



### DOCUMENTO DI SINTESI DELLE ATTIVITA' TECNICO - SCIENTIFICHE

Il piano degli interventi è il frutto di un approccio olistico includente discipline apparentemente distanti tra di loro quali la geologia, la geofisica, l'agricola, l'idraulica, l'idrologia, la geotecnica, l'architettura, l'urbanistica e l'ingegneria strutturale. La confluenza del piano degli interventi, ai sensi del decreto legge Ischia 186/2022 convertito in Legge 9 del 27 gennaio 2023, all'interno del piano stralcio dell'autorità di bacino prima, entro il termine di Giugno 2023, e del piano della ricostruzione poi, che la regione Campania dovrà adottare, determinerà il contemperamento delle scelte tecnico scientifiche derivanti dalle discipline sopra indicate con quelle giuridico economiche al fine di individuare soluzioni sostenibili sotto il profilo ambientale, sociale, economico e procedurale. Come ribadito nel capitolo sette, il successo e la convenienza dell'adozione di una o più strategie di intervento dipende dalla possibilità di integrazione efficace degli interventi stessi grazie all'analitica dimostrazione del loro dimensionamento mediante adeguate quantità e qualità di indagini e studi sui fattori predisponenti (le proprietà geometriche e fisico-meccaniche), preparatori (le condizioni in sito e le relative possibili variazioni stagionali) e d'innescio (le azioni idro-meteoriche e sismiche) degli eventi catastrofali. L'efficacia della progettazione andrà valutata tramite il confronto tra analisi prestazionali del sistema oggetto di intervento da effettuare in condizioni ante-operam e post-operam in ordine alle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, in condizioni sia statiche che sismiche.

La struttura Commissariale ha demandato al soggetto attuatore SMA la realizzazione di un piano di prove ed indagini, finalizzate ad individuare in modo specifico gli spessori dei ricoprimenti, la profondità del substrato, la distribuzione granulometrica di un campione rappresentativo, le caratteristiche di resistenza meccanica dei terreni, grazie alla realizzazione di 100 fioretture, 50 pozzetti esplorativi, 1000 metri di prospezioni sismiche (orientativamente in una numerosità legata a stendimenti di circa 30x30 m) posizionate lungo gli alvei e ad essi trasversali in ragione delle possibilità di accesso e della logistica, 20 prove di laboratorio, su campioni prelevati in zone opportunamente individuate, consistenti in analisi granulometriche (su tutti) e prove di taglio diretto con misura della resistenza residua (sui campioni indisturbati). Gli esiti del piano prove e indagini consentiranno di calibrare ulteriormente i modelli presentati nel capitolo 4 basati sulle conoscenze ad oggi già disponibili o che in ogni caso sono state implementate nei tre mesi di redazione del presente piano. La distribuzione spaziale delle prove verrà individuata dal gruppo di lavoro, con il contributo

di ciascun membro nell'ambito delle proprie competenze, in modo da colmare il gap di conoscenza ad oggi ritenuto ancora non soddisfacente. Nelle prossime settimane SMA porterà a termine il rilievo geometrico georeferenziato delle briglie, delle sponde e delle eventuali soglie, sommerse da detriti e fango come ampiamente documentato nel capitolo 5, per tutti gli alvei di Casamicciola ed in parte di Lacco Ameno. Infine, per il completamento del quadro conoscitivo, SMA produrrà un rilievo topografico dei tratti tombati dei due comuni. Resta inteso che i progettisti dovranno implementare ulteriormente le prove in termini qualitativi e quantitativi per un adeguato dimensionamento delle opere.

Come sancito dall'articolo 15 del DPR 207 del 2010, allegato del codice degli appalti, *“la progettazione ha come fine fondamentale la realizzazione di un intervento di qualità e tecnicamente valido, nel rispetto del miglior rapporto fra i benefici e i costi globali di costruzione, manutenzione e gestione. La progettazione è informata a principi di sostenibilità ambientale nel rispetto, tra l'altro, della minimizzazione dell'impegno di risorse materiali non rinnovabili e di massimo riutilizzo delle risorse naturali impegnate dall'intervento e della massima manutenibilità, miglioramento del rendimento energetico, durabilità dei materiali e dei componenti, sostituibilità degli elementi, compatibilità tecnica ed ambientale dei materiali ed agevole controllabilità delle prestazioni dell'intervento nel tempo sul progetto”*. In tal senso le soluzioni previste nel piano degli interventi sono state individuate in modo da soddisfare gli obiettivi più performanti in termini di mitigazione del rischio idraulico ed idrogeologico e, più in generale, di salvaguardia della vita umana, demandando al progettista le valutazioni sito specifiche finalizzate ad adottare la soluzione più idonea, ai sensi dell'articolo 15 sopra richiamato, tra le alternative progettuali, ovvero *“quella che presenta il miglior rapporto tra costi e benefici per la collettività, in relazione alle specifiche esigenze da soddisfare e prestazioni da fornire”*. I progettisti degli interventi dovranno altresì porre particolare cura circa la cantierabilità delle opere, soprattutto nelle zone più impervie di monte, e sugli aspetti manutentivi che il nuovo Codice degli Appalti ne evidenzia la decisa e sostanziale importanza. Il progettista dovrà porre particolare cura nella scelta degli strumenti più idonei al monitoraggio delle opere in modo da affinare un sistema efficace di early warning. I contratti dei progettisti dovranno prevedere modalità, tempi e costi della calibrazione dei parametri una volta che i dispositivi saranno collaudati. Le fasi di sviluppo progettuali, come previsto dalle Norme Tecniche delle Costruzioni e dalla relativa Circolare del 2019, dovranno considerare i risultati dei test di prova per pali di fondazione e per i sistemi di ancoraggio (prove di pull out) in modo da calibrare adeguatamente il progetto esecutivo. In particolare, al termine della stesura del progetto di fattibilità tecnica ed economica il progettista dovrà prevedere i test di prova su un numero adeguato di pali o ancoraggi per meglio definire il progetto esecutivo.

In ottica di circolarità e sostenibilità ambientale i progettisti dovranno privilegiare le scelte connesse al riuso del materiale lapideo, tufo verde nelle sue varie sfumature cromatiche, derivante dai disaggi o dal trasporto dell'evento del 26 novembre, ad esempio per il rivestimento di opere in c.c.a. oppure per la realizzazione delle gabbionate. L'azione prevista dall'ordinanza 6 del 15 febbraio 2023 del Commissario Delegato si pone giustappunto nell'ottica di garantire un riuso dei legnami e delle pietre da parte di privati cittadini. Ai fini della compatibilità paesaggistica delle opere di difesa idraulica ed idrogeologica occorre precisare che la realizzazione di briglie, soglie e muri di sostegno e contenimento è prevista in c.c.a. (calcestruzzo cementizio armato) perché la richiesta di resistenza per le opere di difesa in concomitanza dei fenomeni critici che si possono attivare, come è stato dimostrato dall'evento del 26 novembre e come si evince dai grafici delle curve di possibilità climatica del capitolo 3, non è assolutamente compatibile con opere in muratura portante. Certamente il tufo isolano dovrà essere utilizzato come rivestimento, con disposizione regolare degli elementi e non ad opus incertum, delle porzioni a vista delle strutture in c.c.a.

