

APPENDICE A2 – Indicazioni operative per la Carta delle MOPS e programmazione nuove indagini

A2.1 - Omogeneizzazione dei dati da inventari (PAI, IFFI, ...) ai fini della redazione della Carta delle MOPS – livello 1 (a cura della Regione Liguria)

L'obiettivo fondamentale del livello 1 di MS è l'identificazione delle aree in frana e delle eventuali aree potenzialmente franose¹, rimandando al livello di approfondimento superiore (Carta MS - livello 3) la valutazione della possibilità di mobilitazione dinamica con forzante sismica.

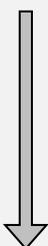
Questo obiettivo viene perseguito utilizzando elementi informativi minimi, intendendo, tra questi, le informazioni relative alle caratteristiche del sottosuolo già utilizzate per la redazione della carta CGT_MS ed il quadro dei dissesti desumibile dalle carte inventario dei fenomeni franosi.

Con riferimento ai dati derivanti da inventari frane, si osserva che, per un determinato territorio, gli studi che determinano il riconoscimento dei fenomeni di instabilità di versante sono molteplici: PAI, IFFI, Studi regionali, Studi di dettaglio per Piani Urbanistici, Studi a supporto della cartografia Geologica, ecc. (Tab. A2_1). Questi studi sono spesso realizzati con tempistiche e finalità diverse, che vanno dalla conoscenza geologica s.l. alla costruzione del quadro di indirizzo dei piani direttori, e presentano così, anche rispetto alla disciplina d'uso del suolo ad essi connessa, un grado di coerenza differente.

Risulta pertanto opportuno/necessario assicurare l'allineamento del tematismo *'aree interessate da instabilità di versante - frane'* rappresentate nella carta delle MOPS rispetto alle cartografie che producono vincoli territoriali, nello specifico la Carta di Suscettività d'uso dello strumento urbanistico o la cartografia di pericolosità del PAI; ciò per non ingenerare confusione nel quadro di pericolosità o contraddittorietà nell'applicazione dei vincoli normativi.

Al momento della definizione del quadro dei dissesti di versante della carta delle MOPS si dovrà pertanto verificare la coerenza reciproca dei dati provenienti dalle varie fonti considerate e laddove sorgano incongruità (es. perimetrazioni o stati di attività diversi per lo stesso corpo di frana tra le fonti conoscitive utilizzate) occorrerà pervenire ad una sintesi e, qualora necessario, provvedere, anche, all'aggiornamento dei piani direttori.

A tal riguardo occorre rimarcare come l'obiettivo del lavoro non sia quello di una revisione o di una valutazione di qualità delle fonti, quindi prioritariamente bisogna ricondursi ad una delle geometrie già presenti, piuttosto che introdurne di nuove, seguendo un ordine gerarchico tra le fonti in ragione dei vincoli d'uso del territorio che queste producono, sulla base di un criterio di seguito espresso:

	TIPO FONTE	DATI DI RIFERIMENTO	NOTA
	Piano di Bacino	perimetro e stato di attività	-
	Strumento Urbanistico Comunale	perimetro e stato di attività	subordinati a quanto indicato dal PdB vigente
	Censimento IFFI	perimetrazione	stato di attività a conferma delle fonti gerarchiche superiori; nel caso di incongruenze il dato IFFI sempre in subordine
	Progetto CARG CGR (Cartografia Geologica regionale)	perimetrazione	definizione dello stato di attività non coerente con gli altri strumenti

Tab. A2_1 – Tipi di fonte e altre informazioni in inventari e altri documenti.

¹ La definizione ed il riconoscimento delle aree potenzialmente franose sono trattati in un'altra appendice tecnica della presente Linea Guida.

Il processo analitico attraverso cui pervenire ad una omogeneizzazione dei dati da inventario si concretizza nell'identificazione, su base geomorfologica, del corpo di frana ovvero del perimetro di frana che presenta il maggior grado di coerenza rispetto ai caratteri morfologici distintivi di un fenomeno franoso (indicatori cinematico-morfologici), poiché un fenomeno franoso si manifesta sul territorio tramite *Indicatori Geomorfologici*, quali la presenza di scarpate, sconvolgimento del sistema di drenaggio, assenza di sviluppo di suolo, ecc., la presenza, o assenza, di tali evidenze rappresenta un punto fondamentale qualora si voglia intraprendere una procedura perimetrazione ex novo o di revisione/verifica della stessa.

Omogeneizzazione dei dati, fasi di lavoro

Le attività da svolgersi per giungere all'omogeneizzazione dei dati da inventari diversi sono di seguito elencate:

- prima fase, raccolta dati bibliografici inerenti la distribuzione dei fenomeni franosi nel territorio di indagine, avendo come riferimento fonti conoscitive che rivestono carattere ufficiale nel panorama nazionale e/o regionale;
- seconda fase, allineamento cartografico dei dati, producendo la cosiddetta "carta di insieme" che riporta, appunto, le perimetrazioni, derivanti dalle diverse fonti, su un layer informativo unico ² e permette di evidenziare le eventuali situazioni di incongruità;
- terza fase, identificazione del perimetro di frana, tra quelli presenti, che *i*) si presenta come un corpo geomorfologico unitario ed omogeneo e che *ii*) a suo interno presenta la maggior ricorrenza di indicatori cinematico-morfologici. In questa fase si provvederà a svolgere l'analisi fotointerpretativa (multitemporale) e le verifiche di campagna.

