

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

- DECRETO LEGISLATIVO 18 APRILE 2016 N. 50 -
- Articolo 23 - Commi 7-8 -

1° STRALCIO ESECUTIVO



COMUNE DI OVODDA

- PROVINCIA DI NUORO -

S
T
U
D
I
O
T
E
C
N
I
C
O



R.T.P.

ING. M. M. PIRODDI
GEOL. G. PIRODDI

VIA GARIBALDI N° 7
08044 - JERZU - NU-
Tel. Fax: 0782 71031
E-mail: piroddimg@tiscali.it
PEC: marcomgiorgetto.piroddi@ingpec.eu

C.F. PRDMCM59C14E387Z
P.I. 00769670910

PROGETTO :

INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA VERSANTI STRADALI.
STRADA COMUNALE OVODDA - CUCCHINADORZA
(C/O PONTE TALORO)

ALLEGATO



Calcolo Rotolamento Massi alla Sez. 3 con Lancio
B Ante e Post (determinazione max. en. cinetica)

DATA

Novembre 2020

COMMITTENTE

Amministrazione Comunale

PROGETTISTA

Capogruppo RTP:
Dr. Ing. Marco Mario Piroddi

GEOROCK

SEZ. 3B ANTE

Traiettorie di blocchi in caduta lungo una scarpata

Il moto di caduta di un blocco lungo una scarpata rocciosa dipende da numerosi fattori che non è facile esprimere numericamente.

Le traiettorie dei blocchi dipendono dalla geometria della scarpata, dalla forma del blocco in caduta e dalla sua velocità iniziale al momento del distacco dal pendio, ed inoltre dall'entità dell'energia dissipata per effetto degli urti durante la caduta.

I blocchi in caduta possono, infatti, scivolare, rotolare o rimbalzare a valle a seconda della loro forma, appiattita o arrotondata, e della inclinazione del pendio.

L'energia dissipata per effetto degli urti è in genere diversa al variare delle caratteristiche del moto e dipende dalle caratteristiche meccaniche del blocco e dai materiali presenti lungo la scarpata (*roccia, terreno, vegetazione*) che si oppongono in misura differente al moto dei blocchi.

Nella realtà, tuttavia, è praticamente impossibile determinare puntualmente il profilo di un pendio ed individuare la forma dei diversi blocchi che potrebbero distaccarsi.

Inoltre la geometria del pendio e la natura dei materiali affioranti subiscono nel tempo modifiche, anche sensibili, per effetto, dell'alterazione della roccia, per l'accumulo di detriti nelle zone meno acclivi e per lo sviluppo della vegetazione.

Infine, diviene praticamente impossibile modellare il moto di caduta dei blocchi nei casi in cui questi si frantumino per effetto degli urti, né è possibile individuare le zone dei pendii in cui si verifica la frantumazione.

Per l'analisi delle traiettorie di caduta è necessario fare riferimento a modelli molto semplificati: la progettazione geotecnica degli interventi di protezione deve essere, perciò, sviluppata sulla base di un'ampia sperimentazione numerica, che consenta di indagare sui diversi aspetti del fenomeno e riconoscere i fattori principali che influenzano il moto di caduta nella particolare situazione in esame.

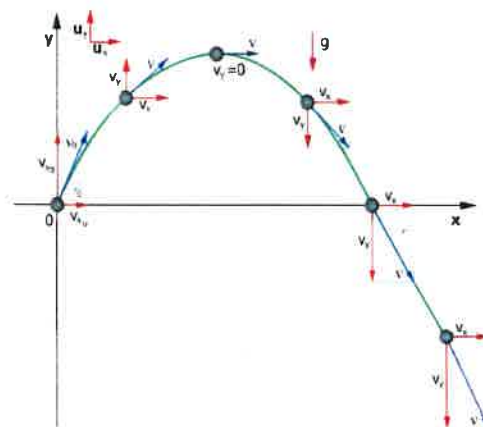
Nei casi più complessi potrà essere opportuno tarare il modello sulla base di un'analisi di traiettorie rilevate con cinematografia in sito in seguito, al crollo dei blocchi.

Metodo di calcolo Lumped mass

Le ipotesi del modello *Lumped mass* sono:

- 1) schema piano, profilo del pendio assimilabile ad una spezzata costituita da segmenti rettilinei;
- 2) blocco puntiforme e resistenza dell'aria trascurabile.

In tal caso la traiettoria del blocco può essere determinata utilizzando le equazioni del moto di un grave;



Rappresentazione della traiettoria

con riferimento ad un sistema di assi cartesiani ortogonali tali equazioni sono:

in cui R_n ed R_t sono detti coefficienti di restituzione variabili nell'intervallo $0-1$.