L'intensità degli eventi meteorici futuri è attestata da lavori internazionali così come ribadito dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) nel "Sixth Assessment Report". Al fine di tenere in seria considerazione gli effetti dei cambiamenti climatici sulle opere previste nel piano, il Commissario Delegato ha di recente firmato un accordo con la BEI per arricchire di ulteriori contributi scientifici l'analisi qui presentata grazie allo studio degli effetti indotti dai cambiamenti climatici su piccola scala delle intensità degli eventi meteorici sull'isola di Ischia. Il lavoro che la BEI sta iniziando a traguardare sarà il frutto delle attività di un gruppo di esperti di livello internazionale in merito alla messa a punto di modelli di previsione su scala spazio-temporale molto ridotta, calibrati sull'orografia e le caratteristiche microclimatiche del sistema idrosfera e atmosfera dell'isola. Il modello idrologico che ne deriverà potrà essere utilizzato dal progettista per il calcolo delle portate critiche come previsto dalle NTC2018.

Nell'ambito delle analisi benefici/costi, il progettista dovrà sempre valutare il doppio scenario, con e senza delocalizzazione di edifici ed infrastrutture nei casi in cui la loro sicurezza dovesse essere compromessa. Non è escluso che la gravosità degli interventi di mitigazione sia spesso eccessivamente onerosa se confrontata con il costo delle delocalizzazioni. Lo sforzo dovrà tendere verso il contemperamento dei pubblici interessi con quelli dei privati.

## **L'EVENTO DEL 26 NOVEMBRE 2022**

Il 26 novembre 2022, all'incirca alle ore 05:00, a seguito delle piogge torrenziali verificatasi sull'Isola di Ischia nelle ore immediatamente precedenti, si è purtroppo verificato il distacco di

diverse porzioni dei costoni del M. Epomeo. Uno di questi distacchi - in particolare quello realizzatosi in località Celario/Santa Barbara del Comune di Casamicciola Terme - inizialmente innescatosi come uno scivolamento di piccoli quantitativi di materiali solido dello spessore di poche decine di centimetri, nel colpire, dopo un salto di alcune decine di metri, i sedimenti completamente imbibiti di acqua ubicati nelle aree immediatamente sottostanti (a forte pendenza ed interessati da una notevole coltre di materiale piroclastico), ha finito con l'innescare una vera e propria colata rapida di detriti, del tipo "valanga", che ha poi colpito le zone abitate ubicate più a valle.

L'imponente quantità di fango e di detriti distaccatosi dalla montagna, dislocatosi verso valle sotto forma di una vera e propria valanga di sedimenti e di alberi nei tratti più a monte, e di un flusso iper-concentrato di acqua frammista ad elevate concentrazioni di materiali fini nei tratti medio vallivi e di pianura, ha investito le abitazioni site in Via Celario, proseguendo la propria corsa lungo Piazza Maio, Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia, per poi giungere sino ad arrivare in mare nei pressi del c.d. "Monumento dell'Ancora". Lungo il suo percorso, la frana ha causato ingenti danni a edifici, strade, automobili e territorio e, purtroppo, la tragica scomparsa di 12 persone, tra cui 4 bambini.

## **ARTICOLAZIONE DEL TERRITORIO DI CASAMICCIOLA IN BACINI E SOTTOBACINI**

La conoscenza della topografia delle aree interessate dall'evento calamitoso del 26 novembre 2022 e la conseguente descrizione cartografica di tali aree costituiscono lo strumento basilare per la pianificazione degli interventi di messa in sicurezza e di riduzione del rischio residuo.

Si è reso pertanto necessario acquisire informazioni utili a descrivere in modo completo e aggiornato il territorio ad una scala adeguata alle finalità preposte.

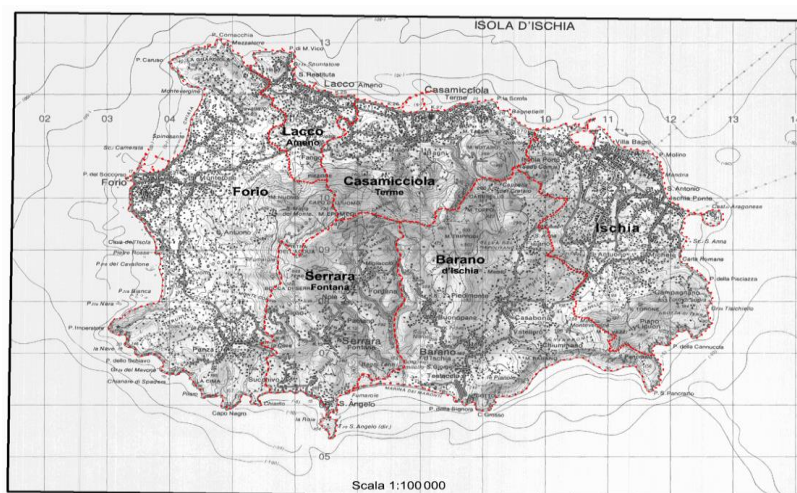
A tale scopo la prima attività ha riguardato la ricognizione e l'analisi di tutti i dati topografici e cartografici già esistenti, in un quadro di razionale gestione delle risorse.

La disponibilità di una grande mole di dati pre e post-evento, forniti dalla struttura Commissariale, è risultata estremamente utile per condurre un'analisi dettagliata dell'assetto plano-altimetrico dell'area di indagine e, in particolare, degli elementi che la caratterizzano sia naturali sia artificiali.

Un aspetto importante ha riguardato la verifica della qualità e dell'affidabilità del dato. Tale verifica è stata effettuata attraverso il confronto su base cartografica delle informazioni provenienti da più fonti, ovvero mediante verifica in sito.

Un ulteriore aspetto concerne i numerosi ed eterogenei flussi informativi, per cui si è trattato di organizzare l'elevata mole di dati allo scopo di consentirne la condivisione e l'efficace utilizzo.

I fenomeni franosi e alluvionali hanno interessato tutti i bacini montani defluenti lungo il versante settentrionale del Monte Epomeo in un'area situata, specificatamente, nel territorio comunale di Casamicciola Terme. Il Comune di Casamicciola Terme, posto nella parte settentrionale dell'isola d'Ischia, ha una superficie di 5,82 km<sup>2</sup> e confina con tutti gli altri Comuni dell'isola: a est con il Comune di Ischia; a sud est con il Comune di Barano d'Ischia; a sud con il Comune di Serrara Fontana; a ovest con i Comuni di Forio e di Lacco Ameno (Fig. 3.1).



