Commissario Straordinario Delegato
per la realizzazione degli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico nella Regione della Sardegna

Regione Autonoma della Sardegna
PRESIDÈNTZIA
PRESIDENZA

SOGESID SPA
INGEGNERIA TERRITORIO AMBIENTE

Interventi di mitigazione del rischio idrogeologico nel Comune di Bitti

EL.02 – RELAZIONE DI INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Luglio 2020

Sommario

1 PREMESSA 4

2 RELAZIONE GEOLOGICA 4

2.1 Caratteristiche idrogeologiche dell'area 11

3 CONDIZIONI DEL SUOLO E TRASPORTO SOLIDO 13

4 STIMA DEL TRASPORTO SOLIDO 19

4.1 ACQUISIZIONE DEI DATI DI BASE ED ELABORAZIONE 21

4.2 RISULTATI 25

4.2.1 Bacino 1 del Rio Cuccureddu 25

4.2.2 Bacino 1ext del Rio Cuccureddu 26

4.2.3 Bacino 2 del Rio Cuccureddu 27

4.2.4 Bacino 3 del Rio Cuccureddu 27

4.2.5 Bacino 4 del Rio Cuccureddu 27

4.2.6 Bacino 5 del Rio Cuccureddu 31

4.2.7 Bacino 6 del Rio Cuccureddu 31

4.2.8 Bacino 7 del Rio Giordano 32

4.2.9 Bacino 8 del Rio Giordano 32

4.2.10 Bacino 9 del Rio Giordano (Campo sportivo) 37

5 AREE A PERICOLOSITÀ DA FRANA (HG) NELL'AREA DI BITTI 38

6 PREDISPOSIZIONE DELL'AREA ALLE COLATE DETRITICHE (METODO DI AULITZKY) 41

7 CENNI DI GEOTECNICA 43

8 CONCLUSIONI 44

Figure

Fig. 1 – Strade ed autoveicoli travolti dall'ondata di acqua, fango e detriti in occasione dell'evento alluvionale del 18 novembre 2013 a Bitti. 4

Fig. 2 – Schema geologico dell'area di Bitti che rappresenta i rilievi eseguiti per questo studio. 6

Fig. 3 – Depositi di versante matrice-sostenuti con clasti centimetrici presso la pineta a W di S. Elia. 7

Fig. 4 – Depositi di versante matrice-sostenuti con clasti centimetrici, periferia di Bitti (versante a SE del paese). 8

Fig. 5 – A sinistra: depositi di versante matrice-sostenuti e clasti decimetrici alla periferia di Bitti (versante a SW del paese); a destra:depositi di versante matrice-sostenuti e clasti centimetrici presso la S.S. 389 a NNW di Bitti. 8

Fig. 6 – Rocce granitoidi altrate lungo una trincea alta circa 4 m (SW di S. Elia, tenuta Sanna). 8

Fig. 7 – Rocce granitoidi altrate con nuclei isolati non alterati a scala dell'affioramento (presso il campo sportivo di Bitti). 9

Fig. 8 – Rocce granitoidi alterate (in primo piano) e non alterate (sulla sommità del rilievo) a scala del versante (vista verso la chiesa di S. Elia a Bitti). 9

Fig. 9 – Rocce granitoidi granodioritiche non alterate a scala dell'affioramento, con inclusi melanocrati (lungo la nuova strata presso il Rio Elicagliu). 9

Fig. 10 – Paragneiss poco alterati (lungo la strada Bitti-Orune). 10

Fig. 11 – Vista 3D verso SW dell'area di Bitti. Sono evidenti l'altopiano sopra l'abitato, l'incisione fluviale del Rio Cuccureddu ed i versanti acclivi che circondano lo stesso abitato (da Google Earth). 10

Fig. 12 – Fascia cataclastica argillificata e molto inclinata a spese delle rocce metemorfiche (in loc. Errede, lungo la nuova strada Bitti-Orune). 11

Fig. 13 – Immagine fotografica aerea dell'area di Bitti del 1954. 14

Fig. 14 – Immagine fotografica aerea dell'area di Bitti del 1968. 14

Fig. 15 – Immagine fotografica aerea dell'area di Bitti del 1977 (cfr. anche Fig. 19). 14

Fig. 16 – Immagine fotografica aerea dell'area di Bitti del 1998 (cfr. anche Fig. 20). 15

Fig. 17 – Immagine fotografica aerea dell'area di Bitti del 2013. 15

Fig. 18 – Immagine fotografica aerea dell'area di Bitti del 2017. 15

Fig. 19 – Fotografia aerea dell'area di Bitti del 1977 con evidenziate le aree modificate nelle immagini del 1998. 16

Fig. 20 – Fotografia aerea dell'area di Bitti del 1998 con evidenziate le aree modificate rispetto al 1977. 16

Fig. 21 – Manufatti travolti ed erosi a seguito dell'alluvione del 2013: a sinistra un tratto del canale tombato del Rio Giordano; a destra un muro di sostegno entro l'abitato. 18

Fig. 22 – Tratti tombati del Rio Cuccureddu travolti e distrutti lungo la via Cavallotti a Bitti. 18

Fig. 23 – Scarpate e manufatti vari all'interno del centro abitato travolti ed erosi dalle acque superficiali. 19

Fig. 24 – Vista della piazza Asproni a Bitti relativa ai giorni seguenti l'alluvione, ricoperta di detriti e con una voragine creata dal collasso della volta di un tratto tombato del Rio Cuccureddu. 19

Fig. 25 – Bacini idrografici analizzati dell'area di Bitti e opere idrauliche presunte. 21

Fig. 26 – Carta delle pendenze dei bacini nell'area di studio. 22

Fig. 27 – Carta litologica per il calcolo della "erodibilità del suolo in relazione alla litologia" (cfr. con la Fig. 2). 23

Fig. 28 – Carta dell'uso del suolo relativa all'area in esame. 23

Fig. 29 – Classi di uso del suolo (macrogruppi A, B, C, D ed U) ottenute aggregando le molteplici e diverse tipologie della Carta dell'uso del suolo. 24

Fig. 30 – Delimitazione delle aree a pericolosità da frana (Hg) del PAI vigente e ubicazione delle principali opere di mitigazione idraulica previste per la zona di Bitti. 39

Fig. 31 – Distacco di materiale lungo un taglio stradale e pulizia del manto stradale a seguito dell'evento del 2013 (a sinistra) ed erosione della scarpata stradale (radici dei pini affioranti) lungo la circonvallazione del paese. 45

1 PREMESSA

L'abitato di Bitti è attraversato dai torrenti Rio Giordano e Rio Cuccureddu che, in conseguenza di precipitazioni eccezionalmente abbondanti, possono dar luogo a fenomeni di carattere alluvionale. I bacini imbriferi (soprattutto nel caso del Rio Cuccureddu) sono di estensione modesta, ma con pendenze talora elevate (ad es. un sottobacino, il n. 5, del Rio Cuccureddu ha una pendenza media del 53,52%). Sono quindi caratterizzati da una risposta idrologica rapida, che può generare piene repentine con portate caratterizzate da velocità elevate e da conseguenti violenti processi di trasporto detritico. La pericolosità di Bitti legata ai fenomeni alluvionali è stata particolarmente evidente durante la tragica alluvione del 18 novembre 2013, in occasione delle eccezionali e abbondanti piogge legate al ciclone Cleopatra che invase la città, causando ingenti danni e situazioni di estremo pericolo (Fig. 1). In occasione dell'intenso evento pluviometrico citato, il deflusso idrico presso il Rio Cuccureddu si è rapidamente canalizzato dai versanti ai compluvi a monte dell'abitato, trascinando volumi sempre maggiori di fango e detriti trasportati dalla veloce corrente idrica. Giunte in corrispondenza dell'abitato, le abbondanti acque di deflusso cariche di fango e detriti sono entrate con violenza nei canali tombati, evidentemente sottodimensionati, posti sotto alcune vie del paese, travolgendo ed erodendo parte degli stessi canali. Pertanto, il deflusso idrico è avvenuto anche in superficie, lungo le strade, coinvolgendo automobili e interessando con violenza numerose abitazioni.

Questa situazione di grave dissesto necessita quindi con urgenza la progettazione di opere idrauliche con l'obiettivo di ridurre e mitigare il rischio idrogeologico nell'area urbana e periurbana dell'abitato di Bitti. In particolare, si rende necessario diminuire fortemente e controllare il trasporto solido dei corsi d'acqua nei settori a monte dell'abitato.



Fig. 1 – Strade ed autoveicoli travolti dall'ondata di acqua, fango e detriti in occasione dell'evento alluvionale del 18 novembre 2013 a Bitti.

2 RELAZIONE GEOLOGICA

La progettazione delle opere idrauliche per la mitigazione del rischio idrogeologico dell'area di Bitti ha reso indispensabile uno specifico rilievo geologico di dettaglio esteso a tutta l'area dei bacini idrografici del Rio Cuccureddu e del Rio Giordano. Sono stati pertanto eseguiti diversi sopralluoghi e

rilievi geologici. Infatti, dopo aver raccolto e consultato la bibliografia dell'area, comprese quindi anche le carte geologiche disponibili, si è ritenuto necessario il rilevamento geologico, geomorfologico e strutturale *ex novo* dell'area, rappresentato in Fig. 2. Di fatto, le carte geologiche disponibili contenevano indicazioni molto sommarie e sintetiche e non offrivano il dettaglio necessario per gli obbiettivi che riguardano le caratteristiche geologico-strutturali e geotecniche dei terreni interessati dalle future opere idrauliche e per ciò che concerne la valutazione e la stima del trasporto solido lungo i diversi corsi d'acqua. La mancanza del dettaglio necessario si riferisce sia alle rocce del basamento paleozoico che a quelle delle coperture superficiali quaternarie.

Il rilevamento *ex novo* è consistito in una prima fase di interpretazione di foto aeree, seguita da diverse fasi di rilevamento sul terreno, alternate a nuove analisi in foto aerea. Di conseguenza, il rilevamento fotogeologico ha permesso di ottenere molte informazioni sulle caratteristiche geologiche, morfologiche e strutturali dell'area in modo veloce. In questo modo è stato possibile avere indicazioni sulle aree strategiche da visionare sul posto ed avere molte informazioni sulle caratteristiche strutturali dei corpi rocciosi che l'osservazione a scala dell'affioramento non avrebbe potuto fornire. Sono state utilizzate (in visione stereoscopica) fotografie alla scala di circa 1:10.000 scattate nel 1977 dalla Compagnia Generale Riprese aeree e le ortofoto della R.A.S. e di Google Earth che sono molto più recenti (fino agli anni 2017). Sono state anche visionate ed analizzate le fotografie disponibili sul sito "Sardegna foto aeree" che risalgono fino agli anni 1954-1955.

Alla visione delle foto aeree è seguita una serie di rilievi geologici sul terreno. I nuovi rilevamenti sono stati mirati alla conoscenza ed individuazione dei caratteri geologici relativi sia alla capacità delle diverse formazioni di rendere disponibili i materiali eventualmente trasportabili dai corsi d'acqua, sia alle caratteristiche geologico-geotecniche e strutturali dei terreni che potrebbero essere interessati dalle possibili opere idrauliche.

La successione stratigrafica delle formazioni affioranti è rappresentata da metamorfiti terrigene di alto grado metamorfico (paragneiss con subordinati livelli di quarziti e, localmente, filladi e micascisti) e da rocce granitoidi (Unità Intrusiva di Bitti) a composizione granodioritica e granodioritico-tonalitica, generalmente a grana media ed equigranulari; le facies di bordo di queste rocce granitoidi, a contatto con le rocce metamorfiche incassanti, hanno medesima composizione, sono anch'esse equigranulari, ma a grana fine. Queste rocce paleozoiche (granitoidi e metamorfiche), attraversate poi da vari sistemi filoniani (filoni aplitici e di quarzo), rappresentano il basamento paleozoico al di sopra del quale poggiano in discordanza le formazioni delle coperture superficiali quaternarie.

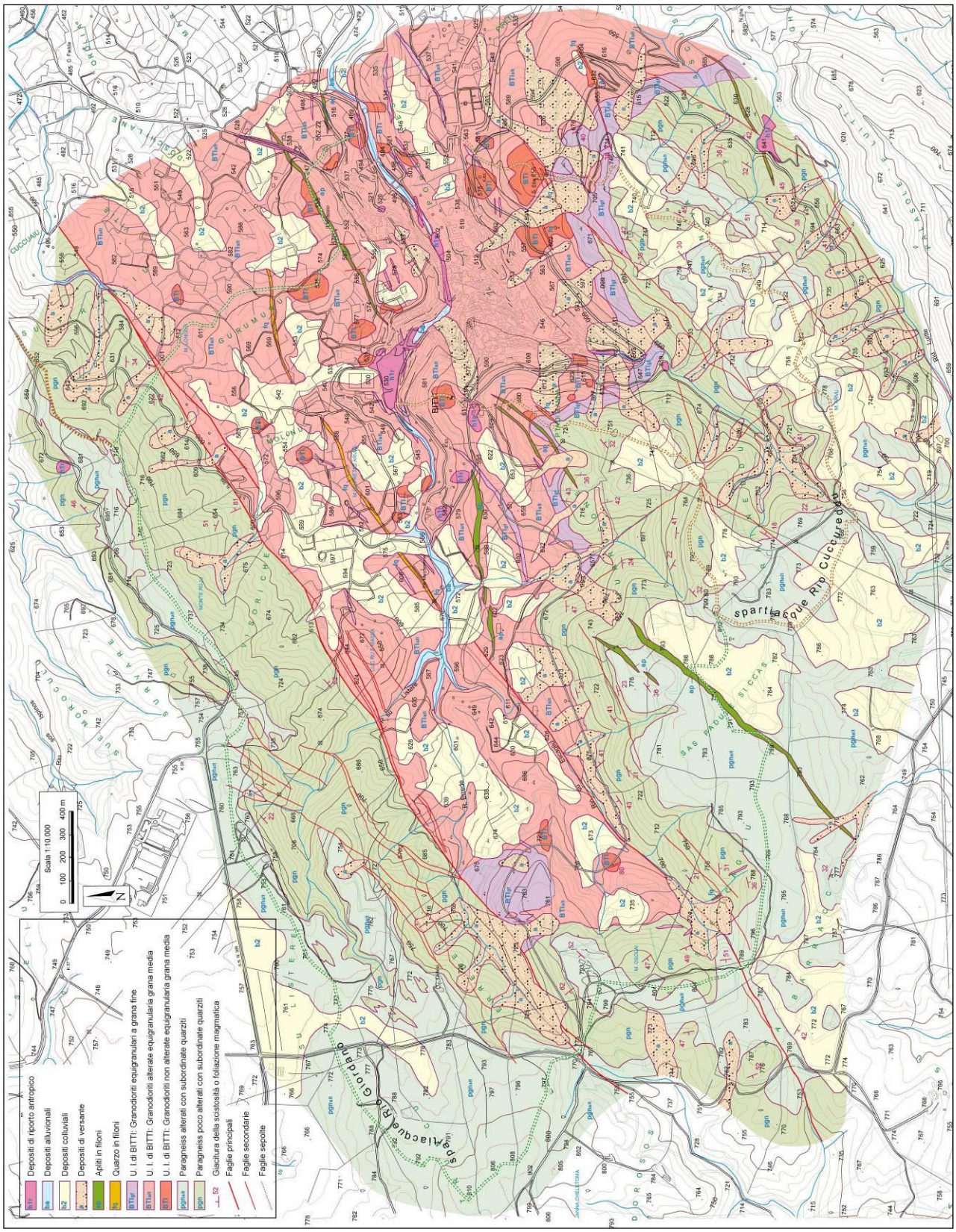

Fig. 2 – Schema geologico dell'area di Bitti che rappresenta i rilievi eseguiti per questo studio.

