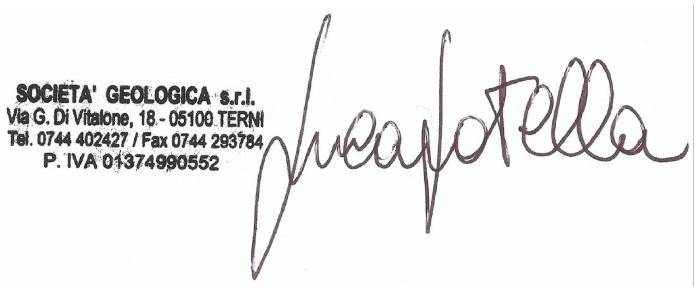
GEOLOGO DOTT. LUCA LATELLA
Studio Tecnico: Via G. di Vitalone 18 - 05100 Terni
Tel.0744 - 402427 - 293784; 347 - 6355500

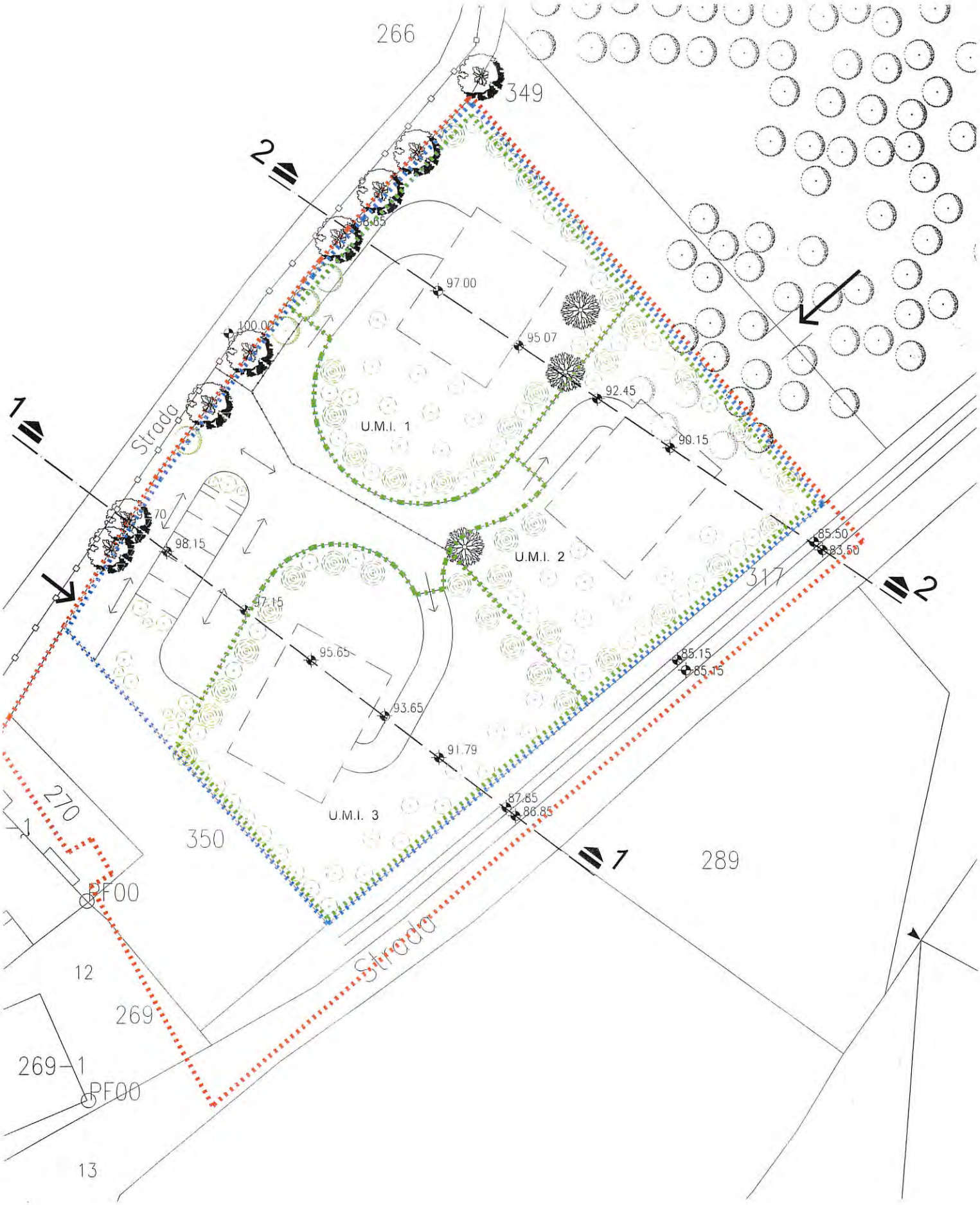
REGIONE UMBRIA

PROVINCIA DI TERNI

COMUNE DI TERNI

VERIFICHE DI STABILITA'




266
349
2
8.65
97.00
100.00
95.07
92.45
1
Strada
U.M.I. 1
90.15
70
98.15
85.50
83.50
U.M.I. 2
317
2
97.15
95.65
85.15
85.15
93.65
91.79
270
87.85
86.85
U.M.I. 3
350
1
289
PF00
Strada
12
269
269-1
PF00
13

RELAZIONE DI CALCOLO
ANTE OPERAM

Definizione
Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Introduzione all'analisi di stabilità
La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.
Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:
(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo equilibrio limite (LEM)
Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = \tau_f / \tau$.
Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius, Bishop, Janbu ecc.*).
Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

Metodo dei conci
La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n, il problema presenta le seguenti incognite:

n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;

n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i
(n-1) forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
(n-1) forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
n valori della coordinata *a* che individua il punto di applicazione delle E_i;
(n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i;
una incognita costituita dal fattore di sicurezza *F*.

Complessivamente le incognite sono *(6n-2)*.

mentre le equazioni a disposizione sono:
Equazioni di equilibrio dei momenti *n*
Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale *n*
Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale *n*
Equazioni relative al criterio di rottura *n*
Totale numero di equazioni *4n*

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2)-(4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a *(n-2)* in quando si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.
I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le *(n-2)* indeterminazioni.

Metodo di FELLENIUS (1927)
Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:
n valori delle forze normali N_i;
n valori delle forze da taglio T_i;
1 fattore di sicurezza.
Incognite (2n+1)

Le equazioni a disposizione sono:
n equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;
n equazioni relative al criterio di rottura;
1 equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\Sigma\left\{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos\alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan\varphi_i \right\}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

Metodo di BISHOP (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.
Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\Sigma F_V = 0$, $\Sigma M_0 = 0$, Criterio di rottura.

$$F = \frac{\Sigma\left\{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan\varphi_i\right\} \times \dfrac{\sec\alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$

I valori di *F* e di *ΔX* per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre *ΔX= 0* ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di ***Bishop ordinario,*** gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Metodo di JANBU (1967)
Janbu estese il metodo di *Bishop* a superfici si scorrimento di forma qualsiasi.
Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\Sigma\left\{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan\varphi_i\right\} \times \dfrac{\sec^2\alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \tan\alpha_i}$$

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario.
Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:
$F_{corretto} = f_O F$

dove f_O è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.
Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

Metodo di BELL (1968)
Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno, *W*, le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali K_xW e K_zW, le forze orizzontali e verticali *X* e *Z* applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio σ e τ agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.
Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori *u* che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.
In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da *Taylor*.
In accordo con la legge della resistenza di *Mohr-Coulomb* in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell'i-esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i)\tan\phi_i}{F}$$

in cui
F = il fattore di sicurezza;
c_i = la coesione efficace (o totale) alla base dell'i-esimo concio;
ϕ_i = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell'i-esimo concio;
L_i = la lunghezza della base dell'i-esimo concio;
u_{ci} = la pressione dei pori al centro della base dell'i-esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.
Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos\alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:
$W_i \cos \alpha_i / L_i$ = valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conci.
Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left(\frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

Dove x_0 ed x_n sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre x_{ci} rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio i-esimo.
Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno K_z g può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore (1 - K_z).
Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza F, sostituendo l'espressione di N_i e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario C_3.
Si assume una relazione di linearità tra detto coefficiente, determinabile tramite la regola di Cramer, ed il fattore di sicurezza *F*. Il corretto valore di F può essere ottenuto dalla formula di interpolazione lineare:

$$F = F(2) + \left(\frac{1 - C_3(2)}{C_3(2) - C_3(1)} \right) (F(2) - F(1))$$

dove i numeri in parentesi (1) e (2) indicano i valori iniziale e successivo dei parametri F e C_3.
Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

Metodo di SARMA (1973)

Il metodo di **Sarma** è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica *Kc*) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in *n* strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_i agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i = W_i - \Delta X_i$$
$$T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i = KW_i + \Delta E_i$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\Sigma \Delta E_i = 0$$
$$\Sigma \Delta X_i = 0$$

dove *Eì* e *Xi* rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia i-esima del concio generico *i*.

