro d'unione C.T.R. numerica con localizzazione del territorio di Riola Sardo

LOCALIZZAZIONE E PIANO D'ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il territorio di Riola Sardo si estende per circa 48,23 km². L'area con un perimetro irregolare di forma allungata da est verso ovest, occupa la parte più settentrionale del Campidano di Oristano che, partendo dalla fascia pedemontana del Montiferru si raccorda alle aree più meridionali, caratterizzate da una morfologia pianeggiante o ondulata, dove la parte più depressa, con lo stagno di Cabras, rappresenta il principale bacino di raccolta delle acque provenienti dalle circostanti aree di montagna.

Il territorio di Riola Sardo, attraversato dal rio Mare Foghe, confina a nord con i territori di San Vero Mili e Narbolia, a est con i territori di Baratili San Pietro e Nurachi, a sud con il territorio di Cabras e ovest con il mar di Sardegna.

Il territorio di Riola Sardo da un punto cartografico è compreso, nella nuova edizione della cartografia IGMI (1991-1995), in scala 1:25.000, nelle sezioni II (San Vero Milis), III (Capo Mannu) del foglio 514 e nelle sezioni I (Oristano Nord) e IV (San Salvatore) del foglio 528.

Nella Carta Tecnica Regionale, in scala 1:10.000, il territorio ricade nella sez. 514140 "*Stagno Sale Porcus*", sez. 514150 "*Narbolia*", 528020 "*Mattas Abbadas*", e 528030 "*Nurachi*".
Nella Carta Geologica d'Italia, in scala 100.000 (I° edizione), il territorio è compreso tra il foglio 217 "*Oristano e* foglio 206 "Macomer". Mentre nella Carta Geologica d'Italia (Progetto Carg), in scala 1:50.000, parte del territorio è compreso nel foglio 528 "Oristano".
Secondo le delimitazioni dei sub bacini regionali il territorio di Riola Sardo ricade nel sub bacino n° 2 "Tirso". Tale bacino è stato oggetto di variante e di perimetrazione delle aree di pericolosità da frana. Gli elaborati e le analisi di tale variante sono contenuti nello *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 (Flumendosa – Campidano-Cixerri). Progetto di Variante Generale e di Revisione del Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna - (approvata in via preliminare con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 14 del 28.10.2024.*

ANALISI STORICA DEI FENOMENI FRANOSI

L'analisi geomorfologica del territorio di Riola Sardo è stata preceduta da una ricerca storica volta a ricostruire la tipologia dei processi gravitativi e gli eventi franosi avvenuti in passato, e che oggi possano essere ancora in una fase evolutiva, o occultati, oppure non più accertabili sul campo.
In altre parole, la ricerca storica è stata indirizzata a raccogliere quei dati tecnici utili per inquadrare e dunque analizzare a posteriori i principali fenomeni franosi verificatisi nel territorio o nei pressi dell'abitato. A tale scopo sono stati ricercati ed esaminati i fenomeni franosi più significativi, conosciuti e censiti nell'ambito dei progetti AVI (*Aree Vulnerate Italiane*), IFFI (*Inventario dei fenomeni franosi in Italia*) e presi in considerazione nell'ambito del Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna.
Dalla consultazione dell'archivio storico del progetto AVI è emerso che nel territorio di Riola Sardo non è stata individuata e catalogata alcuna frana.
Anche dal navigatore del Progetto IFFI emerge che nel territorio di Riola Sardo non sono censite aree con fenomeni franosi.

GEOLOGIA E CARATTERI GEOMORFOLOGICI GENERALI

La successione del sottosuolo dell'entroterra del Golfo di Oristano è nota fin dagli anni 60' grazie all'interpretazione delle stratigrafie dei pozzi eseguiti per la ricerca d'idrocarburi e denominati *Oristano 1* ed *Oristano 2*. Il primo, della profondità di 1802 metri, è stato realizzato nel 1961 presso *Case Sassu*, fra lo stagno *S'Ena Arrubia* e l'ex stagno di *Sassu*; l'altro, della profondità di 1700 metri, è stato realizzato nel 1962 presso l'abitato di Riola Sardo.

Nel Campidano di Oristano si sviluppa la parte terminale del fiume Tirso e dei suoi affluenti; corsi d'acqua che hanno avuto grande importanza, con la loro azione erosiva, di trasporto e di sedimentazione nella formazione della piana e nel suo successivo modellamento. La piana di Oristano, come tutte le pianure alluvionali, è formata in superficie da ghiaie, sabbie, limi e argille sedimentati a più riprese dalle acque fluviali e torrentizie, che durante il Quaternario, scendevano dai rilievi dell'interno verso una vasta area in lento abbassamento, chiusa verso il mare dai due promontori di *Capo Frasca* e di *Capo San Marco*. In modo specifico, da un punto di vista tettonico e strutturale, la piana di Oristano si è evoluta su una fossa tettonica terziaria ("*rift sardo*") che si è progressivamente colmata di sedimenti alluvionali trasportati dal sistema idrografico del fiume *Tirso*, e dai reticoli idrici minori adiacenti alimentati dal complesso vulcanico del *M.te Arci*.

Oltre ai terreni alluvionali in s.s., nella piana si riconoscono, tuttavia, altre unità deposizionali connesse con le note oscillazioni climatiche e relative regressioni e trasgressioni marine, che hanno dato luogo a processi deposizionali di potenti coltri sedimentarie in ambiente marino, marino-litorale e fluvio-deltizio. Appaiono dunque di altra origine i depositi di spiaggia caratterizzanti la zona litorale e retro-litorale, e i depositi lacustri e palustri rinvenibili per tutta l'estensione delle zone umide dell'oristanese.

Il territorio di Riola, ricadente nella piana dell'oristanese, s'inserisce nella parte settentrionale della fossa tettonica plio-quaternaria, più nota come "*graben campidanese*", createsi con un nuovo ciclo di subsidenza e di sedimentazione dal Pliocene medio, fra il Golfo di Oristano e il Golfo di Cagliari (La piana è il risultato del ringiovanimento, lungo i bordi paleozoici, delle direttrici tettoniche della parte mediana e meridionale della struttura oligo-miocenica, durante la fase tettonica distensiva plio-quaternaria cui è legato il ciclo vulcanico post-elveziano).

La nuova fase sedimentazione si è imposta su un basamento costituito da oltre 1.500 metri di sedimenti oligo-miocenici marini quali marne, calcari, calcareniti spesso fossiliferi, che si alternano a episodi vulcanici del ciclo calco-alcalino, e da sabbie, marne, conglomerati e argille dell'ingressione marina del Pliocene inf. Su tale basamento, all'interno del *graben,* durante la fase distensiva plio-quaternaria, cui si associa il ciclo vulcanico post-elveziano, si depositarono sabbie, limi, ciottolami e argille d'ambiente fluvio-lacustre (*Formazione di Samassi),* per uno spessore di circa 500 metri, che progressivamente sono stati ricoperti, durante il Pleistocene e l'Olocene, da depositi alluvionali del fiume Tirso e dei suoi affluenti, da depositi lacustri e lagunari, con intercalazioni di lave basaltiche del ciclo vulcanico alcalino, e da depositi marini e lagunari flandriani-versiliani. Durante la subsidenza, ai bordi del graben si attivò un vulcanismo dapprima acido (rioliti e ossidiane del Monte Arci) e poi basico (basalti), che perdurò fino al Quaternario.

In generale durante il Plio-Quaternario nel Campidano si sono depositati circa 800 metri fra sedimenti e vulcaniti alcaline, che poggiano sulle formazioni più antiche del ciclo sedimentario e vulcanico oligo-miocenico. Il sottosuolo campidanese è quindi caratterizzato dall'alternarsi di strati più o meno importanti, talora lentiformi, di ghiaie ciottoloso-sabbiose, di argille, argille limose e sabbie argillo-limose; localmente sono presenti anche dei livelli torbosi, deposti a più riprese dal

Tirso e dai suoi affluenti, che hanno avuto grande importanza nella formazione della piana e nel suo successivo modellamento, che vede il territorio di Riola Sardo rappresentato da un complesso di litologie che hanno età che vanno dall'Oligocene sino al quaternario recente, così come di seguito schematizzato.

