



REGIONE SICILIANA
Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

ACCORDO DI COLLABORAZIONE SCIENTIFICA

TRA

**REGIONE SICILIANA – DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'AUTORITÀ DI
BACINO DEL DISTRETTO IDROGRAFICO DELLA SICILIA**

E

L'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA E DEL MARE

PER

**ATTIVITÀ DI STUDIO E RICERCA PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI
PROPENSIONE AL DISSESTO GEOMORFOLOGICO**
Valutazione della suscettibilità da frana (SUFRA) in Sicilia

CUP G69J17000760001

ALLEGATO TECNICO

1. PREMESSA

Il presente documento tecnico costituisce parte integrante dell'omonimo Accordo firmato tra i due enti in epigrafe, specificandone nei dettagli le modalità realizzative delle attività previste.

Già in passato, la Regione Siciliana attraverso l'Assessorato Territorio e Ambiente (ARTA) della (Dipartimento Regionale dell'Ambiente - Servizio n. 3: Assetto del territorio e difesa suolo) ed il Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (DISTEM) dell'Università degli Studi di Palermo (UNIPA) hanno realizzato attività di collaborazione tecnico-scientifica, relativamente al tema della valutazione della suscettibilità da frana ed all'integrazione dei modelli di suscettibilità all'interno delle procedure di valutazione del rischio geomorfologico all'interno del vigente PAI (Piano Assetto Idrogeologico). Tale rapporto ha inizialmente trovato formalizzazione in un Accordo non oneroso per attività di collaborazione scientifica (prot. 64815 del 14/10/2011 – Servizio 3 ARTA), avente per oggetto la realizzazione di un "Progetto pilota per la realizzazione di cartografia multilivello della suscettibilità da frana in Sicilia – Progetto SUFRA_SICILIA 609". In particolare, la metodologia SUFRA (SUscettibilità da FRAna) definisce livelli di approfondimento e precisione previsionale della cartografia prodotta, che dipendono dalla qualità e quantità dei dati di partenza e, di conseguenza, dalle metodologie di analisi applicate. Nella prima applicazione del SUFRA furono individuati 3 livelli di restituzione: SUFRA 100, SUFRA50 e SUFRA10. Le ricerche condotte in collaborazione tra la Regione Siciliana e DISTEM hanno poi portato alla messa a punto di un protocollo metodologico basato su due soli livelli di approfondimento: uno di bacino, in scala 1:50.000 (SUFRA50) ed uno che scende alla scala di versante, in scala 1:10.000 (SUFRA10). Al di là della scala di restituzione, i due protocolli differiscono relativamente al tipo di inventario richiesto per la calibrazione del modello, di unità di mappatura utilizzate e risoluzione del DEM e dei livelli tematici sorgente (vedi di seguito). Successivamente, in data 14/12/2012, è stata stipulata una convenzione, per la applicazione della procedura SUFRA10 per il bacino pilota del Fiume Imera settentrionale e, limitatamente alle frane di colata rapida, per i bacini dei Torrenti Giampileri e Briga. Le attività del progetto SUFRA sono terminate con la consegna della cartografia prodotta, nel mese di maggio del 2015.

Alla luce dei risultati conseguiti in occasione di queste prime iniziative, i cui primi risultati sono stati pure presentati a convegni internazionali (Agnesi et al. 2012a, 2012b; Rotigliano et al. 2013), costituendo anche oggetto di pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali (Cama

et al. 2015, 2016; Conoscenti et al., 2016; Lombardo et al., 2014, 2015, 2016), si è oggi in grado di valutare la metodologia SUFRA, come pienamente soddisfacente ed adeguata alle necessità di utilizzo dello strumento previsionale costituito dal PAI. È d'altra parte necessario procedere all'ulteriore applicazione del metodo, su un numero maggiore di bacini, in modo da verificarne la generalizzabilità a scala regionale, eventualmente apportando opportuni aggiustamenti e modifiche. Ciò nondimeno, la necessità di pervenire in tempi brevi ad un primo grado di visione generale dell'andamento della suscettibilità da frana alla scala regionale, così come, sulla base di quest'ultimo, di valutare costi e strategie per un'applicazione ed integrazione della metodologia SUFRA10 all'interno del PAI, rende necessaria preliminarmente una fase di studio ad un livello di risoluzione minore, a scala di bacino (SUFRA50), ma sistematicamente esteso all'intero territorio siciliano. Contestualmente, approfondimenti a scala di versante (SUFRA10) potranno essere realizzati su bacini campione o loro settori rappresentativi, opportunamente selezionati proprio sulla base del quadro ricostruito al livello SUFRA50, in questo modo consentendo di tarare e validare la stessa metodologia SUFRA50, sia di generalizzare ed affinare il protocollo SUFRA10, in vista di una successiva estensione a tutte le aree del territorio regionale meritevoli del maggiore dettaglio SUFRA.

Il livello SUFRA50 fornisce infatti una prima valutazione quantitativa e sistematica delle condizioni di propensione al dissesto geomorfologico a scala di bacino su tutto il territorio regionale, in questo modo realizzando l'integrazione ed il completamento delle informazioni ad oggi contenute nel PAI, colmando i vuoti informativi della metodologia PAI (ancorata alla presenza di dissesti segnalati e censiti) e fornendo indicazioni sulla presenza di aree/siti di interesse o suscettibilità, le cui condizioni di Pericolosità/Rischio ancorché indeterminate nel PAI vigente, andrebbero in ogni caso riconsiderate nel caso di ipotesi di interventi sul territorio. Nell'ambito del presente progetto, il livello SUFRA50 fornirà una caratterizzazione della suscettibilità di settori o bacini rappresentativi, sui quali realizzare i test metodologici per l'applicazione e la messa a punto del metodo SUFRA10. Infatti, un'ipotesi di integrazione della classificazione SUFRA all'interno delle norme di attuazione del PAI (definendo una matrice di Rischio derivante dall'incrocio tra suscettibilità e vulnerabilità, cui agganciare norme di attuazione), richiede appunto l'analisi delle pericolosità ad una scala di maggiore dettaglio, quale quella consentita dal livello SUFRA10. Gli studi di approfondimento con metodologia SUFRA10, da una lato porteranno alla realizzazione dei prodotti finali PAI2.10, per i bacini o settori campione selezionati; dall'altro, consentiranno di definire il protocollo utilizzabile per

la realizzazione della copertura regionale SUFRA10; ancora, costituiranno una validazione, su un livello più accurato, delle condizioni di suscettibilità definite al livello SUFRA50.

Al termine del progetto, l'integrazione dell'attuale PAI con il SUFRA realizzerà, di fatto, il PAI 2 (seconda fase, ai sensi dell'Atto di indirizzo e coordinamento - D.P.C.M. 29/9/98) per il territorio siciliano, collocando l'Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia (cui sono state frattanto attribuite le competenze conoscitive di cui all'articolo 55 del D. Lgs. 152/2006) nel novero di quelle che, a livello nazionale, completano il percorso metodologico previsto al decreto legge Sarno (D.L. 180/98), laddove si prevedeva il passaggio dai PAI dei dissesti ai PAI della propensione.

2. OBIETTIVI GENERALI DEL PROGETTO

2.1 Dal PAI del Censimento al PAI della suscettibilità

Dal punto di vista metodologico, l'attuale realizzazione del PAI (Piano Assetto Idrogeologico) da parte della Regione Sicilia è ad oggi legata al recepimento del DL 180/98 (poi convertito nella Legge 267/98 "Legge Sarno"), secondo quanto indicato all'Atto di indirizzo e coordinamento (DPCM 29/9/98). In particolare, la valutazione della pericolosità geomorfologica è basata sul censimento dei fenomeni già noti (perché oggetto di segnalazione da parte di enti pubblici e privati, attraverso un complesso meccanismo di interazione tra autorità di bacino ed enti periferici) ed alla loro caratterizzazione in termini di caratteristiche di velocità-dimensioni (matrice di magnitudo) e stato di attività (matrice di pericolosità). Laddove la pericolosità geomorfologica interseca nello spazio la presenza di beni vulnerabili esposti alla minaccia (questi ultimi suddivisi in classi crescenti di vulnerabilità, sulla base del loro valore socio-economico), allora vengono prodotte aree a rischio geomorfologico (matrice di rischio). Il rischio è poi ordinato in classi crescenti, per ciascuna delle quali sono previste norme prescrittive e di eventuale vincolo d'uso coerentemente crescenti.

La metodologia PAI è dunque basata su un approccio di tipo analitico, legato cioè alla valutazione soggettiva dei fenomeni e qualitativo, in quanto la suddivisione in classi di pericolosità è funzione di una classificazione su base euristica, non dipendente da stime di tipo probabilistico. Ma soprattutto, l'attuale quadro della pericolosità geomorfologica restituito dal PAI è totalmente dipendente dal grado di completezza e correttezza dell'inventario delle frane, quest'ultimo essendo il frutto di una procedura di interazione tra autorità di bacino ed enti

periferici (in primo luogo, i comuni), i quali sono alla base del processo di segnalazione dell'evento pregresso. Di fatto, eventi recenti hanno messo in evidenza come la non corretta determinazione dell'inventario delle frane abbia causato poi una non corretta classificazione delle condizioni di pericolosità geomorfologica nel PAI. D'altra parte, sotto il profilo metodologico, l'attuale procedura di valutazione della pericolosità geomorfologica resta esclusivamente legata alla possibile ri-attivazione di fenomeni già censiti e noti (così come da DPCM 29/9/98) perché attivi nel passato. Il modello resta completamente "cieco" rispetto alla possibile neo-attivazione di fenomeni, alla circostanza cioè che versanti mai interessati da fenomeni franosi nel passato possano domani essere soggetti a dissesti. Di fatto, non è presente all'interno del PAI una valutazione delle condizioni di propensione dei versanti al dissesto.