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel metodo di **Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

$$*\sum \Delta X_i \cdot tg\left(\psi_i^{'} - \alpha_i\right) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$**\sum \Delta X_i \cdot \left[\left(y_{mi} - y_G\right) \cdot tg\left(\psi_i^{'} - \alpha^{'}\right) + \left(x_i^{'} - x_G\right)\right] = \sum W_i \cdot \left(x_{mi} - x_G\right) + \sum \Delta_i \cdot \left(y_{mi} - y_G\right)$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di *K* (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione *K* corrispondente al fattore di sicurezza F = 1 , ossia l'*accelerazione critica*.

Si ha pertanto:

K = Kc *accelerazione critica* se F = 1
F = Fs *fattore di sicurezza in condizioni statiche* se K = 0

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne *Xi* ed *Ei* tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.
E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze *Xi*:

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot \left(Q_{i+1} - Q_i\right)$$

dove *Qi* è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla *i*-esima faccia del concio *i*, e λ rappresenta un'incognita.
La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di *Kc*, λ e *F*, che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

Metodo di SPENCER
Il metodo è basato sull'assunzione:

Le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo θ. tutti i momenti sono nulli $M_i = 0 \quad i = 1 \ldots\ldots n$

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione f(x) = 1.

Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$\sum Q_i R \cos\left(\alpha - \theta\right) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s}\left(W\cos\alpha - \gamma_w hl \sec\alpha\right)\frac{tg\alpha}{F_s} - Wsen\alpha}{\cos(\alpha - \theta)\left[\frac{F_s + tg\varphi tg\left(\alpha - \theta\right)}{F_s}\right]}$$

forza d'interazione fra i conci;
R = raggio dell'arco di cerchio;
θ = angolo d'inclinazione della forza Qi rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum\left(Q_i \cos\theta\right) = 0 \quad \sum\left(Q_i sen\theta\right) = 0$$

Con l'assunzione delle forze Qi parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$\sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo (F_{sm}) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo (F_{sf}) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo θ, considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia $F_{sm} = F_{sf}$.

Metodo di MORGENSTERN e PRICE

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo X = λ f(x)E, dove λ è un fattore di scala e f(x), funzione della posizione di E e di X, definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione f(x) è scelta arbitrariamente (costante, sinusoide, semisinusoide, trapezia, spezzata…) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E, X, il coefficiente di sicurezza F_s, il peso della striscia infinitesima dW e la risultante delle pressioni neutra alla base dU.

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c'\sec^2\frac{\alpha}{F_s} + tg\varphi'\left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - tg\alpha\frac{dE}{dx} - \sec\alpha\frac{dU}{dx}\right) =$$

$$= \frac{dE}{dx} - tg\alpha\left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx}\right)$$

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della base:

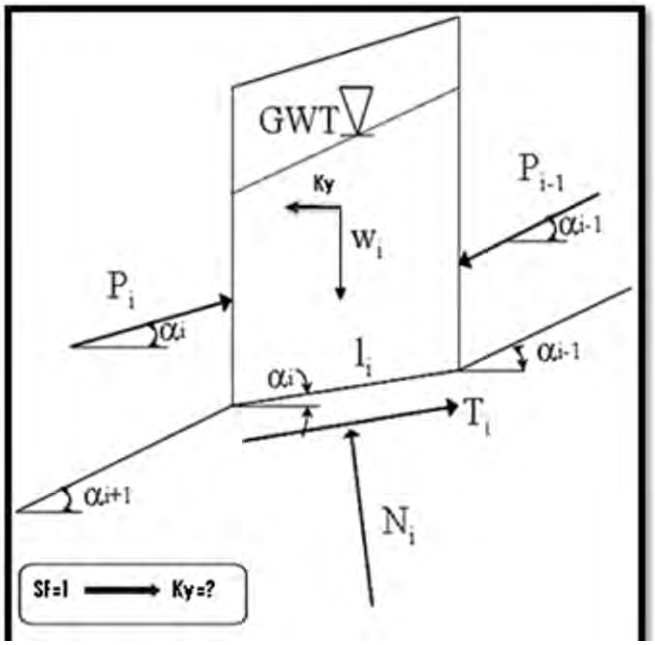
$$X = \frac{d(E_\gamma)}{dx} - \gamma\frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.
Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

***Metodo di* Zeng e Liang (2002)**

Zeng e Liang hanno effettuato una serie di analisi parametriche su un modello bidimensionale sviluppato con codice agli elementi finiti, che riproduce il caso di pali immersi in un terreno in movimento (drilled shafts). Il modello bidimensionale riproduce un striscia di terreno di spessore unitario e ipotizza che il fenomeno avvenga in condizioni di deformazione piana nella direzione parallela all'asse dei pali. Il modello è stato utilizzato per indagare l'influenza sulla formazione

dell'effetto arco di alcuni parametri come l'interasse fra i pali, il diametro e la forma dei pali, e le proprietà meccaniche del terreno. Gli autori individuano nel rapporto tra l'interasse e il diametro dei i pali (s/d) il parametro adimensionale determinante per la formazione dell'effetto arco.
Il problema risulta essere staticamente indeterminato, con grado di indeterminatezza pari a (8n-4), ma nonostante ciò è possibile ottenere una soluzione riducendo il numero delle incognite e assumendo quindi delle ipotesi semplificative, in modo da rendere determinato il problema.



Le assunzioni che rendono il problema determinato sono:
-Ky sono assunte orizzontali per ridurre il numero totale delle incognite da (n-1) a (7n-3);
-Le forze normali alla base della striscia agiscono nel punto medio, riducendo le incognite da n a (6n-3);
-La posizione delle spinte laterali è ad un terzo dell'altezza media dell'inter-striscia e riduce le incognite da (n-1) a (5n-2);
-Le forze (Pi-1) e Pi si assumono parallele all'inclinazione della base della striscia (αi), riducendo il numero di incognite da (n-1) a (4n-1);
-Si assume un'unica costante di snervamento per tutte le strisce, riducendo le incognite da (n) a (3n-1);

Il numero totale di incognite quindi è ridotto a (3n), da calcolare utilizzando il fattore di trasferimento di carico. Inoltre si deve tener presente che la forza di stabilizzazione trasmessa sul terreno a valle dei pali risulta ridotta di una quantità R, chiamato fattore di riduzione, calcolabile come:

$$R = \frac{1}{s/d}\,\frac{1}{s/d} + \left(1 - \frac{1}{s/d}\,\frac{1}{s/d}\right)\cdot R_p$$

Il fattore R dipende quindi dal rapporto fra l'interasse presente fra i pali e il diametro dei pali stessi e dal fattore Rp che tiene conto dell'effetto arco.

VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono

sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.
Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$
$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:
F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
W: peso concio
K_o: Coefficiente sismico orizzontale
K_V: Coefficiente sismico verticale.

Calcolo coefficienti sismici
Le **NTC 2008** calcolano i coefficienti K_o e K_V in dipendenza di vari fattori:

$$K_o = \beta s \times (a_{max}/g)$$
$$K_V = \pm 0{,}5 \times K_o$$

Con

βs coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
$\mathbf{a_{max}}$ accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S \, S_T \, a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq Ss \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).
S_T (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di S_T varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

T1$(S_T = 1.0)$ ***T2***$(S_T = 1.20)$ ***T3***$(S_T = 1.20)$ ***T4***$(S_T = 1.40)$.