Basamento Oligo-Miocenico.

- Andesiti di Costa Atzori e Perda Martigiana – Si presentano con colore e struttura variabile, da porfirica a conglomeratica; la roccia è assai dura, e presenta una fitta rete di fratture da stress tettonici.
- Piroclastiti andesitiche - Affiorano in loc. Costa Atzori in un limitato affioramento e sono legati alla genesi e messa in posto delle andesiti dalle quali sono difficilmente distinguibili.

Sedimenti miocenici.

- Conglomerati del miocene medio – Questa formazione di ambiente marino, in località Costa Atzori, poggia sulle vulcaniti andesitiche del Miocene inferiore; di limitata estensione, è rappresentato da un conglomerato poligenico a clasti paleozoici e vulcanici, di grandezza variabile, ben levigati e di forma arrotondata, senza cemento o semi-cementati.
- Calcari organogeni a Ostree – Sulla precedente formazione poggia un limitato affioramento di calcari organogeni a ostree e altri fossili.
- Marne e calcari marnosi (Formazione di Capo San Marco) - Rappresenta il substrato profondo di quasi tutto il Sinis; come hanno evidenziato numerose trivellazioni per ricerche idriche, si tratta di sedimenti di ambiente di deposizione tra marino costiero alla base e lagunare alla sommità, caratterizzati da argille marnose o da marne argillose, di colore variabile dal grigio giallastro al verde chiaro, con alla base livelli organogeni riccamente fossiliferi (ostree).
  Nel territorio comunale affiorano alle pendici meridionali di Monte Palla.
- Calcari laminati del Sinis – Questa formazione, ricoperta solitamente di suolo, è caratterizzata da calcari bianchi, microcristallini, sterili, sottilmente stratificati. Lo spessore della formazione si aggira attorno ai 30 metri. Nel territorio comunale le migliori esposizioni si hanno nel Monte Trigu e verso Monte Prama al confine con Cabras; formano inoltre la maggior parte di Monte Palla, dove poggiano sulla formazione di Capo San Marco e sono ricoperti dai calcari di Turr'e Seu. Un altro affioramento è presente lungo la costa da Putzu Idu a Su Cuccuru Mannu, ben visibili nella falesia costiera, dove sono ricoperti dalle arenarie eoliche würmiane.
- Calcari di Turre e' Seu - Si tratta di calcari e calcari dolomitici residuali bianco-grigi, brecciati più o meno intensamente. Presentano evidenti vacuoli dissoluzione con cristalli di calcite. Nel comune di Riola è presente un piccolo affioramento, ma di grande importanza stratigrafica nella cima di Monte Palla.

Vulcaniti plio-pleistoceniche.

- Basalti di Nuraghe Tradori - Interessano marginalmente il territorio comunale al confine con Narbolia, e sono rappresentate dai basalti andesitici di Nuraghe Tradori. Probabilmente si estendono in profondità anche verso Riola.

Coperture sedimentarie quaternarie.

- Alluvioni antiche terrazzate e conoidi – Questi sedimenti sono state depositate dal Paleo-Tirso e dai suoi affluenti e rappresentano la base di tutte le formazioni sedimentarie quaternarie del Campidano settentrionale. A esse si uniscono sia superiormente sia lateralmente i conoidi originati dai fiumi provenienti sia dal Monte Arci, sia dal Montiferru. La formazione che si estende da Villanova Truschedu sino al mare, è costituita da clasti eterometrici in genere paleozoici, con matrice di colore giallo-rossiccio a causa di una certa ferrettizzazione. Le antiche alluvioni nel territorio di Riola, data la lontananza dal vertice del conoide e dallo stesso Tirso, come testimoniano le stratigrafie di alcuni pozzi, sono presenti in profondità; in superficie risentono dell'influenza, morfoevolutiva del vicino Montiferru; infatti, verso il confine con Narbolia, e lungo il corso del Gora Zoddias, i clasti delle alluvioni sono rappresentati soprattutto da termini vulcanici tipici del Montiferru.
- Alluvioni medie - Derivano dal disfacimento delle precedenti e sono presenti nella zona tra Riola e Nurachi - Baratili. Rispetto alle alluvioni antiche vi è una minore percentuale di ciottoli, anche le dimensioni sono più piccole, e una maggiore frazione sabbioso-argillosa.
- Arenarie eoliche würmiane - Caratterizzano con la loro presenza la zona di Cuccuru Mannu, in tale località le arenarie presentano stratificazioni incrociate: la sabbia è quarzosa con detriti conchigliari. La facies tipica, non alterata dai lavori di cava, si presenta in bancate con orientazioni variabili (Litofacies nel Subsintema di Portoscuso - Sintema di Portovesme).
- Suoli argillosi e palustri recenti e attuali delle paludi bonificate - Le zone, dove sono presenti le argille e i limi palustri, sono numerose attorno allo stagno di Cabras, sia nelle paludi attuali sia in quelle bonificate. Il fondo delle paludi non ha uno spessore notevole: in genere si hanno le alluvioni, sia antiche sia medie, e ha sempre una certa composizione sabbiosa, proveniente dal dilavamento delle zone circostanti più elevate e una frequente componente calcarea derivante dalla dissoluzione dei resti conchigliari.

Nelle paludi bonificate si sono avute grosse trasformazioni a causa dei lavori agricoli: è il caso di Pala Bidda al confine con Nurachi, o di Isca Maiori, Isca Pizia e Ludosu attorno allo stagno di Cabras, dove l'originaria tessitura, permeabilità e apporto dei nutrienti dei terreni sono stati modificati per creare zone ad alto valore agricolo.

- Alluvioni attuali e sub-attuali - Si tratta di depositi alluvionali argilloso-sabbiosi, con pochi ciottoli recenti, sciolti, ubicati in genere lungo il Mar'e Foghe e le coste dello stagno di Cabras. La loro origine è varia, trattandosi sia di depositi alluvionali recenti, sia del rimaneggiamento delle alluvioni antiche e medie. La formazione, interessata da notevoli lavori agricoli, appare fortemente rimaneggiata e sfuma spesso nei suoli più francamente sabbiosi.
- Limi palustri - Sono presenti lungo i bordi dello stagno e del Mar'e Foghe, laddove è frequente la presenza dell'acqua. Si tratta di depositi limoso-argillosi, torbosi, di colore scuro, molto plastici con scarsa componente sabbiosa.

➢ Sabbie di spiaggia e di duna - La formazione interessa il territorio comunale nella parte lungo la provinciale per Putzu Idu. I depositi sabbiosi, con un tipico colore rosato, presentano granuli di dimensioni in piccole, con frequenti resti conchigliari; poggiano in genere su di un paleosuolo bruno; i limiti delle sabbie non sono ben definiti.

➢ Suoli sabbiosi e terreno agrario - Rappresentano la formazione arealmente più diffusa del territorio comunale, estendendosi in sostanza in tutto il settore a Nord dello stagno di Cabras. Si tratta di suoli sabbiosi, a tratti argillosi, specialmente nelle zone più depresse, che ricoprono diverse formazioni. Questi suoli appaiono fortemente rimaneggiati dall'attività agricola ed è difficile distinguere i limiti con le altre formazioni sedimentarie quaternarie, specialmente con le sabbie della zona di Is Arenas.

