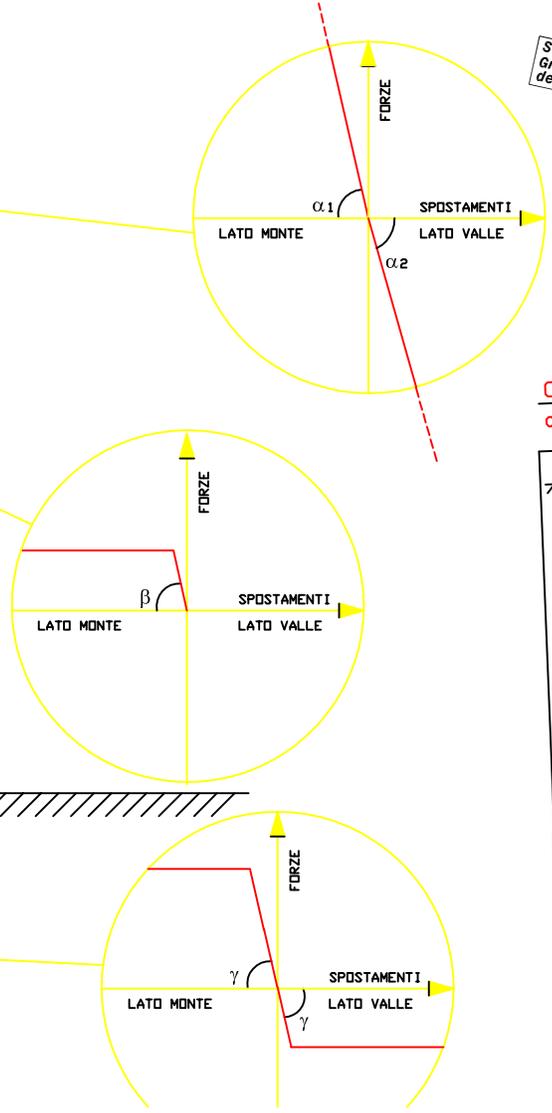
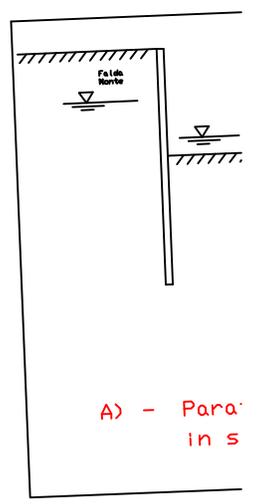


FINIZIONE DELLE COSTANTI DI MOLLA

- 1 =  $ArTg(KT_{irante} + T_{terreno})$
- 2 =  $ArTg(Kt_{irante})$
- 3 =  $ArTg(Kt_{terreno})$
- 4 =  $ArTg(KT_{erreno})$



Condizione Fisica di riferimento



## 0 – CRITERI E RISULTATI DI VALIDAZIONE

Scopo del presente manuale è di fornire elementi di validazione degli algoritmi di calcolo utilizzati dal Programma.

Esso intende garantire e rispondere alla necessità da parte del progettista di documentare l'affidabilità del codice utilizzato, dal punto di vista della soluzione numerica e per quanto di pertinenza del fornitore del codice di calcolo.

Il metodo di validazione è coerente con la parte della Norma CNR 10024/86 riguardante la validazione del software, laddove si prescrive l' *“esistenza di controlli e riscontri con soluzioni note o con risultati ottenuti con procedimenti indipendenti”*.

Perciò gli elementi di validazione dei primi due esempi di calcolo, in modo progetto, sono perseguiti attraverso un doppio approccio:

- verifica analitica dei risultati immediatamente verificabili con il calcolo geotecnico diretto
- paragone dei risultati con quelli di altri solutori numerici automatici (assunti in veste di procedimenti indipendenti) in grado di fornire, su opportuno input, risultati di calcolo analoghi.

Entrambi gli approcci sono da considerare benchmarks, ovvero elementi di riferimento, in ogni momento ripetibili, delle calcolazione effettuate dal Programma.

I due paragoni sono condotti per gli elementi passibili di processo di calcolo in campo lineare.

Gli algoritmi sottoposti a verifica sono i medesimi impiegati nelle iterazioni che stanno alla base dei calcoli non lineari.

Per quanto riguarda il terzo esempio, il Programma processa i dati di una paratia pubblicata in letteratura tecnica. Il benchmark di letteratura è direttamente paragonato ai risultati del Programma, essendo coincidenti sia le opzioni, sia le grandezze di calcolo (input dati coerente, modo verifica non incrementale).

I risultati delle verifiche e dei paragoni condotti risultano soddisfacenti in ordine alla correttezza e alla precisione delle calcolazioni eseguite dal Programma.

# ESEMPIO A

## A-0 – CONDIZIONI DELLE VERIFICHE

Una paratia deve essere realizzata nelle condizioni stratigrafiche mostrate in Fig. 0.1.

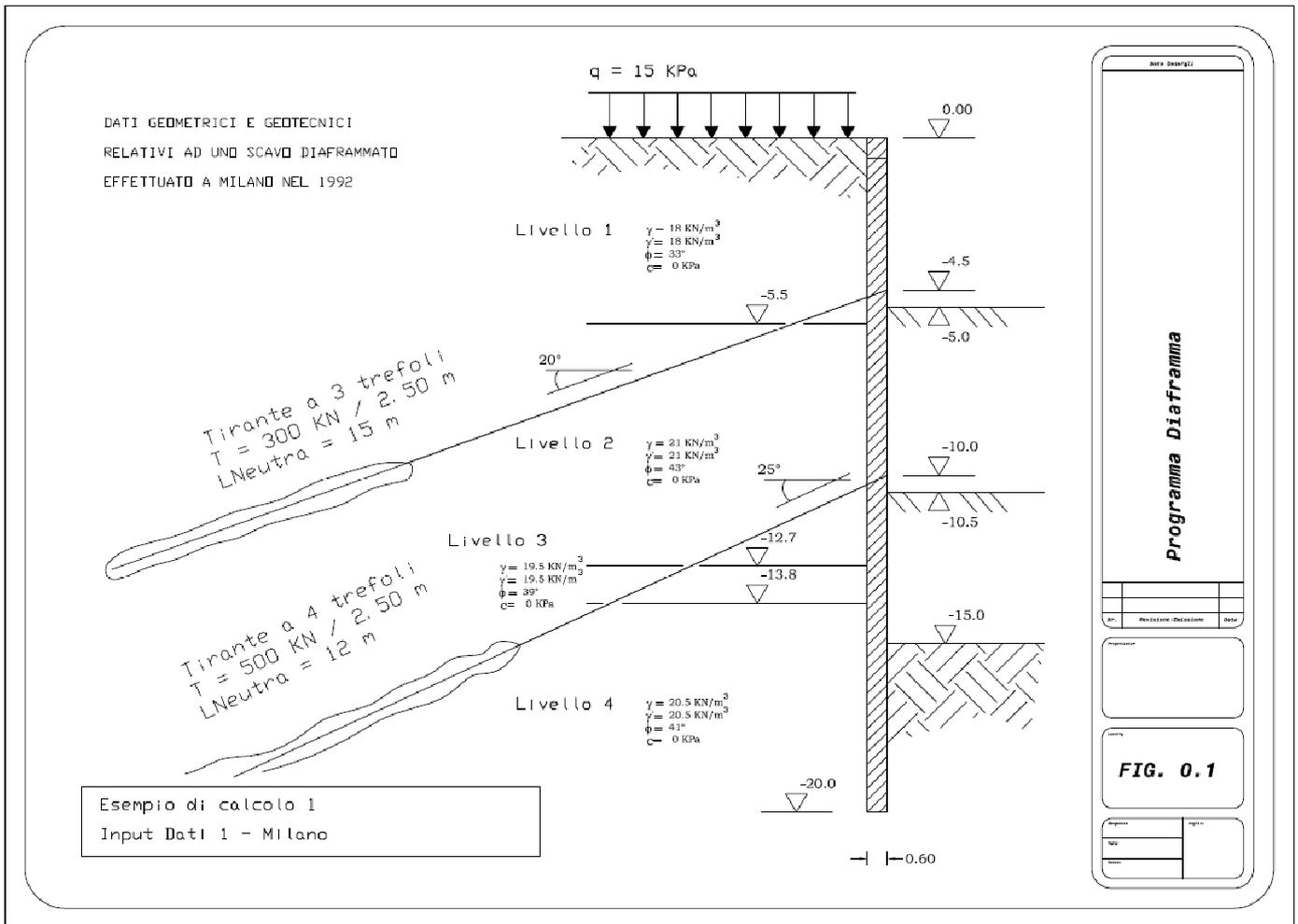


Fig. 01

Le spinte determinate analiticamente con il metodo di Mueller-Breslau sono mostrate in Fig. 0.2.