Sebbene sia certamente vero che larga parte dei danni annualmente prodotti dai fenomeni franosi sono di fatto conseguenti a ri-attivazione di fenomeni pregressi ad attività diacronica, sono frequenti eventi di neo-attivazione che, proprio per il fatto di non avere associate condizioni di pericolosità, hanno prodotto danni all'interno di aree a rischio apparente pari a zero. Per di più, per ovvie ragioni, tutti gli eventi di ri-attivazione che riguardano frane mancanti nell'inventario PAI, causano lo stesso errore previsionale prodotto dalle neo-attivazioni. Ciò è particolarmente "rischioso" se si pensa alle due circostanze che principalmente determinano i "buchi informativi" nell'inventario frane del PAI: le aree non ricadenti all'interno dei centri abitati; le aree soggette a frane superficiali. Infatti, proprio per il fatto di essere legato alle segnalazioni da parte degli enti territoriali, l'inventario PAI è di norma più completo nelle aree urbanizzate, lì dove gli eventi pregressi hanno determinato danni tangibili (dunque quasi sempre segnalati), risultando invece meno completo e preciso (in alcuni casi, vuoto!) nelle aree esterne alle aree urbanizzate. D'altra parte, l'evoluzione dell'uso del suolo è proprio legata all'espansione delle aree di interesse periferiche o anche di quelle un tempo adibite a pascolo o coltivo e che adesso si trovano nei corridoi di attraversamento di importanti reti infrastrutturali o di espansione commerciale e industriale.

Allo stesso tempo, il fatto che le frane superficiali lascino normalmente segni morfologicamente poco persistenti e dunque facilmente cancellabili dai processi erosivi o di antropizzazione, fa sì che queste rischiano di non entrare in un censimento condotto dopo anche solo pochi anni dall'evento. Se si pensa che tra le frane superficiali si trovano anche colate e scorrimenti che interessano il solo regolite e che, sotto determinate circostanze, possono evolvere in colate

rapide, è evidente come anche questa circostanza esponga il PAI ad una pesante sottostima della pericolosità geomorfologica (Fig. 1).

Altri limiti previsionali prodotti dal completo affidamento della metodologia di valutazione della pericolosità da frana all'inventario dei fenomeni pregressi segnalati (censiti) nell'archivio PAI, risultano evidenti se si osserva uno stralcio di un'area interessata da fenomeni censiti e classificati in termini di pericolosità (Fig. 2). È infatti possibile osservare come, essendo la mappatura della pericolosità univocamente collegata alla presenza del fenomeno, si determinino scenari con aree pericolose quasi adiacenti, in mezzo alle quali si trovano settori che risultano nei fatti a pericolosità zero, pur avendo, del tutto prevedibilmente, le stesse identiche condizioni geomorfologiche e, dunque, una elevata propensione a dare, nel futuro, fenomeni analoghi a quelli osservati in prossimità.

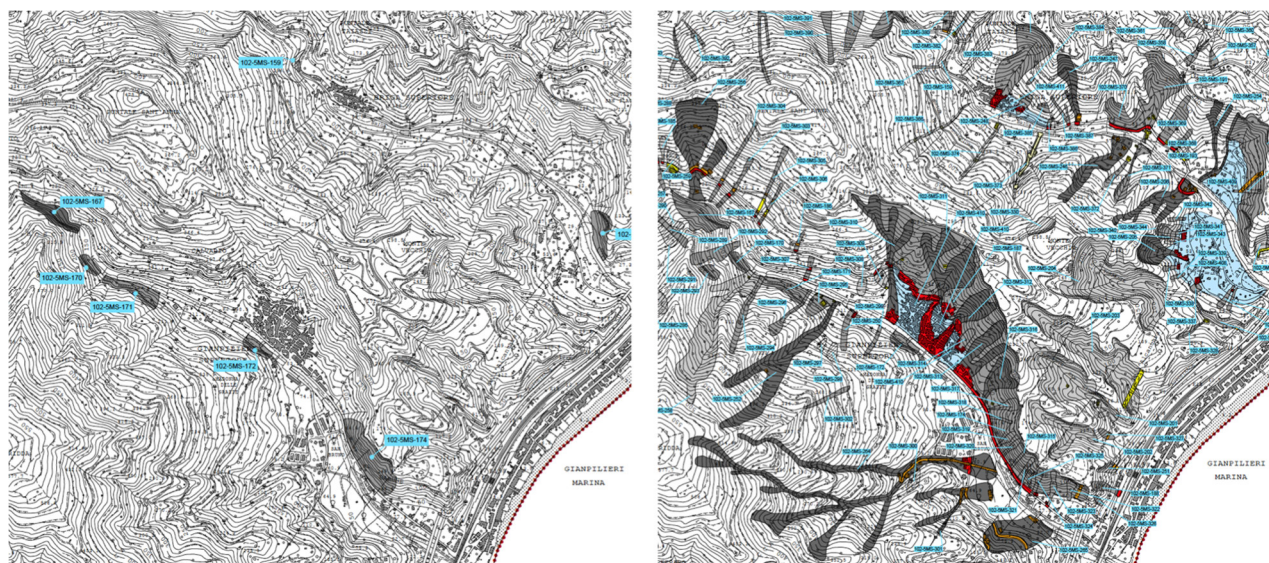


Fig. 1 – Stralcio della sezione PAI (609100) dell'area di Giampilieri prima (sinistra) e dopo (destra) l'aggiornamento successivo al disastro del 2009. I toni di grigio individuano classi di pericolosità crescenti.

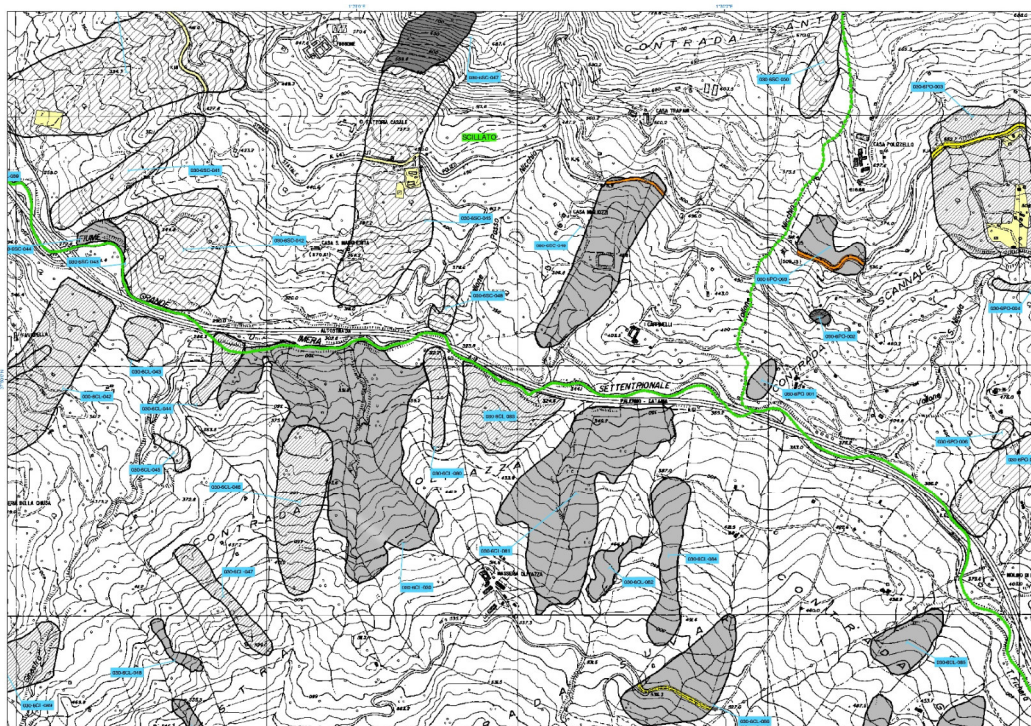


Fig. 2 – Stralcio di una sezione PAI (609160). I toni di grigio individuano classi di pericolosità crescenti.

Ad attenuare gli effetti prodotti da questi limiti, già in questa fase, il servizio PAI ha sviluppato alcuni correttivi basati sulla mappatura di **siti di attenzione**, di quei settori cioè che, sebbene in passato non abbiamo presentato attivazioni di fenomeni, per le caratteristiche geomorfologiche specifiche che presentano (che lasciano prevedere una propensione al dissesto) sono da ritenersi, ai fini della realizzazione di opere l.s., come meritevoli di necessari approfondimenti di studio. Si tratta, in effetti di una apertura al problema della suscettibilità, che tuttavia non è in questa fase basata su un riconoscimento sistematico (con la stessa precisione su tutto il territorio regionale), oggettivo (indipendente dall'operatore) e quantitativo (misurato su una scala di probabilità) delle condizioni di propensione.

Un altro correttivo introdotto alla procedura PAI, in fase di elaborazione e formalizzazione, è il ricorso a delle aree di buffer intorno alle aree in frana, che in qualche modo proiettino la pericolosità dei fenomeni ad un intorno morfodinamicamente collegato. Anche in questo caso, la scelta delle ampiezze dei buffer risulta difficilmente determinabile in modo oggettivo e quantitativamente basato, restando legata ad una stima prudenziale definita su base analitica.

È proprio per le ragioni di sopra esposte, che la ricerca scientifica ha sviluppato metodologie di valutazione quantitativa ed oggettiva della propensione al dissesto, basate su analisi

geostatistiche delle relazioni tra frane e fattori fisico-ambientali, che fanno riferimento ad un nuovo concetto previsionale: **la suscettibilità da frana**.

La suscettibilità da frana (termine consolidato a livello nazionale ed internazionale, che precisa il concetto di propensione) esprime la probabilità (in un intervallo da 0 a 1) che un'area si trovi in condizioni di instabilità geomorfologica, sulla base delle sue caratteristiche fisico-ambientali, non già, dunque, esclusivamente sulla base dell'avvenuto riconoscimento di fenomeni pregressi. Recenti studi condotti da una commissione scientifica, istituita appositamente in sede comunitaria (vedi di seguito), hanno codificato le metodologie standardizzate per l'analisi da adottare alle varie scale per la valutazione della suscettibilità da frana. **In piena coerenza con queste, il progetto SUFRA si propone di:**

- 1) mettere a punto una metodologia (SUFRA50) per la valutazione della suscettibilità da frana in scala 1:50.000;**
- 2) realizzare la cartografia della suscettibilità in scala 1:50.000 di tutto il territorio regionale (PAI2.50) individuando criteri e metodi per l'integrazione nelle norme di attuazione del PAI (PAI2.10);**
- 3) mettere a punto una metodologia (SUFRA10) per la valutazione della suscettibilità da frana in scala 1:10.000;**
- 4) realizzare la cartografia della suscettibilità in scala 1:10.000 di una serie di settori e/o bacini campione individuati di concerto con AdB Sicilia, sulla base della loro rappresentatività nei confronti della variabilità delle condizioni di dissesto idrogeologico del territorio siciliano, nonché alla luce del quadro di suscettibilità a scala regionale emergente dal PAI vigente, integrato dal livello SUFRA50 (che cronologicamente costituirà il primo prodotto realizzato);**
- 5) di concerto con AdB Sicilia, individuare criteri e metodi per integrare il livello SUFRA10 nelle norme di attuazione del PAI (PAI2.10)**

2.2 Quadro di riferimento comunitario

Il progetto SUFRA recepisce le strategie d'azione descritte nella decisione del Consiglio Europeo che stabilisce "Il Programma specifico recante attuazione del Programma quadro di ricerca e innovazione (2014-2020) – Horizon 2020" ed in particolare tra gli obiettivi specifici descritti alla Parte III "Sfide per la società".