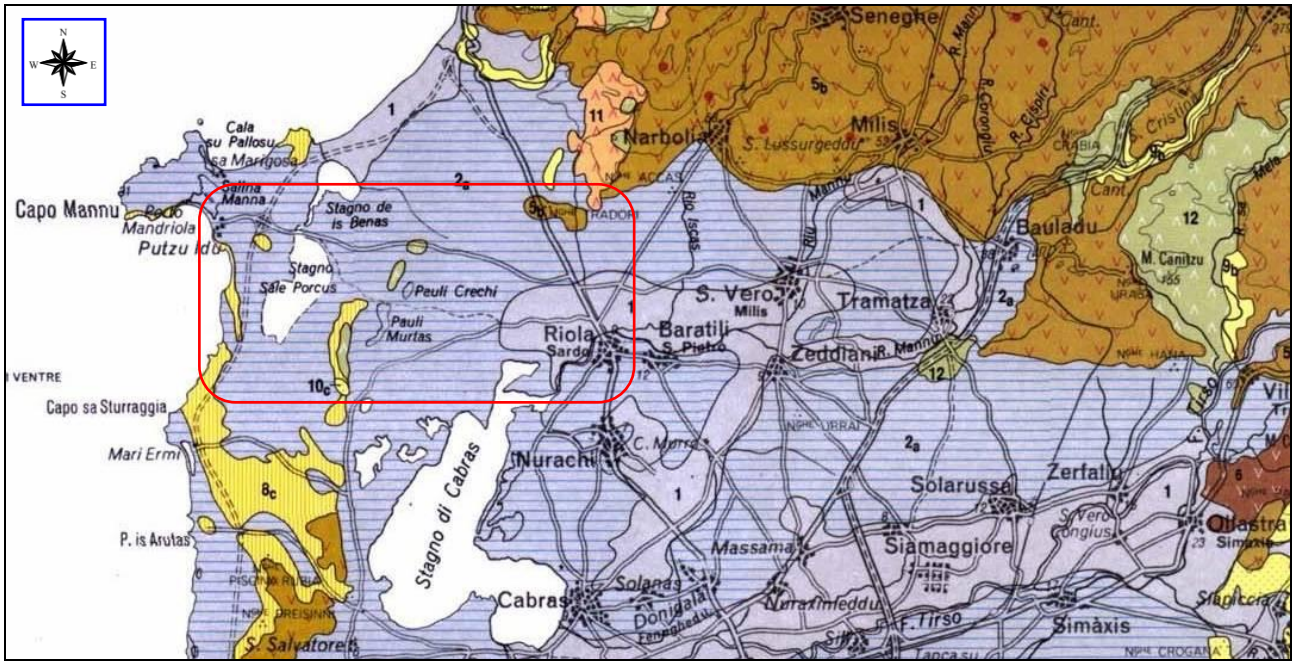


Fig. 2 - Estratto Carta Geologica della Sardegna - Scala 1:200.000

1: ghiaie, sabbie, limi e argille sabbiose dei depositi alluvionali, colluviali, eolici e litorali, travertini - *Olocene*. **2a:** conglomerati, sabbie, e argille più o meno compatte, in terrazzi e conoidi alluvionali (Alluvioni Antiche Autc.) - *? Pliocene- Pleistocene*. **5b**: Basalti alcalini e transizionali, basaniti trachibasalti e hawaiiti, talora con noduli peridotitici; andesiti basaltiche e basalti subalcalini; alla base o intercalati, conglomerati, sabbie e argille fluvio-lacustri – *Pliocene- Pleistocene*. **6**: rioliti e riodaciti da afanitiche a debolmente porfiriche, talora in facies ossidianacea o perlitica in cupole di ristagno e colate, con associati sporadici depositi piroclastici - *Pliocene*. **8c**: calcari vacuolari e brecciati sopratidali e intertidali (formazione di Torre del Sevo; calcari microcristallini di ambiente evaporitico, marne e calcari organogeni sublitorali (formazione dei calcari laminati del Sinis e formazione di Capo S. Marco- *Messiniano*. **10c**: conglomerati fluviali, talora arrosati, a elementi di basamento cristallino; conglomerati poligenici continentali, arenarie e calcareniti con Nummuliti rimaneggiati – *Oligocene sup. – Aquitaniano*. **11**: rioliti, riodaciti, daciti e subordinatamente comenditi, in espandimenti ignimbritici, cupole di ristagno e rare colate, a cui si associano prodotti freatomagmatici; talora livelli epiclastici intercalati – *Oligocene sup. Miocene inf. Medio.* **12**: andesiti, andesiti basaltiche e rari basalti ad affinità thoeiilitica e calcalcalina, talora brecciati, in colate, cupole di ristagno – *Oligocene sup. – Miocene inf.*

MORFOLOGIA DINAMICA DEI PROCESSI GRAVITATIVI

Il territorio comunale di Riola Sardo si presenta in apparenza omogeneo, con la quota più elevata di appena 43 metri rappresentata da Monte Palla, e l'area più depressa rappresentata dallo stagno

di Cabras. Dall'analisi del territorio, in realtà si possono individuare diverse unità morfo – paesaggistiche tra i rilievi poco elevati e il piatto paesaggio che li circonda.

Nel territorio di Riola un'area elevata è rappresentata, nella zona di Costa Atzori, da una dorsale dell'altezza di 34 metri allungata in senso Nord-Sud, con fianchi piuttosto dolci, interrotte qua e là da affioramenti rocciosi. Nel territorio le maggiori altezze sono rappresentate dai dossi di Monte Palla e di Monte Trigu, costituiti da sedimenti miocenici. Il Monte Palla, alto 43 metri s.l.m., in planimetria si presenta allungato verso Costa Atzori, con forma ellissoidale e un nucleo dai fianchi ripidi che presenta sulla cima una cava aperta di calcare, caratterizzata da pareti alte qualche metro.

Il Monte Trigu, alto 38 metri s.l.m. presenta una forma conica, che segna la vallata di Is Perda de sa Marchesa posta in linea con la dorsale di Monte Rasu-Monte Prama, costituita dai calcari laminati, con quote che vanno dai 58 ai 46 metri.

In queste colline non sono stati rilevati processi franosi o morfologie predisponenti a fenomeni d'instabilità gravitata. I processi morfogenetici in tali aree sono rappresentati dal dilavamento areale favorito anche dai lavori agricoli che rimaneggiano il suolo e il substrato superficiale. La scarsità delle precipitazioni e la presenza di affioramenti rocciosi rallentalo in generale il fenomeno erosivo.

La maggior parte del territorio di Riola è rappresentata da un paesaggio di pianura. In questo paesaggio, trasformato dall'attività agricola, le uniche emergenze morfologiche sono rappresentate dai resti dei terrazzi alluvionali, come quelli presenti attorno al rio Mar'e Foghe e in prossimità e all'interno dell'abitato e da alcune scarpate rocciose di arenaria attorno allo stagno di Cabras, tra il Nuraghe Oru Simbula e Nuraghe Ziricottu.

Non mancano le ondulazioni, dove si trovano alcune paludi temporanee, come Pauli Trottas, Pauli Cuccuru Sparau e Pauli Istai.Le quote aumentano passando dalle rive dello stagno verso il mare, con i 7 metri di Nuraghe Oru Simbula, costruito su di uno sperone roccioso, i 12-13 metri di Nuraghe Civas e di Nuraghe Porcu Silva. Verso Cuccuru Mannu una netta scarpata di origine stratigrafica collega la piana allo stagno di Sae Proccus.

In queste zone i processi morfogenetici naturali sono in sostanza assenti, mentre sono evidenti gli effetti delle attività antropiche. In particolare è notevole l'aratura del substrato roccioso che a tratti affiora, con la formazione di mucchi di pietre. Altro evento evidente è la continua erosione delle superfici paludose che sono trasformate in zone coltivate.

Le aree umide si trovano nel tratto finale del rio Mar'e Foghe e in buona nello stagno di Cabras.

Il Mar'e Foghe rappresenta la parte finale di un sistema idrologico, frutto di interventi antropici, dei torrenti che dal Montiferru (rio Mannu di Milis e rio Cispiri) drenano le acque verso lo stagno di Cabras. È caratterizzato da un letto regolare delimitato da argini almeno sino a Riola.