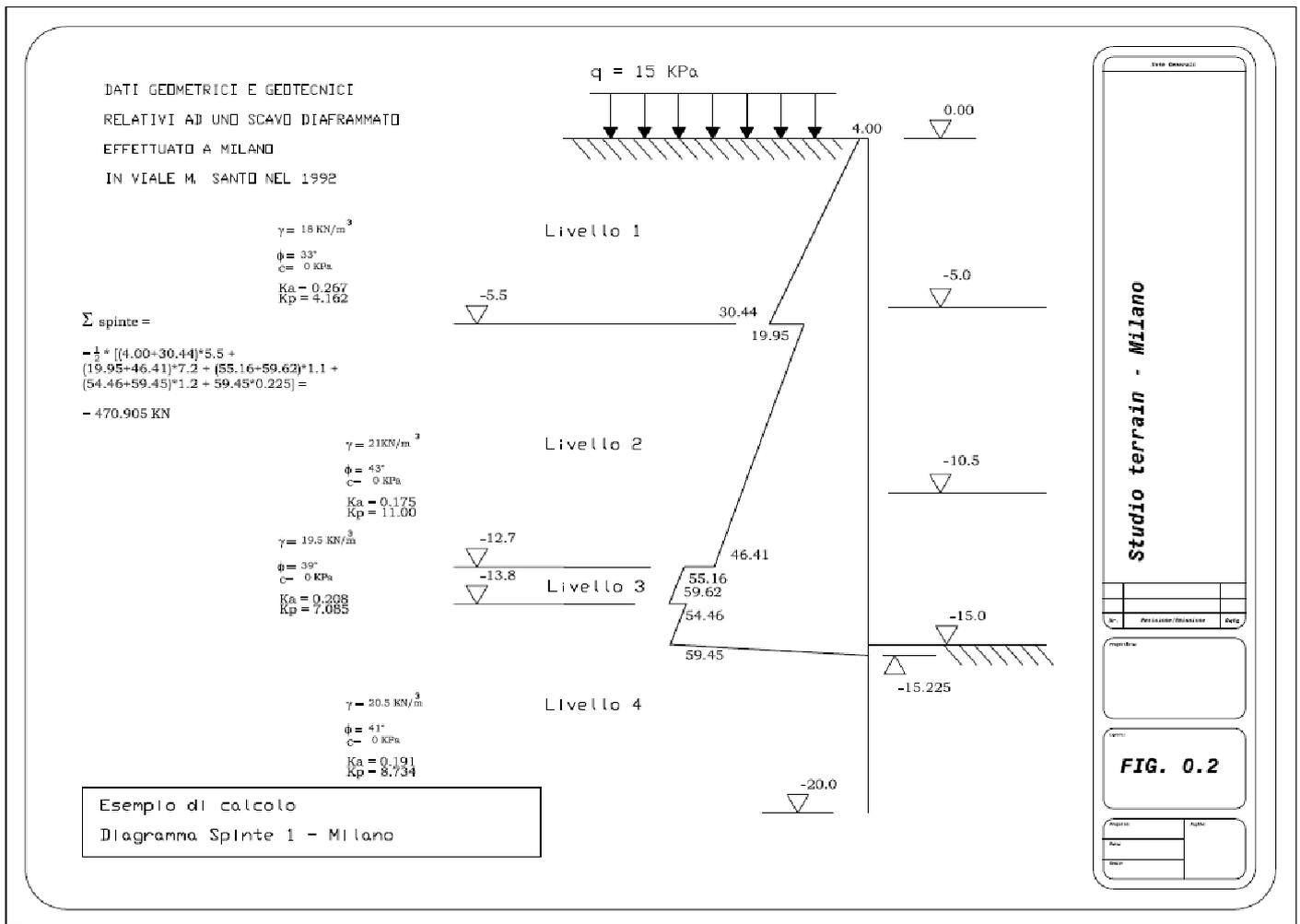


Fig. 02

I quattro livelli geotecnici incontrati sono parametrizzati come segue:

-----  
 QUOTA DEL PIANO CAMPAGNA : 0  
 QUOTA INIZIALE DELLA FALDA : -1000

DATI GEOTECNICI INPUT

Livello Nr	Prof_da (m)	Prof_a (m)	Gammam (KN/m3)	Gamma1 (KN/m3)	Fi (°)	Coesione (KPa)
1	0.00	-5.50	18.00	9.00	33.00	0.00
2	-5.50	-12.70	21.00	11.00	43.00	0.00
3	-12.70	-13.80	19.50	10.00	39.00	0.00
4	-13.80	-25.00	20.50	11.00	41.00	0.00

Livello Nr	Ka	Kp Nominale	Kp Calcolo	Kac	Kpc	Ak (KN/m3)	Bk (KN/m2)	Expo
1	0.267	6.243	6.243	0.00	0.00	008799.27	018786.25	0.50
2	0.175	16.508	16.508	0.00	0.00	057581.86	083171.98	0.50
3	0.208	10.628	10.628	0.00	0.00	026034.65	043646.82	0.50
4	0.191	13.102	13.102	0.00	0.00	038971.51	060595.45	0.50

FATTORE RIDUTTIVO GAMMA Sfavorevole : 1  
 FATTORE RIDUTTIVO GAMMA Favorevole : 1  
 FATTORE RIDUTTIVO Resistenza o Kp : 1  
 MODELLO DELLE SPINTE ATTIVE : Mueller-Breslau  
 MODELLO DELLE SPINTE PASSIVE: Mueller-Breslau

I dati strutturali del diaframma in c.c.a, spessore 60 cm, sono i seguenti:

-----  
 QUOTA DEL PIANO CAMPAGNA : 0 m  
 QUOTA FINALE DELLO SCAVO : -15 m  
 QUOTA INIZIALE DELLA FALDA : -1000 m  
 TIPOLOGIA STRUTTURALE : DIAFRAMMA  
 NR. SOSTEGNI IN OPERA : 2  
 TIPO CALCOLO : PROGETTO - Metodo della trave equivalente

Fase Nr	Stratigr. Nr.	Scavo (m)	Vincoli Nr.
1	0	-5.00	0
3	2	-10.50	1
5	4	-15.00	2

Tirante Nr	Quota (m)	Scavo (m)	Falda Monte (m)	Falda Valle (m)	Tipo
1	-4.50	-5.00	-1000.00	-1000.00	APPOGGIO
2	-10.00	-10.50	-1000.00	-1000.00	APPOGGIO

-----  
 INERZIA DELLA SEZIONE : .018 m<sup>4</sup>/m<sup>1</sup>  
 MODULO ELASTICO MATERIALE : 30 GPa  
 RIGIDEZZA EJ : 540 MN\*m<sup>2</sup>/m<sup>1</sup>

## A-1 – VERIFICA DEI COEFFICIENTI DI SPINTA ATTIVA E PASSIVA

I valori di  $k_a$  calcolati dal Programma sono paragonati ai valori secondo l'analisi di Mueller-Breslau (1906) e l'analisi di Mayniel (1808), coincidenti per  $\alpha = 90^\circ$  e  $\beta = 0$ . Tali valori sono ricavati dal testo "Earth pressure and earth retaining structures" (C.R.I. Clayton, J Milititsky, 1986 – Surrey University Press, pagg. 121 e segg.).

I valori di letteratura sono interpolati rispetto ai valori disponibili più vicini.

Suolo	$\phi$	$\delta$	$k_a$ Programma	$k_a$ letteratura
1	33	16.5	0.267	$(0.268 + 0.266) / 2 = 0.267$
2	43	21.5	0.175	0.174
3	39	19.5	0.208	$(0.208 + 0.207) / 2 = 0.2085$
4	41	20.5	0.191	0.190

Analogamente, i valori di  $k_p$  calcolati dal Programma vengono paragonati ai corrispondenti valori pubblicati in "Foundation analysis and design" (J. E. Bowles, 1997 – Mc Graw-Hill International Editions, pag. 598).

Anche in questo caso i valori di letteratura sono interpolati rispetto ai valori disponibili più vicini.

Suolo	$\phi$	$\delta$	$k_p$ Programma	$k_p$ letteratura
1	33	16.5	6.243	$(6.122 + 6.396) / 2 = 6.259$
2	43	21.5	16.508	n. d.
3	39	19.5	10.628	10.697
4	41	20.5	13.102	13.189

I paragoni risentono delle interpolazioni numeriche eseguite linearmente sui valori di letteratura, non paragonabili alla precisione dell'algorithm esatto contenuto nel Programma.

Altri paragoni rispetto a valori di letteratura non interpolati rivelano eccellente accordo. Per la spinta attiva si riportano i seguenti paragoni non interpolati, scelti con criterio di rappresentatività e casualità, rispetto al testo di Clayton – Milititsky.

$\phi$	$\delta$	$\alpha$	$\beta$	$k_a$ Programma	$k_a$ letteratura
36°	21°	90°	0°	0.235	0.235
27°	12°	90°	10°	0.393	0.393
30°	18°	60°	0°	0.614	0.614

Analogamente per la spinta passiva si ricavano i seguenti valori in corrispondenza di altri di letteratura non interpolati (Bowles).

$\phi$	$\delta$	$\alpha$	$\beta$	$k_p$ Programma	$k_p$ letteratura
32°	16°	90°	0°	5.7748	5.775
40°	22°	90°	0°	13.3644	13.364

Il programma non accetta valori di  $\beta < 0$  per spinta passiva.

## A-2 – VERIFICA DEI PARAMETRI MOLLE DEL TERRENO

Le formule utilizzate (Bowles, 1982), considerando  $\delta = 25$  mm sono le seguenti:

$$\begin{aligned}
 k_s &= q / \delta \\
 &= 1 / 0.025 * (\frac{1}{2}\gamma' B N_\gamma + C N_c + Q N_q) \\
 &= 1 / 0.025 * (\frac{1}{2} \gamma' B N_\gamma + C N_c) + 1 / 0.025 * \sigma_v * N_q \\
 &= 1 / 0.025 * (\frac{1}{2} \gamma' B N_\gamma + C N_c) + 1 / 0.025 * \gamma * N_q * z \\
 &= Ak + Bk * z
 \end{aligned}$$

Nella seguente tabella sono ricalcolati i valori riportati dal programma per le molle del terreno e per una profondità nominale di 1.00 m (tale valore è quello riscontrabile nella schermata di dettaglio di input geotecnica).

Liv.	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	$N_\gamma / N_q$		Ak + Bk (KN/m)
1	18	33	24.4424 / 26.09	$(\frac{1}{2} * 18 * 24.4424 + 18 * 26.09) / 0.025 =$	8799.2 + 18784.8
2	21	43	137.0996 / 99.0142	$(\frac{1}{2} * 21 * 137.0996 + 21 * 99.0142) / 0.025 =$	57581.8 + 83171.93
3	19.5	39	66.756 / 55.957	$(\frac{1}{2} * 19.5 * 66.756 + 19.5 * 55.957) / 0.025 =$	26034.84 + 43646.46
4	20.5	41	95.052 / 73.896	$(\frac{1}{2} * 20.5 * 95.052 + 20.5 * 73.896) / 0.025 =$	38971.32 + 60594.72

Il più che soddisfacente accordo tra i valori calcolati manualmente come sopra e quelli forniti dal Programma è dimostrato dalla seguente tabella di paragone.