Nel caso in cui la carta di insieme riporti un'unica perimetrazione si provvede ad una conferma 'di default' della perimetrazione, e dello stato di attività, delle fonti gerarchicamente superiori (PdB e PRG) e ad una verifica di massima delle altre tenendo presente il principio di coerenza ed allineamento relativo delle diverse fonti a seguito del trasferimento della perimetrazione nella carta di sintesi dello studio di MS.

Riconoscimento Indicatori Cinematici

L'analisi geomorfologica si basa sul riconoscimento, per il corpo di frana in esame, della presenza di indicatori geomorfologici (*I_i*), cioè quegli elementi che per la loro natura danno indicazioni di un movimento presente e/o passato. Nell'ambito di questo studio gli indicatori considerati, in parte ripresi da Crozier (1986), sono i seguenti:

- ✓ I1: Evidenza di scarpate con bordi netti, rotture di pendio, fessurazioni fratture ;
- ✓ I2: Nette variazioni di pendenza lungo il profilo longitudinale del versante e/o anomalie topografiche (depressioni, contropendenze);
- ✓ I3: Sconvolgimento e/o disordine del sistema di idrografico, ristagni d'acqua, depressioni a drenaggio interno, deviazioni dell'alveo fluviale;
- ✓ I4: Assenza di sviluppo di suolo e/o di affioramenti di substrato; nel caso di affioramenti di litotipi riconducibili al substrato geologico possono essere elementi indicativi di deformazione gravitativa la presenza di intensa fratturazione e deformazione e un assetto (giacitura degli strati) estremamente variabile e non coerente con quello degli affioramenti circostanti. Corpo di accumulo caratterizzato da coperture detritiche grossolane non classate con presenza di trovanti e massi anche di grandi dimensioni e con clasti non arrotondati;
- ✓ I5: Differenze nette di vegetazione all'interno del perimetro della frana;

² dal confronto cartografico delle fonti conoscitive possono evidenziarsi diverse situazioni di incoerenza, che spesso non riguardano tanto il riconoscimento dei corpi di franosi, quanto piuttosto una diversa sensibilità con la quale tali corpi sono stati mappati dalle fonti, ad esempio: a) situazioni di sovrapposizione di più perimetri tra loro simili ma comunque diversi, b) situazioni in cui vi è un'unica fonte che indica la presenza di un fenomeno franoso.

- ✓ I6: Alberi inclinati;
- ✓ I7: Lesioni negli edifici od in altre opere antropiche.

L'indicatore I7, ovvero le lesioni sugli edifici ed altri manufatti, è un parametro che generalmente non costituisce parte integrante del rilievo geomorfologico *s.s.*, ma in genere, una volta escluse altre cause ad es. geotecniche o strutturali, si manifesta in maniera evidente in concomitanza di fenomeni franosi.

L'individuazione degli indicatori geomorfologici avviene mediante l'utilizzo di due metodi: *fotointerpretazione e rilievo di campagna*. Alcuni indicatori geomorfologici sono meglio osservabili e riconoscibili da foto aerea mentre altri elementi richiedono per una migliore identificazione una ulteriore indagine di campagna. A tal proposito nelle tabelle che seguono vengono fornite indicazioni per l'individuazione degli indicatori mediante fotointerpretazione e rilievo di campagna (Tab. A2_2): e, anche, circa l'età" e la scala delle foto aeree e delle CTR da utilizzare nell'analisi fotointerpretativa (Tab. A2_3):.

	Rilievo di campagna	Fotointerpretazione
I ₁ :Evidenza di scarpate, terrazzi e crepacci con bordi netti	XXX	XXX
I ₂ : Nette variazioni di curvatura lungo il profilo longitudinale del versante	X	XXX
I ₃ :Sconvolgimento del sistema di drenaggio, ristagni d'acqua, depressioni a drenaggio interno, deviazioni dell'alveo fluviale	XX	XXX
I ₄ : Assenza di sviluppo di suolo, affioramenti di substrato denudato	XXX	XX
I ₅ :Differenza netta di vegetazione all'interno della frana	XX	XXX
I ₆ :Alberi inclinati	XXX	X
I ₇ :Lesioni negli edifici	XXX	-

Tab. A2_2 – Suggestimenti per scelta del metodo di analisi nel rilievo geomorfologico (xxx: ottima; xx: buona; x: scarsa)

Indicatori	Fotointerpretazione
I ₁ :Evidenza di scarpate, terrazzi e crepacci con bordi netti	Foto aerea e CTR: Scala >1:10.000 Tempo: la più recente e comunque non più vecchia di 10 a
I ₂ : Nette variazioni di curvatura lungo il profilo longitudinale del versante	Foto aerea e CTR: Scala >1:10.000 Tempo: la più recente e comunque non più vecchia di 10 a
I ₃ :Sconvolgimento del sistema di drenaggio, ristagni d'acqua, depressioni a drenaggio interno, deviazioni dell'alveo fluviale	Foto aerea e CTR: Scala >1:10.000 Tempo: la più recente e comunque non più vecchia di 10 a
I ₄ : Assenza di sviluppo di suolo, affioramenti di substrato denudato	Foto aerea: Scala ≥1:5.000 Tempo ≤ 2 a
I ₅ :Differenza netta di vegetazione all'interno della frana	Foto aerea : Scala >1:10.000 Tempo: la più recente e comunque non più vecchia di 10 a
I ₆ :Alberi inclinati	Foto aerea: Scala ≥1:5.000 Tempo: la più recente e comunque non più vecchia di 10 a

Tab. A2_3 – Suggestimenti per la scala e l'età da utilizzare nell'analisi

Stato di Attività

Al fine di una valutazione sommaria dello stato di attività delle forme in campo, su base esclusivamente geomorfologica, ed in assenza di strumentazione di controllo e monitoraggio, si richiama la direttiva tecnica prodotta nell'ambito del Progetto IFFI "Determinazione dello stato di attività dei fenomeni gravitativi nella scheda di 1° livello", a cura di A. Giglia, L. Paro e M. Ramasco (Regione Piemonte).

