

Proposta di soluzione

- PARTE PRIMA -

1. Definizione del piano quotato

Calcolo degli angoli orizzontali dalle letture al CO della stazione in B e in E:

$$ABF = \beta_1 = 378,5167 - 330,2718 = 48,2449 \text{ gon}$$

$$FBE = \beta_2 = 20,4321 - 378,5167 + 400 = 41,9154 \text{ gon}$$

$$CED = \varepsilon_1 = 91,5422 - 47,2810 = 44,2612 \text{ gon}$$

$$CEB = \varepsilon_2 = 145,0100 - 91,5422 = 53,4678 \text{ gon}$$

$$AF = \sqrt{84,32^2 + 100,07^2 - 2 \cdot 84,32 \cdot 100,07 \cdot \cos 48,2449} = 69,76 \text{ m}$$

$$EF = \sqrt{110,84^2 + 100,07^2 - 2 \cdot 110,84 \cdot 100,07 \cdot \cos 41,9154} = 68,942 \text{ m}$$

$$DC = \sqrt{114,07^2 + 105,70^2 - 2 \cdot 114,07 \cdot 105,70 \cdot \cos 44,2612} = 75,281 \text{ m}$$

$$BC = \sqrt{110,84^2 + 105,70^2 - 2 \cdot 110,84 \cdot 105,70 \cdot \cos 53,4678} = 88,408 \text{ m}$$

Calcolo delle quote del terreno relative ai vertici delle quattro falde; le distanze tra i vertici consentono di trascurare sfericità terrestre e rifrazione atmosferica:

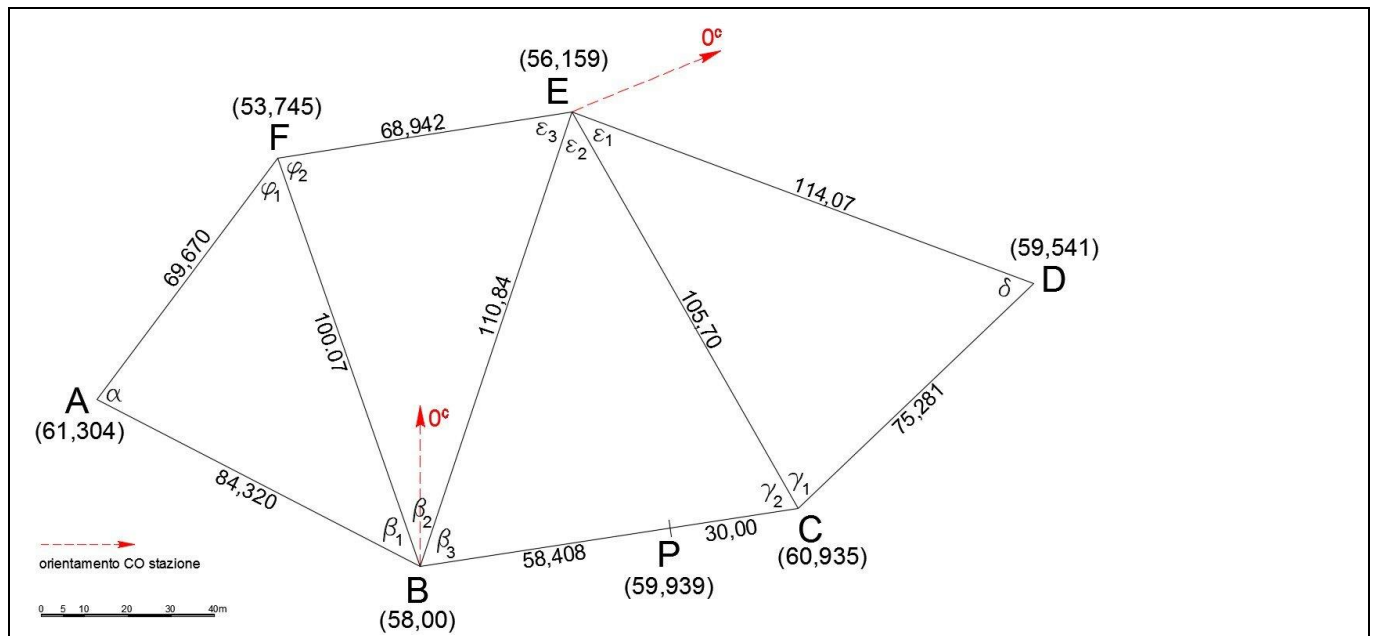
$$\Delta_{BA} = 84,32 \cdot \cotg 97,3710 + 1,50 - 1,68 = + 3,304 \text{ m}; \quad Q_A^T = 58,00 + 3,304 = 61,304 \text{ m}$$

$$\Delta_{BF} = 100,07 \cdot \cotg 102,6415 + 1,50 - 1,60 = - 4,255 \text{ m}; \quad Q_F^T = 58,00 - 4,255 = 53,745 \text{ m}$$

$$\Delta_{BE} = 110,84 \cdot \cotg 101,0000 + 1,50 - 1,60 = - 1,841 \text{ m}; \quad Q_E^T = 58,00 - 1,841 = 56,159 \text{ m}$$

$$\Delta_{ED} = 114,07 \cdot \cotg 98,0014 + 1,51 - 1,71 = + 3,382 \text{ m}; \quad Q_D^T = 56,159 + 3,382 = 59,541 \text{ m}$$

$$\Delta_{EC} = 105,70 \cdot \cotg 97,0111 + 1,51 - 1,70 = + 4,776 \text{ m}; \quad Q_C^T = 56,159 + 4,776 = 60,935 \text{ m}$$