Liv.	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	Ak + Bk (Programma) (KN/m)	Ak + Bk (c.s.) (KN/m)
1	18	33	8799.271 + 18786.25	8799.2 + 18784.8
2	21	43	57581.86 + 83171.98	57581.8 + 83171.93
3	19.5	39	26034.65 + 43646.82	26034.84 + 43646.46
4	20.5	41	38971.51 + 60595.45	38971.32 + 60594.72

## A-3 – VERIFICA DELLA SOMMATORIA DELLE SPINTE

Nella precedente Fig. 02 sono svolte tutte le calcolazioni per la determinazione del diagramma delle spinte attive gravanti sulla paratia.

La sommatoria di tutti i valori diagrammati (integrale delle spinte), a partire dalla sommità fino alla cerniera nel terreno, è pari a 470.905 KN.

Ponendo tutti i coefficienti parziali pari all'unità, per la stessa altezza di scavo di 15.00 m relativamente al piano campagna si ricava una sommatoria delle spinte pari a 470.82 (Fig. 3.1). La tabella viene ottenuta attivando il Menu "Visualizza → Controllo Calcolazioni", dopo aver eseguito l'analisi della paratia in modo Progetto.

L'accordo tra i valori verificati manualmente e quelli calcolati dal Programma è eccellente.

Fig. 3.1 – Modo Progetto. Controllo esecuzione calcolazioni

	Fase Lavoro	Stratigrafia	Fondo Scavo	Somma Spinte	Somma Appoggi	Reazione Cerniera	Reazioni Combinata	Delta
▶	(Nr)	(Nr)	(m)	(KN/m)	(KN/m)	(KN/m)	(KN/m)	(KN/m)
	1	1	5	-83.79	.00	83.79	83.79	.00
	3	2	10.5	-242.76	167.79	74.97	242.76	.00
*	5	3	15	-470.82	359.22	111.60	470.82	.00

#### A-4 – VERIFICA DELL'ALGORITMO RISOLVENTE DEL SISTEMA AGLI ELEMENTI FINITI (F.E.M.)

Il diagramma delle spinte è definito come mostrato in Fig. 4.1 e viene riproposto all'interno di un normale algoritmo strutturale agli elementi finiti utilizzando elementi tipo "beam". Il diagramma di spinte è applicato ad una trave di larghezza 1.00 m e spessore 60 cm in calcestruzzo avente le stesse caratteristiche elastiche della paratia ( $E_{CLS} = 30\ 000\ \text{MPa}$ ). Il solutore FEM utilizzato è quello del Programma Nòlian R 26 della Softing SRL di Roma.

Il risultato in termini di paragone tra le azioni flettenti e i contrasti calcolati di solutore FEM e dal Programma è riferito nella seguente tabella.

Quota	Mf		Reazione	
	Solutore (KN*m)	Progr. (KN*m)	Solutore (KN)	Progr. (KN)
-5.00	113.582	113.562	140.611	141.337
-10.00	104.709	105.060	217.647	217.86
-15.225			113.547	111.60

Le contenute differenze nei risultati sono da attribuire verosimilmente all'input solo approssimato dei valori di spinta nel modello FEM, mentre il Programma esegue tutti i calcoli in doppia precisione.

Nelle seguenti figure sono paragonati i diagrammi continui, in funzione della profondità, delle azioni flettenti e taglienti ricavate con il solutore FEM e con il Programma.

Le azioni taglienti al di sotto del punto di cerniera nel terreno, nel modello della trave equivalente ICOS, non sono considerate significative.

Le azioni flettenti sono calcolate mediante semplici addizioni di spinte sotto il fondo scavo (vedere anche A. S. Rabuffetti: "Manuale di progettazione geotecnica" 2011 – Edizioni del Genio Civile - DEI – Roma – pagg. 197 e segg.).

Nelle seguenti figure sono graficati i passi principali del paragone tra i risultati del solutore del Programma e del solutore indipendente FEM, nel seguente ordine:

- 4.1 - Paragone diagrammi di spinta
- 4.2 - Paragone azioni flettenti calcolate
- 4.3 - Paragone azioni taglianti calcolate

I diagrammi continui mostrano un'evidente analogia che conferma l'accordo numerico puntuale già riscontrato come sopra.

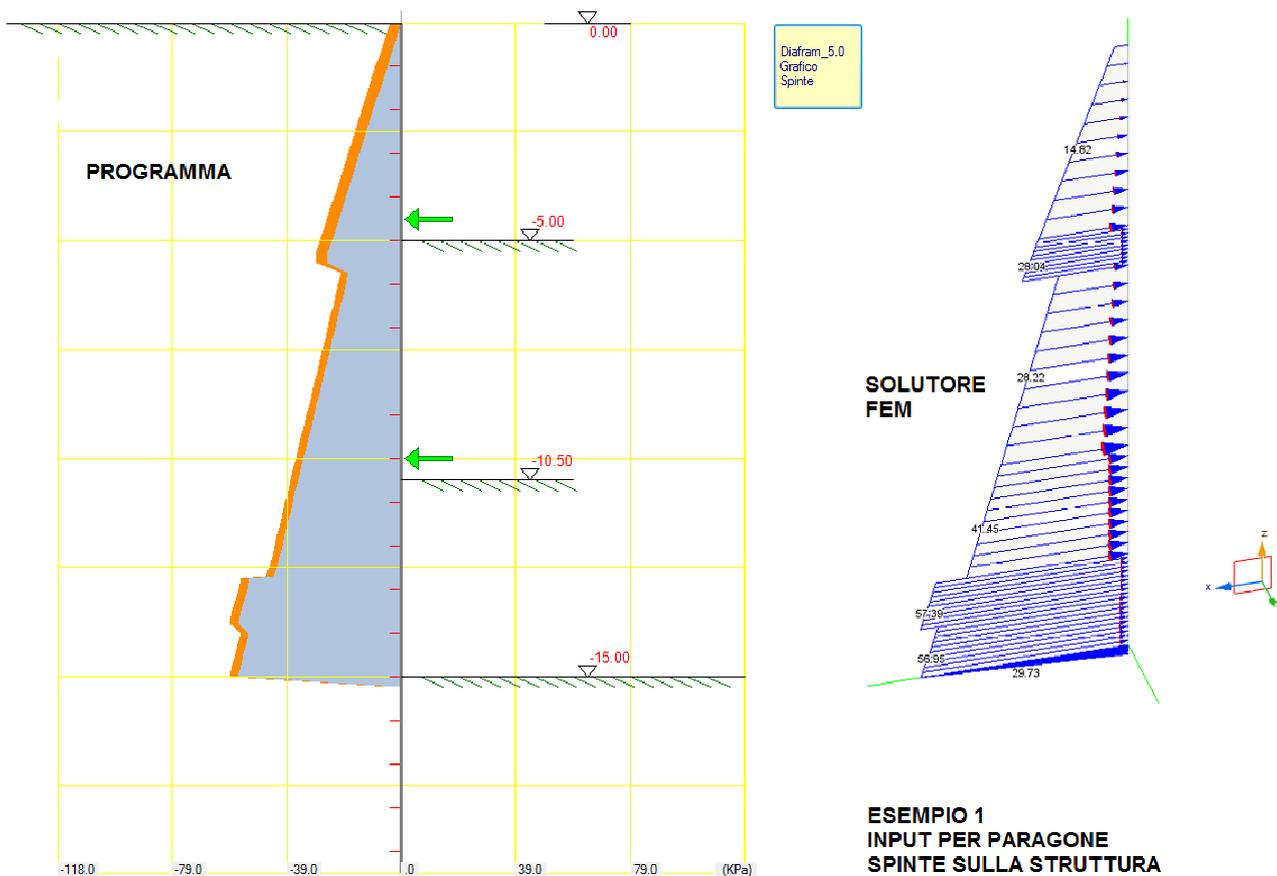
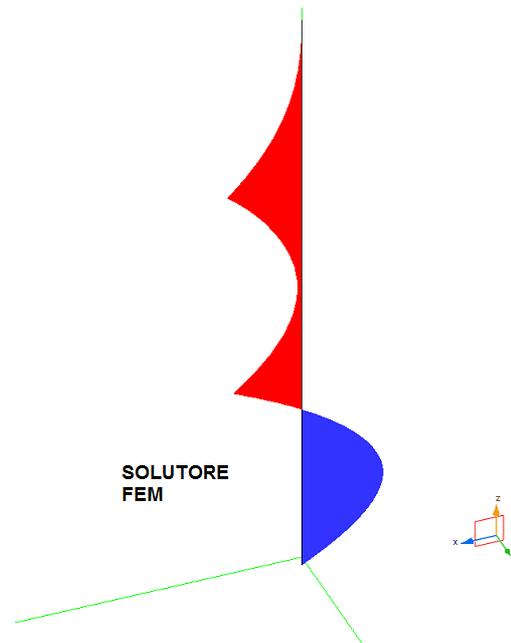
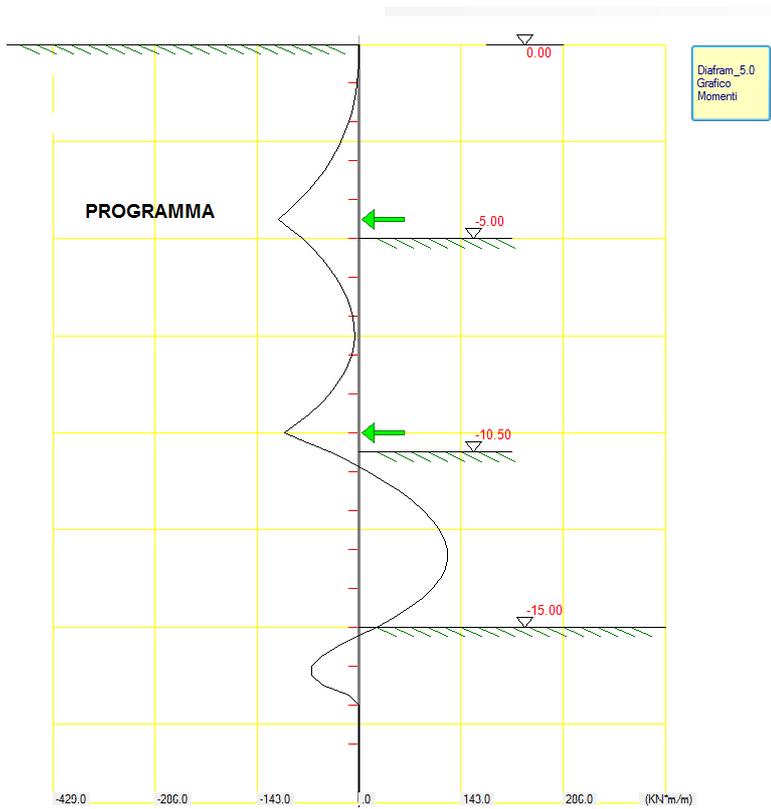
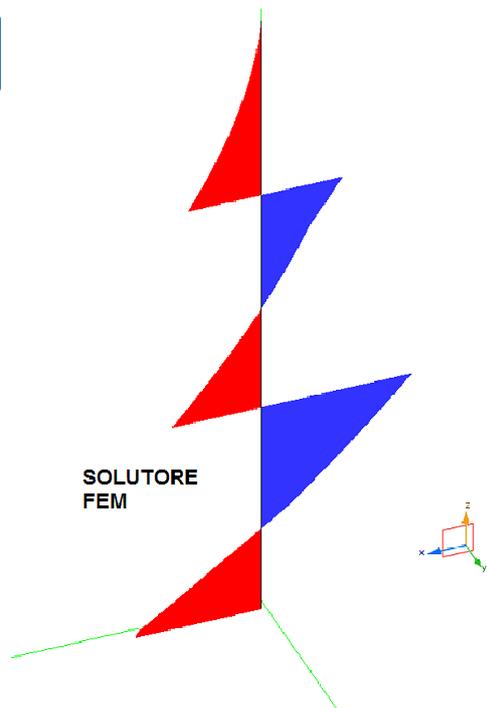
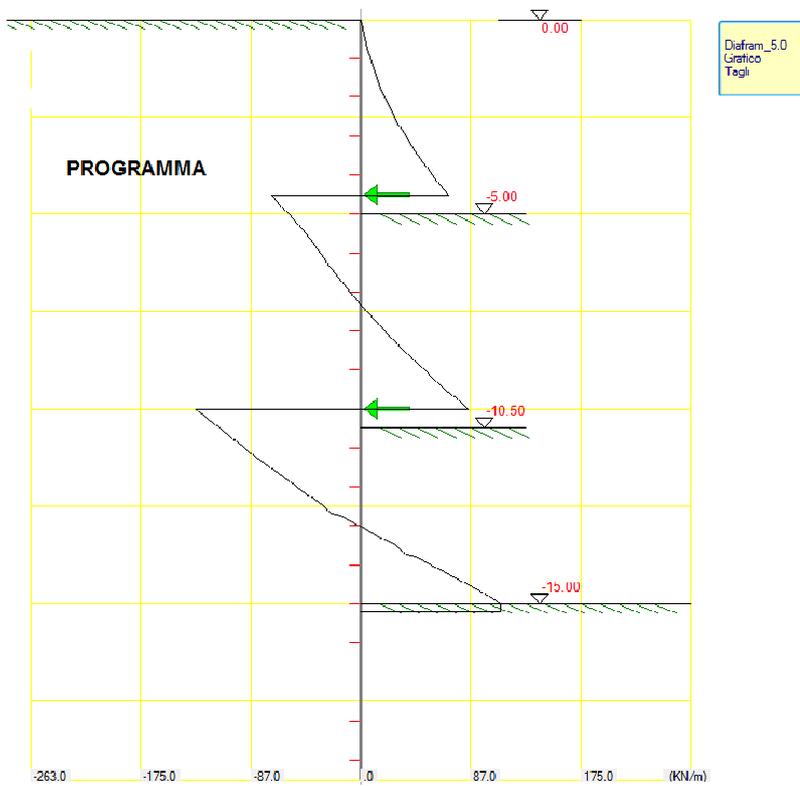