Metodo di calcolo CRSP

Il modello detto *CRSP* (*Colorado Rockfall Simulation Program*) è stato messo a punto da *Pfeiffer e Bowen* (1989) con lo scopo di modellare il moto di caduta di blocchi aventi la forma di sfere, cilindri o dischi, con sezione circolare nel piano verticale del movimento.

Per descrivere il movimento dei blocchi il modello *CRSP* applica l'equazione del moto parabolico di un corpo in caduta libera ed il principio di conservazione dell'energia totale.

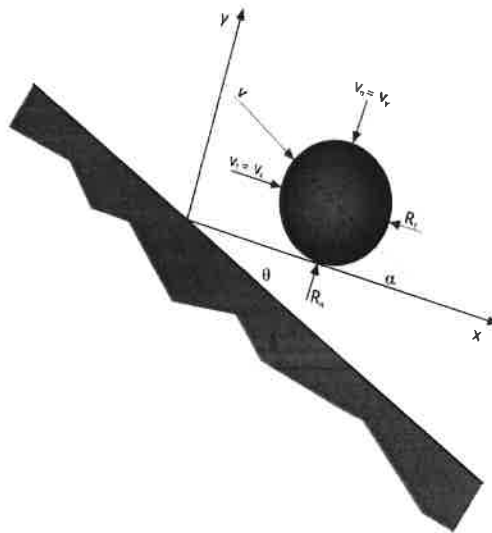
Il fenomeno dell'impatto viene modellato utilizzando come ulteriori parametri, rispetto al metodo *Lumped mass*, la rugosità del pendio e la dimensione dei blocchi.

In particolare il modello *CRSP* assume che l'angolo formato tra la direzione del blocco ed il profilo del pendio vari secondo una statistica che deve essere definita per ogni caso analizzato. Il modello tratta quindi in modo statistico anche i risultati che principalmente constano nelle velocità e nelle altezze di rimbalzo, rispetto alla superficie del pendio, durante il percorso di caduta. Il modello considera quindi le combinazioni dei movimenti di caduta libera, di rimbalzo, di rotolamento e di scivolamento, che possono variare a seconda delle dimensioni dei blocchi e della rugosità del pendio.

L'affidabilità del modello è stata verificata attraverso confronti tra i risultati numerici e quelli ottenuti da prove in sito.

La descrizione del moto di caduta libera inizia da un punto nel quale, è nota la velocità iniziale scomposta nelle sue componenti orizzontali e verticali. Il blocco è soggetto al movimento di caduta libera fino a quando non collide con la superficie del pendio.

Dall'intersezione vengono ricavate le coordinate del punto di impatto. Il vettore della velocità di pre-impatto V , forma un angolo α con il pendio.



Rappresentazione della fase di impatto: a) l'angolo di impatto è definito come funzione della traiettoria del blocco; q) inclinazione del pendio; f) variazione del pendio in funzione della rugosità locale del pendio

Ad ogni impatto l'inclinazione del pendio f è fatta variare casualmente in un campo di valori compreso tra 0 e θ_{max} . il valore di θ_{max} dipende dalla rugosità del pendio e dalla dimensione del blocco e viene determinato da misure in sito.

Detto R il raggio del blocco in esame si ha:

$$\tan\theta_{max} = \frac{S_{max}}{R}$$

Ad ogni impatto l'inclinazione del pendio viene fatta variare casualmente in un campo di valori compreso tra 0 ed un valore funzione della rugosità del pendio e dalla dimensione del blocco.

che assume che i blocchi abbandonino il contatto con il pendio ruotando, indipendentemente dalla velocità angolare precedente.

Dalla (1) si ottiene V_{t2} , mentre la velocità normale post-collisione viene ricavata dalla seguente espressione empirica:

$$V_{n2} = V_{n1} \cdot \frac{R_n}{\left[1 + \left(\frac{V_{n1}}{9}\right)^2\right]}$$

che intende tener conto del fatto, verificato anche sperimentalmente, che il rapporto tra le velocità normali post-impatto e pre-impatto diminuisce con l'aumentare della velocità normale pre-impatto stessa.

CARATTERISTICHE DEL BLOCCO

Forma del blocco	Sferico
Densità	2600.0 Kg/m ³
Elasticità	98066.0 kPa
Velocità iniziale in x	0.25 m/s
Velocità iniziale in y	0.25 m/s
Velocità limite di arresto	0.01 m/s
Diametro	1.65 m

Massa	6115.385 Kg
Peso	6115.385 Kgf
Momento d'inerzia	1664.913 Kgxm ²

Elenco materiali

N	Descrizione	Rn	Rt	Rugosità (m)	Frequenza (m)	Texture
1	Roccia integra	0.9	0.8	0		
2	Roccia alterata	0.7	0.7	0		
3	Sabbia	0.4	0.6	0		
4	Detrito	0.6	0.6	0		
5	Detrito fino	0.32	0.82	0		
6	Detrito vegetato	0.29	0.8	0		
7	Detrito con arbusti	0.3	0.7	0		
8	Terreno o prato	0.31	0.79	0		
9	Superficie pavimentata	0.4	0.9	0		