*Figura 3.1 – Inquadramento territoriale.*

Per quanto riguarda i dati post-evento, si è fatto riferimento ai prodotti acquisiti dal Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri e dalla Regione Campania.

Nell'ambito della cartografia d'emergenza è stato impiegato il servizio Copernicus Emergency Management Service (CEMS) del programma di osservazione della Terra Copernicus dell'UE. Il servizio CEMS fornisce supporto per la risposta alle emergenze a seguito di diversi tipi di catastrofi, inclusi gli eventi di frana e alluvione, attraverso diverse attività, tra cui la produzione di cartografia speditiva basata su immagini satellitari (CEMS Rapid Mapping). Su richiesta di attivazione da parte di utenti autorizzati, il servizio CEMS-RM, attuato dal Centro comune di ricerca (JRC) della Commissione Europea, ha il compito di fornire informazioni geospaziali tempestive delle aree colpite.

Immediatamente a seguito dell'evento del 26 novembre 2022 il Dipartimento della Protezione Civile ha provveduto a inoltrare richiesta del servizio CEMS-RM (codice dell'attivazione EMSR643).

È stata inoltre attivata la *CEMS Aerial Component*, la nuova componente aerea introdotta dal CEMS il 13 ottobre 2022, basata sull'impiego di piattaforme aeree (con e senza pilota) per un utilizzo integrato con le immagini satellitari. Nello specifico sono state acquisite immagini con maggiore risoluzione geometrica rispetto ai dati satellitari, sia attraverso un volo aereo con copertura dell'intera isola d'Ischia, eseguito in data 27 novembre 2022 dalla CGR S.p.A. (Compagnia Generale RipreseAeree) di Parma, acquisendo anche dati *LiDAR* (8-10 punti/m<sup>2</sup>), sia mediante un volo con UAV condotto dalla *FairFleet* e completato il giorno 1° dicembre 2022.

Nell'ambito dell'attivazione CEMS-RM EMSR643, sono stati generati i seguenti prodotti cartografici:

- un prodotto di tipo *delineation*, alla scala 1:7000, per delimitare l'estensione geografica dell'evento calamitoso, sulla base di dati *Pleiades* del 27/11/2022 (Fig. 3.2);

- tre prodotti di tipo *grading*, uno alla scala 1:7000 e due alla scala 1:2000, con la classificazione del grado di danno subito dalle infrastrutture e dall'edificato, sulla base delle immagini aeree acquisite dalla CGR;

- ortofoto digitale a colori (*RGB, True color*) dell'intera isola d'Ischia, generata dalle immagini aeree acquisite dalla CGR, con risoluzione geometrica (*Ground Sample Distance – GSD*) pari a 0,15 m (Fig. 3.2);

- modello digitale di quota (*Digital Elevation Model – DEM*) e modello digitale di superficie (*Digital Surface Model – DSM*) con passo di griglia 1 m dell'intera isola d'Ischia, generati dalle riprese *LiDAR* della CGR (Fig. 3.2);

- ortofoto digitale a colori (*RGB, True color*) con *GSD* pari a 0,05 m e *DSM* con passo di griglia 0,05 m, generati dalle acquisizioni UAV della *FairFleet*, relativi a una superficie di circa 5 km<sup>2</sup> ricadente in porzioni del territorio dei Comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno e in piccola parte del Comune di Forio.

In aggiunta ai prodotti cartografici del servizio *Copernicus EMS*, sono stati resi disponibili altri prodotti di seguito elencati:

- ortofoto digitale a colori (*RGB, True color*) con *GSD* pari a 0,05 m e *DSM* con passo di griglia 0,25 m, generati dalle acquisizioni eseguite dalla Guardia di Finanza in data 28 novembre 2022, relativi a una superficie di circa 19 km<sup>2</sup> del versante settentrionale dell'isola d'Ischia, estesa da est a ovest per circa 7 km, comprendente il territorio dei Comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno e porzioni del territorio dei Comuni di Ischia, Barano d'Ischia e Forio (Fig. 3.2);

• ortofoto digitale a colori (*RGB, True color*) con GSD pari a 0,05 m e DEM/DSM con passo di griglia 1 m di un'area di circa 7 km<sup>2</sup> comprendente per la maggior parte il territorio del Comune di Casamicciola Terme, generati dalle immagini aeree e dai dati LiDAR (9-10 punti/m<sup>2</sup>) acquisiti dalla MERMEC S.p.A. in data 29 novembre 2022 e forniti dalla Regione Campania (Fig. 3.2).

I principali dati topografici e cartografici utilizzati per la definizione del piano degli interventi possono essere raggruppati nelle tre categorie di modelli altimetrici, ortofoto digitali e carte al tratto in formato numerico (Tab. 3.1).

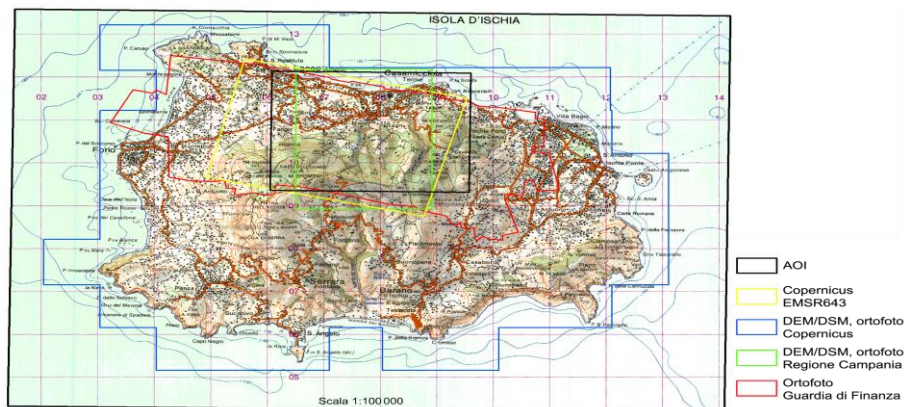
| <i>Modelli altimetrici (DEM/DSM)</i>  | <i>Ortofoto RGB</i>   | <i>Carte al tratto in formato numerico</i><br><i>(raster e vettoriale)</i>                  |
|---|---|---|
| <i>Copernicus (CGR)</i><br><i>passo di griglia 1 m</i><br><i>volo del 27/11/22</i>          | <i>Guardia di Finanza</i><br><i>GSD 0,05 m</i><br><i>volo del 28/11/22</i>        | <i>Serie 25 IGM</i><br><i>Foglio N° 464 Sez. I – Isola d'Ischia</i><br><i>scala 1:25000</i> |
| <i>Regione Campania (MERMEC)</i><br><i>passo di griglia 1 m</i><br><i>volo del 29/11/22</i> | <i>Regione Campania (MERMEC)</i><br><i>GSD 0,05 m</i><br><i>volo del 29/11/22</i> | <i>Carta Tecnica Regionale</i><br><i>scala 1:5000</i>                                       |
|   | <i>Ortofoto AGEA 2020 - GSD</i><br><i>0,20 m</i>                                  | <i>Mappe catastali</i>  |

*Tabella 3.1 – Prodotti cartografici utilizzati per il piano degli interventi*

Tali prodotti rappresentano le informazioni di base a supporto della definizione del piano degli interventi. Essi sono risultati idonei alle finalità del piano, caratterizzati da tecniche di produzione e parametri di qualità adeguati alla scala di intervento e all'impiego richiesto dagli scopi specifici delle diverse applicazioni di carattere geologico, geotecnico, idraulico e, in particolare, per le esigenze di modellazione dei fenomeni franosi e alluvionali.