Fig. 4.1



ESEMPIO 1  
PARAGONE CALCOLO  
AZIONE INTERNA FLETTENTE

Fig. 4.2



ESEMPIO 1  
PARAGONE CALCOLO  
AZIONE INTERNA DI TAGLIO

Fig. 4.3

## **ESEMPIO B**

### B-0 – CONDIZIONI DELLE VERIFICHE

Una paratia in condizioni di pendio a monte e in presenza di falda viene realizzata nella situazione mostrata in Fig. 0.1.

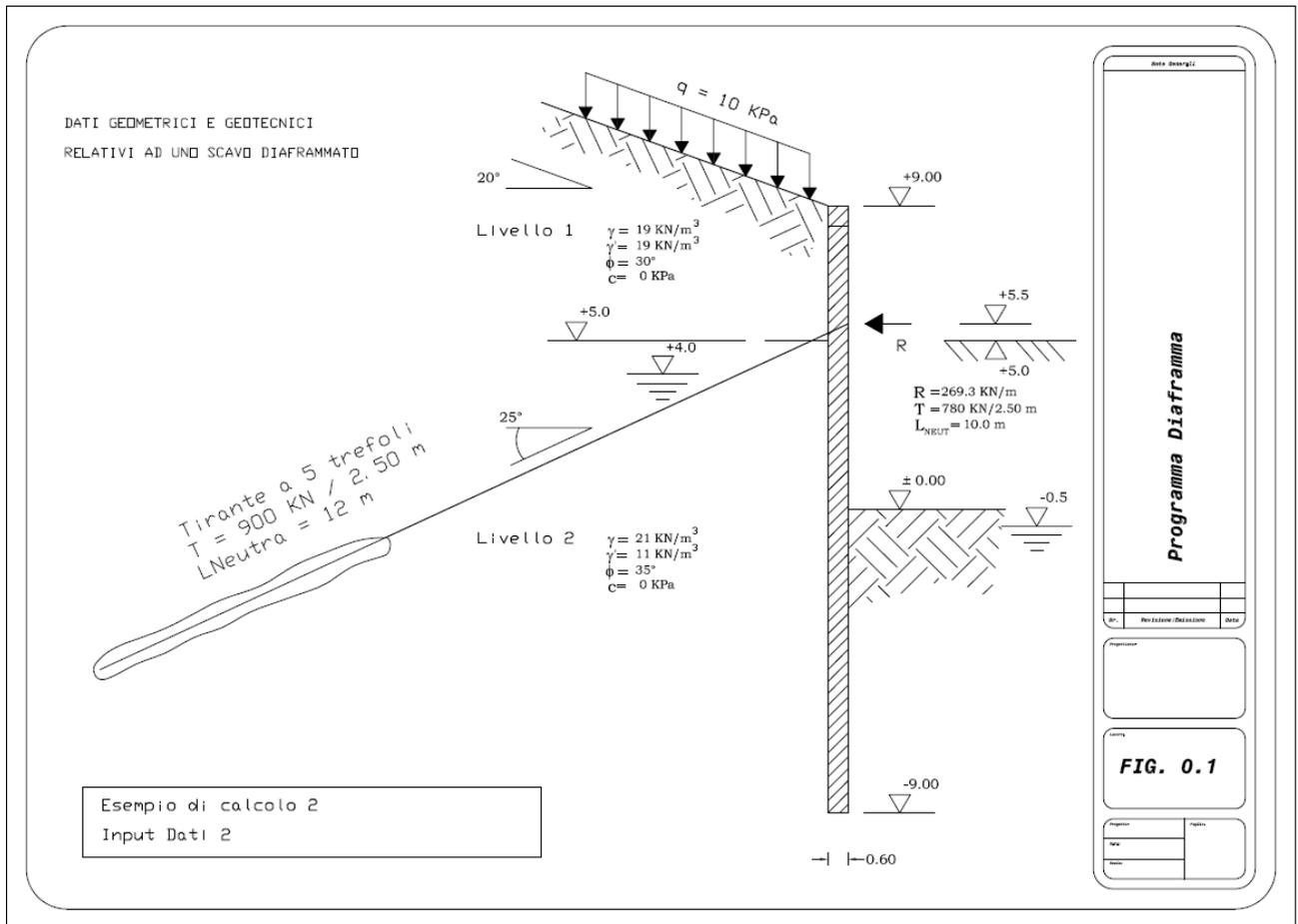


Fig. 0.1

I due livelli geotecnici in stratigrafia, entrambi granulari e in presenza di una falda con confine permeabile al piede, sono parametrizzati come segue:

-----

QUOTA DEL PIANO CAMPAGNA : 9  
 QUOTA INIZIALE DELLA FALDA : 4

TIPOLOGIA DELLA FALDA : FONDO SCAVO IMPERMEABILE

DATI GEOTECNICI INPUT

Livello Nr	Prof_da (m)	Prof_a (m)	Gammat (KN/m3)	Gamma1 (KN/m3)	Fi (°)	Coesione (KPa)
1	9.00	5.00	19.00	19.00	30.00	0.00
2	5.00	-20.00	21.00	11.00	35.00	0.00

Livello Nr	Ka	Kp Nominale	Kp Calcolo	Kac	Kpc	Ak (KN/m3)	Bk (KN/m2)	Expo
1	0.415	4.977	4.977	0.00	0.00	005726.53	013984.85	0.50
2	0.322	7.357	7.357	0.00	0.00	014246.80	027968.72	0.50

FATTORE RIDUTTIVO GAMMA Sfavorevole : 1  
 FATTORE RIDUTTIVO GAMMA Favorevole : 1  
 FATTORE RIDUTTIVO Resistenza o Kp : 1  
 MODELLO DELLE SPINTE ATTIVE : Mueller-Breslau  
 MODELLO DELLE SPINTE PASSIVE: Mueller-Breslau

-----

I dati strutturali del diaframma in c.c.a, spessore 60 cm, sono i seguenti:

-----

QUOTA DEL PIANO CAMPAGNA : 9 m  
 QUOTA FINALE DELLO SCAVO : 0 m  
 QUOTA INIZIALE DELLA FALDA : 4 m  
 QUOTA FINALE DELLA FALDA : -.5 m  
 TIPOLOGIA STRUTTURALE : DIAFRAMMA  
 NR. SOSTEGNI IN OPERA : 1  
 TIPO CALCOLO : PROGETTO - Metodo della trave equivalente

Fase Nr	Stratigr. Nr.	Scavo (m)	Vincoli Nr.
1	0	5.00	0
3	2	0.00	1

Tirante Nr	Quota (m)	Scavo (m)	Falda Monte (m)	Falda Valle (m)	Tipo
1	5.50	5.00	4.00	4.00	APPOGGIO

-----

INERZIA DELLA SEZIONE : .018 m<sup>4</sup>/m<sup>1</sup>  
 MODULO ELASTICO MATERIALE : 30 GPa  
 RIGIDEZZA EJ : 540 MN\*m<sup>2</sup>/m<sup>1</sup>

-----

## B-1 – VERIFICA DEI COEFFICIENTI DI SPINTA ATTIVA E PASSIVA

I valori di  $k_a$  calcolati dal Programma sono paragonati ai valori secondo l'analisi di Mueller-Breslau (1906) ricavati dal testo "Manuale di progettazione geotecnica" (A.S. Rabuffetti, 2011 – DEI Tipografia del Genio Civile – Roma, pag. 151).

