

# **Tesina di Topografia**

*Progetto stradale*

**Nome Prenome**

**Classe 5<sup>^</sup> - Liceo Tecnico delle Costruzioni**

# 1. Premesse

La strada è un'opera d'arte atta a collegare due o più località al momento non raggiungibili o collegate ad una rete viaria insufficiente per il volume di traffico della zona.

Nella progettazione di una strada dapprima viene eseguita un'analisi del traffico che avrà la nuova strada, in conseguenza del volume di traffico verrà fissata la velocità di progetto che permetterà di stabilire le principali caratteristiche geometriche della strada in progetto, sono:

- larghezza della carreggiata, calcolata in funzione del traffico, si devono stabilire il numero, la larghezza delle corsie e delle banchine, presenza o meno di piste ciclabili o marciapiedi;
- raggio minimo delle curve che viene determinato in funzione della velocità di progetto;
- pendenza longitudinale massima che viene fatta in funzione del tipo di veicoli che dovranno transitare sulla strada.

Stabilite queste caratteristiche si incomincia lo studio planimetrico del tracciato. Durante lo studio planimetrico è necessario eseguire un attento esame delle caratteristiche del terreno (corsi d'acqua, pendenza del terreno, zone abitate...) tra i vari tracciati che saranno individuati si sceglierà quello in cui saranno previsti minori costi di realizzazione.

Durante la fase progettuale bisogna:

- evitare zone paludose o comunque soggette ad infiltrazioni d'acqua;
- attraversare i corsi d'acqua perpendicolarmente e possibilmente a monte, dove il corso d'acqua presenta una minore larghezza;
- il tracciato deve seguire il più possibile l'andamento del terreno, in modo da evitare grandi spostamenti di terra o la costruzione di opere d'arte;
- se la strada si sviluppa parallelamente ad un corso d'acqua, è opportuno che la strada sia progettata ad una dovuta distanza in modo da evitare infiltrazioni d'acqua, se ciò non è possibile si deve procedere a una progettazione di opere di protezione.

E' possibile identificare diversi tipi di strada:

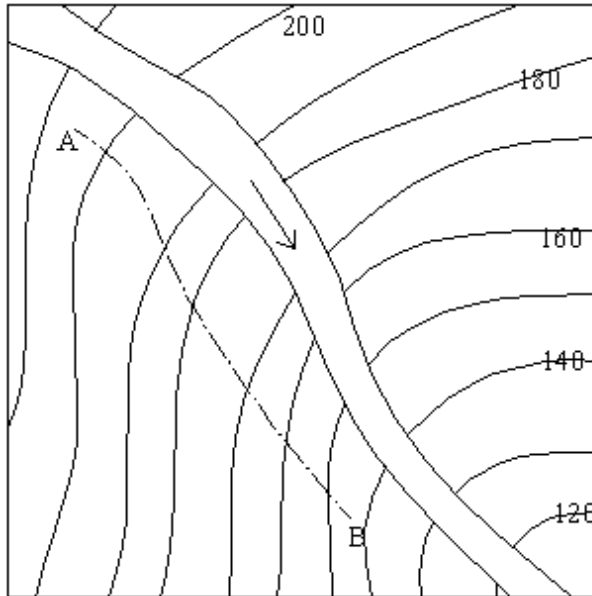


Fig. 1

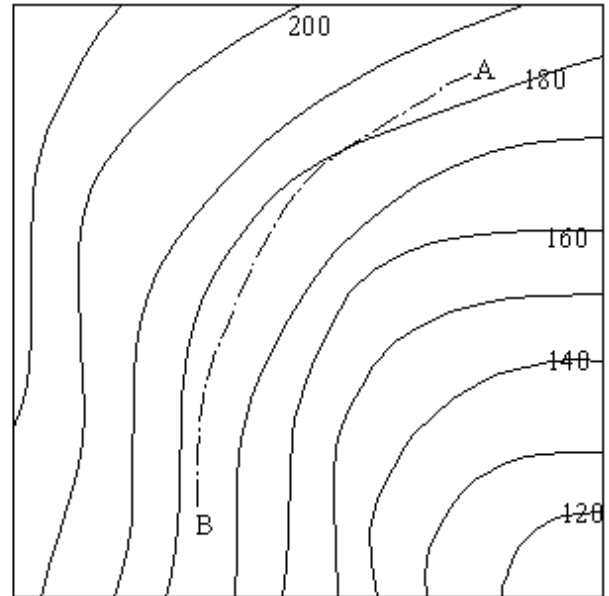


Fig. 2

- strade di fondo valle (Fig.1), la strada si sviluppa parallelamente al corso d'acqua, mantenendo sempre una dovuta distanza da esso, è necessario prevedere la possibilità di piene e di frane,
- strade di cresta (Fig.2), il loro tracciato segue le curve di livello mantenendosi pressoché alla stessa quota;
- spesso occorre progettare opere d'arte;

Esistono anche strade di tipo intermedio che hanno diverse caratteristiche che dipendono dall'andamento planimetrico e altimetrico delle località da dover collegare, si possono incontrare vari casi:

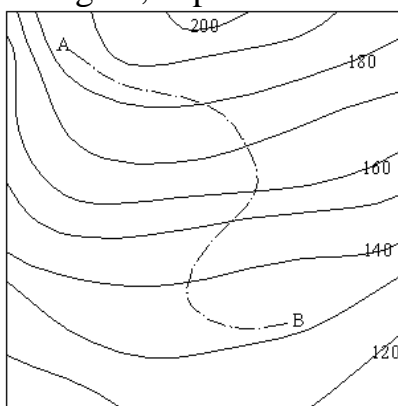


Fig. 3

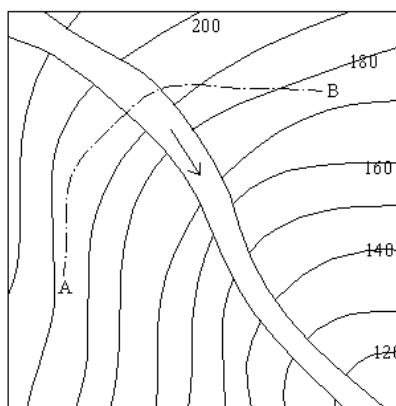


Fig. 4

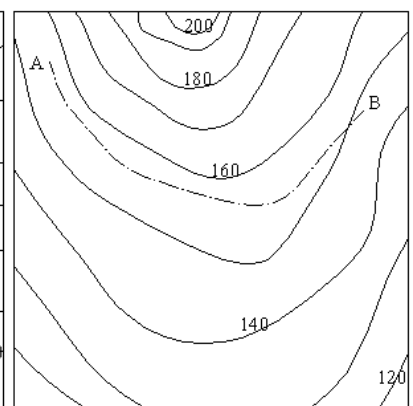


Fig. 5

- le due località sono situate sullo stesso versante ma a quote differenti (Fig.3);
- le due località sono situate su versanti opposti della stessa valle (Fig.4);
- le due località sono situate su versanti adiacenti di due valli opposte (Fig.5).

## 2. Studio del Tracciato

Sulla carta planimetrica con una scala da 1:1000 a 1:2000 viene disegnato dapprima il tracciolino, detto anche linea guida, che è costituito da una serie di spezzate a pendenza costante che seguono l'andamento del terreno senza mai scostarsi da esso.

Nota la pendenza massima longitudinale, si assume una pendenza  $p$  inferiore di circa  $1 \div 2$  %, in quanto il tracciolino presenta uno sviluppo spezzato che verrà successivamente rettificato e quindi aumenterà la pendenza che non può oltrepassare il limite stabilito.

Nota anche l'equidistanza tra una curva di livello e la successiva ( $e$ ), che normalmente è  $1/1000$  della scala della carta, si calcola la distanza  $d$  con la seguente formula:

$$d = \frac{e}{p}$$

Con  $p$  espresso come decimale, la lunghezza  $d$  è la lunghezza di ciascun segmento che compone il tracciolino; il compasso sarà poi aperto con la lunghezza  $d$  opportunamente trasformata nella scala della planimetria.

Durante il tracciamento del suddetto tracciolino si possono venire a creare diversi casi:

- l'arco di raggio  $d$  interseca la curva di livello successiva in due punti, in questo caso si verranno a creare due percorsi differenti che condurranno al punto finale (fig.6);
- l'arco di raggio  $d$  è tangente alla curva di livello successiva, l'unico percorso possibile è quello tracciato, poiché gli altri hanno pendenze inferiori (fig.7);
- l'arco di raggio  $d$  non interseca in nessun punto la curva di livello successiva, ciò significa che qualunque tracciato ha pendenze inferiori, è consigliabile, in questo caso, partire dall'altra estremità della strada per arrivare a congiungere la parte suddetta (fig.8).