Questo documento propone di valutare lo stato di attività in relazione ad un determinato *grado di rimodellamento* che esprime di "quanto" (in termini qualitativi) forme e corpi, le cui origini sono legate ad un particolare

processo, risultino modificati dall'azione di processi di altro o dello stesso tipo. In relazione alle forme legate alla dinamica gravitativa, il grado di rimodellamento è considerato:

- *da nullo a basso*: quando l'elemento conserva praticamente l'aspetto originale (superfici di taglio nette, accumuli ben individuabili, indicatori cinematici evidenti);

- *da basso a medio*: quando l'elemento presenta ancora l'aspetto originale ma è stato interessato, del tutto o in parte, da una blanda azione di rimodellamento operata sia dalle acque ruscellanti, sia dalle attività antropiche o da altri tipi di processo ad azione prevalentemente superficiale;

- *da medio ad alto*: quando l'elemento risulta in gran parte o del tutto modificato rispetto alle condizioni originarie ma, nonostante ciò, è ancora possibile definirne l'origine gravitativa. Il grado di rimodellamento da medio ad alto è caratterizzato anche dalla presenza di un reticolo idrografico in parte gerarchizzato che incide il corpo di accumulo e talvolta anche la zona di distacco.

Per la determinazione dello stato di attività, sulla base del grado di rimodellamento delle forme, si propone la seguente correlazione (Tab. A2_4):

GRADO DI RIMODELLAMENTO	STATO DI ATTIVITA'
Da nullo a basso	Attivo
Da basso a medio	Quiescente
Da medio a alto	Stabilizzato o relitto (inattivo)

Tab. A2_4 – Correlazione grado di rimodellamento-stato di attività.

A2.2 - Individuazione delle aree potenzialmente franose (APF) e delle aree di evoluzione della frana (AE) (a cura della Regione Toscana)

Premessa

Con il presente documento si intende predisporre uno standard finalizzato alla individuazione delle “**Aree Potenzialmente Franose**” (APF) e delle “**Aree di evoluzione della Frana**” (AE).

E' opportuno preliminarmente chiarire alcuni aspetti salienti:

- il presente standard ha l'obiettivo di fornire esclusivamente una definizione delle “Aree Potenzialmente franose” (APF) e delle “Aree di evoluzione della Frana” (AE), indicando i criteri e gli elementi utili per la sua individuazione. Si sottolinea infatti come invece la perimetrazione di tale area sia, in alcuni casi, già prevista all'interno delle cartografie ufficiali (IFFI, Cartografia della franosità delle Autorità di Bacino, Cartografie geomorfologiche regionali e/o relative agli strumenti urbanistici comunali) ed a queste è quindi opportuno riferirsi al fine di evitare ambiguità (Vedi Fig. A2_1). Nel caso in cui tali aree (APF e/o AE) non siano già state perimetrate nell'ambito dei suddetti documenti, potrà essere necessario provvedere alla loro delimitazione secondo le indicazioni riportate di seguito;
- le valutazioni che si effettueranno di seguito sono finalizzate ad evidenziare principalmente quelle problematiche che si ritengono particolarmente critiche dal punto di vista sismico. In altre parole, ciò che interessa in questa fase è affrontare la problematica legata ai meccanismi gravitativi di versante dal punto di vista dell'azione sismica che può indurre una sollecitazione dinamica in grado di riattivare movimenti gravitativi preesistenti o produrre rotture di neoformazione.
- proprio in quest'ottica, perciò, si è ritenuto necessario individuare e definire oltre al movimento gravitativo esistente, anche quelle porzioni di versante, apparentemente stabili, che invece potrebbero essere coinvolte in scivolamenti, crolli, ecc.

Area Potenzialmente Franosa (APF)

Si intende per “Area Potenzialmente Franosa” (APF) quella porzione di versante, sia in roccia che in terra, ubicata in aree esterna rispetto al corpo di frana, per la quale, pur non presentando evidenze di instabilità pregressa, sono verificate le condizioni di potenziale instabilità in relazione all'azione sismica.

Le condizioni di potenziale instabilità (Nardi et al., 1987; Fell et al., 2008) possono essere collegate sia a fattori connessi con le caratteristiche stesse dei materiali coinvolti (litologia, fratturazione, assetto strutturale, caratteristiche geomeccaniche, giacitura, regime idrico sotterraneo e superficiale, uso del suolo), sia alle caratteristiche morfologiche dell'area in esame (forte acclività).

Più in dettaglio si riepilogano di seguito le principali condizioni di potenziale instabilità date dalla combinazione di elementi topografici e caratteristiche geologico-tecniche e sismiche.:

Condizioni topografiche

- versanti naturali con pendenze superiori a 15°;
- tagli sub-verticali di origine antropica;
- versanti acclivi soggetti a processi di degradazione derivante da disboscamento, incendi e/o attività antropiche;

Condizioni geologico-tecniche

- rocce lapidee alterate sovrastanti rocce a più elevata resistenza, con giacitura a franapoggio;
- rocce deboli o intensamente fratturate e/o costituite da alternanze di litologie a differente competenza, con giacitura a franapoggio;
- argini, orli di terrazzo in erosione attiva;
- versanti caratterizzati da materiali argillosi, limosi o granulari poco o per niente consolidati;
- accumulo di materiali detritici (conoidi di versante, falde detritiche, ecc.)
- versanti con fenomeni di scalzamento al piede del pendio.