DATI PENDIO

N	X (m)	Y (m)	Materiale
1	0.0	449.91	Roccia integra
2	6.04	448.21	Roccia integra
3	10.47	445.15	Roccia integra
4	19.91	441.09	Roccia integra
5	28.43	438.81	Roccia integra
6	33.26	436.95	Roccia integra
7	36.53	430.7	Roccia integra
8	42.32	428.38	Roccia integra
9	44.93	424.87	Roccia integra
10	48.36	423.54	Roccia integra
11	58.31	416.26	Roccia integra

Lancio n° 5 Xp=34.67 m Yp=436.03 m

Ni	xi (m)	yi (m)	vx (m/s)	vy (m/s)	t (s)	E (KJ)
1.0	34.843	433.924	4.357	-2.97	0.681	126.67
2.0	37.487	430.317	7.698	3.374	0.607	301.435
3.0	50.528	421.954	12.327	-2.166	1.694	717.683
4.0	65.297	412.317	12.614	-7.949	1.198	1057.098
5.0	81.039	394.758	19.333	4.323	1.248	1733.112

ELABORAZIONI STATISTICHE

Velocità massima	29.508 m/s
Velocità minima	4.283 m/s
Velocità media	16.485 m/s
Scarto quadratico medio	8.14 m/s
Energia massima pre-impatto	2662.363 KJ
Energia media pre-impatto	1025.142 KJ
Scarto quadratico energia	856.155 KJ
Ascissa media di arresto	98.7 m
Ascissa massima raggiunta	125.736 m

% Massi fermati

X (m)	% Massi fermati
83.06	40
93.06	40
103.06	60
113.06	80
123.06	80
133.06	100

GEOROCK

SEZ. 3B POST

Traiettorie di blocchi in caduta lungo una scarpata

Il moto di caduta di un blocco lungo una scarpata rocciosa dipende da numerosi fattori che non è facile esprimere numericamente.

Le traiettorie dei blocchi dipendono dalla geometria della scarpata, dalla forma del blocco in caduta e dalla sua velocità iniziale al momento del distacco dal pendio, ed inoltre dall'entità dell'energia dissipata per effetto degli urti durante la caduta.

I blocchi in caduta possono, infatti, scivolare, rotolare o rimbalzare a valle a seconda della loro forma, appiattita o arrotondata, e della inclinazione del pendio.

L'energia dissipata per effetto degli urti è in genere diversa al variare delle caratteristiche del moto e dipende dalle caratteristiche meccaniche del blocco e dai materiali presenti lungo la scarpata (*roccia, terreno, vegetazione*) che si oppongono in misura differente al moto dei blocchi.

Nella realtà, tuttavia, è praticamente impossibile determinare puntualmente il profilo di un pendio ed individuare la forma dei diversi blocchi che potrebbero distaccarsi.

Inoltre la geometria del pendio e la natura dei materiali affioranti subiscono nel tempo modifiche, anche sensibili, per effetto, dell'alterazione della roccia, per l'accumulo di detriti nelle zone meno acclivi e per lo sviluppo della vegetazione.

Infine, diviene praticamente impossibile modellare il moto di caduta dei blocchi nei casi in cui questi si frantumino per effetto degli urti, né è possibile individuare le zone dei pendii in cui si verifica la frantumazione.

Per l'analisi delle traiettorie di caduta è necessario fare riferimento a modelli molto semplificati: la progettazione geotecnica degli interventi di protezione deve essere, perciò, sviluppata sulla base di un'ampia sperimentazione numerica, che consenta di indagare sui diversi aspetti del fenomeno e riconoscere i fattori principali che influenzano il moto di caduta nella particolare situazione in esame.

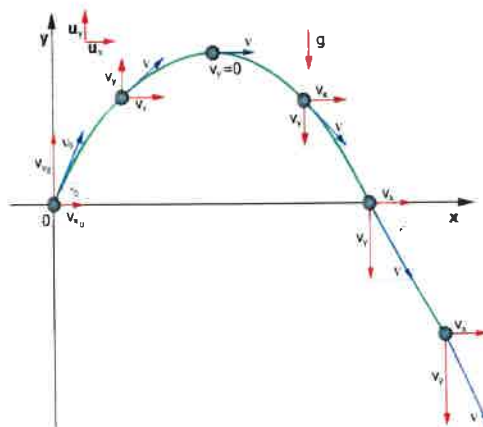
Nei casi più complessi potrà essere opportuno tarare il modello sulla base di un'analisi di traiettorie rilevate con cinematografia in sito in seguito, al crollo dei blocchi.

