

## **Libro di testo utilizzato.**

Titolo: misure rilievo progetto - Vol. III

Autori: Renato Cannarozzo, Lanfranco Cucchiarini, William Meschieri

Casa editrice: Zanichelli

## **Contenuti dell'Unità Didattica 1.**

Calcolo dei volumi di solidi prismatici; spianamenti con piani orizzontali ed inclinati su piani quotati e a curve di livello.

### **PREMESSA**

Lo spianamento è un insieme di operazioni e calcolo dirette a modificare la superficie fisica irregolare del terreno, trasformandola in una superficie piana, orizzontale o inclinata, mediante movimenti di terra.

Gli spianamenti, consentono la sistemazione superficiale del terreno, hanno notevole importanza in diversi settori, non solo in quello delle costruzioni civili, industriali e di edilizia pubblica per la formazione di un piano di posa delle fondazioni, e quello delle costruzioni di strade ed aeroporti, ma anche in quello agricolo ed ambientale per la sistemazione di terreni al fine di un maggior e più razionale impiego delle macchine e per la formazione di parchi, giardini pubblici e spazi attrezzati.

Il progetto di uno spianamento è effettuato, generalmente, su una rappresentazione del terreno a piano quotato; Solo quando la zona interessata è molto estesa e piuttosto accidentata si utilizza una rappresentazione a curve di livello che, pur richiedendo operazioni di rilievo più lunghe e complesse, permette una descrizione del terreno più aderente alla realtà.

Il piano di spianamento (detto piano di progetto) è il piano che dovrà presentare il terreno dopo aver effettuato le necessarie operazioni di movimento terra per modificare la superficie naturale del terreno.

Viene definita quota di progetto di un punto generico del terreno la quota che tale punto viene ad avere sul piano dello spianamento; la differenza tra la quota di progetto  $Q'$  di un punto e la sua quota sul terreno  $Q$  (quota ortometrica del terreno) è detta quota rossa  $q$ , ovvero  $q = Q' - Q$ .

In corrispondenza della verticale passante per un punto generico della superficie naturale del terreno, può risultare che:

- il piano di progetto passa al di sopra per un punto del terreno; in questo caso la quota rossa del punto è positiva e rappresenta una ordinata di riporto in quando in corrispondenza del punto deve essere riportato terreno;
- il piano di progetto passa al di sotto per un punto del terreno; in questo caso la quota rossa del punto è negativa e rappresenta una ordinata di scavo in quando in corrispondenza del punto si deve scavare terreno;
- il piano di progetto in un punto coincide con quella del terreno; in questo caso la quota rossa del punto è zero ed il punto viene detto di passaggio.

Un progetto di uno spianamento è affrontato secondo lo schema di seguito riportato.

- a) Rilievo plano-altimetrico della superficie naturale della zona di terreno interessata dallo spianamento.
- b) Restituzione grafica del rilievo secondo un piano quotato (o piano a curve di livello);
- c) Calcolo delle aree delle varie falde triangolari piane che formano la superficie naturale;
- d) Definizione della tipologia del piano di spianamento;

- e) Calcolo delle quote di progetto  $Q'$  di tutti i punti caratteristici del terreno;
- f) Calcolo delle quote rosse dei punti caratteristici;
- g) Determinazione della posizione dei punti di passaggio e delle linee di passaggio che definiscono le zone di sterro e di riporto;
- h) Calcolo dei volumi di sterro e di riporto.

## INTRODUZIONE

Gli spianamenti trovano applicazione pratica in tutti quei casi in cui occorre sistemare la superficie di un terreno di modesta estensione per costruirvi impianti sportivi, fabbricati civili e industriali, strade, aeroporti, ecc. Possono essere progettati su terreni rappresentati sia con piani quotati che con curve di livello. È più frequente il primo caso perché la rappresentazione con curve di livello comporta un rilievo molto oneroso e quindi consigliabile solo per zone fortemente accidentate dove occorre descrivere in modo più fedele l'andamento del terreno.