Condizioni legate all'amplificazione sismica

Una condizione legata alla forzante sismica può essere introdotta, valutando in maniera estremamente semplificata, anche in relazione a quanto riportato nella CGT ed alle informazioni acquisite nell'ambito della redazione della Cartografia MOPS, se la successione litostratigrafica e topografica dell'area è particolarmente gravosa dal punto di vista sismico.

Tenendo presente che l'obiettivo è una valutazione di massima della forzante sismica, si consiglia di utilizzare le categorie di sottosuolo e la pendenza media del versante, per calcolare il coefficiente di amplificazione S ($S_s * S_t$) e il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima al sito β_s (NTC, 2008).

Questi 2 coefficienti permetteranno infatti di calcolare $K_h = \beta_s * S * a_g / g$.

Per K_h minori 0.1 g si considera il pendio stabile.

Ai fini della individuazione e successiva perimetrazione delle APF deve essere verificata la condizione legata all'amplificazione sismica e almeno una tra le condizioni topografiche e geologico-tecniche.

Tali aree potenzialmente instabili, possono originarsi prevalentemente in aree esterne, quindi separate geometricamente, rispetto ai corpi di frana esistenti. Si ipotizza infatti che il meccanismo di rottura non sia influenzato dalla presenza di fenomeni gravitativi esistenti.

Area di evoluzione della frana (AE)

La previsione dell'evoluzione consente di individuare l'area che può essere interessata, direttamente o indirettamente, da una frana. Tali "Aree di evoluzione (AE)" sono ubicate prevalentemente in aree limitrofe/adiacenti al corpo di frana esistente (per opera di meccanismi di regressione a partire dalla zona di innesco e/o propagazione areale) e quindi presentano meccanismi di rottura/evoluzione direttamente influenzati dalla presenza di fenomeni gravitativi esistenti. Nel caso di frane di scivolamento l'area di evoluzione può essere generalmente limitata; nel caso di colate di detrito, che interessano spesso impluvi o aste fluviali montane, tale area può invece essere molto più estesa. In linea di massima le aree di evoluzione della frana possono essere definite secondo criteri geomorfologici e non puramente geometrici, quindi variano da frana a frana, in relazione alla tipologia e stile di attività. Nel caso di frane a cinematica lenta, per le quali è riconoscibile la corona di distacco, il perimetro del deposito può essere esteso verso monte fino a comprendere la corona stessa ed oltre per identificare l'area di retrogressione, mentre verso valle le aree di possibile evoluzione sono limitate alle immediate vicinanze (per es. 20 m). Nel caso invece di movimenti rapidi, come colate detritiche, le aree di evoluzione possono essere molto più ampie.

La previsione dell'evoluzione di una frana prevede i seguenti tre punti:

- a) previsione della distanza di propagazione,
- b) previsione dei limiti di retrogressione,
- c) previsione dell'espansione areale.

La previsione della distanza di propagazione (*run-out*) è particolarmente importante nel caso di frane di crollo, di colate per flusso di terre granulari (*flowslides*), di detrito umido (*debris flows*) o di detrito secco (*sturzstroms*), che sono spesso caratterizzate da un'elevata mobilità. In generale per la previsione della distanza di propagazione possono essere impiegati criteri geomorfologici connessi con la geometria del pendio. La distanza di propagazione può essere valutata mediante la stima dell'angolo di attrito apparente, che può essere ricavata da quella dell'angolo di attrito dinamico effettivo e delle pressioni dei fluidi interstiziali durante il moto. Tali parametri sono molto difficili da misurare sia perché sono necessarie apparecchiature speciali, sia perché sono estremamente variabili anche nel corso del movimento. Per tali motivazioni, la stima dell'angolo di attrito apparente si basa spesso su analisi di tipo empirico.

Nel caso dei crolli, l'angolo di attrito apparente può essere stimato in base all'osservazione della posizione dei blocchi già distaccati o determinato con metodi sperimentali. In genere l'angolo d'attrito apparente risulta compreso fra 28° e 45°. Sempre per quanto riguarda i crolli, nei casi in cui si disponga di dati sufficientemente dettagliati, si può optare per analisi cinematiche o dinamiche delle traiettorie di caduta dei massi, in funzione della forma e della dimensione dei blocchi e delle caratteristiche morfologiche del pendio. La traiettoria dei blocchi è analizzata considerando le leggi fisiche che regolano la successione dei diversi tipi di movimento dei blocchi, ovvero: scorrimento o ribaltamento, caduta libera, rimbalzo e rotolamento.

La perimetrazione delle aree di regressione di una frana si effettua essenzialmente sulla base dei caratteri geomorfologici osservabili sul terreno, riferibili alla distribuzione degli elementi/indicatori che suggeriscono tale evoluzione (fratture di tensione, contropendenze, ecc.). Alcune tipologie di frana sono in genere caratterizzate da

un'evoluzione retrogressiva come, ad esempio, i ribaltamenti in ammassi rocciosi fratturati, gli scivolamenti traslativi in roccia, gli scivolamenti rotazionali, specialmente nel caso in cui questi ultimi interessino materiali sensitivi (es. *quick clays*) oppure rocce fratturate sovrapposte ad argille ed argilliti (Fig. A3_1).

Per quanto riguarda la delimitazione dell'espansione areale, tale aspetto è particolarmente critico nel caso di colate di terra o di fenomeni di liquefazione nei quali la massa spostata è molto fluida e può espandersi. La previsione, molto complessa, dipende essenzialmente dalla morfologia del versante, da granulometria e contenuto d'acqua dei terreni, dai parametri di resistenza al taglio, dalle pressioni interstiziali e dal coefficiente di spinta laterale.