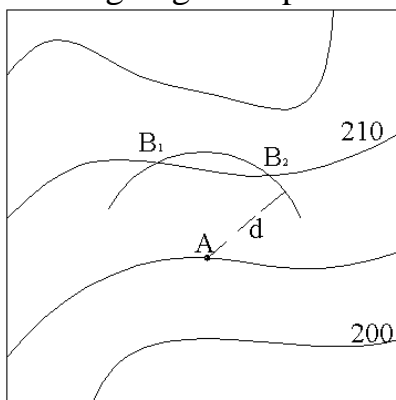


Fig.6

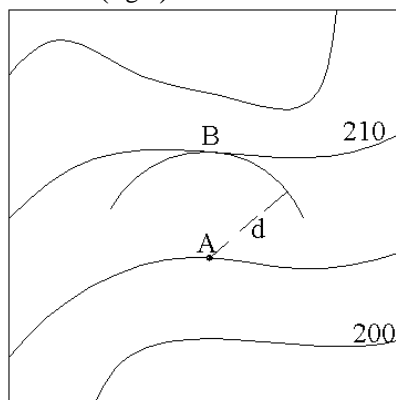


Fig.7

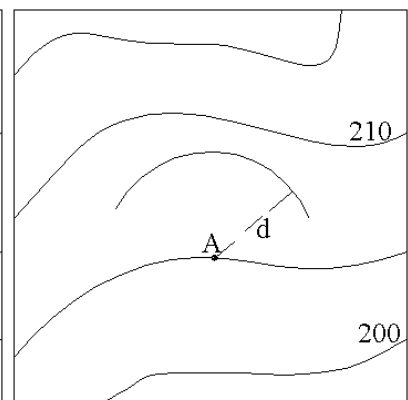


Fig.8

Si otterranno diversi tracciolini, tutti con la stessa pendenza, di questi bisogna scegliere quello più conveniente, seguendo alcuni criteri:

- il percorso deve essere il più breve possibile;
- devono essere evitati terreni non adatti alla costruzione di una strada, ad es. terreni cedevoli o eccessiva presenza d'acqua;
- devono essere evitati tracciati in cui si dovranno costruire curve e controcurve in successione;
- l'attraversamento dei corsi d'acqua deve essere perpendicolare al loro asse;
- il raccordo con altre strade già esistenti deve essere perpendicolare al loro asse;
- il numero di opere d'arte deve essere limitato;
- l'andamento della strada deve seguire il terreno;
- si devono evitare costi di esproprio troppo alti.

Dopo aver scelto il tracciolino, come già detto, dovrà essere regolarizzato creando una serie di rettilinei che prende il nome di poligonale d'asse, i suoi lati dovranno essere raccordati con delle curve, di cui verranno calcolati gli elementi costitutivi; si ottiene così l'asse stradale. Nella costruzione della poligonale d'asse si devono evitare di formare angoli troppo acuti che necessitano l'inserimento di un tornante nel tracciato.

### 3. Curve

Esistono vari tipi di curve, nel progetto redatto si sono adottate curve circolari monocentriche, sono cioè costituite da un unico arco di circonferenza che raccorda i due rettifili.

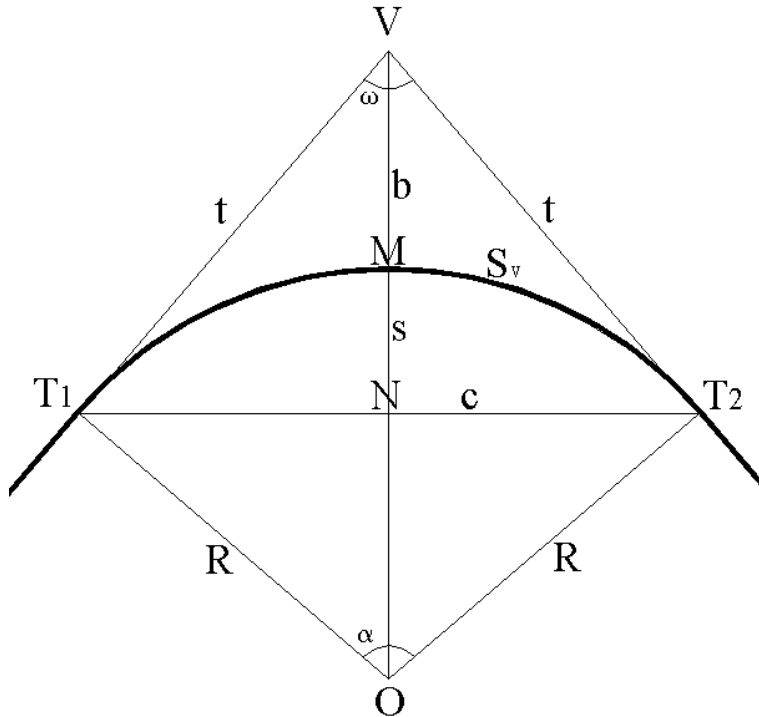


Fig.9

Di una curva si conosce l'angolo al vertice  $\omega$  e si stabilisce il raggio (tenendo conto del raggio minimo). Si procede quindi a calcolare tutti gli elementi che costituiscono la curva (fig.9) che sono:

- $\alpha$  = angolo al centro  
 $\alpha = 200^{\text{gon}} - \omega$
- VO = congiungente centro della curva - vertice della poligonale d'asse  
 $VO = R / \sin(\omega/2) = R / \cos(\alpha/2)$
- t = tangente  
 $t = R \cdot \tan(\omega/2) = R \cdot \cotg(\alpha/2)$
- b = bisettrice  
 $b = [R / \sin(\omega/2)] - R = [R / \cos(\alpha/2)] - R$
- s = saetta  
 $s = R - R \cdot \sin(\omega/2) = R - R \cdot \cos(\alpha/2)$
- c = corda  
 $c = 2 \cdot R \cdot \cos(\omega/2) = 2 \cdot R \cdot \sin(\alpha/2)$
- $S_v$  = sviluppo  
 $S_v = R \cdot \omega^{\text{rad}}$

## 4. Planimetria

Una volta definito il tracciato e la sua larghezza, viene riportato sulla planimetria, di solito in scala 1:1000 o 1:2000. L'asse della strada viene disegnato con una linea tratto-punto, mentre i cicli sono riportati con un tratto unito. Vengono poi riportati in una tabellina a lato i dati caratteristici dei rettilinei (lunghezza) e delle curve (angolo al centro, raggio, tangente, sviluppo). Si riportano poi tutte le sezioni trasversali della strada che comunemente vengono chiamati picchetti, che permetteranno il tracciamento sul terreno della strada stessa. I picchetti vengono numerati progressivamente e si impongono seguendo alcuni criteri:

- all'inizio e alla fine del tracciato stradale;
- in corrispondenza dei punti di tangenza delle curve;
- in corrispondenza dei punti medi delle curve;
- in corrispondenza delle spalle del ponte;
- nel punto in cui il tracciato interseca una strada già esistente;
- nel punto in cui il tracciato interseca una curva di livello;
- la distanza massima tra due picchetti non deve essere superiore a 70-80 m in pianura, 20-25 m in zona collinare.

Nella planimetria sono indicate anche tutte le opere d'arte che si dovranno realizzare; la planimetria deve contenere tutti i dati necessari all'individuazione del tracciato sul terreno.

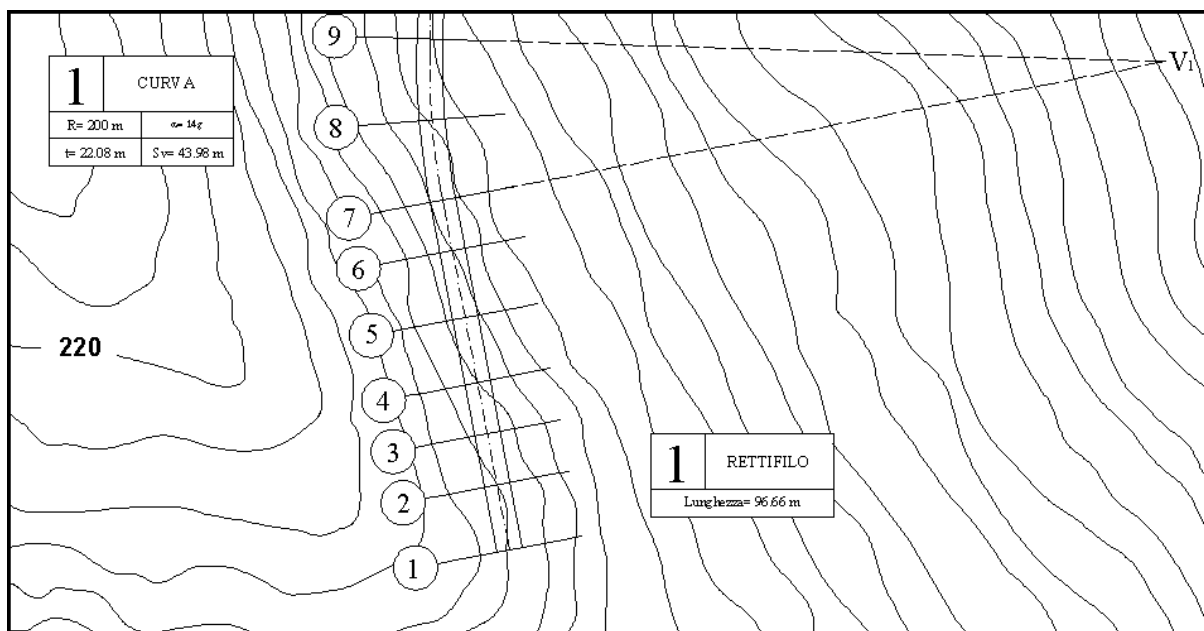


Fig.10

## 5. Profilo Longitudinale

Una volta definito il tracciato planimetrico, bisogna esaminarlo altimetricamente, cioè tracciando il suo profilo longitudinale che è lo sviluppo dell'asse stradale su un piano verticale.

Dapprima bisogna calcolare tutti i dati necessari sui picchetti, cioè:

- distanza tra un picchetto e il successivo;
- progressiva di tutti i picchetti;
- quota del terreno.

