



COMUNE DI PATERNO CALABRO

Provincia di Cosenza

REGIONE



CALABRIA

Lavori di "Realizzazione impianto di depurazione a fanghi attivi in loc. Cimini della potenzialità di 1.000 a.e.. Adeguamento funzionale degli impianti di depurazione di loc. Pugliano (pot. 300 a.e.) e loc. Spadolette (pot. 300 a.e.). Realizzazione rete fognaria di parte del centro urbano e collettamento all'impianto di depurazione di Loc. Cimini" - I° **Stralcio funzionale**.



PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

Progettazione:



Sede Legale e Sede Operativa
Viale della Repubblica, 154 - Cosenza
Tel. 0984/393037

Email: info@progreenambiente.it

PEC: progreenambiente@pec.progreenambiente.it

Codice: **PD/PE**

10.08.a

Scala:

1:1000

Titolo:

RELAZIONE SPECIALISTICA - VERIFICA STABILITA' PENDII

Timbri: Direttore Tecnico



Il Responsabile Unico del Procedimento: Geom. Maurizio Piccolo

Data:

Rev.	Data:	Descrizione revisione	Eseguito:	Controllato:	Approvato:
A					
B					
C					

RELAZIONE DI CALCOLO

Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = \tau_f / \tau$.

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius*, *Bishop*, *Janbu ecc.*).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;

n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i

$(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;

$(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;

n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;

($n-1$) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono ($6n-2$).

mentre le equazioni a disposizione sono:

Equazioni di equilibrio dei momenti n

Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n

Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n

Equazioni relative al criterio di rottura n

Totale numero di equazioni $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2)-(4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a ($n-2$) in quando si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le ($n-2$) indeterminazioni.

Metodo di FELLENIUS (1927)

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

n valori delle forze normali N_i ;

n valori delle forze da taglio T_i ;

1 fattore di sicurezza.

Incognite ($2n+1$)

Le equazioni a disposizione sono:

n equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;

n equazioni relative al criterio di rottura;

1 equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \varphi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono

sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

K_o : Coefficiente sismico orizzontale

K_v : Coefficiente sismico verticale.

Calcolo coefficienti sismici

Le NTC 2018 calcolano i coefficienti K_o e K_v in dipendenza di vari fattori:

$$K_o = \beta_s \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_o$$

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S S_T a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq S_S \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

S_T (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di S_T varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1(S_T = 1.0) \quad T2(S_T = 1.20) \quad T3(S_T = 1.20) \quad T4(S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Con l'**OPCM 3274** e successive modifiche, i coefficienti sismici orizzontale K_o e verticale K_v che interessano tutte le masse vengono calcolati come:

$$K_o = S \cdot (a_g/g) \quad K_v = 0.5 \cdot K_o$$

S: fattore dipendente dal tipo di suolo secondo lo schema:

tipo A - $S=1$;
tipo B - $S=1.25$;
tipo C - $S=1.25$;
tipo E - $S=1.25$;
tipo D - $S=1.35$.

Per pendii con inclinazione superiore a 15° e dislivello superiore a 30 m, l'azione sismica deve essere incrementata moltiplicandola per il coefficiente di amplificazione topografica S_T :

$S_T \geq 1,2$ per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;

$S_T \geq 1,4$ per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in testa molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media $> 30^\circ$; $S_T \geq 1,2$ per siti dello stesso tipo ma pendenza media inferiore.

L'applicazione del **D.M. 88** e successive modifiche ed integrazioni è consentito mediante l'inserimento del coefficiente sismico orizzontale K_o in funzione delle Categorie Sismiche secondo il seguente schema: I Cat. $K_o=0.1$; II Cat. $K_o=0.07$; III Cat. $K_o=0.04$

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$K_o = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

a_{gR} : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,

γ_I : fattore di importanza,

S: soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale K_v è definito in funzione di K_o , e vale:

$$K_v = \pm 0.5 \cdot K_o$$

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

Numero di strati

2.0

Numero dei conci 10.0
Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	5.52 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	585.88 m
Ascissa vertice destro superiore xs	33.32 m
Ordinata vertice destro superiore ys	603.78 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Azione sismica