2. Spianamento orizzontale per P

Calcolo della quota del terreno del punto P, corrispondente alla quota di progetto Q_P^P di tutti i punti appartenenti al piano orizzontale dello spianamento;

$$p_{BC} = \frac{60,935 - 58,00}{88,408} = 0,033198$$

$$Q_P^T = Q_P^P = 58,00 + (88,408 - 30) \cdot 0,033198 = 59,939 \text{ m}$$

Calcolo delle quote rosse dei vertici del piano quotato ($q_P = 0$):

$$q_A = 59,939 - 61,304 = - 1,365 \text{ m}$$

$$q_D = 59,939 - 59,541 = + 0,398 \text{ m}$$

$$q_B = 59,939 - 58,00 = + 1,939 \text{ m}$$

$$q_E = 59,939 - 56,159 = + 3,780 \text{ m}$$

$$q_C = 59,939 - 60,935 = - 0,996 \text{ m}$$

$$q_F = 59,939 - 53,745 = + 6,194 \text{ m}$$

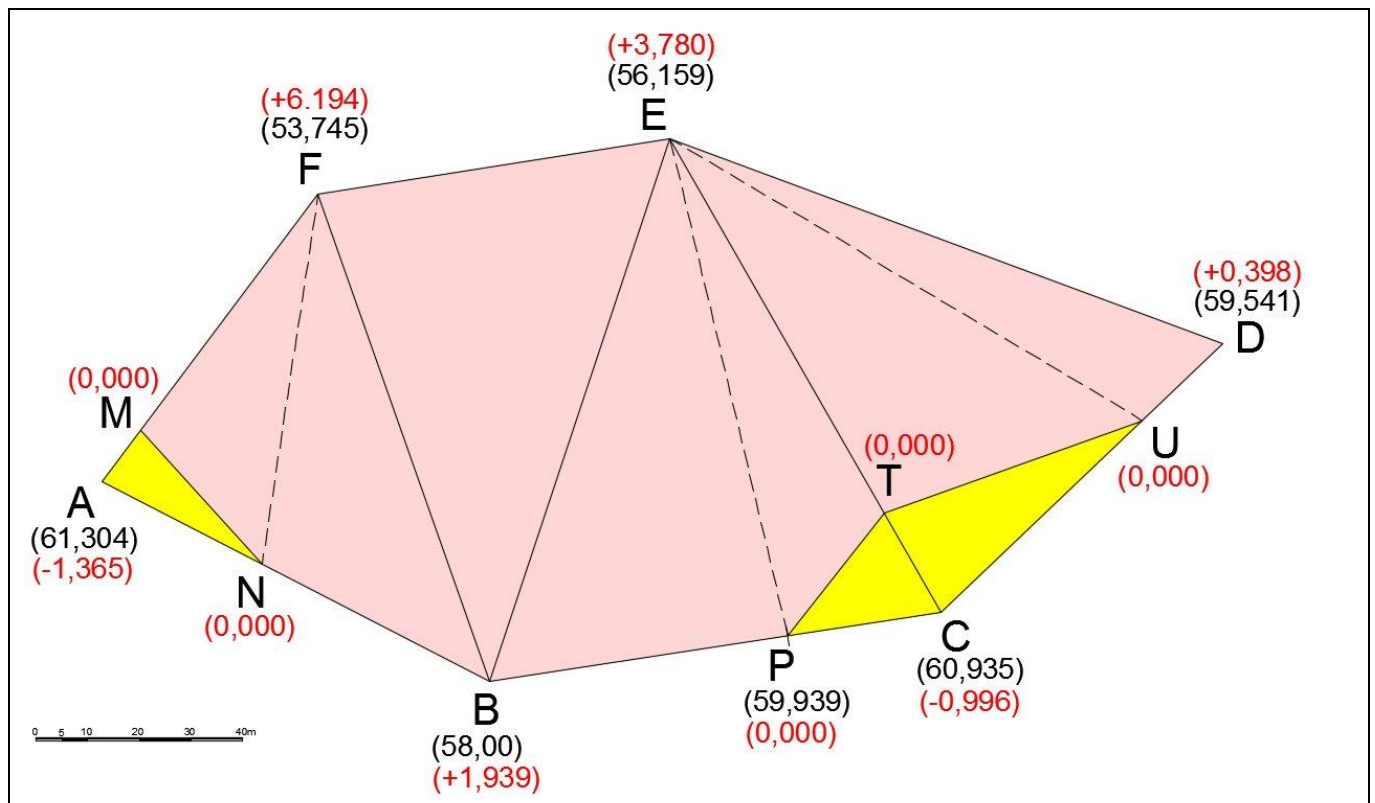
Calcolo delle aree delle quattro falde triangolari:

$$S_{ABF} = \frac{1}{2} \cdot 84,32 \cdot 100,07 \cdot \text{sen } 48,2449 = 2899,880 \text{ m}^2$$

$$S_{BFE} = \frac{1}{2} \cdot 100,07 \cdot 110,84 \cdot \text{sen } 41,9154 = 3393,282 \text{ m}^2$$

$$S_{BCE} = \frac{1}{2} \cdot 110,84 \cdot 105,70 \cdot \text{sen } 53,4678 = 4361,533 \text{ m}^2$$

$$S_{DCE} = \frac{1}{2} \cdot 114,07 \cdot 105,70 \cdot \text{sen } 44,2612 = 3861,800 \text{ m}^2$$