Le formazioni quaternarie sono costituite da depositi prevalentemente sciolti, con varia granulometria e depositati in diversi ambienti. I depositi antropici cartografati nello schema geologico

sono rappresentati soprattutto da materiali di riporto, con varia granulometria e spesso sono sciolti. Sono poi presenti depositi alluvionali attuali e recenti, che si rinvengono essenzialmente lungo i corsi d'acqua principali, con granulometria ghiaiosa e, di solito, abbondante matrice sabbioso-limosa. Sulla sommità dei rilievi sub-pianeggianti che sovrastano l'abitato di Bitti e lungo i rilievi collinari poco acclivi a nord e a nord-est dell'abitato, sono diffusamente presenti depositi colluviali, generati a spese sia delle rocce granitoidi (spesso da molto a mediamente alterate) sia delle rocce metamorfiche (spesso oggetto di ripetute pratiche agricole di aratura). Il confronto tra le immagini fotografiche degli anni '50 e '60 con quelle recenti evidenzia che in questi decenni le pratiche di aratura e di lavorazione hanno favorito la degradazione di vaste aree con rocciosità affiorante e/o sub-affiorante e lo sviluppo di coltri colluviali, generando materiali maggiormente disponibili al trasporto solido. Si tratta di depositi ghiaioso-sabbiosi sciolti con abbondante matrice sabbiosa limosa ed argillosa. I colluvi a spese delle rocce granitoidi hanno in genere granulometria sabbioso-argillosa con elementi clastici di dimensioni centimetrici, mentre quelli sviluppati a spese delle rocce metamorfiche contengono elementi di maggiori dimensioni. Lungo i pendii più acclivi sono spesso presenti depositi di versante, da poco a nulla coesivi, con elementi clastici di varie dimensioni (in genere da centimetrici a decimetrici) e sostenuti da abbondante matrice sabbiosa e limosa (Fig. 3, Fig. 4 e Fig. 5). Questi depositi rappresentano l'assortimento granulometrico di parte del materiale potenzialmente mobilizzabile.

Visto lo scopo dello studio, i rilievi geologici (sia quelli sul terreno che in foto aerea) sono stati mirati alla distinzione delle rocce alterate (da completamente alterate a mediamente alterate) da quelle poco o nulla alterate. Nel caso delle rocce granitoidi a grana media si tratta di compagini rocciose nella grande maggioranza molto alterate (Fig. 6) che solo raramente mostrano nuclei poco o nulla alterati a scale diverse: da quella dell'affioramento (Fig. 7) a quella del versante (Fig. 8). Solo raramente la compagine rocciosa granitoide è fresca (non alterata) e molto coesiva (Fig. 9).



Fig. 3 – Depositi di versante matrice-sostenuti con clasti centimetrici presso la pineta a W di S. Elia.



Fig. 4 – Depositi di versante matrice-sostenuti con clasti centimetrici, periferia di Bitti (versante a SE del paese).





Fig. 5 – A sinistra: depositi di versante matrice-sostenuti e clasti decimetrici alla periferia di Bitti (versante a SW del paese); a destra:depositi di versante matrice-sostenuti e clasti centimetrici presso la S.S. 389 a NNW di Bitti.



Fig. 6 – Rocce granitoidi altrate lungo una trincea alta circa 4 m (SW di S. Elia, tenuta Sanna).



Fig. 7 – Rocce granitoidi altrate con nuclei isolati non alterati a scala dell'affioramento (presso il campo sportivo di Bitti).



Fig. 8 – Rocce granitoidi alterate (in primo piano) e non alterate (sulla sommità del rilievo) a scala del versante (vista verso la chiesa di S. Elia a Bitti).



Fig. 9 – Rocce granitoidi granodioritiche non alterate a scala dell'affioramento, con inclusi melanocrati (lungo la nuova strata presso il Rio Elicagliu).

I granitoidi a grana fine, al contrario, sono di solito poco o nulla alterati e molto coesivi. Nel caso delle rocce metamorfiche, le porzioni ben esposte e poco alterate (Fig. 10) sono presenti diffusamente

lungo i versanti; mentre invece quelle da mediamente a molto alterate si trovano soprattutto sulla sommità dei rilievi sub-pianeggianti attorno all'abitato (Fig. 11), che rappresentano lembi di una importante superficie di erosione permo-triassica riesumata. Infatti, l'altopiano sopra il paese si raccorda bene con la superficie di base della successione mesozoica del vicino Monte Albo.



Fig. 10 – Paragneiss poco alterati (lungo la strada Bitti-Orune).



Fig. 11 – Vista 3D verso SW dell'area di Bitti. Sono evidenti l'altopiano sopra l'abitato, l'incisione fluviale del Rio Cuccureddu ed i versanti acclivi che circondano lo stesso abitato (da Google Earth).

Tutta l'area del basamento paleozoico è interessata da vari sistemi di faglie e fratture, riconducibili alla tettonica tardo-orogenica del ciclo ercinico (permo-carbonifero) con successive riattivazioni durante l'Oligocene superiore e l'Aquitaniano. Si tratta di faglie generalmente molto inclinate (Fig. 12). Quelle orientate NE-SW (parallele ai principali corpi filoniani) hanno una cinematica trascorrente (destra durante il permo-carbonifero e sinistra durante il terziario) che ben si accorda con le deformazioni tettoniche conosciute in questo settore della Sardegna settentrionale.



Fig. 12 – Fascia cataclastica argillificata e molto inclinata a spese delle rocce metemorfiche (in loc. Errede, lungo la nuova strada Bitti-Orune).

2.1 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DELL'AREA

Le caratteristiche idrogeologiche dell'area esaminata sono una diretta conseguenza dell'evoluzione geologico-strutturale del territorio e possono essere schematizzate con buona approssimazione considerando un basamento lapideo di rocce granitoidi e metamorfiche poco permeabili per fratturazione al di sopra del quale poggia una sottile coltre di sedimenti quaternari sostanzialmente sciolti da mediamente a molto permeabili per porosità.

Le caratteristiche di permeabilità possono essere molto discontinue anche all'interno di questi due gruppi di rocce. Infatti, le rocce magmatiche e metamorfiche variano il loro grado di permeabilità in funzione dell'importanza delle strutture disgiuntive (fratture, faglie, superfici di scistosità, giunti di raffreddamento, fasce di deformazione cataclastica, etc.) e delle loro caratteristiche (spaziatura, apertura, rugosità, riempimento, etc.) e mostrano valori di permeabilità da molto bassi a localmente medi e, solo in settori circoscritti (fasce cataclastiche lungo le faglie principali), elevati. Queste rocce, in generale, possono essere considerate potenzialmente come rocce serbatoio nelle quali l'accumulo delle acque sotterranee è però circoscritto e fortemente condizionato dalla complessa struttura geologica dei corpi rocciosi. I limitati settori contraddistinti da un discreto grado di fratturazione sono quelli più permeabili, nei quali l'infiltrazione nel sottosuolo delle acque meteoriche è maggiore. In generale, l'area è caratterizzata da un diffuso reticolo di strutture disgiuntive, generalmente molto inclinate. La permeabilità di buona parte del settore dell'area di studio è di basso grado (localmente medio) e le falde acquifere che si instaurano in queste rocce paleozoiche sono poco superficiali e molto discontinue, spesso senza immediata comunicazione tra i diversi settori.

Le rocce sedimentarie quaternarie, che affiorano soprattutto lungo i pendii (depositi di versante) o sulla sommità degli altopiani (depositi colluviali) o lungo la piana fluviale sono contraddistinte da litologie con un'ampia gamma granulometrica: da medio-fine a media (sedimenti colluviali) fino a medio-grossolana (depositi di versante e sedimenti alluvionali). Nonostante questi sedimenti abbiano una permeabilità da media a localmente alta, sono acquiferi poco produttivi e di scarsa importanza idrogeologica a causa degli spessori limitati o spesso trascurabili. Malgrado ciò, le caratteristiche di buona

permeabilità delle coperture quaternarie permettono una discreta infiltrazione delle acque meteoriche, specialmente nei settori dove è presente una copertura vegetale ed uno spessore di suolo non trascurabile.

Nell'area sono quindi presenti due complessi idrogeologici distinti: quello del basamento e quello sovrastante delle coperture.

- Il primo complesso è caratterizzato da rocce a permeabilità medio-bassa prevalentemente per fessurazione con un coefficiente di permeabilità ("K) compreso tra 10^{-5} e 10^{-9} m/s (acquifero a rete). Si tratta dei settori ove la roccia è affiorante o sub affiorante, in particolare in corrispondenza ed in prossimità delle quote più elevate dei bacini. I circuiti a rete definiti negli ammassi granitici e in quelli metamorfici traggono alimentazione e ricarica dai rilievi più elevati e si impostano lungo circuiti sotterranei di natura tettonica. In questi acquiferi i limiti dei bacini idrografici coincidono con quelli dei bacini idrogeologici (sono sovrapponibili e, in generale, coincidenti); ciò significa che la loro ricarica avviene quindi senza apporti da settori esterni e che gli spartiacque sotterranei corrispondono, in planimetria, sostanzialmente a quelli superficiali.

La circolazione idrica sotterranea all'interno delle fessure è favorita nella parte più superficiale dove le discontinuità sono più aperte per fenomeni di decompressione, fino alla profondità di un centinaio di metri. Al di sotto di questa profondità, il carico litostatico tende ad anastomizzare le fessure, chiudendole e limitando la circolazione delle acque. Ciò avviene soprattutto se le fessure sono poco o mediamente inclinate. In molti casi quindi, la circolazione idrica sotterranea in prossimità della superficie topografica è caratterizzata da prevalenti componenti verticali fino a raggiungere quei settori dove, per varie cause, le acque si raccolgono e tendono a scorrere con prevalenti movimenti sub-orizzontali. In questi casi, i deflussi idrici sotterranei sembrano avere, in generale, le stesse direzioni di quelli superficiali. L'andamento della superficie piezometrica tende ad adattarsi a quella topografica e ricalca, più o meno sommariamente, la morfologia esterna. Le emergenze sorgive, quando presenti, possono quindi anche essere numerose, ma tutte effimere e di piccola entità e solo nel caso di faglie importanti si possono avere sorgenti produttive. Inoltre, come spesso accade in questi tipi di rocce fessurate, gli acquiferi possono essere considerati monofalda.

Sulla base sia delle caratteristiche di permeabilità delle rocce affioranti (anche nelle porzioni superficiali più o meno alterate), sia delle caratteristiche di pendenza dell'intero settore che dello spessore di suolo e di copertura vegetale riscontrati nell'area, si può affermare che il substrato presente è caratterizzato da valori di permeabilità e di infiltrazione generalmente bassi.

- Il secondo complesso è caratterizzato da terreni a permeabilità media e medio-alta, prevalentemente per porosità, in particolare nei depositi alluvionali, di versante, eluviali (comprese le coltri "arenizzate") e colluviali, a granulometria compresa tra le ghiaie, le sabbie e le sabbie limose. Il coefficiente di permeabilità è molto variabile, compreso tra $10^{-3} < k < 10^{-7}$ m/s, in relazione alla natura dei depositi quaternari, al loro assortimento granulometrico e alla percentuale di matrice argilloso-limosa. I valori maggiori di permeabilità si riscontrano nei depositi alluvionali, spesso di natura ghiaiosa e/o sabbiosa (questi ultimi diffusi sostanzialmente solo lungo i principali corsi d'acqua), mentre le minori

permeabilità sono tipiche dei depositi eluviali (granitoidi alterati e disgregati) e di quelli di versante e colluviali (spesso con discrete componenti argillose).

3 CONDIZIONI DEL SUOLO E TRASPORTO SOLIDO

Per quanto riguarda il trasporto solido, responsabile dei maggiori danni e problemi all'abitato di Bitti in occasione dell'intenso evento meteorologico "Cleopatra" del 2013, i rilievi sul terreno hanno confermato le prime impressioni derivate dalle conoscenze indirette. L'area del bacino idrografico del Rio Cuccureddu sottesa all'abitato di Bitti, nonostante sia di estensione assai ridotta, è costituita morfologicamente da un altopiano di rocce metamorfiche (Fig. 2 e Fig. 11), al di sopra delle quali sono diffusamente presenti coperture colluviali sciolte di spessore solitamente inferiore al metro, e da versanti da mediamente a molto acclivi con rocce scistose fratturate ben esposte e con gli impluvi spesso caratterizzati dalla presenza di depositi di versante (ghiaie ricche di matrice sabbioso-limosa). Questi materiali ghiaiosi, con spessori fino a 2-3 m e più o meno sciolti (o poco addensati), lungo i versanti, spesso acclivi, sono i principali materiali disponibili alla mobilitazione ed alla canalizzazione in occasione di eventi pluviometrici di grande intensità, considerando pure che le rocce del substrato (rocce metamorfiche terrigene) hanno caratteristiche di permeabilità bassa o molto bassa e quindi analoghi coefficienti di infiltrazione (bassi o molto bassi). Quindi durante gli eventi pluviometrici intensi, la quasi totalità delle acque piovane defluisce superficialmente e solo una modesta quantità di acque meteoriche è sottratta al deflusso superficiale (trattenuta dal suolo si infiltra poi nel sottosuolo).

Nonostante questi presupposti, **nell'area del bacino del Rio Cuccureddu e del Rio Giordano non sono state riscontrate evidenze di dissesti di tipo franoso legati alla mobilizzazione repentina di grandi quantità di materiali (frane superficiali o di altro genere)**. Quasi tutti i versanti sono ben vegetati e spesso con una copertura boschiva ben sviluppata. In particolare, i versanti più critici del bacino del Rio Cuccureddu (quelli a W ed a SE dell'abitato) sono stati oggetto di piantumazione di pini nei decenni passati, come ben evidente nelle immagini fotografiche del 1954. La piantumazione è stata poi completata in seguito negli ultimi settori meno estesi come si evince nelle immagini del 1968. Osservando la scansione delle fotografie disponibili dei diversi anni (Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17 e Fig. 18) non si riscontrano improvvisi cambiamenti nello stato del suolo e della vegetazione.

La persistenza della copertura vegetale nel tempo, senza improvvisi cambiamenti, sembra escludere, come detto, lo sviluppo di dissesti gravitativi superficiali repentini, spesso causa improvvisa di produzione di grandi volumi di materiale disponibili al trasporto solido dei corsi d'acqua.



Fig. 13 – Immagine fotografica aerea dell'area di Bitti del 1954.



Fig. 14 – Immagine fotografica aerea dell'area di Bitti del 1968.

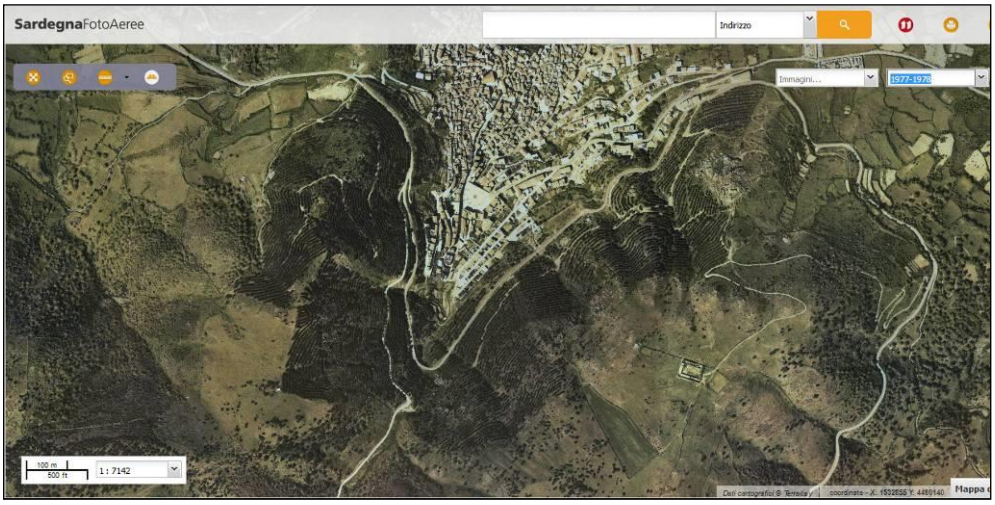

Fig. 15 – Immagine fotografica aerea dell'area di Bitti del 1977 (cfr. anche Fig. 19).

