

III.6 MURI DI SOSTEGNO

III.6.1 VERIFICHE GEOTECNICHE DELLA SICUREZZA

La spinta S_a attiva del terreno su un muro di sostegno viene valutata secondo le classiche teorie di Coulomb e Rankine e dipende dalle caratteristiche di resistenza c, φ del terreno (vedi figura 4 paragrafo I 3).

La spinta dipende anche dal tipo di vincoli e di cinematismi consentiti come evidenziato in figura G19.

Se il muro ruota semplicemente rispetto alla base dell'ordine di $h/200$, in assenza d'acqua risulta

$$S = \frac{1}{2} K_a \gamma h^2; \quad \gamma = 1,8 \text{ } 2,0 \text{ kN/m}^3$$

Essendo K_a il coefficiente di spinta attivo diagrammato in figura G20 in funzione delle condizioni al contorno e specialmente dell'inclinazione del terrapieno che gravita sul muro e dell'attrito δ mobilitato tra terrapieno e muro.

Se il muro è impedito di ruotare come nelle figure G19 c, eg, in quanto ad esempio è contrastato in sommità per non indurre cedimenti ad opere limitrofe il coefficiente di spinta, per profilo del terrapieno orizzontale, cresce da K_a al valore di quiete litostatico K_0 , i quali rispettivamente valgono:

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}; \quad K_0 = (1 - \sin \varphi) \sqrt{\frac{\sigma'_p}{\sigma'_{vo}}}$$

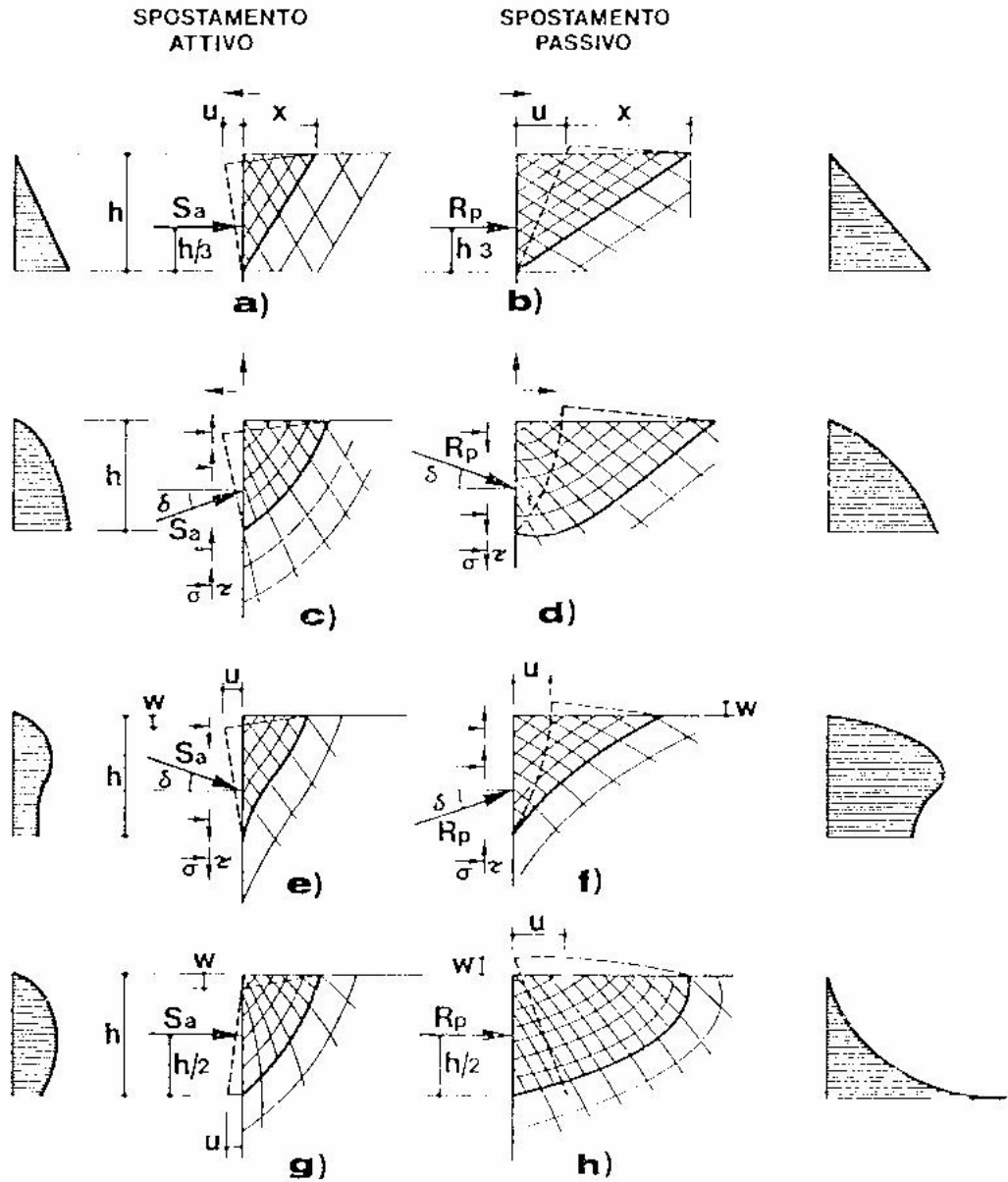
per valore della coesione $c=0$ e per grado di addensamento σ'_p / σ'_{vo} del terrapieno se compattato.