Parametri di riferimento su sito rigido orizzontale

Accelerazione orizzontale massima al sito di riferimento rigido(a_g)	3.15 m/sec ²
Valore massimo fattore di amplificazione spettro in accelerazione orizzontale(F_0)	2.449
Periodo di inizio tratto a velocità costante spettro in accelerazione orizzontale(TC^*)	0.396 sec

Parametri di Zona

Categoria sottosuolo	C
Categoria topografica	T2

Coefficienti

Amplificazione stratigrafica (S_s)	1.23
Coef. funzione categoria suolo (C_c)	1.426
Amplificazione topografica (S_t)	1.2
Accelerazione orizzontale massima attesa al sito ($a_{max} = (S_s * S_t) * a_g$)	4.65 m/sec ²
Coefficiente riduzione acceler. massima attesa al sito (β_s)	0.38

Ko: Coefficiente sismico orizzontale ($\beta_s \times (a_{max}/g)$)	0.18
Kv: Coefficiente sismico verticale. ($0.5 * K_o$)	0.09

VERIFICA STABILITÀ ANTE OPERAM

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0.0	564.48
2	1.0	564.73
3	5.09	565.66
4	5.14	565.76
5	5.6	565.89
6	7.7	566.19
7	8.42	566.4
8	8.41	566.08
9	14.84	566.08
10	14.84	566.63
11	14.84	572.1
12	15.99	571.5
13	17.28	570.59
14	20.23	570.64
15	20.31	574.33
16	20.76	574.1
17	22.17	574.4
18	22.79	574.56
19	24.76	574.63
20	29.69	575.08
21	34.46	575.52
22	34.62	575.58
23	34.81	575.57
24	39.06	575.65
25	42.34	578.69
26	46.97	582.61
27	51.6	586.53

Vertici coltre di alterazione

N	X m	y m
1	0.0	564.09
2	1.0	564.28
3	2.68	564.6
4	5.09	565.28
5	5.92	565.52
6	7.7	565.92
7	8.12	566.01
8	9.16	565.92
9	14.01	565.86
10	14.93	566.04
11	15.46	566.51
12	15.99	566.72
13	18.31	566.99
14	20.31	568.13
15	23.86	570.12
16	26.08	571.06
17	29.6	572.24
18	32.19	573.11
19	35.11	574.59
20	36.15	574.89
21	38.42	575.04

22	39.89	575.57
23	40.19	575.81
24	41.28	576.66
25	43.02	578.46
26	44.12	579.76
27	46.97	582.61
28	46.97	582.61
29	51.6	586.53

Stratigrafia

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litologia	
1	0.046	30.44	1990		0.00		Coltre di alterazione
2	0.5	34.36	2080		0.00		Materiale litoide fratturato

Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

N°	x m	y m	Base mensola a valle m	Base mensola a monte m	Altezza muro m	Spessore testa m	Spessore base m	Peso specifico (Kg/m ³)
1	20.3175	570.8962	0.3	0.3	3.5	0.4	0.4	1