Metodo di calcolo Lumped mass

Le ipotesi del modello *Lumped mass* sono:

- 1) schema piano, profilo del pendio assimilabile ad una spezzata costituita da segmenti rettilinei;
- 2) blocco puntiforme e resistenza dell'aria trascurabile.

In tal caso la traiettoria del blocco può essere determinata utilizzando le equazioni del moto di un grave;



Rappresentazione della traiettoria

con riferimento ad un sistema di assi cartesiani ortogonali tali equazioni sono:

in cui R_n ed R_t sono detti coefficienti di restituzione variabili nell'intervallo $0-1$.

Metodo di calcolo CRSP

Il modello detto *CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program)* è stato messo a punto da Pfeiffer e Bowen (1989) con lo scopo di modellare il moto di caduta di blocchi aventi la forma di sfere, cilindri o dischi, con sezione circolare nel piano verticale del movimento.

Per descrivere il movimento dei blocchi il modello *CRSP* applica l'equazione del moto parabolico di un corpo in caduta libera ed il principio di conservazione dell'energia totale.

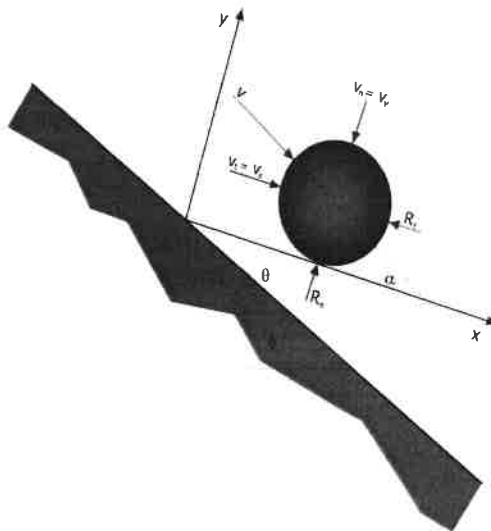
Il fenomeno dell'impatto viene modellato utilizzando come ulteriori parametri, rispetto al metodo *Lumped mass*, la rugosità del pendio e la dimensione dei blocchi.

In particolare il modello *CRSP* assume che l'angolo formato tra la direzione del blocco ed il profilo del pendio vari secondo una statistica che deve essere definita per ogni caso analizzato. Il modello tratta quindi in modo statistico anche i risultati che principalmente constano nelle velocità e nelle altezze di rimbalzo, rispetto alla superficie del pendio, durante il percorso di caduta. Il modello considera quindi le combinazioni dei movimenti di caduta libera, di rimbalzo, di rotolamento e di scivolamento, che possono variare a seconda delle dimensioni dei blocchi e della rugosità del pendio.

L'affidabilità del modello è stata verificata attraverso confronti tra i risultati numerici e quelli ottenuti da prove in sito.

La descrizione del moto di caduta libera inizia da un punto nel quale, è nota la velocità iniziale scomposta nelle sue componenti orizzontali e verticali. Il blocco è soggetto al movimento di caduta libera fino a quando non collide con la superficie del pendio.

Dall'intersezione vengono ricavate le coordinate del punto di impatto. Il vettore della velocità di pre-impatto V , forma un angolo α con il pendio.



Rappresentazione della fase di impatto: a) l'angolo di impatto è definito come funzione della traiettoria del blocco; q) inclinazione del pendio; f) variazione del pendio in funzione della rugosità locale del pendio

Ad ogni impatto l'inclinazione del pendio f è fatta variare casualmente in un campo di valori compreso tra 0 e θ_{max} . il valore di θ_{max} dipende dalla rugosità del pendio e dalla dimensione del blocco e viene determinato da misure in sito.

Detto R il raggio del blocco in esame si ha:

$$\tan \theta_{max} = \frac{S_{max}}{R}$$

Ad ogni impatto l'inclinazione del pendio viene fatta variare casualmente in un campo di valori compreso tra 0 ed un valore funzione della rugosità del pendio e dalla dimensione del blocco.

che assume che i blocchi abbandonino il contatto con il pendio ruotando, indipendentemente dalla velocità angolare precedente.

Dalla (1) si ottiene V_{t2} , mentre la velocità normale post-collisione viene ricavata dalla seguente espressione empirica:

$$V_{n2} = V_{n1} \cdot \frac{R_n}{\left[1 + \left(\frac{V_{n1}}{9}\right)^2\right]}$$

che intende tener conto del fatto, verificato anche sperimentalmente, che il rapporto tra le velocità normali post-impatto e pre-impatto diminuisce con l'aumentare della velocità normale pre-impatto stessa.

