

Bozza sezione su terre armate in SSAP- bozza manuale versione 5.0 (2020)
– last edit 03/01/2020
(.....OMISSIS.....)

2.4.3 Tiranti e Chiodi

Secondo le RACCOMANDAZIONI ISRM (1993) il termine Tirante si riferisce "all'insieme composto da armatura, malta, dadi di bloccaggio, piastra di ripartizione, ecc., utilizzati per il rinforzo del terreno oppure come trasferimento al terreno di carichi esterni".

Tali strutture sono solitamente utilizzate per incrementare la stabilità di un pendio e per ancorare opere di sostegno a un substrato generalmente ad elevate proprietà meccaniche (es. roccia). L'azione dei tiranti, solitamente in gruppo, è in pratica una azione di tipo stabilizzante che ha influenza sul coefficiente di sicurezza complessivo del pendio ove essi sono posizionati.

Secondo la normativa vigente per ciascuno dei tiranti è previsto una tensione o resistenza di progetto (espressa in kN/m) ricavata mediante opportune prove di carico fino a rottura o sfilamento (RACCOMANDAZIONI ISRM , 1993).

La stabilità complessiva di un pendio dove è presente un sistema di tiranti deve essere effettuata tenendo conto della tensione o resistenza di progetto, della posizione, lunghezza e inclinazione di ciascuno dei tiranti e della interazione con le varie superfici di scivolamento possibili (fig. 2.4.6).

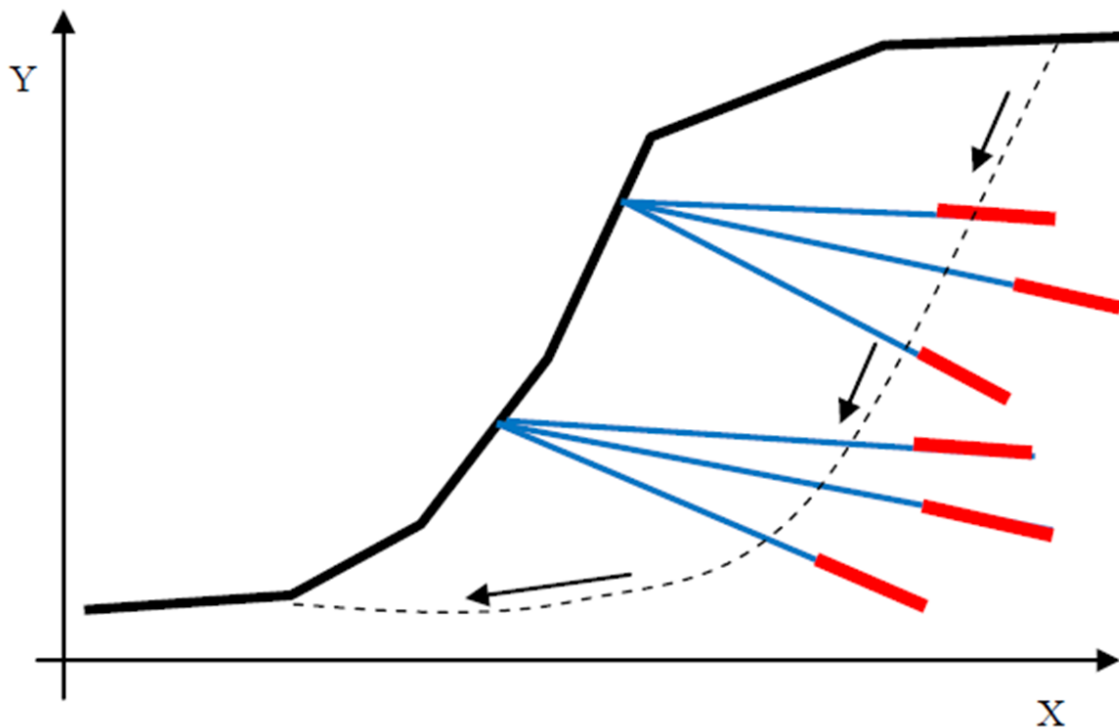


Fig. 2.4.6

Per ogni tirante, a cui è associata una resistenza unitaria (nel senso della larghezza del pendio) di progetto, o trazione, T (kN/m), qualora sia attraversato da una potenziale superficie di scivolamento, vengono ricavate le componenti orizzontale e verticale di T (fig. 2.4.7).