Tra questi, infatti, viene individuato l'obiettivo "Conseguire un'economia efficiente sotto il profilo delle risorse e resistente ai cambiamenti climatici e un approvvigionamento sostenibile di materie prime che risponda alle esigenze della crescita demografica mondiale, entro i limiti sostenibili delle risorse naturali del pianeta". In quest'ambito, viene infatti enucleata una "Azione per il Clima, efficienza della risorse e materie prime". Il progetto trova dunque collocazione all'interno delle grandi linee 5.1 "Lotta e adattamento ai cambiamenti climatici", 5.2. "Gestione sostenibile delle risorse naturali e degli ecosistemi" e 5.5. "Sviluppare sistemi completi e stabili di informazione e osservazione ambientali a livello mondiale", nelle quali viene sviluppata l'Azione.

Per quanto riguarda il livello locale della programmazione, le attività del progetto si collocano pienamente nell'ambito delle linee strategiche e di indirizzo dell'Accordo di partenariato tra Italia e UE ed in particolare all'interno della linea 5 (Clima e rischi ambientali).

2.3 Quadro di riferimento metodologico

La Commissione Europea, nel 2006, ha adottato la Strategia Tematica per la Protezione del Suolo, dalla quale è stata ricavata una Proposta per una Direttiva Quadro che è stata poi sottoposta al Consiglio ed al Parlamento Europeo. Questa cornice legislativa include le frane tra i fenomeni che minacciano il suolo, per le quali, dunque, ci si propone di avviare programmi nazionali nei paesi membri, finalizzati: in una prima fase, ad identificare le aree sottoposte a rischio o pericolosità, utilizzando approcci e strumenti comuni; successivamente, a mettere a punto misure di mitigazione del rischio e di protezione del suolo.

In questo contesto, il centro di ricerca congiunto (Joint Research Centre) della Commissione Europea, quale parte del programma di ricerca sui suoli, ha istituito un gruppo di esperti su frane per fornire supporto tecnico e scientifico al fine di assistere le politiche di protezione del suolo attivate a vari livelli in seno all'Unione Europea. Il gruppo di esperti è stato costituito includendo esperti nel settore delle frane e della valutazione della pericolosità da frana, appartenenti ai diversi paesi membri. È nell'ambito delle attività di questo gruppo di esperti che sono state sviluppate e condivise metodologie comuni di valutazione della suscettibilità da frana, le quali hanno poi trovato sintesi nella redazione di vere e proprie linee guida.

In generale, la metodologia definita all'interno delle linee guida pubblicate dal Gruppo-JRC può essere sintetizzata (Tab. 1) in un approccio multilivello (Tier), con previsione di cartografie a 3

livelli di scala e di approfondimento, per ciascuno dei quali vengono fornite indicazioni sia di carattere metodologico che relativamente ai dati sorgente da utilizzare.

Mentre sugli aspetti metodologici si dirà più nel dettaglio di seguito, per quanto riguarda le banche dati sorgente è importante sottolineare come il Gruppo-JRC, alla luce della cornice comunitaria all'interno della quale si è mosso, abbia dovuto fare riferimento a cartografie tematiche di base, modelli digitali di terreno ed inventari frane, che fossero omogeneamente disponibili alla scala dell'intero territorio dell'Unione.

MAP	Tier 1 (1:1,000,000)		Tier 2 (1:250,000)		Tier 3a (1:25,000)	Tier 3b (1:10,000)
Methodology for susceptibility	Heuristic, weighted factors		Probabilistic, quantitative bivariate or multivariate		Probabilistic, quantitative multivariate	Deterministic, physical models
Inventory scale	1:200,000		1:50,000		1:10,000	1:10,000-1:2000
Inventory geometry	Points	Polygons	Points	Polygons	Polygons	Polygons
Landslide size	1 – 5 Ha	> 5 Ha	500 – 2500 m ²	> 2500 m ²	> 100 m ²	any
Information in the inventory	At least landslide location and type		At least landslide location, type and activity		Full database information	

Tab. 1 – Sintesi dei principali elementi per i protocolli di realizzazione dei differenti livelli Tier.

Il progetto SUFRA, d'altra parte, proponendosi di realizzare la mappatura della suscettibilità da frana unicamente alla scala del territorio siciliano, ha ridefinito le scale e i dettagli dei tre livelli Tier, potendosi avvalere di dati di base di maggiore qualità e risoluzione. In questo senso, già in fase di realizzazione del progetto pilota sul bacino del Fiume Imera Settentrionale, si è adottata una differente cornice quadro, cui di seguito si farà riferimento anche per la presente proposta.

D'altra parte, sotto il profilo metodologico, va sottolineato come entrambi gli schemi facciano riferimento ad approcci che a partire dai primi anni ottanta (e.g., Carrara 1988; Brabb 1984; Varnes 1984), si sono sempre più affinati, condivisi e standardizzati a livello della comunità scientifica internazionale (e.g., Carrara et al. 1991, 1995; Guzzetti et al. 1999), vedendo già numerose applicazioni alla scala anche del territorio regionale siciliano, da parte del gruppo SUFRA del Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (già Dipartimento di Geologia e Geodesia) dell'Università degli Studi di Palermo (Cama et al. 2015, 2016, 2017; Conoscenti et al. 2008, 2016; Costanzo et al. 2012, 2012b, 2014; Lombardo et al. 2014, 2015, 2016; Rotigliano et al. 2011, 2012, Martinello et al. 2020).

Elementi consolidati a livello della comunità scientifica internazionale sono ormai: l'utilizzo di metodi statistici (oggettivi e quantitativi) per le scale operative (50.000 – 10.000) e di approcci euristici per scale più piccole destinate alla rappresentazione regionale (al di sotto di 1:100.000); il rinvio agli approcci deterministici (geotecnici), per studi specifici su singoli versanti a pericolosità elevata, individuati dall'analisi statistica, o su versanti soggetti a riattivazione di fenomeni diacronici; la irrinunciabilità di procedure di validazione quantitativa dei modelli e delle carte, secondo tecniche che mettano in evidenza precisione, affidabilità e robustezza delle stime previsionali fornite (e.g., Cama et al., 2015, 2016; Chung & Fabbri, 2003; Conoscenti et al., 2016; Costanzo et al. 2014; Frattini et al. 2010; Guzzetti et al. 2006; Lombardo et al. 2014, 2015, 2016, Rotigliano et al. 2018, 2019, Vargas-Cuervo et al. 2019, Martinello et al. 2020).

La strutturazione del progetto SUFRA su base statistica trova dunque pieno sostegno nelle buone pratiche definite a livello comunitario.

3. ATTIVITÀ DEL PROGETTO

3.1 Strategia del progetto

L'approccio statistico, sul quale poggia la metodologia SUFRA, è basato sull'individuazione di leggi di correlazione multivariata robuste, che leghino la distribuzione spaziale dei fenomeni franosi pregressi censiti (variabile dipendente) a una serie di caratteristiche fisico-ambientali (variabili indipendenti), preliminarmente ipotizzate come cause predisponenti, responsabili, in associazione con uno o più eventi scatenanti non noti, della loro attivazione. Sulla base del principio che le frane in futuro si attivano sotto le stesse condizioni che ne hanno determinato l'attivazione nel passato, le stesse leggi di correlazione assumono valenza previsionale, corrispondendo alle funzioni di suscettibilità ricercate.

La funzione suscettibilità viene dunque ottimizzata a partire da un archivio di eventi (o inventario di calibrazione) ed un insieme di layer tematici, che descrivono quei fattori fisico-ambientali potenzialmente in grado di controllare il fenomeno gravitativo. Questi fattori di controllo assumono il carattere di variabili indipendenti ed esprimono, direttamente o indirettamente, il ruolo delle cosiddette cause predisponenti o preparatorie dei fenomeni franosi, contribuendo dunque a definire quantitativamente quello scenario di propensione sul quale l'attivarsi di una sollecitazione pluviometrica, sismica o antropica può generare con maggiore o minore probabilità l'insorgere di un fenomeno franoso.

In funzione del livello di approfondimento (SUFRA50 o SUFRA10), cambia la tipologia di inventario utilizzato per la calibrazione, il tipo di unità di mappatura sulle quali viene valutata e/o mappata la suscettibilità e il tipo e/o la risoluzione dei layer utilizzati per rappresentare le variabili di controllo dei fenomeni di dissesto. In Tabella 2 si forniscono gli standard operativi di riferimento per la metodologia SUFRA.

	SUFRA 50	SUFRA10
INVENTARIO	PAI	SUFRA
CLASSIFICAZIONE	PRIMO LIVELLO	SECONDO LIVELLO
UNITÀ DI MAPPATURA/ANALISI	CELLA 25m/UNITÀ DI VERSANTE (SLU)	CELLA 10m/UNITÀ DI VERSANTE (LCL_SLU)
UNITÀ DI RAPPRESENTAZIONE	UNITÀ DI VERSANTE (SLU)	UNITÀ DI VERSANTE (LCL_SLU)
DEM SORGENTE	25m	2m
METODO	EURISTICO/STATISTICO	STATISTICO

Tab. 2 – Principali standard per la valutazione della suscettibilità con metodologia SUFRA, per i due livelli 50 e 10.

Proprio in relazione al tipo di metodologie utilizzate, dall'analisi saranno esclusi i centri abitati ovvero i territori urbanizzati, così come delimitati dall'ISTAT nel livello shape file; in queste porzioni di territorio, l'edificazione rende infatti estremamente instabile il modello previsionale.

