

# **Metodologia di realizzazione delle carte della “Stabilità potenziale ed integrata dei versanti” secondo la metodologia adottata dal PTCP di Siena**

1.	GENERALITA' SULLA METODOLOGIA ADOTTATA .....	2
1.1.	Carte ed elaborati elementari .....	2
1.2.	Realizzazione della carta della pericolosità .....	8

Etruria Telematica S.r.l.

Anno 2003

Tutti i diritti®

## **GENERALITA' SULLA METODOLOGIA ADOTTATA**

La realizzazione delle carte della stabilità potenziale ed integrata dei versanti su tutto il territorio provinciale di Siena è stata realizzata seguendo le direttive e la metodologia riportata nell'allegato 4 del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale "*Stabilità dei versanti: Metodologia da adottare come "standard provinciale" per la realizzazione della Carta della stabilità potenziale integrata dei versanti ai sensi della D.C.R. 94/85*".

Il metodo, già sperimentato nel 1977 da Amadesi *et Alii*, nel 1978 e nel 1985 da Amadesi e Vianello, porta alla compilazione di elaborati cartografici specifici che rappresentano in maniera sintetica l'influenza di caratteristiche geologiche, litologiche, morfologiche nella stabilità dei versanti. A tale scopo sono state prese in considerazione le seguenti caratteristiche naturali ed antropiche del territorio quali:

- caratteristiche litologiche dei terreni affioranti
- giacitura degli strati rocciosi e/o assetto strutturale
- pendenza dei versanti
- copertura vegetale ed uso del suolo

Ad ogni elemento sopraccitato viene assegnato un valore numerico appartenente a scale codificate dagli autori, valore che ne riflette il peso sulla stabilità alla scala del versante. Per ogni data posizione geografica, la somma algebrica dei valori assegnati alle caratteristiche litologiche, giaciture/strutturali, di acclività e copertura vegetale, fornisce una stima della potenziale stabilità del versante, secondo una scala numerica proposta dagli autori stessi.

### Carte ed elaborati elementari

Lo studio analitico dei fattori elencati è stato condotto attraverso la compilazione di carte ed elaborati elementari di cui segue la descrizione dei contenuti. I dati geografici sono stati gestiti in ambiente GIS nel formato Raster ESRI noto come GRID e le elaborazioni necessarie sono state condotte tramite tecniche di *Map Algebra*. I dati morfologici necessari durante l'elaborazione delle cartografie di stabilità dei versanti sono derivati dal modello digitale del terreno (DTM) prodotto per tutto il territorio provinciale senese a partire dai dati altimetrici della CTR numerica in scala 1:10.000 e 1:5.000. La dimensione della cella a terra è di 10 m.

## **LITOLOGIA**

L'influenza delle caratteristiche litologiche dei terreni affioranti sulla predisposizione al dissesto viene presa in considerazione attraverso l'assegnazione di valori numerici che ne riflettono caratteristiche fisiche come la compattezza, il grado di cementazione la porosità, l'angolo di attrito interno, la coesione, la presenza di strutture sedimentarie e tettoniche. Le formazioni affioranti contenute nella banca dati geologica sono state suddivise in 10 classi di cui la classe 1 rappresenta i litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche più scadenti (terreni incoerenti) e la classe 10 contraddistingue i litotipi lapidei massicci. La classificazione delle rocce, proposta dagli autori e utilizzata nel presente elaborato è la seguente:

1. roccia incoerente priva di qualunque struttura in condizione di indifferenziato caotico;
2. roccia pseudocoerente con sporadiche intercalazioni di roccia coerente
3. roccia coerente con o senza stratificazione, sovrastante a roccia semicoerente o pseudocoerente o comunque di minor coesione
4. roccia pseudocoerente non stratificata o con stratificazione poco accentuata
5. roccia incoerente
6. roccia semicoerente
7. roccia coerente e pseudocoerente a strati alternati
8. roccia coerente con sottili interstrati di roccia semicoerente o pseudocoerente
9. roccia coerente stratificata

## 10. roccia coerente massiccia

In Tab. 1 è riportata la classificazione adottata per i terreni affioranti. Nel campo “*id-ust*” viene riportato il codice alfanumerico di ogni formazione della banca dati geologica della provincia. Data la variabilità con cui le medesime formazioni possono affiorare (diverso grado di alterazione, diverso assetto strutturale), i valori assegnati in tabella devono essere considerati come indicativi delle caratteristiche litologiche generali di ogni formazione, o più tipicamente riscontrabili in campagna. Situazioni particolari, localmente condizionanti la stabilità stessa del versante, necessitano rilevamenti peculiari e dettagliati che esulano dallo scopo descrittivo generale di questa cartografia.