La spinta sul muro è inoltre fortemente influenzata dalla presenza di acqua, secondo la classica distribuzione lineare di Pascal, ovvero della presenza o meno di drenaggi funzionanti a tergo del muro.

La figura G21 evidenzia con le regole della statica grafica l'aumento della spinta attiva in presenza d'acqua e dal variare del moto di filtrazione, la spinta incrementa il poligono delle forze chiuso nel caso di falda acquifera che raggiunge la sommità del muro trascinandole risulta:

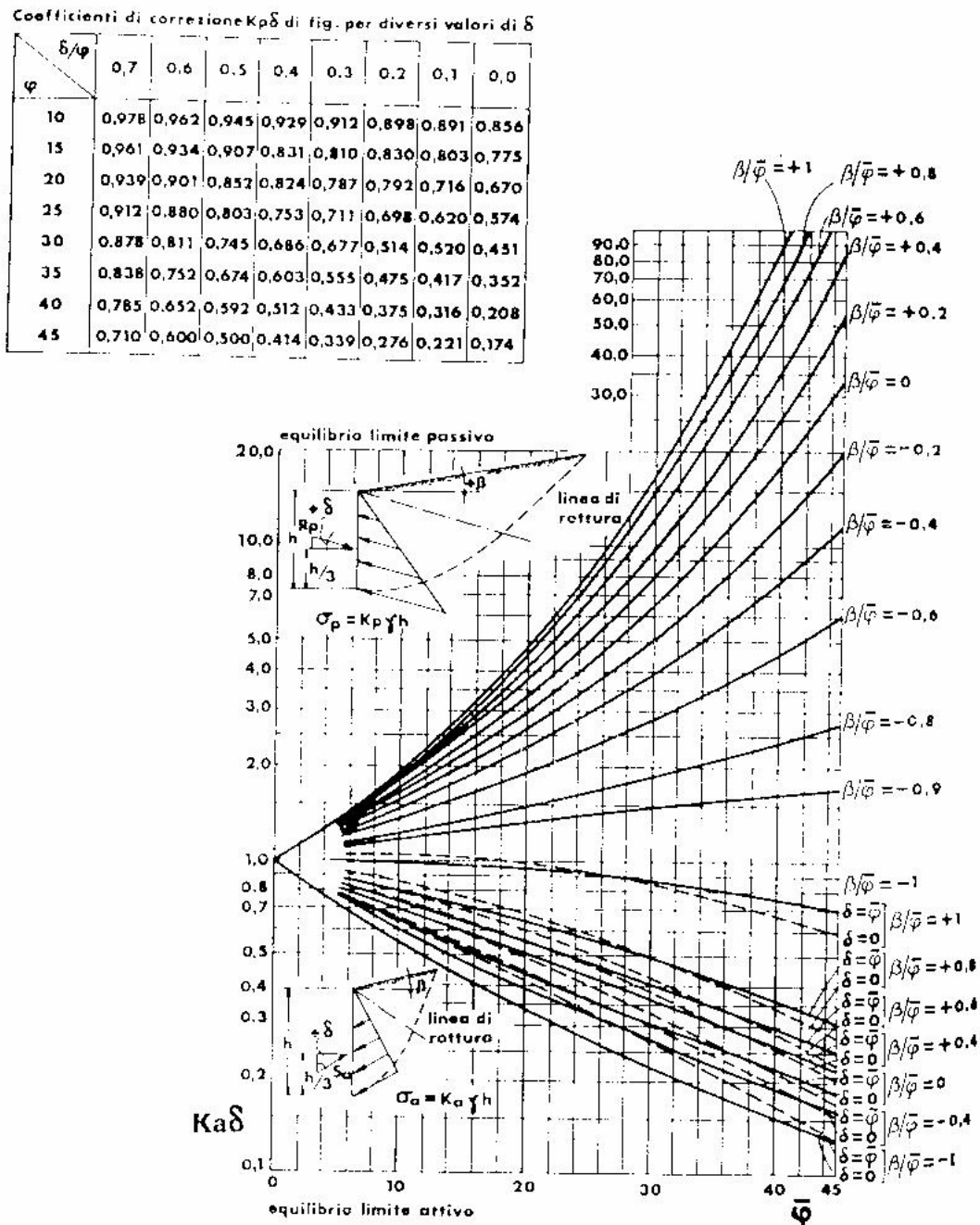
$$S = \frac{1}{2} K_a (\gamma - \gamma_w) h^2 + \frac{1}{2} \gamma_w h^2 \quad (\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3)$$