Viene fatta comunemente una distinzione tra **Tiranti Passivi e Tiranti Attivi**. Il primo tipo di tiranti si riferisce a tiranti posti in opera senza essere pretensionati con la loro massima resistenza di progetto. Il secondo tipo viene posto in opera e pretensionato alla sua resistenza massima di progetto.

Nel codice di calcolo è utilizzata la procedura indicata da Zhu et al. (2005) dove tutte le forze resistenti aggiuntive vengono considerate nelle loro componenti orizzontali e verticali. Per il calcolo di F_s in presenza di pendii rinforzati da tiranti in condizioni Attive e Passive sottoposti ad un Carico di progetto T e caratterizzati da un angolo β definito dalla direzione del tirante e dalla direzione orizzontale (fig. 2.4.7a). Nella figura 2.4,7b viene indicato il modello di calcolo dell'effetto delle componenti di T che agiscono nella direzione locale della superficie di scivolamento.

Nel caso di un **TIRANTE ATTIVO** (Hoek,1981; Giani,1992;Read & Stacey, 2009) il contributo del tirante viene calcolato come riduzione delle altre forze agenti e favorevoli allo scivolamento la seguente espressione:

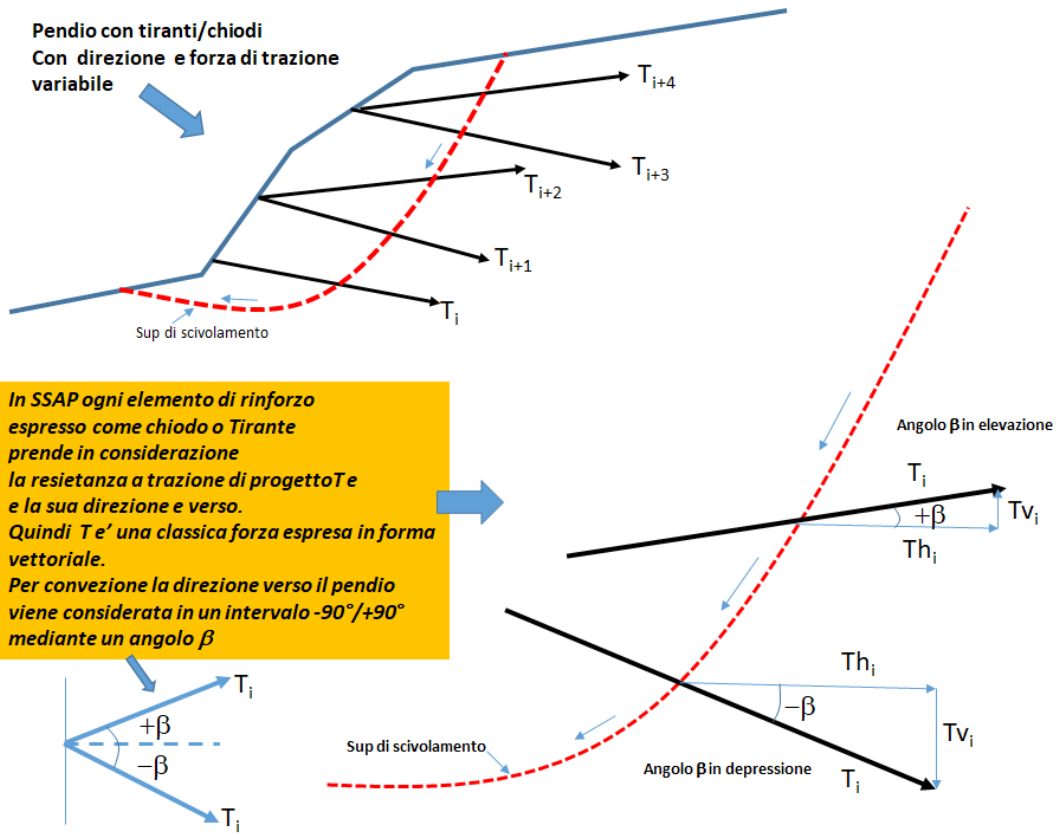
$$F_s = \frac{\text{Forze resistenti}^*}{\text{Forze agenti} - \sum_i T a_i} \quad (2.11)$$

**Si considera per il Tirante ATTIVO il contributo dell'incremento di N' locale prodotto dal Pretensionamento.(figu. 2.4.9)*

Nel caso di un **TIRANTE PASSIVO** (Hoek,1981; Giani,1992;Read Stacey, 2009) F_s viene calcolato con la seguente espressione:

$$F_s = \frac{\text{Forze resistenti} + \sum_i T a_i}{\text{Forze agenti}} \quad (2.12)$$

dove le componenti orizzontali e verticali T_a sono calcolate dalle equazioni in figura 2.4.8 e le componenti T_r che agiscono sulle forze normali N agenti localmente sulla superficie di scivolamento sono mostrate nella figura 2.4.9 (caso del tirante attivo).