I valori di letteratura sono interpolati rispetto ai valori disponibili più vicini.

Suolo	$\phi$	$\delta$	$k_a$ Programma	$k_a$ letteratura
1	30	15	0.415	$0.373 + (0.776 - 0.373) \cdot 1/3 = 0.507$
2	35	17.5	0.322	$0.296 + (0.423 - 0.296) \cdot 1/3 = 0.338$

I valori interpolati scontano la forte non linearità delle relazioni costitutive per  $k_a$ . Per valori non interpolati, dallo stesso testo si ricava un migliore accordo, come segue.

$\phi$	$\delta$	$\alpha$	$\beta$	$k_a$ Programma	$k_a$ letteratura
30°	15°	90°	30°	0.776	0.776
35°	17.5°	90°	30°	0.423	0.423
40°	0°	60°	15°	0.25057	0.251

Analogamente, i valori di  $k_p$  calcolati dal Programma per  $\beta = 0$  vengono paragonati ai corrispondenti valori pubblicati, in ottimo accordo.

Suolo	$\phi$	$\delta$	$k_p$ Programma	$k_p$ letteratura
1	30	15	4.976	4.977
2	35	17.5	7.357	7.357

## B-2 – VERIFICA DEI PARAMETRI MOLLE DEL TERRENO

Le formule utilizzate (Bowles, 1982), considerando  $\delta = 25$  mm sono le seguenti:

$$\begin{aligned}
 k_s &= q / \delta = 1 / 0.025 * (\frac{1}{2} \gamma' B N_\gamma + C N_c + Q N_q) \\
 &= 1 / 0.025 * (\frac{1}{2} \gamma' B N_\gamma + C N_c) + 1 / 0.025 * \sigma_v * N_q \\
 &= 1 / 0.025 * (\frac{1}{2} \gamma' B N_\gamma + C N_c) + 1 / 0.025 * \gamma * N_q * z \\
 &= Ak + Bk * z
 \end{aligned}$$

Nella seguente tabella sono ricalcolati i valori riportati dal programma per le molle del terreno e per una profondità nominale di 1.00 m (tale valore è quello riscontrabile nella schermata di dettaglio di input geotecnica).

Liv.	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	$N_\gamma / N_q$	$Ak + Bk$ (KN/m)
1	19	30	15.07 / 18.40	$(\frac{1}{2} \cdot 19 \cdot 15.07 + 19 \cdot 18.40) / 0.025 = 5726.7 + 13980$
2	21	35	33.92 / 33.30	$(\frac{1}{2} \cdot 21 \cdot 33.92 + 21 \cdot 33.30) / 0.025 = 14246.4 + 27972$

Il più che soddisfacente accordo tra i valori calcolati manualmente come sopra e quelli forniti dal Programma è dimostrato dalla seguente tabella di paragone.

Liv.	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	$Ak + Bk$ (Programma) (KN/m)	$Ak + Bk$ (c.s.) (KN/m)
1	19	30	5726.53 + 13984.85	5726.7 + 13980
2	21	35	14246.8 + 27968.72	14246.4 + 27972

## B-3 – VERIFICA DELLA SOMMATORIA DELLE SPINTE

Nella seguente figura 3.1 sono svolte tutte le calcolazioni per la determinazione del diagramma delle spinte attive, in termini di sforzi totali (sforzi efficaci + spinte neutre) gravanti sulla paratia.

La sommatoria di tutti i valori diagrammati (integrale delle spinte), a partire dalla sommità fino alla cerniera nel terreno, è pari a 384.21 KN.

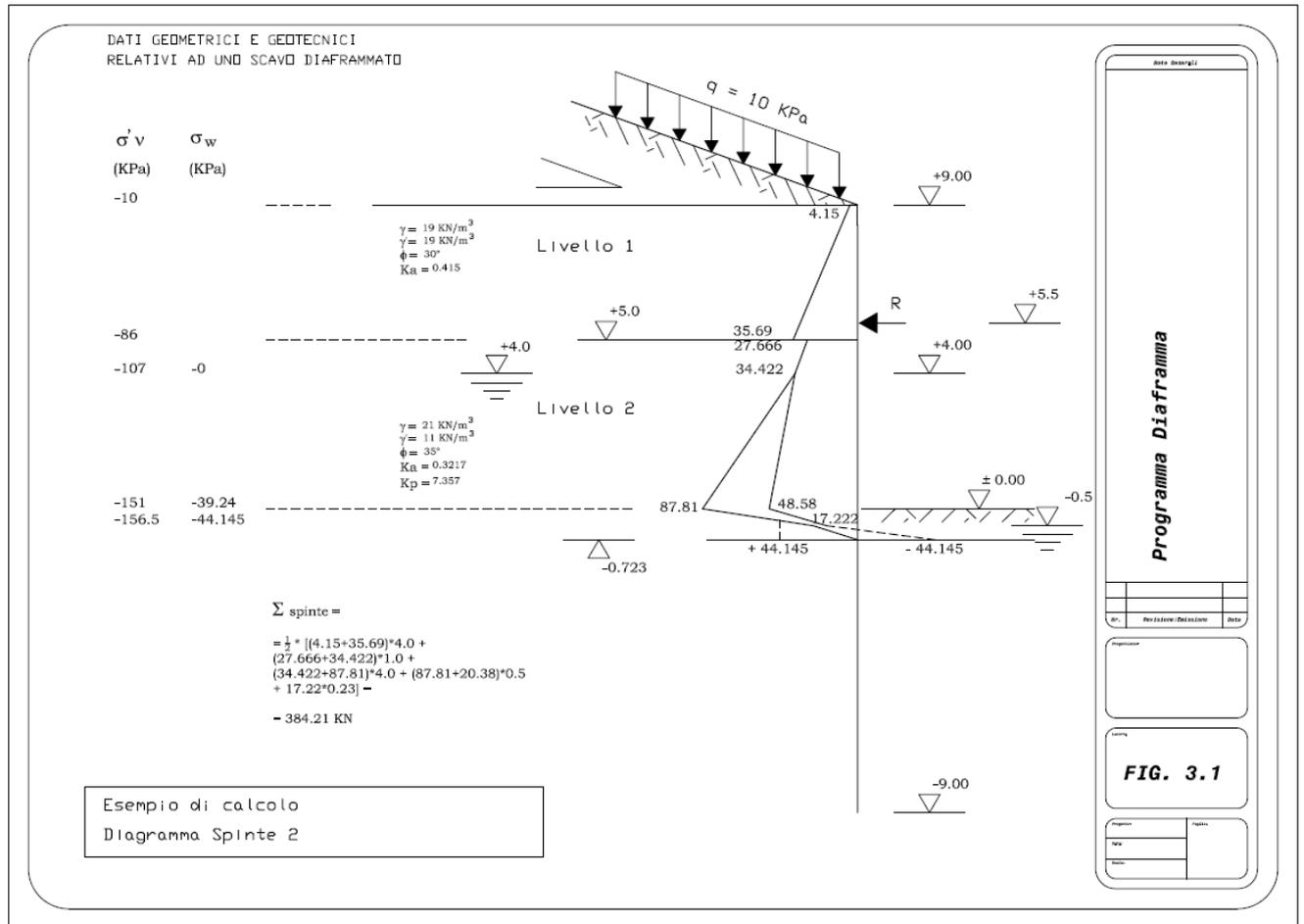


Fig. 3.1

Ponendo tutti i coefficienti parziali pari all'unità, per la stessa altezza di scavo di 9.00 m relativamente al piano campagna si ricava una sommatoria delle spinte pari a 383.27 (Fig. 3.2). La tabella viene ottenuta attivando il Menu "Visualizza → Controllo Calcolazioni", dopo aver eseguito l'analisi della paratia in modo Progetto.

L'accordo tra i valori verificati manualmente e quelli calcolati dal Programma è eccellente.

Fig. 3.2 – Modo Progetto. Controllo esecuzione calcolazioni

	Fase Lavoro	Stratigrafia	Fondo Scavo	Somma Spinte	Somma Appoggi	Reazione Cerniera	Reazioni Combinata	Delta
	(Nr)	(Nr)	(m)	(KN/m)	(KN/m)	(KN/m)	(KN/m)	(KN/m)
▶	1	1	4	-81.99	.00	81.99	81.99	.00
*	3	2	9	-383.27	216.15	167.13	383.27	.00

#### B-4 – VERIFICA DELL'ALGORITMO RISOLVENTE DEL SISTEMA AGLI ELEMENTI FINITI (F.E.M.)

Il diagramma delle spinte è definito come mostrato in Fig. 4.1 e viene riproposto all'interno di un normale algoritmo strutturale agli elementi finiti utilizzando elementi tipo "beam". Il diagramma di spinte è applicato ad una trave di larghezza 1.00 m e spessore 60 cm in calcestruzzo avente le stesse caratteristiche elastiche della paratia ( $E_{CLS} = 30\,000\text{ MPa}$ ). Il solutore FEM utilizzato è quello del Programma Nòlian R 26 della Softing SRL di Roma.