In particolare deve essere prevenuto il sifonamento idraulico.



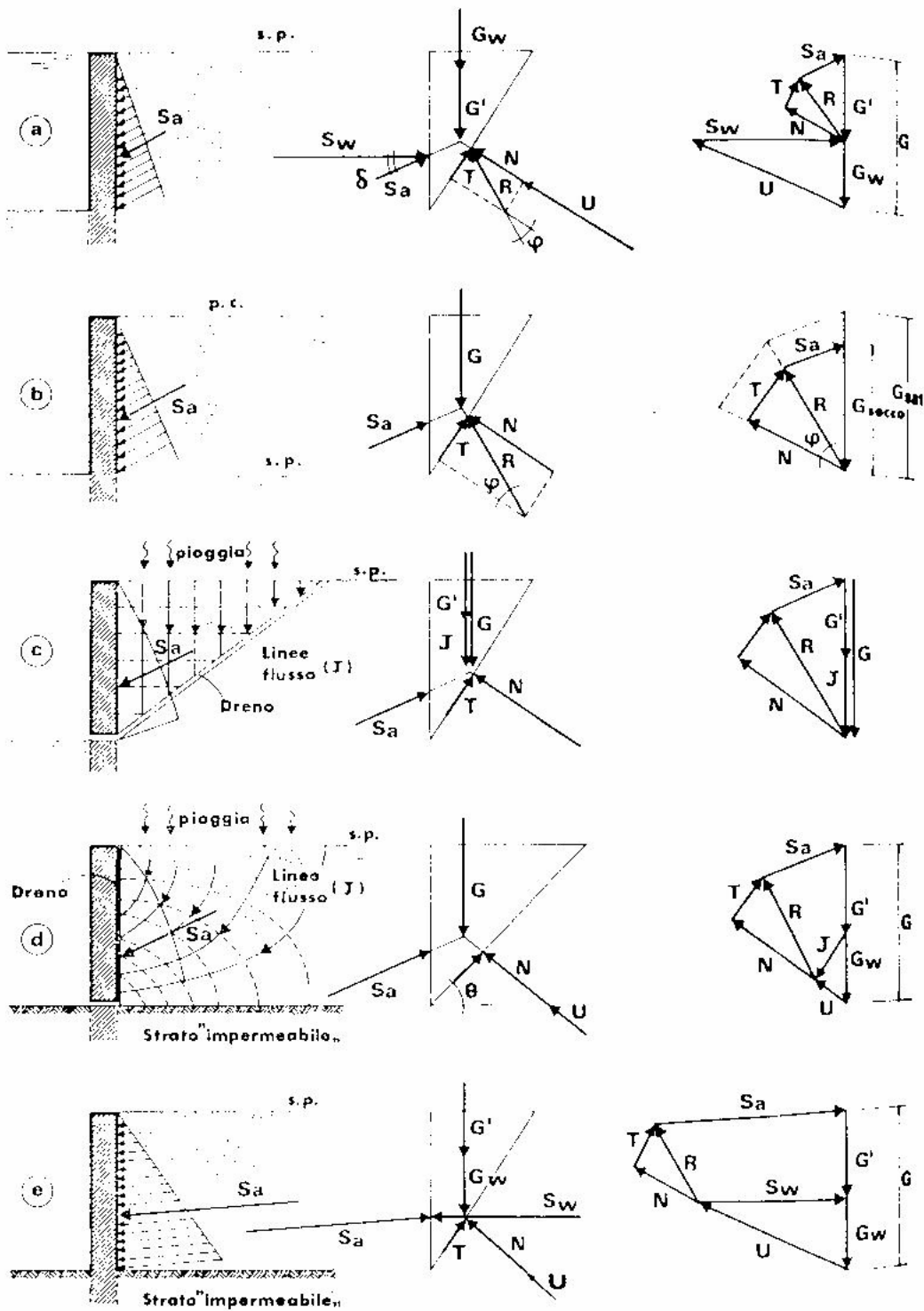
Panoramica delle curve di scorrimento, ed in particolare di quella delimitante i prismi di rottura e dei diagrammi di spinta e di resistenza correlati alle tensioni tangenziali al contatto diaframma-terreno (fig. c, d, e, f), ed alle deformazioni del diaframma (fig. g, h) (condizioni al contorno reali), rispetto alle condizioni di contorno ideali di Rankine (fig. a, b).