Falda ABF:

$$\alpha = \arccos \left(\frac{84,32^2 + 69,76^2 - 100,07^2}{2 \cdot 84,32 \cdot 69,76} \right) = 89,3312 \text{ gon};$$

$$AM = \frac{69,76}{1,365 + 6,194} \cdot 1,365 = 12,597 \text{ m}; \quad AN = \frac{84,32}{1,365 + 1,939} \cdot 1,365 = 34,836 \text{ m}; \quad BN = 49,484 \text{ m}$$

$$S_{AMN} = \frac{1}{2} \cdot 12,597 \cdot 34,836 \cdot \text{sen } 89,3312 = 216,341 \text{ m}^2$$

$$S_{BFN} = \frac{1}{2} \cdot 49,484 \cdot 100,07 \cdot \text{sen } 48,2449 = 1701,823 \text{ m}^2$$

$$S_{MNF} = 2899,88 - (216,341 + 1701,823) = 981,716 \text{ m}^2$$

$$V_{STER}^{ABF} = \frac{1,365}{3} \cdot 216,341 = 98,435 \text{ m}^3 \text{ (volume di sterro nella falda ABF)}$$

$$V_{RIP}^{ABF} = \frac{1,939 + 6,194}{3} \cdot 1701,823 + \frac{6,194}{3} \cdot 981,716 = 6640,558 \text{ m}^3 \text{ (volume di riporto nella falda ABF)}$$

Falda BFE:

$$V_{RIP}^{BFE} = \frac{1,939 + 6,194 + 3,78}{3} \cdot 3393,282 = 13474,723 \text{ m}^3 \text{ (volume di riporto nella falda BFE)}$$

Falda BCE:

$$\beta_3 = \arccos \left(\frac{88,408^2 + 110,84^2 - 105,70^2}{2 \cdot 88,408 \cdot 110,84} \right) = 69,8849 \text{ gon};$$

$$\gamma_2 = \arccos \left(\frac{88,408^2 + 105,70^2 - 110,84^2}{2 \cdot 88,408 \cdot 105,70} \right) = 76,6475 \text{ gon};$$

$$CT = \frac{105,70}{0,996 + 3,78} \cdot 0,996 = 22,043 \text{ m};$$

$$S_{PCT} = \frac{1}{2} \cdot 22,043 \cdot 30 \cdot \text{sen } 76,6475 = 308,648 \text{ m}^2$$

$$S_{PEB} = \frac{1}{2} \cdot 58,408 \cdot 110,84 \cdot \text{sen } 69,8849 = 2881,501 \text{ m}^2$$

$$S_{PTE} = 4361,533 - (308,648 + 2881,501) = 1171,384 \text{ m}^2$$

$$V_{STER}^{BCE} = \frac{0,996}{3} \cdot 308,648 = 102,471 \text{ m}^3 \text{ (volume di sterro nella falda BCE)}$$

$$V_{RIP}^{BCE} = \frac{1,939 + 3,78}{3} \cdot 2881,501 + \frac{3,78}{3} \cdot 1171,384 = 6969,045 \text{ m}^3 \text{ (volume di riporto nella falda BCE)}$$

Falda ECD:

$$\delta = \arccos \left(\frac{75,281^2 + 114,07^2 - 105,70^2}{2 \cdot 75,281 \cdot 114,07} \right) = 71,2024 \text{ gon};$$

$$\gamma_1 = \arccos \left(\frac{75,281^2 + 105,70^2 - 114,07^2}{2 \cdot 75,281 \cdot 105,70} \right) = 84,5363 \text{ gon};$$

$$CU = \frac{75,281}{0,996 + 0,398} \cdot 0,996 = 53,787 \text{ m}; \quad UD = 75,281 - 53,787 = 21,494 \text{ m}$$

$$S_{CTU} = \frac{1}{2} \cdot 22,043 \cdot 53,787 \cdot \text{sen } 84,5363 = 575,411 \text{ m}^2$$

$$S_{UDE} = \frac{1}{2} \cdot 21,494 \cdot 114,07 \cdot \text{sen } 71,2024 = 1102,610 \text{ m}^2$$