L'utilizzo di prodotti simili tra loro per caratteristiche geometriche e temporali, con riferimento soprattutto ai modelli altimetrici e alle ortofoto, ha consentito di ottenere un duplice obiettivo: da una parte la verifica della qualità dei dati in termini di contenuto metrico e tematico attraverso la loro ridondanza, e dall'altra il raggiungimento del miglior risultato possibile di copertura dell'area, livello di dettaglio e accuratezza grazie all'integrazione e all'armonizzazione delle diverse fonti disponibili.

Le attività cartografiche hanno riguardato, innanzitutto, la definizione dei limiti dell'area di interesse (*AOI – Area Of Interest*) rispetto ai quali è stato effettuato il taglio della cartografia di base del piano degli interventi. La modalità di taglio adottata è quella geografica, ossia mediante le trasformate di meridiani e paralleli. La porzione di territorio oggetto di analisi è risultata coperta da una superficie corrispondente a quella di un “elemento” della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000, delle dimensioni di 2'30" in longitudine e 1'30" in latitudine, secondo trasformate di meridiani e paralleli però non coincidenti con i limiti della CTR. Al fine di rappresentare l'intero territorio dei bacini montani del versante settentrionale del Monte Epomeo, il taglio geografico è stato definito nel sistema di riferimento geodetico ETRF2000-RDN dagli intervalli 13°53'12" -13°55'42" e 40°43'41" -40°45'11", rispettivamente in longitudine e in latitudine, con una superficie di 9,76 km<sup>2</sup> (Fig. 3.2).



*Figura 3.2 – Inquadramento dell'area di interesse.*

## MODELLAZIONI PRELIMINARI

Ai fini della stima della suscettibilità all'innescò, al transito e all'invasione di frane da crollo in roccia nel settore centrale del versante settentrionale del Monte Epomeo sono state eseguite specifiche analisi numeriche semplificate sulla base dei dati derivati dalle osservazioni di sito e del modello digitale del terreno ad alta risoluzione (1 x 1 m), sviluppato a partire dai dati LiDAR acquisiti a seguito dell'evento del 26/11/2022. Le osservazioni di sito eseguite durante specifici sopralluoghi hanno indicato come nel settore superiore del versante vi siano blocchi di forma e volumetria variabile coinvolti in frane da crollo in roccia. In alcuni casi, essi giacciono lungo i settori di versante maggiormente acclivi e/o alla base di scarpate subverticali, anche trattenuti da vegetazione di alto



fusto. In altri casi, detti blocchi sono situati in zone poco acclivi poste a distanza anche significativa dai settori di versante in cui sussistono condizioni potenziali di suscettibilità all'innesco.

Dal punto di vista dimensionale, tali blocchi presentano volumi variabili da alcuni metri cubi a diverse decine di metri cubi. Localmente sono osservabili blocchi ciclopici caratterizzati da volumetrie dell'ordine di centinaia di metri cubi. La forma dei blocchi è significativamente variabile da rettangolare e ellissoidale/sferica, fino a discoidale.

Dal punto di vista metodologico, l'identificazione preliminare delle aree suscettibili all'innesco di frane da crollo in roccia è stata eseguita attraverso un approccio semplificato in ambiente GIS guidato dalle osservazioni di sito. In particolare, anche attraverso il supporto di aeromobili a pilotaggio remoto, sono state osservate condizioni di potenziale distacco di blocchi legati alle caratteristiche delle formazioni affioranti (blocchi in matrice e roccia fratturata) in corrispondenza di scarpate sub-verticali e settori di versante maggiormente acclivi. Pertanto, sono state considerate suscettibili all'innesco tutte le aree con acclività superiore a 60°.

La suscettibilità al transito e all'invasione è stata analizzata attraverso l'utilizzo di un modello deterministico/probabilistico implementato nel software RockyFor3D. Tale modello, utilizzando un modello digitale del terreno ad alta risoluzione, un modello di rugosità della superficie del versante e un modello parametrico di substrato, unitamente alle dimensioni, densità del materiale e forma dei blocchi, permette di stimare le traiettorie di propagazione dei fenomeni. Di particolare significato ai fini dell'analisi è la possibilità di considerare l'effetto della vegetazione sulla propagazione. Infatti, buona parte del settore superiore del versante settentrionale del Monte Epomeo è caratterizzata dalla presenza di alberi di specie diverse. Considerando la densità, il diametro e la specie, il modello permette di incorporare l'effetto degli impatti con gli alberi nella previsione. Parametri come il volume, i coefficienti di restituzione, la posizione, il diametro associato al singolo albero ecc..., vengono trattati in modo probabilistico. In tal senso, per ogni cella del modello di suscettibilità all'innesco sono stati eseguiti cento lanci ad ognuno dei quali il modello assegna in automatico e randomico una parametrizzazione specifica.

I risultati della modellazione di propagazione consistono in mappe raster utili alla definizione della suscettibilità al transito e all'invasione, nonché indicative della velocità di propagazione, dell'energia cinetica, dell'altezza di rimbalzo e dell'interazione con la vegetazione.

Le figure 4.1.1 e 4.1.2 rappresentando il numero di passaggi per ogni cella del modello di calcolo classificati secondo uno schema logaritmico in falsi colori, forniscono una prospettiva in termini di suscettibilità al transito e all'invasione da frane da crollo in roccia per il settore centrale del versante settentrionale del Monte Epomeo in relazione a fenomeni di propagazione di blocchi di

volume compreso tra 0.6 e 2 m<sup>3</sup> e 8 e 22 m<sup>3</sup>, rispettivamente. La definizione di tali scenari in termini di blocco di progetto è stata eseguita sulla base dell'analisi statistica delle tre dimensioni dei blocchi misurati in sito su una popolazione statisticamente significativa. Ai fini della valutazione sono stati considerati le dimensioni medie e quelle massime registrate. Le figure 4.1.1 e 4.1.2 mostrano, in particolare, come le aree suscettibili all'innescio siano distribuite in tutto il settore di versante analizzato e, in casi specifici anche in prossimità della costa o lungo le linee di drenaggio principali.