Questi elementi vengono ricavati da un rilievo topografico se si tratta di un progetto esecutivo, se il progetto è di massima questi dati vengono misurati sulla planimetria.

Una volta ottenuti i dati necessari si assume un'orizzontale a cui si assegna una quota intera e inferiore a quella che ha il picchetto altimetricamente più basso.

Si assumono due scale diverse per le  $x$  e le  $y$  perché il disegno con scale uguali sarebbe difficilmente leggibile in quanto le pendenze sono modeste raffrontate alle distanze.

La scala delle distanze è quella della planimetria (1:1000 o 1:2000), mentre quella per le quote è solitamente dieci volte più grande (1:100 o 1:200).

Sotto questa orizzontale vengono riportati i picchetti, la loro distanza parziale, la distanza progressiva a partire dall'origine, la quota del terreno, la quota di progetto (questa casella verrà completata in un secondo tempo), distanze ettometriche e i dettagli su curve e rettifili.

N.B. i picchetti devono essere riportati utilizzando le distanze progressive poiché comportano un minore errore nella restituzione dei punti.

Da ogni picchetto viene tracciata una verticale sulla quale si riporta il dislivello tra la quota del picchetto e la quota di riferimento opportunamente scalata unendo questi vari segmenti si ottiene il profilo del terreno che solitamente è troppo irregolare per assumerlo come base della piattaforma stradale.

Verranno tracciate delle livellette, cioè tratti di strada a pendenza costante, tenendo presente alcuni criteri già citati in precedenza:

- pendenza massima che viene fatta in funzione del tipo di veicoli che dovranno transitare sulla strada, non può mai essere superata fatta eccezione per alcuni casi in cui è consentito per un breve tratto un aumento dell' 1%;
- le livellette non devono distaccarsi eccessivamente dal profilo naturale del terreno in modo da evitare eccessivi movimenti di terra;
- evitare di cambiare pendenza in curva;
- evitare di cambiare bruscamente la pendenza tra due livellette consecutive, è consigliabile inserire tra le due uno o più tratti con pendenze intermedie;
- un tratto con pendenza positiva a cui ne segue un altro con pendenza negativa, o viceversa, deve avere una livelletta intermedia orizzontale;



- in corrispondenza di curve, soprattutto se di piccolo raggio, è opportuno diminuire la pendenza;
- in corrispondenza di ponti e viadotti le livellette devono essere orizzontali o con una pendenza limitata.

E' consigliabile comunque che la lunghezza delle livellette non sia troppo piccola poiché si avrebbe un andamento altimetrico troppo irregolare che influirebbe negativamente sul traffico.

Nella tavola vengono poi inserite le quote di progetto che vengono calcolate come segue:

$$Q = Q_L + p \cdot d$$

Dove  $Q$  è la quota del picchetto,  $Q_L$  è la quota iniziale della livelletta,  $p$  è la pendenza,  $d$  è la distanza tra l'inizio della livelletta e il picchetto.

Le distanze ettometriche sono rappresentate da una tre righe riempite a scacchiera ogni 100 m.

Nella casella rettili e curve viene tracciata una linea continua che in corrispondenza delle curve si sposta verso l'alto o verso il basso a seconda che la curva sia verso sinistra o verso destra; vengono poi riportati i dati caratteristici dei rettilinei (lunghezza) e delle curve (angolo al centro, raggio, tangente, sviluppo).

Sopra il profilo vengono riportate le caratteristiche delle livellette, cioè lunghezza e pendenza.

Dopo aver calcolato la "quota rossa", cioè la differenza fra quota del progetto e del terreno, si riporta sopra o sotto a seconda che sia positiva o negativa.

Spesso viene anche disegnata la scala grafica delle pendenze che può essere utile in fase di studio e di verifica.

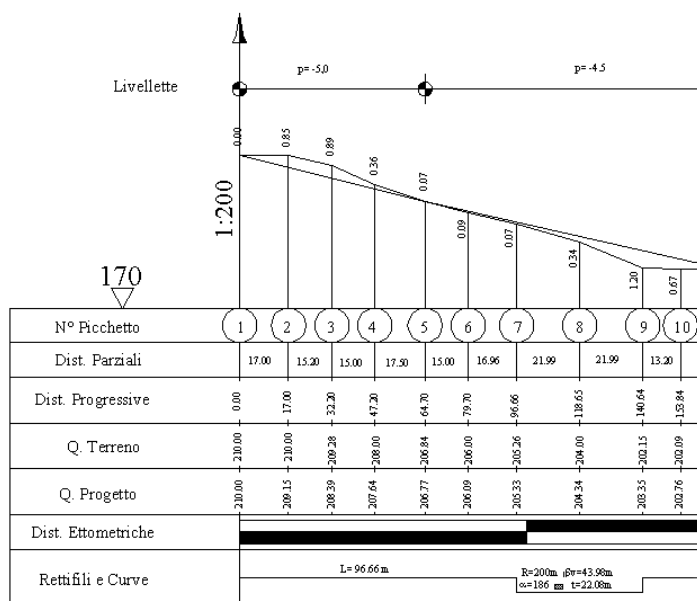


Fig.11

## 6. Sezioni Trasversali

Si ottengono immaginando di sezionare il terreno con piani perpendicolari all'asse stradale in corrispondenza dei picchetti, se si trovano in una curva questi convergono verso il centro di essa.

Le sezioni vengono numerate progressivamente come si è già visto per planimetria e sezione longitudinale e vengono disegnate in scala 1:100.

Per poter disegnare le sezioni è necessario conoscere l'andamento del terreno a monte e a valle della strada per una distanza di circa 10 m rispetto all'asse stradale, ciò può essere ottenuto mediante un rilievo del terreno o, nel caso di progetto di massima, letto su una planimetria.

Per disegnare le sezioni si assume una orizzontale di riferimento più bassa di tutte le quota della sezione, si traccia il profilo del terreno con lo stesso criterio che si è seguito per la sezione longitudinale. Sulla verticale del picchetto d'asse si riporta la quota rossa (al di sopra del terreno se positiva, al di sotto se negativa) e si traccia il segmento che rappresenta la piattaforma stradale, se a lato della sede stradale vi è scavo, bisogna prevedere la costruzione di una cunetta per lo smaltimento delle acque piovane. Vengono poi tracciate le scarpate laterali, con scarpa 3/2 per i riporti e 1/1 per gli scavi.

Se le scarpate laterali incontrano il terreno ad una distanza eccessiva, la strada dovrà essere sostenuta lateralmente da un muro di sostegno poiché troppo terreno da riportare causerebbe notevoli spese e arrecherebbe problemi di stabilità alla strada stessa.

Convenzionalmente le aree di scavo sono colorate in giallo (o tratteggiate), mentre le aree di riporto sono di colore rosso (o punteggiate).

Sezionando il terreno si possono incontrare vari casi:

- sezioni tutto in rilevato, quando la strada è completamente al di sopra del profilo del terreno (fig.12);
- sezioni tutto in scavo, quando la strada è completamente al di sotto del profilo del terreno (fig.13);
- sezioni miste o a mezza costa, quando la strada è in parte sopra e in parte sotto il profilo del terreno (fig.14).

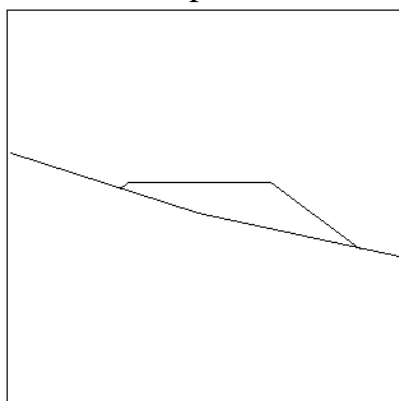


Fig.12

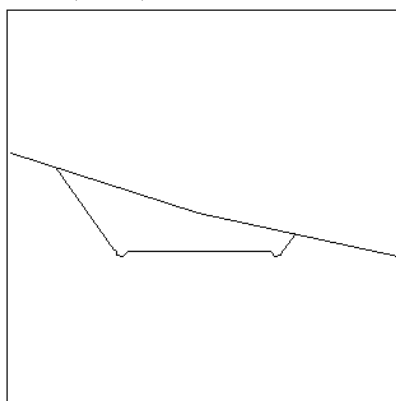


Fig.13

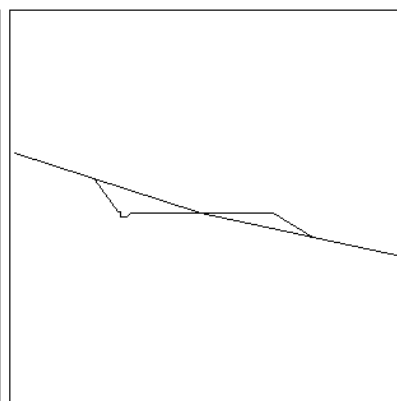


Fig.14

Si debbono anche calcolare le quote rosse in alcuni punti della sezione in modo da poter calcolare in un secondo tempo le aree di scavo e riporto, le sezioni vengono completate inserendo nel disegno:

- numero della sezione;
- quota di riferimento dell'orizzontale;
- distanze parziali;
- quote del terreno;
- quote di progetto;
- quote rosse;
- due tabelle a lato che riportino i calcoli delle aree di scavo e riporto (per il metodo di calcolo vedere il capitolo seguente).