Il risultato in termini di paragone tra le azioni flettenti e i contrasti calcolati di solutore FEM e dal Programma è riferito nella seguente tabella.

Quota	Mf		Reazione	
	Solutore (KN*m)	Progr. (KN*m)	Solutore (KN)	Progr. (KN)
+ 5.50	81.764		215.90	215.25
~ + 1.75	236.38	233.18		
- 0.72			167.46	168.02

Il segno di approssimazione per la quota + 1.75 dipende dal fatto che il solutore indipendente adotta ascisse lungo l'asta a passo differente rispetto al Programma, e non sempre specificate. E' plausibile che il Programma, nell'intervallo  $\Delta = +1.75 / +2.04$  abbia localmente un massimo di valore più vicino a quello del solutore indipendente.

Le contenute differenze nei risultati sono da attribuire verosimilmente all'input solo approssimato dei valori di spinta nel modello FEM, mentre il Programma esegue tutti i calcoli in doppia precisione.

Nelle seguenti figure sono paragonati i diagrammi continui, in funzione della profondità, delle azioni flettenti e taglianti ricavate con il solutore FEM e con il Programma.

Le azioni taglianti al di sotto del punto di cerniera nel terreno, nel modello della trave equivalente ICOS, non sono considerate significative.

Le azioni flettenti sono calcolate mediante semplici addizioni di spinte sotto il fondo scavo (vedere anche A. S. Rabuffetti: “Manuale di progettazione geotecnica” 2011 – Edizioni del Genio Civile - DEI – Roma – pagg. 197 e segg.).

Nelle seguenti figure sono graficati i passi principali del paragone tra i risultati del solutore del Programma e del solutore indipendente FEM, nel seguente ordine:

- 4.1 - Paragone diagrammi di spinta
- 4.2 - Paragone azioni flettenti calcolate
- 4.3 - Paragone azioni taglianti calcolate

I diagrammi continui mostrano un’evidente analogia che conferma l’accordo numerico puntuale già riscontrato come sopra.

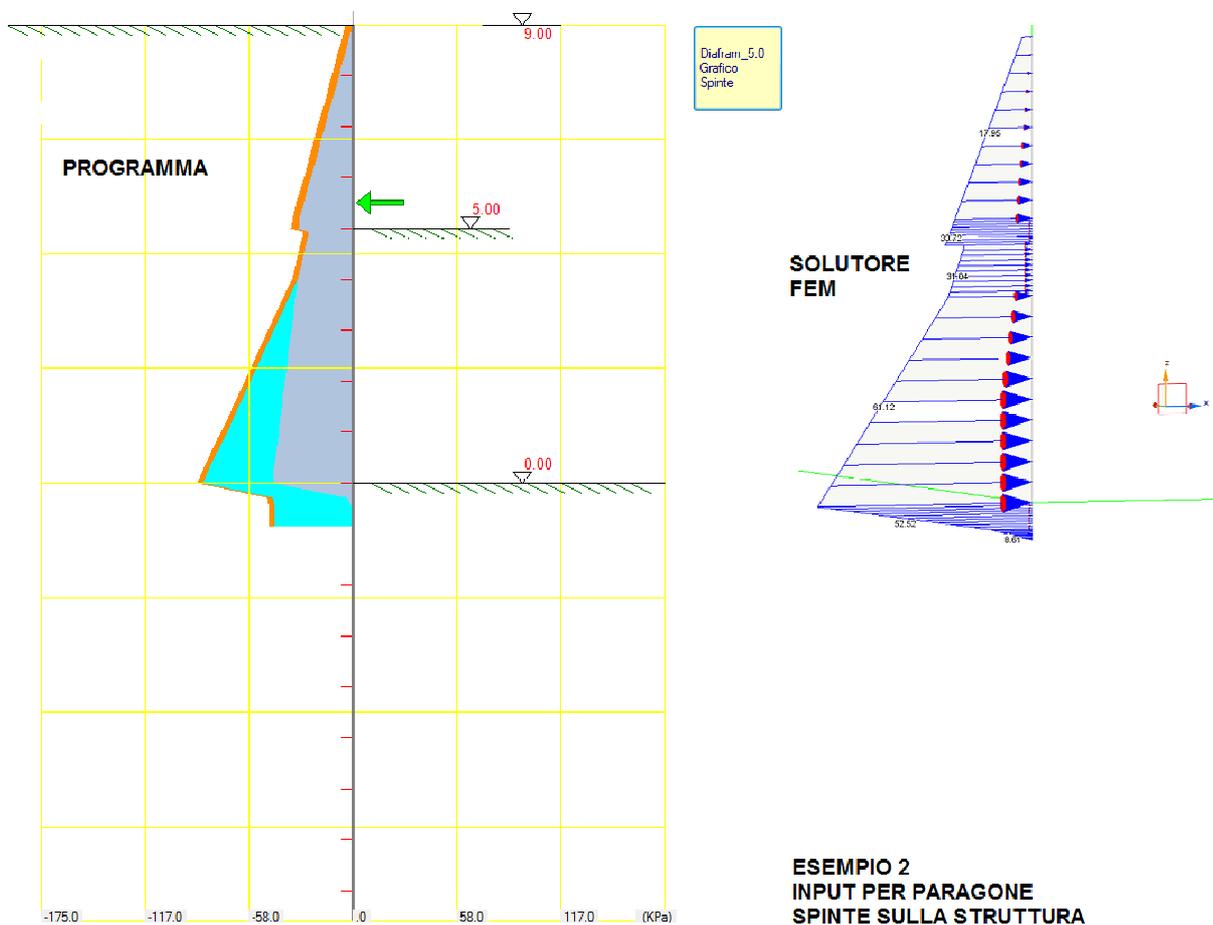
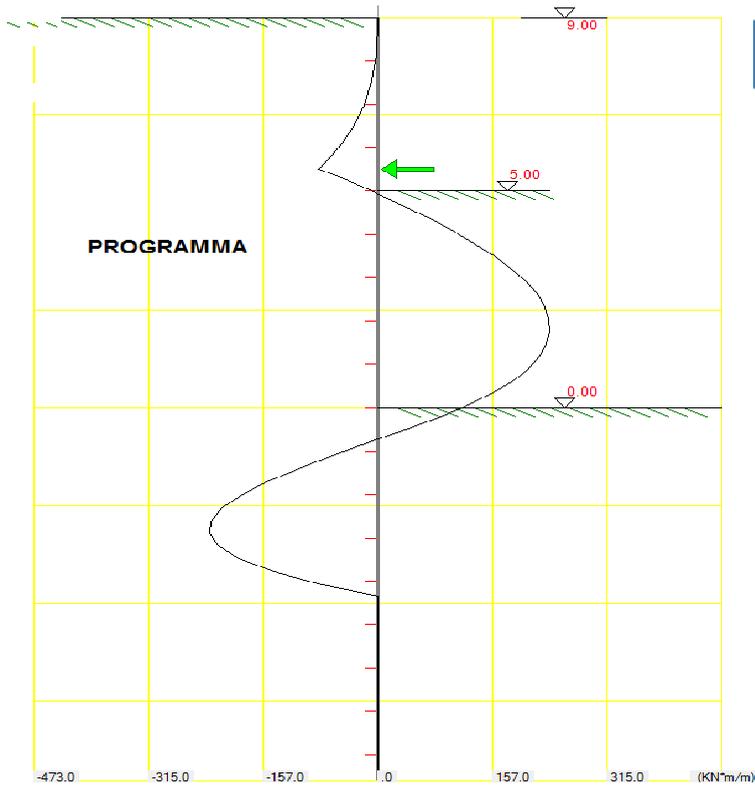
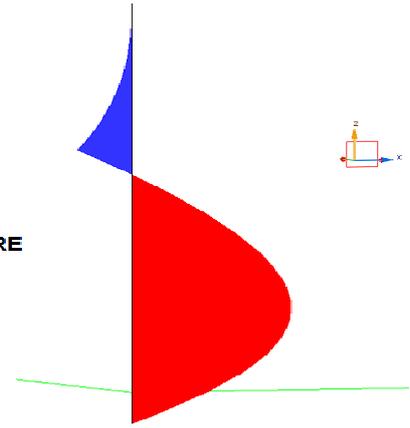