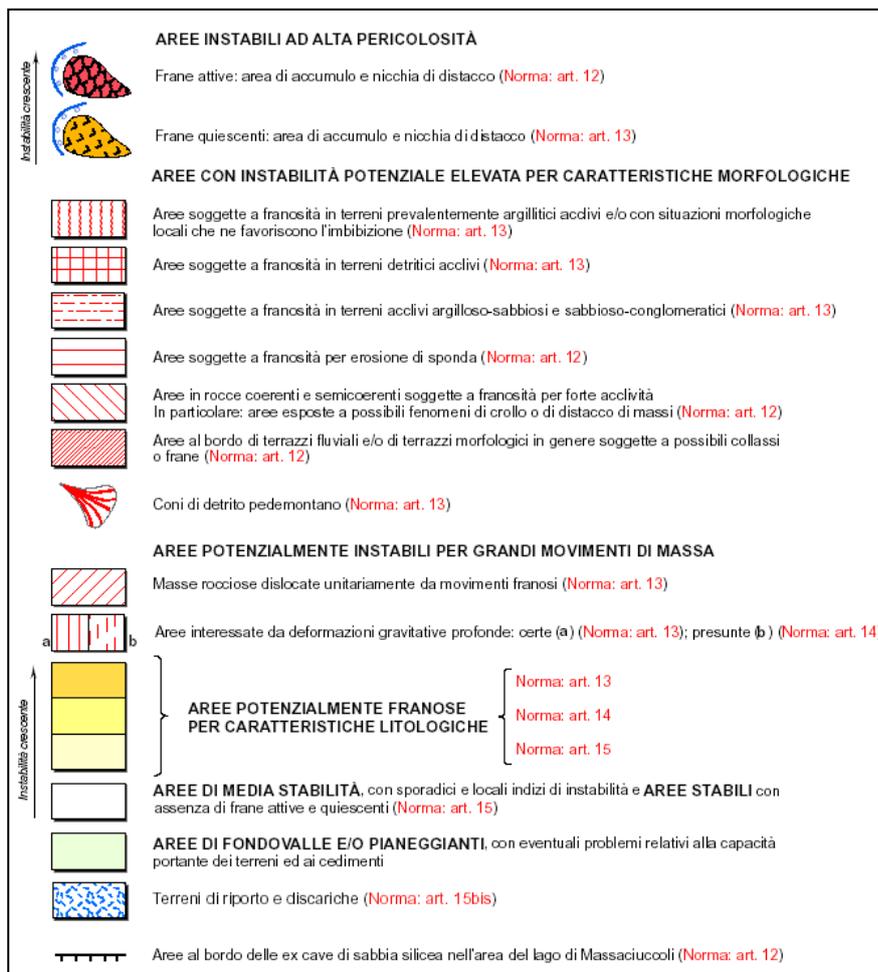


Fig. A2_1 – Legenda Carta della Franosità dell'AdB_Serchio. Estratto

In sintesi, per la delimitazione delle AE, fermo restando le suddette indicazioni ed ulteriori e necessarie valutazioni tecniche desunte dalle conoscenze puntuali dei fenomeni franosi da cartografare, nella tabella A2_5 sono riportati alcuni valori indicativi di riferimento per la delimitazione delle AE, scaturiti da applicazioni in ambito regionale e definite su base esperta.

Tab. A2_5 – Valori di riferimento puramente indicativi per la delimitazione dell'AE

Tipologia meccanismo di movimento	Distanza H (in m) dal limite dell'area in frana (FR)		
	retrogressione	espansione laterale	propagazione/accumulo
Crollo e/o ribaltamento	10 (in caso di scarpate piccole ²) 20 (per scarpate alte ²) $\geq h/2$ (per scarpate molto alte ²)		10 (in caso di scarpate piccole ²) 20 (per scarpate alte ²) $\geq h/2$ (per scarpate molto alte ²)
Scorrimenti/scivolamenti lenti e colamenti lenti	10 (in caso di frane piccole ¹) 20 (in caso di frane grandi ¹)	10 (in caso di frane piccole ¹) 20 (in caso di frane grandi ¹)	10 (in caso di frane piccole ¹) 20 (in caso di frane grandi ¹)
Colate e Scorrimenti/scivolamenti rapidi		20	fino al punto di rottura del versante e/o all'impiuvio
¹ La distinzione tra frane grandi e piccole è basata sulla estensione (soglia indicativamente pari a 1000mq)			
² Per scarpate "piccole" si intendono quelle con dislivello di quota "h" inferiore a 10m, scarpate "alte" con dislivello inferiore a 40m, le restanti sono classificate "molto alte"			

A2.3 - Definizione di indagini e parametri per la programmazione degli approfondimenti superiori (a cura della Regione Emilia Romagna)

Indagini in sito per la caratterizzazione della $Z_{A_{FR}}$ in caso di frana in terra (Carta delle MOPS).

Per una corretta caratterizzazione di una $Z_{A_{FR}}$ occorre definire:

- la perimetrazione dettagliata di FR AE e APF (v. cap. 8 e Appendici A2.1 e A2.2);
- la profondità del substrato geologico non alterato, presumibilmente assimilabile al substrato rigido (bedrock sismico), con identificazione dell'eventuale spessore di alterazione del substrato, per valutare lo spessore della coltre detritica in tutta l'area di estensione di AF+APF, in modo da suddividere quest'ultima in MOPS, cioè microzone con spessore e caratteristiche litostratigrafiche della coltre circa omogenee.

Come indicato nel cap. 8 e nelle Appendici A2.1 e A2.2, per il riconoscimento e la perimetrazione delle AF+APF la base di partenza è la cartografia geologica e geotematica disponibile.