<b>LITOTIPI</b>		
Peso	Sigla (id-ust)	Descrizione
<b>DEPOSITI CONTINENTALI DEL QUATERNARIO</b>		
5	d	Discariche, detriti e accumuli di frane (f)
4	as	prodotti di alterazione superficiale
5	a	Alluvioni fluviali e depositi continentali fluvio-lacustri
5	at	Alluvioni terrazzate
8	tr	Travertini
<b>ROCCE MAGMATICHE NEOGENICO-QUATERNARIE</b>		
10	y	Ignimbriti trachidacitiche (y)
10	y'	Cupole trachidacitiche (y')
10	y''	Colate latitiche (y'')
10	S	Shoshoniti
<b>NEOAUTOCTONO</b>		
5	qM	Sabbie di Monticiano
8	cl	Calcari Lacustri
5	vs	Sabbie fluvio-lacustri (vs) Argille siltose (vs')
4	vs'	
6	ps	Sabbie, sabbie argillose e limi
8	ps'	Calcari organogeni e/o biocalcareni (su substrato coerente-serie toscana ecc..)
6	pc	Conglomerati
4	pa	Argille
4	pol	argille e Argille sabbiose
1	ol	Olistostromi
3	psa	Sabbie e sabbie argillose in lenti all'interno di pa
6	pcR	Conglomerati di Fosso Rigo
6	pal	Argille e conglomerati lacustri
4	paS	Argille di Casa Stieri
6	mp	Breccia di calcare Cavernoso
6	mcL	Conglomerato di Lilliano
4	ma	Argille (ma) con livelli di gesso (g)
3	g	
3	maC	Argille del Casino
3	mcR	Calcare di Rosignano (su argille e/o depositi semicoerenti -incoerenti)
8	mcR	Calcare di Rosignano (su substrato coerente-serie toscana ecc..)

4	maF	Argille (maF) con livelli di arenaria e ciottoli (mar) e marne sabbiose a Bithynia (mm)
6	mm	
5	mar	
5	mc	Conglomerati lacustri
6	maP	Arenaria di Ponsano
<i>DOMINIO LIGURE</i>		
2	cP	Argille a Palombini (cP)
10	int	Intrusioni
7	ccC	Calcari a Calpionelle
7	cmM	Marne di Murlo
9	gd	Diaspri M. Alpe
9	of	Ofoliti
7	cfM	Flysch arenaceo marnoso di Montaione
6	cfM'	Brecce ad elementi ofiolitici, calcarei e diasprini di Poggio della Forra
8	eL	Formazione di Lanciaia
6	eL'	Brecce di base
7	cpM	Flysch calcareo marnoso di Monteverdi M.mo
<i>DOMINIO AUSTROALPINO</i>		
8	eM	Formazione calcareo marnosa di M. Morello
9	pF	Membro delle arenarie di M. Rufeno (Pietraforte)
7	cpF	Formazione di Santa Fiora
7	cV	membro delle argilliti rosse di Villa Radda
7	eC	Formazione di Canetolo
<i>DOMINIO TOSCANO</i>		
9	oM	Formazione del Macigno
1	oM'	Olistostromi delle unità austroalpine
8	coS	Formazione della Scaglia Toscana
9	ccM	calcareniti di M.Grossi
9	cMA	Maiolica
9	gD	Formazione dei diaspri
9	gMP	Formazione delle marne a Posidonomya
9	gS	Formazione dei calcari selciferi
9	gRA	Formazione del calcare Rosso Ammonitico
10	gM	Formazione del calcare massiccio
9	tR	Formazione dei calcari e marne a Rhaetavicula Contorta
10	tB	Formazione anidritica di Burano
10	tB'	calcare cavernoso
<i>UNITA' DI MONTICIANO-ROCCASTRADA</i>		
8	cPi	formazione di Pietralata
9	cd	Formazione di P.gio all'Aquila
9	cG	Formazione di Gallena
9	cG'	Membro di Tegoia
10	gMa	Marmi della montagna Senese
10	tF	Dolomie di Fuserna
8	tT	Formazione di Tocchi
9	tA	Anageniti Minute
8	tQ	Formazione del M. Quoio