Fig. 4.1



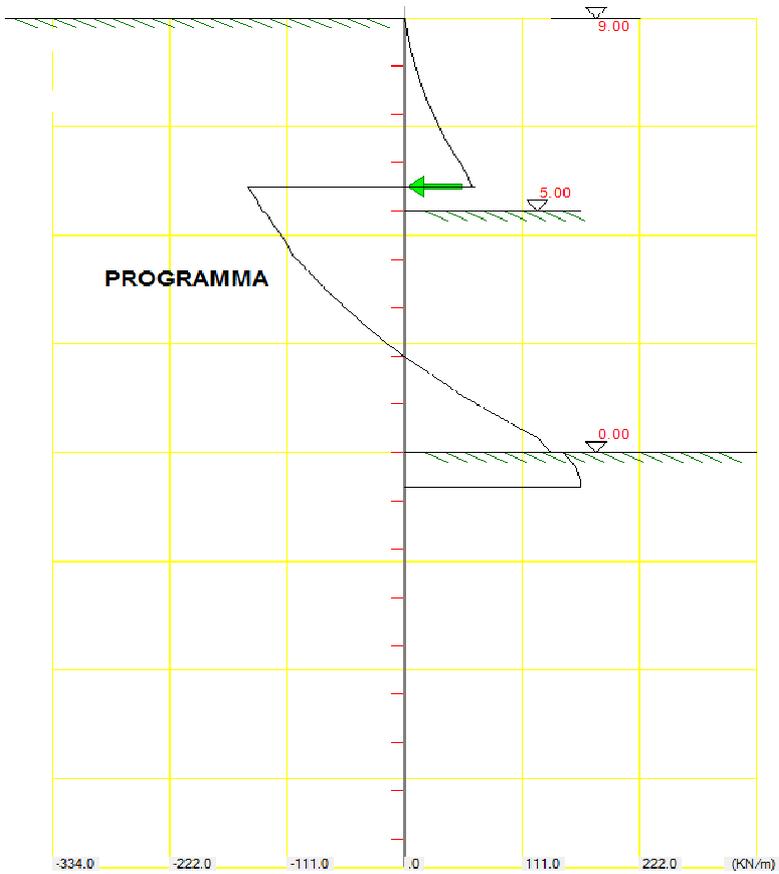
Diagram\_5.0  
Grafico  
Azioni

SOLUTORE  
FEM



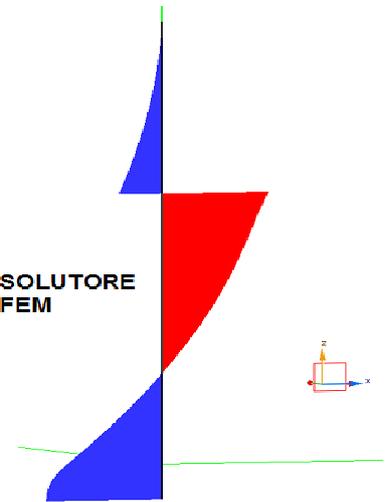
ESEMPIO 2  
PARAGONE CALCOLO  
AZIONE INTERNA FLETTENTE

Fig. 4.2



Diagram\_5.0  
Grafico  
Tagli

SOLUTORE  
FEM



ESEMPIO 2  
PARAGONE CALCOLO  
AZIONE INTERNA DI TAGLIO

Fig. 4.3

# ESEMPIO C

## C-0 – CONDIZIONI DELLE VERIFICHE

Si vuole verificare il benchmark costituito dalla paratia pubblicata in “Foundation analysis and design” (J. E. Bowles, 1997 – Mc Graw-Hill International, pagg. 747 e segg.). Si tratta di una palancola metallica ad un ordine di tiranti, verificata agli elementi finiti con molle elastoplastiche e in modo non incrementale.

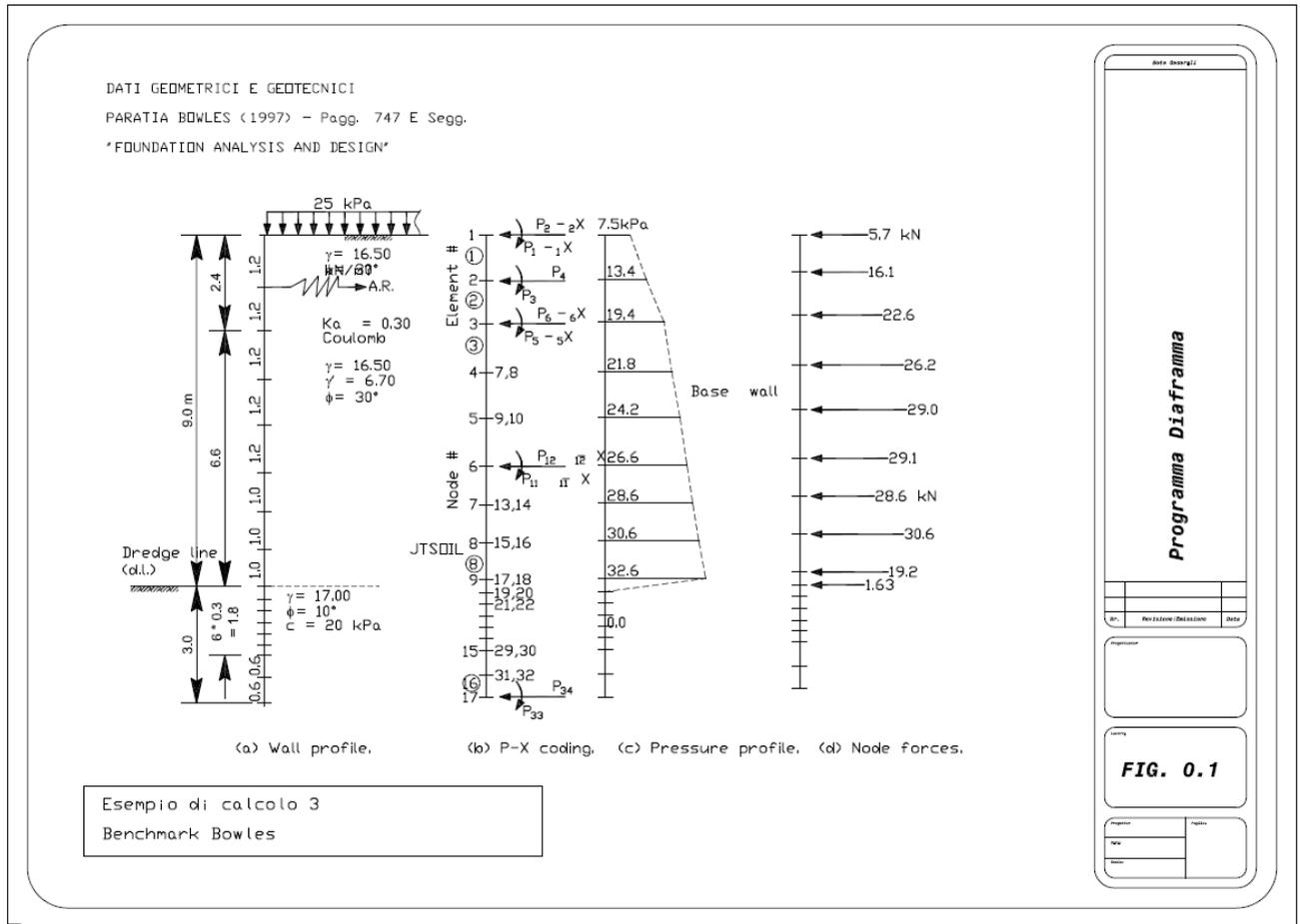


Fig. 01

La stratigrafia del problema, la falda e i dati geotecnici di stratigrafia sono assunti coerentemente con il testo (Fig. 0 - 1) selezionando in “Impostazioni” le opzioni a menu “Altri valori” per  $k_a$ ,  $k_p$ ,  $k_s$ , procedendo all’input manuale come segue:

-----  
QUOTA DEL PIANO CAMPAGNA : 2.4  
QUOTA INIZIALE DELLA FALDA : 0

TIPOLOGIA DELLA FALDA : FONDO SCAVO IMPERMEABILE

DATI GEOTECNICI INPUT

Livello Nr	Prof_da (m)	Prof_a (m)	Gammal (KN/m3)	Gamma1 (KN/m3)	Fi (°)	Coesione (KPa)
1	02.40	-06.60	16.50	06.70	30.00	0.00
2	-06.60	-20.00	17.00	07.20	10.00	20.00

Livello Nr	Ka	Kp Nominale	Kp Calcolo	Kac	Kpc	Ak (KN/m3)	Bk (KN/m2)	Expo
1	0.301	04.977	03.318	0.00	0.00	002019.36	004931.50	1.00
2	0.662	01.569	01.046	1.80	3.30	007000.00	001000.00	1.00

FATTORE RIDUTTIVO GAMMA sfavorevole : 1  
FATTORE RIDUTTIVO GAMMA Favorevole : 1  
MODELLO DELLE SPINTE ATTIVE : Altro - Input Diretto  
MODELLO DELLE SPINTE PASSIVE : Altro - Input Diretto  
COSTANTI DI MOLLA DEL SUOLO : Bowles

I dati statici e di geometria della palancola e del tirante, modellati semplicemente in termini di  $E_s$ , Area e J, sono i seguenti:

-----  
QUOTA DEL PIANO CAMPAGNA : 2.4 m  
QUOTA FINALE DELLO SCAVO : -6.6 m  
QUOTA INIZIALE DELLA FALDA : 0 m  
QUOTA FINALE DELLA FALDA : 0 m  
TIPOLOGIA STRUTTURALE : PALANCOLATO  
NR. SOSTEGNI IN OPERA : 1  
TIPO CALCOLO : VERIFICA AGLI ELEMENTI FINITI  
FASI DI LAVORO : NON INCREMENTALI  
QUOTA BASE DELLA PARATIA : -9.6 m

DATI STRUTTURALI INPUT

Fase Nr	Stratigr. Nr.	Scavo (m)	Falda Monte (m)	Falda valle (m)	vincoli Nr.	Ultimo Sostegno
01	01	000.70	000.00	000.00	0	
02	01	000.70	000.00	000.00	1	TIRANTE
03	02	-006.60	000.00	000.00	1	TIRANTE

Tirante Nr	Quota (m)	Spaz. (m)	Incl. (°)	Lungh. (m)	Area (cm2)	EYoung (GPa)	KTIR. (MN/m)	PreCo (KN)
01	001.20	1.83	00.0	10.83	23.76	200.00	023.98	0.0

INERZIA DELLA SEZIONE : .0004934 m<sup>4</sup>/m  
MODULO ELASTICO MATERIALE : 200 GPa  
RIGIDENZA EJ : 98.67999 MN<sup>2</sup>m<sup>2</sup>/m

-----  
DIAFRAM 5.0 - 2011 - Studio Terrain - Milano  
Esempio Bowles 1997

DATI DI CARICO INPUT

CARICO UNIFORME A MONTE = 25 (KPa)  
Presente a fondo scavo = .7, .7, -6.6, m

## C-1 – PARAGONE TRA I RISULTATI DEI DUE ALGORITMI F.E.M.

Nella seguente Fig. 1 – 1 sono riportati i valori pubblicati sul testo di Bowles “Foundation Analysis and Design”, risultanti dal calcolo con il metodo FEM proprietario.