Il piano secondo cui deve essere sistemata la superficie fisica del terreno è definito piano di progetto. La quota del piano di progetto in corrispondenza della verticale condotta da un punto qualsiasi del terreno è definita quota di progetto del punto.

La differenza tra la quota di progetto di un punto e la corrispondente quota del terreno è la quota rossa del punto.

Se la quota rossa è positiva (ordinata di riporto) il piano di progetto passa, in quel punto, al di sopra del terreno, mentre se la quota rossa è negativa (ordinata di sterro) il piano passa al di sotto del terreno. Per realizzare uno spianamento occorre effettuare lavori di scavo e lavori di riporto. Gli scavi vengono effettuati nelle zone che si trovano al di sopra del piano di progetto (insieme dei punti con quota rossa negativa), i riporti in quelle che si trovano al di sotto del piano di progetto (insieme dei punti con quota rossa positiva). I punti del terreno che hanno la quota coincidente con quella di progetto, cioè i punti che appartengono contemporaneamente al piano di progetto e alla superficie fisica, sono detti punti di passaggio e hanno quota rossa nulla.

La spezzata che congiunge i punti di passaggio è definita linea di passaggio e separa la zona di scavo da quella di riporto. Il volume di terra compreso tra il piano di progetto e la zona di scavo è detto volume di sterro, quello compreso tra piano di progetto e la zona di riporto è detto volume del riporto.

Con le notazioni di figura 1, la superficie topografica da spianare è quella costituita dalle facce triangolari  $ABP$ ,  $BCP$ ,  $CDP$ ,  $DEP$  ed  $EAP$ , mentre  $\pi$  è il piano di progetto secondo il quale deve essere effettuato lo spianamento. Le quote del piano di progetto nei punti  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$ ,  $D'$ ,  $E'$ ,  $P'$  rappresentano le quote di progetto dei punti  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$ ,  $P$ . Segmenti  $AA'$ ,  $BB'$ ,  $CC'$ ,  $DD'$  ed  $EE'$  rappresentano le quote rosse positive (ordinate di riporto) dei punti  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$ ; il segmento  $PP'$  rappresenta la quota rossa negativa (ordinata di sterro) del punto  $P$ . I punti  $K$ ,  $L$ ,  $M$ ,  $N$ ,  $T$  appartengono sia al piano  $\pi$  che al terreno e quindi sono punti di passaggio mentre la spezzata  $KLMNT$  è la linea di passaggio. La zona di terreno interna alla spezzata è zona di scavo e il relativo volume di sterro è costituito dai corpi  $PP'KL$ ,  $PP'LM$ ,  $PP'MN$ ,  $I-P'Ni$ ;  $PP'TK$ . La zona esterna alla spezzata è di riporto e il relativo volume di riporto è costituito dai solidi  $ABLKB'A'$ ,  $BCMLC'B'$ ,  $CDNMD'C$ ,  $DENTD'E'$ ,  $EATKE'A'$ .

In relazione al piano di progetto si possono avere i seguenti casi:

- piano di posizione prefissata (orizzontale o inclinato);
- piano di compenso fra sterro e riporto (orizzontale o inclinato).

Gli spianamenti orizzontali presentano l'inconveniente di non favorire lo scolo delle acque e quindi vengono realizzati quando queste non cadono direttamente