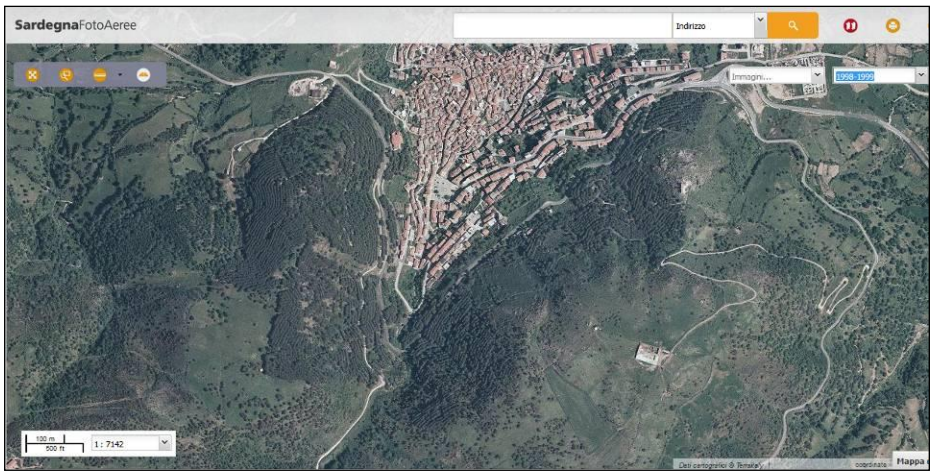

Fig. 16 – Immagine fotografica aerea dell'area di Bitti del 1998 (cfr. anche Fig. 20).

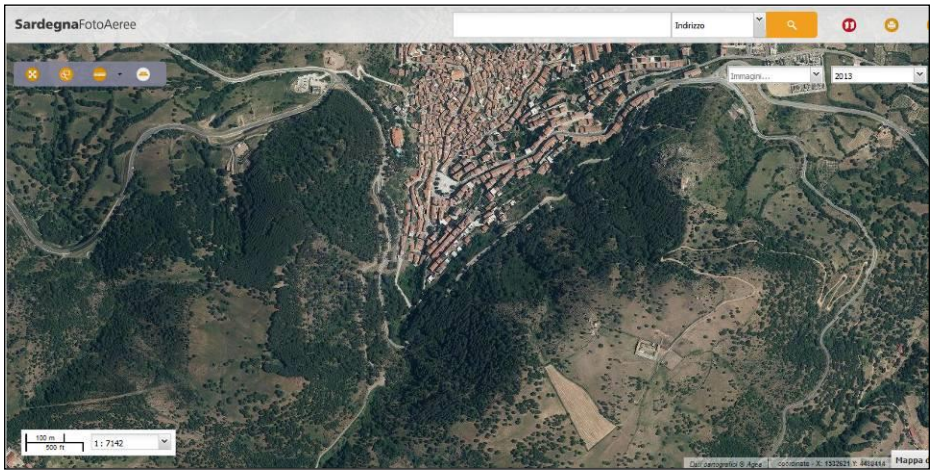

Fig. 17 – Immagine fotografica aerea dell'area di Bitti del 2013.



Fig. 18 – Immagine fotografica aerea dell'area di Bitti del 2017.

Infatti, in caso di frana, soprattutto in quelle superficiali, le nicchie di distacco lasciano tracce evidenti sulla superficie denudata. Alcune differenze nelle coperture della vegetazione attorno all'abitato

di Bitti sono state osservate in zone un po' distanti dall'abitato di Bitti dal confronto tra le foto del 2013 e del 2017 in regione Murrucone (poche centinaia di metri a W di Bitti, nel bacino del Rio Giordano). Altre differenze si riscontrano dal confronto tra le immagini fotografiche del 1977 e del 1998 in alcuni settori del versante a SE di Bitti delimitati in rosso in Fig. 19 e Fig. 20.



Fig. 19 – Fotografia aerea dell'area di Bitti del 1977 con evidenziate le aree modificate nelle immagini del 1998.

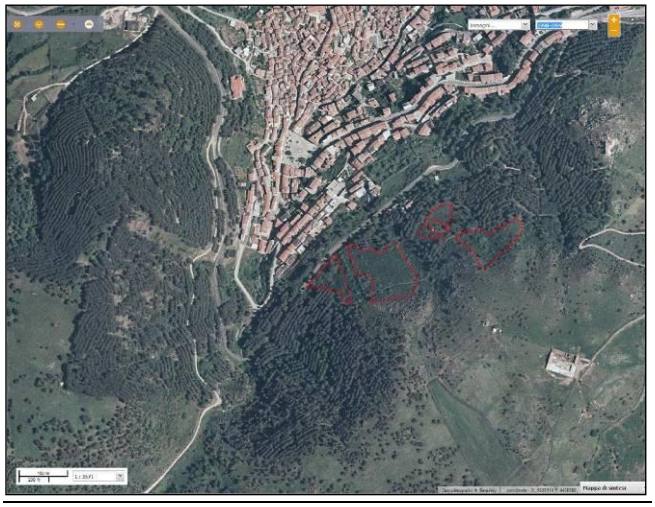

Fig. 20 – Fotografia aerea dell'area di Bitti del 1998 con evidenziate le aree modificate rispetto al 1977.

Purtroppo non è stato possibile osservare immagini fotografiche di età intermedia tra quelle del 1977 e del 1998, che avrebbero aiutato a definire con maggiore precisione l'età e le caratteristiche dell'evento e che ha modificato la copertura vegetale nei limitati settori del versante a SE del Cuccureddu. Tale evento non sembra comunque riconducibile a dissesti franosi, ma è probabilmente in relazione a piccoli incendi. Infatti, le aree indicate in rosso nelle figure Fig. 19 e Fig. 20 tagliano indifferentemente crinali e incisioni vallive ed inoltre attraversano ugualmente zone con caratteristiche geologiche diverse (granitoidi a grana media alterati e granitoidi a grana fine poco alterati) senza coinvolgere i depositi di versanti (potenzialmente maggiormente suscettibili di fenomeni di instabilità gravitativa). **Resta**

comunque evidente nelle immagini fotografiche, anche in quelle più recenti, che la maggior parte dei pendii del Rio Cuccureddu attorno all'abitato di Bitti (anche quelli più acclivi) sono caratterizzati dalla presenza della copertura boschiva impiantata negli anni '50 e '60, indicando quindi che i versanti sono caratterizzati da una certa stabilità. Inoltre, i rilievi geologici effettuati in dettaglio lungo i pendii non hanno messo in evidenza depositi riconducibili ad accumuli caotici derivanti da frane, anche antiche (con eventuali strutture da trasporto in massa); al contrario i depositi di versante osservati in diverse località attorno all'abitato di Bitti sono spesso stratificati e caratterizzati da strutture sedimentarie di aggradazione.

In particolare, il confronto e la sovrapposizione tra le fotografie aeree del 27 luglio 2013 (prima dell'alluvione di novembre 2013, Fig. 17) e del 16 marzo 2017 (dopo l'alluvione, Fig. 18) non indicano la presenza di settori più o meno ampi modificati lungo i versanti, confermando quindi le osservazioni dirette. Anche i colloqui con i tecnici e gli amministratori comunali di Bitti e con le persone che frequentano i luoghi (sentite durante i sopralluoghi) ribadiscono che in occasione dell'evento di dissesto del 18 novembre 2013 nell'area del Rio Cuccureddu non si sono verificati eventi di franosi lungo i versanti naturali **che avrebbero improvvisamente reso disponibili grandi quantità di materiali**. Sembra verosimile invece che il materiale mobilitato dai versanti sia il risultato di un ruscellamento diffuso con mobilizzazione dei singoli elementi clastici (**trasporto particellare e non in massa**) e la loro canalizzazione e concentrazione verso gli impluvi dove le cospicue quantità di acque meteoriche e le notevoli pendenze delle aste fluviali hanno avuto modo di trasportare verso valle il materiale solido (in certi casi anche quello presente nell'alveo), grazie alla rilevante velocità delle acque superficiali. Nonostante le abbondanti e veloci acque di deflusso superficiale lungo gli impluvi, anche quelli più acclivi, non sono state rilevate forme di erosione particolarmente evidenti lungo le sponde e il fondo dei compluvi.

L'osservazione delle fotografie nei diversi anni ha anche evidenziato che negli anni passati, in particolare negli anni 1954 e 1968 lo stato della copertura vegetale era molto più degradato che negli anni recenti ed attuali, indicando quindi che tale copertura esercitava una ben minore opera di protezione dall'erosione del suolo rispetto agli ultimi anni. L'osservazione delle stesse fotografie indica inoltre che l'espansione urbanistica dell'abitato, dagli anni '50 agli anni attuali, ha occupato una notevole superficie proprio nelle zone critiche dei versanti acclivi ed in particolare lungo quello rivolto a NW (e situato a SE del paese). Con l'urbanizzazione e l'espansione dell'abitato sono poi comparse varie opere (con lo scopo di "proteggere" l'abitato) che riguardano il cosiddetto "Canale di Guardia" lungo la strada di circonvallazione o le varie tombature dei tratti di fiume interni all'abitato. I canali tombati riguardano un lungo tratto del Rio Cuccureddu e un tratto minore nel Rio Giordano.

In occasione del tragico evento di novembre 2013 alcune di queste opere, spesso realizzate con conci di pietra (come alcuni tratti di canali tombati, arginature, muri di sostegno, rilevati stradali, etc.), sono state travolte dalle abbondanti acque cariche di sedimenti e sono state quindi parzialmente o totalmente erose, creando situazioni di estremo pericolo e contribuendo anch'esse a produrre nuovi materiali solidi trasportati verso valle dalla impetuosa corrente idrica (Fig. 21 e Fig. 22). In altri casi, le scarpate artificiali (tagli stradali, sbancamenti vari presso le abitazioni, etc.), specialmente all'interno del centro abitato, hanno manifestato fenomeni di cedimento e di erosione che hanno contribuito

ulteriormente alla produzione di materiale solido disponibile al trasporto (Fig. 23). Alcuni fotogrammi relativi ai giorni seguenti l'alluvione ed alle fasi di ripristino e sgombero dei materiali accumulati nell'abitato indicano chiaramente che, in certi casi, il materiale trasportato e depositato era costituito da manufatti, con materiali lapidei di forma geometrica regolare, provenienti quindi dalle varie opere, anche di tombatura dei corsi d'acqua interni all'abitato. Lo scenario dei giorni successivi l'alluvione era quello di un paese ricoperto da fango e detriti e da opere parzialmente o totalmente distrutte (Fig. 21, Fig. 22, Fig. 23 e Fig. 24).



Fig. 21 – Manufatti travolti ed erosi a seguito dell'alluvione del 2013: a sinistra un tratto del canale tombato del Rio Giordano; a destra un muro di sostegno entro l'abitato.



Fig. 22 – Tratti tombati del Rio Cuccureddu travolti e distrutti lungo la via Cavallotti a Bitti.



Fig. 23 – Scarpate e manufatti vari all'interno del centro abitato travolti ed erosi dalle acque superficiali.



Fig. 24 – Vista della piazza Asproni a Bitti relativa ai giorni seguenti l'alluvione, ricoperta di detriti e con una voragine creata dal collasso della volta di un tratto tombato del Rio Cuccureddu.

Resta indubbio però, come anche ribadito da tecnici e amministratori del comune, che a monte delle suddette opere ci sia stato un cospicuo trasporto di materiale solido naturale, come evidenziato dai grandi volumi di materiali depositati lungo il "Canale di Guardia" della circonvallazione, o nella via Mazzini presso il Cuccureddu, poi rimossi i giorni successivi.

Nel caso del Rio Giordano, le minori pendenze del bacino idrografico, la minore diffusione di materiali sciolti disponibili, in prevalenza con una granulometria inferiore, spesso della taglia di sabbie grossolane, non ha creato i problemi relativi al trasporto solido visti per il Rio Cuccureddu. Per ciò che riguarda il Rio Giordano, le maggiori criticità riguardano alcuni sbarramenti di materiale antropico lungo il fiume e la presenza presso lo stesso di edifici abitativi e attività commerciali.

4 STIMA DEL TRASPORTO SOLIDO

Per stimare la quantità di materiale eroso e trasportato dai corsi d'acqua in un certo intervallo di tempo è necessario compiere un'analisi su scala di bacino, individuando i processi che regolamentano il fenomeno di disgregazione, trasporto e deposizione del materiale roccioso e detritico lungo i versanti e lungo le varie aste del reticolo idrografico. Un'analisi di questo tipo, di carattere generale, è finalizzata

alla valutazione dell'erodibilità dei litotipi affioranti nell'intero bacino considerato ed alla loro successiva capacità di essere trasportati. Tale valutazione permette una stima dei volumi di materiale eroso e poi trasportato che potrebbero depositarsi all'interno delle opere idrauliche progettate lungo i corsi d'acqua per mitigare la pericolosità da alluvioni (limitandone o inficiandone l'efficienza) e che presuppongono quindi un certo dimensionamento ed una certa manutenzione al fine di garantirne la funzionalità.

La trattazione del trasporto solido di un bacino valuta la perdita di suolo in funzione di vari fattori. I principali sono: il fattore di erosione delle piogge (che è in funzione dell'intensità delle precipitazioni), il fattore di erodibilità del suolo (in funzione del tipo litologico presente in affioramento), il fattore topografico (determinato in funzione della pendenza media del bacino e della lunghezza media di scorrimento delle acque), il fattore di copertura vegetale e dell'uso del suolo (funzione del grado di protezione che esercita la copertura vegetale) ed il fattore di dissesti (in funzione del grado di dissesto dell'area: frane, erosione accelerata, etc.).

Tra le varie metodologie e trattazioni disponibili, il metodo empirico di GAVRILOVIC[1] è ampiamente utilizzato e verificato in passato perché tra tutti i metodi semi-quantitativi è il più quantitativo e risulta uno dei più completi sotto il profilo delle variabili considerate e dei fattori sopra menzionati. Tale metodo, inizialmente applicato ai corsi d'acqua (a carattere torrentizio) della ex Jugoslavia del sud, è stato applicato, dopo essere stato opportunamente tarato, in Svizzera (BEYER PORTNER, 1998)[2] e in alcune regioni italiane (BAZZOFFI, 1985)[3]. Anche in Sardegna il metodo di GABRILOVIC è stato ampiamente applicato, sia nello studio generale del PSFF sia in contesti più ristretti a scala di bacino. Il modello multiparametrico di GAVRILOVIC, di fatto, bene si adatta ai bacini mediterranei di piccole dimensioni con deflussi di carattere torrentizio, come quelli del Rio Cuccureddu e del Rio Giordano. Tale modello dunque, calcola la velocità di perdita di suolo usando caratteristiche climatiche e morfometriche del bacino come il perimetro, la lunghezza delle aste fluviali, l'altitudine media e la superficie del bacino e utilizza un approccio per tre variabili descrittive (copertura del suolo, erodibilità del suolo, grado e tipologia del processo erosivo), mentre le altre variabili citate sono descrittori quantitativi delle condizioni del bacino (DE VENTE E POESEN, 2005[4]). I suddetti parametri geomorfologici, climatici, litologici e vegetazionali conducono a una relazione che consente la stima teorica del volume di materiale prodotto per erosione in un bacino idrografico e successivamente, attraverso un coefficiente di riduzione, la determinazione della quantità di detriti trasportati dai corsi d'acqua alla sezione di chiusura del bacino stesso.

[1] GAVRILOVIC S. (1959) «*Methode de la classification des bassins torrentiels et equation nouvelles pour le calcul des hautes eaux et du debit solide*». Vadoprivreda, Belgrado.

[2] BEYER PORTNER, N. (1998). *Erosion des bassins versant alpins suisses par ruissellement de surface*: PhD Thesis thesis, Laboratoire de Constructions Hydrauliques - LCH, n. 1815, Laussanne, Switzerland

[3] BAZZOFFI, P. (1985). *Methods for net erosion measurement in watershed as a tool for the validation of models in central Italy*: Workshop on soil erosion and hillslope hydrology with emphasis on higher magnitude events. Leuven

[4] DE VENTE, J., & POESEN J. (2005). *Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models*: Earth Science Reviews, v. Vol. 71, 1-2, p. pp. 95- 125

Il metodo, che per alcuni autori tende a sovrastimare il trasporto solido, sebbene molto utilizzato e variamente collaudato, comporta necessariamente una serie di approssimazioni tali da renderlo utile solo per una valutazione delle dimensioni di massima del fenomeno.