9	ptC	Formazione di Civitella M.ma
9	caA	Scisti a Spirifer e calcari di S. Antonio
7	caF	Formazione del T. Farma
9	cal	Scisti e arenarie di Iano
8	caC	Formazioni di Carpineta e del T.Lanzo
8	cdC	Formazione delle arenarie di P.ggio al Carpino
7	dR	formazione del T. Risanguigno

**Tabella 1.** Classificazione litologica adottata per la stabilità dei versanti.

## **PENDENZA DEI VERSANTI**

L'acclività dei versanti risulta un fattore di primaria importanza nella stesura della carta della pericolosità dal momento che, a parità di condizioni litotecniche e strutturali, esiste in genere proporzionalità fra acclività di un versante e grado d'instabilità dello stesso. La carta della pendenza dei versanti è stata ottenuta calcolando, a partire dal DTM, l'acclività in percentuale per ogni cella e categorizzando il risultato in 5 classi o intervalli come mostrato in Tab. 2. ad ogni classe è stato assegnato poi un peso sulla base delle indicazioni di Amadesi.

<i>Classi di acclività</i>	<i>Acclività dei versanti in %</i>	<i>Peso</i>
CLASSE 1	> 50%	-2
CLASSE 2	50 – 35 %	-1
CLASSE 3	35 – 20 %	0
CLASSE 4	20 – 10 %	1
CLASSE 5	< 10 %	2

**Tabella 2.** Classi di acclività e relativo peso sulla stabilità del versante.

Risulta quindi che una acclività maggiore del 35% deve essere considerata a decremento della stabilità dei versanti ed inciderà negativamente sulla valutazione finale della pericolosità del pendio, in maniera progressiva con l'aumentare della pendenza.

## **GIACITURA DEGLI STRATI**

A partire dai rilievi puntuali di giacitura degli strati geologici e dei terreni pliocenici riportati nella banca dati geologica della provincia, è stato ricostruito l'assetto strutturale per tutto il territorio in esame, al fine di poterne valutare i rapporti con la morfologia del territorio. Tramite la definizione degli angoli  $\varphi$  (pendenza reale degli strati) e  $\alpha$  (angolo fra la direzione di immersione degli strati e la direzione di massima pendenza del pendio) i rapporti angolari esistenti fra pendii e stratificazione vengono raggruppati in 11 classi, elencate in Tab. 3, significative a descrivere il reale contributo dell'assetto geologico alla stabilità del pendio stesso.

Al fine di poter estendere i dati puntuali della giacitura degli strati alla porzione di territorio circostante, per ogni dato puntuale di giacitura è stata definita una regione di pertinenza secondo la struttura nota come poligonale di Thiessen. Il territorio provinciale è stato quindi suddiviso secondo una maglia di poligoni in cui ogni elemento contiene una sola giacitura; ogni poligono rappresenta

la porzione di terreno la cui giacitura più prossima è rappresentata dal rilievo posto dentro il poligono stesso. La struttura poligonale di Thiessen è stata quindi modificata tenendo in considerazione la locale direzione dei principali motivi tettonici riconosciuti ed inserendo gli elementi tettonici e stratigrafici in prossimità dei quali avvengono più o meno bruschi cambiamenti nell'assetto strutturale degli strati geologici:

- contatti tettonici per faglia
- contatti tettonici per sovrascorrimento
- contatti stratigrafici fra terreni in discordanza

L'utilizzo di funzioni di *Map Algebra* ha permesso di confrontare, per ogni posizione geografica (o maglia del DTM), i rapporti fra giacitura degli strati ed esposizione dei versanti, al fine di determinare le classi definite in Tab. 3.

<i>Tipologia della giacitura</i>	<i>Peso</i>
1. Unità litologiche prive di stratificazione ed in condizioni di massima caoticità ed eterogeneità.	1
2. Strati fortemente piegati, fratturati, rovesciati e con giacitura caotica.	2
3. Strati a franapoggio ( $30^\circ < \varphi < 60^\circ$ ) e strati a traverpoggio ( $\varphi = 30^\circ-60^\circ$ e $\alpha = 0^\circ-10^\circ$ ).	3
4. Strati a reggipoggio con fatturazione a franapoggio.	4
5. Strati a franapoggio ( $5^\circ < \varphi < 30^\circ$ ) e strati a traverpoggio ( $\varphi = 5^\circ-30^\circ$ e $\alpha = 0^\circ-10^\circ$ ).	5
6. Strati a traverpoggio ( $\varphi = 30^\circ-60^\circ$ e $\alpha = 10^\circ-60^\circ$ ).	6
7. Strati a traverpoggio ( $\varphi = 5^\circ-30^\circ$ e $\alpha = 10^\circ-60^\circ$ ).	7
8. Strati verticali ( $\varphi = 85^\circ-90^\circ$ ).	8
9. Strati a franapoggio ( $60^\circ < \varphi < 85^\circ$ ) e strati a traverpoggio ( $\varphi = 30^\circ-60^\circ$ e $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ ).	9
10. Strati orizzontali ( $\varphi = 0^\circ-5^\circ$ ) e strati a traverpoggio ( $\varphi = 5^\circ-30^\circ$ e $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ ).	10
11. Strati a reggipoggio e rocce massicce prive di stratificazione.	11