In assenza di cartografia geologica/geotematica dovrà essere effettuato uno specifico rilevamento geologico finalizzato ad acquisire le informazioni relative agli elementi geomorfologici indicati nel cap. 8 e nelle Appendici A2.1 e A2.2, tramite l'analisi di foto aeree e rilievi di terreno ad una scala di dettaglio, non inferiore a 1:10.000, meglio 1:5000-1:2000.

Nel caso invece sia disponibile una cartografia geologica/geotematica, questa andrà verificata analizzando foto aeree, in particolare, se disponibili, successive all'epoca del rilevamento, e con mirati controlli sul terreno.

Per la caratterizzazione della coltre di copertura si farà ricorso a dati pregressi; qualora però i dati pregressi non siano in numero sufficiente dovranno essere realizzate nuove indagini.

Prove in sito per la caratterizzazione dello spessore della coltre

Per la definizione dello spessore della coltre detritica dovrà essere privilegiata l'analisi di logs litostratigrafici da indagini dirette, segnatamente sondaggi geognostici, preferibilmente a carotaggio continuo, ed indirette, quali prove geofisiche di sismica a rifrazione in onde P ed SH, ovvero prove di sismica a riflessione qualora si vogliano anche ricercare motivi strutturali profondi.

In tale contesto si richiama che migliori risultati si ottengono integrando tra loro le diverse tecniche di indagine geofisica: ad esempio accoppiare la sismica a rifrazione in onde P con le indagini MASW consente di associare la ricostruzione lito-stratigrafica del sottosuolo alla distribuzione delle onde di taglio Vs (indagini MASW) che, confrontate con le onde di compressione, permette di definire i moduli di deformabilità del terreno attraversato. Analogamente dal confondo tra le sezioni sismostratigrafiche derivate da indagini di tomografia sismica a rifrazione in onde P e SH (ovvero MASW 2D) si può evidenziare la presenza di una falda entro i terreni indagati considerato che le onde di taglio (Vs) non risentono dell'influenza del "saturo", come accade invece per le onde di compressione (Vp).

Tra le indagini geofisiche funzionali alla caratterizzazione della geometria sepolta occorre segnalare anche l'indagine geoelettrica che oltre a presentare un'estrema versatilità nella messa in opera della configurazione di misura e fornisce utili indicazioni sul passaggio coltre/substrato roccioso (in funzione delle variazioni dei valori del profilo di resistività) come pure sul limite saturo/insaturo entro coltri detritiche.

In linea generale, poiché i profili sismici offrono il vantaggio di disporre di dati lineari che permettono un'analisi bidimensionale dell'area di indagine, e quindi la possibilità di correlare dati puntuali, è importante che nella progettazione di una campagna di indagine si preveda lo svolgimento di indagini sia dirette che indirette e che i profili sismici intercettino le verticali dei sondaggi, cioè sia ai fini della taratura dei dati geofisici per la ricostruzione del modello geologico, sia per la correlazione dei dati tra sondaggi.

Per quanto concerne altre tipologie di prove dirette, si richiamano le prove penetrometriche, dinamiche e statiche, che trovano un'utilizzo ottimale nei casi di coperture di versante presumibilmente derivanti da substrato a granulometria fine (es. frane e coperture detritiche di versanti costituite da Argille Azzurre plioceniche, Sabbie

Gialle pleistoceniche, ...). Questo poiché, nel caso di coltri a granulometria eterogenea l'eventuale rifiuto di avanzamento della punta potrebbe essere dovuto alla presenza di trovanti e/o clasti grossolani e quindi non essere significativo per l'individuazione del substrato geologico e la valutazione dello spessore della coltre.

Con riferimento terreni granulari, quindi, la prova penetrometrica dinamica è quella che viene principalmente impiegata, ma è opportuno raccomandare l'utilizzo di strumentazione di tipo "superpesante" (DPSH), secondo la classificazione ISSMFE, che presenta configurazioni di prova molto simili all'SPT tradizionale³ e che in ragione della "energizzazione" dello strumento pone al riparo dagli errori interpretativi connessi alla natura eterogenea e grossolana degli accumuli di frana. A tal riguardo ai fini delle indagini di dettaglio sui corpi franosi deve escludersi, di norma, l'utilizzo di prove penetrometriche dinamiche leggere e medie (tipo DL-030) che invece risultano fortemente condizionate dalla pezzatura grossolana propria degli accumuli di frana.

Per la stima della profondità del substrato rigido, e quindi dello spessore della coltre, e per la correlazione/interpolazione dei dati possono risultare di estrema utilità le registrazioni di rumore ambientale (indagini di sismica passiva) a stazione singola. Tali misure possono non essere sempre applicabili in questi contesti, a causa della presenza di significative variazioni stratigrafiche laterali del sottosuolo, che potrebbero inficiare le registrazioni.

Data la facilità e rapidità di esecuzione di questo tipo di prove e fermo restando i suddetti limiti metodologici, considerando anche la più agevole accessibilità ad aree difficilmente o per nulla raggiungibili con strumentazione pesante, le registrazioni di rumore ambientale a stazione singola permettono l'acquisizione di dati in diversi siti, consentendo la correlazione e interpolazione delle informazioni puntuali disponibili da prove geotecniche in sito, generalmente di numero limitato.

Questo tipo di indagine fornisce il valore della frequenza fondamentale f_0 della successione stratigrafica al di sopra della superficie di contrasto di impedenza, assimilabile al tetto del substrato rigido, nei primi 100÷150 m da piano campagna; f_0 è legato alla profondità H della superficie di contrasto di impedenza dalla nota relazione:

$$f_0 = \frac{V_s}{4H}$$

dove V_s è la velocità media di propagazione delle onde di taglio S nella successione al di sopra della superficie di contrasto di impedenza.