(a)

In SSAP si considerano sempre tutte le componenti orizzontali di tutte le forze interne ed esterne espresse in forma Vettoriale. Quindi le forze T vengono scomposte nelle corrispondenti componenti orizzontali e verticali:

$$Tv = T \sin \beta$$

$$Th = T \cos \beta$$

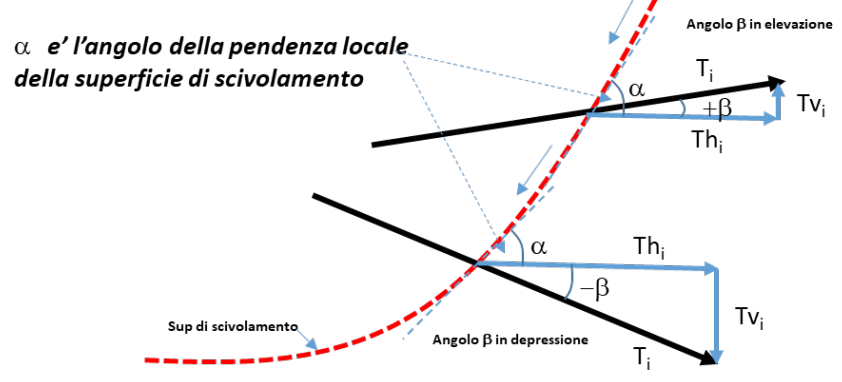


fig. 2.4.7

(b)