**Tabella 3.** Giacitura degli strati e relativo peso sulla stabilità dei versanti (i casi in grigio non sono stati riscontrati nel territorio in esame).

La condizione strutturale più sfavorevole per la stabilità di un pendio è quella di una stratificazione a franapoggio o traverpoggio, cioè con strati che immergono con angoli più o meno acclivi, nella direzione del pendio stesso. Al contrario, strati rocciosi che immergono con direzione opposta al versante contribuiscono alla stabilizzazione dello stesso.

La realizzazione della carta della giacitura degli strati è risultata problematica soprattutto per la mancanza di dati su cui basare l'elaborazione e la loro distribuzione non omogenea sul territorio. In alcuni casi la definizione della giacitura degli strati risulta difficile a causa delle caratteristiche litotecniche delle rocce o dei terreni affioranti e dell'assetto tettonico locale. Dove possibile, i dati di disposizione geometrica delle formazioni geologiche sono stati integrati (laddove assenti) estrapolando direttamente dalla disposizione di contatti stratigrafici più prossimi. Nel caso dei depositi sabbiosi, argillosi e conglomeratici pliocenici privi di informazioni giaciture, è stata assunta una disposizione orizzontale degli strati.

Sulla base dei dati di controllo disponibili sul territorio, quali la localizzazione delle frane e dei dissesti censiti dal genio civile, è stato inoltre valutato il peso che le coperture detritiche hanno sulla stabilità di un versante. Se da un lato è stata riscontrata l'incidenza delle coltri detritiche sulla propensione ai dissesti, dall'altro è apparso troppo penalizzante, almeno nell'esperienza del territorio provinciale senese, il peso che viene dato alle coperture detritiche nella carta elementare della giacitura e struttura dei terreni affioranti. Si è quindi deciso di adottare dei pesi che dipendano anche dalla pendenza dei versanti, penalizzando le coperture detritiche che in pendii molto acclivi, e riducendo il rischio di dissesto in aree pianeggianti come i fondovalle.

## **VEGETAZIONE**

L'uso del suolo e la copertura vegetale influenzano direttamente la stabilità di un pendio. Il metodo utilizzato stima l'impedenza che la vegetazione esercita sui fenomeni gravitativi agenti su un versante assegnando un peso, positivo o negativo, al tipo di utilizzo agricolo o tipologia di vegetazione esistente sul territorio. Allo scopo di valutare questo parametro, le varie classi di uso del suolo e copertura vegetale sono state raggruppate secondo quanto mostrato in Tab. 4. I dati relativi alla copertura vegetale sono stati estrapolati dalla carta della vegetazione del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale.

Un'area denudata, o priva di vegetazione coprente, è soggetta all'azione delle acque meteoriche e a fenomeni di ruscellamento superficiale. La mancanza di protezione offerta dalle chiome degli alberi e la stabilizzazione da parte degli apparati radicali rende il substrato alterato più soggetto a movimenti gravitativi di vario tipo. Viceversa, la presenza di piante d'alto fusto concorre positivamente alla stabilità dei pendii.