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$T_R = -V_R/\ln(1-PVR)$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3

delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici. Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m×n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1956)

==========

Normativa	
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

==========

Maglia dei Centri

==========

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	9,67 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	430,09 m
Ascissa vertice destro superiore xs	52,65 m
Ordinata vertice destro superiore ys	447,48 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

========== =

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	413,0
2	5,5	415,0
3	10,5	418,0
4	16,5	420,0
5	24,5	422,0
6	33,5	424,0
7	47,5	425,0
8	53,5	425,0
9	58,0	425, 0

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	412,89
2	26,64	418,89
3	46,22	421,47
4	58,0	421,72

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

==========

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,0
Coesione efficace	1,0
Coesione non drenata	1,0
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm²)	cu (kg/cm²)	Fi (°)	G (Kg/m³)	Gs (Kg/m³)	K (Kg/cm³)	Litologia	
1	0		30	1800,00	2100,00	0,00	sabbia	
2	0		42	1900	2200	0,00	ghiaia	

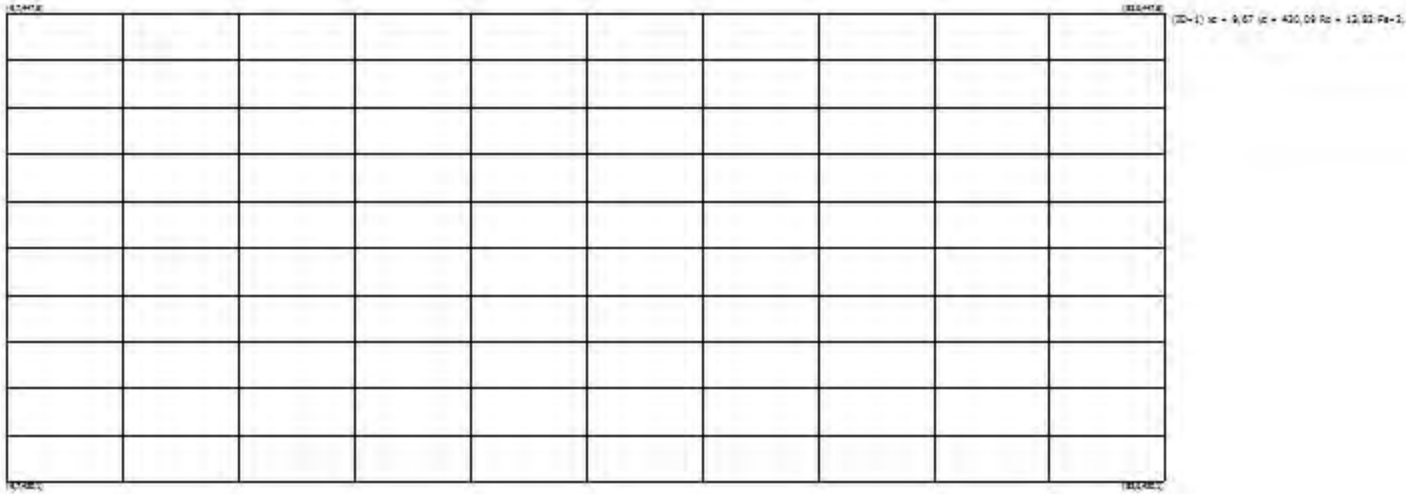
Risultati analisi pendio

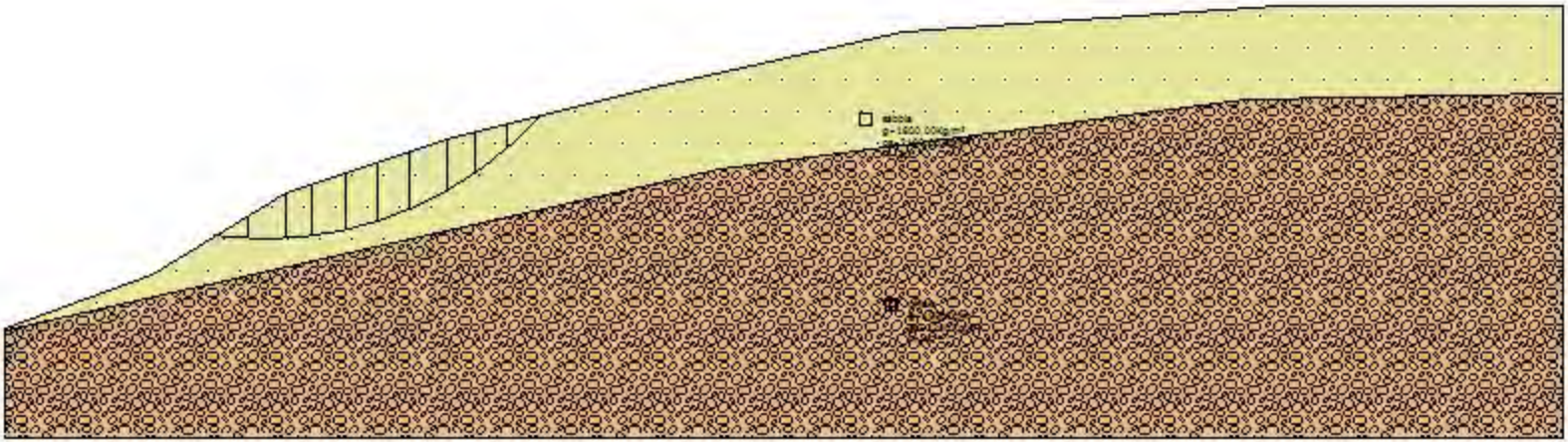
Fs minimo individuato	2,08
Ascissa centro superficie	9,67 m
Ordinata centro superficie	430,09 m
Raggio superficie	13,82 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

(ID=1) xc = 9,667 yc = 430,089 Rc = 13,815 Fs=2,082

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1,21	-5,1	1,22	941,64	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	974,5	325,5
2	1,46	0,4	1,46	3386,9	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	3378,7	1124,1
3	0,96	5,5	0,97	3165,38	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	3081,8	1029,9
4	1,21	10,0	1,23	4449,97	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	4267,9	1441,9
5	1,21	15,2	1,26	4740,71	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	4505,4	1553,1
6	1,21	20,5	1,29	4772,53	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	4531,5	1609,2
7	1,4	26,4	1,56	5182,71	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	4966,1	1844,6
8	1,02	32,2	1,21	3210,05	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	3136,0	1232,4
9	1,21	37,8	1,54	2700,94	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	2717,8	1145,0
10	1,21	44,6	1,7	1052,98	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	1113,4	520,0


(3D-1) sc = 9,67 sc = 430,09 Rc = 12,93 Fs=1,



RELAZIONE DI CALCOLO
POST OPERAM

Definizione
Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Introduzione all'analisi di stabilità
La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.
Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:
(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo equilibrio limite (LEM)
Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = \tau_f / \tau$.
Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius, Bishop, Janbu ecc.*).
Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

Metodo dei conci
La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n, il problema presenta le seguenti incognite:

n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;

n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i
(n-1) forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
(n-1) forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
n valori della coordinata *a* che individua il punto di applicazione delle E_i;
(n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i;
una incognita costituita dal fattore di sicurezza *F*.

Complessivamente le incognite sono *(6n-2)*.

mentre le equazioni a disposizione sono:
Equazioni di equilibrio dei momenti *n*
Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale *n*
Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale *n*
Equazioni relative al criterio di rottura *n*
Totale numero di equazioni *4n*

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2)-(4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a *(n-2)* in quando si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.
I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le *(n-2)* indeterminazioni.