La suscettibilità al transito è maggiore lungo le linee di drenaggio soprattutto nei settori più prossimi alle aree di distacco, con eccezione dell'area interessata dalla frana principale dove la vegetazione è stata rimossa dal fenomeno e la propagazione non è influenzata dalla stessa. Lo scenario caratterizzato da un volume del blocco di progetto più elevato si presenta generalmente maggiormente gravoso in termini di suscettibilità anche in relazione alla maggiore suscettibilità al transito nelle porzioni intermedie del versante e in corrispondenza del costruito.

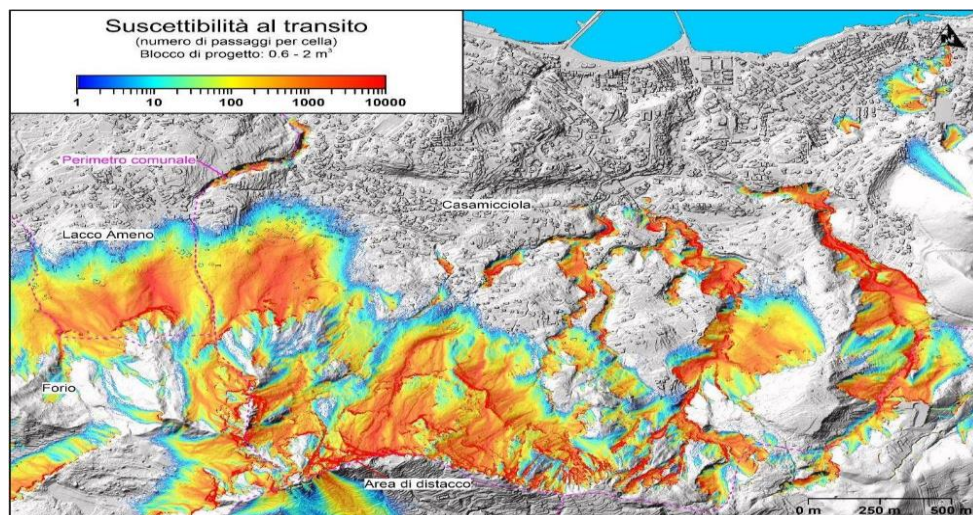
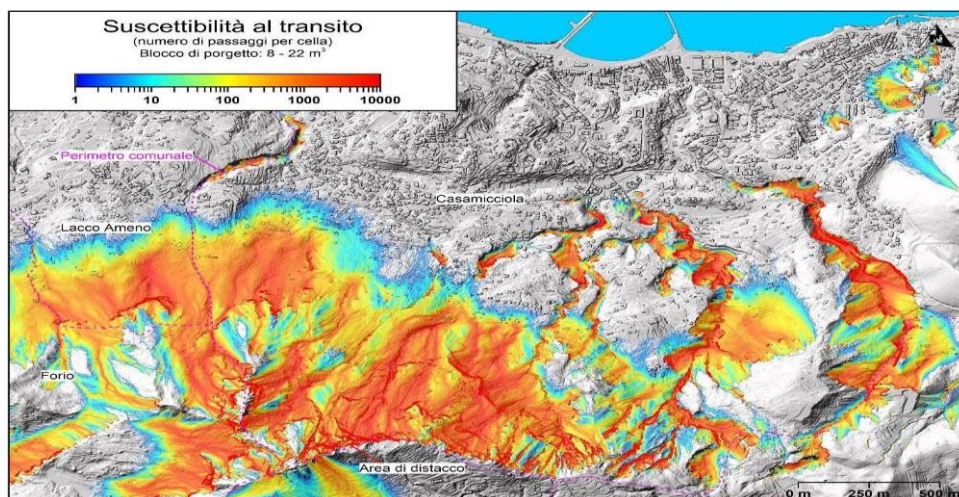


Figura 4.1.1 - Carta della suscettibilità al transito da frane da crollo in roccia. Le aree in rosso rappresentano le aree suscettibili all'innescio. Scenario: blocco di progetto con volume variabile da 0.6 a 2 m<sup>3</sup>.

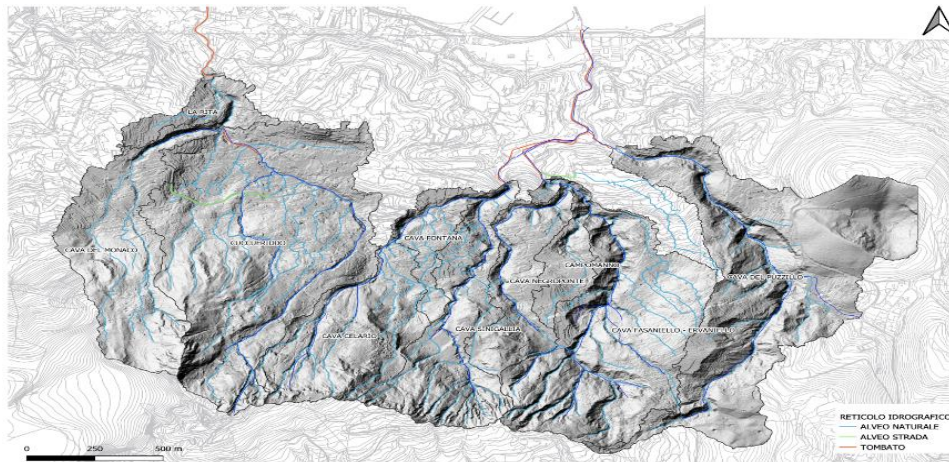


*Figura 4.1.2 - Carta della suscettibilità al transito da frane da crollo in roccia. Le aree in rosso rappresentano le aree suscettibili all'innescio. Scenario: blocco di progetto con volume variabile da 8 a 22 m<sup>3</sup>.*

## **CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI E LORO CRITICITÀ**

Con riferimento alle descrizioni generali nonché alle definizioni degli ambiti di bacino, nel seguito vengono dettagliati, per ogni singolo bacino, gli aspetti d'interesse relativamente agli assetti geologici, geomorfologici, vegetazionali, idrogeologici e idrologici, alle caratteristiche geotecniche e geomeccaniche delle formazioni presenti, ai fenomeni indotti agli eventi piovosi del 26 novembre, nonché all'eventuale presenza di studi ed indagini pregresse nell'area. Su tali basi sono definite le principali criticità connesse all'attivazione di processi di frana, erosivi e di alluvionamento in occasione di eventi di pioggia ad elevata intensità.

Il complesso degli elementi dedotti costituisce, quindi, la base dei criteri per l'adozione delle possibili soluzioni progettuali finalizzate alla mitigazione dei rischi connessi a fenomeni franosi e alluvionali, secondo scenari definibili sulla base della conoscenza dei fenomeni recenti e di quelli del passato, nonché sulle simulazioni numeriche sviluppate in questa sede.