Fig. G19 Variazione della distribuzione delle pressioni spingenti su un muro in funzione degli spostamenti consentiti al muro stesso.



Coefficienti di pressione laterale attiva $K_{a0}(\beta)$ e passiva $K_{p0}(\beta)$ al variare dell'inclinazione β del piano campagna e dell'angolo δ di inclinazione della spinta; il parametro del muro è assunto verticale ($\alpha = 90^\circ$) (Nav-Ducks U. S.).

Fig. G 20 Valori del coefficiente di spinta attiva K_a in funzione delle inclinazioni del paramento e del terrapieno



Diversificazione della spinta attiva su una parete per effetto del ruolo dell'acqua nei terreni incoerenti; *a*, immersione simmetrica da ambo i lati; *b*, terreno acuito; *c*, filtrazione verticale; *d*, drenaggio verticale in presenza di strato di base «impermeabile»; *e*, immersione asimmetrica in presenza di strato di base «impermeabile» (ricostruito da illustrazioni di Lambè)

Fig. G 21 Analisi grafica del poligono delle forze chiuso e del poligono funicolare chiuso all'evolversi delle spinte idrauliche S_w .

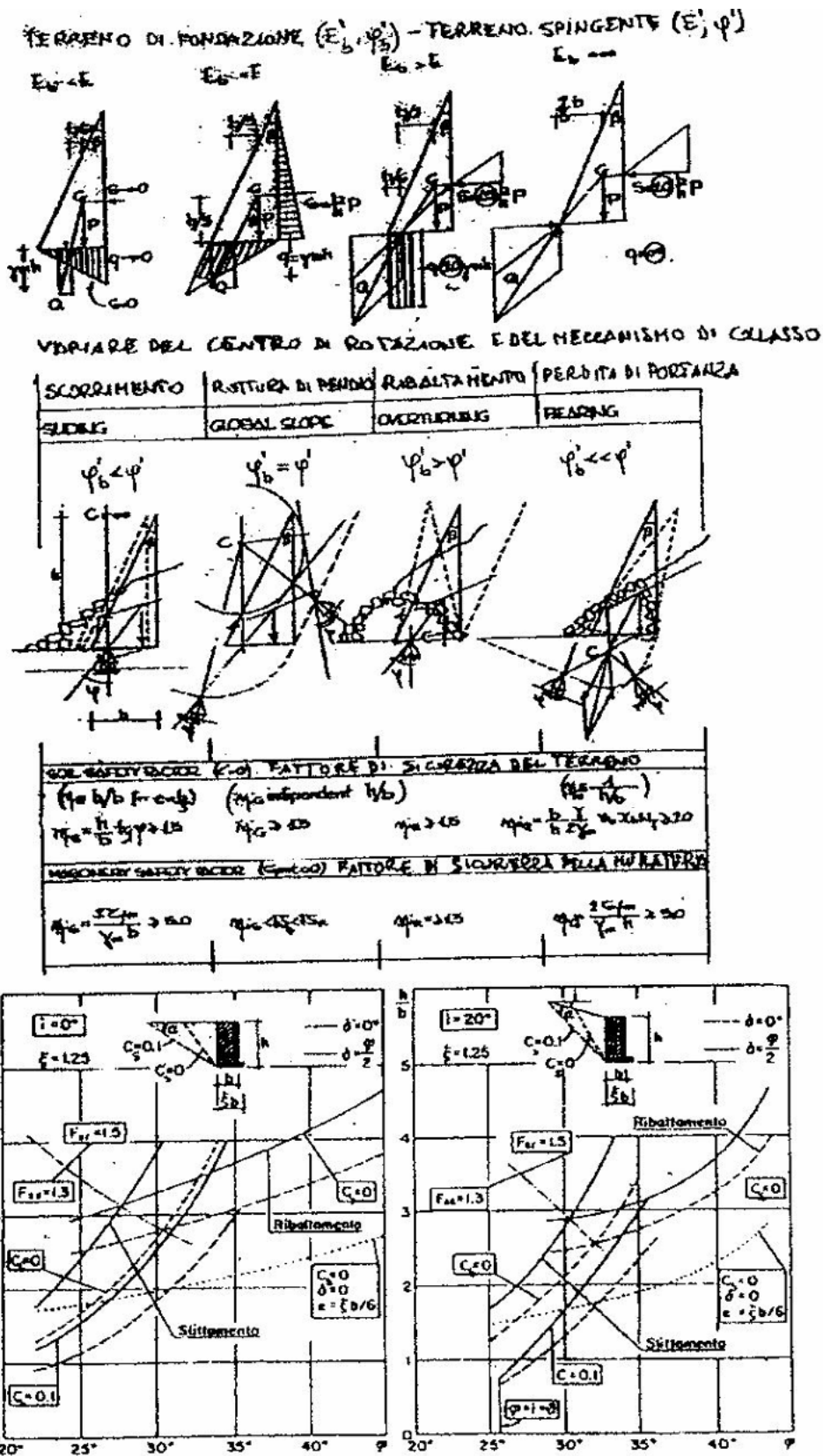
Particolare attenzione va fatta anche per le opere di sostegno nei riguardi delle condizioni "non drenate" e "drenate" del terreno spingente come già descritto per le fondazioni. Le condizioni "non drenate" risultano, trattandosi di decompressione, più vantaggiose di quelle "drenate", inversamente a quanto accade per le fondazioni. La coesione non drenata c_u di un terreno per esempio argilloso può rendere la scarpata provvisoria del terrapieno appena scavato in condizioni stabili, ma basta il semplice drenaggio per evaporazione all'aria o "sfioritura" da rendere drammaticamente la scarpata passibile di crollo, e di gravi rischi per gli operai, quasi a ricordare che $\varphi_u = 0$.

Il fatto che non si veda particolare fuoriuscita d'acqua anche in presenza di falda acquifera al piano campagna, o che non necessitano pompe non garantisce assolutamente la stabilità della scarpata solo inizialmente stabile ma con le spinte specie dell'acqua pronte a innescare il crollo. Solo con piezometri di tipo Casagrande e non con i tubi sfinestrati, passibili di evaporazione, si può misurare l'esatta posizione della falda acquifera, ed prevenire i predetti pericoli.

È emblematico poi il caso di uno scavo sostenuto da pareti in c.a. incastrate alla soletta di platea di base di un'opera poco pesante che è fuoriuscita dal piano stradale alla chiusura impermeabilizzata dello scatolare, in quanto non era stata bilanciata la sottospinta archimedeica, ovvero la sottoppressione $\gamma_w \cdot h_c$, essendo h_c la profondità di immersione della carena in acqua, comportandosi la fondazione come una nave (vedi anche fig. 2).