Metodo di FELLENIUS (1927)
Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:
n valori delle forze normali N_i;
n valori delle forze da taglio T_i;
1 fattore di sicurezza.
Incognite (2n+1)

Le equazioni a disposizione sono:
n equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;
n equazioni relative al criterio di rottura;
1 equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\Sigma\left\{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos\alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan\varphi_i \right\}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

Metodo di BISHOP (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.
Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\Sigma F_V = 0$, $\Sigma M_0 = 0$, Criterio di rottura.

$$F = \frac{\Sigma\left\{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan\varphi_i\right\} \times \dfrac{\sec\alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$

I valori di *F* e di *ΔX* per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre *ΔX= 0* ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di ***Bishop ordinario,*** gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Metodo di JANBU (1967)
Janbu estese il metodo di *Bishop* a superfici si scorrimento di forma qualsiasi.
Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\Sigma\left\{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan\varphi_i\right\} \times \dfrac{\sec^2\alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \tan\alpha_i}$$

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario.
Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:
$F_{corretto} = f_o F$

dove f_o è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.
Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

Metodo di BELL (1968)
Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno, *W*, le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali K_xW e K_zW, le forze orizzontali e verticali *X* e *Z* applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio σ e τ agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.
Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori *u* che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.
In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da *Taylor*.
In accordo con la legge della resistenza di *Mohr-Coulomb* in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell'i-esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i)\tan\phi_i}{F}$$

in cui
F = il fattore di sicurezza;
c_i = la coesione efficace (o totale) alla base dell'i-esimo concio;
ϕ_i = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell'i-esimo concio;
L_i = la lunghezza della base dell'i-esimo concio;
u_{ci} = la pressione dei pori al centro della base dell'i-esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.
Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos\alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:
$W_i \cos \alpha_i / L_i$ = valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conci.
Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left(\frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

Dove x_0 ed x_n sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre x_{ci} rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio i-esimo.
Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno K_z g può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore (1 - K_z).
Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza F, sostituendo l'espressione di N_i e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario C_3.
Si assume una relazione di linearità tra detto coefficiente, determinabile tramite la regola di Cramer, ed il fattore di sicurezza *F*. Il corretto valore di F può essere ottenuto dalla formula di interpolazione lineare:

$$F = F(2) + \left(\frac{1 - C_3(2)}{C_3(2) - C_3(1)} \right) (F(2) - F(1))$$

dove i numeri in parentesi (1) e (2) indicano i valori iniziale e successivo dei parametri F e C_3.
Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

Metodo di SARMA (1973)

Il metodo di **Sarma** è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica *Kc*) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in *n* strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_i agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i = W_i - \Delta X_i$$
$$T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i = KW_i + \Delta E_i$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\Sigma \Delta E_i = 0$$
$$\Sigma \Delta X_i = 0$$

dove *Eì* e *Xi* rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia i-esima del concio generico *i*.

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel metodo di **Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

$$*\sum \Delta X_i \cdot tg\left(\psi_i^{'} - \alpha_i\right) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$**\sum \Delta X_i \cdot \left[\left(y_{mi} - y_G\right) \cdot tg\left(\psi_i^{'} - \alpha^{'}\right) + \left(x_i^{'} - x_G\right)\right] = \sum W_i \cdot \left(x_{mi} - x_G\right) + \sum \Delta_i \cdot \left(y_{mi} - y_G\right)$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di *K* (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione *K* corrispondente al fattore di sicurezza F = 1 , ossia l'*accelerazione critica*.

Si ha pertanto:

K = Kc *accelerazione critica* se F = 1
F = Fs *fattore di sicurezza in condizioni statiche* se K = 0

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne *Xi* ed *Ei* tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.
E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze *Xi*:

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot \left(Q_{i+1} - Q_i\right)$$

dove *Qi* è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla *i*-esima faccia del concio *i*, e λ rappresenta un'incognita.
La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di *Kc*, λ e *F*, che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

Metodo di SPENCER
Il metodo è basato sull'assunzione:

Le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo θ. tutti i momenti sono nulli $M_i = 0 \quad i = 1 \ldots\ldots n$

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione f(x) = 1.

Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$\sum Q_i R \cos\left(\alpha - \theta\right) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s}\left(W\cos\alpha - \gamma_w hl \sec\alpha\right)\frac{tg\alpha}{F_s} - Wsen\alpha}{\cos(\alpha-\theta)\left[\frac{F_s + tg\varphi tg\left(\alpha-\theta\right)}{F_s}\right]}$$

forza d'interazione fra i conci;
R = raggio dell'arco di cerchio;
θ = angolo d'inclinazione della forza Qi rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum\left(Q_i \cos\theta\right) = 0 \quad \sum\left(Q_i sen\theta\right) = 0$$

Con l'assunzione delle forze Qi parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$\sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo (F_{sm}) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo (F_{sf}) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo θ, considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia $F_{sm} = F_{sf}$.

Metodo di MORGENSTERN e PRICE

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo X = λ f(x)E, dove λ è un fattore di scala e f(x), funzione della posizione di E e di X, definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione f(x) è scelta arbitrariamente (costante, sinusoide, semisinusoide, trapezia, spezzata…) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E, X, il coefficiente di sicurezza F_s, il peso della striscia infinitesima dW e la risultante delle pressioni neutra alla base dU.

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c'\sec^2\frac{\alpha}{F_s} + tg\varphi'\left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - tg\alpha\frac{dE}{dx} - \sec\alpha\frac{dU}{dx}\right) =$$

$$= \frac{dE}{dx} - tg\alpha\left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx}\right)$$

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della base:

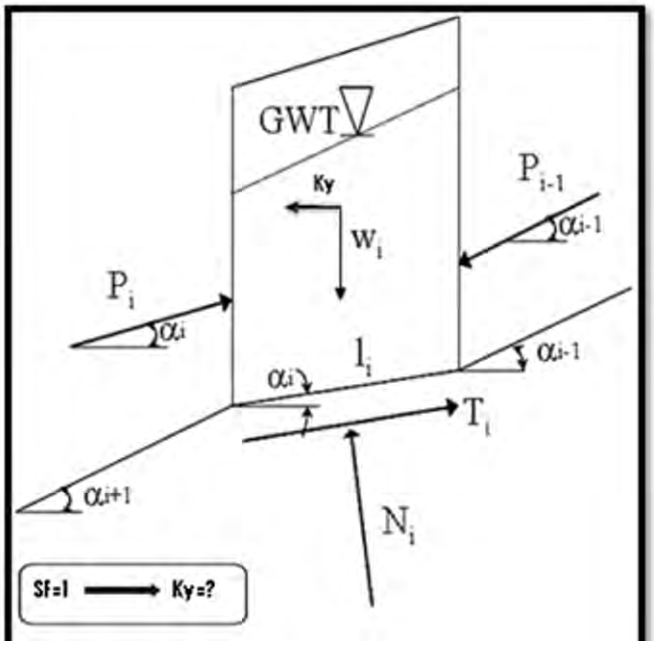
$$X = \frac{d(E_\gamma)}{dx} - \gamma\frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.
Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

***Metodo di* Zeng e Liang (2002)**

Zeng e Liang hanno effettuato una serie di analisi parametriche su un modello bidimensionale sviluppato con codice agli elementi finiti, che riproduce il caso di pali immersi in un terreno in movimento (drilled shafts). Il modello bidimensionale riproduce un striscia di terreno di spessore unitario e ipotizza che il fenomeno avvenga in condizioni di deformazione piana nella direzione parallela all'asse dei pali. Il modello è stato utilizzato per indagare l'influenza sulla formazione

dell'effetto arco di alcuni parametri come l'interasse fra i pali, il diametro e la forma dei pali, e le proprietà meccaniche del terreno. Gli autori individuano nel rapporto tra l'interasse e il diametro dei i pali (s/d) il parametro adimensionale determinante per la formazione dell'effetto arco.
Il problema risulta essere staticamente indeterminato, con grado di indeterminatezza pari a (8n-4), ma nonostante ciò è possibile ottenere una soluzione riducendo il numero delle incognite e assumendo quindi delle ipotesi semplificative, in modo da rendere determinato il problema.