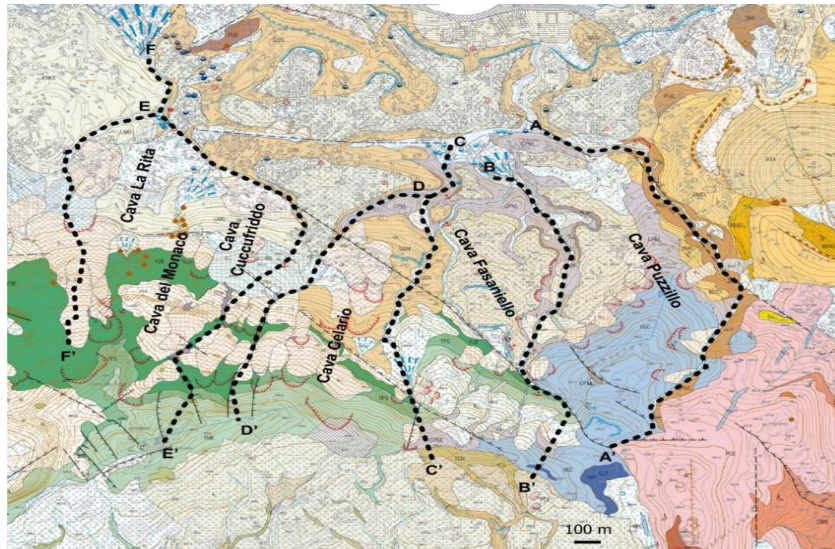


*Figura 0.1. Reticolo idrografico e individuazione dei bacini principali*

Come di fatto è già stato esplicitato in precedenza, le unità idrografiche individuate mostrano diversità morfo-topografiche significative da correlare al complesso assetto litostrutturale dell'area indotto principalmente dalla risorgenza del blocco epomeico e dagli imponenti processi erosionali e di frana successivamente impostatisi, nonché dai depositi di eventi vulcanici più recenti. L'analisi è quindi svolta per i bacini idrografici principali, procedendo da quello più orientale, denominato Cava Puzzillo, a quello più occidentale, denominato Cava La Rita - Cava del Monaco (Figura 0.1).

Le Cartografie nel seguito richiamate sono state sviluppate sulla base del DTM post evento (rilievo *LIDAR Copernicus* del novembre 2022) e riportano i risultati delle elaborazioni sviluppate nell'ambito della fase emergenziale, integrate dagli approfondimenti condotti nel quadro delle attività che hanno consentito la redazione di questo documento.

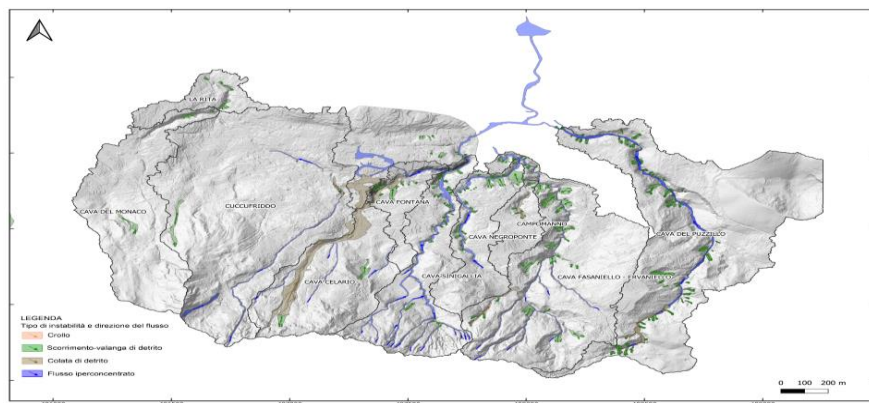
La cartografia geologica di riferimento è costituita dalla Carta 1:10.000 della Regione Campania redatta nel quadro delle attività CARG. Nella Figura 0.2 ne è riportato uno stralcio, con indicazione delle tracce delle sezioni lungo i diversi alvei principali, che verranno successivamente richiamate.



*Figura 0.2. Tracce delle sezioni stratigrafiche lungo gli alvei principali, sovrapposte alla CARG (Foglio n°464 Isola d'Ischia).*

La cartografia di Figura 0.3, relativa agli effetti degli eventi del novembre 2022 ed in particolare dei fenomeni di frana, è basata sul contributo prodotto in prima fase a cura dal Gruppo DICEA guidato dal prof. Santo, integrato da ulteriori rilievi di sito, aerofotografici e LIDAR disponibili.

Nella Figura 0.4 sono invece rappresentati gli angoli di pendio che caratterizzano in sintesi i vari bacini.



*Figura 0.3. Individuazione e classificazione dei principali fenomeni di dissesto.*

Nella Figura 0.5 è riportata la distribuzione delle indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche in foro, raccolte a partire dagli studi di Microzonazione seguiti all'evento sismico del 2017, integrate con quelle successivamente eseguite dal DICEA nell'ambito del progetto MASLIDE, e dalla Regione Campania per gli studi sulla liquefacibilità dei terreni costieri, propedeutici al Piano

di Ricostruzione post-sisma. È possibile notare che il numero d'indagini è molto limitato nell'intera perimetrazione dei bacini a monte delle sezioni d'imbocco degli alvei tombati, mentre sono più diffuse nelle aree urbanizzate a valle.

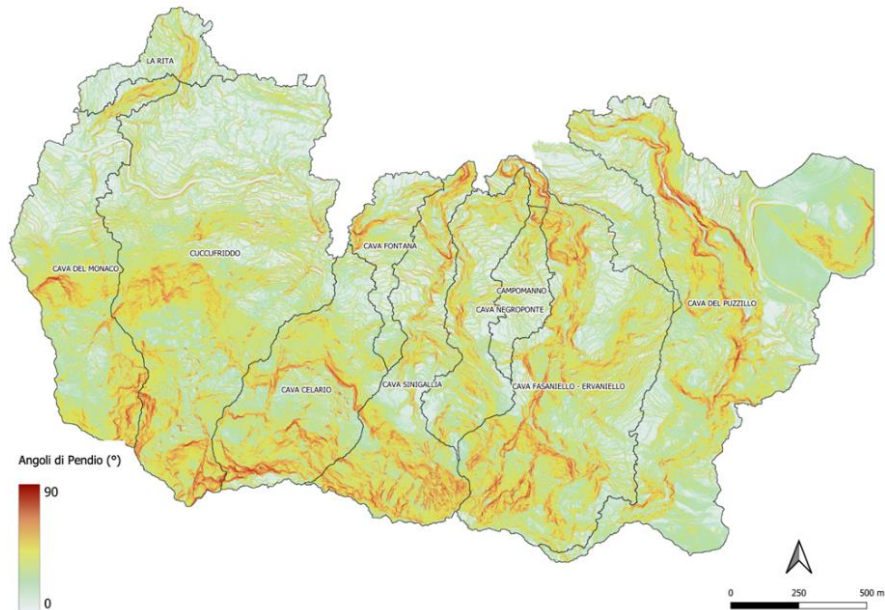


Figura 0.4. Carta delle acclività ricavata dal DTM 1m x 1m.