$$S_{ETU} = 3861,80 - (575,411 + 1102,610) = 2183,779 \text{ m}^2$$

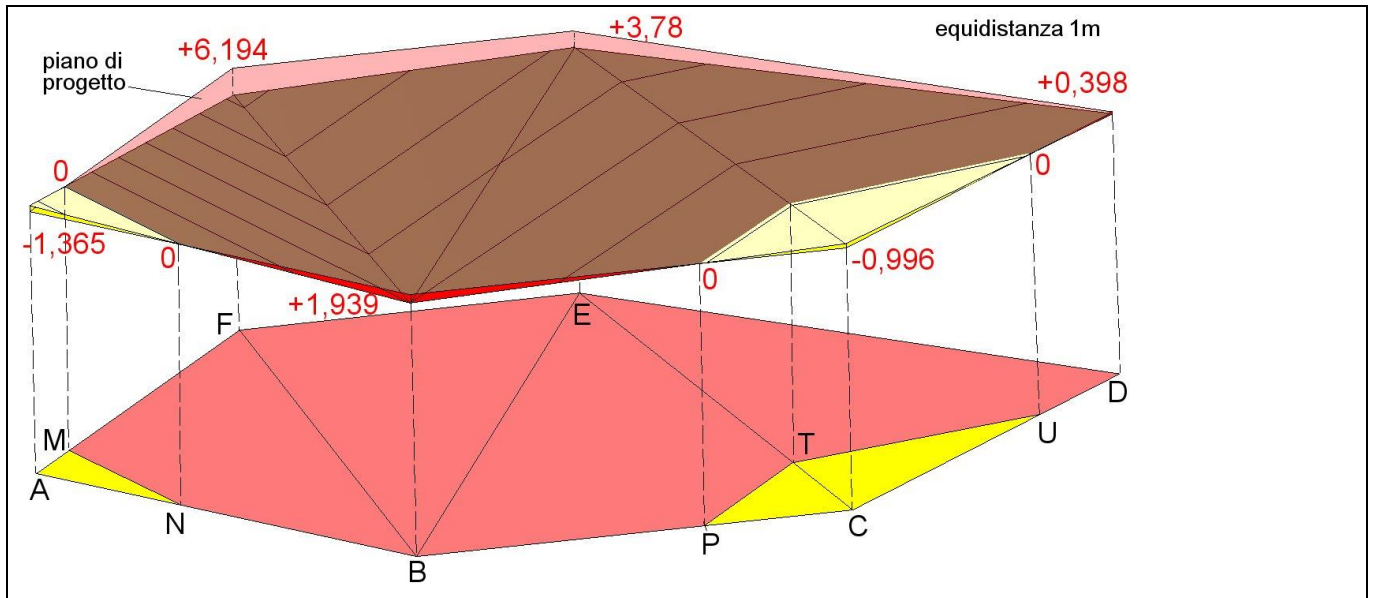
$$V_{STER}^{ECD} = \frac{0,996}{3} \cdot 575,411 = 191,037 \text{ m}^3 \text{ (volume di sterro nella falda ECD)}$$

$$V_{RIP}^{ECD} = \frac{0,398 + 3,78}{3} \cdot 1102,61 + \frac{3,78}{3} \cdot 2183,779 = 4287,128 \text{ m}^3 \text{ (volume di riporto nella falda ECD)}$$

Calcolo dei volumi complessivi di sterro e riporto dello spianamento:

$$V_{STER} = 98,435 + 102,471 + 191,037 = 391,943 \cong 392 \text{ m}^3;$$

$$V_{RIP} = 6640,558 + 13474,723 + 6969,045 + 4287,128 = 31371,454 \cong 31372 \text{ m}^3;$$



3. Frazionamento area con dividente passante per P

$$S_{TOT} = 2899,880 + 3393,282 + 4361,533 + 3861,800 = 14516,495 \text{ m}^2; \quad S_{TOT}/2 = 7258,248 \text{ m}^2$$

$$S_{PCE} = \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 105,70 \cdot \text{sen } 76,6475 = 1480,02 \text{ m}^2$$

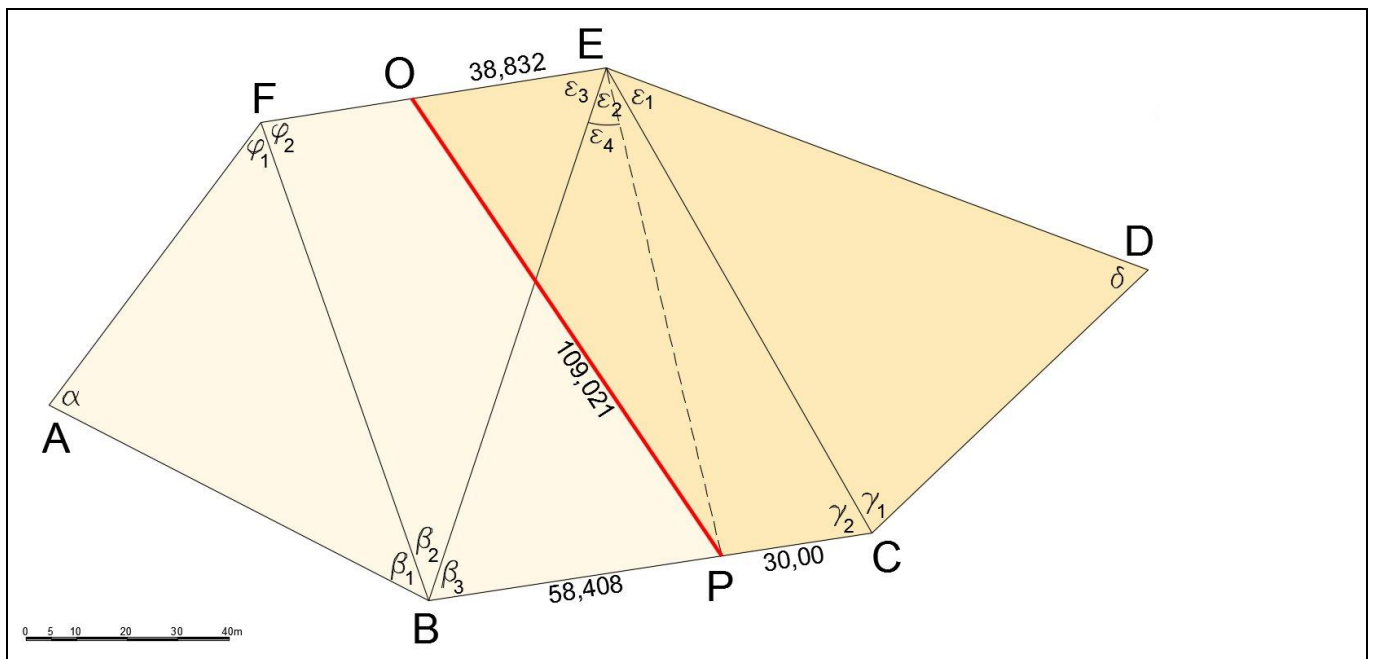
$$S_{PCDE} = 1480,02 + 3861,80 = 5341,82 \text{ m}^2$$