## 7. Calcolo delle Aree

Il calcolo delle aree nelle sezioni consiste nel determinare le aree di scavo e di riporto mediante i dati precedentemente calcolati. Esistono vari tipi di metodi:

- grafici, si trasforma una figura piana qualsiasi in un'altra con determinata base;
- meccanici, si utilizzano planimetri che permettono una notevole rapidità di calcolo ma possono causare errori notevoli;
- programmi di calcolo, mediante l'utilizzo di computer si calcolano le aree delle sezioni con estrema rapidità e precisione;
- analitici, la sezione si scompone in figure geometriche più semplici delle quali sono noti gli elementi, l'area della sezione è data dalla somma delle aree scomposte.

Il calcolo del volume di terra compreso fra due sezioni consecutive può essere effettuato considerando le loro aree totali solo quando le due sezioni considerate sono omogenee (entrambe di scavo o di riporto) o non omogenee (una tutta di scavo, l'altra tutta di riporto e viceversa). Se nelle sezioni vi sono punti di passaggio fra scavo e riporto si devono tracciare piani verticali da prolungare alla sezione che segue e che precede quella considerata. Le sezioni risultano così parzializzate.

Prima di incominciare il calcolo delle aree è necessario analizzare dapprima la sezione precedente e seguente quella in esame per verificare la necessità o meno di parzializzare. Nel calcolo delle aree non viene inclusa l'area occupata dal marciapiede. Le aree ottenute vanno inserite in due tabelle (una per lo scavo, una per il riporto) a lato della sezione che contengono i valori delle aree totali e di quelle parzializzate, ove ce ne siano.

## 8. Calcolo dei Movimenti di Terra

I movimenti di terra sono una voce rilevante sul costo complessivo di una strada, il costo è differente a seconda che si tratti di spostamenti longitudinali o trasversali. E' necessario calcolare i volumi complessivi di scavo e di riporto che si ottengono come somma dei volumi compresi fra due sezioni consecutive, ciò permetterà di quantificare gli spostamenti di terra e successivamente i costi.

Bisogna ricordare che il terreno al suo stato naturale si presenta assestato ma, dopo lo scavo, aumenta di volume (circa il 30%) e anche quando quest'ultimo viene ricompattato per l'esecuzione di un rilevato stradale, non ritorna al suo stato originario.

Esistono due metodi per calcolare i volumi dei movimenti di terra:

- analitico, mediante processi matematici (utilizzando la formula delle sezioni raggugliate) si calcolano i volumi tra le sezioni e alla fine si sommano;
- grafici.

Il movimento di terreno può essere:

- trasversale, avviene nelle sezioni miste, la terra viene scavata e poi riportata a valle;
- longitudinale, si ha quando la terra in eccedenza in una sezione di scavo deve essere trasportata parallelamente all'asse stradale in un'altra sezione di riporto.

E' raro che si verifichi in una strada un compenso tra scavi e riporti e quindi si creano cantieri di prestito o di deposito, cioè zone con eccedenza di terra e zone dove si deve creare un rilevato.

Con il metodo grafico si dovranno redigere vari elaborati: diagramma delle aree, diagramma con i compensi trasversali, diagramma depurato, diagramma di Brückner.

### *1. Diagramma delle Aree*

E' un grafico, sull'asse delle  $x$  sono riportate le distanze progressive dei picchetti mentre sulle  $y$  sono riportate, in una opportuna scala (es.  $1\text{cm}=1\text{m}^2$ ), le aree delle sezioni. Sopra l'asse delle  $y$  vengono disegnati i riporti, mentre sotto gli scavi. Il diagramma è formato da spezzate in quanto si ritiene che fra le due sezioni successive l'area abbia una variazione lineare in funzione della distanza.

Nel disegno si potranno presentare vari casi:

- sezioni consecutive omogenee di riporto o di scavo: dopo aver riportato i picchetti sulle ascisse da essi si tracciano dei segmenti che rappresentano le aree, infine si uniscono le estremità dei segmenti (fig.15-16);

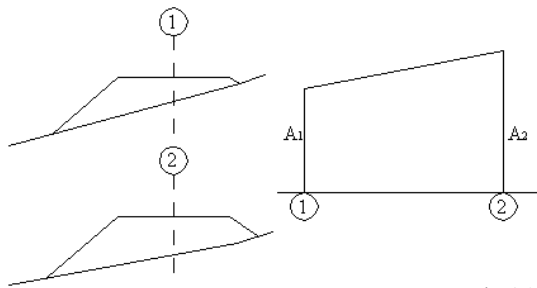


Fig.15

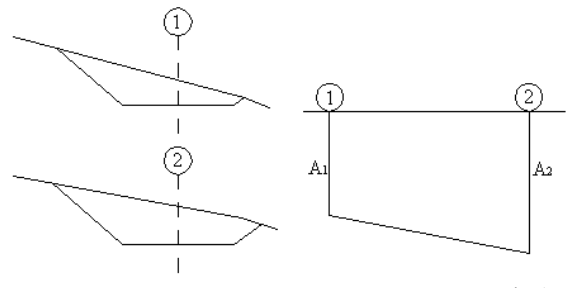


Fig.16

- sezioni consecutive non omogenee: dopo aver riportato i picchetti sulle ascisse da essi si tracciano dei segmenti che rappresentano le aree uno sarà diretto verso l'alto, l'altro verso il basso; infine si uniscono le estremità dei segmenti (fig.17) si verrà a creare un punto che rappresenta la linea di passaggio tra scavo e riporto;

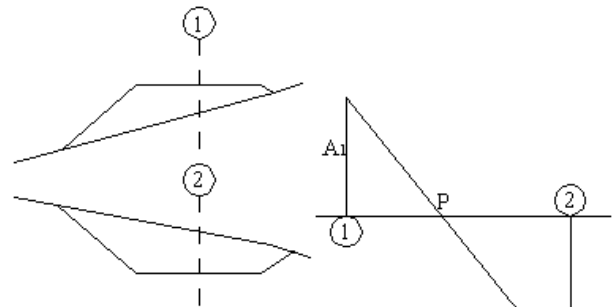


Fig.17

- sezioni consecutive una di riporto (fig.18), o di scavo(fig.19), e una mista: si riportano i picchetti sulle ascisse; si devono prendere in esame le due sezioni a sinistra del piano verticale e si considerano come se fossero due sezioni normali e si procede come nel caso precedente, si riportano sopra e sotto la fondamentale le aree in una appropriata scala, quindi si uniscono i segmenti. Ora si prende in esame la parte a destra del piano verticale e si procede come sopra. Si noterà che c'è una sovrapposizione tra il triangolo e il trapezio dei riporti (o degli scavi), si traccia la perpendicolare della fondamentale nel punto  $P$ , si unisce il punto  $P'$  con  $R_1$  (o  $S_1$ ) e si otterrà un triangolo equivalente a quello precedente poiché avrà la stessa base e la stessa altezza;

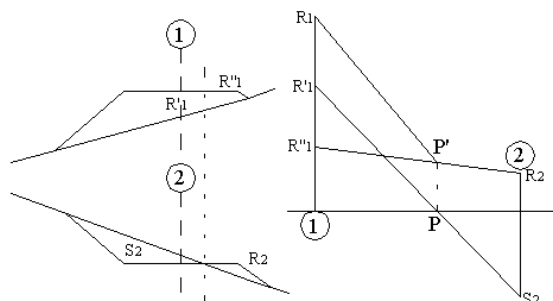


Fig.18

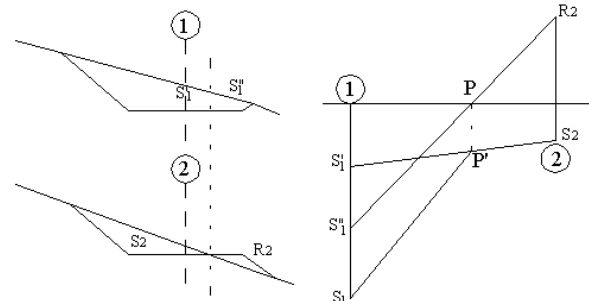


Fig.19

- sezioni consecutive entrambe miste con punti di passaggio alla stessa distanza dall'asse stradale: dopo aver riportato i picchetti sulle ascisse da essi si tracciano dei segmenti che rappresentano le aree uno sarà diretto verso l'alto, l'altro verso il basso; infine si uniscono le estremità dei segmenti e si verranno a creare un'area di riporto e una di scavo (fig.20);

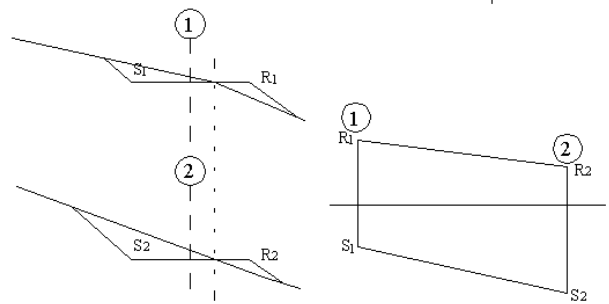


Fig.20

- sezioni consecutive entrambe miste con punti di passaggio a distanza diversa dall'asse stradale: questo caso è l'insieme dei due casi del punto 3, le sezioni verranno parzializzate in tre parti e si creeranno due triangoli sovrapposti che andranno riportati sopra e sotto (fig.21).