CARATTERISTICHE DEL BLOCCO

Forma del blocco	Sferico
Densità	2600.0 Kg/m ³
Elasticità	98066.0 kPa
Velocità iniziale in x	0.25 m/s
Velocità iniziale in y	0.25 m/s
Velocità limite di arresto	0.01 m/s
Diametro	1.65 m

Massa	6115.385 Kg
Peso	6115.385 Kgf
Momento d'inerzia	1664.913 Kgxm ²

Elenco materiali

N	Descrizione	Rn	Rt	Rugosità (m)	Frequenza (m)	Texture
1	Roccia integra	0.9	0.8	0		
2	Roccia alterata	0.7	0.7	0		
3	Sabbia	0.4	0.6	0		
4	Detrito	0.6	0.6	0		
5	Detrito fino	0.32	0.82	0		
6	Detrito vegetato	0.29	0.8	0		
7	Detrito con arbusti	0.3	0.7	0		
8	Terreno o prato	0.31	0.79	0		
9	Superficie pavimentata	0.4	0.9	0		

DATI PENDIO

N	X (m)	Y (m)	Materiale
1	0.0	449.91	Roccia integra
2	6.04	448.21	Roccia integra
3	10.47	445.15	Roccia integra
4	19.91	441.09	Roccia integra
5	28.43	438.81	Roccia integra
6	33.26	436.95	Roccia integra
7	36.53	430.7	Roccia integra
8	42.32	428.38	Roccia integra
9	44.93	424.87	Roccia integra
10	48.36	423.54	Roccia integra
11	58.31	416.26	Roccia integra

Lancio n° 5 Xp=34.67 m Yp=436.03 m

Ni	xi (m)	yi (m)	vx (m/s)	vy (m/s)	t (s)	E (KJ)
1.0	34.843	433.924	4.357	-2.97	0.681	126.668
2.0	37.487	430.317	7.698	3.374	0.607	301.434
3.0	50.528	421.954	12.327	-2.166	1.694	717.678
4.0	65.297	412.317	12.614	-7.949	1.198	1057.092
5.0	81.039	394.758	19.333	4.323	1.248	1733.111

Tipologie definite n°1

Nb°	H(cm)	Spes.	alfa(°)	E(KJ)
1.0	600.0	20.0	80.0	3000.0

Opere di protezione inserite n°1

nb°	Tipo	xb(m)	yb(m)	E(KJ)
1.0	1.0	110.0	374.5	3000.0

Energia sulle barriere paramassi: Traiettoria n°1

n°	Xb(m)	Yb(m)	Hp[m]	V[m/s]	E[KJ]
1.0	110.0	374.5	0.0	0.0	0.0

Energia sulle barriere paramassi: Traiettoria n°2

n°	Xb(m)	Yb(m)	Hp[m]	V[m/s]	E[KJ]
1.0	110.0	374.5	0.654	25.98	2063.771

Energia sulle barriere paramassi: Traiettoria n°3

n°	Xb(m)	Yb(m)	Hp[m]	V[m/s]	E[KJ]
1.0	110.0	374.5	0.0	0.0	0.0

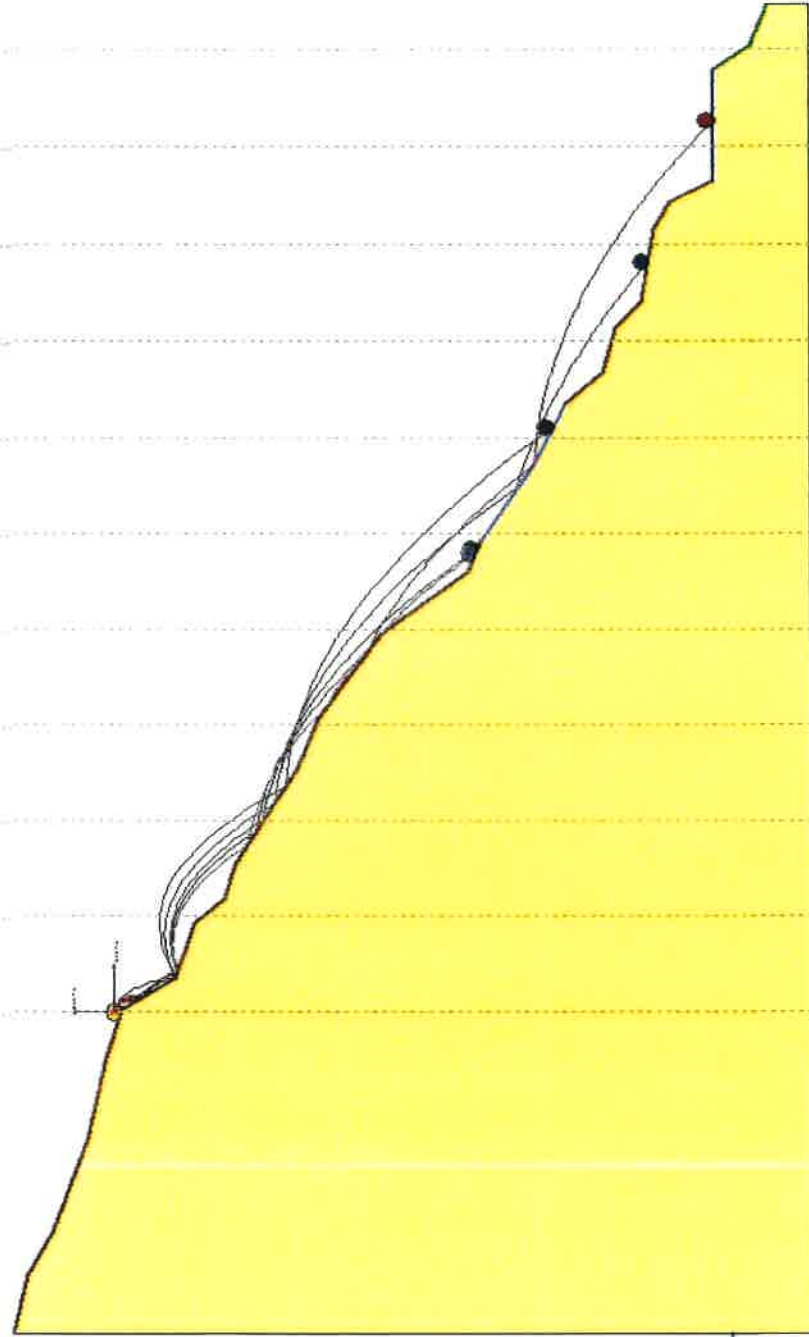
Energia sulle barriere paramassi: Traiettoria n°4