Carichi distribuiti

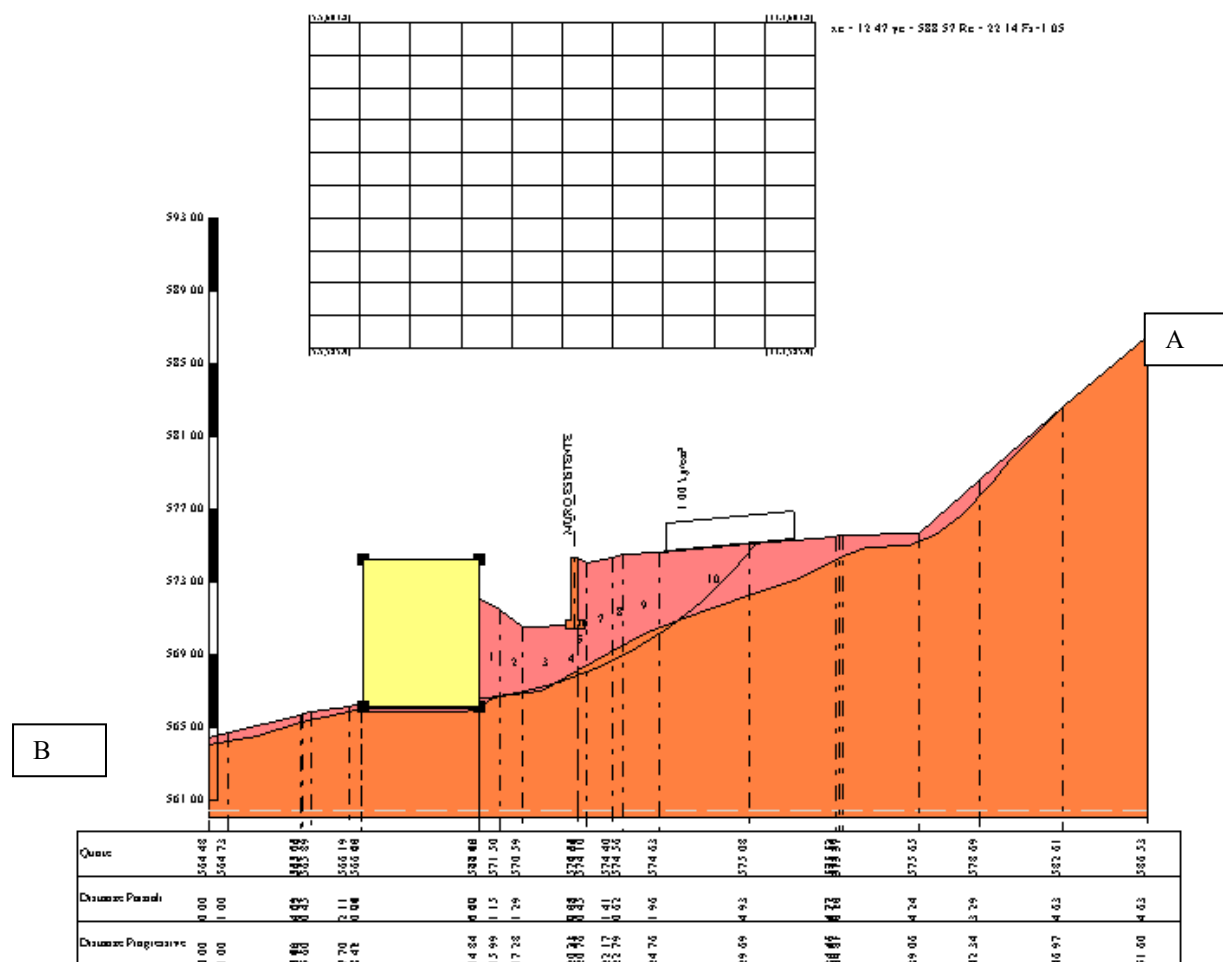
N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	25.14	574.74	32.14	575.3837	2

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1.090
Ascissa centro superficie	12.47 m
Ordinata centro superficie	588.57 m
Raggio superficie	22.14 m

Analisi dei conchi. Superficie...xc = 12.471 yc = 588.566 Rc = 22.14 Fs=1.090123

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1.1	7.7	1.11	10814.24	97.33	43.26	0.04	28.0	0.0	10747.1	1541.6
2	1.29	10.8	1.32	10362.78	93.27	41.45	0.04	28.0	0.0	10201.1	2040.4
3	2.16	15.4	2.24	13867.39	124.81	55.47	0.04	28.0	0.0	13386.9	3813.0
4	0.8	19.4	0.84	4469.13	40.22	17.88	0.05	34.4	0.0	4218.7	1522.8
5	0.08	20.5	0.09	712.04	6.41	2.85	0.05	34.4	0.0	667.3	255.6
6	0.45	21.4	0.48	5391.46	48.52	21.57	0.05	34.4	0.0	5023.6	2008.8
7	1.41	24.0	1.54	15875.3	142.88	63.5	0.05	34.4	0.0	14503.1	6586.7
8	0.62	26.9	0.7	6737.79	60.64	26.95	0.05	34.4	0.0	6006.5	3100.4
9	1.96	30.8	2.28	19014.13	171.13	76.06	0.05	34.4	0.0	16317.9	9870.3
10	5.3	43.1	7.26	74817.61	673.36	299.27	0.04	28.0	0.0	54342.9	51659.