Le assunzioni che rendono il problema determinato sono:
-Ky sono assunte orizzontali per ridurre il numero totale delle incognite da (n-1) a (7n-3);
-Le forze normali alla base della striscia agiscono nel punto medio, riducendo le incognite da n a (6n-3);
-La posizione delle spinte laterali è ad un terzo dell'altezza media dell'inter-striscia e riduce le incognite da (n-1) a (5n-2);
-Le forze (Pi-1) e Pi si assumono parallele all'inclinazione della base della striscia (αi), riducendo il numero di incognite da (n-1) a (4n-1);
-Si assume un'unica costante di snervamento per tutte le strisce, riducendo le incognite da (n) a (3n-1);

Il numero totale di incognite quindi è ridotto a (3n), da calcolare utilizzando il fattore di trasferimento di carico. Inoltre si deve tener presente che la forza di stabilizzazione trasmessa sul terreno a valle dei pali risulta ridotta di una quantità R, chiamato fattore di riduzione, calcolabile come:

$$R = \frac{1}{s/d}\,\frac{1}{s/d} + \left(1 - \frac{1}{s/d}\,\frac{1}{s/d}\right)\cdot R_p$$

Il fattore R dipende quindi dal rapporto fra l'interasse presente fra i pali e il diametro dei pali stessi e dal fattore Rp che tiene conto dell'effetto arco.

VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.
Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$
$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:
F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
W: peso concio
K_o: Coefficiente sismico orizzontale
K_V: Coefficiente sismico verticale.

Calcolo coefficienti sismici
Le **NTC 2008** calcolano i coefficienti K_o e K_V in dipendenza di vari fattori:

$$K_o = \beta s \times (a_{max}/g)$$

$$K_V = \pm 0{,}5 \times K_o$$

Con

βs coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
$\mathbf{a_{max}}$ accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S \, S_T \, a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq Ss \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).
S_T (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di S_T varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

T1$(S_T = 1.0)$ ***T2***$(S_T = 1.20)$ ***T3***$(S_T = 1.20)$ ***T4***$(S_T = 1.40)$.

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$T_R = -V_R/\ln(1-PVR)$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici. Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m×n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1956)

==========

Normativa	
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

==========

Maglia dei Centri

==========

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	9,67 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	430,09 m
Ascissa vertice destro superiore xs	52,65 m
Ordinata vertice destro superiore ys	447,48 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

========== =

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	413,0
2	5,5	415,0
3	10,0	418,13
4	14,3	419,91
5	23,17	422,59
6	32,25	422,59
7	39,94	424,47
8	47,5	425,0
9	53,5	425,0
10	58,0	425, 0

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	412,89

2	26,64	418,89
3	46,22	421,47
4	58,0	421,72

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,0
Coesione efficace	1,0
Coesione non drenata	1,0
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm²)	cu (kg/cm²)	Fi (°)	G (Kg/m³)	Gs (Kg/m³)	K (Kg/cm³)	Litologia	
1	0		30	1800,00	2100,00	0,00	sabbia	
2	0		42	1900	2200	0,00	ghiaia	

Carichi distribuiti

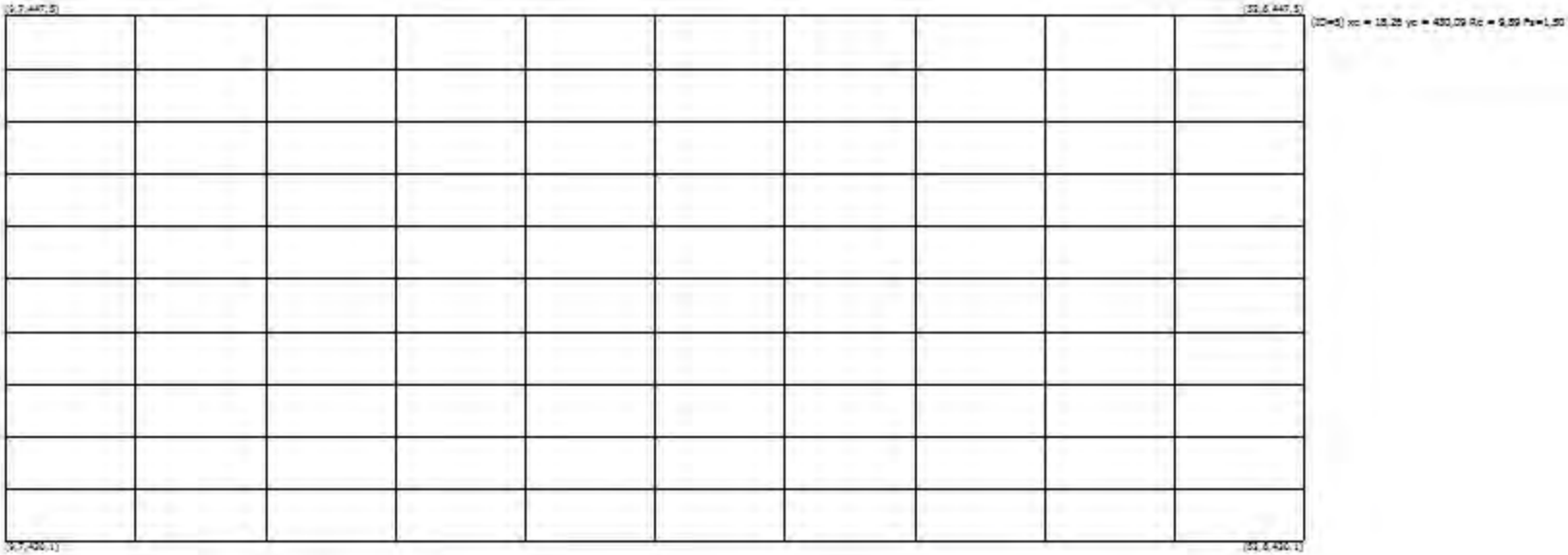
N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm²)
1	23,76	422,59	31,76	422,59	1,5

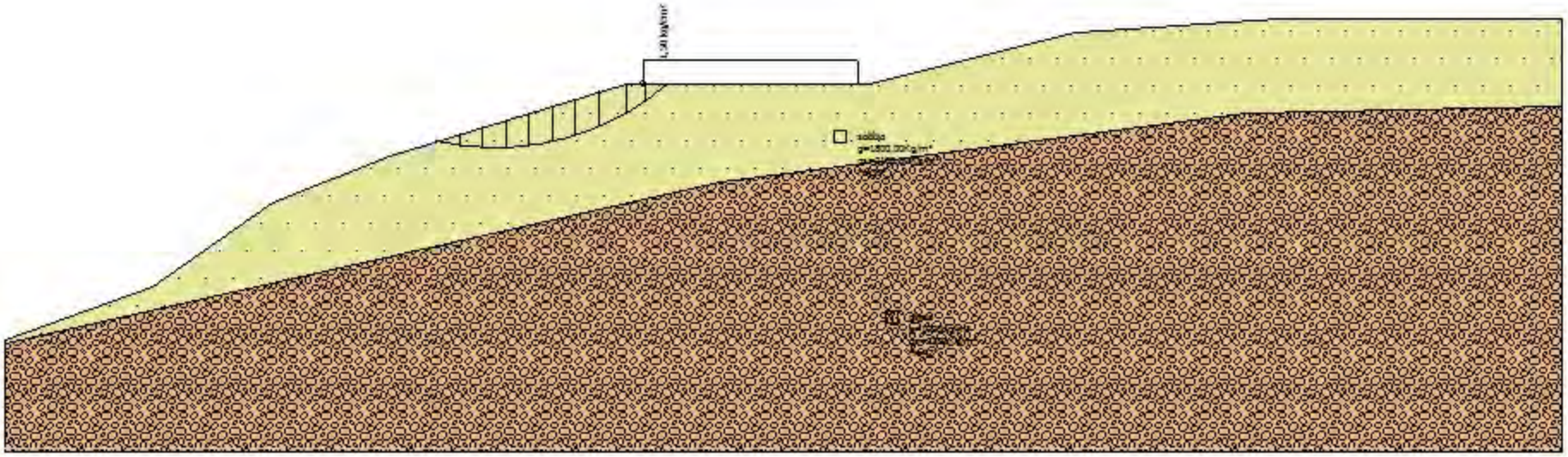
Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,5
Ascissa centro superficie	18,26 m
Ordinata centro superficie	430,09 m
Raggio superficie	9,89 m