All'altezza di Torre Piscaredda il Mar'e Foghe si apre nello stagno di Cabras, che in questo settore appare suddiviso, in alcuni sub-settori, dallo spuntone di Isca Maiori.

Il paesaggio delle zone umide è caratterizzato dalla presenza di un fitto cannetto e dall'alternanza di zone ricoperte dall'acqua con altre che lo sono in modo temporaneo. I processi morfogenetici naturali sono rappresentati esclusivamente dal variare del livello delle acque in seguito alle piene dei torrenti che scendono dal Montiferru, con effetti molto limitati sul territorio.

Piu evidenti sono le modifiche in corso apportate dall'uomo, che ha esteso le zone coltivate a spese delle paludi semipermanenti, sino a lambirne le sponde. I processi morfogenetici naturali sono rappresentati dal dilavamento delle zone circostanti più elevate, favorito appunto dai lavori agricoli che mobilizzano lo strato superficiale del suolo.

Verso il mare nel territorio di Riola Sardo è presente l'estremo lembo meridionale del campo dunare di Is Arenas. Anche se di limitata estensione il sistema di dune è ben marcato al confine con Narbolia, nella zona di Ariscas Burdas, con quote che raggiungono i 34 metri.

Le dune, ricoperte a tratti da una fitta macchia mediterranea che rallenta l'azione del vento, sono state parzialmente interessate dalle coltivazioni agricole, nonché dalla costruzione di un circuito di motocross, che hanno favorito locali processi di deflazione eolica.

La porzione di costa del Sinis ricadente nel comune di Riola, nonostante abbia una estensione limitata (circa 2 chilometri), con i suoi 30 metri di altitudine rappresenta il punto più elevato della fascia costiera compresa tra da Capo Mannu e Capo San Marco. La costa si presenta con un'alta falesia, costituita alla base da calcari laminati del Sinis sormontati da bancate di arenaria eolica. A causa della diversa resistenza all'azione del mare le bancate arenacee si presentano spesso aggettanti, mentre sono presenti fenomeni di crollo: la falesia presenta uno stadio morfoevolutivo attivo di arretramento difficilmente modificabile dall'intervento umano.



Fig. 3 – Falesia in fase di arretramento

Aree con grado di pericolosità più alta - Le aree a maggior pericolosità sono concentrate pertanto lungo la linea di costa caratterizzata da falesia, soggette frane per crollo e ribaltamento di blocchi lapidei. Questi fenomeni associati a fenomeni di erosione del limite di costa, che in alcuni tratti si presentano molto accentuati, mettono a rischio uno stradello sterrata che corre in prossimità della linea di costa, con particolare riferimento a tutto il tratto di costa, sono sostanzialmente disabitate.

In prossimità della costa (località Cuccuru Mannu) le bancate arenacce di origine eolica sono state interessate da lavori di cava, che hanno creato fronti di coltivazione con pareti verticali che presentando localmente ammassi rocciosi degradati ed allentati che possono essere potenzialmente oggetto di crolli di elementi lapidei vari.
Il centro abitato si trova in un'area pianeggiante, pertanto non vi sono rischi sull'edificato attuale.



Fig. 4 – Falesia in fase di arretramento

INDIVIDUAZIONE E PERIMETRAZIONE DELLE AREE A RISCHIO DI FRANA

Le Linee Guida del P.A.I. (*Linee Guida per l'individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia – D.L. 180 e Legge n. 267/1998*) riportano l'iter metodologico, articolato in tre fasi, che è necessario seguire per la definizione e la zonizzazione delle aree a rischio geomorfologico e la conseguente redazione degli elaborati cartografici di sintesi: *Carta della pericolosità da frana; Carta degli elementi a rischio; Carta delle aree a rischio da frana.*
Le attività dunque per la perimetrazione delle aree a rischio di frana, possono essere suddivise nelle seguenti fasi:

- Fase 1- Analisi geomorfologica ed individuazione delle aree interessate da dissesti.
- Fase 2 – Perimetrazione e valutazione dei livelli di rischio:

- valutazione dei livelli di pericolosità dei processi geomorfologici;
- individuazione degli elementi esposti al rischio e analisi del danno potenziale;

- Fase 3 – Programmazione della mitigazione del rischio.

FASE 1 - PERIMETRAZIONE E CLASSIFICAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ

Conformemente alle indicazioni contenute nelle Linee Guida del PAI, l'analisi della pericolosità franosa, intesa come probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo, avvenga in un dato periodo e in una specifica area, è stata condotta valutando e pesando l'influenza che i diversi fattori, attivi e passivi, di suscettività franosa (fattori geologici, morfologici, geotecnici etc.) hanno sulle condizioni di stabilità dei versanti.

La carta di pericolosità franosa, che costituisce l'elaborato grafico di sintesi del processo di valutazione, si ottiene attraverso la sovrapposizione (*overlay mapping*) e la sommatoria dei pesi attribuiti a tutti i tematismi analizzati nel territorio.

La cartografia delle aree a pericolosità da frana deriva a rigor di logica da una "taratura" della cartografia derivante dalla sovrapposizione dei vari tematismi che influenzano la stabilità dei versanti e dalla carta dei fenomeni franosi. L'utilizzo acritico delle metodologie di *overlay mapping* può portare, infatti, a sovrastimare o a sottostimare condizioni della pericolosità geologica che non trovano corrispondenza con la realtà dei fenomeni presenti.

Pericolosità Hg	
Classe	**Intensità**
Hg1	Moderata
Hg2	Media
Hg3	Elevata
Hg4	Molto elevata

Tab. n. 1 – Classi e intensità della pericolosità da frana

Nella classificazione della pericolosità da frana sono assunti quattro classi in base all'attività e al grado d'importanza del processo franoso, cosi come evidenziato nella Tab. n. 1 tratta dalle linee guida del PAI.

In accordo con tale classificazione si è proceduto a identificare e delimitare le aree di pericolosità da frana seguendo lo schema qui di seguito riportato.

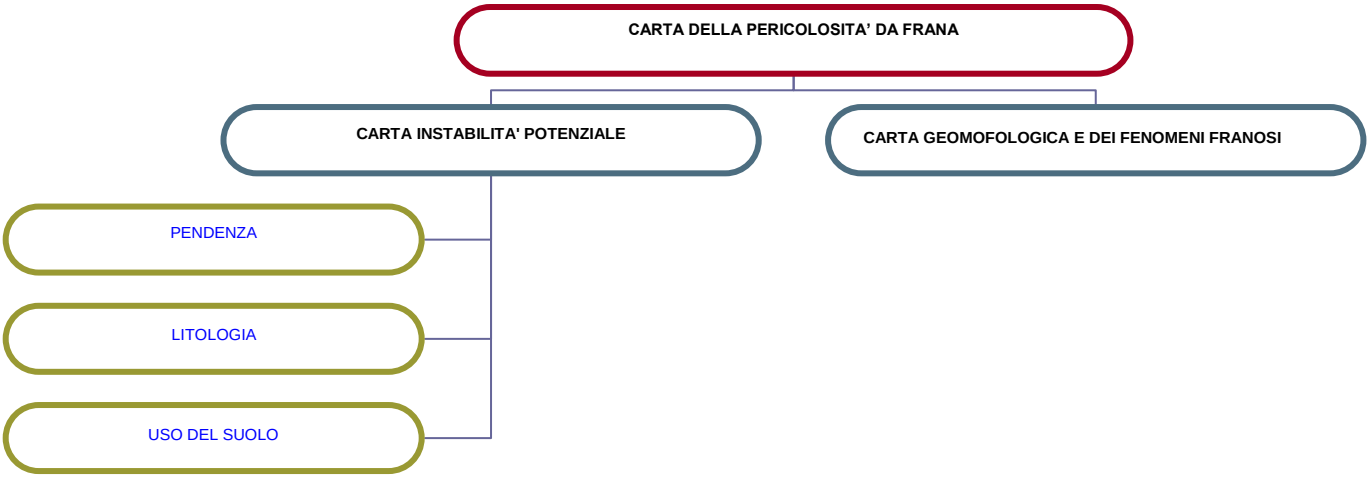


Fig. 5 – Diagramma di flusso per la determinazione della Carta della pericolosità da frana