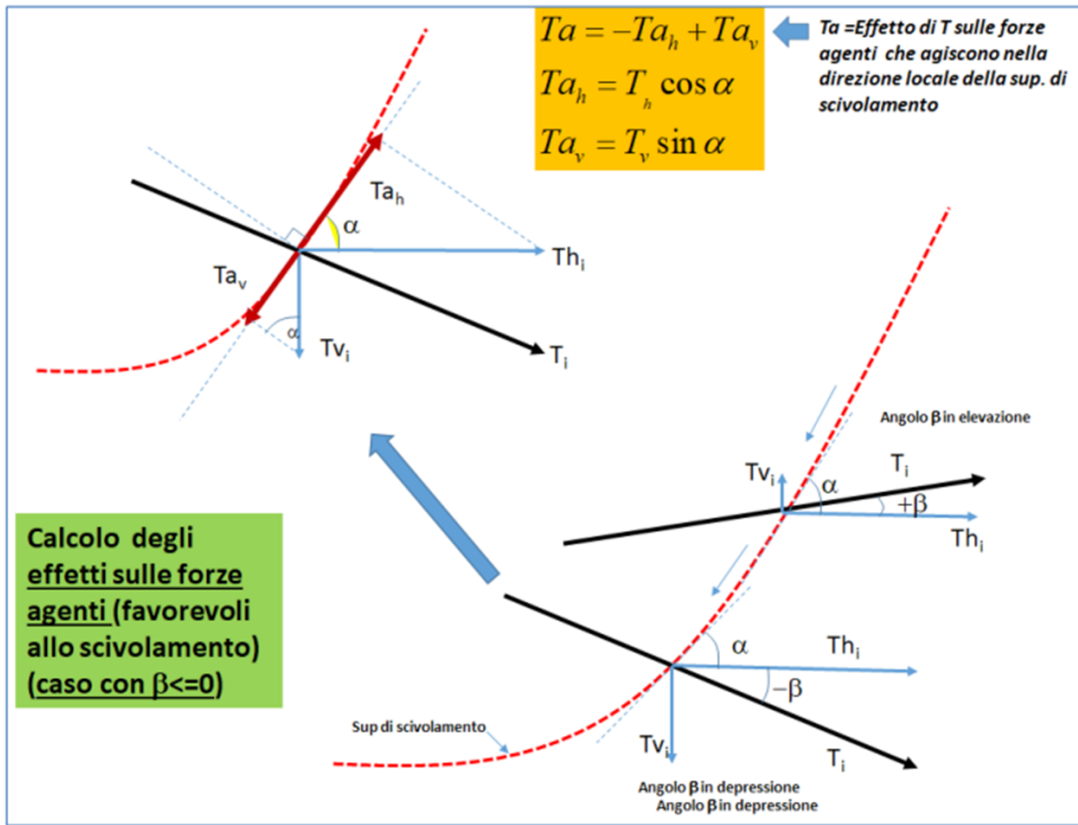


Figura 2.4.8

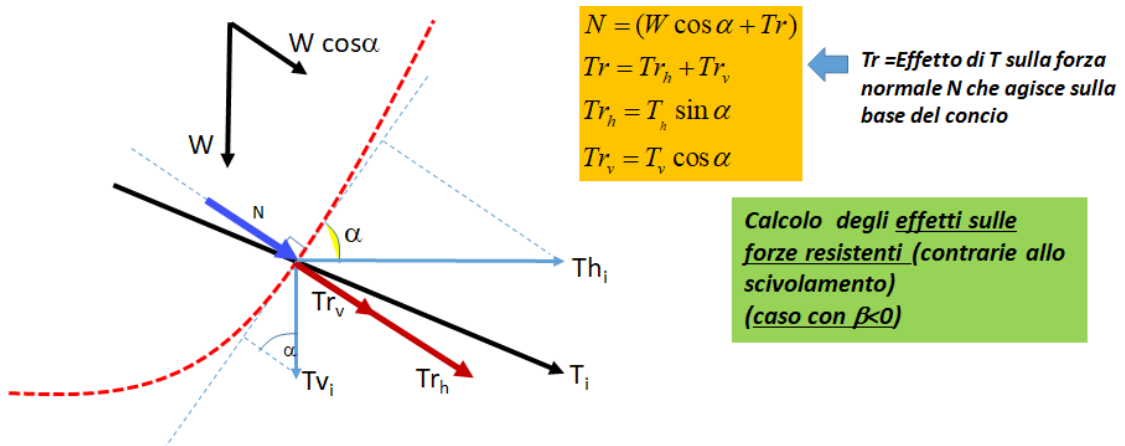


Fig. 2.4.9

Secondo HOEK & BRAY (1981) l'uso della equazione (2.11) è giustificato quando T è da considerarsi una forza attiva ovvero quando il tirante è posto in tensione prima che sia avvenuto un qualsiasi tipo di movimento. L'uso della equazione (2.12) è invece da utilizzarsi quando il tirante non è pretensionato e la resistenza (passiva) si svilupperà al momento in cui avverrà il movimento del pendio.

Nel caso di pendii già instabili può essere considerato di effettuare la verifica di stabilità utilizzando la equazione (2.12). In ogni caso la resistenza di progetto del tirante deve essere ricavata mediante test da effettuarsi seguendo la normativa vigente (vedasi anche RACCOMANDAZIONI ISRM, 1993).

Si ricorda che nel caso di pendii in materiali sciolti l'area di fondazione del tirante deve essere posta in materiali ad elevata resistenza meccanica (roccia, ghiaie, conglomerati, ecc.) al fine di ottenere un effetto stabilizzante efficace.

Oltre a alle pure componenti di T sulle forze agenti e resistenti, SSAP considera anche i momenti generati dalle componenti orizzontali, essendo in SSAP implementato un sistema di calcolo LEM rigoroso che considera contemporaneamente l'equilibrio delle forze e dei momenti.

Si consideri sempre anche la possibilità di superfici di scivolamento profonde che non intersecano il sistema di tiranti presenti nel pendio. In questo caso il sistema di chiodi o tiranti non sarà di alcuna utilità.

2.4.3.1 Distribuzione delle forze resistenti in tiranti e chiodi

In SSAP è stata inserita la possibilità di utilizzare una distribuzione non lineare della forza resistente **T** da considerare in corrispondenza della intersezione della superficie di scivolamento e del tirante. Lo schema di ripartizione della forza resistente di un tirante è illustrato nella figura 2.4.10a. la lunghezza totale del tirante è ripartita in una porzione libera e in una porzione cementata. La forza resistente massima **T_{max}** (o **resistenza di progetto**) del rinforzo è dovuta alla resistenza dellaporzione di ancoraggio cementata, alla resistenza ultima del cavo del tirante o alla resistenza della piastra di ripartizione in testa. Noto il valore **T_{max}** di progetto, la resistenza **T** da utilizzare nel calcolo risulta quindi funzione del punto dove abbiamo la intersezione tra la superficie di scivolamento e l'asse del tirante, di fatto **T=f(L_i)**; dove **L_i** e` la lunghezza sottesa dalla testa del rinforzo al punto di intersezione con la superficie di scivolamento assunto

In SSAP Abbiamo quindi due tipi di distribuzioni di resistenza (figura 2.4.10b):

- 1) Una **distribuzione di tipo RETTANGOLARE** dove **T=0** nel caso di intersezioni nella zona cementata di ancoraggi, mentre **T=T_{max}** per le intersezioni che avvengono nella zona libera.
- 2) Una **distribuzione TRAPEZOIDALE** dove **0<T<T_{max}** per le intersezioni che avvengono nella zona cementata di ancoraggio, mentre **T=T_{max}** per le intersezioni che avvengono nella zona libera.