4.1 ACQUISIZIONE DEI DATI DI BASE ED ELABORAZIONE

Per il calcolo del trasporto solido con il metodo di GAVRILOVIC sono stati utilizzati vari strati informativi (*layer*) di alcuni bacini idrografici dell'area di Bitti (Fig. 25).

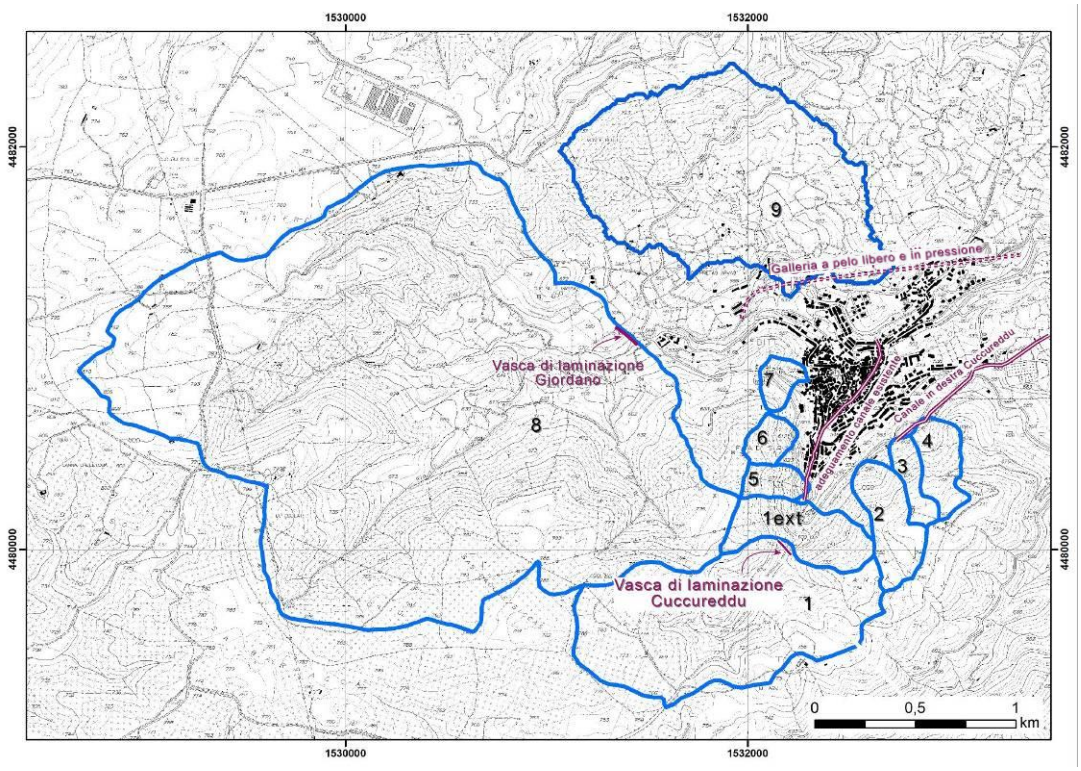

Fig. 25 – Bacini idrografici analizzati dell'area di Bitti e opere idrauliche presunte.

Questi strati sono rappresentati dalla carta geologica, dalla carta d'Uso del Suolo, da quella relativa alle aree di dissesto (catalogo IFFI e delimitazioni PAI) o percorse da incendi, etc.. Ci si è serviti poi di un software GIS capace di elaborare i dati ragionati per la determinazione dei vari parametri del metodo. Una volta delimitati i vari bacini e sottobacini (Fig. 25), sono stati calcolati tutti i parametri fisiografici necessari al calcolo: pendenze (Fig. 26), altitudine media, superficie e perimetro dei bacini, lunghezze dell'asta principale e degli affluenti. Sono stati poi considerati i dati dell'area relativi alle temperature medie annuali (13,8°) e alle precipitazioni, sia quelle medie annuali (708 mm) che quelle relative all'evento calamitoso del 2013.

Per quanto riguarda i parametri relativi alla litologia ("J", "K" e ed "L") necessari al calcolo di "Y" ("erodibilità del suolo in relazione alla litologia"), sono state considerate le aree della carta geologica rilevata *ad hoc* e rappresentate nello schema di Fig. 2. Le rocce incoerenti sono quelle relative ai depositi eluvio-colluviali, uniti a quelli di versante ed alluvionali. Le rocce semicoerenti sono rappresentate dai granitoidi alterati e dalle metamorfiti alterate; quelle coerenti sono i granitoidi (sia quelli a grana media

che quelli a grana fine) e le metamorfiti poco o nulla alterate. Queste suddivisioni sono illustrate in Fig. 27. Anche l'uso del suolo è necessario per l'applicazione del metodo di GAVRILOVIC, in particolare per il calcolo dei parametri "A", "B", "C", "D" ed "U". Le aree relative a questi cinque parametri sono state calcolate, con apposite operazioni di unione (*merge*), aggregando le molteplici e diverse classi di uso del suolo nei macrogruppi A, B, C, D ed U. Lo schema utilizzato, analogamente ad altri studi in Sardegna, è rappresentato in Fig. 28 e Fig. 29.

Una volta unite le varie classi d'uso, è stata calcolata l'estensione complessiva di ciascuna di esse all'interno del bacino (o sottobacino) considerato.

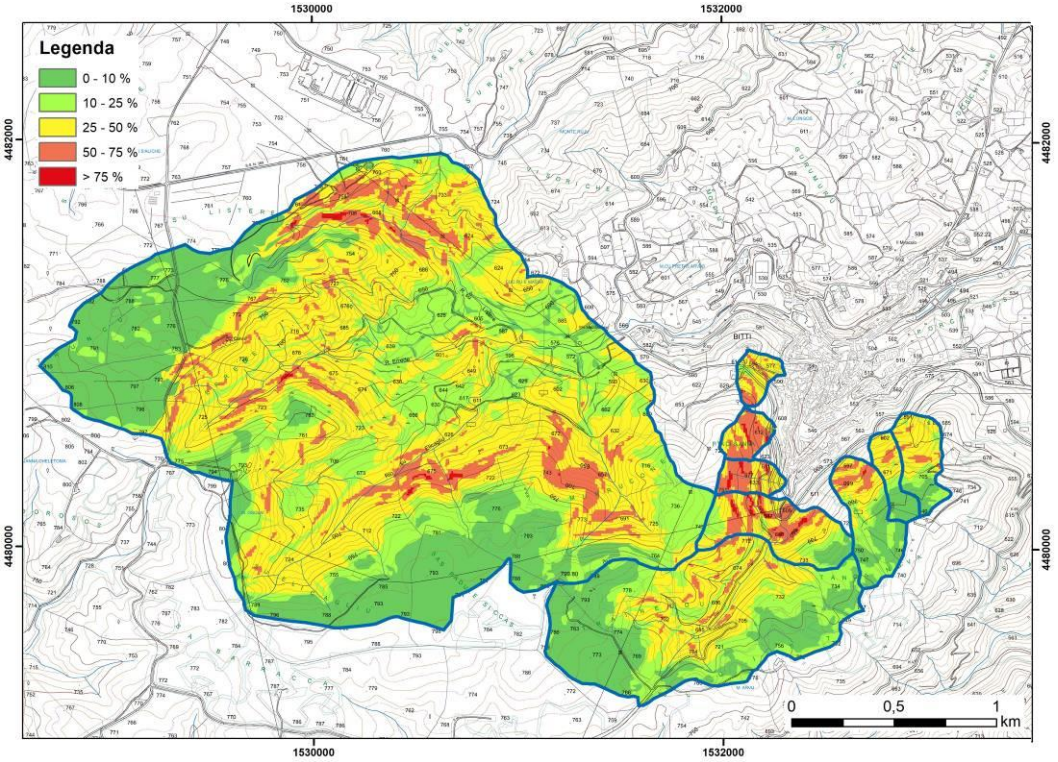

Fig. 26 – Carta delle pendenze dei bacini nell'area di studio.

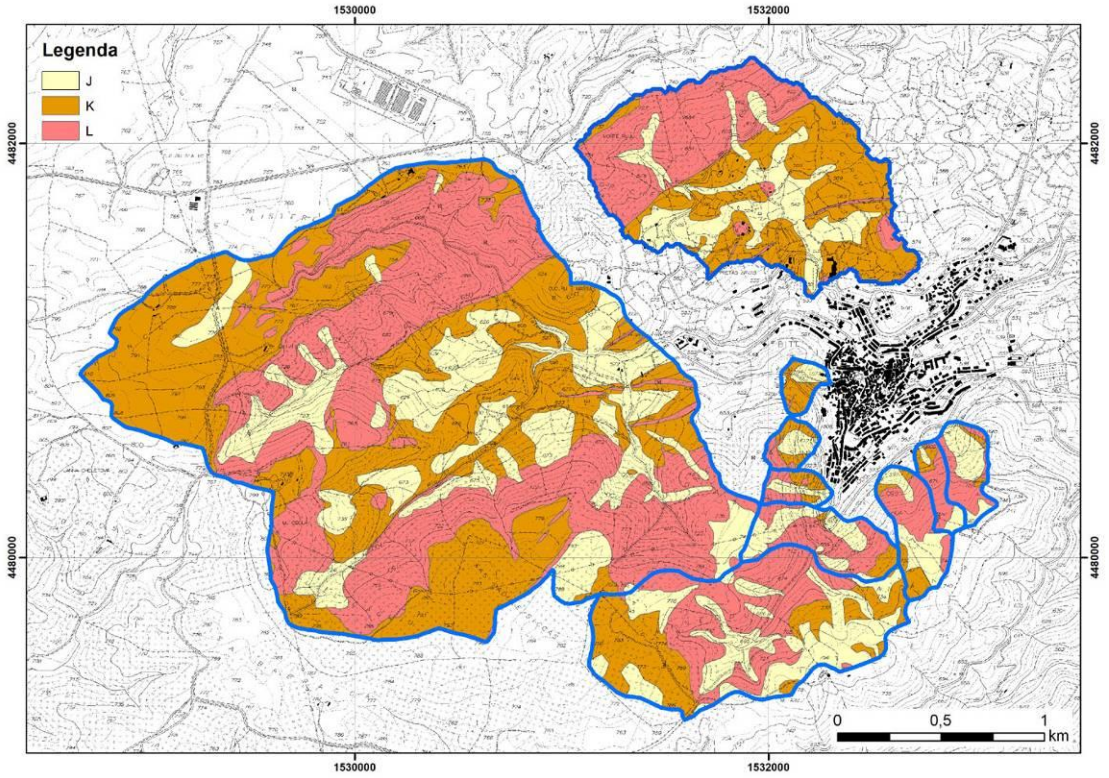

Fig. 27 – Carta litologica per il calcolo della "erodibilità del suolo in relazione alla litologia" (cfr. con la Fig. 2).

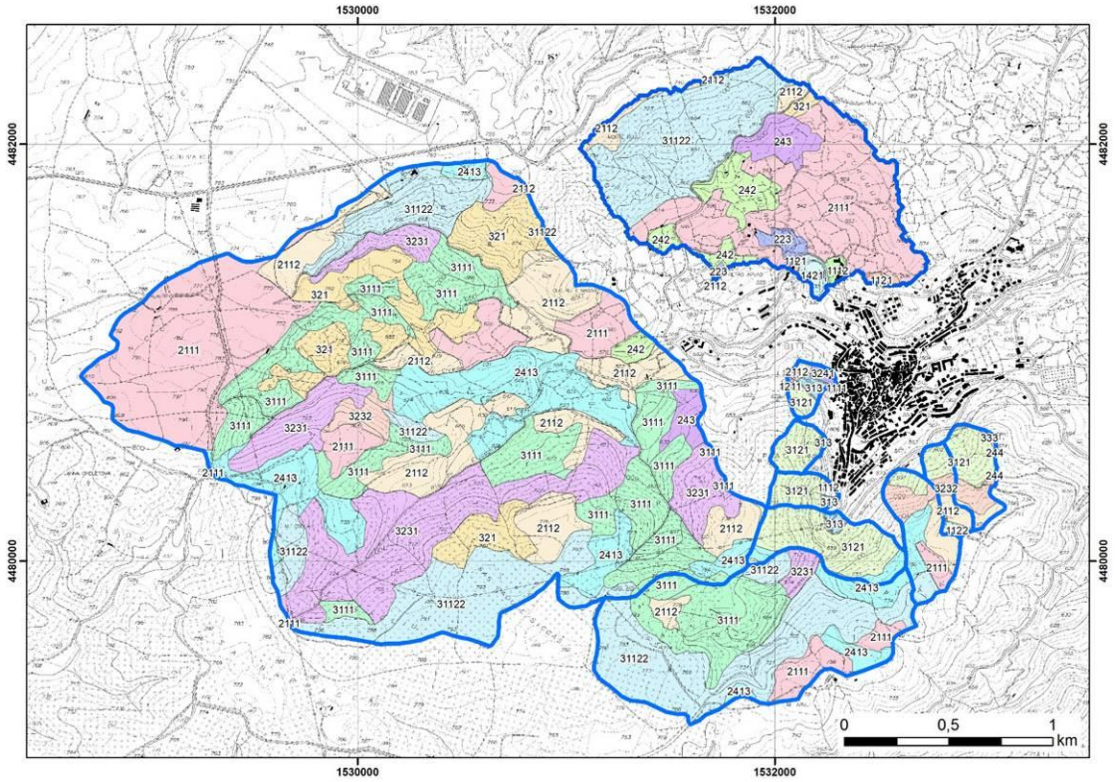

Fig. 28 – Carta dell'uso del suolo relativa all'area in esame.

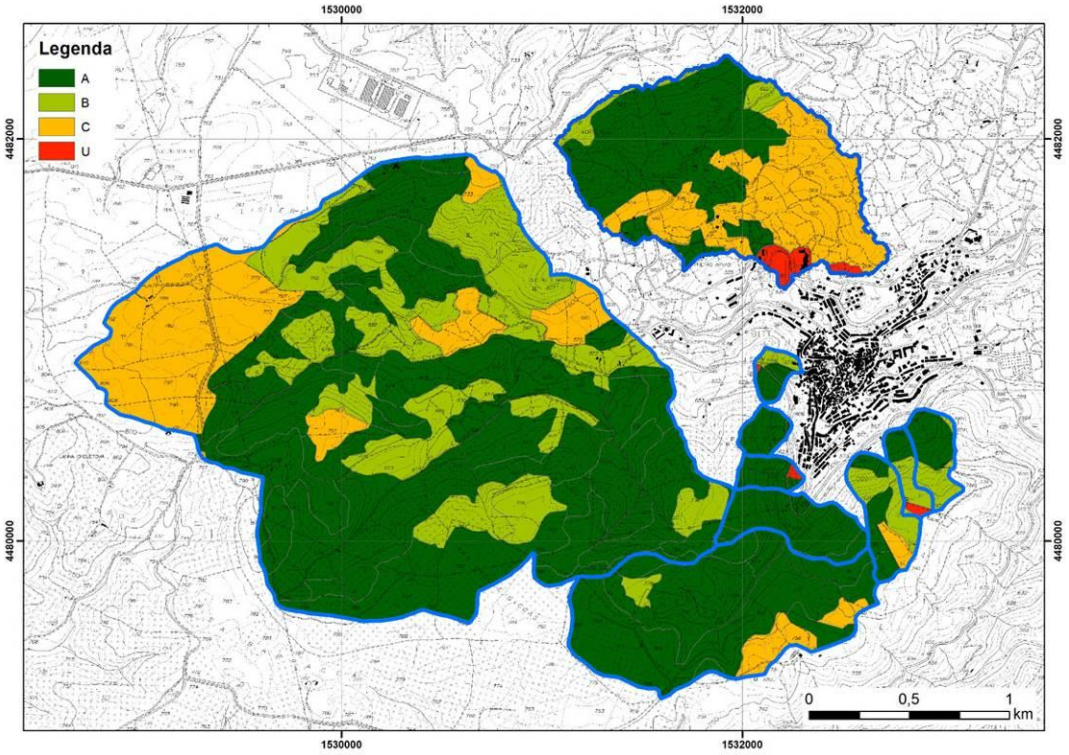

Fig. 29 – Classi di uso del suolo (macrogruppi A, B, C, D ed U) ottenute aggregando le molteplici e diverse tipologie della Carta dell'uso del suolo.