Per pervenire alla rappresentazione cartografica di sintesi, alla scala 1:10.000 e alla scala -1.2.000 dell'ambito urbano, della pericolosità da frana del territorio di Riola Sardo si è proceduto, come indicato dalle linee guida del PAI, a combinare gli elementi morfogenetici scaturiti dallo studio dei processi del territorio ed evidenziati nella C*arta geomorfologica e dei fenomeni franosi*, con la *carta dell'instabilità potenziale* dei versanti che è stata ottenuta attraverso la sovrapposizione pesata della litologia, pendenza e uso del suolo. I fattori di suscettività franosa sono stati indicizzati mediante l'attribuzione di pesi numerici proporzionali alla presunta incidenza del singolo fattore sul possibile sviluppo del fenomeno franoso. Le considerazioni fatte sulle classi di acclività e sull'uso del suolo sono state desunte direttamente dalle linee guida del PAI, mentre la *carta litologica* è stata costruita analizzando le varie formazioni litologiche presenti.

Pendenze - La Carta delle pendenze deriva da una tematizzazione del modello digitale del terreno in classi di pendenza espresse in percentuale (%). Pertanto la carta delle pendenze da indicazioni sulla tendenza al dissesto derivante dall'azione di gravità, che diventa più intensa con l'aumentare dell'inclinazione dei versanti. I pesi e le classi di pendenza utilizzati per l'analisi sono quelli indicati nelle Linee Guide del Pai e nel *Report attività raccolta dati e determinazione carte tematiche allegato allo 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 (Flumendosa – Campidano- Cixerri). Progetto di Variante Generale e di Revisione del Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna.*

Classi di pendenza	Peso
0 -10%	+2
10 – 20%	+1
20 – 35%	0
35 – 65%	-1
65 – 100%	-2
100 – 275%	-3
> 275%	-4

Tab. n. 2 - Determinazione acclività con relativo peso

Litologia – Per litologia, non s'intende unicamente le caratteristiche della natura dei terreni (sedimentari, vulcanici, metamorfici) ma anche le caratteristiche fisico-meccaniche ad essi relative (compattezza, grado di cementazione, stratificazione, etc.). Per la litologia è stato adottato lo schema di classificazione e i pesi numerici indicati nelle linee guida del PAI.

Per la redazione della carta litologica si è fatto riferimento all'aggiornamento delle classi litologiche della "Carta litologica della Sardegna 1:25.000 - 2019" redatta dal Dipartimento Geologico di ARPA Sardegna come proposto nell'aggiornamento delle Linee Guida del PAI. Nel territorio di Riola sardo sono presenti le seguenti classi litologiche.

Litologia	Peso
C1.1 - Depositi terrigeni antropici (saline, vasche di salificazione, aree di rispetto lagunare, discariche minerarie, d. industriali, d. per inerti, d. per rifiuti solidi urbani, materiali di riporto e aree bonificate)	1
C1.2 - Depositi terrigeni continentali di conoide e piana alluvionale (ghiaie, sabbie, limi, argille), (conglomerati, arenarie, siltiti, peliti)	1
C1.3 - Depositi terrigeni continentali legati a gravità (detriti di versante, frane, coltri eluvio-colluviali, "debris avalanches", brecce)	1
C1.4 - Depositi terrigeni palustri, lacustri, lagunari (limi, argille limose, fanghi torbosi con materia organica anche con intercalazioni di sabbie, selci)	1
C1.5 - Depositi terrigeni litorali (ghiaie, sabbie, arenarie, conglomerati)	2
C1.7 - Depositi terrigeni eolici (sabbie, arenarie)	2
C2.1 - Depositi carbonatici lacustri e lagunari (calcari, dolomie, calcari silicizzati) travertini.	6
C2.2 - Depositi carbonatici marini (marne, calcari, calcari dolomitici, calcari oolitici, calcari bioclastici, calcareniti)	6

Tab. n. 3 - Litologie con relativi pesi.

Uso del suolo – Per l'uso attuale del suolo, come richiesto dalle linee guida della Regione, è stato adottato lo schema di legenda Corine – Land Cover. Nella attribuzione dei pesi, nel presente studio, si sono considerati quelli riportati nelle linee guida del PAI.

Sigla	Classi di uso del suolo	Peso
311	Boschi di latifoglie	2
321	Aree a pascolo naturale e prateria d'alta quota	0
231	Prati stabili	0
211	Seminativi in aree non irrigue	-2
324	Aree vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	1
121	Aree industriali e commerciali	-1
323	Aree a vegetazione sclerofilla	0
244	Aree agroforestali	-1
112	Tessuto urbano discontinuo	-1
223	Oliveti	-1
242	Sistemi colturali particellari complessi	-1
222	Frutteti	0
221	Vigneti	-2
212	Seminativi in aree irrigue	0
241	Colture temporanee associate a colture permanenti	-1
333	Aree con vegetazione rada	-1
133	Aree in costruzione	-2
142	Aree ricreative sportive e archeologiche	0
111	Tessuto urbano continuo	-1
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	-2

Tab. n. 4 - Classi d'uso del suolo secondo il Corine - Land Cover

La Carta dell'Uso del Suolo permette di distinguere, quale parte del territorio è utilizzata per le varie tipologie di coltivazioni agrarie e/o forestali, i corpi umidi, le aree urbanizzate. Proprio per il contenuto che la caratterizza, si tratta di una carta dinamica in continua evoluzione che può subire in ogni momento un cambiamento.

Valutazione dell'instabilità potenziale

La carta dell'instabilità potenziale dei versanti avviene, secondo la metodologia vigente delle Linee Guida PAI, sulla base della sintesi di cartografie tematiche differenti. In sostanza, la carta deriva dall'intersezione tra carta litologica, carta dell'uso del suolo e carta delle pendenze. Secondo tale metodologia la carta della pericolosità finale si ottiene quindi dalla sovrapposizione della carta dei fenomeni franosi, ovvero dei dissesti effettivamente presenti sul territorio, siano essi attivi o quiescenti con la carta della instabilità potenziale che esprime la propensione al dissesto del territorio.

In modo specifico, la sovrapposizione attraverso i processi di *overlay mapping* delle carte indicizzate dei fattori di suscettività franosa, ha prodotto, in prima analisi, la *Carta dell'instabilità potenziale* caratterizzata da un indice numerico di pericolosità, ottenuto dalla somma algebrica dei pesi dei fattori di suscettività franosa considerati, che traduce in termini numerici l'influenza che i fattori stessi esercitano sulle condizioni di stabilità.

A ogni categoria di area delimitata sulla carta è stato abbinato un corrispondente livello (peso) di pericolosità stimato in base alla presunta intensità del fenomeno, come evidenziato nella tabella seguente.

Classe di instabilità	Descrizione	Pesi	
		da	a
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

Tab. n. 5 - Classi d'instabilità potenziale

La classe di maggiore instabilità è quella corrispondente ai valori del peso più bassi, mentre la classe con un versante stabile è rappresentata dai valori del peso più alti.

Carta della pericolosità di frana

La carta della pericolosità da frana rappresenta l'elaborato di sintesi della I° fase, nella quale tutto il territorio indagato è stato perimetrato secondo aree a diverso grado di pericolosità franosa.

La carta della pericolosità da frana rappresenta una sintesi della carta dell'instabilità potenziale dei versanti e della carta geomorfologica o dei fenomeni franosi.

In accordo con le Linee Guida del PAI, la zonazione di pericolosità franosa è stata effettuata suddividendo il range dell'indice numerico di pericolosità, prodotto dalla sovrapposizione dei tematismi, in cinque classi di differente grado di pericolosità, di pari ampiezza, secondo lo schema di seguito riportato.