Alla luce di quanto in premessa, le attività del progetto SUFRA vedranno una logica integrata, non necessariamente temporalmente sequenziale, con realizzazione del livello SUFRA50, per l'intero territorio regionale, e di quello SUFRA10, per una serie di bacini campione, che verranno via via individuati nel dettaglio, anche in funzione dei risultati e delle esigenze di validazione di dettaglio del SUFRA50.

La realizzazione del livello SUFRA10 sui bacini pilota rappresentativi, costituirà dunque una fase di validazione ed eventuale ri-calibrazione del modello regionale SUFRA50. In questo modo, potrà essere anche realizzata una validazione della suscettibilità SUFRA50 su un inventario di dissesti censiti su base sistematica in ambito SUFRA (non PAI). L'affidabilità delle immagini previsionali, ottenute dal SUFRA50 su scala regionale, sarà in questo modo notevolmente incrementata.

3.2 Descrizione attività

Le attività del progetto SUFRA possono essere sintetizzate in tre unità principali:

- SUFRA50
 - Messa a punto della metodologia
 - Realizzazione del livello SUFRA50 per il territorio regionale siciliano;
- SUFRA10
 - Messa a punto della metodologia
 - Realizzazione del livello SUFRA10 per bacini/settori test;
- TRASFERIMENTO E DISSEMINAZIONE
 - Workshop, convegni, seminari, report, pubblicazioni
 - Redazione di linee guida.

La tabella 3 presenta l'elenco completo delle attività del progetto SUFRA, articolate secondo i due livelli di approfondimento e le attività di contesto. Una volta ottenuti i primi risultati, al livello di SUFRA50, le valutazioni a livello SUFRA10 potranno avere avvio, sovrapponendosi temporalmente alle prime.

SUFRA50 (Territorio Regionale)	<i>A₅₀</i>	<i>Layer tematici e pre-processing inventario PAI</i>
	<i>B₅₀</i>	<i>Estrazione unità di mappatura ed aree diagnostiche</i>
	<i>C₅₀</i>	<i>Analisi di suscettibilità e validazione</i>
	<i>D₅₀</i>	<i>Restituzione modelli e cartografia</i>
SUFRA10 (Bacini/settori pilota)	<i>A₁₀</i>	<i>Layer tematici e rilevamento inventario SUFRA</i>
	<i>B₁₀</i>	<i>Estrazione unità di mappatura ed aree diagnostiche</i>
	<i>C₁₀</i>	<i>Analisi di suscettibilità e validazione</i>
	<i>D₁₀</i>	<i>Restituzione modelli e cartografia</i>
TRASFERIMENTO E DISSEMINAZIONE	<i>E</i>	<i>Workshop, convegni, seminari, report, pubblicazioni</i>
	<i>F</i>	<i>Redazione linee guida</i>

Tab. 3 – Elenco delle attività del progetto SUFRA.

3.2.1 SUFRA50

A.50: Layer tematici e pre-processing inventario PAI

In questa fase vengono acquisiti tutti i dati sorgente necessari per la realizzazione dei modelli di suscettibilità. In particolare, attraverso l'AdB Sicilia, saranno formalmente acquisiti per l'uso finalizzato alle attività del progetto: modelli digitali di terreno, ortofoto, cartografie dell'uso del suolo, layer della litologia affiorante (CARG, piano cave, protezione civile regionale), dati climatici dall'osservatorio delle acque e l'inventario frane PAI aggiornato. I dati verranno acquisiti in formato digitale (vettoriale o raster) o, nel caso in cui non già disponibili, in cartaceo

per la successiva scansionatura, georeferenziazione e vettorializzazione. La fase di acquisizione sarà conclusa con un'analisi di congruità e coerenza spaziale e geologico-geomorfologica tra i vari tematismi. Successivamente, a partire dai layer sorgente, verranno costruiti i livelli raster dei fattori di controllo della franosità, utilizzando celle di analisi a 25m. In una prima fase, verranno presi in considerazione tutti i fattori a disposizione, rinviando alla fase di modellazione per l'individuazione del gruppo ristretto, costituito da quelli effettivamente correlati con la franosità.

L'inventario PAI sarà sottoposto a processing per riclassificare in funzione delle tipologie di movimento di cui alla Tabella 4.

L'analisi SUFRA50 procederà a step, articolata per bacini PAI.

B.50: Estrazione unità di mappatura ed aree diagnostiche

Utilizzando i DEM disponibili ed una procedura semi-automatica basata su tool di analisi idro-morfologica, verranno estratte le unità di mappatura di restituzione del modello, corrispondenti alle Unità Idro-Morfologiche (UIM). Queste potranno essere utilizzate anche per l'analisi di suscettibilità.

Per quanto riguarda l'inventario dei dissesti, a partire dall'inventario PAI, si procederà ad una riclassificazione tipologica secondo la classificazione SUFRA di primo livello (Tab. 3), cui seguirà anche una analisi di congruenza e coerenza morfologica dell'inventario stesso. Applicando tecniche di analisi spaziale e morfometrica, saranno poi estratte le aree diagnostiche, necessarie per la calibrazione del modello. L'archivio sarà informatizzato su piattaforma GIS, in modo da poter essere poi utilizzato ed implementato per le fasi successive, utilizzando due layer: uno puntuale, nel quale saranno mappati i punti di quota massima lungo il coronamento (LIP: Landslide Identification Point), uno poligonale, nel quale saranno incluse le aree in frana (scarpata + accumulo), per le frane di versante, le sole scarpate, per le frane di crollo/ribaltamento.

La caratterizzazione in termini di attività sarà condotta accorpando: a) frane attive e quiescenti, per le quali, prescindendo dall'epoca di ultima attivazione, le cause predisponenti e determinanti del fenomeno vengono riconosciute come ancora presenti; b) frane attive consolidate (stabilizzate artificialmente), corrispondenti a frane di tipo a), interessate tuttavia da interventi di sistemazione; c) frane esaurite, laddove per condizioni geomorfologiche generali o cinematiche, il fenomeno risulti non più riattivabile.

	SUFRA 50	SUFRA 10
FRANE DI FRONTE/SCARPATA	CROLLI/RIBALTAMENTI	<i>CROLLI</i>
		<i>RIBALTAMENTI</i>
FRANE DI VERSANTE	SCORRIMENTI	<i>SC. ROTAZIONALI</i>
		<i>SC. TRASLATIVI</i>
	COLAMENTI	<i>COLATE DI VERSANTE</i>
		<i>COLATE LOCALI</i>
FRANE RAPIDE DI VERSANTE E IMPLUVIO	FLUSSI RAPIDI	<i>DEBRIS FLOWS</i>
		<i>MUD FLOWS</i>
		<i>ROCK/DEBRIS AVALANCHES</i>
DGPV	ESPANDIMENTI LATERALI	<i>SEMPLICI</i>
		<i>RIGIDO/DUTTILE</i>
	SAGGING	<i>ROTAZIONALE</i>
		<i>COMPOSITO</i>

Tab. 4 – Classificazione delle frane SUFRA.

C.50: Analisi di suscettibilità e validazione

Una volta preparata la banca dati GIS necessaria per l'analisi, si procederà alla preparazione dei modelli di suscettibilità. Questi saranno basati su metodologie statistiche (analisi condizionale e regressione logistica), per le tipologie di frana che presenteranno un numero di casi sufficiente a sviluppare un'analisi statistica robusta. Queste tecniche sono largamente utilizzate in letteratura scientifica, e risultano tra le più robuste ed adeguate, anche in studi comparativi. Per le classi non sufficientemente popolate, sarà necessario ricorrere ad approcci euristici o analitici, che saranno concordati dal Gruppo di Lavoro.

In una prima fase preliminare, verrà effettuata una analisi della possibile interazione tra i fattori di controllo, che sarà basata sulla verifica di effetti di multicollinearità tra le variabili indipendenti. La regressione logistica binaria, eventualmente implementata su procedure di tipo MARS (Multi-adaptive regression Splines), costituirà la metodologia di riferimento, nelle modalità applicative di tipo stepwise, per la selezione delle variabili significative. In generale, questa tecnica statistica ottimizza una funzione di correlazione multivariata tra n variabili x indipendenti (i fattori della franosità) ed una variabile dipendente, corrispondente allo stato (stabile/instabile) di ciascuna unità di mappatura (pixel/unità di versante). Per ciascuno dei fattori di controllo, la regressione fornirà una stima del coefficiente β_n di correlazione tra probabilità di condizioni di instabilità dell'unità di mappatura ed il valore assunto dalla variabile x_n , unitamente alla verifica della significatività dello stesso coefficiente.

Una relazione di somma dei prodotti dei coefficienti assegnati alle variabili per il loro valore assunto darà in ciascun pixel la stima della probabilità di riscontrare una condizione di instabilità. Questa corrisponde alla suscettibilità da frana di ciascun pixel.

$$g(x) = \log \left[\frac{P(frana)}{P(non\ frana)} \right] = \log \left[\frac{P(frana)}{1-P(frana)} \right] = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n.$$

Da questa relazione è poi possibile ricavare la probabilità (o suscettibilità) di avere una frana all'interno di una unità di mappatura, condizionata alle sue caratteristiche fisico-ambientali, secondo la

$$P(frana) = \frac{e^{\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n}}{1 + e^{\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n}}.$$

Potranno comunque adottarsi e confrontarsi modellazioni basate anche su tecniche di tipo *presence-only* del tipo Maximum Entropy (Lombardo et al., 2016a).

La validazione dei modelli sarà condotta su due livelli. In una prima fase, il modello a pixel ricavato sarà sottoposto a validazione utilizzando tecniche di cross-validazione e bootstrapping. In particolare, l'inventario delle frane sarà suddiviso, applicando selezioni random, in un dataset di calibrazione, che verrà utilizzato nella modellazione per ricavare i coefficienti di regressione e la probabilità (suscettibilità) di ciascun pixel, ed un dataset di validazione, che sarà utilizzato per verificare l'abilità previsionale del modello stesso. Quest'ultimo sarà infatti incognito al modello in fase di calibrazione. La qualità della validazione dei modelli sarà valutata sulla base di confusion matrices, utili a ricavare l'error rate ed altri indicatori di precisione basati su cut-off predefiniti (*sensitivity, specificity, recall* e *precision*), che costruendo i ROC (*Receiver Operating Curve*) plot e ricavando i relativi valori di AUC (*Area Under Curve*). Inoltre, per valutare la robustezza dei modelli, sarà anche valutata attraverso le repliche la stabilità degli indicatori di performance, così come dei coefficienti di regressione dei fattori di controllo e del loro ranking. In particolare, al fine di verificare la stabilità del modello e la sua precisione, le procedure di suddivisione dell'inventario, di calibrazione e di validazione, saranno ripetute iterativamente n volte (con n tipicamente compreso tra 50 e 100 volte), in modo che ogni volta le frane utilizzate in calibrazione siano diverse. In questo modo sarà possibile ottenere una stima della probabilità/suscettibilità pari alla media degli n valori ottenuti e dell'errore di mappatura, in termini di dispersione degli stessi valori intorno alla media.