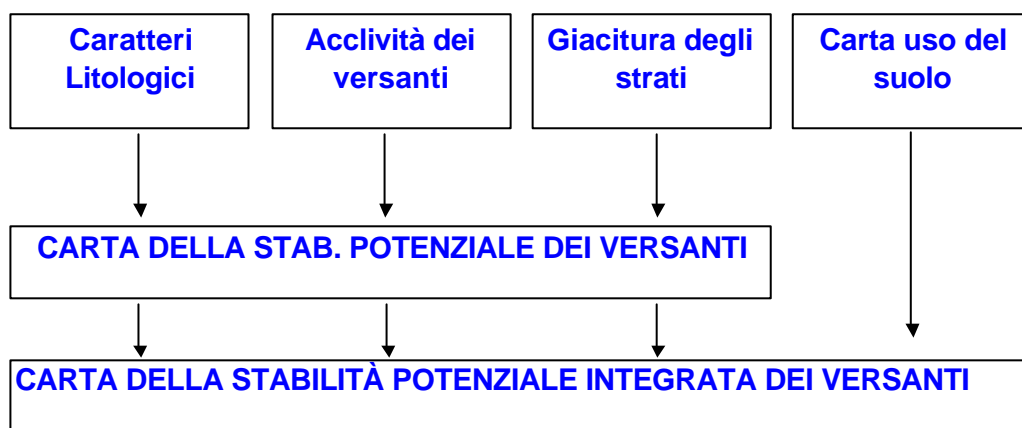
<i>Classificazione</i>	<i>Impedenza</i>	<i>Peso</i>
Suolo eroso, praterie e arbusteti in aree calanchive	<b>Nulla</b>	<b>-2</b>
Seminativi arborati		
Seminativi		
Sistemi colturali e particellari complessi		
Oliveti	<b>Minima</b>	<b>-1</b>
Formazioni arbustive di greto		
Frutteti		
Incolti e pascoli a determinismo antropico più o meno arbustati		
Vigneti		
Formazioni igrofile erbacee	<b>Mediocre</b>	<b>0</b>
Risaie		
Acque interne o laghi		
Aree urbanizzate		
Boschi di faggio	<b>Buona</b>	<b>1</b>
Boschi di castagno		
Boschi di cerro		
Boschi di roverella		
Boschi di leccio		
Impianti di latifoglie		
Formazioni arboree riparie		
Impianti di conifere		

**Tabella 4.** *Classificazione dell'uso del suolo e copertura vegetale, con relativa impedenza e peso nella stabilità dei versanti.*

In mancanza di dati a maggior dettaglio, le informazioni relative alla copertura del suolo sul territorio provinciale sono state estratte dalla carta della vegetazione pubblicata nel PTCP della provincia senese (tav. P02).

Realizzazione della carta della pericolosità

Le carte della stabilità potenziale dei versanti e della stabilità integrata dei versanti vengono ottenute dall'incrocio delle carte elementari ed i valori di stabilità determinati tramite somma algebrica dei pesi riportati nelle Tabb. 1, 2, 3 e 4. Lo schema in Fig. 1 mostra graficamente la procedura da seguire.



**Figura 1.** *Schema di sovrapposizione delle carte elementari per il calcolo della stabilità potenziale ed integrata dei versanti.*

Attraverso la sovrapposizione in ambiente GIS delle tre carte elementari della litologia, della giacitura degli strati e della pendenza dei versanti, si ottiene *la carta della stabilità potenziale*. I valori espressi in questo elaborato, che derivano dalla somma algebrica dei pesi assegnati ad ogni data posizione geografica secondo le caratteristiche litologiche, strutturali e clivometriche, sono organizzati secondo la scala numerica proposta da Amadesi e riportata nella Tab. 5.

Valore	Classe di instabilità
0-4	Instabilità massima
5-8	Instabilità forte
9-12	Instabilità media
13-16	Instabilità limitata
17-23	Situazione stabile

**Tabella 5.** *Valori risultanti dalla sovrapposizione delle carte della litologia, della giacitura degli strati, della pendenza dei versanti e corrispondenti classi di instabilità.*

Essi indicano la propensione al dissesto geomorfologico derivanti da cause di tipo geologico e/o strutturale e da esse unicamente dipendenti. Questo elaborato mostra le situazioni strutturali potenzialmente pericolose, o che potrebbero evolvere in fenomeni di dissesto gravitativo qualora ne venisse in qualche modo perturbato l'equilibrio. Inoltre la stabilità potenziale dei versanti descritta da questa cartografia mostra una condizione di propensione al dissesto svincolata dalla presenza antropica sul territorio.

Dato che nell'esperienza Italiana, la vegetazione è da sempre sottoposta al controllo umano, essa non viene considerata fra i parametri di base che determinano la propensione naturale di un versante al dissesto, ma è inserita successivamente come parametro modificante. Dall'incrocio della carta della stabilità potenziale dei versanti con la carta della vegetazione ed uso del suolo, si ottiene la *Carta della stabilità potenziale integrata dei versanti*. In tale elaborato viene considerata anche l'impedenza offerta dalla vegetazione; la potenziale propensione al dissesto di un versante può quindi essere in parte inibita o accentuata dalla presenza di una determinata copertura vegetale; anche in questo elaborato viene adottata la scala numerica di Tab. 5.

Etruria Telematica S.r.l.

Anno 2003

Tutti i diritti®