Essendo $S_{PCDE} < S_{TOT}/2$ il secondo estremo O della dividente cade sul lato EF (salvo verifica).

$$EP = \sqrt{58,408^2 + 110,84^2 - 2 \cdot 58,408 \cdot 110,84 \cdot \cos 69,8849} = 98,984 \text{ m}$$

$$\varepsilon_4 = \arccos \left(\frac{98,984^2 + 110,84^2 - 58,408^2}{2 \cdot 98,984 \cdot 110,84} \right) = 35,2074 \text{ gon};$$

$$\varepsilon_3 = \arccos \left(\frac{110,84^2 + 68,942^2 - 100,07^2}{2 \cdot 110,84 \cdot 68,942} \right) = 69,5967 \text{ gon}; \quad \varepsilon_3 + \varepsilon_4 = 104,8041 \text{ gon}$$



Considerando il triangolo POE di area $(S_{TOT}/2) - S_{PCDE}$, si ottiene:

$$EO = \frac{2 \cdot (7528,248 - 5341,82)}{98,984 \cdot \text{sen}104,8041} = 38,832 \text{ m}; \text{ posizione dell'estremo O su EF (per verifica: EO} < \text{EF)}$$

$$PO = \sqrt{38,832^2 + 98,984^2 - 2 \cdot 38,832 \cdot 98,984 \cdot \cos 104,8041} = 109,021 \text{ m}; \text{ lunghezza della dividente}$$

- PARTE SECONDA -

1. Profilo longitudinale lungo la congiungente AD

Risoluzione del quadrilatero ABCD utilizzando la diagonale BD che definisce i due triangoli BCD e ADB.

$$\gamma_1 + \gamma_2 = 84,5368 + 76,6475 = 161,1843 \text{ gon}$$

$$BD = \sqrt{88,408^2 + 75,281^2 - 2 \cdot 88,408 \cdot 75,281 \cdot \cos 161,1843} = 156,191 \text{ m}$$

$$\beta_4 = \arccos \left(\frac{156,191^2 + 88,408^2 - 75,281^2}{2 \cdot 156,191 \cdot 88,408} \right) = 17,8016 \text{ gon};$$

$$\delta_1 = \arccos \left(\frac{156,191^2 + 75,281^2 - 88,408^2}{2 \cdot 156,191 \cdot 75,281} \right) = 21,0139 \text{ gon};$$

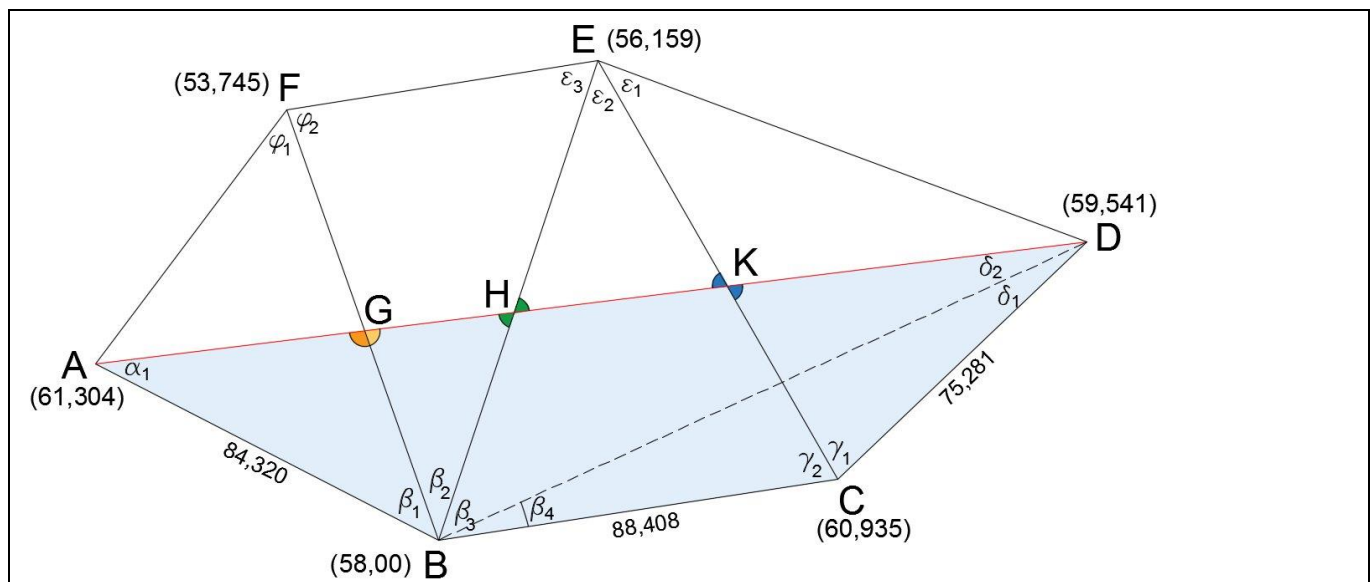
$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_4 = 48,2449 + 41,9154 + 69,8849 - 17,8016 = 142,2436 \text{ gon}$$