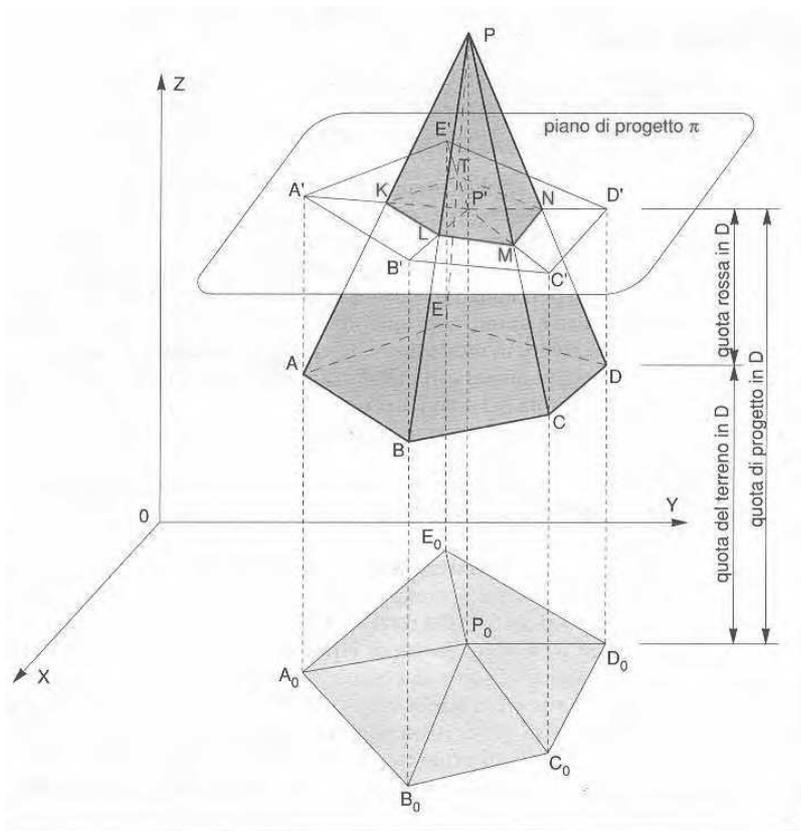


FIGURA 1 - Le grandezze caratteristiche dei progetti di spianamento. La superficie topografica deve essere sistemata secondo il piano di progetto  $\pi$ . I volumi di sterro e di riporto sono composti da solidi prismatici.

sul terreno (caso di fabbricati costruiti sulla superficie spianata), oppure quando il terreno è sufficientemente poroso ed esiste una fognatura con pendenza adeguata per lo smaltimento delle acque raccolte. Gli spianamenti inclinati vengono effettuati, generalmente, per adattare i terreni a determinate colture e per favorire lo scolo delle acque. Gli spianamenti più convenienti dal punto di vista economico sono quelli in cui il volume di scavo eguaglia quello di riporto (spianamenti di compenso). In questo modo non occorre portare terra a rifiuto (caso di spianamenti con eccesso di scavo), né prenderne da cave di prestito (caso di spianamenti con eccesso di riporto).

Rilevata la superficie fisica di un terreno con i metodi esposti nel secondo volume, restituita graficamente la stessa mediante un piano quotato o a curve di livello o definito il piano di progetto, uno spianamento viene realizzato attraverso le seguenti fasi:

1. Si determinano le quote di progetto  $Z'$  in corrispondenza dei punti caratteristici del terreno. Se il piano di progetto è orizzontale la quota di progetto è la stessa per tutti i punti del terreno e coincide con la quota del piano.
2. Si calcolano le quote rosse  $h_1 = Z'_i - Z_i$  dei punti caratteristici del terreno: se  $h_1 < 0$  l'ordinata è di sterro, se  $> 0$  l'ordinata è di riporto.
3. Si determina la posizione dei punti di passaggio, cioè dei punti di quota rossa nulla.
4. Si traccia la linea di passaggio congiungendo i successivi punti di passaggio in modo da individuare le zone di sterro e le zone di riporto.
5. Si calcolano i volumi di sterro e i volumi di riporto.

Gli spianamenti vengono valutati soprattutto con il calcolo analitico. Le soluzioni grafiche, imprecise e approssimate, sono superate dall'utilizzo dei computer che hanno reso più veloce e accessibile il calcolo numerico.

# 1 - SPIANAMENTI SU PIANI QUOTATI CON PIANO DI PROGETTO DI POSIZIONE PREFISSATA

## 1.1 – Spianamento di piano orizzontale di quota assegnata

Considerando la superficie topografica rappresentata dal piano quotato di figura 1 si deve progettare lo spianamento secondo il piano orizzontale di progetto di quota  $H$  assegnata.