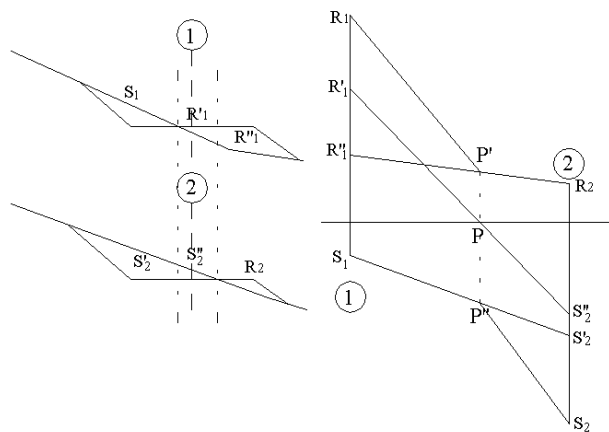


Fig.21

## 2. Diagramma delle Aree con i compensi trasversali

Dopo aver disegnato il diagramma delle aree è necessario togliere tutti quei volumi che saranno spostati trasversalmente, cioè dovrà essere effettuato un compenso trasversale. Questo si ottiene immaginando di ribaltare attorno all'orizzontale di riferimento l'area superiore di riporto e quella inferiore di riporto, le parti in comune ai due diagrammi rappresentano i compensi trasversali che andranno rappresentati mediante un tratteggio a 45°.

## 3. Diagramma delle Aree depurato

Questo successivo diagramma si ottiene eliminando i compensi trasversali, mettendo così in evidenza i compensi longitudinali, si riportano i segmenti che rappresentano la differenza tra i riporti, o gli scavi, e i compensi. Unendo i vari segmenti si otterrà il diagramma delle aree depurato.

#### 4. Diagramma di Brückner

Lo studio del diagramma di Brückner permette di prendere decisioni sul movimento longitudinale delle aree, queste scelte influiranno poi a livello economico. La strada sarà divisa in cantieri che possono essere di vario tipo:

- cantieri di compenso, sono compresi fra due punti che hanno ordinata nulla, all'interno di questi cantieri i volumi di scavo e di riporto si equivalgono e si realizza compenso;
- cantieri di prestito, si hanno quando il tronco stradale presenta sezioni prevalentemente in riporto e la terra proveniente dagli scavi è insufficiente per realizzare i rilevati, è necessario quindi acquistare della terra;
- cantieri di deposito, si hanno quando il tronco stradale presenta sezioni prevalentemente in scavo e la terra proveniente da questi è eccessiva per realizzare i rilevati, è necessario quindi depositare la terra in esubero in discarica.

Il diagramma di Brückner ha per ascisse le distanze fra i picchetti, mentre le ordinate rappresentano in una opportuna scala grafica le somme algebriche dei volumi dall'inizio della strada sino alla sezione considerata.

Per rappresentare questo diagramma si procede a un'integrazione grafica, si prende un polo  $P$  nel semiasse negativo delle ascisse, posto ad una distanza nota dall'origine ( $b$ ). Per il primo segmento si riporta sul disegno il diagramma delle aree, il punto medio  $M$  di ogni segmento si riporta con una linea parallela alle ascisse sull'asse delle  $y$  ( $M'$ ), da qui si unisce con  $P$  si traccia la parallela al segmento  $PM'$  dall'origine sino in corrispondenza del picchetto successivo. Per il secondo segmento si procede in modo analogo, la parallela al segmento  $PM'$  parte però dove il diagramma si era interrotto. Il diagramma quando sarà terminato darà un valore ( $y$ ) che si può ottenere moltiplicando i cm per la scala delle  $x$ , per la scala delle  $y$  e per la distanza  $b$  (espressa in m).

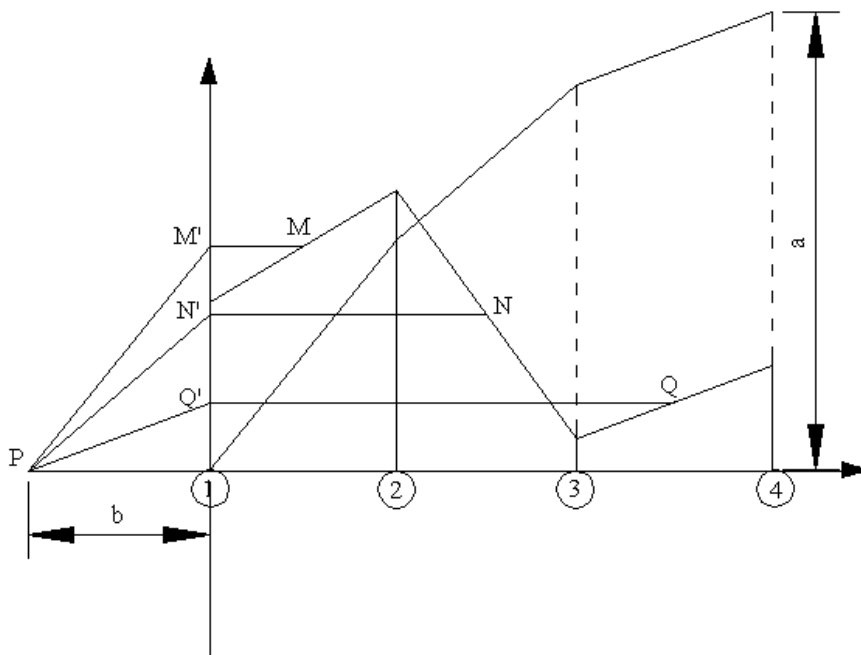


Fig.22

## 9. Diagramma di Occupazione

Si definisce zona di occupazione la piattaforma stradale, le proiezioni delle scarpate sul terreno e le eventuali cunette, per l'intero sviluppo della strada; l'area occupata dalla strada viene calcolata come somma delle aree occupate tra due sezioni consecutive.

La zona di occupazione viene rappresentata mediante un grafico dove si riportano sulle ascisse le distanze fra le varie sezioni nella stessa scala della planimetria e della sezione longitudinale (1:1000 o 1:2000), mentre sulle ordinate sono riportate le larghezze di occupazione delle sezioni generalmente in scala 10 volte superiore alle lunghezze (1:100 o 1:200), per convenzione l'asse stradale viene rettificato.

Nella stesura del grafico si individueranno delle linee di passaggio rappresentate dall'intersezione dell'asse stradale con il terreno. L'area in cui ci sarà riporto sarà colorata di rosso (o punteggiata), mentre le aree di scavo saranno rappresentate con colorazione gialla (o tratteggiate).

## 10. Piano Particellare di Esproprio

Per calcolare la cifra da corrispondere ai proprietari, cioè l'indennità, è necessario riportare sulla mappa catastale la striscia di terreno occupata dalla strada.

Si riporta dapprima la poligonale d'asse tramite le coordinate dei suoi vertici calcolati rispetto agli assi catastali oppure è possibile prendere come riferimento alcuni punti caratteristici sul terreno che possono essere indicati sulla mappa, si riporta quindi la larghezza della piattaforma con le varie sezioni.

Viene redatto poi il piano particellare sul quale devono comparire i seguenti elementi:

- estremi catastali relativi alla particella da espropriare tutta o in parte;
- nome e cognome del o dei proprietari di ciascuna particella;
- qualità e classe delle particelle;
- superficie da espropriare da ciascuna particella;
- reddito agrario e reddito dominicale;
- indennità di esproprio.



# **Tesina di Costruzioni**

*Progetto di un muro*

**Nome Prenome**

**Classe 5<sup>^</sup> - Liceo Tecnico delle Costruzioni**

# 1. Generalità

Le pareti di sostegno rappresentano le opere d'arte più ricorrenti nella costruzione di una strada. Queste opere vengono comunque realizzate ovunque si renda necessario sostenere un terreno, sia esso di riporto, sia esso risultante da uno scavo, come nel caso della realizzazione di piazzali, di scantinati di edifici, ecc.

I terreni privi di coesione (sabbia, ghiaia, ecc.) tendono ad assumere la propria configurazione di equilibrio disponendosi, rispetto all'orizzontale, secondo l'angolo di natural declivio corrispondente all'angolo di attrito interno; la parete di sostegno consente di ridurre lo spazio occupato dalla scarpata di terra in equilibrio naturale.

L'impedimento provocato dal muro alla disposizione della terra secondo la sua configurazione naturale di equilibrio, genera un giuoco di forze fra terra e muro rappresentato sostanzialmente dalla spinta della terra sul muro e dalla reazione di quest'ultimo alla spinta.

I terreni coesivi (limi, argilla, ecc.) esercitano anch'essi una spinta sulla parete di sostegno, ma di entità inferiore a quella esercitata dalle terre incoerenti.

Le particelle che formano la terra sono impedito a scorrere o a distaccarsi l'una dall'altra a causa dell'attrito interno, sempre presente in una terra, dalla coesione e dalla sensibilità della terra nei confronti dell'acqua. E' evidente che una terra dotata di coesione oltre che di attrito tenderà ad assumere una configurazione naturale di equilibrio, rispetto all'orizzontale, meno distesa, configurazione che può essere anche verticale se l'altezza da terra è limitata. Comunque la coesione è una proprietà variabile nel tempo in quanto collegata alla variabilità della presenza d'acqua, in genere si considererà la coesione nulla per i motivi sopra indicati.

## 2. La spinta delle terre

Supponiamo di realizzare una parete contro un terreno e supponiamo che il sistema muro-terreno sia in equilibrio sotto l'azione di una forza  $P$  agente tramite la parete stessa. Facciamo assumere alla forza valori  $P'$  decrescenti rispetto a  $P$ : la parete tenderà ad allontanarsi dal terreno e quest'ultimo tenderà a dilatarsi, a scoscendere, cercando di disporsi secondo la propria configurazione di natural declivio con pendenza rispetto all'orizzontale dell'angolo  $\varphi$ .