Alla validazione del modello SUFRA50 concorrerà poi la verifica della sua capacità previsionale rispetto agli inventari di dissesti censiti in ambito SUFRA10 (vedi sezione successiva). Infatti, su una rete di bacini o settori campione opportunamente distribuiti, verrà verificata la capacità del SUFRA50 di prevedere la distribuzione delle aree stabili ed instabili censite.

Una volta validati i modelli, si procederà a caratterizzare le unità idro-morfologiche in funzione di statistiche zonali della suscettibilità dei pixel contenuti, pervenendo ad una caratterizzazione non più legata ai pixel stessi. Si costruiranno i ROC plot per la validazione della suscettibilità delle unità di mappatura, sui quali si individueranno i cut-off ottimali per la suddivisione dell'intervallo di suscettibilità 0-1, in classi (cut-off centrale e semi cut-off), utili ad un'integrazione nel PAI.

Le unità idro-morfologiche costituiscono, nella metodologia, lo strumento attraverso il quale la suscettibilità viene spazializzata nell'intorno morfodinamicamente correlato ai punti di innesco.

D.50: Restituzione modelli e integrazione nel PAI2.50

I modelli di suscettibilità saranno testati facendo riferimento a classi di suscettibilità ottimizzate in termini di performance previsionale. A queste classi, in fase di integrazione nel PAI, sarà necessario assegnare una valenza pianificatoria in termini di PAI (aree di interesse o suscettibili). Sarà la forte interazione tra gruppo SUFRA e Servizio 2 (Assetto del Territorio) dell'Autorità di Bacino a garantire che la cartografia della suscettibilità venga prodotta, utilizzando classi di suscettibilità di diretta interpretazione in termini di norme prescrittive PAI, da integrare con le indicazioni di pericolosità già ad oggi disponibili per le aree già censite. I tagli cartografici saranno restituiti in formato digitale, utilizzando la suddivisione fogli IGMI al 50.000.

La precisione delle cartografie prodotte, così come dei modelli messi a punto, sarà vincolata alla qualità e completezza dell'attuale inventario PAI, che sarà utilizzato per la calibrazione e la validazione dei modelli, per ciascuna delle tipologie previste. Inoltre, anche la precisione con la quale sono definiti i fattori di controllo potrà influenzare i risultati (ad esempio, la corretta distinzione delle differenti unità litologiche in affioramento ed il posizionamento dei confini che le separano). D'altra parte, proprio attraverso la validazione dei modelli, saranno ricavate le mappe di precisione, in grado di mettere in luce i settori nei quali il deficit di informazione

dovesse rendere il modello di suscettibilità meno stabile. Ciò nondimeno, sarà possibile integrare il SUFRA50 con l'attuale PAI, sovrapponendo la pericolosità (derivante dall'inventario PAI realizzato in scala 1:10.000) alla suscettibilità, ricavata da un'analisi al 50.000, pervenendo in questo modo ad un PAI2.50 che ingloberà al suo interno la propensione, corrispondente a siti di interesse o classi di suscettibilità, segnalando dunque potenziali futuri fenomeni franosi.

Alla luce di quanto sopra, la cartografia SUFRA50 costituirà un notevole avanzamento nelle conoscenze delle condizioni di pericolosità geomorfologica del territorio siciliano, andando a colmare un gap informativo che attualmente condiziona il PAI. Sarà dunque possibile avere una visione della propensione al dissesto, anche in aree attualmente non interessate da fenomeni censiti. Sulla base dello scenario di suscettibilità che emergerà, sarà tra l'altro possibile individuare alla scala regionale la distribuzione delle aree (bacini interi o porzioni di bacini) i cui livelli di suscettibilità, stimati al 50.000, meritino approfondimenti di studio al 10.000, così come previsto a livello comunitario dal protocollo Tier, a livello locale, dall'esperienza SUFRA. È infatti necessario sottolineare come lo strumento pianificatorio potrà eventualmente "agganciarsi" ed "affidarsi" allo scenario di propensione del tipo SUFRA10, come quella già prodotto nel progetto pilota realizzato nel bacino del Fiume Imera settentrionale.

3.2.2 SUFRA10

A.10: Layer tematici e rilevamento inventario SUFRA

Per la realizzazione del SUFRA10, sui bacini campione selezionati dal GdL (vedi paragrafo 5), sarà condotto un rilevamento sistematico delle forme di instabilità gravitativa, utilizzando tecniche di analisi remota e riconoscimento automatico su immagini satellitari, foto aeree e ortofoto, che sarà integrato da verifiche sul terreno su aree spot selezionate in modo sia random che controllato.

La classificazione utilizzata sarà in questo caso quella SUFRA di II livello (Tab. 4). I fenomeni censiti saranno anche convertiti secondo il protocollo PAI e trasformati in termini di pericolosità e rischio, in questo modo costituendo un aggiornamento dello stesso.

Per quanto riguarda i fattori di controllo, a partire dai layer già disponibili, verrà fatta una verifica del corretto posizionamento dei limiti tra i complessi litotecnici individuati, attraverso l'analisi aerofotogrammetrica, per una restituzione al 10.000. Allo stesso modo, l'analisi DEM sarà basata su layer già disponibili, aventi risoluzione metrica e sub-metrica.

[Annesso tecnico dell'Accordo di Collaborazione Autorità di Bacino - DISTEM
"Individuazione delle aree di propensione al dissesto geomorfologico -
Valutazione della suscettibilità da frana (SUFRA) in Sicilia]

B.10: Estrazione unità di mappatura ed aree diagnostiche

In analogia con quanto realizzato al B.50, verranno estratte le unità di mappatura adeguate alla risoluzione dell'analisi, ricorrendo a pixel da 2-10m e unità di versante (LCL_SLU; Martinello et al., 2020) per l'analisi e la spazializzazione della suscettibilità.

Anche le aree diagnostiche saranno ricavate analogamente a quanto fatto per il livello 50 (B.50), ma prevedendo, per le SLU, una verifica manuale dei confini delle stesse.

C.10: Analisi di suscettibilità e validazione

L'analisi di suscettibilità e la validazione dei modelli utilizzerà approcci analoghi a quelli di cui al C.50, fatte salve le differenze di layer tematici, inventari frane, unità di mappatura ed area diagnostica, di cui alla Tabella 2.

D.10: Restituzione modelli e integrazione nel PAI2.10

I modelli di suscettibilità SUFRA10 saranno restituiti in formato digitale, utilizzando la suddivisione delle sezioni C.T.R. al 10.000.

Le classi di suscettibilità nelle quali sarà suddiviso il territorio regionale corrisponderanno a 4 differenti livelli di propensione sui quali l'AdB Sicilia potrà definire norme attuative e prescrittive. A titolo esemplificativo, ferma restando la possibilità per il GdL SUFRA di calibrare in modo più efficace lo schema proposto, per il progetto pilota del Fiume Imera settentrionale sono state adottate le differenziazioni di seguito descritte.

Le aree prive di alcuna caratterizzazione (per le quali, dunque, il PAI non prevede attualmente alcuna forma di studio, approfondimento o vincolo) saranno riclassificate in:

S0: aree a suscettibilità da bassa a nulla (di fatto, confermate come P0);

S1: aree a suscettibilità medio-bassa (interventi su queste aree sono subordinati alla redazione di una relazione geomorfologica, che includa una carta degli eventuali dissesti in scala 1:10.000);

S2: aree a suscettibilità medio-elevata (interventi su queste aree sono subordinati alla redazione di una relazione geomorfologica, che includa una carta dei dissesti in scala 1:10.000, una carta della pendenza a cella 10m ed una carta geologica in scala 1:10.000; la relazione deve discutere criticamente dei fattori e delle condizioni di propensione al dissesto);

S3: aree a suscettibilità elevata (interventi su queste aree sono subordinati alla redazione di una relazione geomorfologica e geotecnica, che includa una carta dei dissesti in scala 1:10.000, una carta della pendenza a cella 10m ed una carta geologica in scala 1:10.000, unitamente alle verifiche di stabilità sui profili dei versanti interessati; la discussione critica dei fattori e delle condizioni di propensione al dissesto dovrà entrare nel merito della procedura di valutazione SUFRA50, dimostrando, la difformità tra la suscettibilità stimata al 50.000 e le condizioni reali dei versanti interessati, osservati alla scala 1:10.000).

In Figura 3 viene mostrato un esempio di cartografia della suscettibilità ottenuto per un settore del bacino del Fiume Imera settentrionale (Martinello et al., 2020).