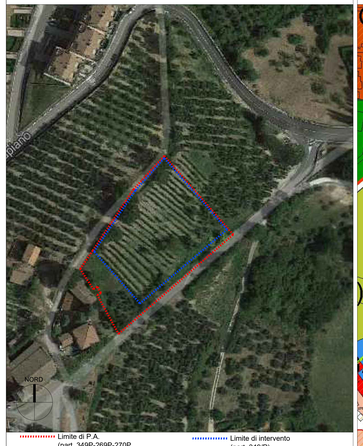
(ID=5) xc = 18,263 yc = 430,089 Rc = 9,889 Fs=1,502

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,86	-10,2	0,88	340,29	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	377,1	176,7
2	0,86	-5,1	0,87	928,08	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	972,2	450,2
3	0,86	-0,2	0,86	1397,05	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	1398,8	645,1
4	0,86	4,8	0,87	1748,58	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	1689,0	781,7
5	0,86	9,9	0,88	1981,34	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	1861,3	871,4
6	0,86	15,1	0,89	2091,33	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	1926,6	920,1
7	0,86	20,3	0,92	2070,75	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	1886,1	927,5
8	1,05	26,3	1,17	2280,97	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	2072,1	1066,4
9	0,68	32,1	0,8	2431,05	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	2225,8	1211,6
10	0,86	37,5	1,09	11998,07	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	11172,5	6498,4


(9,7,447,5)
(32,6,447,5)
(ID=5) xc = 18,28 yc = 430,09 Rc = 9,89 Fs=1,50
(9,7,420,1)
(32,6,420,1)


1,50 kg/cm²
soldaja
g=1800,00Kg/m³

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

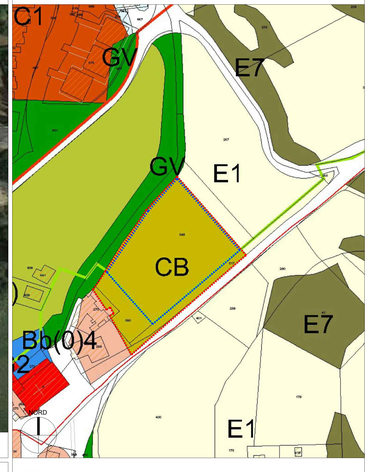


Limite di P.A. (part. 349P-269P-270P -350P-317P)

Limite di intervento (part. 349/P)

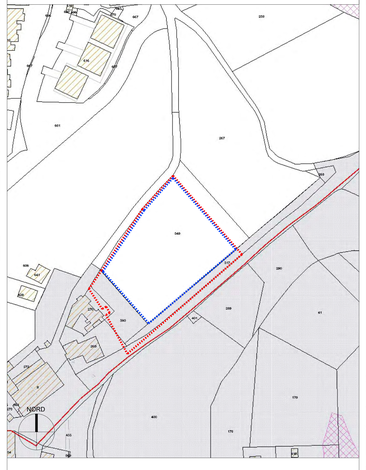
ESTRATTO TAVOLA A DI P.R.G.

SCALA 1:1000



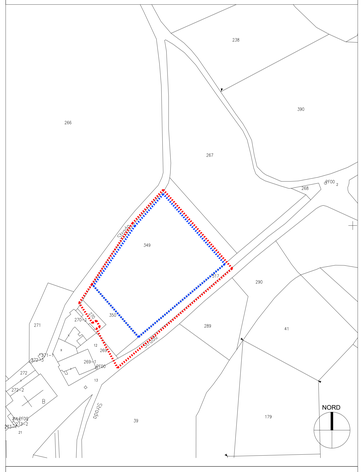
ESTRATTO TAVOLA 7.2a di P.R.G.

SCALA 1:1000



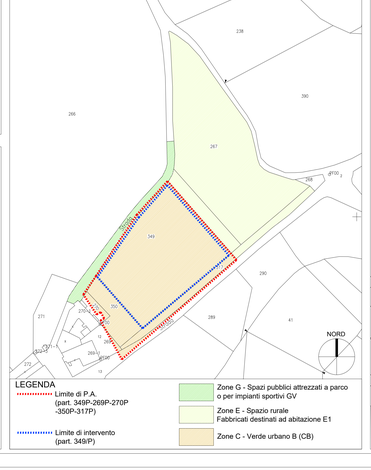
STRALCIO DI MAPPA CATASTALE

SCALA 1:1000



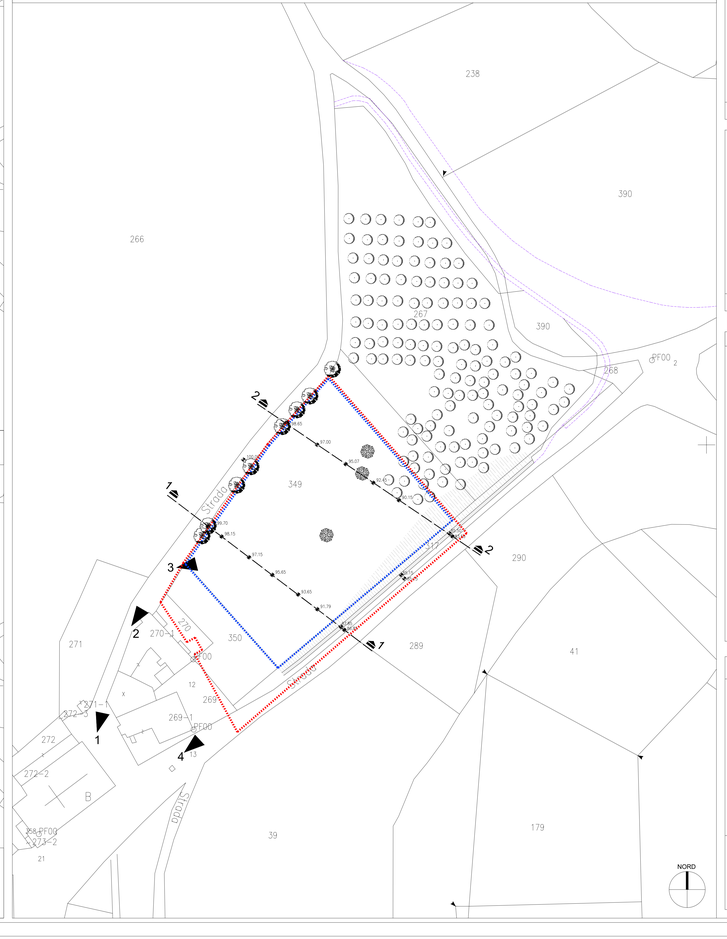
LIMITE DI P.A. SU STRALCIO DI MAPPA CATASTALE

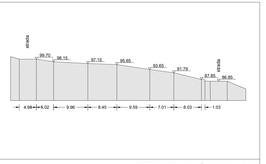
SCALA 1:1000



RILIEVO CELERIMETRICO SU BASE CATASTALE

SCALA 1:500





SEZIONE 1-1 Scala 1:500

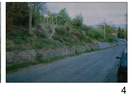
SEZIONE 2-2 Scala 1:500

RILIEVO FOTOGRAFICO

1

2

3



4

5

6

LEGENDA

Limite di P.A. (part. 349P-269P-270P -350P-317P)

Limite di intervento (part. 349/P)

Scarpata

Gabbionata strada

sedime nuova strada

linea di sezione

quota altimetrica

confini catastali

Essenze esistenti

Ulivi

Piante da frutto

Quercia

COMUNE DI TERNI

(PROVINCIA DI TERNI)

OGGETTO:

PIANO ATTUATIVO PER LA REALIZZAZIONE DI EDIFICI DI CIVILE ABITAZIONE IN UN'AREA IN ZONA C VERDE URBANO B (CB) - SITA IN SAN LIBERATORE - INDIVIDUATA AL F. 93 PART.LE 349P/269P/270P/350P/317P

Proponente: Rossi Colozzi Seconda

FIRMA E TIMBRO DEL COMUNE

FIRMA DEL CLIENTE PER ACCETTAZIONE

STUDIO TECNICO
FRATTICCIOLI Geom. Valiero

VIA DEL CASELLO N° 37 TERNI (TR)
TEL/FAX 0744/240320 CEL 360/533868
C.F. FRTVLR60R06L117V
P.IVA 00628270553

Committente: Sig.ra Rossi Colozzi Seconda

Ubicazione: San Liberatore-strada Piscine di Crapiano Terni (TR)