La zona che si staccherà è rappresentata da un cuneo di terreno che forma un angolo  $\alpha$  con l'orizzontale, la cui ampiezza risulta

$$\alpha = \pi/4 + \varphi/2$$

La configurazione del terreno al momento della rottura è definita come equilibrio limite attivo.

La definizione del cuneo di spinta riveste particolare importanza per la determinazione degli eventuali sovraccarichi che possono influire sul valore della spinta. Si deve inoltre osservare che la superficie di rottura del terreno che delimita il cuneo di spinta non è piana come in effetti la si assume per ipotesi semplificativa.

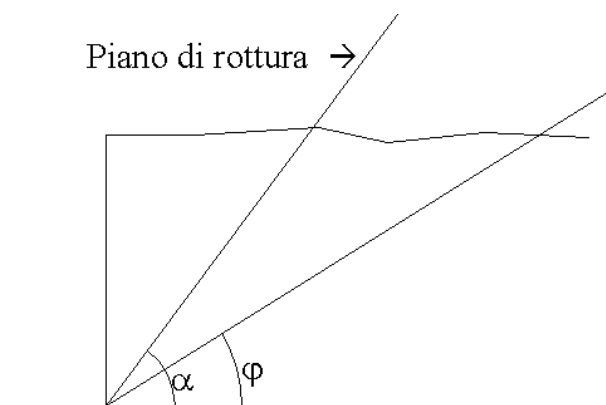


Fig.1

Un'altra ipotesi semplificativa che adotteremo è quella di supporre che il terreno spingente sia omogeneo, cioè in ogni suo punto abbia le stesse caratteristiche fisiche e meccaniche.

Dall'esame del comportamento a rottura del terreno retrostante una parete di sostegno, si può desumere che il movimento del cuneo di spinta può chiamare in causa l'attrito fra terreno e muro: il trascurare tale attrito è a favore della stabilità ed è giustificato dal fatto che l'attrito insorge solo durante il movimento relativo terra-muro.

Quando si vuole tenere conto dell'attrito terra-muro si assumerà un angolo di attrito  $\delta$  pari a circa i due terzi dell'angolo di attrito interno della terra:

$$\delta = 2\varphi/3$$

Questo sia per le ragioni sopra esposte sia perché la presenza di umidità riduce sempre l'attrito che si manifesta tra le particelle di terra, che di fatto restano attaccate al paramento del muro, e quelle del terreno.

### 3. Calcolo della spinta delle terre

L'ipotesi fondamentale che viene formulata per lo studio della spinta della terra è quella di supporre che il terreno eserciti una pressione sul paramento interno variabile con legge triangolare.

Questo si ricava per analogia con l'acqua. L'acqua esercita in un recipiente una pressione uguale al peso d'acqua sovrastante (principio di Pascal). La terra eserciterà quindi anch'essa in ogni punto della parete verticale una pressione funzione del peso proprio sovrastante, però minore di quest'ultimo.

L'acqua è infatti un materiale fluido nel quale le particelle non risultano impedito

di scorrere o distaccarsi fra loro come nel caso di una terra, che è un materiale dotato di questo impedimento determinato dall'attrito interno e dalla coesione. Si introdurrà quindi un coefficiente riduttivo di spinta attiva che nel caso di  $\beta=90^\circ$  (angolo tra il paramento interno e l'orizzontale),  $\epsilon=0^\circ$  (angolo tra il terreno sopra il muro e l'orizzontale),  $\delta=0^\circ$  (angolo di inclinazione della spinta rispetto all'orizzontale) si può calcolare come:

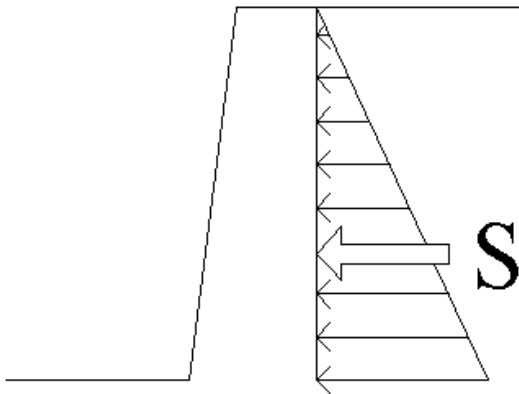


Fig.9

$$K_A = \operatorname{tg}^2 (\pi/4 - \varphi/2)$$

Il calcolo della spinta è sempre riferito all'unità di profondità di parete. In particolare, determinati i valori e la legge di distribuzione della pressione lungo la parete, si può determinare il valore, il punto di applicazione e la retta di azione della spinta agente sul muro.

La spinta totale, rappresentata dall'area del triangolo delle pressioni, vale:

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot h^2 \cdot K_A$$

La forza risultante ha retta di azione orizzontale e passa per il baricentro del diagramma triangolare delle pressioni e quindi ad un terzo dell'altezza dalla base della parete (centro di spinta).

## 4. La teoria di Coulomb

Il valore della spinta totale indicata nel paragrafo precedente può essere desunto anche applicando la teoria di Coulomb.

Questa teoria presuppone:

- legge triangolare delle pressioni sul paramento;
- la rottura avviene su un piano
- base del «cuneo di spinta» ha un'inclinazione tale che, nel momento della rottura, rende massima la spinta contro il muro.

Nel momento della rottura, la retta di azione della reazione R del terreno lungo la superficie di scorrimento del cuneo, sarà inclinata dell'angolo  $\varphi$  di attrito

interno (condizione limite per lo scorrimento); il cuneo si trova quindi in una condizione limite di equilibrio per l'azione della forza R sopra definita, del proprio peso P e della reazione S (uguale e contraria) del muro alla spinta esercitata dal cuneo sulla parete.

Con le ipotesi formulate, i vettori delle tre forze si incontrano ad un terzo della base del cuneo dallo spigolo inferiore e se ne può costruire il triangolo di equilibrio.

Da tale triangolo si ricava che è:

$$S = P \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \varphi)$$

dove:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot h^2 \cdot \operatorname{tg}(\pi/2 - \alpha)$$

Assegnando per tentativi ad  $\alpha$  diversi valori si trova che la spinta è massima per:

$$\alpha = \pi/4 + \varphi/2$$

In base quindi il presupposto di Coulomb della spinta massima, sostituendo tale valore di  $\alpha$  nell'espressione, risulta:

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot h^2 \cdot \operatorname{tg}^2(\pi/4 - \varphi/2)$$

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot h^2 \cdot K_A$$

La teoria di Coulomb risulta utile per la determinazione della spinta qualora si voglia tenere conto dell'attrito terra-muro; se i coefficienti  $\beta, \delta, \epsilon$  non sono rispettati la formula per il  $K_A$  diventa:

$$K_A = \frac{\operatorname{sen}^2(\beta + \varphi)}{\operatorname{sen}^2 \beta \cdot \operatorname{sen}(\beta - \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\operatorname{Sen}(\varphi + \delta) \cdot \operatorname{sen}(\varphi - \epsilon)}{\operatorname{Sen}(\beta - \delta) \cdot \operatorname{sen}(\beta + \epsilon)}} \right]^2}$$

Durante la progettazione bisognerà tenere conto della presenza d'acqua; questa, se in grande quantità, aumenta di molto la spinta. Per ovviare a questo problema bisognerà prevedere un adeguato drenaggio a monte del muro. Se non vi è drenaggio la spinta è così quantificabile:

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot h^2 \cdot K_A + \frac{1}{2} \cdot \gamma_{H_2O} \cdot h^2$$

Dove  $\gamma_t$  è il peso del terreno in assenza totale d'acqua.

## 5. I sovraccarichi

La presenza di sovraccarichi agenti sulla superficie del terreno in corrispondenza del cuneo di spinta, influisce sul valore e sulla posizione della spinta stessa. In genere, qualunque tipo di sovraccarico può essere ricondotto, con sufficiente approssimazione, ad un carico uniformemente distribuito  $q$ : con tale tipo di pressione verticale agente a livello superiore del muro si avrà sulla verticale del paramento una pressione orizzontale  $P_q$  costante con valore pari a quella verticale  $q$  affetta dal coefficiente riduttivo  $K_A$ .