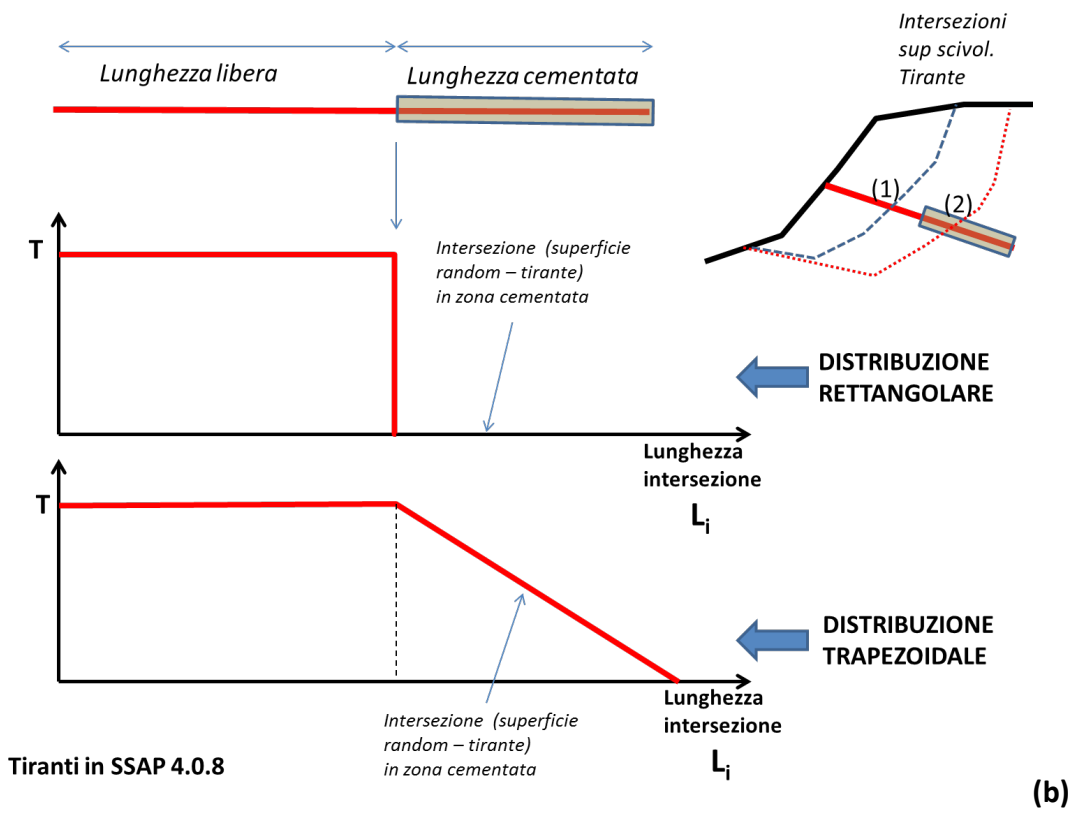
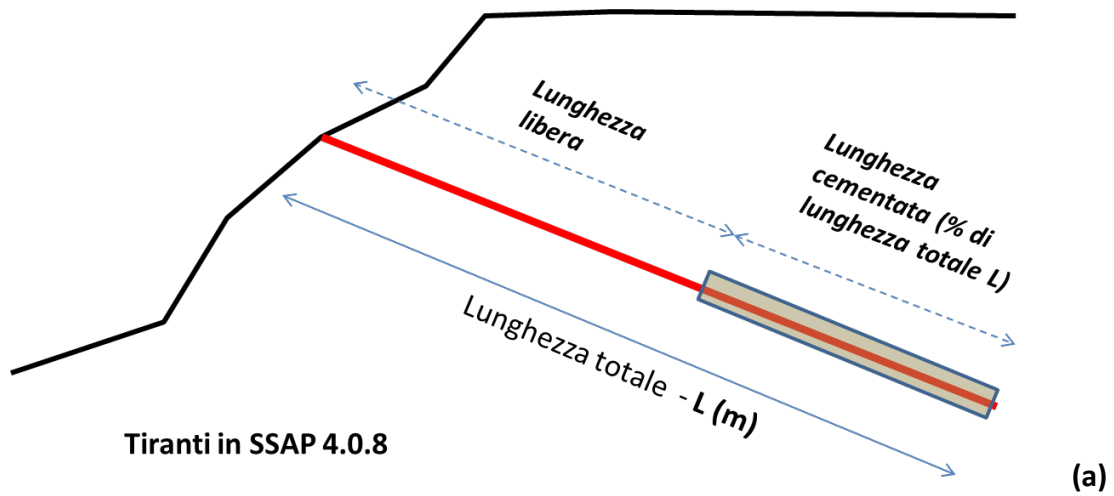