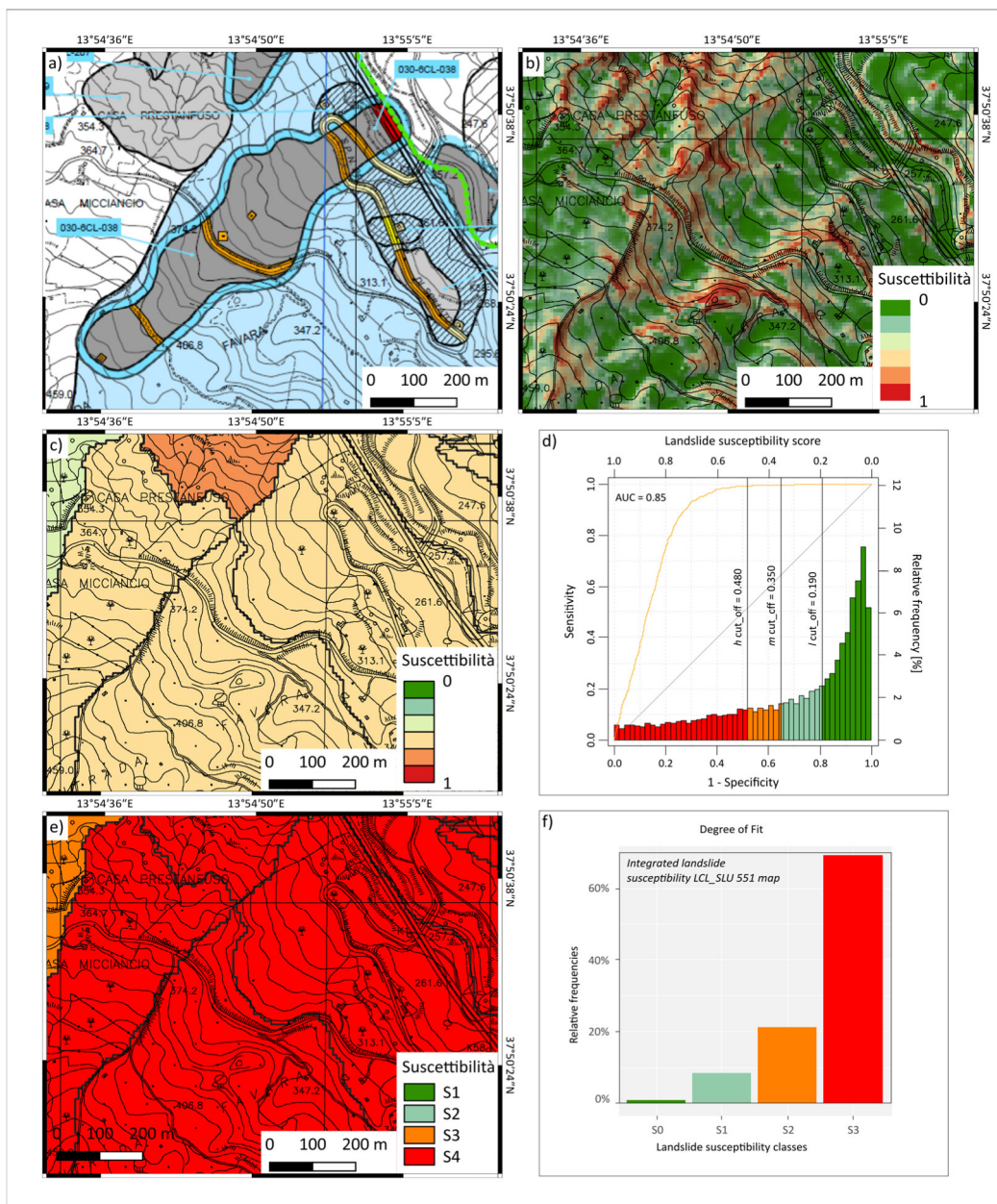


Fig. 3 - Visualizzazione attraverso gli output del protocollo realizzativo SUFRA10 per l'applicazione pilota realizzata nel bacino del Fiume Imera settentrionale: a) attuale rappresentazione nel PAI; b) carta a pixel della suscettibilità da attivazione; c) spazializzazione dentro le unità di versante (SLU) della suscettibilità; d) validazione delle SLU ed individuazione dei cut-off ottimali per la riclassificazione; e) carta della suscettibilità a SLU riclassificate; f) validazione del modello finale.

3.2.3 TRASFERIMENTO E DISSEMINAZIONE

Il progetto SUFRA prevede il trasferimento integrale da parte dell'Università di tutti i dati, dei protocolli metodologici e dei risultati ricavati. Il DISTEM ed il gruppo di ricerca SUFRA potranno d'altra parte utilizzare tutti i dati e i modelli esclusivamente a fini scientifici (tesi di laurea, di laurea magistrale e di dottorato, nonché ricerche e pubblicazioni). Allo stesso tempo, proprio per la natura di frontiera degli studi e delle ricerche che verranno condotte, i risultati territoriali

[Annesso tecnico dell'Accordo di Collaborazione Autorità di Bacino - DISTEM
"Individuazione delle aree di propensione al dissesto geomorfologico -
Valutazione della suscettibilità da frana (SUFRA) in Sicilia]

e metodologici prodotti nell'ambito del progetto saranno oggetto di confronto tecnico-scientifico in occasione di seminari, workshop, convegni, pubblicazione di articoli e report. Sul fronte del trasferimento, inoltre, saranno realizzati tre workshop di progetto presso AdB Sicilia aperti a tutti i soggetti (enti regionali e comunali, università, centri di ricerca e mondo delle professioni) a vario titolo coinvolti nelle attività di pianificazione, gestione e prevenzione del dissesto idrogeologico: uno in apertura, di presentazione metodologica; uno a metà progetto, di presentazione del SUFRA50; uno di chiusura, di presentazione finale di tutti i risultati.

4. PRODOTTI

Al termine del progetto SUFRA saranno realizzati i seguenti prodotti.

Per l'intero territorio regionale (con l'esclusione delle aree urbanizzate o centri abitati ISTAT):

- SUFRA50
 - SUFRA50-CTRL: layer dei fattori di controllo della franosità (VECTOR/RASTER);
 - SUFRA50-PIX: per ogni tipologia, carta di suscettibilità, su pixel da 10/25m (Fogli al 50.000 in formato raster e PDF);
 - SUFRA50-UIM: per ogni tipologia, carta della suscettibilità su Unità Idro-Morfologiche (Fogli al 50.000 in formato raster e PDF);
 - PAI2.50: per ogni tipologia, carta della suscettibilità su Unità Idro-Morfologiche integrata con pericolosità da PAI (Fogli al 50.000 in formato raster e PDF);
 - Relazione tecnica SUFRA50 (contenente il protocollo metodologico finale).

- SUFRA 10 Per i bacini/settori test (estensione totale pari a 1200km² o 30 sezioni al 10.000)
 - SUFRA10-INV: inventario dei fenomeni censiti;
 - SUFRA10-CTRL: layer dei fattori di controllo della franosità (VECTOR/RASTER);
 - SUFRA10-PIX: per ogni tipologia, carta di suscettibilità, su pixel da 2/10m (Sezioni al 10.000 in formato raster e PDF);
 - SUFRA10-LCL_SLU: per ogni tipologia, carta della suscettibilità su Unità Idro-Morfologiche (Sezioni al 10.000 in formato raster e PDF);
 - PAI2.10: per ogni tipologia, carta della suscettibilità su Unità Idro-Morfologiche integrata con pericolosità da PAI (Sezioni al 10.000 in formato raster e PDF);
 - Relazione tecnica SUFRA10 (contenente il protocollo metodologico finale).

Tutti i dati e le elaborazioni parziali, nonché i layout dei prodotti tecnici finali (Mappe di suscettibilità e mappe integrate PAI 2) saranno definiti e restituiti in formato digitale (raster/vector/pdf), per la stampa o il download, in modo da rendere immediatamente accessibili ed aggiornabili tutti gli strati informativi (inventario frane, layer dei fattori di controllo, layer della suscettibilità e della pericolosità), così come da parte di tutti gli operatori coinvolti (pubblici e privati). I prodotti potranno infatti essere direttamente caricati sul sistema informativo territoriale regionale (SITR).

5. DOTAZIONE DI PERSONALE E STRUMENTALE

Il progetto SUFRA sarà realizzato da un Gruppo di Lavoro misto (GdL), che si costituirà all'indomani dell'avvio delle attività, con la partecipazione di componenti di AdB Sicilia e del DiSTeM, sulla scorta di quanto già avvenuto in occasione delle precedenti esperienze di attività di collaborazione scientifica. Le ricerche saranno dunque svolte in sinergia tra AdB Sicilia e DiSTeM, dal gruppo di lavoro partecipato dai responsabili dei due Enti.

La strumentazione specifica che sarà messa a disposizione da DISTEM per le attività comprende:

- strumentazione e rete informatica;
- workstation di calcolo ad alte prestazioni;
- laboratorio SUFRA (Geomorfologia applicata);
- software GIS e di analisi statistica;
- n. 2 mezzi di trasporto 4x4;
- n. 2 plotter;
- software GIS.

I dati che saranno messi a disposizione dall'AdB Sicilia comprendono:

- dati e inventari frane e dissesti
- modelli digitali di terreno
- cartografie tematiche e coperture aerofotogrammetrie di base già disponibili.

6. CRONOPROGRAMMA

I tempi per la realizzazione del progetto SUFRA50 vengono qui fissati in 24 mesi, a partire dal giorno di erogazione del contributo finanziario a DISTEM da parte di AdB Sicilia. Tuttavia,

l'organizzazione delle attività, prevede una attività a step di completamento, in modo che già a partire dal terzo bimestre, potranno essere via via valutati i primi bacini (inizialmente in scala 1:50.000), in questo modo verificando all'interno del Gruppo di lavoro tutti gli aspetti connessi con la piena realizzazione del progetto.

			MESE											
			2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
SUFRA50 (Territorio Regionale)	Layer tematici e pre-processing inventario PAI	A₅₀	X	X	X									
	Estrazione unità di mappatura ed aree diagnostiche	B₅₀		X	X	X	X							
	Analisi di suscettibilità e validazione	C₅₀			X	X	X	X						
	Restituzione modelli e cartografia	D₅₀					X	X						
SUFRA10 (Bacini/settori pilota)	Layer tematici e rilevamento inventario SUFRA	A₁₀		X	X	X	X	X	X					
	Estrazione unità di mappatura ed aree diagnostiche	B₁₀					X	X	X	X				
	Analisi di suscettibilità e validazione	C₁₀						X	X	X	X			
	Restituzione modelli e cartografia	D₁₀										X	X	X
TRASFERIMENTO E DISSEMINAZIONE	Workshop, convegni, seminari, report, pubblicazioni	E	X					X						X
	Redazione linee guida	F						X						X

Tab. 5 – Cronoprogramma del progetto SUFRA.

7. COSTI

Per quanto riguarda i costi a carico dell'AdB Sicilia, questi sono costituiti da € 250.000,00 euro per il ristoro delle spese sostenute dal DiSTeM per lo svolgimento delle attività in programma a valere sui fondi PAC linea 5.B.6 – A3 (tabelle 6, 7 e 8) e da € 29.960,00 quale valore dell'impegno di risorse umane nel progetto (tabella 9).