Per l'individuazione e la valutazione delle aree di dissesto all'interno dei bacini e sottobacini e per il conseguente calcolo dei parametri "N" (= superficie con frane) e "P" (= superficie con erosione accentuata) sono considerati i risultati dei rilievi e dei sopralluoghi effettuati sia sul campo che in foto aerea e sono stati analizzati gli strati informativi PAI e IFFI (per il parametro "N") e quello relativo alle aree incendiate per il parametro "P" (= superficie con erosione accentuata).

Dall'esame delle delimitazioni PAI riguardanti la pericolosità geotecnica da frane (cfr. § 5), si evince che l'area di studio (comprendente quindi i bacini e sottobacini del Rio Cuccureddu e del Rio Giordano) è inserita all'interno delle delimitazioni di pericolosità da frana con gradi diversi di pericolosità (bassa, media, alta e, in un settore del versante a W di Bitti, molto alta, vedi oltre, § 5). Ciò è in ragione soprattutto delle elevate acclività dei versanti e della presenza di depositi superficiali più o meno sciolti.

Nonostante la pericolosità evidenziata dalle delimitazioni PAI, i rilievi geologici, come detto e discusso in precedenza, non hanno evidenziato nè dissesti franosi nè depositi di frana attuali, recenti o antichi. Anche l'inventario dei fenomeni franosi ha evidenziato che **nell'area di studio non sono segnalati episodi di franosità**. Resta comunque indubbio che nell'area esistono condizioni localizzate di pericolosità da frana, in relazione alla sparsa presenza di depositi di versante e colluviali sciolti o poco coesivi e rocce granitoidi alterate e più o meno "arenizzate" lungo pendii da mediamente a molto acclivi che rappresentano materiali disponibili alla mobilitazione ed alla canalizzazione in occasione di eventi pluviometrici di grande intensità.

Per la determinazione del parametro "P" (= superficie con erosione accentuata) sono state considerate le aree percorse da incendi (bacino "9") e, cautelativamente, le piccole aree presumibilmente interessate da incendi tra il 1977 e il 1998 ed indicate in Fig. 19 e in Fig. 20, anche se attualmente la copertura vegetale ha ricolonizzato più o meno completamente le aree. Si tratta di piccole superfici nei piccoli sottobacini "2" e "3" e in quelli maggiori del Rio Cuccureddu (bacini "1" e "1ext") rappresentati in Fig. 25. A parte queste zone, nell'area considerata non sono presenti aree degradate a seguito di incendi recenti che avrebbero quindi condizionato negativamente la resistenza all'erosione dei versanti per la mancanza dello strato protettivo della vegetazione.

Inoltre, essendo l'area compresa nelle fasce a clima mediterraneo temperato e a quote altimetriche basse, non sono presenti aree con valanghe ("Q" = 0).

4.2 RISULTATI

I risultati dei calcoli del trasporto solido ottenuti sono descritti nelle tabelle seguenti per ciascuno dei due bacini principali (Cuccureddu e Giordano) e per i relativi sottobacini indicati in Fig. 25 e sottesi alle diverse sezioni di chiusura in corrispondenza delle presunte opere idrauliche di progetto (vasche di laminazione, canali, gallerie, briglie per la trattenuta dei sedimenti, etc.). Nell'area del Rio Cuccureddu sono stati presi in considerazione 6 bacini (per uno di questi sono state considerate due sezioni di chiusura, una delle quali in corrispondenza di una presunta vasca di laminazione), illustrati in Fig. 25.

4.2.1 Bacino 1 del Rio Cuccureddu

La sintesi dei parametri e dei risultati del calcolo del trasporto solido annuale del bacino "Rio Cuccureddu 1" (Fig. 25) è indicata in Tab. 1. In questo bacino l'altezza massima è di 800 m slm (quota massima del bacino del Rio Cuccureddu), quella minima è 660 m.

Il tasso medio annuo di erosione (W), ossia il volume di materiale prodotto annualmente entro il bacino considerato a causa dei processi erosivi è uguale a 2784,77 m^3 (**W = 2.784,77 m^3/a**).

La percentuale di materiale eroso, trasportato e risedimentato all'interno del bacino, a monte della sezione considerata, è espressa dal coefficiente (o fattore) di riduzione (R = 0,421). Di conseguenza, la stima del materiale effettivamente trasportato (G), transitante lungo la sezione di chiusura considerata, si ottiene moltiplicando i volumi movimentati (W) per il coefficiente di riduzione (R). Nel nostro caso, essendo W = 2784,77 m^3/a e R = 0,421, **G = 1.172,4 m^3/a**.

Considerando un quantitativo di altezza di pioggia (circa 285 mm in poche ore) superiore a quello relativo al ciclone "Cleopatra", la stima del materiale trasportato risulta essere:

W = 1121 m^3 R = 0,421 **G = 472 m^3.**

Bacino 1 Rio Cuccureddu	Denominazione parametro	Parametro	valore
FISIOGRAFIA	Superficie bacino	S (km^2)	0,83
	Perimetro del bacino	O (km)	4,20
	Altitudine media del bacino	H_m (km)	0,748
	Pendenza media	I %	21,54
	Coeff. di pendenza media	I'	4,64
	Lunghezza dell'asta principale	Lp (km)	0,581
	Lunghezza complessiva affluenti	La (km)	1,505
CLIMA	Temperatura media	t_m ^0C	13,8
	Coeff. di temperatura	tc	1,22
	Piovosità media	h_m (mm)	708,0
USO DEL SUOLO	Sup. a boschi e frutteti	A (km^2)	0,73
	Sup. a prati e pascoli	B (km^2)	0,02
	Sup. seminativi e coltivi vari	C (km^2)	0,08
	Sup. sterile	D (km^2)	0,00
	Sup. pavimentata e urbanizzata	U (km^2)	0,00
LITOLOGIA	Sup. rocce incoerenti	J (km^2)	0,31
	Sup. rocce semicoerenti	K (km^2)	0,23
	Sup. rocce coerenti	L (km^2)	0,29
DISSESTI	Sup. con frane	N (km^2)	0,00
	Sup. con erosione accentuata	P (km^2)	0,14
	Sup. zone con valanghe	*Q* (km^2)	0,00
FATTORI DI CALCOLO	Superficie dissestata relativa	V	67,47
	Coeff. protez suolo (vegetazione)	X	0,265
	Coeff. di erodibilità (litologia)	Y	0,9241
	Coeff. di degradazione	V'	1
	Coeff. di erosione relativa	Z	1,38
RISULTATI	**Tasso medio annuo di erosione**	**W (m^3/a)**	2784,77
	Fattore di riduzione	**R**	0,421
	Trasporto effettivo di sedimenti	**G (m^3/a)**	1172,4

Tab. 1 – Sintesi di parametri e risultati del calcolo del trasporto solido annuale del bacino Rio Cuccureddu 1.

4.2.2 Bacino 1ext del Rio Cuccureddu

La sintesi dei parametri e dei risultati del calcolo del trasporto solido annuale del bacino "Rio Cuccureddu 1ext" (Fig. 25) è indicata in Tab. 2. La stima del materiale effettivamente trasportato, transitante lungo la sezione di chiusura considerata, corrisponde a **G = 1370,54 m^3/a**, essendo W = 3.430,64 m^3/a e R = 0,3995.

Considerando un quantitativo di altezza di pioggia (circa 285 mm in poche ore) superiore a quello relativo al ciclone "Cleopatra", la stima del materiale trasportato risulta essere:

W = 1380,98 m^3 R = 0,3995 **G = 551,71 m^3**.

4.2.3 Bacino 2 del Rio Cuccureddu

La sintesi dei parametri e dei risultati del calcolo del trasporto solido **annuale** del bacino "Rio Cuccureddu 2" (Fig. 25) è indicata in Tab. 3. La stima del materiale effettivamente trasportato, transitante lungo la sezione di chiusura considerata, corrisponde a **G = 376,64 m³/a**, essendo W = 658,54 m³/a e R = 0,5719.

Considerando un quantitativo di altezza di pioggia (circa 285 mm in poche ore) superiore a quello relativo al ciclone "Cleopatra", la stima del materiale trasportato risulta essere:

W = 265,09 m³ R = 0,5719 **G = 151,62 m³**.

4.2.4 Bacino 3 del Rio Cuccureddu

La sintesi dei parametri e dei risultati del calcolo del trasporto solido **annuale** del bacino "Rio Cuccureddu 3" (Fig. 25) è indicata in Tab. 4. La stima del materiale effettivamente trasportato, transitante lungo la sezione di chiusura considerata, corrisponde a **G = 132,30 m³/a**, essendo W = 194,91 m³/a e R = 0,6788.

Considerando un quantitativo di altezza di pioggia (circa 285 mm in poche ore) superiore a quello relativo al ciclone "Cleopatra", la stima del materiale trasportato risulta essere:

W = 78,46 m³ R = 0,6788 **G = 53,26 m³**.

4.2.5 Bacino 4 del Rio Cuccureddu

La sintesi dei parametri e dei risultati del calcolo del trasporto solido **annuale** del bacino "Rio Cuccureddu 3" (Fig. 25) è indicata in Tab. 5. La stima del materiale effettivamente trasportato, transitante lungo la sezione di chiusura considerata, corrisponde a **G = 202,49 m³/a**, essendo W = 273,40 m³/a e R = 0,7409.

Considerando un quantitativo di altezza di pioggia (circa 285 mm in poche ore) superiore a quello relativo al ciclone "Cleopatra", la stima del materiale trasportato risulta essere:

W = 110,05 m³ R = 0,7409 **G = 81,52 m³**.

Bacino 1ext Rio Cuccureddu	Denominazione parametro	Parametro	valore
FISIOGRAFIA	Superficie bacino	S (km^2)	1,00
	Perimetro del bacino	O (km)	4,46
	Altitudine media del bacino	H_m (km)	0,737
	Pendenza media	I %	25,53
	Coeff. di pendenza media	I'	5,052
	Lunghezza dell'asta principale	Lp (km)	0,896
	Lunghezza complessiva affluenti	La (km)	1,505
CLIMA	Temperatura media	t_m ^0C	13,8
	Coeff. di temperatura	tc	1,22
	Piovosità media	h_m (mm)	708,0
USO DEL SUOLO	Sup. a boschi e frutteti	A (km^2)	0,91
	Sup. a prati e pascoli	B (km^2)	0,02
	Sup. seminativi e coltivi vari	C (km^2)	0,08
	Sup. sterile	D (km^2)	0,00
	Sup. pavimentata e urbanizzata	U (km^2)	0,00
LITOLOGIA	Sup. rocce incoerenti	J (km^2)	0,38
	Sup. rocce semicoerenti	K (km^2)	0,25
	Sup. rocce coerenti	L (km^2)	0,38
DISSESTI	Sup. con frane	N (km^2)	0,00
	Sup. con erosione accentuata	P (km^2)	0,14
	Sup. zone con valanghe	*Q* (km^2)	0,00
FATTORI DI CALCOLO	Superficie dissestata relativa	V	56,00
	Coeff. protez suolo (vegetazione)	X	0,256
	Coeff. di erodibilità (litologia)	Y	0,9222
	Coeff. di degradazione	V'	1
	Coeff. di erosione relativa	Z	1,43
RISULTATI	**Tasso medio annuo di erosione**	**W (m^3/a)**	3430,64
	Fattore di riduzione	**R**	0,3995
	Trasporto effettivo di sedimenti	**G (m^3/a)**	1370,57

Tab. 2 – Sintesi di parametri e risultati del calcolo del trasporto solido annuale del bacino Rio Cuccureddu 1ext.

Bacino 2 Rio Cuccureddu	Denominazione parametro	Parametro	valore
FISIOGRAFIA	Superficie bacino	S (km^2)	0,14
	Perimetro del bacino	O (km)	1,69
	Altitudine media del bacino	H_m (km)	0,708
	Pendenza media	I %	28,66
	Coeff. di pendenza media	I'	5,3535
	Lunghezza dell'asta principale	Lp (km)	0,601
	Lunghezza complessiva affluenti	La (km)	0,175
CLIMA	Temperatura media	t_m ^0C	13,8
	Coeff. di temperatura	tc	1,22
	Piovosità media	h_m (mm)	708,0
USO DEL SUOLO	Sup. a boschi e frutteti	A (km^2)	0,06
	Sup. a prati e pascoli	B (km^2)	0,06
	Sup. seminativi e coltivi vari	C (km^2)	0,02
	Sup. sterile	D (km^2)	0,00
	Sup. pavimentata e urbanizzata	U (km^2)	0,00
LITOLOGIA	Sup. rocce incoerenti	J (km^2)	0,05
	Sup. rocce semicoerenti	K (km^2)	0,03
	Sup. rocce coerenti	L (km^2)	0,06
DISSESTI	Sup. con frane	N (km^2)	0,00
	Sup. con erosione accentuata	P (km^2)	0,006
	Sup. zone con valanghe	*Q* (km^2)	0,00
FATTORI DI CALCOLO	Superficie dissestata relativa	V	17,143
	Coeff. protez suolo (vegetazione)	X	0,4142
	Coeff. di erodibilità (litologia)	Y	0,8714
	Coeff. di degradazione	V'	0,1
	Coeff. di erosione relativa	Z	2,29
RISULTATI	**Tasso medio annuo di erosione**	**W (m^3/a)**	658,54
	Fattore di riduzione	**R**	0,5719
	Trasporto effettivo di sedimenti	**G (m^3/a)**	376,64

Tab. 3 – Sintesi di parametri e risultati del calcolo del trasporto solido annuale del bacino Rio Cuccureddu 2.

Bacino 3 Rio Cuccureddu	Denominazione parametro	Parametro	valore
FISIOGRAFIA	Superficie bacino	S (km^2)	0,05
	Perimetro del bacino	O (km)	1,20
	Altitudine media del bacino	H_m (km)	0,688
	Pendenza media	I %	32,75
	Coeff. di pendenza media	I'	5,7227
	Lunghezza dell'asta principale	Lp (km)	0,388
	Lunghezza complessiva affluenti	La (km)	0,00
CLIMA	Temperatura media	t_m ^0C	13,8
	Coeff. di temperatura	tc	1,22
	Piovosità media	h_m (mm)	708,0
USO DEL SUOLO	Sup. a boschi e frutteti	A (km^2)	0,02
	Sup. a prati e pascoli	B (km^2)	0,03
	Sup. seminativi e coltivi vari	C (km^2)	0,00
	Sup. sterile	D (km^2)	0,00
	Sup. pavimentata e urbanizzata	U (km^2)	0,01
LITOLOGIA	Sup. rocce incoerenti	J (km^2)	0,01
	Sup. rocce semicoerenti	K (km^2)	0,01
	Sup. rocce coerenti	L (km^2)	0,03
DISSESTI	Sup. con frane	N (km^2)	0,00
	Sup. con erosione accentuata	P (km^2)	0,0026
	Sup. zone con valanghe	*Q* (km^2)	0,00
FATTORI DI CALCOLO	Superficie dissestata relativa	V	20,80
	Coeff. protez suolo (vegetazione)	X	0,390
	Coeff. di erodibilità (litologia)	Y	0,660
	Coeff. di degradazione	V'	1
	Coeff. di erosione relativa	Z	1,73
RISULTATI	**Tasso medio annuo di erosione**	**W (m^3/a)**	194,91
	Fattore di riduzione	**R**	0,6788
	Trasporto effettivo di sedimenti	**G (m^3/a)**	132,30

Tab. 4 – Sintesi di parametri e risultati del calcolo del trasporto solido annuale del bacino Rio Cuccureddu 3.