Superficie di scivolamento calcolata con minore coefficiente di sicurezza

VERIFICA STABILITÀ POST OPERAM

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0.0	564.48
2	1.0	564.73
3	5.09	565.66
4	5.14	565.76
5	5.6	565.89
6	7.7	566.19
7	8.42	566.4
8	8.41	566.08
9	14.84	570.9
10	20.32	570.9
11	20.32	574.4
12	20.76	574.1
13	22.17	574.4
14	22.79	574.56
15	24.76	574.63
16	29.69	575.08
17	30.41	575.15
18	39.16	575.15
19	39.16	576.65
20	42.34	578.69
21	46.97	582.61
22	51.6	586.53

Vertici coltre di alterazione

N	X m	y m
1	0.0	564.09
2	1.0	564.28
3	2.68	564.6
4	5.09	565.28
5	5.92	565.52
6	7.7	565.92
7	8.12	566.01
8	9.16	565.92
9	14.01	565.86
10	14.93	566.04
11	15.46	566.51
12	15.99	566.72
13	18.31	566.99
14	20.31	568.13
15	23.86	570.12
16	26.08	571.06
17	29.6	572.24
18	32.19	573.11
19	35.11	574.59
20	36.15	574.89
21	38.42	575.04
22	39.89	575.57
23	40.19	575.81
24	41.28	576.66
25	43.02	578.46
26	44.12	579.76
27	46.97	582.61
28	46.97	582.61
29	51.6	586.53

Stratigrafia

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litologia	
1	0.046	30.44	1990		0.00		Coltre di alterazione
2	0.5	34.36	2080		0.00		Materiale litoide fratturato

Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

N°	x m	y m	Base mensola a valle m	Base mensola a monte m	Altezza muro m	Spessore testa m	Spessore base m	Peso specifico (Kg/m ³)
1	20.3175	570.8962	0.3	0.3	3.5	0.4	0.4	1
2	39.15733	575.1472	0.5	0.5	1.5	0.3	0.3	1

Carichi distribuiti

N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	25.14	574	35.14	574.9196	1

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1.14
Ascissa centro superficie	11.08 m
Ordinata centro superficie	589.46 m
Raggio superficie	22.94 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

Analisi dei conci. Superficie...xc = 11.08 yc = 589.461 Rc = 22.938 Fs=1.13934

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1.97	-2.3	1.97	3023.15	27.21	12.09	0.04	28.0	0.0	3033.9	-94.3
2	1.97	2.6	1.98	8597.21	77.37	34.39	0.04	28.0	0.0	8619.1	469.7
3	1.73	7.3	1.75	11632.22	104.69	46.53	0.04	28.0	0.0	11572.0	1573.3
4	2.21	12.3	2.27	16194.94	145.75	64.78	0.04	28.0	0.0	15858.2	3580.2
5	1.97	17.7	2.07	12336.74	111.03	49.35	0.04	28.0	0.0	11767.0	3853.5
6	1.34	22.1	1.45	6858.35	61.73	27.43	0.04	28.0	0.0	6357.9	2634.5
7	0.4	24.5	0.44	4268.74	38.42	17.07	0.04	28.0	0.0	3884.8	1803.5
8	1.41	26.9	1.58	14007.85	126.07	56.03	0.04	28.0	0.0	12479.9	6460.0
9	0.62	29.8	0.72	5827.35	52.45	23.31	0.04	28.0	0.0	5052.0	2939.8
10	6.1	40.8	8.06	69228.01	623.05	276.91	0.04	28.0	0.0	52192.2	45724.3