Per quanto concerne le spese a valere sui fondi PAC, i costi relativi al personale, sono stati calcolati sulla base delle disposizioni minime riguardanti contratti di ricercatore a tempo determinato di tipo A, di assegnista di ricerca o borse di studio anche per dottorandi (art. 22 e 24 della legge 30 dicembre 2010 n. 240). Infine, per il ricercatore a tempo determinato di tipo A, fissato dall'art. 24 c. 3 lett. A) Legge 240/10 è pari a 4.134 euro/mese uomo.

In particolare, per quanto riguarda le posizioni di assegnista, queste prevedono un costo annuo di 26.000,00 al lordo degli oneri a carico dell'assegnista, equivalenti a 2.200 euro/mese. Per quanto riguarda i borsisti, in accordo con quanto previsto dal regolamento per l'assegnazione di borse post-lauream dell'Università degli Studi di Palermo (190/2015), viene prevista una borsa mensile di 1.440 euro. Nel caso di cofinanziamento di borse di dottorato, queste incidono per 1.800 euro mensili.

	COSTO MENSILE	MESI PERSONA	Costo (Euro)
ASSEGNISTI	2200	36	€79.200,00
DOTTORANDI (COFIN)	1800	24	€43.200,00
BORSISTA	1200	48	€57.600,00
TOTALE Personale (borsisti/assegnisti/ricercatori a tempo determinato)			€180.000,00
Altre spese rendicontabili connesse con la realizzazione delle attività del progetto: spese per viaggio/missioni, acquisto/noleggio attrezzature, spese per riunioni, servizi esterni.			€70.000,00
TOTALE (a carico dell'AdB, a valere sulle risorse stanziati dal PAC linea 5b6, per ristoro delle spese effettuate da DISTEM per lo svolgimento delle attività in programma)			€250.000,00

Tab. 6 – Piano finanziario dei costi del progetto a valere sui fondi PAC Sicilia 2007-2013 III fase - linea 5B6 – Sottazione A3

Nella tabella 6 sono anche contabilizzate le spese da sostenere a fronte di **costi indiretti**, legati a materiale di consumo, missioni, riunioni scientifiche e di coordinamento, stampe, spese postali, spese di ammortamento/noleggio strumentazione e mezzi, spese legate alla realizzazione dei sopralluoghi, spese per consulenze e servizi esterni.

Nel dettaglio, nelle tabelle 7 e 8 è riportata la valutazione analitica dei costi relativi alle risorse umane da assumere su progetto.

N° Personale esterno	Anno	Qualifica personale	mesi persona/anno										Totale
			A50	B50	C50	D50	A10	B10	C10	D10	E	F	
2	21/22	Assegnista		2	3	1	2	2	5	1	1	1	18
2	21/22	Dottoranda/o		1	1	1	1	1	2	1			8
3	21/22	Borsista	2	4	4	2	3	2	3	1	1	1	23
2	22/23	Assegnista		1	2	1	2	2	6	2	1	1	18
2	22/23	Dottoranda/o	2	2	2	2	2	2	2	2			16
3	22/23	Borsista	2	3	3	3	3	3	3	3	1	1	25
Totale per Attività			A50	B50	C50	D50	A10	B10	C10	D10	E	F	Totale
			6	13	15	10	13	12	21	10	4	4	108

Tab. 7 – Dettaglio mesi per personale esterno specificatamente coinvolto da DISTEM per la realizzazione del progetto.

N° Personale esterno	Anno	Qualifica personale	costi/anno										Totale
			A50	B50	C50	D50	A10	B10	C10	D10	E	F	
2	21/22	Assegnista	0	4400	6600	2200	4400	4400	11000	2200	2200	2200	39600
2	21/22	Dottoranda/o	0	1800	1800	1800	1800	1800	3600	1800	0	0	14400
3	21/22	Borsista	2400	4800	4800	2400	3600	2400	3600	1200	1200	1200	27600
2	22/23	Assegnista	0	2200	4400	2200	4400	4400	13200	4400	2200	2200	39600
2	22/23	Dottoranda/o	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	0	0	28800
3	22/23	Borsista	2400	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	1200	1200	30000
Totale per Attività			A50	B50	C50	D50	A10	B10	C10	D10	E	F	Totale
			8400	20400	24800	15800	21400	20200	38600	16800	6800	6800	180000

Tab. 8 – Dettaglio costi per personale esterno specificatamente coinvolto da DISTEM per la realizzazione del progetto.

Il numero di unità impiegate per lo stesso profilo professionale potrà variare in relazione alle fasi del progetto, nel caso rimodulando il numero di mesi di borsa, rimanendo dunque invariato l'importo complessivo indicato in tabella relativamente a ciascuna attività.

Per quanto riguarda l'impegno di risorse umane interne all'Autorità di Bacino, queste saranno determinate così come da tabella 9.

N. unità personale	Qualifica	Costo orario [€]	Anno	ore/uomo anno					Costo personale				Costo totale personale (euro/anno)
				Fase A50	Fase A10	Fase E	Fase F	Totale	Fase A50	Fase A10	Fase E	Fase F	
1	Dirigente	43,42	21/22	10	30	10	10	60	434	1.303	434	434	2.605
1	Dirigente	43,42	22/23	70	140	30	70	310	3.039	6.079	1.303	3.039	13.460
Totale 2021/2023				80	170	40	80	370	3.474	7.381	1.737	3.474	16.065
1	Funzionario	15,88	21/22	70	150	35	65	320	1.112	2.382	556	1.032	5.082
1	Funzionario	15,88	22/23	140	300	40	75	555	2.223	4.764	635	1.191	8.813
Totale 2021/2023 (Funzionario)				210	450	75	140	875	3.335	7.146	1.191	2.223	13.895
Totale 2021/2023 (Dirigente+Funzionario)				290	620	115	220	1245	6.808	14.527	2.928	5.697	29.960

Tabella 9 – Valutazione costo impegno risorse umane a carico dell'Autorità di Bacino.

Per quanto riguarda l'onere finanziario a carico del DiSTeM (33.000,00 euro) questo deriverà dal seguente impegno di risorse umane interne (tab. 10).

Docente	Qualifica	Ore persona (h)	Costo orario (€/h)	Costi (€)
Prof. V. Agnesi	Professore Ordinario TP - Cl. VI	50	71.45	3572
Prof. E. Rotigliano	Professore Ordinario TP - Cl. 0	250	54.19	13547
Prof. C. Di Maggio	Professore associato TP - Cl. III	95	44.52	4230
Prof. C. Conoscenti	Professore associato TP Cl. I	107	40.41	4324
Dr. G. Madonia	Ricercatore a tempo indeterminato - Cl. III	100	33.63	3363
Dr. C. Cappadonia	Ricercatore a tempo determinato tipologia B	152	26.08	3965
Totale a carico del DISTEM				33000

Tab. 10 – Riepilogo costi personale DISTEM.

Nelle seguenti tabelle 11 e 12 viene dettagliata la distribuzione in termini di ore persona e di costi sulle attività del progetto.

N° unità Personale DISTEM	Qualifica	Anno	ore persona/anno per attività												Costo ora	Costo totale personale DISTEM (€/anno)	Stipendio annuo lordo	% su stipendio lordo annuo
			A50	B50	C50	D50	A10	B10	C10	D10	E	F	Totale					
1	Professore Ordinario TP - CL. VI	21/22	6	4	8	8	4	4	4	4	4	4	50	71.45	3572 €	122888 €	2.9%	
1	Professore Ordinario TP - CL. VI	22/23											0		0 €		0.0%	
Totale			6	4	8	8	4	4	4	4	4	4	50		3572 €			
1	Professore Ordinario TP - CL. 0	21/22	10	10	20	10	10	10	20	20	10	10	130	54.19	7044 €	93200 €	7.6%	
1	Professore Ordinario TP - CL. 0	22/23	5	5	20	10	10	10	20	20	10	10	120		6502 €		7.0%	
Totale			15	15	40	20	20	20	40	40	20	20	250		13547 €			
1	Professore associato TP - CL. III	21/22	4	4	8	4	4	8	6	4	2	2	46	44.52	2048 €	76577 €	2.7%	
1	Professore associato TP - CL. III	22/23	4	4	8	4	4	8	6	4	3	4	49		2182 €		2.8%	
Totale			8	8	16	8	8	16	12	8	5	6	95		4230 €			
2	Professore associato TP CL. I	21/22	4	4	6	8	4	6	6	10	2	2	52	40.41	2101 €	69505 €	3.0%	
2	Professore associato TP CL. I	22/23	4	4	6	8	4	6	6	10	3	4	55		2223 €		3.2%	
Totale			8	8	12	16	8	12	12	20	5	6	107		4324 €			
1	Ricercatore a tempo indeterminato - CL. III	21/22	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40	33.63	1345 €	57851 €	2.3%	
1	Ricercatore a tempo indeterminato - CL. III	22/23	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	60		2018 €		3.5%	
Totale			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100		3363 €			
1	Ricercatore a tempo determinato B	21/22	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	75	26.08	1956 €	44864 €	4.4%	
1	Ricercatore a tempo determinato B	22/23	5	5	5	5	5	10	10	10	10	12	77		2008 €		4.5%	
Totale			10	10	10	10	10	20	20	20	20	22	152		3965 €			
Totale per Attività			A50	B50	C50	D50	A10	B10	C10	D10	E	F	Totale		TOTALE	€ 33000		
			47	45	86	62	50	72	88	92	54	58	654					

Tab. 11 – Dettaglio ore persona per il personale DISTEM coinvolto per la realizzazione del progetto.