Oggetto: STATO DI FATTO

INQUADRAMENTO GENERALE
PLANIMETRIE CATASTALI - P.R.G.
RILIEVO

SCALA	DATA	TAV.
1/7000, 1/500	09/2015	01 / 02

PROGETTISTI
FRATTICCIOLI Geom. Valiero
VIOLA Arch. Marco

LEGENDA

Limite di P.A. (part. 349P-269P-270P -350P-317P)

Limite di intervento (part. 349/P)

Confini catastali

Art. 127 Zone G - Spazi pubblici attrezzati a parco o per impianti sportivi GV

Art. 94 - Zone E - Spazio rurale
Art. 99 - Fabbricati destinati ad abitazione E1

Art. 65 Zone C - Verde urbano B (CB)

N.T.A. di P.R.G. (PO)

Art. 65 Disposizioni generali:

_comma 2 - ZONE CON IF = 0.4 mc/mq

_comma 3 - Per gli interventi sugli edifici esistenti si rinvia all'art. 101 e per le nuove edificazioni all'art. 102

Art. 102 Disposizioni generali:
_Le nuove costruzioni devono rendersi coerenti con la morfologia del tessuto edilizio circostante, o meglio, con il linguaggio dei casolari tipici umbri, tenendo conto degli elementi compositivi e formali che li caratterizzavano; i prospetti esterni devono essere progettati e costruiti secondo le prescrizioni di carattere esecutivo sotto richiamate. Le forme dei nuovi edifici devono richiamare, preferibilmente, le forme dei casolari tipici umbri: sedimi regolari, compatti, di forma rettangolare, disposti secondo le isoipse, a corpo semplice, o doppio, tendenzialmente allungati; si eviteranno, pertanto, geometrie complesse predilligendo volumi semplici. Ci si dovrà attenere ad un rapporto equilibrato tra le due dimensioni in planimetria.

_comma 6 - All'interno di ogni zona dovranno essere reperiti i parcheggi per il rispetto degli standards urbanistici al servizio degli insediamenti residenziali per quanto attiene i parcheggi (3,5 mq/ab.)

Art. 94 Disposizioni generali:

_ Le disposizioni del presente Capo regolano le trasformazioni ammesse nelle zone denominate spazio rurale così come definito al c.1 dell'art.18 della LR n.27/2000 e sono finalizzate alla tutela ed alla salvaguardia delle caratteristiche ambientali ed al corretto uso delle suscettività produttive

Art. 99 Disposizioni generali:

_L'indice di utilizzazione fondiaria consentito per la realizzazione di nuovi edifici destinati ad abitazione è di due metri quadri di superficie utile coperta per ogni ettaro di superficie di terreno interessato (0,0002 mq/mq) e l'altezza massima è fissata in mt.6,50 dal piano di campagna.

Art. 127 Disposizioni generali:

_ In queste aree è consentito realizzare strutture che integrino la destinazione d'uso ammessa e cioè: attrezzature per il gioco dei bambini, chioschi non fissi, servizi igienici, impianti e servizi per lo sport (impianti sportivi all'aria aperta, stadi, palazzetti, piscine, palestre e simili anche finalizzati alla cura ed alla riabilitazione, foresterie)

LEGENDA

Limite di P.A. (part. 349P-269P-270P -350P-317P)

Limite di intervento (part. 349/P)

Art. 44 Interventi nell'area naturale protetta "Parco fluviale del Nera"

N.T.A. di P.R.G. (PO)

Art.44 Disposizioni generali:
Interventi nell'area naturale protetta "Parco fluviale del Nera"
1. Negli elaborati 7.2 e C è stato perimetrato l'ambito del "Parco fluviale del Nera", istituito con la LR n. 9/1995, quale area naturale protetta.
2. Fino all'entrata in vigore del piano dell'area naturale protetta gli interventi ricadenti nell'ambito di cui al comma 1 seguono le norme di salvaguardia previste dall'art. 10 della LR n.9/1995.

TABELLA B - DATI METRICI DELL'AREA OGGETTO DI P.A.

Foglio	Particella	Superficie (mq)	CB (mq)	B (mq)	E1 (mq)	Sss-viabilità (mq)	Proprietà
93	349	3.781,48	3.271,45	-----	510,03	-----	Rossi Colozzi Seconda
93	269		20,36	528,67	-----	74,28	Rossi Ubaldo
93	270		70,10	300,84	-----	34,10	Rossi Ubaldo
93	350		503,30	2,08	-----	-----	Rossi Ubaldo
93	317		353,88	-----	274,08	-----	Comune di Terni

NOTA:
- Le particelle n. 269/270/350 non partecipano al P.A. come da comunicazione del 06/10/2014 del proprietario Sig. Rossi Ubaldo
- La particella n.317 non partecipa al P.A. in quanto in attesa del trasferimento di proprietà dal Comune di Terni alla Sig.ra Rossi Colozzi Seconda

Limite di P.A. (part. 349P-269P-270P -350P-317P)

Limite di intervento (part. 349/P)

LEGENDA

Limite di P.A. (part. 349P-269P-270P -350P-317P)

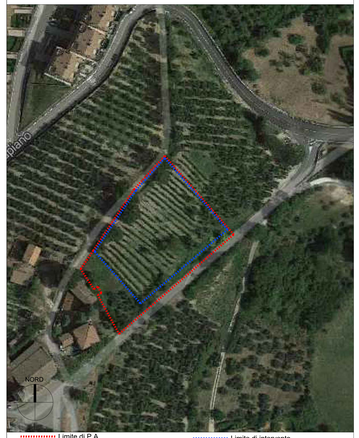
Limite di intervento (part. 349/P)

Zone G - Spazi pubblici attrezzati a parco o per impianti sportivi GV

Zone E - Spazio rurale
Fabbricati destinati ad abitazione E1

Zone C - Verde urbano B (CB)

INQUADRAMENTO TERRITORIALE



Limite di P.A. (part. 349P-269P-270P -350P-317P)

Limite di intervento (part. 349/P)

RILIEVO CELERIMETRICO SU BASE CATASTALE

SCALA 1:500

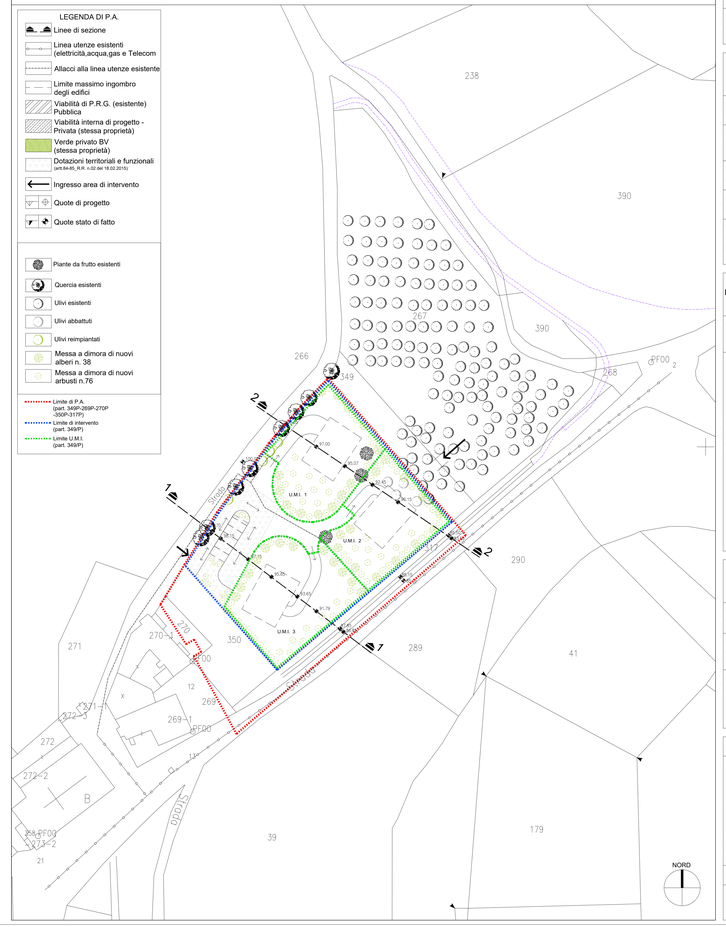


TABELLA A - GRANDEZZE URBANISTICHE
(N.T.A. P.R.G. - artt. 55 - 18
L.R. n.1 del 21.01.2015
R.R. n.02 del 18.02.2015)