$$AD = \sqrt{156,191^2 + 84,32^2 - 2 \cdot 156,191 \cdot 84,32 \cdot \cos 142,2436} = 218,47 \text{ m}$$

$$\delta_2 = \arccos \left(\frac{218,47^2 + 156,191^2 - 84,32^2}{2 \cdot 218,47 \cdot 156,191} \right) = 19,6684 \text{ gon}; \quad \delta_1 + \delta_2 = 40,6823 \text{ gon}$$

$$\alpha_1 = \arccos \left(\frac{218,47^2 + 84,32^2 - 156,191^2}{2 \cdot 218,47 \cdot 84,32} \right) = 38,0880 \text{ gon};$$

$$\text{AGB} = 200 - (38,0880 + 48,2449) = 113,6671 \text{ gon}; \quad \text{BGH} = 200 - 113,6671 = 86,3329 \text{ gon};$$



$$AG = \frac{84,32}{\text{sen}113,6671} \cdot \text{sen}48,2449 = 59,319 \text{ m}$$

$$BG = \frac{84,32}{\text{sen}113,6671} \cdot \text{sen}38,0880 = 48,607 \text{ m}$$

$$\text{GHB} = \text{EHK} = 200 - (86,3329 + 41,9154) = 71,7517 \text{ gon}$$

$$HG = \frac{48,607}{\text{sen } 71,7517} \cdot \text{sen } 41,9154 = 32,93 \text{ m}$$

$$BH = \frac{48,607}{\text{sen } 71,7517} \cdot \text{sen } 86,3329 = 52,583 \text{ m}; \quad EH = 110,84 - 52,583 = 58,257 \text{ m}$$

$$EKH = CKD = 200 - (71,7517 + 53,4678) = 74,7805 \text{ gon}$$

$$HK = \frac{58,257}{\text{sen } 74,7805} \cdot \text{sen } 53,4678 = 47,015 \text{ m}$$

$$KD = \frac{75,281}{\text{sen } 74,7805} \cdot \text{sen } 84,5363 = 79,205 \text{ m}$$

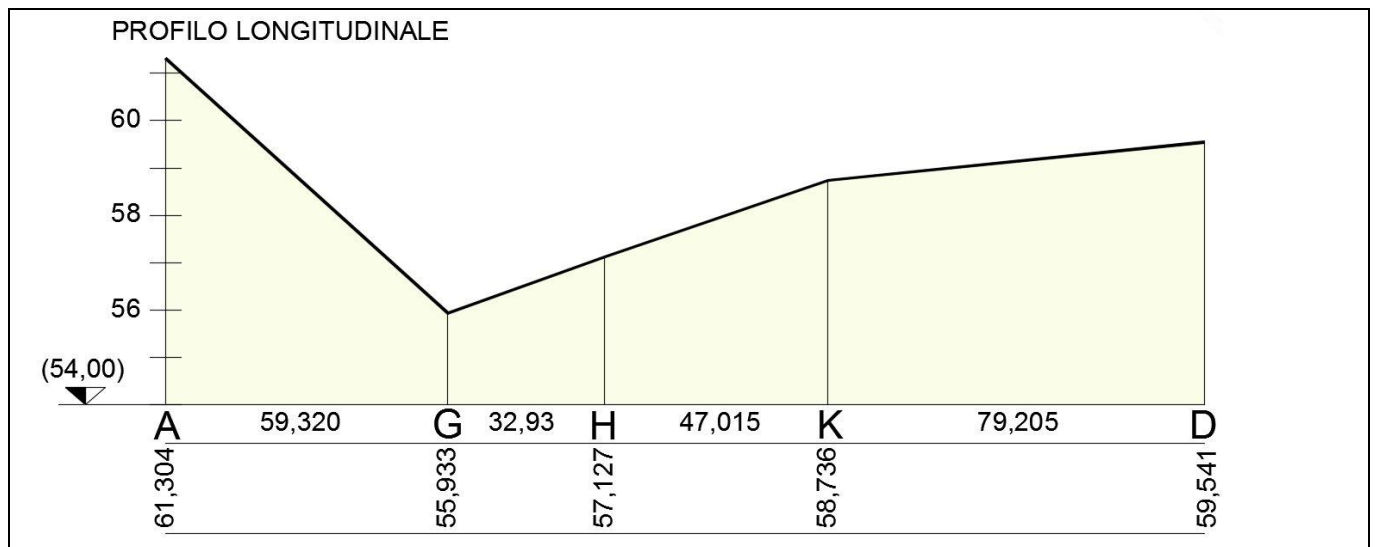
$$CK = \frac{75,281}{\text{sen } 74,7805} \cdot \text{sen } 40,6823 = 48,668 \text{ m}$$