N° unità Personale e DISTEM	Qualifica	Anno	ore persona/anno per attività										
			A50	B50	C50	D50	A10	B10	C10	D10	E	F	Totale
1	Professore Ordinario TP - Cl. VI	21/22	429 €	286 €	572 €	572 €	286 €	286 €	286 €	286 €	286 €	286 €	3572 €
1	Professore Ordinario TP - Cl. VI	22/23	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Totale			429 €	286 €	572 €	572 €	286 €	286 €	286 €	286 €	286 €	286 €	3572 €
1	Professore Ordinario TP - Cl. 0	21/22	542 €	542 €	1084 €	542 €	542 €	542 €	1084 €	1084 €	542 €	542 €	7044 €
1	Professore Ordinario TP - Cl. 0	22/23	271 €	271 €	1084 €	542 €	542 €	542 €	1084 €	1084 €	542 €	542 €	6502 €
Totale			813 €	813 €	2167 €	1084 €	1084 €	1084 €	2167 €	2167 €	1084 €	1084 €	13547 €
1	Professore associato TP - Cl. III	21/22	178 €	178 €	356 €	178 €	178 €	356 €	267 €	178 €	89 €	89 €	2048 €
1	Professore associato TP - Cl. III	22/23	178 €	178 €	356 €	178 €	178 €	356 €	267 €	178 €	134 €	178 €	2182 €
Totale			356 €	356 €	712 €	356 €	356 €	712 €	534 €	356 €	223 €	267 €	4230 €
2	Professore associato TP Cl. I	21/22	162 €	162 €	242 €	323 €	162 €	242 €	242 €	404 €	81 €	81 €	2101 €
2	Professore associato TP Cl. I	22/23	162 €	162 €	242 €	323 €	162 €	242 €	242 €	404 €	121 €	162 €	2223 €
Totale			323 €	323 €	485 €	647 €	323 €	485 €	485 €	808 €	202 €	242 €	4324 €
1	Ricercatore a tempo indeterminato - Cl. III	21/22	135 €	135 €	135 €	135 €	135 €	135 €	135 €	135 €	135 €	135 €	1345 €
1	Ricercatore a tempo indeterminato - Cl. III	22/23	202 €	202 €	202 €	202 €	202 €	202 €	202 €	202 €	202 €	202 €	2018 €
Totale			336 €	336 €	336 €	336 €	336 €	336 €	336 €	336 €	336 €	336 €	3363 €
1	Ricercatore a tempo determinato B	21/22	130 €	130 €	130 €	130 €	130 €	261 €	261 €	261 €	261 €	261 €	1956 €
1	Ricercatore a tempo determinato B	22/23	130 €	130 €	130 €	130 €	130 €	261 €	261 €	261 €	261 €	313 €	2008 €
Totale			261 €	261 €	261 €	261 €	261 €	522 €	522 €	522 €	522 €	574 €	3965 €
Totale per Attività			A50	B50	C50	D50	A10	B10	C10	D10	E	F	Totale
			€ 2182	€ 2039	€ 4197	€ 2919	€ 2310	€ 3088	€ 3994	€ 4139	€ 2316	€ 2453	€ 33000

Tab. 12 – Dettaglio costo persona per il personale DISTEM coinvolto per la realizzazione del progetto.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Agnesi, V., Angileri, S.E., Arnone, G., Cali, M., Calvi, F., Cama, M., et al. (2012a). A multi-scale regional landslide susceptibility assessment approach: the SUFRA_SICILIA (SUscettibilità da FRAna in Sicilia) project. In, 7th EUropean Congress on REgional GEOscientific Cartography and Information Systems (EUREGEO) Proceedings. BOLOGNA : Servizio Geologico Sismico e dei Suoli of Regione Emilia-Romagna.
- Agnesi, V., Angileri, S.E., Arnone, G., Cali, M., Calvi, F., Cama, M., et al. (2012b). Un approccio multi-scala per la valutazione della suscettibilità da frana a livello regionale: il progetto SUFRA (SUscettibilità da FRAna) in Sicilia. In IV Convegno Nazionale AIGeo “La geomorfologia del nuovo millennio tra cambiamenti climatici, velocità dei processi ed eventi estremi”, Volume degli abstract. PALERMO : Associazione Italiana di Geologia Applicata e Ambientale (AIGA).
- Brabb, E.E., 1984. Innovative approaches to landslide hazard mapping. Proceedings of the IV International Symposium of Landslides. Canadian Geotechnical Society, Toronto, Canada, pp. 307–324. vol. 1.
- Cama, M., Lombardo, L., Conoscenti, C., Agnesi, V., Rotigliano, E. (2015) Predicting storm-triggered debris flow events: application to the 2009 Ionian Peloritan disaster (Sicily, Italy). Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15, 1785–1806; doi:10.5194/nhess-15-1785-2015.
- Cama M., Conoscenti C., Lombardo L., Rotigliano E. (2016). Exploring relationships between grid cell size and accuracy for debris-flow susceptibility models: a test in the Giampilieri catchment (Sicily, Italy). Environmental Earth Sciences, vol. 75, ISSN: 1866-6280, doi: 10.1007/s12665-015-5047-6
- Cama, M., Lombardo, L., Conoscenti, C., Rotigliano, E. (2017) - Improving transferability strategies for debris flow susceptibility assessment. Application to the Saponara and Itala catchments (Messina, Italy). Geomorphology: 288, 52-65
- Carrara, A., 1988. Multivariate models for landslide hazard evaluation. A “Black Box” Approach. Workshop on Natural Disasters in European Mediterranean Countries. CNR-US NFS, Perugia, Italy, pp. 205–224.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., Reichenbach, P. (1991) GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. Earth Surf Process Landforms 16:427–445
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F. (1995) GIS technology in mapping landslide hazard. In: Carrara A, Guzzetti F (eds) Geographical information systems in assessing natural hazards. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, pp 135–175
- Chung CJ, Fabbri AG (2003) Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. Natural Hazards 30(3):451–472.
- Conoscenti C, Di Maggio C, Rotigliano E (2008). Gis-analysis to assess landslide susceptibility in a fluvial basin of NW Sicily (Italy). Geomorphology, vol. 94, p. 325-339.
- Conoscenti C, Ciaccio M, Caraballo-Arias N, Gómez-Gutiérrez Á, Rotigliano E, Agnesi V (2015). Assessment of susceptibility to earth-flow landslide using logistic regression and multivariate adaptive regression splines: A case of the Belice River basin (western Sicily, Italy). Geomorphology, vol. 242, p. 49-64, ISSN: 0169-555X, doi: 10.1016/j.geomorph.2014.09.020
- Costanzo D, Chacón J, Conoscenti C, Irigaray C, Rotigliano E (2014). Forward logistic regression for earth-flow landslide susceptibility assessment in the Platani river basin (southern Sicily, Italy). Landslides, vol. 11, p. 639-653.
- Costanzo D, Cappadonia C, Conoscenti C, Rotigliano E (2012). Exporting a Google Earth™ aided earth flow susceptibility model: a test in central Sicily. Natural Hazards, vol. 61, p. 103-114.
- Costanzo D, Rotigliano E, Irigaray C, Jiménez-Perálvarez JD, Chacón J (2012). Factors selection in landslide susceptibility modelling on large scale following the GIS matrix method: application to the river Beiro basin (Spain). Natural Hazards And Earth System Sciences, vol. 12, p. 327-340.
- [Annesso tecnico dell’Accordo di Collaborazione Autorità di Bacino - DISTEM
“Individuazione delle aree di propensione al dissesto geomorfologico -
Valutazione della suscettibilità da frana (SUFRA) in Sicilia]

- Frattini, P., Crosta, G., Carrara, A. (2010) Techniques for evaluating the performance of landslide susceptibility models. *Engineering Geology*, 111: 62-72.
- Guzzetti F, Carrara A, Cardinali M, Reichenbach P (1999) Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology* 31:181–216
- Guzzetti F, Reichenbach P, Ardizzone F, Cardinali M, Galli M (2006) Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology* 81(1–2):166–184
- Frattini P, Crosta G, Carrara A (2010) Techniques for evaluating the performance of landslide susceptibility models. *Eng Geol* 111(1–4):62–72.
- Lombardo L, Cama M, Märker M, Rotigliano E (2014). A test of transferability for landslides susceptibility models under extreme climatic events: application to the Messina (Italy) disaster 2009. *Natural Hazards*, 74, 1951-1989.
- Lombardo L., Cama M., Conoscenti C., Märker M., Rotigliano E. (2015). Binary logistic regression versus stochastic gradient boosted decision trees in assessing landslide susceptibility for multiple-occurring landslide events: application to the 2009 storm event in Messina (Sicily, southern Italy). *Natural Hazards*, vol. 79, p. 1621-1648, ISSN: 0921-030X, doi: 10.1007/s11069-015-1915-3
- Lombardo L., Bachofer F., Cama M., Märker M., Rotigliano E. (2016). Exploiting Maximum Entropy method and ASTER data for assessing debris flow and debris slide susceptibility for the Giampilieri catchment (north-eastern Sicily, Italy). *Earth surface processes and landforms*, vol. 41, p. 1776-1789, ISSN: 0197-9337, doi: 10.1002/esp.3998
- Martinello, C., Cappadonia, C., Conoscenti, C., Agnesi, V., Rotigliano, E., 2020. Optimal slope units partitioning in landslide susceptibility mapping. *J. Maps* 0, 1–11. doi:10.1080/17445647.2020.1805807
- Rotigliano E, Agnesi V, Cappadonia C, Conoscenti C (2011). The role of the diagnostic areas in the assessment of landslide susceptibility models: a test in the sicilian chain. *Natural Hazards*, vol. 58, p. 981-999.
- Rotigliano E, Cappadonia C, Conoscenti C, Costanzo D, Agnesi V (2012). Slope units-based flow susceptibility model: using validation tests to select controlling factors. *Natural Hazards*, vol. 61, p. 143-153.
- Rotigliano, E., Agnesi, V., Angileri, S.E., Arnone, G., Cali, M., Calvi, F., et al. (2013). Multi-scale regional landslide susceptibility assessment in Sicily (Italy): The Sufra Sicilia Project. In 8th International conference on Geomorphology, Paris, Abstracts volume.
- Rotigliano, E., Martinello, C., Agnesi, V., Conoscenti, C., 2018. Evaluation of debris flow susceptibility in El Salvador (CA): a comparison between Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) and Binary Logistic Regression (BLR). *Hungarian Geogr. Bull.* 67, 361–373. doi:10.15201/hungeobull.67.4.5
- Rotigliano, E., Martinello, C., Hernández, M.A., Agnesi, V., Conoscenti, C., 2019. Predicting the landslides triggered by the 2009 96E/Ida tropical storms in the Ilopango caldera area (El Salvador, CA): optimizing MARS-based model building and validation strategies. *Environ. Earth Sci.* 78. doi:10.1007/s12665-019-8214-3
- Vargas-Cuervo, G., Rotigliano, E., Conoscenti, C., 2019. Prediction of debris-avalanches and -flows triggered by a tropical storm by using a stochastic approach: An application to the events occurred in Mocoa (Colombia) on 1 April 2017. *Geomorphology* 339, 31–43. doi:10.1016/j.geomorph.2019.04.023
- Varnes, D.J., 1984. IAEG Commission on Landslides and Other Mass- Movements. *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice*. UNESCO Press, Paris, p. 176.