Figura 2.4.10

In generale abbiamo che la forza di reazione nominale del tirante e' ottenuta con la seguente equazione:

$$T = F T_{\max} \tag{2.13}$$

dove F e' un coefficiente compreso tra 0.0 e 1.0 che rappresenta il primo livello di riduzione della forza massima di reazione di progetto assegnata al rinforzo che e' funzione della posizione della

intersezione tra il tirante e la superficie di scivolamento considerata e dalla distribuzione assunta (Rettangolare o Trapezoidale) della resistenza di progetto del rinforzo. In funzione della distribuzione assunta avremo

- 1) Nel caso di una distribuzione **RETTANGOLARE** avremo $F=0$ nel caso di intersezioni nella zona cementata di ancoraggi, mentre $F=1.0$ per le intersezioni che avvengono nella zona libera.
- 2) Nel caso di una distribuzione **TRAPEZOIDALE** avremo $0 < F < 1.0$ per le intersezioni che avvengono nella zona cementata di ancoraggio, mentre $F=1.0$ per le intersezioni che avvengono nella zona libera.

In SSAP è quindi necessario scegliere il tipo di distribuzione da utilizzare: la rettangolare o la trapezoidale, **che è quella standard (consigliata)**, selezionandola tra le opzioni base per i tiranti (vedasi capitolo 5). Nella versione 4.0.8 è stato inserito un nuovo parametro addizionale: la percentuale cementata (L_c) della lunghezza totale (L) del tirante. Questo parametro permette una maggior flessibilità nella modellazione dell'effetto stabilizzante del tirante. È possibile infatti con questo nuovo parametro anche simulare l'effetto stabilizzante di micropali inclinati. Per i dettagli nel formato del file che contiene i parametri per i tiranti, utilizzato a partire da SSAP 4.0.8, si veda il capitolo 3 di questo manuale.