n°	Xb(m)	Yb(m)	Hp[m]	V[m/s]	E[KJ]
1.0	110.0	374.5	5.469	22.022	1482.85

Energia sulle barriere paramassi: Traiettoria n°5

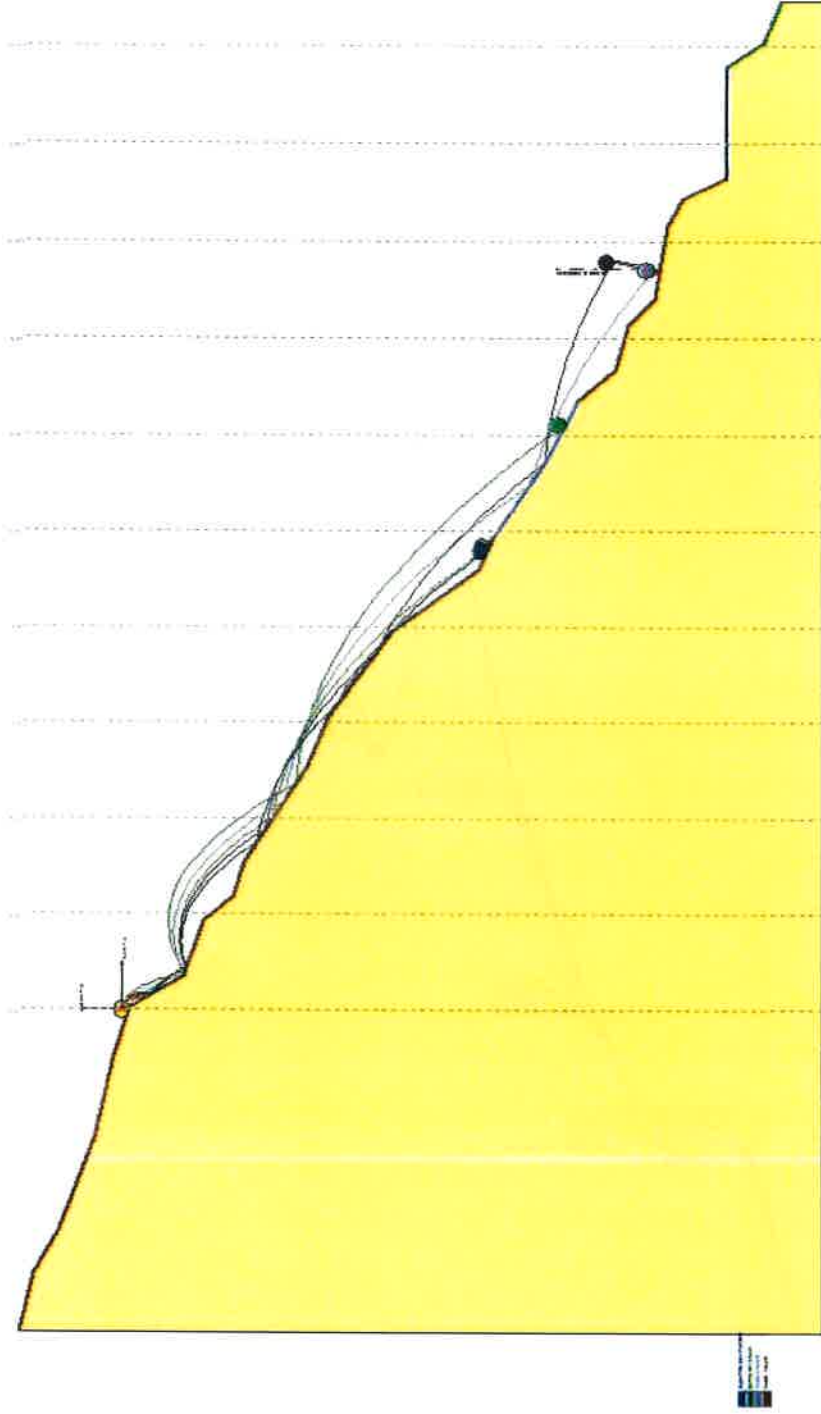
Indice

1.CARATTERISTICHE DEL BLOCCO	5
2.Elenco materiali	5
3.DATI PENDIO	5
4.Lancio n° 1	6
5.Lancio n° 2	6
6.Lancio n° 3	6
7.Lancio n° 4	6
8.Lancio n° 5	7
9.ELABORAZIONI STATISTICHE	8
Indice	9