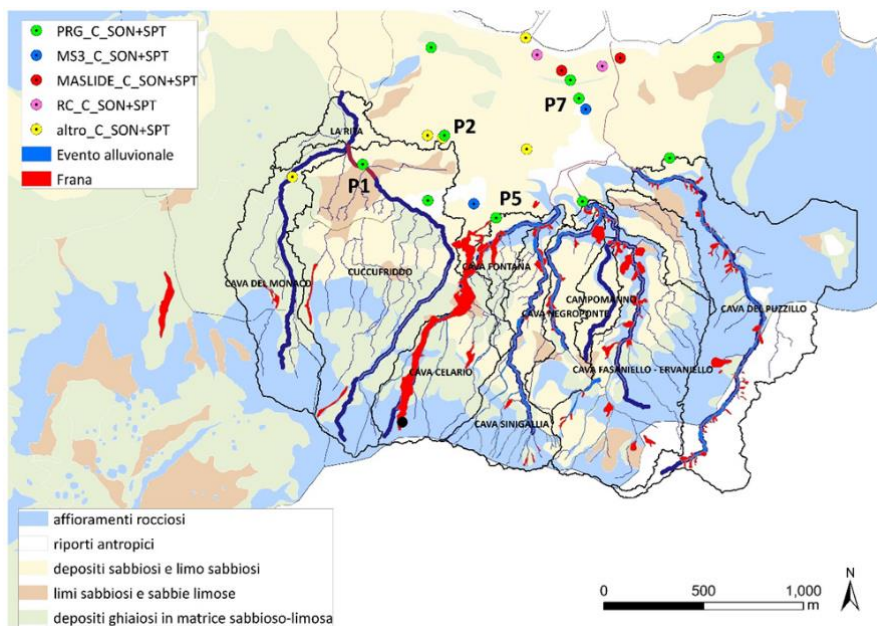


Figura 0.5. Distribuzione delle indagini in foro esistenti nell'ambito dei bacini idrografici d'interesse

## IL RILEVAMENTO DEL DANNO NEGLI EDIFICI DI CASAMICCIOLA

L'isola di Ischia è stata colpita da due eventi calamitosi: il terremoto del 21 agosto 2017 e la frana del 26 novembre 2022. Per entrambi gli eventi i maggiori danni sono stati rilevati nel comune di Casamicciola Terme come attestano i dati raccolti mediante le schede di primo livello AeDES - Agibilità e Danno nell'Emergenza Sismica a valle del sisma, e quelli raccolti mediante le schede AeDEI Ischia 2023 a valle dell'evento franoso. I sopralluoghi volti alla compilazione della scheda AeDES, sono stati condotti, come di consueto in caso di evento sismico, a partire dai giorni immediatamente successivi l'evento del 2017; per quanto riguarda invece i rilievi post-frana, nell'immediato post-evento sono stati effettuati circa 1000 sopralluoghi speditivi (*quick-triage*) da parte del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, cui hanno poi fatto seguito quelli volti alla compilazione di una opportuna scheda per l'emergenza idrogeologica, denominata "scheda AeDEI Ischia 2023", condotti tra fine febbraio e inizio marzo 2023 e coordinati dal Dipartimento nazionale della Protezione civile. Gli esiti dei sopralluoghi speditivi (*quick-triage*) post-frana insieme agli studi condotti dai Centri di Competenza (CdC) del Servizio nazionale della protezione civile (SNPC), e alla comunità tecnico-scientifica campana su richiesta della Regione Campania e il Dipartimento della protezione civile (DPC) della Presidenza del Consiglio dei ministri (PCM) hanno consentito di suddividere il territorio del Comune di Casamicciola Terme in quattro zone caratterizzate da diversi livelli di pericolosità, come indicato al comma 1 dell'O.C.D.P.C. n. 951/2022, "*Prima definizione della pericolosità del territorio del comune di Casamicciola Terme (NA) interessato dagli eventi di frana e alluvione del 26 novembre 2022*" del 23 dicembre 2022, e nell' "Addendum" del 28 dicembre 2022.

## STRATEGIE DI INTERVENTO

Per progettare interventi di mitigazione del rischio idrogeologico (cioè da fenomeni alluvionali e/o franosi innescati da un evento idrometeorico) è possibile adottare uno o più dei seguenti approcci:

- a) riduzione della pericolosità, cioè della probabilità di innesco e propagazione di un dato fenomeno;
- b) riduzione della vulnerabilità, cioè del grado di danno atteso (o fragilità) per gli elementi esposti al rischio;
- c) riduzione dell'esposizione, cioè della numerosità e/o del valore degli elementi esposti al rischio, in modo temporaneo o permanente.

Con riferimento agli interventi del tipo a) sono individuabili strategie a loro volta suddivisibili, secondo la finalità, in due macrocategorie:

- 1) interventi di "*prevenzione*" (o di difesa attiva), rivolti a diminuire, mediante la riduzione delle azioni destabilizzanti e/o l'incremento di quelle resistenti, la probabilità di innesco di un dato fenomeno;
- 2) interventi di "*protezione*" (o di difesa passiva), indirizzati a ridurre la probabilità che una massa (solida e/o fluida) in movimento investa gli elementi esposti, intercettandola, contenendola, o modificandone il percorso di propagazione, e/o dissipandone l'energia cinetica.

Le tipologie di intervento potenzialmente applicabili ai fenomeni in esame sono classificabili in relazione alla funzione fisico-meccanica esplicitata secondo l'approccio adottato dalle Linee Guida AGI-ISPRA (2022) riassunto nella Tabella 7.1, in cui vengono ulteriormente riferite all'applicabilità a volumi potenzialmente instabili di terreno o roccia.

La Tabella 7.2 invece raggruppa le tipologie di intervento sopraelencate secondo i contesti ambientali di riferimento (distinti per colore carattere anche in Tabella 7.1): esse riconducono a competenze tecniche diversificate ma auspicabilmente integrabili tra le scienze agro-forestali, la geologia applicata, l'ingegneria geotecnica e l'ingegneria idraulica.