Nel caso della nave peraltro la stazza risultante deve essere $G \leq \gamma_w V_c / \eta$ essendo V_c il volume di carena immersa al galleggiamento; la fondazione invece deve "affondare" nel terreno per essere stabile, per cui $G \geq \eta \gamma_w V_c$, con $\eta = 1,2 \div 1,3$ in particolare tenendo conto anche di eventuali azioni sussultorie $\Delta G = (0,1 \div 0,4)G$; in fase di costruzione si può abbassare la piezometrica, purché non s'interferisca dannosamente con le opere limitrofe (v. fig. G26).

Il dimensionamento dei muri di sostegno si basa sulle verifiche allo stato limite ultimo che sono state utilizzate in geotecnica sin dalla nascita e solo di recente sono state estese allo stato limite di esercizio, al contrario di quello che si è verificato per le strutture con le attuali normative.



Incremento delle dimensioni h/b e dei costi di un muro a gravità al ridursi delle varie caratteristiche meccaniche dei terreni e al crescere delle azioni sismiche ovvero del coefficiente di intensità $C_s = 0.1$ d'esercizio rispetto $C_s = 0$ delle spinte statiche.

Fig. G 22 Gerarchia dei meccanismi di collasso sia del terreno, sia della

struttura, specialmente in zona sismica.

La figura G22 evidenzia i vari tipi di verifiche agli stati limita sia del terreno ,sia della struttura di sostegno , a seconda del tipo di meccanismo di collasso che s'instaura per arrivare al crollo.Il criterio della gerarchia di collasso ,più volte richiamato in 1.3 ,per rendere meno vulnerabili possibile le strutture in zona sismica, appare ancor più evidente per i muri di sostegno.

Il centro C di rotazione del complesso muro –terreno , caratterizza il cinematismo in atto da prevenire, che risulta molto diverso per crollo per scorrimento ($\Sigma X = 0$),per perdita di portanza ($\Sigma Y = 0$), per ribaltamento ($\Sigma M = 0$), o per rottura globale del pendio.

Gli antichi fattori η di sicurezza deterministici (v.1.4) , ciascuno come riportato in figura G22 per la rispettiva equazione di equilibrio scalare, perdurano, pur rivisitati dai criteri di sicurezza semiprobabilistici ,delineati nel paragrafo III. 4.

Il coefficiente di spinta K_a s'incrementa in presenza di azioni inerziali sismiche sia del terrapieno $S_a G_t/g$ sia del muro $S_a G_m/g$ come mostra l' inclinazione dei vettori gravitativi nell' analisi grafica pseudostatica riportata all'inizio di questa III Parte a simbolo didattico.

La figura G22 mostra in basso un'analisi parametrica dell' incidenza della gerarchia di collasso a scorrimento rispetto al ribaltamento (v. III.6.2)in presenza o meno di forze d'inerzia sismiche, in analogia a quanto descritto per il collasso a taglio ed a flessione per le strutture in c.a.(capacity design)

Si evidenzia , come fatto per le fondazioni rigide, l'emblematica situazione per cui più si vuole stabilizzare il muro a gravità , accrescendone le dimensioni, più si aumentano le forze d'inerzia, se inoltre si impedisce al muro di spostarsi , si esaltano ulteriormente le spinte ,come prima detto per K_o .

Se non s'interferisce con opere a monte del muro , è opportuno consentire spostamenti contenuti ($h/200$) dei muri o ricorrere ad opere di sostegno molto flessibili, come le fasciate modernizzate nei crib wall.

La complessa Geologia italiana può comportare muri che interagiscono parte con ammassi rocciosi più o meno fessurati e parte con terreni in falda acquifera, per cui è fondamentale zonizzare con giunti la struttura,e non ostacolare assolutamente il deflusso delle acque ,inserendo idonee caditoie.

Le spinte, sia sismiche sia geologiche, possono poi essere non solo normali al muro (statica piana), ma vanno verificate tridimensionalmente.