Calcolo delle quote del terreno dei punti G, H, K intermedi, rispettivamente sui lati BF, BE, CE del piano quotato (le quote di A e D sono già state calcolate nell'ambito del piano quotato):

$$p_{BF} = \frac{53,745 - 58,00}{100,07} = -0,04252 \quad Q_G^T = 58,00 - 0,033198 \cdot 48,607 = 55,933 \text{ m}$$

$$p_{BE} = \frac{56,159 - 58,00}{110,84} = -0,01661 \quad Q_H^T = 58,00 - 0,01661 \cdot 52,583 = 57,127 \text{ m}$$

$$p_{CE} = \frac{56,159 - 60,935}{105,70} = -0,04518 \quad Q_K^T = 60,935 - 0,04518 \cdot 48,668 = 58,736 \text{ m}$$



2. Raccordo circolare dei rettifili BC e CD

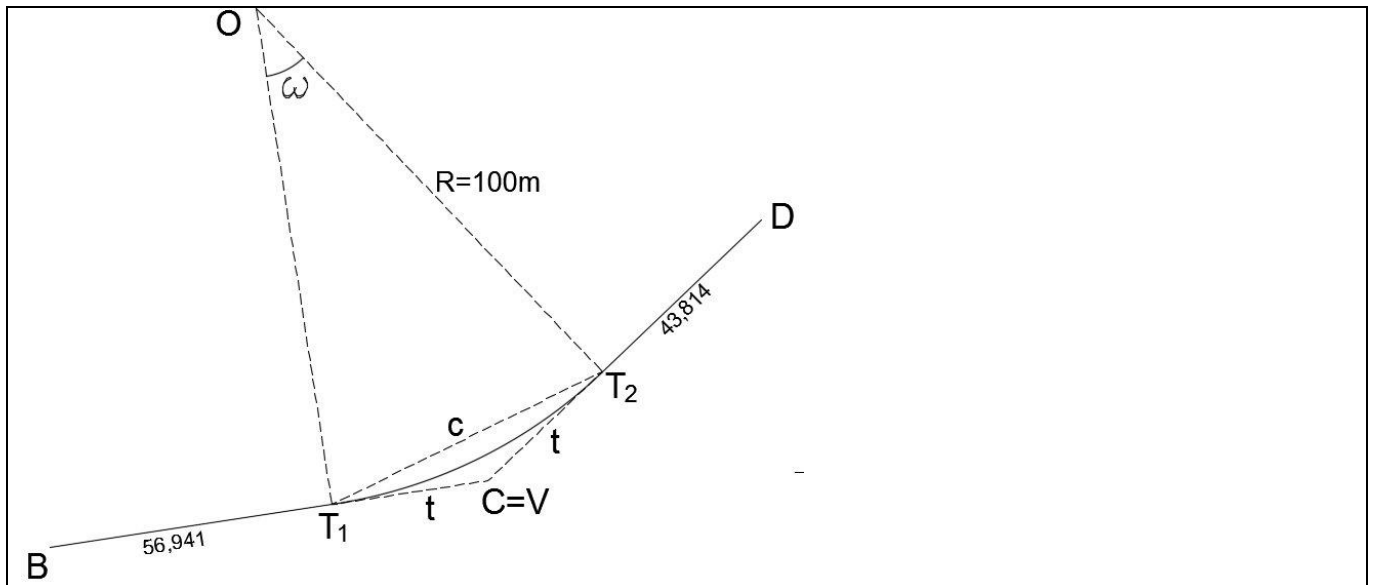
Ipotizzando una strada locale tipo F Extra Urbana, a cui corrisponde un raggio minimo di 45m, ipotizziamo di utilizzare un raggio di 100m ($R=100\text{m}$).

$$\omega = 200 - (\gamma_1 + \gamma_2) = 200 - 161,1843 = 38,8157 \text{ gon}$$

$$t = 100 \cdot \text{tg}\left(\frac{38,8157}{2}\right) = 31,467 \text{ m}; \quad BT_1 = 88,408 - 31,467 = 56,941\text{m}; \quad DT_2 = 75,281 - 31,467 = 43,814\text{m}$$

$$c = 2 \cdot 100 \cdot \text{sen}\left(\frac{38,8157}{2}\right) = 60,032 \text{ m}; \quad s = 2 \cdot 100 \cdot \text{sen}^2\left(\frac{38,8157}{4}\right) = 4,611 \text{ m}$$

$$b = \frac{4,611}{\cos\left(\frac{38,8157}{2}\right)} = 4,834 \text{ m}; \quad S = \frac{100 \cdot 38,8157 \cdot \pi}{200} = 60,972 \text{ m}$$



3. Criteri di massima per effettuare l'analisi del traffico

Per traffico si intende l'insieme dei veicoli, di varia natura, che utilizzano, cioè che circolano, su una determinata strada.

Nella progettazione stradale è determinante e basilare (sia per la corretta funzionalità, sia per i costi connessi) la definizione della configurazione geometrica della piattaforma da assegnare alla strada in progetto; in questa fase è necessario valutare il traffico che utilizzerà la strada in progetto.

Il problema che si pone, dunque, è quello di prevedere quali devono essere le caratteristiche geometriche della futura strada (numero di corsie, pendenza longitudinale, andamento del tracciato, ecc.) che la rendano funzionale per un adeguato lasso di tempo, in relazione ai volumi e alle caratteristiche di traffico previste, definite tramite uno studio definito "analisi del traffico", che deve considerare i seguenti criteri.