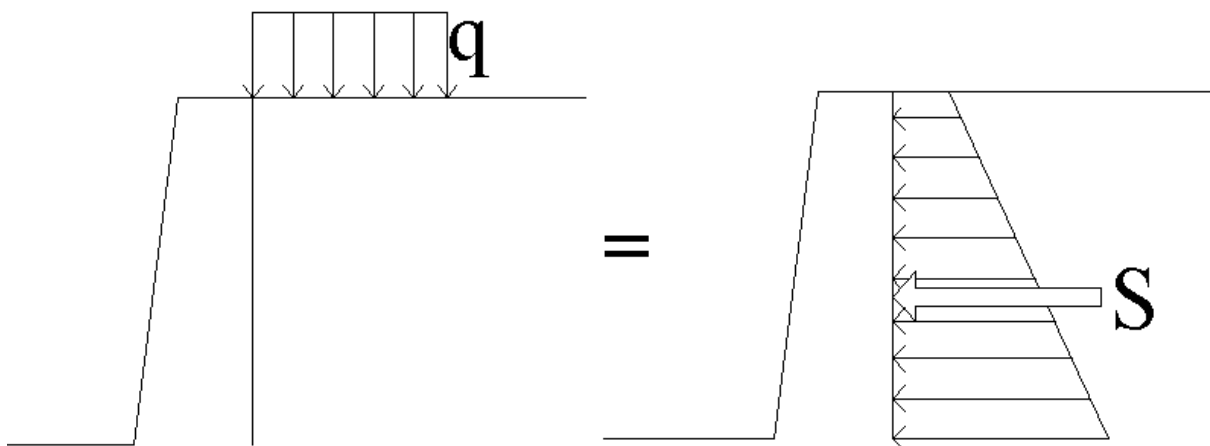


Fig.3

Questa pressione dovuta al sovraccarico sommata a quella della terra, produce complessivamente una legge di distribuzione della pressione trapezia sul paramento del muro. La spinta derivante da un sovraccarico sarà quindi:

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot h^2 \cdot K_A + q \cdot h \cdot K_A$$

## 6. Generalità sui muri di sostegno

Le pareti di sostegno si caratterizzano essenzialmente in relazione al materiale con il quale vengono realizzate. Il materiale impiegato è non resistente a trazione (muratura, calcestruzzo) ovvero resistente a trazione (cemento armato). La scelta fra i due materiali dipende da ragioni economiche ovvero progettuali. Fra le prime si annoverano le disponibilità sul luogo dei materiali nonché delle attrezzature e mano d'opera, fra le seconde le dimensioni della parete. Ad esempio il cemento armato richiede mano d'opera specializzata e consente di realizzare pareti di spessore sottile ma con fondazioni molto estese.

Agli effetti del calcolo, si deve tenere presente che deve comunque essere verificata, qualunque sia il materiale impiegato, la stabilità dell'opera nel suo insieme considerato come un corpo rigido.

La stabilità risulta assicurata, quando sia verificata la sicurezza del muro a:

- ribaltamento
- scorrimento
- schiacciamento

e la sicurezza del complesso muro-terreno per la:

- verifica a stabilità globale

In relazione al materiale impiegato si dovrà verificare la stabilità del manufatto nelle sue varie sezioni.

Nel caso delle pareti in muratura sarà sufficiente effettuare le verifiche per lo meno in corrispondenza della sezione di attacco fra elevazione e fondazione: per questa ragione questo tipo di parete viene definito «a gravità».

Nel caso delle pareti in C. A. dovrà essere verificata la resistenza del calcestruzzo e dell'acciaio alle caratteristiche interne delle sollecitazioni flettente e tagliante, essendo trascurabile quella normale. Gli elementi strutturali di questo tipo di parete si comportano infatti come mensole incastrate nel nodo dal quale sporgono le due solette di fondazione e la soletta in elevazione: per questa ragione le pareti in C. A. vengono anche definite «a sbalzo».

Talvolta si realizzano pareti in calcestruzzo di dimensioni di poco inferiori a quelle delle pareti in muratura e debolmente armate. Questi manufatti, intermedi fra quelli a gravità e quelli a sbalzo, vengono definiti «a semigravità» e le verifiche da adottare sono analoghe, anche se ridotte, a quelle per le pareti in C.A.

Indicazioni normative riguardanti le opere di sostegno dei terreni sono riportate nel D.M. 11-3-1988 e nella Circ. Min. LL.PP. n. 30483 del 24-9-1988.

In queste normative vengono indicati i criteri di progetto da tenere presenti per la realizzazione dei muri, le verifiche da condurre sul muro e sul terreno circostante, le modalità costruttive.

## **7. Verifica a ribaltamento**

Il ribaltamento è rappresentato dalla possibilità di rotazione della parete attorno al suo punto più a valle. L'azione che determina il ribaltamento è data dalla componente orizzontale della spinta della terra (Q); l'azione stabilizzante è data dalla componente verticale della spinta della terra (V), dal peso proprio dell'opera (W) e dal peso della terra che eventualmente grava direttamente sul manufatto (G).

L'azione stabilizzante rappresentata dalla spinta passiva delle terre contro il paramento a valle del manufatto, non viene di solito presa in considerazione; in questa zona il terreno, disturbato dallo scavo di fondazione ovvero riportato, non presenta la compattezza necessaria ad assicurare l'innescamento della spinta passiva.

In termini analitici, la verifica al ribaltamento si esprime con la condizione che il momento delle forze stabilizzanti ( $M_S$ ), rispetto al centro di rotazione, non sia minore del momento delle forze ribaltanti ( $M_R$ ), rispetto al centro di rotazione: si

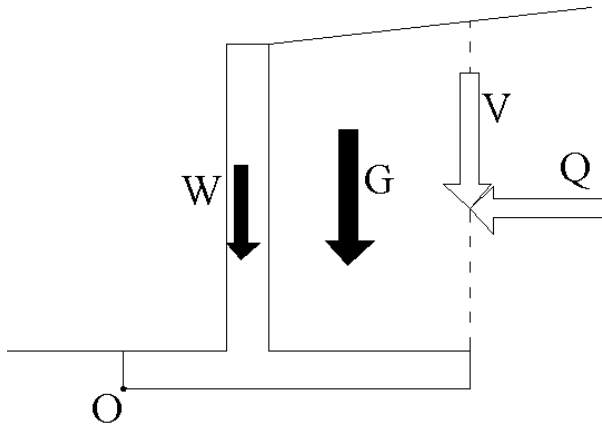


Fig.4

valuta con sicurezza tale equilibrio se il momento stabilizzante risulta 1,5 volte più grande del momento ribaltante; il grado di sicurezza deve essere cioè superiore o uguale al 50%.

$$F_R = M_S / M_R \geq 1,50$$

Si dovrà effettuare anche una verifica in corrispondenza di sezioni dove si hanno brusche variazioni di spessore e quindi nelle pareti con paramenti a gradoni e comunque in corrispondenza della sezione di spicco della parte in elevazione. Sia analiticamente che graficamente il procedimento indicato non cambia: naturalmente si terrà conto delle azioni esistenti superiormente alla sezione presa in considerazione. Risulta utile per queste verifiche la conoscenza del diagramma delle pressioni della spinta.

## 8. Verifica a scorrimento

Lo scorrimento dipende dalla possibilità che le componenti delle forze parallele al piano di contatto fra fondazione e terra vincano l'attrito terra-fondazione.

La forza che determina lo scorrimento è la componente orizzontale della spinta della terra (Q), mentre la forza di attrito che si oppone a tale scorrimento è data, come è noto, dalla risultante delle forze normali al piano di contatto moltiplicate per il coefficiente di attrito:

$$N = (V + W + G) \cdot f$$

Il coefficiente di attrito è la tangente dell'angolo di attrito terra-fondazione e dipende essenzialmente dalle caratteristiche della terra e quindi dall'angolo di attrito interno del terreno. Si può dire che l'angolo di attrito terra-fondazione varia fra la metà dell'angolo di attrito interno, per terreni coerenti, ed il valore dell'angolo di attrito interno, per terreni incoerenti.



Per ridurre il pericolo di scorrimento si può, fra l'altro inclinare il piano di posa della fondazione. Con questo accorgimento la risultante  $R$  delle forze agenti presenta, rispetto alle sue componenti su un piano di fondazione orizzontale, una componente di scorrimento parallela al piano di fondazione ( $T$ ) minore di  $Q$  ed una componente normale ( $N$ ) maggiore di  $(V + W + G)$ . La normativa prevede che l'equilibrio allo scorrimento sia verificato con grado di sicurezza superiore o uguale a 1,30.

In termini analitici la verifica allo scorrimento fra fondazione e terreno si esprime quindi con sicurezza, con:

$$F_S = (P_A / P_S) \cdot f$$

Si deve tenere presente che la forza di attrito è relativa all'attrito che si sviluppa fra due parti in muratura e cioè:

$$f = \operatorname{tg}(\varphi)$$

## 9. Verifica a schiacciamento

La verifica a schiacciamento si effettua confrontando la tensione normale massima sul piano di posa della fondazione con la pressione ultima del terreno. Questa condizione si ritiene verificata quando risulta, secondo la norma, un coefficiente di sicurezza superiore o uguale a 2.

Le caratteristiche interne della sollecitazione, in corrispondenza della sezione di fondazione, sono un momento flettente ed uno sforzo normale: pertanto la sezione in esame è sollecitata a pressione eccentrica.