Non è forse superfluo precisare che il successo e la convenienza dell'adozione di una o più strategie di intervento dipende dalla possibilità di integrarli efficacemente, motivandone il dimensionamento mediante adeguate quantità e qualità di indagini e studi sui fattori predisponenti (cioè le proprietà geometriche e fisico-meccaniche), preparatori (le condizioni in sito e le relative possibili variazioni stagionali) e d'innesco (le azioni idro-meteoriche e sismiche).

| <i>Finalità</i>                 | <i>Funzione</i>   | <i>Tipologie per terreni</i>   | <i>Tipologie per rocce</i>                     |
|---------------------------------|---|--|--|
| <i>Prevenzione<br/>(attivi)</i> | <i>Modifica geometria<br/>e distribuzione<br/>masse</i> | <i>Rimozione sedimenti<br/>Taglio vegetazione<br/>Terrazzamento</i>                          | <i>Disgaggio</i>                               |
|                                 | <i>Trasferimento<br/>azioni</i>                         | <i>Muri a gravità<br/>Terre armate/rinforzate<br/>Gabbionate<br/>Ancoraggi, soil nailing</i> | <i>Imbragaggio<br/>Bullonature, chiodature</i> |



|                             |   |   |   |
|-----------------------------|---|---|---|
|                             | <i>Modifica proprietà meccaniche</i>          | <i>Scavo + sostituzione</i><br><i>Compattazione</i><br><i>Miscelazione</i>  | <i>Iniezioni</i>  |
|                             | <i>Modifica regime idraulico superficiale</i> | <i>Deviazione corsi d'acqua</i><br><i>Briglie di consolidamento</i><br><i>Cunette e canalette</i><br><i>Riduzione infiltrazione</i>   | <i>Sigillature</i>  |
|                             | <i>Modifica regime idraulico profondo</i>     | <i>Trincee</i><br><i>Dreni</i>  | <i>Gallerie drenanti</i>  |
|                             | <i>Contrasto erosione</i>                     | <i>Rinverdimento, Fascinate, viminate, palizzate, Materassi antierosione, Soglie di fondo</i>   | <i>Rivestimenti</i>   |
| <i>Protezione (passivi)</i> | <i>Difesa da caduta massi</i>                 |   | <i>Valli/Rilevati/Barriere paramassi</i><br><i>Reti a cortina</i><br><i>Barriere vegetali</i><br><i>Gradonatura</i> |
|                             | <i>Difesa da colate</i>                       | <i>Aree di deposito</i><br><i>Vasche di espansione/trattenuta</i><br><i>Vasche a dispersione/dissipazione</i><br><i>Ostacoli</i><br><i>Briglie selettive/griglie a pettine</i><br><i>Barriere</i> |   |

*Tabella 7.1 - Suddivisione delle tipologie d'intervento possibili secondo finalità, funzioni e caratteristiche dei geomateriali da stabilizzare*

L'efficacia della progettazione andrà valutata tramite il confronto tra analisi prestazionali del sistema oggetto di intervento da effettuare in condizioni ante-operam e post-operam in ossequio alle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, in condizioni statiche e sismiche.

Tranne poche eccezioni, tutte le tecniche di intervento sopracitate sono potenzialmente applicabili ai contesti in esame. Tenuto conto delle specifiche criticità dei bacini imbriferi, del reticolo idrografico e dei versanti spondali esaminate nel Capitolo 5, vengono in seguito selezionate e descritte sinteticamente, con riferimento ai quattro diversi contesti ambientali considerati, alcune tecniche d'intervento ritenute più rappresentative, sottolineate in Tabella 7.2. Per le restanti, è possibile far riferimento alle citate Linee Guida AGI-ISPRA (2022).

Il capitolo si conclude con una sintetica descrizione dei possibili interventi per migliorare l'officiosità dei tratti tombati.

| <i>Contesto</i>                            | <i>Intervento</i>  |
|--|--|
| <i>Interventi forestali</i>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Taglio vegetazione (ceduazione)</u></li> <li>• <u>Rinverdimento (semina a spaglio o idrosemina)</u></li> <li>• <u>Fascinate, viminate, palizzate</u></li> <li>• <i>Barriere vegetali</i></li> </ul>  |
| <i>Sistemazione dei versanti in roccia</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Disgaggio o imbragaggio massi</u></li> <li>• <i>Bullonature/chiodature</i></li> <li>• <i>Iniezioni per permeazione / sigillature di fessure</i></li> <li>• <i>Gallerie drenanti</i></li> <li>• <i>Rivestimenti (spritzi beton etc.)</i></li> <li>• <i>Valli / Rilevati / <u>Barriere paramassi</u></i></li> <li>• <i>Reti a cortina</i></li> </ul> |
| <i>Sistemazione dei versanti in terra</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Muri a gravità</i></li> <li>• <u>Terre armate/rinforzate</u></li> <li>• <u>Gabbionate</u></li> <li>• <i>Ancoraggi, soil nailing</i></li> </ul>   |

|                            |  |
|----------------------------|--|
|                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Scavo + sostituzione</i></li> <li>• <i>Compattazione</i></li> <li>• <i>Miscelazione</i></li> <li>• <i>Cunette e canalette</i></li> <li>• <i>Riduzione infiltrazione</i></li> <li>• <i><u>Trincee e dreni</u></i></li> </ul>  |
| <i>Interventi in alveo</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Rimozione sedimenti</i></li> <li>• <i>Terrazzamenti / gradonature</i></li> <li>• <i>Deviazione o inalveazione corsi d'acqua</i></li> <li>• <i><u>Briglie (di consolidamento)</u></i></li> <li>• <i>Materassi antierosione</i></li> <li>• <i><u>Soglie di fondo</u></i></li> <li>• <i>Aree di deposito</i></li> <li>• <i><u>Vasche di espansione / trattenuta</u></i></li> <li>• <i><u>Vasche a dispersione / dissipazione</u></i></li> <li>• <i><u>Ostacoli (rostri frangicolata)</u></i></li> <li>• <i><u>Briglie selettive / griglie a pettine</u></i></li> <li>• <i>Barriere laterali / frontali / deflettenti</i></li> </ul> |

*Tabella 7.2 - Suddivisione delle tipologie d'intervento possibili secondo i diversi contesti ambientali ricorrenti nell'area oggetto di studio*

Gli interventi proposti sono riconducibili a due gruppi:

- Interventi di mitigazione del rischio da flussi detritici e da alluvioni
- Interventi di sistemazione puntuale o locale

I primi comprendono le opere necessarie per contenere i flussi detritici provenienti dai versanti dell'Epomeo e che hanno prodotto più volte nel corso degli anni, e da ultimo il 26 novembre 2022, la dolorosa perdita di vite umane e danni notevoli ai beni presenti sul loro percorso. Si tratta, in altri

termini, di opere che tendono a ridurre in modo significativo la probabilità che possano verificarsi nel futuro eventi come quelli connessi alla instabilità del versante, che, lo scorso 26 novembre, hanno colpito della zona del Celario.

In tale categoria ricadono anche le opere prevalentemente destinate alla regimazione delle acque di scorrimento superficiale. Ciò, per l'inadeguatezza del reticolo idrografico, fortemente condizionato da interventi antropici, e, in particolare, con il diffuso ricorso alle tombature. Conseguentemente, le acque possono divagare lungo il reticolo stradale con evidenti pericoli per l'incolumità delle persone che dovessero trovarsi sul loro percorso disordinato e producono allagamenti nelle aree più densamente abitate.