Classe	Intensità	Peso
Hg0 - Aree prive di potenziali fenomeni franosi	Situazione potenzialmente stabile	> 9
Hg1	Instabilità potenziale limitata	7 / 9
Hg2	Instabilità potenziale media	4 /6
Hg3	Instabilità potenziale forte	1 /3
Hg4	Instabilità potenziale massima	-3 / 0

Tab. n. 6 - Definizione dei livelli di pericolosità del territorio

Per l'elaborazione della *carta della pericolosità da frana* è giusto porre l'accento che la metodologia *overlay mapping*, che ha portato alla definizione della *Carta dell'instabilità potenziale*, non ha mostrato perfettamente in tutti gli ambiti, le reali condizioni di pericolosità analizzati dall'analisi geomorfologica. Per tale motivo e diversamente dai risultati ottenuti dalle operazioni di *overlay mapping* che hanno evidenziato classi d'instabilità potenziali disperse e frammentate, la *Carta della pericolosità di frana*, è stata elaborata attraverso la ridifinizione dei vari gradi di pericolosità che circoscrivano la reale condizione evolutiva dei processi morfogenetici che caratterizzano le diverse zone territoriali.

La *Carta di sintesi di pericolosità da frana*, rappresenta dunque la condizione di pericolosità del territorio, indicata attraverso il parametro H_g, secondo quattro livelli indicati nella tabella, a ciascuno dei quali si è attribuito un "peso" su base puramente empirica.

Pericolosità		
Classe	Intensità	Peso
Hg1	Moderata	0,25
Hg2	Media	0,50
Hg3	Elevata	0,75
Hg4	Molto Elevata	1

Tab. n. 7 - Definizione delle classi di pericolosità e relativo peso

L'attribuzione del livello di pericolosità a una data area deriva dal confronto tra lo stato di fatto attuale dei fenomeni franosi e le condizioni generali d'instabilità potenziale, sulla base di alcuni criteri generali quali:

a. prevalenza di classe di instabilità potenziale;
b. presenza di indizi geomorfologici;
c. presenza di fenomeni di dissesto in atto e di indizi di movimento;
d. presenza di fattori tettonici predisponenti;
e. presenza di copertura boschiva;
f. presenza di fattori altimetrici;
g. orientazione del versante.
H aree incendiate.

In base agli elementi individuati nello studio dell'assetto geomorfologico, ed evidenziati nella carta dei fenomeni franosi, si è potuto costatare che nel territorio comunale sono presenti condizioni morfodinamiche distinguibili in aree più o meno omogenee. Queste aree omogenee, distinte in

funzione della maggiore o minore probabilità che un certo fenomeno naturale avvenga in esse e si ripeta nel tempo, sono rappresentate da una corrispondente categoria di potenziali processi morfogenetici che caratterizzano il territorio di Riola Sardo.

Nella carta di pericolosità da frana elaborata, le classi di pericolosità assumono i seguenti significati.

Classe	Intensità	Valore	Descrizione
Hg0	Nulla	0,00	Aree non soggette a fenomeni franosi con pericolosità assente - Classe non prevista nelle *Linee Guida del PAI* Aree studiate non soggette a potenziali fenomeni franosi
Hg1	Moderata	0,25	Aree con pericolosità moderata aventi classi di instabilità potenziale limitata o assente - **classe 2** e **classe 1**.
Hg2	Media	0,50	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 DGPV 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	0,75	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	1,00	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 canaloni 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.

Fig. 3 – Classe, intensità e descrizione della pericolosità

Settore con processi morfogenetici assenti (Hg0).

Quest'ambito include quasi tutto il territorio comunale che non presenta potenziali fenomeni franosi o processi erosivi. Fanno parte di questa categoria logicamente le aree pianeggianti e/o sub-pianeggianti con caratteristiche geomorfologiche tali da impedire qualsiasi processo dissesto franoso. Tale condizione è garantita dall'esistenza di un'elevata stabilità dal punto di vista della dinamica morfologica, dalle caratteristiche geo-meccaniche dei terreni, e dall'insignificante acclività che conferiscono al territorio un grado di bassa o nulla erodibilità. Il centro comunale, che si estende su un'area pianeggiante, non presenta rischi sull'edificato attuale.

Aree con classe di pericolosità moderata (Hg1).

Le aree che ricadono in questa classe sono caratterizzate da condizioni generali di stabilità dei versanti. I processi erosivi del suolo sono contenuti entro valori accettabili rispetto agli usi attuali.

In quest'ambito morfoevolutivo rientrano i versanti del Monte Palla del Monte Trigu, la fascia sommitale della falesia marina e alcune basse scarpate in località Cuccuru Mannu. Sono aree nelle quali la dinamica morfogenetica risulta lieve ed impercettibili nell'assetto territoriale.

Aree con classe di pericolosità media (Hg2).

Nel territorio di Riola Sardo è stata individuata un'area con classe di pericolosità media legata alla falesia marina in degradazione in località Cuccuru Mannu.

Aree con classe di pericolosità elevata (Hg3).

Le aree che ricadono in questa classe sono prevalentemente caratterizzate da fenomeni gravitativi quiescenti e potenziali. Rientrano in questa classe le aree delle cave dismesse di arenaria di natura eolica nei pressi di Cuccuru Mannu. Le due cave presentano pareti con ammassi rocciosi, in parte fratturati e degradati, che predispongono a locali fenomeni di distacco e crollo di elementi lapidei vari. I potenziali fenomeni gravitativi ricadono o insistono su una porzione di territorio non popolata e contraddistinta da una frequentazione umana occasionale o sporadica.

Aree con classe di pericolosità molto elevata Hg4.

Nel territorio di Riola la zona con pericolosità di frana molto elevata ricade nella fascia costiera, dove è presente una lunga e alta falesia interessata da frane per crollo e ribaltamento di blocchi lapidei. Questi fenomeni sono associati alle scarse qualità geomeccaniche degli ammassi rocciosi in degradazione e ai processi di erosione da parte del moto ondoso che in alcuni tratti si presentano molto accentuati. L'area costiera è pertanto caratterizzata da frane, continue o stagionali; zone in cui è prevista l'espansione areale di una frana attiva; zone in cui sono presenti evidenze geomorfologiche di movimenti incipienti.

Le aree soggette a dissesto, con particolare riferimento a tutto il tratto di costa, sono sostanzialmente disabitate.

Nel territorio di Riola Sardo, il report dello 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 (Flumendosa – Campidano- Cixerri)- (Progetto di Variante Generale e di Revisione del Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna), non include nella pericolosità da frana di natura gravitativa fenomeni di dissesto tipo "colate detritiche", che potenzialmente si possono verificare lungo aste torrentizie ed impluvi ad elevata pendenza (>15°).

FASE 2 - PERIMETRAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO DA FRANA

Analisi del rischio da frana

La seconda fase dell'iter metodologico effettuata sulla base delle risultanze della Fase I, consiste, nella fase di variante al PAI, nella valutazione e nella relativa perimetrazione del rischio da frana Rg. Il rischio si esprime come prodotto della pericolosità e del danno potenziale in corrispondenza di un determinato evento:

$$Rg = Hg \times E \times V = Hg \times Dp$$

dove:

R (*rischio*): numero atteso di vittime, persone ferite, danni a proprietà beni culturali e ambientali, distruzione o interruzionedi attività economiche in conseguenza di un fenomeno naturale di assegnata intensità.

Hg (*pericolosità*): rappresenta la pericolosità intesa come la probabilità che avvengano le condizioni di accadimento dell'evento franoso.

E - (*elementi esposti*): persone e/o beni (abitazioni, strutture, infrastrutture, ecc.) e/o attività (economiche, sociali, ecc.) esposte ad un evento naturale.