Bacino 4 Rio Cuccureddu	Denominazione parametro	Parametro	valore
FISIOGRAFIA	Superficie bacino	S (km^2)	0,09
	Perimetro del bacino	O (km)	1,38
	Altitudine media del bacino	H_m (km)	0,681
	Pendenza media	I %	35,30
	Coeff. di pendenza media	I'	5,941
	Lunghezza dell'asta principale	Lp (km)	0,471
	Lunghezza complessiva affluenti	La (km)	0,249
CLIMA	Temperatura media	t_m ^0C	13,8
	Coeff. di temperatura	tc	1,22
	Piovosità media	h_m (mm)	708,0
USO DEL SUOLO	Sup. a boschi e frutteti	A (km^2)	0,02
	Sup. a prati e pascoli	B (km^2)	0,03
	Sup. seminativi e coltivi vari	C (km^2)	0,00
	Sup. sterile	D (km^2)	0,00
	Sup. pavimentata e urbanizzata	U (km^2)	0,00
LITOLOGIA	Sup. rocce incoerenti	J (km^2)	0,04
	Sup. rocce semicoerenti	K (km^2)	0,01
	Sup. rocce coerenti	L (km^2)	0,04
DISSESTI	Sup. con frane	N (km^2)	0,00
	Sup. con erosione accentuata	P (km^2)	0,00
	Sup. zone con valanghe	*Q* (km^2)	0,00
FATTORI DI CALCOLO	Superficie dissestata relativa	V	0,00
	Coeff. protez suolo (vegetazione)	X	0,2111
	Coeff. di erodibilità (litologia)	Y	0,9333
	Coeff. di degradazione	V'	0,1
	Coeff. di erosione relativa	Z	1,93
RISULTATI	**Tasso medio annuo di erosione**	**W (m^3/a)**	273,40
	Fattore di riduzione	**R**	0,7409
	Trasporto effettivo di sedimenti	**G (m^3/a)**	202,49

Tab. 5 – Sintesi di parametri e risultati del calcolo del trasporto solido annuale del bacino Rio Cuccureddu 4.

4.2.6 Bacino 5 del Rio Cuccureddu

La sintesi dei parametri e dei risultati del calcolo del trasporto solido **annuale** del bacino "Rio Cuccureddu 5" (Fig. 25) è indicata in Tab. 6. La stima del materiale effettivamente trasportato, transitante lungo la sezione di chiusura considerata, corrisponde a **G = 73,32 m^3/a**, essendo W = 166,36 m^3/a e R = 0,4407.

Considerando un quantitativo di altezza di pioggia (circa 285 mm in poche ore) superiore a quello relativo al ciclone "Cleopatra", la stima del materiale trasportato risulta essere:

W = 66,97 m^3 R = 0,4407 **G = 29,51 m^3**.

4.2.7 Bacino 6 del Rio Cuccureddu

La sintesi dei parametri e dei risultati del calcolo del trasporto solido **annuale** del bacino "Rio Cuccureddu 3" (Fig. 25) è indicata in Tab. 7. La stima del materiale effettivamente trasportato, transitante

lungo la sezione di chiusura considerata, corrisponde a **G = 54,97 m³/a**, essendo W = 174,87 m³/a e R = 0,3144.

Considerando un quantitativo di altezza di pioggia (circa 285 mm in poche ore) superiore a quello relativo al ciclone "Cleopatra", la stima del materiale trasportato risulta essere:

W = 70,39 m³ R = 0, 3144 **G = 22,13 m³**.

4.2.8 Bacino 7 del Rio Giordano

Per quanto riguarda il Giordano sono stati analizzati tre bacini idrografici: uno, di modesta estensione, lungo il versante a W dell'abitato (bacino 7) dove sarà probabilmente ubicata una briglia per la trattenuta dei sedimenti e gli altri due, di maggiore estensione, sottesi a sezioni fluviali a monte dell'abitato dove è stata presa in considerazione l'ubicazione di due importanti opere idrauliche (bacino 8 e 9). La sintesi dei parametri e dei risultati del calcolo del trasporto solido annuale del bacino "7" (Fig. 25) è indicata in Tab. 8, quella relativa al bacino "8" e "9" in Tab. 9 e in Tab. 10.

La stima del materiale effettivamente trasportato, transitante lungo la sezione di chiusura considerata del bacino "7", corrisponde a **G = 119,11 m³/a**, essendo W = 362,85 m³/a e R = 0,3283.

Considerando un quantitativo di altezza di pioggia (circa 285 mm in poche ore) superiore a quello del ciclone "Cleopatra", la stima del materiale trasportato nello stesso bacino risulta essere:

W = 146,06 m³ R = 0,3283 **G = 47,95 m³**.

4.2.9 Bacino 8 del Rio Giordano

Questo bacino è maggiormente esteso rispetto agli altri, ma sempre modesto (circa 4,5 km²) e con un perimetro di poco inferiore a 10 km; la sua altezza massima è di 810 m slm (quota massima dell'area di studio), quella minima è 570 m. Le pendenze medie non sono particolarmente elevate e comunque mediamente inferiori rispetto a quelle degli altri bacini considerati (Fig. 26).

Bacino 5 Rio Cuccureddu	Denominazione parametro	Parametro	valore
FISIOGRAFIA	Superficie bacino	S (km^2)	0,05
	Perimetro del bacino	O (km)	0,92
	Altitudine media del bacino	H_m (km)	0,669
	Pendenza media	I %	53,52
	Coeff. di pendenza media	I'	7,315
	Lunghezza dell'asta principale	Lp (km)	0,289
	Lunghezza complessiva affluenti	La (km)	0,00
CLIMA	Temperatura media	t_m ^0C	13,8
	Coeff. di temperatura	tc	1,22
	Piovosità media	h_m (mm)	708,0
USO DEL SUOLO	Sup. a boschi e frutteti	A (km^2)	0,05
	Sup. a prati e pascoli	B (km^2)	0,00
	Sup. seminativi e coltivi vari	C (km^2)	0,00
	Sup. sterile	D (km^2)	0,00
	Sup. pavimentata e urbanizzata	U (km^2)	0,00
LITOLOGIA	Sup. rocce incoerenti	J (km^2)	0,02
	Sup. rocce semicoerenti	K (km^2)	0,01
	Sup. rocce coerenti	L (km^2)	0,02
DISSESTI	Sup. con frane	N (km^2)	0,00
	Sup. con erosione accentuata	P (km^2)	0,00
	Sup. zone con valanghe	*Q* (km^2)	0,00
FATTORI DI CALCOLO	Superficie dissestata relativa	V	0,00
	Coeff. protez suolo (vegetazione)	X	0,200
	Coeff. di erodibilità (litologia)	Y	0,920
	Coeff. di degradazione	V'	0,1
	Coeff. di erosione relativa	Z	1,36
RISULTATI	**Tasso medio annuo di erosione**	**W (m^3/a)**	166,36
	Fattore di riduzione	**R**	0,4407
	Trasporto effettivo di sedimenti	**G (m^3/a)**	73,32

Tab. 6 – Sintesi di parametri e risultati del calcolo del trasporto solido annuale del bacino Rio Cuccureddu 5.

Bacino 6 Rio Cuccureddu	Denominazione parametro	Parametro	valore
FISIOGRAFIA	Superficie bacino	S (km^2)	0,05
	Perimetro del bacino	O (km)	0,82
	Altitudine media del bacino	H_m (km)	0,674
	Pendenza media	I %	50,53
	Coeff. di pendenza media	I'	7,108
	Lunghezza dell'asta principale	Lp (km)	0,216
	Lunghezza complessiva affluenti	La (km)	0,00
CLIMA	Temperatura media	t_m ^0C	13,8
	Coeff. di temperatura	tc	1,22
	Piovosità media	h_m (mm)	708,0
USO DEL SUOLO	Sup. a boschi e frutteti	A (km^2)	0,05
	Sup. a prati e pascoli	B (km^2)	0,00
	Sup. seminativi e coltivi vari	C (km^2)	0,00
	Sup. sterile	D (km^2)	0,00
	Sup. pavimentata e urbanizzata	U (km^2)	0,00
LITOLOGIA	Sup. rocce incoerenti	J (km^2)	0,02
	Sup. rocce semicoerenti	K (km^2)	0,02
	Sup. rocce coerenti	L (km^2)	0,01
DISSESTI	Sup. con frane	N (km^2)	0,00
	Sup. con erosione accentuata	P (km^2)	0,00
	Sup. zone con valanghe	*Q* (km^2)	0,00
FATTORI DI CALCOLO	Superficie dissestata relativa	V	0,00
	Coeff. protez suolo (vegetazione)	X	0,2000
	Coeff. di erodibilità (litologia)	Y	1,0200
	Coeff. di degradazione	V'	0,1
	Coeff. di erosione relativa	Z	1,47
RISULTATI	**Tasso medio annuo di erosione**	**W (m^3/a)**	174,87
	Fattore di riduzione	**R**	0,3144
	Trasporto effettivo di sedimenti	**G (m^3/a)**	54,97

Tab. 7 – Sintesi di parametri e risultati del calcolo del trasporto solido annuale del bacino Rio Cuccureddu 6.

Bacino 7 Rio Giordano	Denominazione parametro	Parametro	valore
FISIOGRAFIA	Superficie bacino	S (km^2)	0,04
	Perimetro del bacino	O (km)	0,83
	Altitudine media del bacino	H_m (km)	0,610
	Pendenza media	I %	36,70
	Coeff. di pendenza media	I'	6,058
	Lunghezza dell'asta principale	Lp (km)	0,188
	Lunghezza complessiva affluenti	La (km)	0,00
CLIMA	Temperatura media	t_m ^0C	13,8
	Coeff. di temperatura	tc	1,22
	Piovosità media	h_m (mm)	708,0
USO DEL SUOLO	Sup. a boschi e frutteti	A (km^2)	0,03
	Sup. a prati e pascoli	B (km^2)	0,01
	Sup. seminativi e coltivi vari	C (km^2)	0,00
	Sup. sterile	D (km^2)	0,00
	Sup. pavimentata e urbanizzata	U (km^2)	0,00
LITOLOGIA	Sup. rocce incoerenti	J (km^2)	0,01
	Sup. rocce semicoerenti	K (km^2)	0,03
	Sup. rocce coerenti	L (km^2)	0,00
DISSESTI	Sup. con frane	N (km^2)	0,00
	Sup. con erosione accentuata	P (km^2)	0,00
	Sup. zone con valanghe	*Q* (km^2)	0,00
FATTORI DI CALCOLO	Superficie dissestata relativa	V	0,00
	Coeff. protez suolo (vegetazione)	X	0,475
	Coeff. di erodibilità (litologia)	Y	2,100
	Coeff. di degradazione	V'	0,1
	Coeff. di erosione relativa	Z	6,14
RISULTATI	**Tasso medio annuo di erosione**	**W (m^3/a)**	362,85
	Fattore di riduzione	**R**	0,3283
	Trasporto effettivo di sedimenti	**G (m^3/a)**	119,11

Tab. 8 – Sintesi di parametri e risultati del calcolo del trasporto solido annuale del bacino Rio Giordano 7.

Bacino 8 Rio Giordano	Denominazione parametro	Parametro	valore
FISIOGRAFIA	Superficie bacino	S (km^2)	4,57
	Perimetro del bacino	O (km)	9,55
	Altitudine media del bacino	H_m (km)	0,715
	Pendenza media	I %	26,17
	Coeff. di pendenza media	I'	5,117
	Lunghezza dell'asta principale	Lp (km)	2,199
	Lunghezza complessiva affluenti	La (km)	9,118
CLIMA	Temperatura media	t_m ^0C	13,8
	Coeff. di temperatura	tc	1,22
	Piovosità media	h_m (mm)	708,0
USO DEL SUOLO	Sup. a boschi e frutteti	A (km^2)	2,70
	Sup. a prati e pascoli	B (km^2)	1,09
	Sup. seminativi e coltivi vari	C (km^2)	0,78
	Sup. sterile	D (km^2)	0,00
	Sup. pavimentata e urbanizzata	U (km^2)	0,00
LITOLOGIA	Sup. rocce incoerenti	J (km^2)	0,95
	Sup. rocce semicoerenti	K (km^2)	1,90
	Sup. rocce coerenti	L (km^2)	1,71
DISSESTI	Sup. con frane	N (km^2)	0,00
	Sup. con erosione accentuata	P (km^2)	0,00
	Sup. zone con valanghe	*Q* (km^2)	0,00
FATTORI DI CALCOLO	Superficie dissestata relativa	V	0,00
	Coeff. protez suolo (vegetazione)	X	0,3739
	Coeff. di erodibilità (litologia)	Y	0,7775
	Coeff. di degradazione	V'	0,1
	Coeff. di erosione relativa	Z	1,52
RISULTATI	**Tasso medio annuo di erosione**	**W (m^3/a)**	16.317,79
	Fattore di riduzione	**R**	0,5305
	Trasporto effettivo di sedimenti	**G (m^3/a)**	8.655,79

Tab. 9 – Sintesi di parametri e risultati del calcolo del trasporto solido annuale del bacino "8" (Rio Giordano).

Infatti, una buona estensione areale del bacino è caratterizzata da porzioni di altopiano, quindi sub-pianeggianti e da porzioni collinari di raccordo con la piana fluviale. Le maggiori pendenze sono localizzate lungo i versanti posti tra l'altopiano e le zone di fondovalle dove però sono estesamente affioranti le rocce metamorfiche poco o nulla alterate, con superfici di discontinuità sub-verticali (fratture) e sub-orizzontali (scistosità) che non condizionano in misura particolare la stabilità dei versanti e la produzione dei materiali trasportabili. Inoltre, la diffusione lungo i pendii di depositi di versante più o meno sciolti e potenzialmente mobilizzabili è inferiore rispetto a quella dei bacini del Rio Cuccureddu considerati.

La sintesi dei parametri e dei risultati del calcolo del trasporto solido annuale del "bacino 8" del Rio Giordano (Fig. 25) sono indicati in Tab. 9. La stima del materiale effettivamente trasportato,

transitante lungo la sezione di chiusura considerata, corrisponde a **G = 8.655,79 m³/a**, essendo W = 16.317,79 m³/a e R = 0,5305.

Considerando un quantitativo di altezza di pioggia (circa 285 mm in poche ore) superiore a quello relativo al ciclone "Cleopatra", la stima del materiale trasportato risulta essere:

W = 6.568,6 m³ R = 0,5305 **G = 3.484,32 m³**.

4.2.10 Bacino 9 del Rio Giordano (Campo sportivo)

Questo bacino è abbastanza esteso rispetto agli altri, ma sempre modesto (circa 1,17 km²) e con un perimetro di poco superiore a 5 km; la sua altezza massima è di 740 m slm, mentre qualla di chiusura è circa 200 m più in basso. La pendenza media è relativamente bassa (23,75%): nel bacino sono infatti presenti piccoli lembi di altopiano e soprattutto i rilievi collinari impostati sui granitoidi alterati. Le maggiori pendenze sono, anche in questo caso, localizzate lungo i versanti posti tra l'altopiano e le zone di fondovalle dove sono estesamente affioranti le rocce metamorfiche poco o nulla alterate, con superfici di discontinuità sub-verticali (fratture) e sub-orizzontali (scistosità) che non condizionano in misura particolare la stabilità dei versanti e la produzione dei materiali trasportabili.

Anche in questo bacino, i depositi di versante più o meno sciolti e potenzialmente mobilizzabili sono subordinati rispetto a quelli presenti nei bacini considerati per il Rio Cuccureddu.

La sintesi dei parametri e dei risultati del calcolo del trasporto solido annuale del "bacino 9 (Campo sportivo)" del Rio Giordano (Fig. 25) sono indicati in Tab. 10. La stima del materiale effettivamente trasportato, transitante lungo la sezione di chiusura considerata, corrisponde a **G = 1183,23 m³/a**, essendo W = 5.398,97 m³/a e R = 0,2192.

Infine, considerando un quantitativo di altezza di pioggia (circa 285 mm in poche ore) superiore a quello relativo al ciclone "Cleopatra", la stima del materiale trasportato risulta essere:

W = 2.173,1 m³ R = 0,2192 **G = 476,3 m³**.