Le quote di progetto dei punti caratteristici sono uguali tra loro e coincidono tutte con la quota  $H$  del piano di progetto:

$$Z'_A = Z'_B = Z'_C = Z'_D = Z'_E = Z'_F = Z'_P = H$$

Indicando con  $Z_A, Z_B, Z_C, Z_D, Z_E, Z_F, Z_P$  le quote dei vertici delle falde triangolari, si calcolano le quote rosse di tali punti. Supponiamo di avere ottenuto i seguenti risultati:

$$h_A = H - Z_A \text{ (valore positivo, ordinata di riporto)}$$

$$h_B = H - Z_B \text{ (valore positivo, ordinata di riporto)}$$

$$h_C = H - Z_C \text{ (valore positivo, ordinata di riporto)}$$

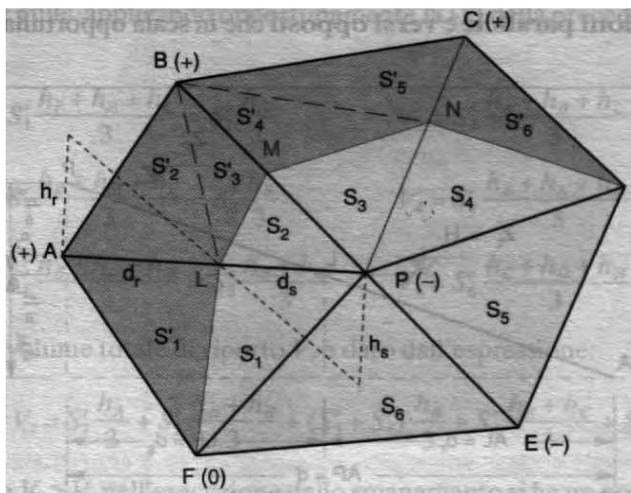
$$h_D = H - Z_D \text{ (valore nullo, punto di passaggio)}$$

$$h_E = H - Z_E \text{ (valore negativo, ordinata di sterro)}$$

$$h_F = H - Z_F \text{ (valore nullo, punto di passaggio)}$$

$$h_P = H - Z_P \text{ (valore negativo, ordinata di sterro)}$$

Siamo allora in presenza di quote rosse sia positive che negative.



**FIGURA 1** - Spianamento con piano orizzontale a quota  $H$  assegnata. La linea di passaggio  $FLMND$  separa la zona di riporto (in rosso) da quella di sterro (in giallo). Sul lato  $AP$  è stata eseguita la costruzione grafica per determinare la posizione di  $L$ .

**I punti di passaggio** sono disposti su due lati che congiungono due vertici del piano quotato con quote rosse di segno opposto. Sono punti di passaggio anche i vertici la cui quota coincide con quella del piano di progetto. Nel caso della figura 2 i *punti*  $F, L, M, N, D$  sono punti di passaggio. Per minare la posizione di uno di essi, ad esempio  $L$ , facciamo riferimento figura 3 in cui è rappresentato l'andamento del profilo del terreno secondo la congiungente  $AP$ . Essendo noti gli

elementi plano-altimetrici, sapendo che  $Z_L = H$  e applicai proporzionalità tra gli elementi corrispondenti di triangoli simili, si ha:

$$D_{AP} : AP = D_{LP} : LP$$

da cui:

$$LP = AP \frac{\Delta_{LP}}{\Delta_{AP}} = AP \frac{Z_P - Z_L}{Z_P - Z_A}$$

Poiché  $D_{LP} = h_p$  è quota rossa di sterro e  $D_{AL} = h_A$  è quota rossa di riporto, osservando la figura 3 risulta evidente che  $D_{AP} = h_A + h_p$ . Indicando con  $h_s$  e  $h_r$ , le quote rosse, rispettivamente, di sterro e di riporto, con  $d$  la distanza  $AP$  e con  $d_r$ , e  $d_s$ , le distanze, rispettivamente,  $AL$  di riporto e  $LP$  di sterro, la (1) può essere scritta nella forma più generale:

$$d_s = \frac{h_s}{h_r + h_s} d$$

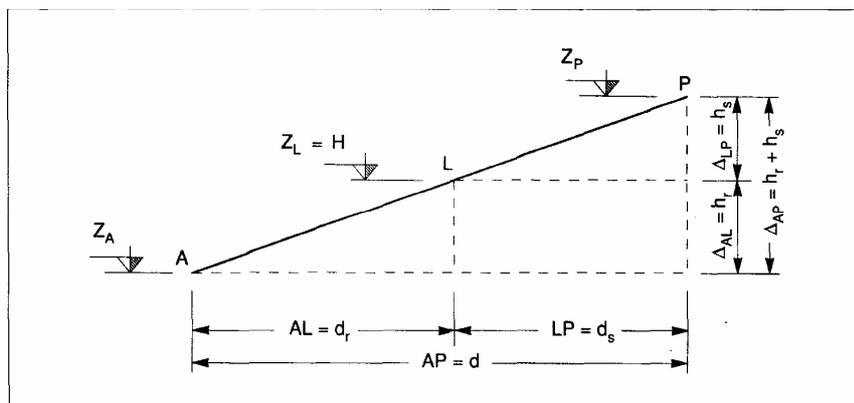
La distanza di riporto  $AL$  è data dall'analogia espressione:

$$d_r = \frac{h_r}{h_r + h_s} d$$

Per determinare le posizioni dei punti di passaggio  $M$  e  $N$  si applicano le formule:

$$MP = BP \frac{h_p}{h_p + h_B} \quad NP = CP \frac{h_p}{h_p + h_C}$$

La determinazione della posizione dei punti di passaggio può essere eseguita con una semplice costruzione grafica. Basta riportare alle estremità di un lato che congiunge due punti con quote rosse di segno contrario, ad esempio  $AP$ , due segmenti con direzioni parallele e versi opposti che in scala opportuna rappresentino le quote rosse  $h_s$  ed  $h_r$ , degli estremi del lato.



Le quote rosse  $h_s$  e  $h_r$  degli estremi del lato. La congiungente gli estremi di questi due segmenti interseca il lato  $AP$  nel punto  $L$  di **quota rossa nulla** (fig. 2). Le direzioni dei due segmenti possono essere scelte in modo arbitrario, per esempio perpendicolari al lato  $AP$ , basta che siano parallele fra di loro.

La spezzata che congiunge i punti di passaggio è la **linea di passaggio**, cioè la **traccia** intersezione tra il piano quotato e il piano di progetto e che divide la zona di sterro da quella di riporto.

Nel caso di figura 2 la linea di passaggio **FLND** divide la superficie topografica in due parti: quella racchiusa dal perimetro **FLMNDE** è zona di sterro mentre la parte rimanente è zona di riporto. Per calcolare il volume di sterro si considerano i sei prismi triangolari con la faccia inferiore orizzontale a quota  $H$  e con la faccia superiore costituita, rispettivamente, dai triangoli **FPL**, **LPM**, **MPN**, **NPD**, **DPE**, **EPF**. Considerando che gli spigoli, coincidono con le quote rosse dei vertici, indicando con  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ , le proiezioni orizzontali dei suddetti triangoli e non considerando le quote rosse nulle, per le note proprietà dei solidi prismatici a base triangolare i volumi saranno calcolati con le seguenti formule:

$$V_1 = S_1 \frac{h_P + h_F + h_L}{3} = S_1 \frac{h_P}{3}; \quad V_2 = S_2 \frac{h_P + h_L + h_M}{3} = S_2 \frac{h_P}{3}; \quad V_3 = S_3 \frac{h_P + h_M + h_N}{3} = S_3 \frac{h_P}{3};$$