V – (*vulnerabilità*): rappresenta la vulnerabilità, cioè la capacità di resistere alle sollecitazioni indotte dall'evento franoso, che secondo quanto espresso dal DPCM 29/09/1998 è assunta pari all'unità (1) poiché vengono poste a rischio vite umane.

Dp (*danno potenziale*): grado di perdita prevedibile a seguito di un fenomeno naturale di data intensità, funzione sia del valore che della vulnerabilità dell'elemento esposto.

Analisi degli elementi esposti al rischio di frana

Le tipologie di *elementi esposti* rappresentano tutti gli elementi a rischio (E) già indicati ai sensi del D.P.C.M. del 29/09/1998 *("Atto d'indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e del D.L. 11/06/98, n. 180"*) che stabilisce che debbano essere considerati come elementi a rischio innanzitutto l'incolumità delle persone e, inoltre, con carattere di priorità, almeno:

A. gli agglomerati urbani comprese le zone di espansione urbanistica;

B. le aree su cui insistono insediamenti produttivi, impianti tecnologici di rilievo, in particolare quelli definiti a rischio ai sensi di legge;

C. le infrastrutture a rete e le vie di comunicazione di rilevanza strategica, anche a livello locale;

D. il patrimonio ambientale e i beni culturali di interesse rilevante;

E. le aree sede di servizi pubblici e privati, di impianti sportivi e ricreativi, strutture ricettive ed infrastrutture primarie.

La predisposizione degli Elementi a Rischio, parte dal tematismo del Danno Potenziale del PGRA fornito direttamente dall'Agenzia del Distretto Idrografico della Sardegna nella versione *Danno_Potenziale_Rev_45.shp.*

La classificazione degli elementi a rischio (E1, E2, E3, E4) riprende quella definita dall'Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna - Servizio Difesa del Suolo, Assetto Idrogeologico e Gestione del Rischio Alluvioni redatta secondo quanto previsto dal Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 "*Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni*". Gli elementi esposti a rischio di frana individuati rientrano all'interno delle seguenti n°6 macro-categorie:

1. - 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 – corrispondenza con la classe A del D.P.C.M. 29.09.98 e parzialmente con quanto riportato alla lettera a, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010);
2. - Strutture Strategiche (ospedali e centri di cura pubblici e privati, centri di attività collettive civili, sedi di centri civici, centri di attività collettive militari – corrispondenza con la classe E del D.P.C.M. del 29/09/98 e con quanto riportato alla lettera b, comma 5, art. 6 del D.Lgs. n. 49/2010);
3. - Infrastrutture strategiche e principali (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, d'interesse locale – corrispondenza con la classe C ed E del D.P.C.M. 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera b, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010);
4. - 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 di cui al Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n.42 del Ministero per i Beni e le Attività Culturali – MIBAC; aree Protette Nazionali e Regionali di cui alla Legge Quadro 394/91 e Siti della Rete Natura 2000 (SIC, ZSC e ZPS) di cui alle Direttive 92/43/CEE "Habitat" e 2009/147/CE, ex 79/409/CEE "Uccelli"; – corrispondenza con la classe D del D.P.C.M. 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera c, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010, da individuare d'intesa o su indicazione delle amministrazioni competenti statali e regionali, ciascuna per il proprio ambito);
5. - Distribuzione e tipologia delle attività economiche insistenti sull'area potenzialmente interessata (corrispondenza parziale con la classe B del del 29/09/98 e con quanto riportato alla lettera d, comm.5, art. 6 del D.Lgs. n- 49/2010).
6. - Zone interessate da insediamenti produttivi o impianti tecnologici, potenzialmente pericolosi dal punto di vista ambientale (ai sensi di ai sensi di quanto individuato nell'allegato I del D.L. n. 59/2005), zone estrattive, discariche, depuratori, inceneritori – e aree protette potenzialmente interessate (corrispondenza parziale con le classi B e E del D.P.C.M. del 29/09/98 e totale con quanto riportato alla lettera e, comma 5, art. 6 del D.Lgs. n. 49/201.

Analisi della vulnerabilità

La vulnerabilità (V) rappresenta, in genere, l'aliquota del singolo elemento a rischio che può essere danneggiato nel corso di un evento e si esprime con un numero compreso tra 0 (nessun danno) e 1 (perdita totale) richiede tra l'altro la conoscenza dell'esatta tipologia, magnitudo e frequenza della fenomenologia come pure la conoscenza del comportamento del singolo bene esposto.

Per arrivare alla parametrizzazione della vulnerabilità, riferita alla singola classe di elementi a rischio o ancora più in dettaglio riferita al singolo elemento a rischio, le attività di studio risultano complesse e onerose; infatti, non è sempre possibile valutare il livello di protezione del costruito o l'energia d'impatto della corrente e quindi arrivare a definire numericamente il grado di resistenza alle sollecitazioni indotte dal verificarsi dell'evento naturale estremo.

Pertanto, in questo studio si fa una stima della vulnerabilità intesa come vulnerabilità dell'elemento, ipotizzando comunque per essa un uguale valore (pari a 1) in tutte le aree comprese nelle perimetrazioni condotte per la definizione della pericolosità di frana, portando, 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).

Analisi del Danno Potenziale

Al fine di predisporre le mappe del rischio frane è stata effettuata, su tutto il territorio di Riola, un'analisi degli elementi esposti al rischio, che sono costituiti da persone e cose suscettibili di essere colpiti da eventi calamitosi.

Per la definizione del grado del rischio da frana è stata condotta, considerando tutto il territorio di Riola, un'analisi del *Danno Potenziale*. Le classi omogenee di *Danno Potenziale* sono quattro, e tengono conto per la loro definizione del danno alle persone, e di quello al tessuto socio-economico ed ai beni non monetizzabili. Tali quattro classi sono di seguito riportate:

- D4: (Danno potenziale molto elevato) - *Aree in cui si può verificare la perdita di vite umane, ingenti danni ai beni economici, naturali storici e culturali di rilevante interesse, gravi disastri ecologico –ambientali*;
- D3: (Danno potenziale elevato) - Aree con problemi per l'incolumità delle persone e per la funzionalità del sistema economico, aree attraversate da linee di comunicazione e da servizi di rilevante interesse, le aree sedi di importanti attività produttive;
- D2: (Danno potenziale medio) - Aree con limitati effetti sulle persone e sul tessuto socio-economico. Aree attraversate da infrastrutture secondarie e attività produttive minori, destinate sostanzialmente ad attività agricole o a verde pubblico
- D1: (Danno potenziale moderato o nullo) - Comprende le aree libere da insediamenti urbani o produttivi, dove risulta possibile il libero deflusso delle piene.

Tali classi sono state ottenute attraverso un'analisi semplificata, in cui D = E x V, dove:

• E = elementi a rischio, che sono costituiti da persone e cose suscettibili di essere colpiti da eventi calamitosi, e ai quali è stato attribuito un peso secondo una scala compresa fra 0 e 1, a seconda della classificazione attribuita allo stesso elemento.

• V = vulnerabilità intesa come capacità a resistere alle sollecitazioni indotte dall'evento, e quindi dal grado di perdita degli elementi a rischio E in caso del manifestarsi del fenomeno. Nelle valutazioni effettuate la vulnerabilità è stata assunta pari all'unità.

Il risultato dell'intersezione degli elementi a rischio (E1, E2, E3, E4) e delle relative classi di Danno potenziale (D1, D2, D3, D4) con le aree a pericolosità (Hg0, Hg1, Hg2, Hg3, Hg4) porta, come specificato nel successivo paragrafo, all'individuazione delle aree a rischio da frana.

Carta delle aree a rischio da frana

Una volta definite le varie classi di danno così come riportato al precedente paragrafo, occorre definire il valore del rischio in funzione della pericolosità dell'evento atteso.

Pertanto, definiti i quattro livelli di pericolosità (Hg4, Hg3, Hg2, Hg1) e quattro di danno potenziale (D4, D3, D2, D1) possono essere stabiliti i quattro livelli di Rischio conseguenti Rg4, Rg3, Rg2 e Rg1 e quindi redatta la carta del rischio da frana mediante una procedura di *overlay mapping*.