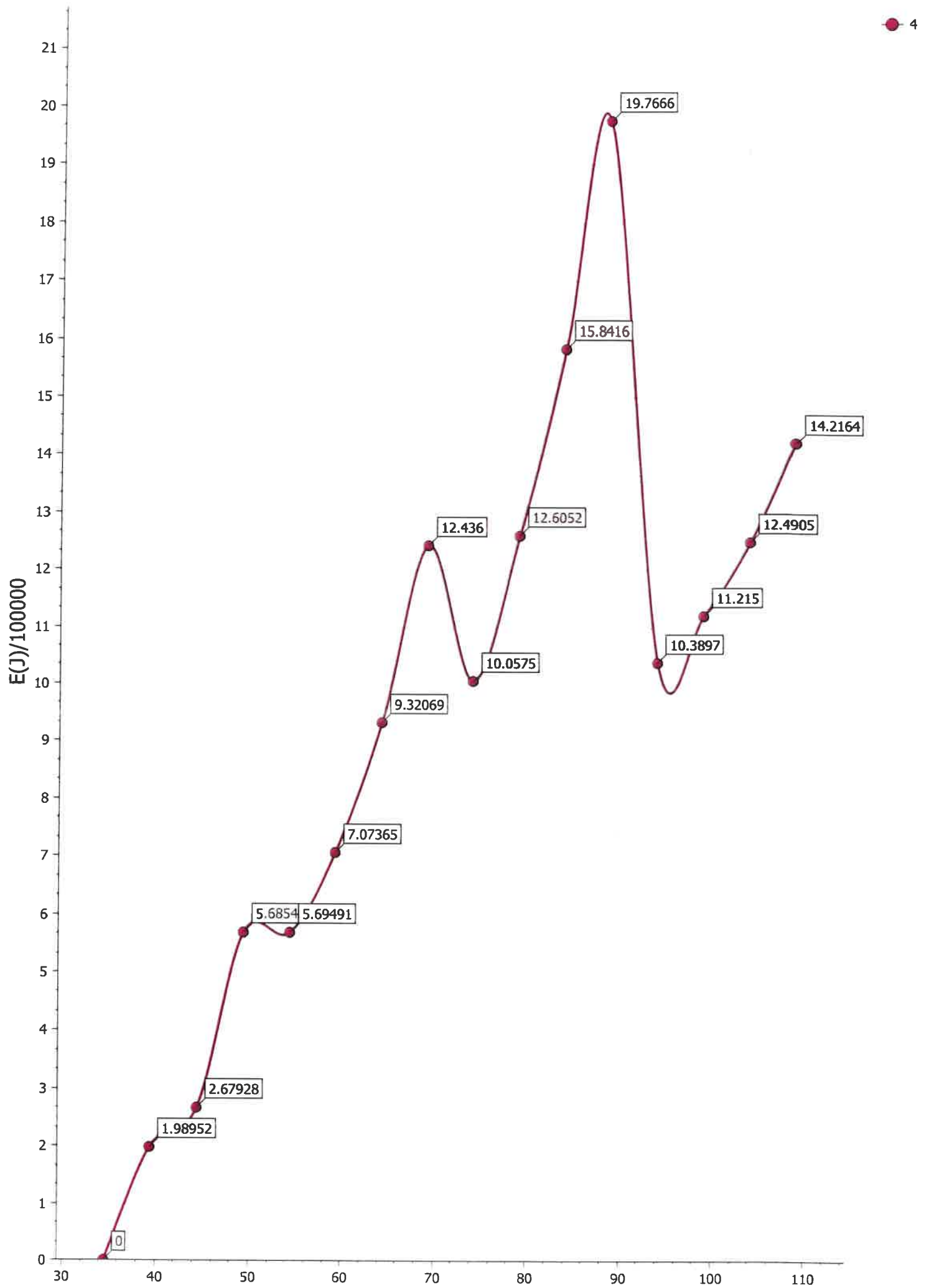
SEZ 3 B 1/750 ≈

1:1000
1:2000
1:5000
1:10000

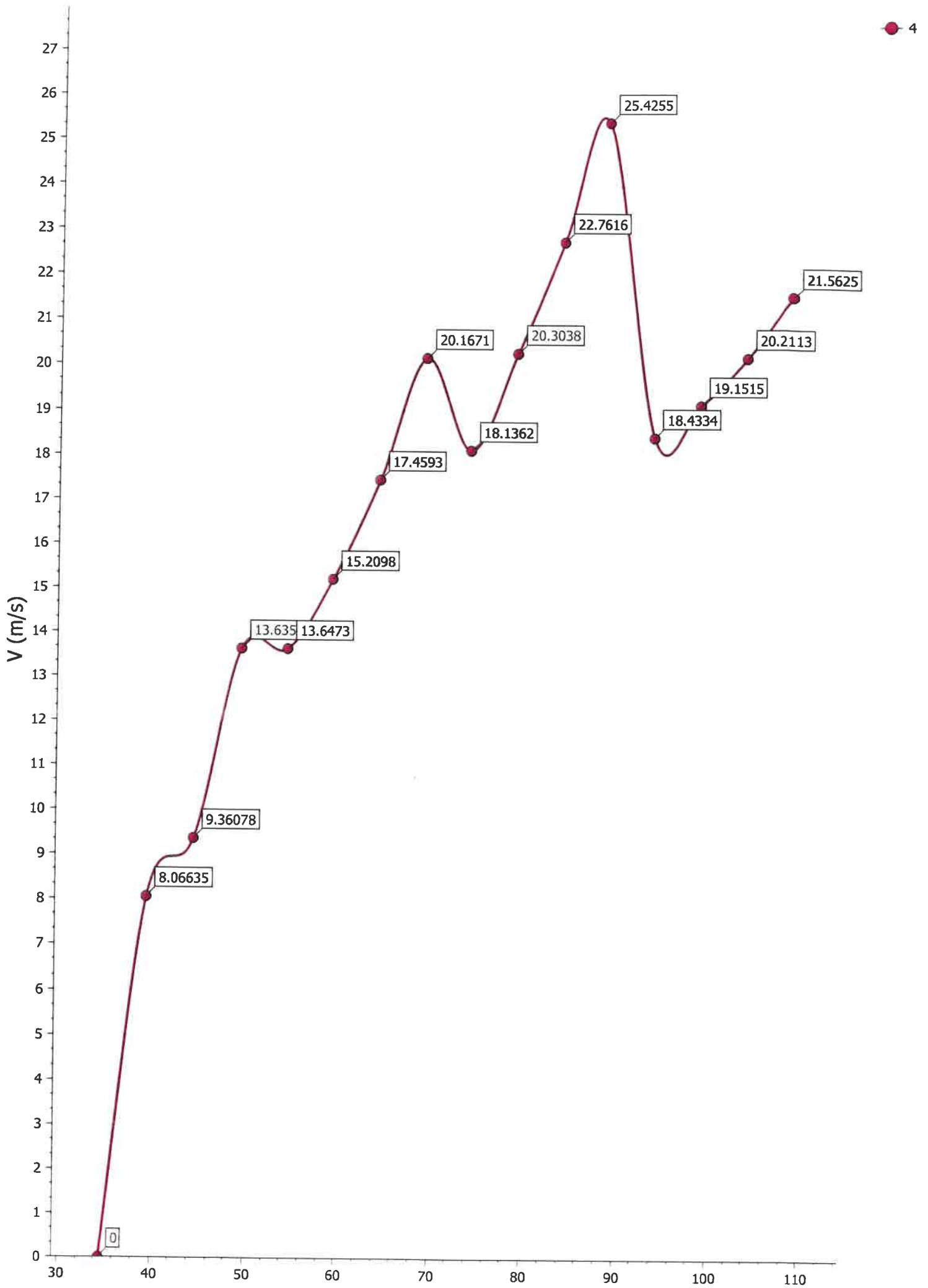


SE2. 3 BPost 1/750 ≈

Energia totale lungo x - Traiettoria Nr. 4



Velocità-Traiettoria Nr. 4



Altezze Parabole-Traiettoria Nr. 4