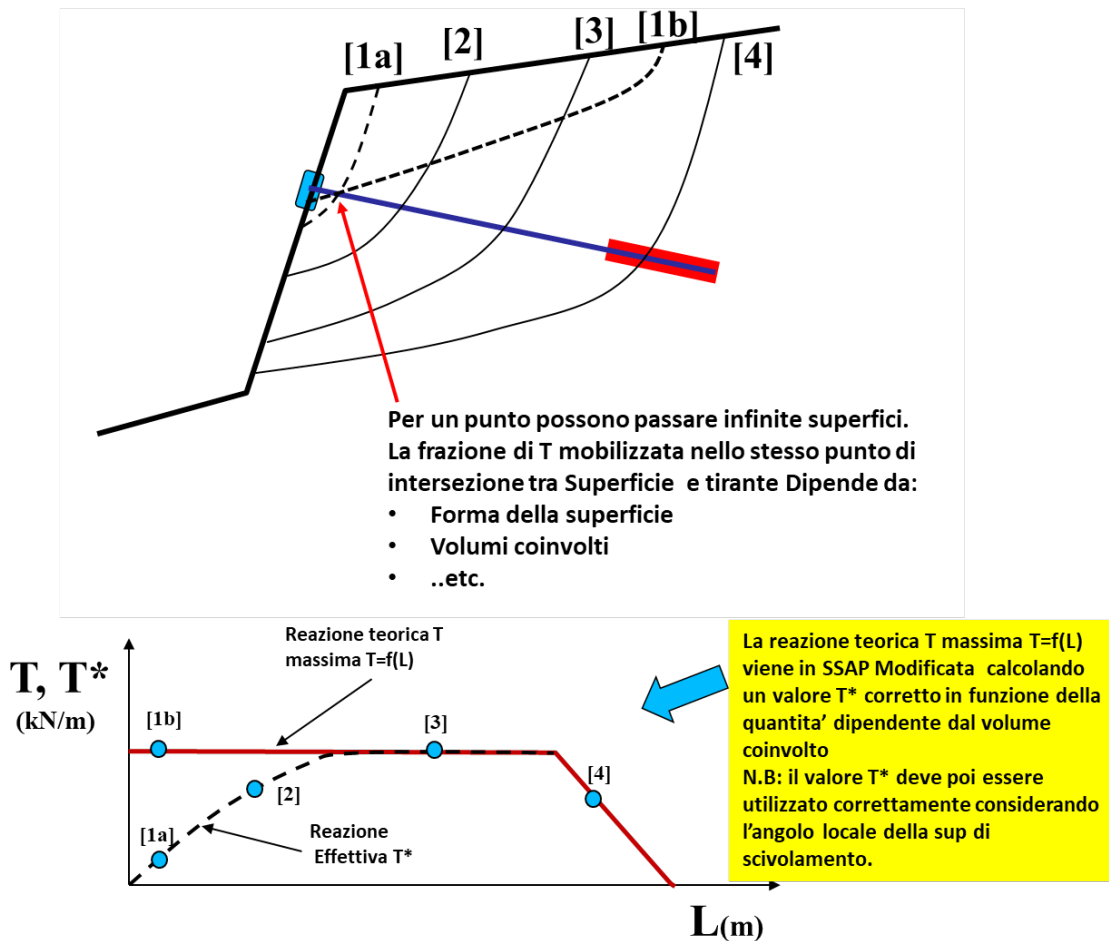


Figura 2.4.11

N.B: Nel caso di tiranti Attivi è necessario prestare attenzione al valore della forza T che viene utilizzata. **Valori eccessivi di T possono portare a valori F_s NEGATIVI** perché appare un termine che decrementa eccessivamente le preesistenti forze agenti. In caso di tiranti Attivi è necessario analizzare il comportamento del pendio facendo analisi con incrementi progressivi di T e monitorando il comportamento con attenzione. Nel caso si ottengano F_s NEGATIVI le relative superficie non verrebbero mai visualizzate e si otterrebbe un basso valore di convergenza nel calcolo di F_s .

Per evitare il problema sopra descritto, a partire da SSAP 4.9.9 e' stata attivata una procedura automatica di riduzione della forza di reazione del tirante nel caso che i volumi e le masse in gioco, definite dalla superficie di scivolamento, siano modesti. In questo caso la procedura indicata nella figura 2.4.11 si attiva automaticamente e la forza di reazione del tirante viene modificata calcolando la reazione **T^* effettivamente mobilizzata** mediante la seguente equazione:

$$T_i^* = \Omega_i T_i = \Omega_i F_i T_{\max_i} \quad (2.14)$$

dove:

Ω_i e' il coefficiente di mobilitazione, o fattore di scala riduttivo, (variabile tra 0.0 e 1.0) , che e' ottenibile dalle seguente equazioni:

$$T_{ah_i} = F_i T_{\max_i} \sin \beta_i \cos \alpha_i \quad (2.15)$$

$$\Omega_i = \frac{\min(T_{ah_i}, \sum A_{up_i})}{T_{ah_i}} \quad (2.16)$$

dove:

T_{ah_i} =reazione del tirante nella componente collineare alla pendenza locale della superficie di scivolamento(kN/m)

F_i =fattore di riduzione di primo livello che dipende dalla posizione della intersezione tra tirante e superficie di scivolamento (adimensionale)

T_{\max_i} =tensione di progetto del rinforzo (kN/m)

β_i =angolo di inclinazione del rinforzo rispetto alla orizzontale(gradi)

α_i =pendenza locale della superficie di scivolamento nel punto di intersezione con il rinforzo(gradi)

A_{up_i} =entità' complessiva delle forze agenti(unitarie) sulla superficie di scivolamento nella porzione a monte del punto di intersezione con il rinforzo (kN). La quantità generale delle forze agenti allo scopo

di questo calco e` trasferita integralmente nel punto di intersezione e posta collineare con la pendenza locale della superficie di scivolamento.

Nella figura 2.4.12 viene mostrato lo schema delle forze utilizzate nel calcolo di Ω_i e T_i^* .

E' importante considerare che sempre avremo $T_i^* \leq T_{max_i}$, ovvero mai possiamo mobilitare una forza superiore al valore massimo assunto di progetto. Mente in caso di volumi ridotti di terreno o roccia, delimitati dalla superficie di scivolamento a monte della zona di intersezione del rinforzo (fig. 2.4.11), possiamo avere in alcuni casi anche valori ridotti di Ω_i e quindi valori di reazione T_i^* prossimi a zero .