Bacino 9 Rio Giordano (Campo sportivo)	Denominazione parametro	Parametro	valore
FISIOGRAFIA	Superficie bacino	S (km^2)	1,17
	Perimetro del bacino	O (km)	5,24
	Altitudine media del bacino	H_m (km)	0,611
	Pendenza media	I %	23,75
	Coeff. di pendenza media	I'	4,783
	Lunghezza dell'asta principale	Lp (km)	0,55
	Lunghezza complessiva affluenti	La (km)	0,962
CLIMA	Temperatura media	t_m ^0C	13,8
	Coeff. di temperatura	tc	1,22
	Piovosità media	h_m (mm)	708,0
USO DEL SUOLO	Sup. a boschi e frutteti	A (km^2)	0,57
	Sup. a prati e pascoli	B (km^2)	0,05
	Sup. seminativi e coltivi vari	C (km^2)	0,50
	Sup. sterile	D (km^2)	0,00
	Sup. pavimentata e urbanizzata	U (km^2)	0,04
LITOLOGIA	Sup. rocce incoerenti	J (km^2)	0,28
	Sup. rocce semicoerenti	K (km^2)	0,49
	Sup. rocce coerenti	L (km^2)	0,40
DISSESTI	Sup. con frane	N (km^2)	0,00
	Sup. con erosione accentuata	P (km^2)	0,03
	Sup. zone con valanghe	*Q* (km^2)	0,00
FATTORI DI CALCOLO	Superficie dissestata relativa	V	10,256
	Coeff. protez suolo (vegetazione)	X	0,4624
	Coeff. di erodibilità (litologia)	Y	0,8205
	Coeff. di degradazione	V'	1
	Coeff. di erosione relativa	Z	2,23
RISULTATI	**Tasso medio annuo di erosione**	**W (m^3/a)**	5398,97
	Fattore di riduzione	**R**	0,2192
	Trasporto effettivo di sedimenti	**G (m^3/a)**	1183,23

Tab. 10 – Sintesi di parametri e risultati del calcolo del trasporto solido annuale del bacino Rio Giordano 9.

5 AREE A PERICOLOSITÀ DA FRANA (HG) NELL'AREA DI BITTI

La Pericolosità geomorfologica (Hg, detta anche Pericolosità da frana) è definita come la probabilità che un fenomeno gravitativo o di versante di determinata intensità, si verifichi per una data area in un dato periodo di tempo. Nel PAI vigente questa pericolosità è rappresentata nella Carta di pericolosità di frana, ricavata seguendo la metodologia illustrata dalle sue Linee Guida, derivata da un'impostazione semplificata della geomorfologia quantitativa e basata su un processo concettuale parametrico di *overlay mapping*. Allo scopo, occorre elaborare le seguenti cartografie propedeutiche: CARTA DELLE PENDENZE (P), CARTA DELLA LITOLOGIA (GL) e CARTA DELL'USO DEL SUOLO (UDS). Dalla sovrapposizione di queste tre carte si perviene alla CARTA DELL'INSTABILITÀ POTENZIALE DEI VERSANTI in cui, ai singoli elementi di ciascuno dei tre suddetti tematismi (classi) è attribuito un peso-indice in funzione del "ruolo esercitato nella produzione del dissesto". Con la sovrapposizione dei tre tematismi si ottiene la somma algebrica dei pesi, mediante i quali si stabiliscono le Classi d'instabilità potenziale della relativa

carta. L'incrocio e la sovrapposizione tra la CARTA DELL'INSTABILITÀ POTENZIALE DEI VERSANTI e la CARTA DEI FENOMENI FRANOSI (Carta geomorfologica) ha come risultato la CARTA DELLA PERICOLOSITÀ DI FRANA, alla quale sono associati classi o livelli di pericolosità Hg crescenti da Hg1 (moderata) ad Hg4 (molto elevata).

Le opere di mitigazione idraulica previste nell'area di Bitti ricadono spesso all'interno delle delimitazioni di pericolosità da frana del PAI vigente sia per quanto riguarda il Rio Giordano che soprattutto per il Rio Cuccureddu (Fig. 30).

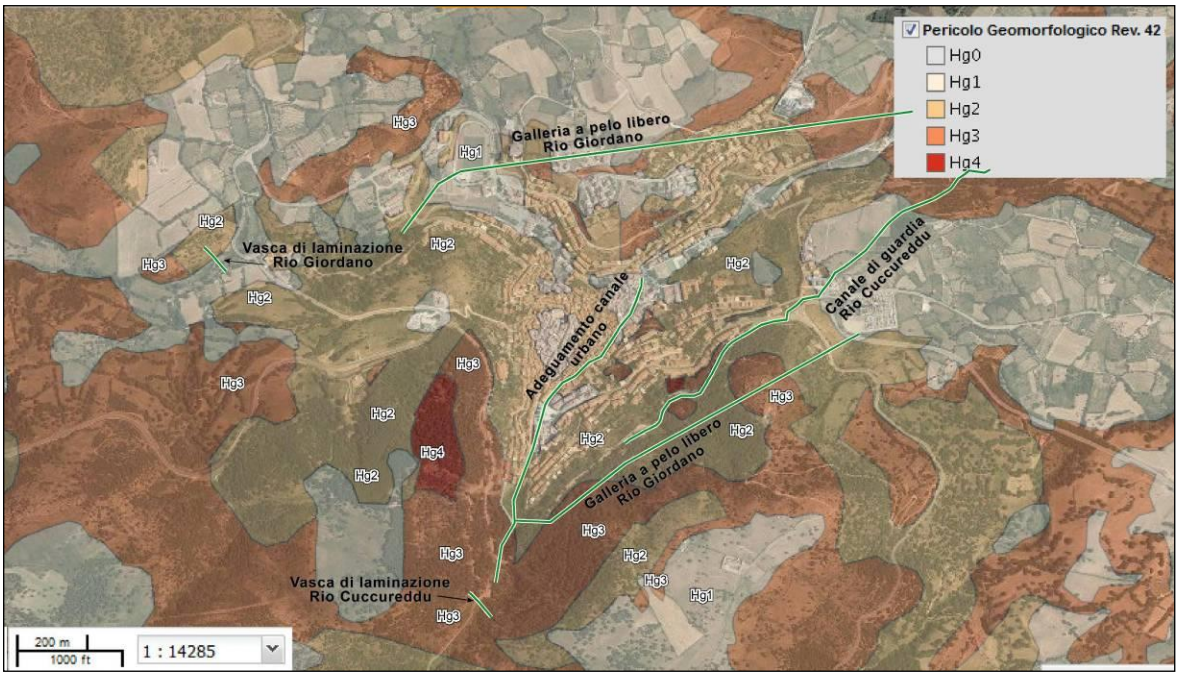

Fig. 30 – Delimitazione delle aree a pericolosità da frana (Hg) del PAI vigente e ubicazione delle principali opere di mitigazione idraulica previste per la zona di Bitti.

Infatti, come detto, buona parte del territorio circostante l'abitato di Bitti è caratterizzato da versanti con acclività spesso da media ad elevata e lungo i pendii più acclivi sono spesso presenti depositi di versante sciolti o poco cementati. Per quanto riguarda l'uso del suolo, i versanti più ripidi (che ricadono all'interno del bacino del Rio Cuccureddu) sono spesso caratterizzati da coperture boschive alcune delle quali impiantate negli anni '50 e '60. Sono tuttavia presenti anche ampie superfici a prati e pascoli, quindi senza una buona copertura vegetale soprattutto in corrispondenza degli altopiani. Elevate pendenze, litologie incoerenti o poco coerenti e uso del suolo sfavorevole determinano, come visto in precedenza, condizioni svantaggiose alla stabilità dei versanti e suggeriscono presupposti di pericolosità da frana.

Si tratta principalmente di aree con pericolosità media (Hg2) e moderata (Hg1), ma localmente anche con pericolosità elevata (Hg3) o molto elevata (H4). Le uniche delimitazioni di pericolosità molto elevata (Hg4) dell'area sono localizzate in corrispondenza delle parti alte del versante a W del Rio Cuccureddu e dell'abitato di Bitti e presso una piccola area a valle della circonvallazione (in sinistra idraulica del Rio Cuccureddu). Le aree Hg4 non interessano però i siti delle opere in progetto.

Nel particolare, le aree più critiche sono ovviamente quelle dove le opere di mitigazione idraulica ricadono all'interno di delimitazioni Hg3, ossia alcuni tratti di canali da adeguare (tratto finale del Canale di guardia in destra idrografica del Rio Cuccureddu e tratto iniziale del canale urbano a valle della circonvallazione e della vasca del Rio Cuccureddu) e soprattutto la Vasca di laminazione nel Rio Cuccureddu. Quest'ultima opera (lo sbarramento), il suo bacino di invaso e la zona a monte sono ubicati in un'area non particolarmente acclive (con pendenze quindi non elevate, quasi sempre al di sotto del 50%, Fig. 26), dove i versanti sono caratterizzati da estesi affioramenti di rocce metamorfiche di alto grado poco o nulla alterate, con un grado di fratturazione medio e con giaciture della scistosità principale quasi sempre poco inclinate (di solito fino a 20-25°). Sono poi presenti esigui spessori di depositi di versante, ubicati in corrispondenza degli impluvi. I versanti, contrariamente ad altre zone del bacino del Rio Cuccureddu, sono caratterizzati da una copertura vegetale boschiva (leccie sughere), ma anche zone a macchia e a prati e pascoli. Le aree dei canali da adeguare sono invece caratterizzate da un substrato roccioso granitoide spesso molto alterato.

Sebbene questi presupposti e queste delimitazioni di pericolosità da frana, nell'area del bacino del Rio Cuccureddu e del Rio Giordano i rilievi geologici di dettaglio e l'analisi in foto aerea, come detto, non hanno riscontrato evidenze di dissesti di tipo franoso legati alla mobilizzazione repentina di grandi quantità di materiali (frane superficiali o di altro genere, cfr. § 3), indicando quindi una certa stabilità dei versanti. Nonostante ciò, è evidente che le considerazioni svolte nel § 3 a proposito della odierna stabilità dei versanti sono valide in presenza di una buona copertura vegetale dei versanti, come quella attuale; nel caso di distruzione della stessa, ad esempio in caso di incendi, sarà necessario intervenire con urgenza con opere forestali di protezione dei versanti degradati.

Per quanto riguarda l'ammissibilità delle opere idrauliche in progetto ricadenti nelle aree con delimitazioni PAI di pericolosità per frana, l'art. 31 comma 3 cita testualmente: "*In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità molto elevata da frana sono consentiti esclusivamente:*", poi alla lettera i "*gli ampliamenti, le ristrutturazioni e le nuove realizzazioni di infrastrutture riferibili a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili o non delocalizzabili, a condizione che non esistano alternative tecnicamente ed economicamente sostenibili, che tali interventi siano coerenti con i piani di protezione civile, e che ove necessario siano realizzate preventivamente o contestualmente opere di mitigazione dei rischi specifici*". Quindi, essendo le opere in oggetto infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico, esse sono ammissibili in quanto nuove realizzazioni di infrastrutture riferibili a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili, non esistendo alternative tecnicamente ed economicamente sostenibili. Inoltre, tali interventi sono coerenti con i piani di protezione civile, e ove necessario saranno realizzate preventivamente o contestualmente opere di mitigazione dei rischi specifici.

Sulla base delle indicazioni delle Norme di attuazione del PAI, ed in applicazione dell'articolo 25 (Studi di compatibilità geologica e geotecnica) e dell'articolo 23, comma 6, lettera b., i progetti delle opere di mitigazione idraulica previsti per il Rio Giordano e soprattutto per il Rio Cuccureddu ricadenti nelle aree di pericolosità elevata (Hg3) e media (Hg") da frana dovranno essere accompagnati da uno studio di

compatibilità geologica e geotecnica predisposto secondo i criteri indicati nelle stesse norme di attuazione.

6 PREDISPOSIZIONE DELL'AREA ALLE COLATE DETRITICHE (METODO DI AULITZKY)

Poiché nell'area circostante l'abitato di Bitti sono presenti depositi di versante più o meno sciolti lungo pendii spesso acclivi e visto che i maggiori problemi all'abitato si sono verificati a seguito del trasporto solido ad opera delle acque di deflusso, sono state analizzate, come suggerito dai tecnici dell'ADIS, le possibili condizioni di innesco di frane per colamento rapido (colate detritiche) con il metodo di AULITZKY[5]. Le colate detritiche (*debris flow*) sono definite da VARNES (1978)[6] come movimenti di massa rapidi, indotti dalla gravità, di miscele granulari, acqua e aria che si muovono come un fluido viscoso con velocità elevate (più di 5 m/s e fino a 15 m/s). Si tratta di miscele estremamente mobili di acqua e sedimento poco classato con elevate concentrazioni e con una scarsa quantità di frazione fine (limi e argille). Secondo il USGS (il servizio Geologico Statunitense) (2005)[7] i *debris flow* hanno una percentuale di sedimenti in volume che supera il 60%, mentre per valori compresi tra il 20 e 60% si tratterebbe di flussi iperconcentrati (*hyperconcentrated flow*). La presenza dell'acqua risulta essere l'elemento fondamentale per la formazione delle colate detritiche. Infatti, l'improvvisa saturazione di materiali granulari sciolti provoca, per effetto della gravità e l'aumento delle pressioni interstiziali (che generano una diminuzione della resistenza al taglio), lo scivolamento della massa verso valle. L'arresto della colata avviene per effetto della diminuzione della pendenza e determina la formazione di conoidi. Tra le colate detritiche, quelle canalizzate (che si sviluppano entro le incisioni dei torrenti) sono le più frequenti.

I principali fattori predisponenti e scatenanti delle colate detritiche riconosciuti dai diversi autori e osservati anche in Sardegna, sono: 1) presenza di detrito sciolto, 2) elevata pendenza media dei bacini, 3) piccoli bacini con tempi di corrivazione ridotti, 4) zone di possibile propagazione (incisioni, impluvi) con elevata pendenza e 5) precipitazioni brevi e intense. **Tutte queste condizioni erano presenti nell'area di Bitti in occasione dell'evento alluvionale del 2013**.

Tra i vari metodi di valutazione della pericolosità legata alla predisposizione ed allo sviluppo delle colate detritiche, quello di AULITZKY è il più diffuso. Questo metodo, applicato frequentemente in bacini delle aree alpine, consente di ottenere una zonazione della pericolosità delle aree di conoide e una

[5] AULITZKY, H. (1980) Preliminary two—fold classification of torrents. Proceedings of International Symposium, Austria, 285-310.

[6] VARNES D.J. (1978) - Slope movement types and processes. In Schust R.L., Krizek R.J. (Editors), Landslides, Analysis and Control, Special Report 176: Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC., 11-33.

[7] U.S.G.S. (2005) - Distinguishing between Debris Flows and Floods from Field Evidence in Small Watersheds. U.S. Geological Survey, reducing risk from volcano hazards, USGS fact sheet ; 2004-3142.

previsione della tipologia di trasporto. Si tratta di una *check-list* di sei domande riferite alle caratteristiche morfologiche e vegetazionali della conoide e di altre cinque domande, che considerano l'area del torrente a monte della conoide. A ogni domanda corrispondono quattro risposte possibili cui si associa un punteggio corrispondente a classi di potenziale pericolo. La somma dei punteggi divisa per il numero delle risposte di ogni tabella fornisce le classi di pericolosità (bassa, media, elevata) e la tipologia prevedibile di trasporto (piena torrentizia, trasporto solido ghiaioso, colata di fango).

Nel caso di Bitti, al primo gruppo delle sei domande non è possibile rispondere in quanto riferite alle zone di conoide che non esistono nell'area di studio.

La previsione dell'attività torrentizia si articola nelle seguenti 5 domande: a) = entità dei danni provocati da colate ed eventi di piena (nel nostro caso "distruzioni in prossimità del torrente"; punteggio 2); b) = precipitazioni massime giornaliere attese (derivanti da serie storiche di lunga durata) (nel nostro caso "tra 100 e 150 mm"; punteggio 2); c) = posizione e quantità prevedibile di materiale detritico asportabile dal torrente (nel nostro caso "la massima quantità del materiale asportabile dalla zona percorsa dal torrente che si può aspettare in caso di evento naturale potrebbe essere inferiore a 1.000 m^3"; punteggio 1); d) = componente in legname presente nella colata di fango o nella piena (nel nostro caso "nel caso di una catastrofe possono essere convogliati nella colata di fango (o nella piena) solamente pezzi di ceppaie o tronchi di lunghezza limitata"; punteggio 2), e) = capacità di assorbimento dell'acqua ed erodibilità delle rocce e del terreno del bacino idrografico (stato degli ammassi rocciosi, litologia e giacitura) (nel nostro caso "rocce fessurate o sabbia contenente ghiaia o una certa quantità di ciottoli ma priva di argilla e limo, moderatamente permeabili"; punteggio 2).