Per avere informazioni sulla profondità H i risultati di questo tipo di indagine devono essere associati ai risultati di indagini che forniscano informazioni sul valore medio di V_s della coltre. Nelle analisi di primo livello in genere non sono ancora disponibili valori di V_s della copertura detritica e quindi una stima della profondità del tetto del substrato è possibile solo associando i risultati della registrazione a dati litostratigrafici derivanti da prove geotecniche in sito attendibili (v. sopra), considerando le relazioni f_0 - H indicativamente riportate nella seguente tabella:

$f_0 < 0,9$ Hz	$H > 100$ m
$0,9$ Hz $< f_0 < 1,1$ Hz	80 m $< H < 100$ m
$1,1$ Hz $< f_0 < 2$ Hz	50 m $< H < 80$ m
2 Hz $< f_0 < 3$ Hz	25 m $< H < 50$ m
3 Hz $< f_0 < 5$ Hz	10 m $< H < 25$ m
5 Hz $< f_0 < 10$ Hz	5 m $< H < 10$ m
$f_0 > 10$ Hz	$H < 5$ m

I risultati delle registrazioni di rumore ambientale sono utili anche per le elaborazioni successive (approfondimento di livello 3 per la Carta di MS, v. paragrafo successivo).

Indagini in sito per la caratterizzazione delle FR AE e APF per le elaborazioni successive (terzo livello di approfondimento).

³ In Italia è alquanto diffuso il penetrometro dinamico super-pesante tipo "EMILIA" che presenta un maglio di 63.5 kg ed un'altezza di caduta di 75 cm.

Per le elaborazioni richieste per il livello 3 di approfondimento (Carta di MS) occorre definire:

- la profondità della falda acquifera, se presente, e relative variazioni stagionali;
- le proprietà meccaniche della coltre detritica, del substrato non alterato e dell'eventuale fascia di alterazione del substrato;
- la profondità e le caratteristiche del substrato rigido (bedrock sismico), se raggiungibile;
- la frequenza fondamentale f_0 della coltre.

Per caratterizzare la coltre detritica di copertura ed il substrato andranno privilegiati i sondaggi a carotaggio continuo, con l'esecuzione di prove SPT, il prelievo di campioni indisturbati, l'installazione di piezometri per il monitoraggio della falda o la predisposizione dei fori per analisi geofisiche in foro, tipo down-hole e cross-hole che permettono di misurare V_p e V_s e ricavare i valori del coefficiente di Poisson, del modulo di taglio, del modulo di Young e del modulo di compressibilità.

Poiché, come già evidenziato, le coperture di genesi gravitativa sono generalmente costituite da una granulometria eterogenea, spesso grossolana, il prelievo di campioni indisturbati per analisi di laboratorio può anche risultare molto difficoltoso, in questi casi le prove in sito divengono le indagini che meglio permettono di caratterizzare l'ammasso dal punto di vista meccanico. Con le cautele indicate nel paragrafo precedente, le prove penetrometriche, sia statiche che dinamiche, consentono allora di realizzare delle diagrafie "profondità v_s resistenza all'avanzamento/nr. di colpi" continue lungo la verticale di indagine da cui derivare i parametri meccanici attraverso formule di correlazione empiriche⁴.

La perforazione di sondaggi permette anche l'esecuzione di prove di permeabilità, mentre per la valutazione della profondità della falda e delle sue variazioni stagionali è indispensabile disporre di piezometri.

Per la determinazione delle variazioni di falda stagionali e del regime di flusso occorre predisporre una rete di più piezometri e i dati dei piezometri possono essere eventualmente integrati con rilievi del livello della falda in pozzi per acqua, se disponibili.

Tra le tecniche di indagine indiretta finalizzata al riconoscimento dei livelli di saturazione nei terreni un ruolo predominante è rappresentato dalle prospezioni geoelettriche ERT che attraverso la misura dei valori di resistività elettrica del sottosuolo consentono di rappresentare il livello del "saturo" in una sezione bidimensionale elettrotomografica.

Per quanto sopra appare è evidente come i sondaggi geognostici, in particolare quelli a carotaggio continuo, grazie anche alle varie prove che questi consentono (SPT, misure geofisiche in foro, prove di permeabilità, prelievo di campioni, installazione di piezometri, ...) sono le indagini geotecniche in sito più utili per la caratterizzazione della coltre e del substrato di versanti instabili e potenzialmente instabili. In ogni caso deve essere sempre rispettata la regola di buona pratica di integrare i dati puntuali derivati da queste prove dirette con i dati da profili sismici a rifrazione e da misure di rumore ambientale da antenna sismica.

Per quanto concerne i parametri sismici di sottosuolo, risulta come i dati di V_s possono essere ottenuti anche con prove MASW, Re.Mi., profili sismici a rifrazione e registrazioni di rumore ambientale in configurazione di antenna sismica (ESAC/SPAC); queste ultime sono particolarmente importanti anche per la determinazione della frequenza fondamentale f_0 della coltre e della profondità del substrato rigido, soprattutto se questo è a profondità elevata, difficilmente raggiungibile con prove geotecniche in sito di tipo standard (sondaggi e prove penetrometriche).