La procedura di *overlay* è stata guidata dalla tabella di classificazione delle aree a rischio di frana nella quale, attraverso le intersezioni tra le colonne concernenti la classificazione della Pericolosità da frana e le righe riportanti la classificazione delle classi di Danno Potenziale è stata ricavata la categoria di rischio derivante.

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI I PERICOLOSITÀ			
		HG1	HG2	HG3	HG4
CLASSI DI DANNO	D1	Rg1	Rg1	Rg1	Rg1
	D2	Rg1	Rg1	Rg2	Rg2
	D3	Rg1	Rg2	Rg3	Rg2
	D4	Rg1	Rg2	Rg3	Rg4

Tab. n. 8 - Matrice di correlazione danno/pericolosità – Rischio frana

La carta del rischio da frana rappresenta l'elaborato di sintesi dell'analisi d'interazione fra processi naturali (evento franoso esistente o potenziale) ed elemento a rischio.

Il rischio da frana, in effetti, rappresenta "un'istantanea" dell'esposizione di elementi a eventi franosi in atto o potenziali, ma non contiene i presupposti che possono farne uno strumento di pianificazione. Ciò significa, che laddove, a oggi, l'elemento a rischio è assente, il rischio specifico è nullo.

Il D.P.C.M. del 29/09/98 "*Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e del D.L. del 11/06/98, n. 180*" nel ribadire che i Piani di Bacino, devono tener conto delle disposizioni del D.P.R. del 18/07/95, definisce, con riferimento ad esperienze di pianificazione già effettuate quattro classi di rischio così come si riporta in tabella.

Rischio di frana totale			Descrizione degli effetti
Classe	Intensità	Valore	
Rg1	Moderato	≤ 0,25	Danni sociali, economici e al patrimonio ambientali marginali.
Rg2	Medio	≤ 0,50	Sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.
Rg3	Elevato	≤ 0,75	Sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edificied alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socio – economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale.
Rg4	Molto elevato	≤ 1,00	Sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agliedifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione delle attivitàsocio economiche.

Tab. n. 9 –Intensità delle aree a rischio da frana e descrizione degli effetti attesi

Le perimetrazioni delle aree a rischio di frana e la loro classificazione sono state riportate per tutto il territorio comunale di Riola Sardo in due elaborati cartografici: *G.9.2 - Carta del rischio da frana – Territorio* (scala di 1:10.000*)*, *G.9.3 - Carta del rischio da frana – Ambito urbano* (scala 1:2.000).
Le carte del rischio elaborate nel presente studio evidenziano le stesse classi e perimetrazioni delle carte di rischio da frana elaborate nell'ambito della Variante al Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) – Parte Frane, relativa allo 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 (Flumendosa – Campidano- Cixerri). Progetto di Variante Generale e di Revisione del Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna, approvata in via preliminare con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 14 del 28.10.2024 Nella figura seguente è riportata la legenda della "Carta delle aree a rischio da frana" adottata.

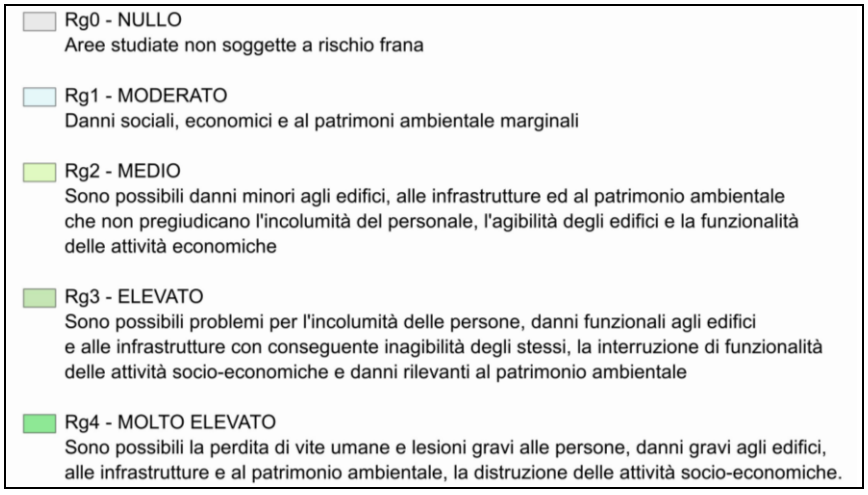


Fig. 4 - Legenda della "Carta delle aree a rischio da frana"

INTERVENTI DI MITIGAZIONE

Questa fase prevede la predisposizione di un programma d'interventi finalizzati alla mitigazione del rischio, rilevato sulla base delle risultanze delle attività svolte nelle precedenti fasi.

Nell'area in studio si valutato quelle situazioni maggiormente critiche che mettono in relazione gli elementi a rischio con il rischio di franosità in atto o potenziale. A tal riguardo l'analisi del rischio ha riscontrato un allineamento con le risultanze dello *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 (Flumendosa – Campidano- Cixerri). Progetto di Variante Generale e di Revisione del Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna, di cui la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 14 del 28.10.2024.*

In altri termini, non si è evidenziata nel territorio di Riola Sardo la necessità di eseguire opere di mitigazione e/o consolidamento per la messa in sicurezza delle aree a maggior pericolosità da frana ubicate nella regione di Cuccuru Mannu, poiché non sono a rischio infrastrutture, abitazioni, settori produttivi, e siti d'interesse culturale/archeologico

ELENCO ELABORATI ALLEGATE ALLO STUDIO – PARTE FRANE

ELAB.	TITOLO	SCALA
0	Elenco elaborati	
G.0.1	Relazione illustrativa - parte frane	
G.1	Carta della pericolosità da frana come da PAI vigente	scala 1:10.000
G.2	Carta della pendenza dei versanti	scala 1:10.000
G.3	Carta dell'uso del suolo	scala 1:10.000
G.4	Carta litologica	scala 1:10.000
G.5	Carta dell'instabilità potenziale dei versanti	scala 1:10.000
G.6	Carta geomorfologica e dei fenomeni franosi	scala 1:10.000
G.7.1	Carta della pericolosità da frana – unità fisiografica	scala 1:10.000
G.7.2	Carta della pericolosità da frana – territorio	scala 1:10.000
G.7.3	Carta della pericolosità da frana – ambito urbano – centro abitato	scala 1: 2.000
G.8.1	Carta degli elementi a rischio – unità fisiografica	scala 1:10.000
G.8.2	Carta degli elementi a rischio – territorio	scala 1:10.000
G.9.1	Carta del rischio da frana – unità fisiografica	scala 1:10.000
G.9.2	Carta del rischio da frana – territorio	scala 1:10.000
G.9.3	Carta del rischio da frana – ambito urbano – centro abitato	Scala 1: 2.000

SOMMARIO

PREMESSA 2
RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBBLIOGRAFICI 3
LOCALIZZAZIONE E PIANO D'ASSETTO IDROGEOLOGICO 4
ANALISI STORICA DEI FENOMENI FRANOSI 5
GEOLOGIA E CARATTERI GEOMORFOLOGICI GENERALI 5
MORFOLOGIA DINAMICA DEI PROCESSI GRAVITATIVI 9
INDIVIDUAZIONE E PERIMETRAZIONE DELLE AREE A RISCHIO DI FRANA 12
FASE 1 - PERIMETRAZIONE E CLASSIFICAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ 13
Valutazione dell'instabilità potenziale 16
Carta della pericolosità di frana 16
FASE 2 - PERIMETRAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO DA FRANA 20
Analisi del rischio da frana 20
Analisi degli elementi esposti al rischio di frana 20
Analisi della vulnerabilità 22
Analisi del Danno Potenziale 22
Carta delle aree a rischio da frana 23
INTERVENTI DI MITIGAZIONE 25
ELENCO ELABORATI ALLEGATE ALLO STUDIO – PARTE FRANE 25