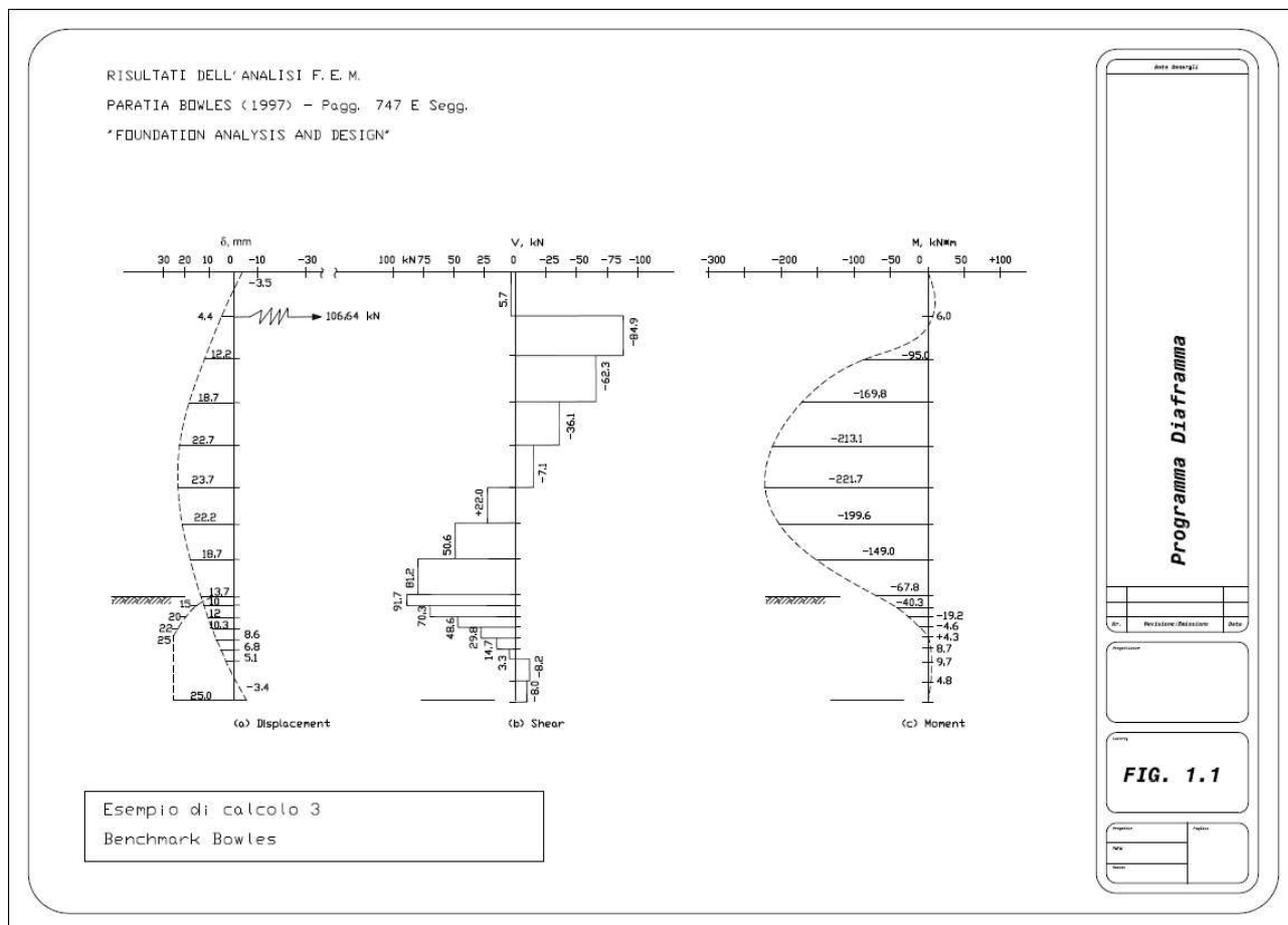


Fig. 1.1

Nelle Figg. 1 – 2 e 1 – 3 sono sintetizzati i risultati della verifica non incrementale effettuata dal Programma in termini di spinte, spostamenti calcolati, azione flettente e tagliante.

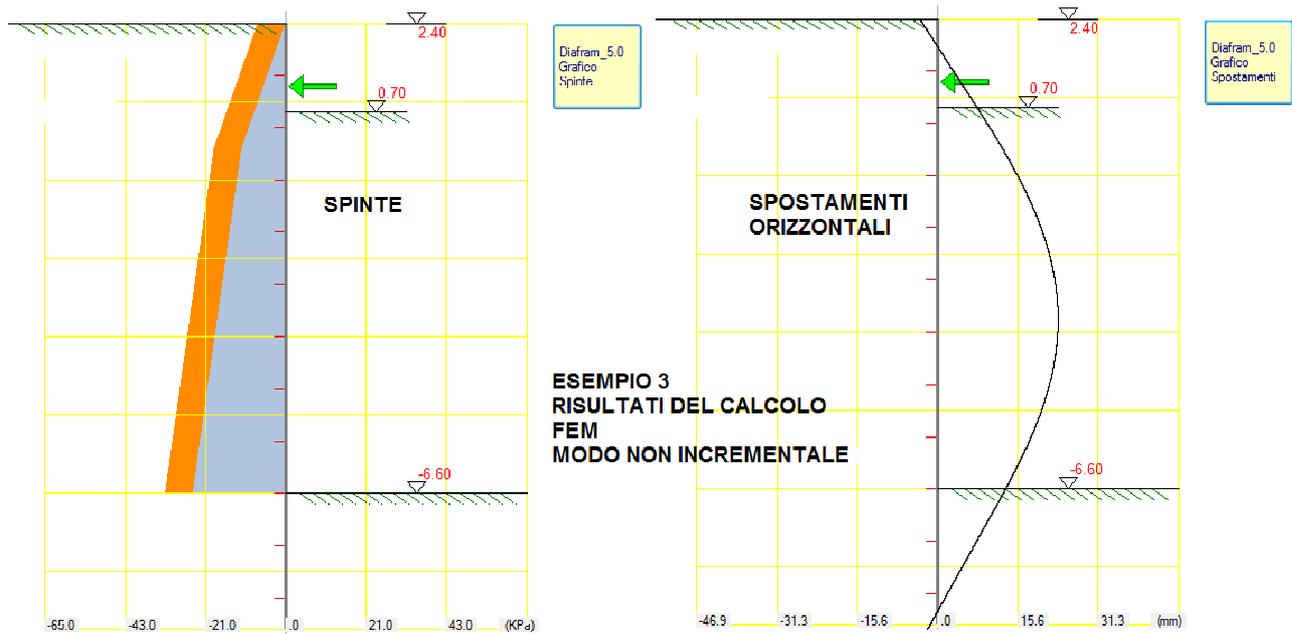


Fig. 1.2

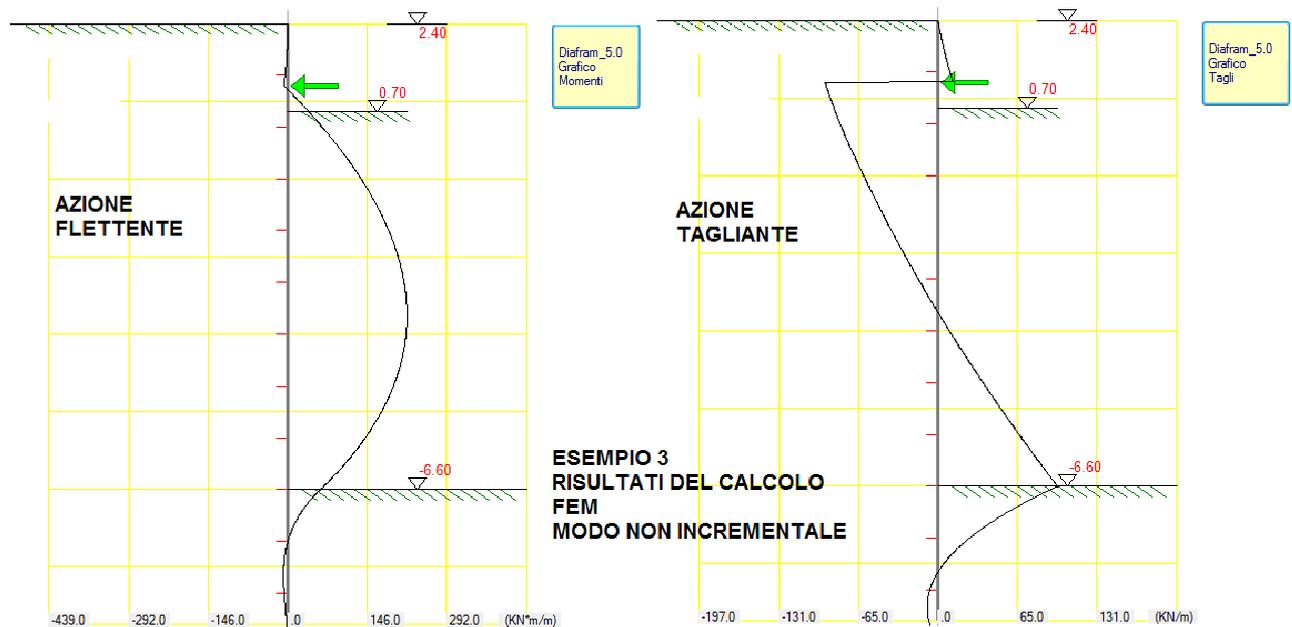


Fig. 1.3

L'evidenza dei profili dei diagrammi corrispondenti mostra una sostanziale coincidenza per quanto riguarda spinte e azioni flettenti. L'azione tagliante è determinata da Bowles in maniera approssimata in quanto la discretizzazione è grossolana.

Il paragone dei dati salienti delle risultanti dalle verifiche delle due paratie è riferito nella seguente Tabella, nella quale si è assunta la quota di sommità comune + 2.40.

Quota	Spostamento		Momento		Reaz. Tirante	
	Bowles (mm)	Progr. (mm)	Bowles (KN*m)	Progr. (KN*m)	Bowles (KN)	Progr. (KN)
+ 2.40	3.49	3.48				
+ 1.20			6.82	6.86	106.64	106.01
-3.60	23.75	23.42	221.7	217.9		
-6.60	13.7	13.21	67.8	60.25		
-9.6	-3.4	-3.71				

La discretizzazione grossolana adottata nel testo fa sì che il valore massimo di spostamento si verifichi a quota – 3.60 m (valore = 23.75 mm), contro la quota –3.36 m del Programma (Valore = 23.49 mm).

La brusca variazione di discretizzazione - nel testo - a quota – 6.60 ed il diverso modo di trattare la reazione dei materiali argillosi potrebbe giustificare la discrepanza riscontrata per l'azione flettente.

L'accordo tra i risultati dei due algoritmi si può definire più che soddisfacente.