Assumiamo come polo di riferimento il centro  $O$  di rotazione a ribaltamento: l'eccentricità delle forze normali agenti, rispetto a tale polo, risulta:

$$u = (M_S - M_R) / N$$

dove:

$$N = V + W + G$$

per piani di fondazione orizzontali. L'eccentricità rispetto al baricentro della fondazione risulta quindi:

$$e = B/2 - u$$

Essendo la terra un materiale non resistente a trazione si hanno tre posizioni di  $N$  rispetto al nocciolo centrale d'inerzia. per le quali si ha, con  $H$ ,  $u$  ed  $e$  in cm e  $\sigma_{MAX}$  in daN/cm<sup>2</sup>:

- per  $N$  interno al nocciolo (fig.5):

$$u > B/3 \quad \text{ed} \quad e < B/6$$

$$\sigma_{MAX} = [N/ (B \cdot 100)] \cdot [1 + (6 \cdot e/B)]$$

- per  $N$  sul bordo del nocciolo (fig.6):

$$u = B/3 \quad \text{ed} \quad e = B/6$$

$$\sigma_{MAX} = 2 \cdot N/ (B \cdot 100)$$

- per  $N$  esterno al nocciolo (fig.7):

$$u < B/3 \quad \text{ed} \quad e > B/6$$

$$\sigma_{MAX} = 2 \cdot N/ (3 \cdot 100 \cdot u)$$

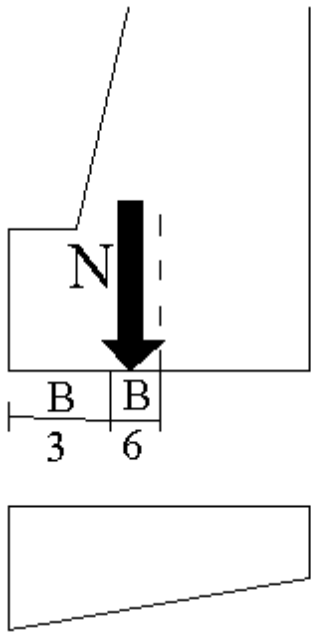


Fig.5

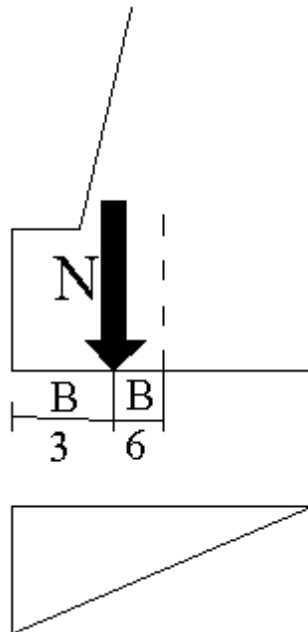


Fig.6

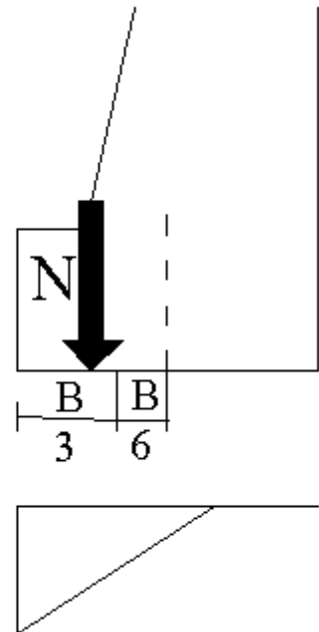


Fig.7

## 10. Verifica a stabilità globale

Questa verifica, prevista specificamente dalla normativa, risulta particolarmente opportuna nel caso in cui si preveda che le terre siano notevolmente instabili, ovvero nel caso in cui il sovraccarico agente sulla superficie superiore del terreno da sostenere abbia valori elevati in relazione alla tensione ammissibile della terra e che detto sovraccarico sia applicato per una estensione superiore all'estensione del cuneo di spinta. È il caso, ad esempio, di terrapieni adibiti a deposito di materiali pesanti ovvero banchine di carico, parcheggi di automezzi pesanti, ecc.

In tali situazioni sarà opportuno verificare l'equilibrio alla rotazione di un cilindro di terreno contenente la parete e comprendente la zona del cuneo di spinta.

Il tracciamento del cerchio critico di slittamento del complesso terra-parete può essere eseguito, in via approssimata, facendo riferimento al procedimento adottato per la verifica di stabilità dei pendii.

## 11. Pareti di sostegno a gravità

Questo tipo di parete viene realizzato in muratura di pietrame, talvolta con ricorsi di mattoni; assai più spesso in calcestruzzo di cemento con inerti a granulometria grossa. Lo spessore minimo sarà di 40 cm per muratura di pietrame, o di 20 cm per il calcestruzzo.

La forma di queste pareti dipende dalla natura del terrapieno da sostenere, nonché dall'altezza della parete stessa.

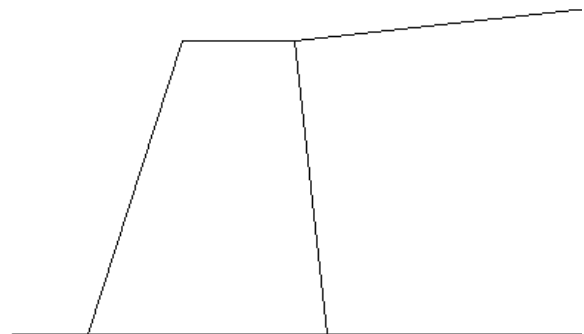


Fig.8

I muri a gravità sono strutture di grandi dimensioni che contrastano la spinta del terreno con il proprio peso, il compito del muro è quello di verticalizzare il più possibile la spinta.

- Per quanto riguarda la funzione assolta dalle pareti, le distingueremo in:
  - pareti a tutt'altezza, se sono alte come il terrapieno di un rilevato da sostenere;
  - pareti di sottoscarpa, quando sostengono un rilevato con interruzione della sua scarpata;
  - pareti di controripa, quando sostengono uno sterro nella sua zona inferiore.

Si deve inoltre ricordare l'importanza della realizzazione dei drenaggi contro il paramento a monte: i drenaggi non verranno mai spinti fino al piano di posa per evitare la infiltrazione dell'acqua a questa quota.

Le pareti non dovranno mai essere eccessivamente lunghe e presenteranno pertanto dei giunti, sia per sopperire alle dilatazioni di natura termica (ogni 30 m circa) sia per effettuare le eventuali variazioni del profilo della sezione, dovute al cambiamento della natura delle spinte o delle caratteristiche del terreno di fondazione.

## 12. Pareti di sostegno in C.A. a sbalzo

Oltre alle verifiche prima descritte, per il muro in C.A. si dovrà anche calcolare il muro considerandolo come struttura rigida. Data l'esilità assunta in questo caso dalla parete, la stabilità complessiva della struttura potrà essere assicurata se si disporrà un blocco fondale relativamente pesante verso valle che assicuri con il suo peso e con un certo braccio la stabilità al ribaltamento. La stabilità allo schiacciamento ed allo scorrimento

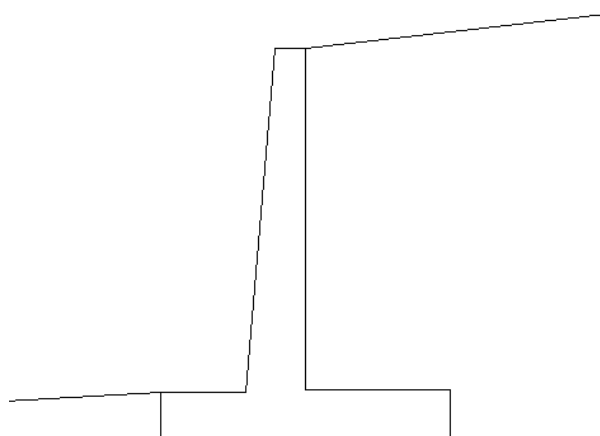


Fig.9

vengono assicurate prolungando la fondazione verso monte. Allo scopo di evitare una fondazione di dimensioni eccessive, questo tipo di parete viene adottato per altezze non superiori a 3 m. Per altezze maggiori di 3 m si prolungherà la fondazione verso monte per ottenere il contributo stabilizzante del peso del terreno gravante sulla fondazione: in questo caso non sarà necessaria una sporgenza eccessiva della parte a valle della fondazione essendo assicurato dalla parte a monte un sufficiente braccio al momento stabilizzante. Questa tipologia non potrà essere adottata per altezze superiori ai 6 m in quanto altezze maggiori, in relazione agli spessori relativamente modesti della soletta di parete, possono determinare pericolosi fenomeni di instabilità. Per altezze maggiori si ricorrerà alla tipologia a contrafforti. Si possono realizzare anche pareti a semigravità che rappresentano una tipologia intermedia fra le pareti a gravità e le pareti a sbalzo. Agli effetti del calcolo saranno equiparate a quelle in C.A. ordinario ovvero alle opere in calcestruzzo non armato se, in relazione all'entità della sollecitazione esistente alla base del muro, sono o meno verificate le limitazioni per quest'ultima tipologia.

In via preliminare di predimensionamento si potranno adottare i seguenti criteri:

- per pareti a sbalzo:
  - spessore in sommità 20÷30 cm;
  - scarpa esterna 5% ÷ 10%;
  - scarpa interna verticale;
  - larghezza fondazione  $h / (2 \div 3)$ ;
  - spessore fondazione 50÷70 cm
- per pareti a semigravità:
  - spessore in sommità 40 cm;
  - scarpa esterna  $\geq 10\%$ ;
  - scarpa interna variabile;
  - larghezza fondazione  $h / (2 \div 3)$ ;
  - spessore fondazione 50÷100 cm

Particolare importanza rivestono, in queste tipologie di pareti, le verifiche di resistenza alle caratteristiche interne delle sollecitazioni per le strutture in C. A. Gli elementi di struttura da verificare sono le solette a mensola sporgenti dal nodo di attacco della parete in elevazione con la fondazione. I carichi agenti da prendere in considerazione sono:

- sulla parete: la componente orizzontale del diagramma delle pressioni della spinta;
- sulla fondazione a valle: il diagramma risultante delle pressioni di reazione del suolo e del peso proprio della soletta;
- sulla fondazione a monte: il diagramma risultante delle pressioni di reazione del suolo, del peso proprio e del peso della terra gravante direttamente sulla soletta.

Le tre mensole sono sollecitate a flessione ed a taglio. Di fatto nel caso della parete, si può trascurare la sollecitazione normale derivante dalla componente verticale della spinta e dal peso proprio, che implicherebbero verifiche a pressoflessione anziché a flessione semplice.