⁴ Nella pratica corrente è sempre più diffusa l'applicazione di sistemi automatici di acquisizione dei principali parametri di perforazione alle sonde idrauliche a rotazione per indagini geognostiche, nelle perforazioni a distruzione di nucleo o, più raramente, nelle carotaggio continuo. Tali sistemi, che consentono la registrazione in continuo dei parametri caratteristici che definiscono l'energia spesa per la perforazione, sono stati inizialmente impiegati come modalità di controllo di qualità nelle perforazioni a scopo di consolidamento (micropali, *jet-grouting*, tiranti, ecc) e trovano attualmente un'utilizzato in numerose applicazioni geologiche/idrogeologiche, e geotecniche.

L'insieme degli elementi caratterizzanti la modellazione geologica del sito, integrati coi dati geotecnici di sottosuolo concorrono alla definizione del modello geotecnico (e geologico) dell'area in esame che è essenziale sia per condurre le analisi funzionali alle zonazioni di pericolosità per instabilità sismoindotta che per condurre l'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico ai sensi delle norme tecniche di settore (NTC, Cap. 6.2.2).

Volendo sintetizzare quanto sopra esposto ed al fine di garantire il rispetto dei principi di qualità si richiamano le istruzioni tecniche riferite alle le prove ed indagini geognostiche degli ICMS2008, Parte III – Cap.3.4 ponendo particolare risalto verso alcuni requisiti minimi di una campagna geognostica, di seguito indicati:

- sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo, ai fini dell'accertamento della successione stratigrafica nel suo complesso e degli spessori delle coperture detritiche. Vanno eseguiti in quantità opportune, proporzionate all'area da indagare - comunque mai meno di tre per garantire la ricostruzione tridimensionale della successione stratigrafica – e su allineamenti disposti lungo le linee di massima pendenza. La profondità dei sondaggi dovrà essere programmata per un valore pari a 1,5 volte lo spessore del presunto corpo di frana, spingendo poi il sondaggio per 5-10 m all'interno della formazione stabile;
- prelievo di campioni indisturbati di terreno da sottoporre a prove di laboratorio, sulla base di un predefinito programma di campionamento e tali da caratterizzare geotecnicamente tutti i differenti strati;
- prove di laboratorio ed in situ e misure dirette finalizzate alla definizione di un modello del sottosuolo (geologico e geotecnico) da utilizzare per le analisi funzionali alle zonazioni di pericolosità per instabilità sismoindotta. Il modello dovrà comprendere anche il regime delle acque sotterranee e i sistemi di discontinuità. Andranno determinate le principali proprietà fisiche e meccaniche dei terreni ed i moduli elastici e di deformazione del terreno necessari per svolgere analisi dinamiche di livello superiore;
- indagini geofisiche, che consentono di integrare i sondaggi geognostici, estendere “lateralmente” la rappresentazione stratigrafica del sottosuolo e forniscono i parametri sismici del sottosuolo;
- prove penetrometriche statiche (CPT) e dinamiche del tipo superpesante standardizzate (DPSH), nonché pozzetti geognostici, per integrare ulteriormente le indagini e per la caratterizzazione del livello “superficiale” del terreno.

APPENDICE A3 - Calcolo dei coefficienti K_{heq} e K_h (a cura del DPC)

Nelle analisi condotte con i metodi pseudostatici, il campo di accelerazione all'interno del pendio è assunto uniforme e le componenti orizzontale e verticale delle forze di inerzia sono applicate nel baricentro della massa potenzialmente in frana (metodi globali), o nei baricentri delle singole strisce (metodi delle strisce).

Per tener conto dei fenomeni di amplificazione del moto sismico all'interno del pendio, il valore dell'accelerazione orizzontale di picco su affioramento rigido, a_g , può essere moltiplicato per opportuni coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica. Tuttavia l'utilizzo dell'accelerazione massima, a_{max} , così risultante, comporta una sostanziale sovrastima degli effetti del sisma in termini di forze di inerzia. In alternativa, la variabilità spaziale dell'azione sismica può essere introdotta valutando un coefficiente sismico orizzontale equivalente, K_{heq} (AGI, 2005), mediante analisi numerica. In questo caso devono essere definiti l'accelerogramma di riferimento e la profondità della formazione rigida di base. Note dall'analisi numerica le storie temporali dell'accelerazione all'interno del corpo frana, il valore di K_{heq} può essere posto pari al valore medio del profilo delle accelerazioni massime; oppure, suddividendo la massa in frana in aree, A_i , a cui si fa corrispondere un singolo accelerogramma di riferimento, il valore di K_{heq} può essere calcolato come la media pesata dei valori di picco. I risultati ottenuti da entrambe le procedure descritte possono fornire valori eccessivamente cautelativi di K_{heq} poiché non si tiene in conto del carattere asincrono del moto sismico.

Le norme europee EC8 (prEN 1998 – 2003) indicano per un più generico coefficiente sismico orizzontale K_h un valore pari a:

$$k_h = 0,5 \cdot a_g \cdot \gamma_I \cdot S/g$$

dove γ_I è il coefficiente di importanza della struttura (pari a 1 per pendii naturali), S è il prodotto tra il coefficiente di amplificazione stratigrafico, S_s , e quello topografico, S_T .

Il coefficiente per l'azione verticale è dato:

$$K_v = \pm 0,5 K_h$$

$$K_v = \pm 0,33 K_h$$

rispettivamente se il rapporto tra la componente verticale e orizzontale di accelerazione del terremoto di riferimento è maggiore o minore di 0.6.

Per quanto riguarda la normativa italiana le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC, 2008) definiscono l'azione pseudostatica introducendo un coefficiente di riduzione, β_s , che tiene conto della duttilità:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

in cui a_{max} è l'accelerazione massima attesa in superficie.

β_s assume i valori riportati nella tabella seguente:

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Tabella A4.1 – Valori di β_s in NTC (2008).

Il valore di $K_v = \pm 0,5 K_h$.