- stima del volume di traffico che la nuova strada catalizza dalla circolazione esistente distinguendolo per categorie di veicoli;
- stima del volume di traffico aggiuntivo che la nuova strada con i suoi benefici creerà;
- previsione dell'incremento nel volume di traffico per il più lungo periodo di tempo possibile, tenendo presente dello sviluppo del traffico nazionale e internazionale e della rapida evoluzione tecnologica dei veicoli.

Per sviluppare questo studio si ricorre alla disponibilità di dati di traffico ottenuti da censimenti periodici della circolazione (effettuati dagli Enti pubblici competenti) che si svolge su strade preesistenti e di caratteristiche analoghe a quelle in progetto, quindi, con proiezioni di tipo statistico e con indagini probabilistiche si cerca di risalire alle quantità prima descritte. I rilevamenti coprono una decina di giorni campionari sull'intero anno e sono eseguiti nell'arco delle 24 ore, quindi si distinguono in diurni e notturni, e sono riferiti a determinate (significative) sezioni stradali.

I dati di traffico ottenuti dai rilevamenti periodici consentono di definire i seguenti parametri, riferiti a una grandezza detta "flusso" le cui dimensioni sono [veicoli/tempo], che fotografano, in modo sufficientemente completo, le caratteristiche del traffico in una certa sezione stradale.

- **Traffico annuale** (veicoli/anno): è il numero di veicoli che attraversano una data sezione stradale in un anno intero (365 giorni). Il traffico annuale non viene mai rilevato direttamente, ma dedotto attraverso osservazioni parziali opportunamente regolate.
- **Traffico giornaliero medio** (TGM) (veicoli/giorno): questo importante parametro è dato dal rapporto tra il traffico annuale e il numero dei giorni presenti nell'anno (365). Trattandosi di un valore medio, esso si discosterà, a volte anche sensibilmente, dal traffico giornaliero reale.
- **Traffico orario** o **flusso orario** (veicoli/ora): è il numero di veicoli che transitano in un'ora in una data sezione stradale.

- **Traffico alla trentesima ora** (T_{xxxh} o più brevemente Q_{30}) (veicoli/ora): rappresenta il valore del traffico orario, prima definito, che viene superato per un numero di ore inferiore a 30 (cioè 29) nell'arco dell'anno. Statisticamente esso assume sempre valori compresi tra il 12% e il 18% del TGM, quindi, mediamente, può essere stimato con il 15% del TGM.

4. Metodi analitici per il calcolo delle aree

I metodi analitici sono procedimenti di calcolo delle aree che utilizzano formule geometriche e trigonometriche e che vengono sviluppate con i dati numerici (lati, angoli, coordinate) misurati nel rilievo dell'appezzamento. Quelli più utilizzati in ambito topografico sono i seguenti.

- **Area di una particella per scomposizione in figure elementari.** La particella viene distinta in figure elementari (triangoli, trapezi, rettangoli) delle quali vengono misurate, durante il rilievo, le grandezze che ne consentono il calcolo dell'area. La somma di tutte le aree delle superfici elementari fornisce l'area della particella.

- **Area di una particella rilevato per trilaterazione.** L'appezzamento viene scomposto in triangoli in ciascuno dei quali vengono misurate le lunghezze dei suoi tre lati con nastri flessibili, aste rigide o altri distanziometri. L'area di ogni triangolo viene calcolata con la formula di Erone: $S_i = \sqrt{p \cdot (p - a) \cdot (p - b) \cdot (p - c)}$. La somma di tutte le aree delle superfici triangolari esprime l'area complessiva della particella.

- **Area di una particella con la formula di camminamento.** Richiede che il contorno poligonale della particella sia rilevato per "camminamento" percorrendone il perimetro e misurandone le lunghezze dei lati meno uno, e gli angoli tra essi compresi.

L'area della particella è fornita dalla semisomma di tutti i possibili prodotti dei lati presi a due a due (combinazioni), per il seno della somma degli angoli che si incontrano per andare dall'uno all'altro, con il segno positivo o negativo a seconda che il numero degli angoli incontrati sia dispari o pari.

Nel caso di una particella a contorno pentagonale, l'espressione dell'area è la seguente:

$$2S = ab \operatorname{sen} \alpha - ac \operatorname{sen} (\alpha + \beta) + ad \operatorname{sen} (\alpha + \beta + \gamma) + bc \operatorname{sen} \beta - bd \operatorname{sen}(\beta + \gamma) + cd \operatorname{sen} \gamma$$

- **Area di una particella con la formula di Gauss.** Richiede che il contorno poligonale della particella sia rilevato in modo da conoscere le coordinate cartesiane dei suoi vertici (per convenzione numerati in senso orario).

In questo caso l'area della particella è fornita dalla semisomma dei prodotti dell'ordinata (o dell'ascissa) di ciascun vertice per la differenza tra l'ascissa (o l'ordinata) del vertice seguente (o precedente) e l'ascissa (o l'ordinata) del vertice precedente (o seguente).

Ad esempio per una particella il cui contorno si sviluppi in n vertici, deve essere applicata una delle due seguenti espressioni equivalenti:

$$2S = \sum_{i=1}^n Y_i \cdot (X_{i+1} - X_{i-1}); \quad \text{oppure:} \quad 2S = \sum_{i=1}^n X_i \cdot (Y_{i-1} - Y_{i+1})$$