Quindi, per quanto riguarda il secondo gruppo di cinque domande, il punteggio complessivo (9) diviso il numero di (5) domande indica un valore di 1,8. Questo valore corrisponde ad un trasporto per piena torrentizia (quindi quello meno pericoloso e con minori velocità ed enerie di trasporto). Infatti, per punteggi superiori a 1,9 il trasporto è definito "trasporto di tipo ghiaioso" e per valori maggiori di 2,7 la tipologia sarebbe per "colata di fango".

Nonostante i presupposti legati ai fattori predisponenti e scatenanti delle colate detritiche, tutti presenti nell'area di Bitti in occasione dell'evento "Cleopatra", non sono stati individuati dissesti riconducibili a colate detritiche. Nell'area di studio non sono stati individuati accumuli derivanti da frane per colamento rapido (con strutture di gradazione inversa o accumuli di blocchi nella parte frontale) e non sono state osservate particolari forme di erosione a carico delle sponde o del fondo degli impluvi. Inoltre, la verifica del metodo di AULITZKY (non completamente applicabile nel nostro caso) indica che il trasporto prevedibile è quello meno pericoloso (per piena torrentizia) per via delle minori velocità ed energie. Come già sottolineato, è comunque evidente che l'area sia contraddistinta da condizioni di pericolosità da frana legate alle caratteristiche morfologiche e lilologiche dei bacini, nonostante non vi siano evidenze di dissesti per colata detritica conclamati.

In ogni caso, il carico di materiale solido trasportato dai corsi d'acqua (sia esso riconducibile a future dinamiche torrentizie o di altro genere), anche in occasione di eventi pluviometrici eccezionali (maggiori pure di quello legato al ciclone "Cleopatra"), sarà intercettato e trattenuto dalle opere idrauliche in progetto (briglie filtranti di trattenuta) dimensionate opportunamente.

7 CENNI DI GEOTECNICA

Dal punto di vista geotecnico, i materiali che costituiscono il territorio di Bitti e discussi in precedenza sono molto eterogenei sia per quanto riguarda la natura delle varie formazioni (sia metamorfiche che magmatiche che sedimentarie) sia per quanto riguarda lo stato di alterazione delle compagini rocciose: le rocce granitoidi presentano valori di coesione da molto elevati, nel caso di rocce "fresche" (non alterate), a valori di coesione nulla nel caso dei granitoidi "arenizzati" e disgregati. Le stesse rocce granitoidi alterate inoltre sono spesso affiancate da nuclei di roccia tenace poco o nulla alterata e molto coerente e di dimensioni molto variabili e non facilmente prevedibili senza opportune indagini. Anche il grado di fratturazione dell'ammasso roccioso (granitoidi e metamorfiti) è molto discontinuo in relazione ai vari sistemi di discontinuità, alla loro spaziatura (che dipende dalla posizione rispetto alle strutture disgiuntive principali) e da altre loro caratteristiche.

Anche per quanto riguarda l'assortimento granulometrico nei depositi quaternari, la natura e la percentuale della matrice negli stessi, le differenze osservate sono notevoli. Ovviamente queste differenze si riflettono direttamente sulle caratteristiche geotecniche (peso di volume, angolo di attrito interno, coesione, permeabilità, scavabilità, etc.).

Pertanto, la realizzazione delle opere idrauliche dovrà prevedere rilievi geologici/geotecnici di ulteriore dettaglio, analisi geognostiche, prove geotecniche, prove di permeabilità, indagini sismiche, analisi chimiche, etc, in corrispondenza delle stesse al fine di conoscere nel dettaglio i vari parametri di progetto. A titolo indicativo si riportano alcuni valori geotecnici del materiale roccioso dell'area.

Le rocce granodioritiche, come detto, possono presentarsi con vari gradi di alterazione (per spessori di solito fino a 15-20 metri) che condizionano le caratteristiche geotecniche: da completamente alterate e "arenizzate" a molto compatte e fortemente coesive. Le rocce "arenizzate" (cioè ridotte ad un ammasso granulare sciolto e privo di coesione) possono avere un angolo di attrito interno (ϕ) pari o superiore a 32° (fino a 40°) in relazione alla grana del materiale e coesione nulla. Per gradi di alterazione minore, la coesione del materiale aumenta progressivamente da valori bassi (0,30 kg/cm^2) fino a valori molto elevati e nel caso di rocce non alterate e non fratturate si può arrivare a valori di resistenza a compressione superiori a 2.000 kg/cm^2. Il peso di volume delle rocce granitoidi può variare da un minimo di 1.800 kg/m^3 (molto alterate) ad un massimo di 2.900 kg/m^3 (non alterate e non fratturate) in relazione al grado di alterazione e di fratturazione dell'ammasso. I valori di velocità delle onde di taglio possono variare da 700 e 2.000 m/s nel caso dei granitoidi più o meno alterati fino a valori maggiori per rocce meno alterate e meno fratturate. Pure per le rocce metamorfiche i caratteri geotecnici dipendono dal litotipo (paragneiss o le subordinate quarziti) e dal grado di alterazione dei paragneiss (le quarziti non sono alterate). Il peso di volume dei paragneiss varia generalmente da 2.000 a 2.750 kg/m^3 in relazione al grado di alterazione e di fratturazione. L'angolo di attrito interno (ϕ) è di solito compreso tra 35° e 50° in relazione allo stato di alterazione e fratturazione. I valori di resistenza a compressione sono solitamente compresi tra 350 e 1.800 kg/cm^2. Le velocità delle onde di taglio sono simili a quelle delle rocce granitoidi sopra indicate.

Per cio che riguarda i depositi di versante e quelli colluviali, i valori di peso di volume sono in genere compresi tra 1.800 e 2.100 kg/m^3 in relazione all'assortimento granulometrico ed alla percentuale di elementi clastici. L'angolo di attrito interno (ϕ) può essere compreso tra 26° e a 35° in relazione alla grana del materiale; la coesione è normalmente compresa tra 0 kg/cm^2 (materiali sciolti non coerenti) e 1,5 kg/cm^2. I valori di velocità delle onde di taglio sono solitamente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

8 CONCLUSIONI

L'area di studio è prevalentemente caratterizzata da un substrato roccioso, a volte coerente o molto coerente, ma spesso alterato o molto alterato, costituito da rocce metamorfiche di alto grado (paragneiss e subordinate quarziti e, localmente, filladi e micascisti, tutti con precursori terrigeni cambriano-carboniferi) sulle quali si intrudono granitoidi di età permo-carbonifera. Questo substrato presenta valori di permeabilità molto bassa (e analoghi coefficienti di infiltrazione molto bassi); pertanto anche durante gli eventi pluviometrici intensi, la quasi totalità delle acque piovane defluisce superficialmente e solo una modesta quantità di acque meteoriche si infiltra nel sottosuolo ed è sottratta al deflusso superficiale. Al di sopra delle rocce paleozoiche poggiano in discordanza esigui spessori di depositi colluviali, di versante e sedimenti alluvionali di età quaternaria con valori di permeabilità maggiori.

Rilievi geologico-strutturali di dettaglio sono stati eseguiti in tutta l'area dei bacini imbriferi dei due corsi d'acqua principali che attraversano l'abitato di Bitti: il Rio Cuccureddu ed il Rio Giordano. I risultati di tali rilievi sono rappresentati nello schema di Fig. 2. Le precedenti carte geologiche disponibili infatti non avevano il dettaglio sufficiente e la suddivisione delle formazioni e del loro stato di alterazione necessari.

I sopralluoghi eseguiti per questo studio e l'analisi dei caratteri geologico-strutturali e dei lineamenti geomorfologici del settore non hanno rilevato nei versanti l'esistenza di antichi o recenti processi morfogenetici violenti o dissesti franosi in atto che possano riguardare direttamente i siti di interesse. Distacchi contenuti di materiale possono verificarsi in corrispondenza delle scarpate naturali più acclivi oppure, più frequentemente, in quelle artificiali (tagli stradali o di altro genere, sbancamenti vari) in relazione all'elevata ripidità delle stesse, come documentato successivamente all'evento pluviometrico di novembre 2013 o come si evince attualmente dallo stato di erosione (radici di piante esposte) di alcuni tagli stradali (Fig. 31).



Fig. 31 – Distacco di materiale lungo un taglio stradale e pulizia del manto stradale a seguito dell'evento del 2013 (a sinistra) ed erosione della scarpata stradale (radici dei pini affioranti) lungo la circonvallazione del paese.

Nonostante le diffuse delimitazioni di pericolosità geotecnica da frane del PAI vigente (Hg1, Hg2, Hg3 e subordinatamente Hg4), nell'area indagata non sono segnalati episodi di tipo franoso nell'Inventario dei fenomeni franosi d'Italia (IFFI) e, come detto, non sono stati individuati dissesti franosi nei versanti naturali ne depositi di frana attuali, recenti o antichi.

Resta comunque indubbio che la presenza di depositi più o meno sciolti lungo i pendii e gli impluvi acclivi dell'area suggerisce cautela nelle considerazioni di pericolosità da frana.

Nell'area in esame sono infatti presenti depositi di versante e colluviali sciolti o poco coesivi e granitoidi alterati e più o meno "arenizzati" lungo pendii da mediamente a molto acclivi (ad es. il bacino 5 del Rio Cuccureddu di Fig. 25 ha una pendenza media del 53,52%) che rappresentano materiali disponibili alla mobilitazione ed al successivo incanalamento in occasione di eventi pluviometrici di grande intensità. L'area è caratterizzata morfologicamente da versanti anche acclivi, ma relativamente stabili, dove i processi di modellamento si realizzano essenzialmente ad opera delle acque di dilavamento superficiale con mobilizzazione dei singoli elementi clastici **(trasporto particellare e non in massa)** e la loro canalizzazione e concentrazione verso gli impluvi con meccanismi di trasporto torrentizio. Le acque meteoriche, visti i valori molto bassi di infiltrazione nel sottosuolo, defluiscono abbondantemente in superficie dove, a causa delle notevoli pendenze dei versanti e delle aste fluviali, possono acquistare una rilevante velocità capace di trasportare verso valle quantità più o meno abbondanti di materiale solido.

Le pendenze medie dei bacini e dei rispettivi sottobacini idrografici considerati sono da modeste a medie nell'area del Rio Giordano, ma da medie ad elevate nell'area del Rio Cuccureddu (fino a più del 50%) dove si sono verificati i maggiori problemi legati al trasporto solido in occasione dell'evento catastrofico del 2013. In occasione delle abbondanti piogge legate al ciclone "Cleopatra" del 18 novembre 2013 una drammatica alluvione invase la città, causando condizioni di grande pericolo e ingenti danni alle infrastrutture (muri, strade, ponti, case, etc.). Si è trattato di un evento meteorologico sicuramente eccezionale, ma non irripetibile che ha conferito al territorio della città un alto rischio idrogeologico. Per questo motivo sono in fase di studio opere idrauliche con lo scopo di regimentare le acque di deflusso superficiale e di ridurre e mitigare il rischio idrogeologico nell'area urbana e periurbana dell'abitato di Bitti.

Per ridurre il pericolo di alluvione, per il dimensionamento delle opere di trattenuta dei sedimenti e per valutare la funzionalità delle opere idrauliche è stato compiuto uno studio mirato alla conoscenza di tutti quei parametri (fisiografici, climatici, geologici, di uso del suolo e di presenza di aree dissestate) necessari alla valutazione del trasporto solido di questi corsi d'acqua.

Tra le varie metodologie e trattazioni disponibili per la stima del trasporto solido, è stato scelto il metodo empirico di GAVRILOVIC, ampiamente utilizzato e adatto ai bacini mediterranei di piccole dimensioni con corsi d'acqua a carattere torrentizio, come nei nostri casi. Il modello di GAVRILOVIC, che per alcuni autori tende a sovrastimare il trasporto solido, conduce a una relazione che consente la stima teorica del volume di materiale prodotto per erosione in un bacino idrografico. Successivamente, attraverso un coefficiente di riduzione, si giunge alla determinazione della quantità di detriti trasportati dai corsi d'acqua alla sezione di chiusura considerata all'interno del bacino stesso.

Il metodo, sebbene molto utilizzato e variamente collaudato, comporta necessariamente una serie di approssimazioni tali da renderlo utile solo per una valutazione delle dimensioni di massima del fenomeno e non come dati esatti, nonostante i risultati specificano il dettaglio del metro cubo o del suo decimale. I risultati del calcolo di questo metodo per ciascuno dei bacini e sottobacini considerati sono riportati nel § 4.2, dove sono indicati anche i valori dei diversi parametri elaborati. Questi valori faciliteranno la progettazione e il dimensionamento delle opere idrauliche capaci di trattenere i sedimenti (briglie aperte selettive in calcestruzzo e barriere flessibili con rete ad anelli descritte ed ubicate nell'allegato "Opere idrauliche nei versanti") e di permettere il deflusso verso valle alle portate liquide.

Le sezioni di chiusura dei singoli bacini considerati sono quasi tutte ubicate all'ingresso del centro abitato dove saranno presumibilmete posizionate le opere di trattenuta dei sedimenti. Solo nel caso del bacino 8 del Rio Giordano e del bacino 1 del Rio Cuccureddu le sezioni di chiusura sono state posizionate ad una certa distanza dal paese, in corrispondenza delle vasche di laminazione. I quantitativi di materiale detritico trasportati in corrispondenza di ciascuna delle sezioni di chiusura considerate, secondo le stime desunte dai calcoli del § 4.2, non sono particolarmente elevati, in valore assoluto, considerando poi la presunta sovrastima insita nel metodo adottato. Ciò è valido soprattutto per i piccoli bacini (bacini 2, 3, 4, 5, 6 e 7) attorno all'abitato che hanno quantitativi di materiali di poche centinaia di m^3/a ciascuno. Tuttavia, questi stessi volumi di detriti sono consistenti (o molto consistenti) se si considera la modesta (o molto modesta) estensione dei bacini (ad es. il bacino "3" ha un'estensione di pochi ettari) ed il fatto che, in occasione di eventi pluviometrici estremi, il quantitativo di materiale che giunge nell'abitato corrisponde alla somma dei singoli bacini, in virtù della confluenza degli impluvi entro il centro abitato. Inoltre, viste le pendenze elevate, le velocità della corrente idrica carica di detriti sono elevate, creando così le condizioni di pericolo viste in precedenza. Una serie di opere di trattenuta dei sedimenti posizionate come indicato nell'allegato "Opere idrauliche nei versanti" permetterà quindi di ridurre le velocità di deflusso e di sottrarre al paese i contributi di materiale solido che giungerebbero dai vari corsi d'acqua ed impluvi a monte dell'abitato.

Nel caso dei bacini più estesi del Rio Cuccureddu (il bacino "1ext" di Fig. 25) e del Rio Giordano (il bacino "8") i volumi annui di materiale solido trasportato sono maggiori, rispettivamente di circa 1.370 m^3/a e di circa 8.600 m^3/a in corrispondenza delle vasche di laminazione.

Di fatto, in mancanza di misure dirette (misura di volume o peso di sedimenti trasportati in un certo intervallo temporale) registrate lungo i corsi d'acqua, il metodo di GAVRILOVIC rappresenta uno strumento rapido, opportuno e attendibile per la stima dei volumi di sedimenti prodotti dal fenomeno erosivo relativi ad una determinata sezione di chiusura. Anche se tale metodo tende a sovrastimare la produzione di sedimenti, resta sicuramente un importante e utile principio di valutazione nell'ottica di una pianificazione progettuale delle opere idrauliche di mitigazione dei fenomeni alluvionali (in occasione di eventi meteorici di particolare intensità), della loro funzionalità e del monitoraggio e manutenzione delle stesse.