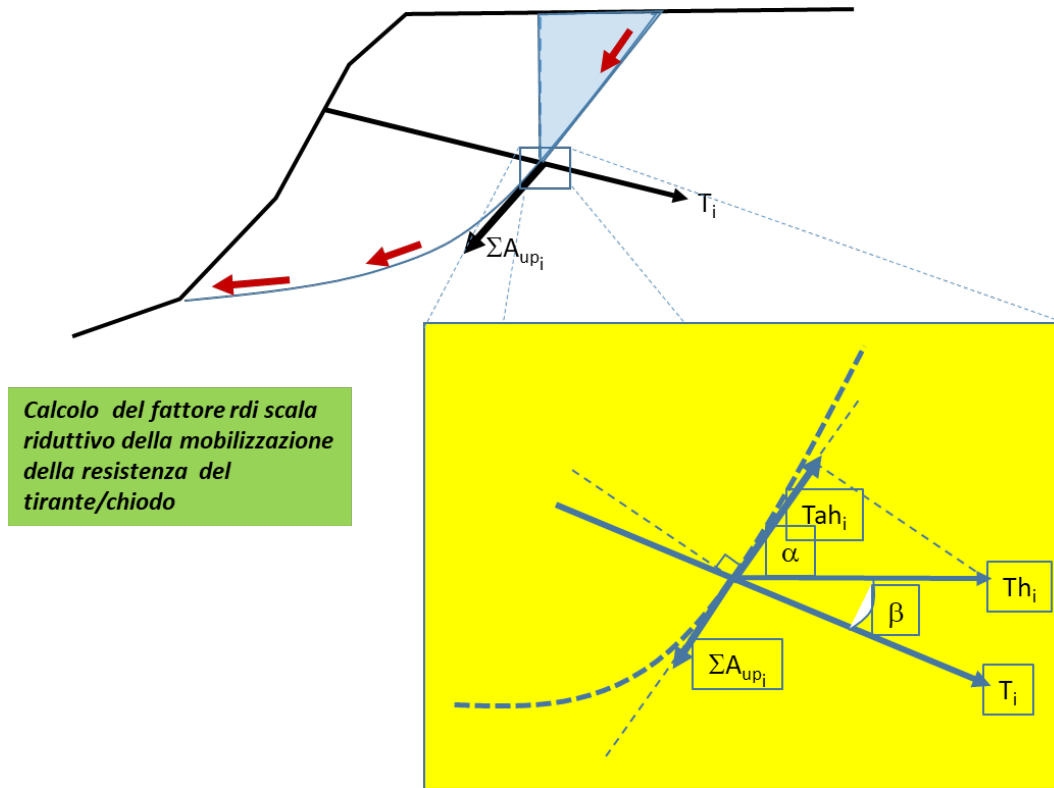


Figura 2.4.12

il concetto espresso dalle precedenti equazioni e` insito nella procedura di progettazione per rinforzi attivi e passivi, indicata da Lazarte et al (2009)¹, anche se in questo caso il fattore di scala riduttivo complessivo Ω e` ottenuto (con la procedura sopra illustrata) in base alla entità delle forze agenti localmente sul tirante. In caso di disattivazione della procedura precedentemente illustrata viene assunto un valore costante di $\Omega_i = 1.0$.

Durante il calcolo la procedura e' attivata per ognuno dei tiranti incontrati e intersecati dalla superficie di scivolamento e ripetuta per ognuna delle intersezioni. Dato che in SSAP si considerano le componenti orizzontali e verticali (fig. 2.4.8 , 2.4.9) delle reazioni mobilitate dai rinforzi queste vengo ricavate alla fine dalle seguenti equazioni:

¹ Vedasi il seguente manuale: Lazarte, C. A., Robinson, H., Gómez, J. E., Baxter, A., Cadden, A., & Berg, R. (2015). *Soil Nail Walls Reference Manual (No. FHWA-NHI-14-007)*

$$T_{h_i} = \Omega_i F_i T_{\max_i} \cos \beta_i \quad (2.17)$$

$$T_{v_i} = \Omega_i F_i T_{\max_i} \sin \beta_i \quad (2.18)$$

Una tabella riassuntiva con tutti i parametri di interazione, sopra descritti, tra sistema di tiranti/chiodi e superficie di scivolamento con F_s minimo viene prodotta nel report finale di verifica.