$$V_4 = S_4 \frac{h_P + h_N + h_D}{3} = S_4 \frac{h_P}{3}; \quad V_5 = S_5 \frac{h_P + h_E + h_D}{3} = S_5 \frac{h_P + h_E}{3}; \quad V_6 = S_6 \frac{h_P + h_E + h_F}{3} = S_6 \frac{h_P + h_E}{3};$$

cioè:

$$V_6 = (S_1 + S_2 + S_3 + S_4) \frac{h_P}{3} + (S_5 + S_6) \frac{h_P + h_E}{3}$$

Per calcolare il volume di riporto si considerano i due prismi triangolari e i quadrangolari (fig. 2), tutti con la faccia superiore orizzontale e con quella inferiore costituita, rispettivamente, dai triangoli **AFL**, **CDN** e dai quadrilateri **ABLM**, **BCMN**. I prismi quadrangolari si devono dividere, ciascuno, in due prismi triangolari mediante piani verticali diagonali le cui tracce sono  $BL$  e  $BN$ .

Indicando con  $S'_1, S'_2, S'_3, S'_4, S'_5, S'_6$  le aree delle proiezioni orizzontali, rispettivamente, dei triangoli **FAL**, **ABL**, **BML**, **BNM**, **BCN**, **CDN** e non considerando le quote rosse nulle, per le note proprietà dei solidi prismatici a base triangolare i volumi saranno calcolati con le seguenti formule::

$$V'_1 = S'_1 \frac{h_F + h_A + h_L}{3} = S'_1 \frac{h_A}{3} \quad V'_2 = S'_2 \frac{h_A + h_B + h_L}{3} = S'_2 \frac{h_A + h_B}{3}$$

$$V'_3 = S'_3 \frac{h_B + h_M + h_L}{3} = S'_3 \frac{h_B}{3} \quad V'_4 = S'_4 \frac{h_B + h_N + h_M}{3} = S'_4 \frac{h_B}{3}$$

$$V'_5 = S'_5 \frac{h_B + h_C + h_N}{3} = S'_5 \frac{h_B + h_C}{3} \quad V'_6 = S'_6 \frac{h_C + h_D + h_N}{3} = S'_6 \frac{h_C}{3}$$

Pertanto il volume totale di riporto è dato dall'espressione:

$$V_r = S'_1 \frac{h_A}{3} + S'_2 \frac{h_A + h_B}{3} + S'_3 \frac{h_B}{3} + S'_4 \frac{h_B}{3} + S'_5 \frac{h_B + h_C}{3} + S'_6 \frac{h_C}{3}$$

se risulta  $V_s > V_r$  nell'esecuzione dello spianamento si ha un eccesso di scavo e quindi occorre portare terra a rifiuto.

Se risulta  $V_s < V_r$  si ha uno spianamento con eccesso di riporto e quindi occorre prendere del terreno da cave di prestito.

La presenza di quote rosse sia positive che negative è dovuta al fatto che la quota del piano di progetto è intermedia tra le quote dei vertici della superficie topografica. In questo caso lo spianamento viene realizzato effettuando sia scavi che riporti.

Se la quota del piano di progetto è maggiore o minore delle quote di tutti i vertici della superficie topografica, si ha rispettivamente uno spianamento di solo riporto o con soli scavi. Nel primo caso le quote rosse sono solo positive mentre nel secondo sono tutte negative. In entrambi i casi non si hanno punti di passaggio e quindi la risoluzione analitica risulta notevolmente semplificata soprattutto nel calcolo dei volumi che sono di solo riporto o di solo scavo.

1. Spianamento con un piano passante per tre punti assegnati.
2. Spianamento con un piano passante per due punti noti ed avente pendenza assegnata.

Per definire analiticamente le varie fasi, che sono state precedentemente riportate, si rimanda alla trattazione riportata sul libro di testo che riprende i principi fondamentali della geometria solidità applicata al caso specifico.