Superficie territoriale (art. 2_R.R. n.02 del 18.02.2015)	Mq 3.781,00 (part. 349P)
Superficie fondiaria edificabile (art. 5_R.R. n.02 del 18.02.2015 art. 55 N.T.A.) - I.F. 0.4 mc/mq	Mq 3.271,00 (part. 349/P) x I.F. 0,4 mc/mq = **1.308,00 mc**

TABELLA B - GRANDEZZE EDILIZIE
(N.T.A. P.R.G. - artt. 55 - 18
L.R. n.1 del 21.01.2015
R.R. n.02 del 18.02.2015)

Calcolo Suc (artt. 17/18_R.R. n.02 del 18.02.2015)	Mc 1.308,00 / 3,00 ml = 436,00 mq
Altezza edificio (art. 18_R.R. n.02 del 18.02.2015 artt. 55/18 N.T.A.) - I.F. 0.4 mc/mq	Numero piani ammessi:2 più seminterrato o portico h.=2,50 mt
Distanze dai confini (art.24_R.R. n.02 del 18.02.2015)	ml 5,00
Distanze tra edifici (art.23_R.R. n.02 del 18.02.2015)	distanza min. = mt 10,00
Distanze dalle strade (art.25_R.R. n.02 del 18.02.2015 D. lgs n. 285 del 30 aprile 1992 dPR 495/1992 art. 26 comma 3)	distanza min. = mt 10,00

TABELLA C
Dotazioni territoriali e funzionali minime degli insediamenti e situazioni insediative di cui all'articolo 246, comma 1, lettere a) e b) del TU

Determinazione abitanti 1ab/50,00 mq Suc (artt. 80/81_R.R. n.02 del 18.02.2015)	Mq 436,00 *1ab / 50,00 mq = 9 abitanti
Dotazioni territoriali e funzionali minime di aree pubbliche al servizio di insediamenti residenziali. (artt. 84/85_R.R. n.02 del 18.02.2015)	1) asilo nido, scuola d'infanzia, scuola primaria e secondaria di I grado (4,00 mq/ab) 9,00 ab x 4,00mq/ab = 36,00 mq 2) attrezzature di interesse comune (4,00 mq/ab) 9,00 ab x 4,00mq/ab = 36,00 mq 3) spazi pubblici di quartiere attrezzati a verde comprensivi di piazze, di altri spazi liberi per attività sportive di base e corridoi ecologici, volti a soddisfare anche la necessità di aree di urbanizzazione (5,00 mq/ab) 9,00 ab x 5,00mq/ab = 45,00 mq 4) parcheggi di quartiere e spazi per la raccolta differenziata dei rifiuti e per le fermate del trasporto pubblico locale, volti a soddisfare anche la necessità di aree di urbanizzazione primaria (5,00 mq/ab) 9,00 ab x 5,00mq/ab = 45,00 mq TOTALE MQ 162,00 (18,00 mq/ab.)

TABELLA E - EDILIZIA SOSTENIBILE
(N.T.A. di P.R.G.
L.R. n.1 del 21.01.2015
R.R. n.02 del 18.02.2015)

Recupero acqua piovana (art. 32_R.R. n.02 del 18.02.2015)	Coperture <300mq - 30l./mq - min. 3.000 litri
Permeabilità dei suoli (art. 33_R.R. n.02 del 18.02.2015 art. 55_N.T.A.)	mq 3.271,00 x 50% I.P. = mq 1.635,00
Piantumazione alberi e arbusti (N.T.A. art. 55) A = 1albero/100mq Ar = 2 arbusti /100 mq	A = 3.781,00 mq x 1 albero/100,00mq =38 alberi Ar = 3.781,00 mq x 2 arbusti /100 mq =76 arbusti

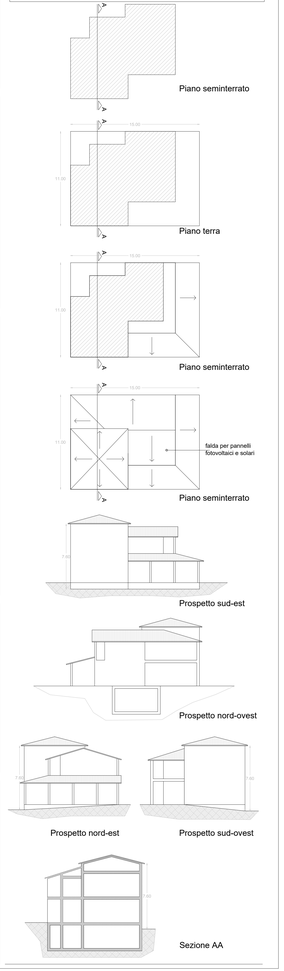
TABELLA F - VERIFICA TABELLE A-B-E

U.M.I. 1	U.M.I. 2	U.M.I. 3
Superficie territoriale mq 860,00	Superficie territoriale mq 790,00	Superficie territoriale mq 940,00
Suc di progetto mq 216,00	Suc di progetto mq 110,00	Suc di progetto mq 110,00
Superficie permeabile mq 625,00	Superficie permeabile mq 590,00	Superficie permeabile mq 710,00
Piantumazione alberi n.13	Piantumazione alberi n.13	Piantumazione alberi n.12
Piantumazione arbusti n.25	Piantumazione arbusti n.25	Piantumazione arbusti n.26

TABELLA F - VERIFICA TABELLE C

Dotazioni territoriali e funzionali minime di aree pubbliche al servizio di insediamenti residenziali. (artt. 84/85_R.R. n.02 del 18.02.2015)	Mq 480,00

TIPI EDILIZI (tipologia non vincolante)
Scala 1:200



COMUNE DI TERNI
(PROVINCIA DI TERNI)

OGGETTO:

PIANO ATTUATIVO PER LA REALIZZAZIONE DI EDIFICI DI CIVILE ABITAZIONE IN UN'AREA IN ZONA C VERDE URBANO B (CB) - SITA IN SAN LIBERATORE - INDIVIDUATA AL F. 93 PART.LE 349P/269P/270P/350P/317P

Proponente: Rossi Colozzi Seconda

FIRMA E TIMBRO DEL COMUNE

FIRMA DEL CLIENTE PER ACCETTAZIONE

STUDIO TECNICO
FRATTICCIOLI Geom. Valiero

VIA DEL CASTELLO N° 37 TERNI (TR)
TEL/FAX 0744/240338 CEL 340/3318868
C.F. FRTVLR60R06L117V
P.IVA 00420370553

Committente: Sig.ra Rossi Colozzi Seconda

Ubicazione: San Liberatore-strada Piscine di Crapiano Terni (TR)

Oggetto: PROGETTO

PLANIMETRIA GENERALE
INQUADRAMENTO URBANISTICO
TIPI EDILIZI

PROGETTISTI
FRATTICCIOLI Geom. Valiero
VIOLA Arch. Marco

SCALA	DATA	TAV.
1/1000, 1/500	09/2015	02 / 02

Società Geologica Srl
Via G. Vitalone 18 - 05100 Terni
Cod. Fisc./P.IVA 01374990552

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

PROVA SCPT1

Società Geologica Srl
Via G. Vitalone 18 - 05100 Terni
Cod. Fisc./P.IVA 01374990552

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

PROVA SCPT2

Società Geologica Srl
Via G. Vitalone 18 - 05100 Terni
Cod. Fisc./P.IVA 01374990552

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

PROVA SCPT3

Società Geologica Srl
Via G. Vitalone 18 - 05100 Terni
Cod. Fisc./P.IVA 01374990552

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

PROVA SCPT4

Società Geologica Srl
Via G. Vitalone 18 - 05100 Terni
Cod. Fisc./P.IVA 01374990552

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

PROVA SCPT5

Società Geologica Srl
Via G. Vitalone 18 - 05100 Terni
Cod. Fisc./P.IVA 01374990552

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

MASW1