

# REGIONE SICILIANA

## ISOLA DI SALINA

(MESSINA)

### COMUNE DI MALFA

IL PRESIDENTE  
AL D. N. 439

INSTITUZIONE ALLEGATA 35  
23 APR. 2004

IL DIRIGENTE COORDINATORE

LAVORI DI RIQUALIFICA E DI ADEGUAMENTO DELLE  
OPERE FORANEE, DELLE BANCHINE, DELLO SCALO DI  
ALAGGIO E DEI FONDALI DELL' APPRODO DI  
SCALO GALERA - MALFA



## PROGETTO DEFINITIVO

aggiornato ai sensi della L.R. del 02 agosto 2002

ALL. 11.5 VERIFICA STABILITA'  
MURI DI SPONDA

Aggiornato

28 MAR. 2003

Palermo,



MAG. 2001

PROGETTO REDATTO IN DATA 11.09.1990  
APPROVATO IN LINEA TECNICA  
DAL C.T.A.R. CON VOTO N. 18086  
RESO NELL'ADUNANZA DEL 23.11.1990

IL SINDACO:



IL PROGETTISTA:

Ing. Francesco Giordano

Ing. FRANCESCO GIORDANO  
Della Libertà, 801/A - Tel. 091/6254742 - Fax 091/3448114  
80143 PALERMO



A) MURO DI SPONDA IN MASSI CELLULARI

B) BANCHINE DI RIVA

## PARTE 1^ - VERIFICHE GLOBALI

### 1. - CONSIDERAZIONI GENERALI

Il molo in argomento viene realizzato con "massi cellulari".

Al fine di verificare la stabilità globale dell'opera si fa riferimento ad uno schema ideale semplificato che ipotizza una condizione di monoliticità dell'insieme degli elementi cellulari, del calcestruzzo di riempimento e della sovrastruttura.

Al fine di dare alla struttura reale caratteristiche prossime a quelle ipotizzate si prescrive quanto appresso :

- per ogni cella di elemento prefabbricato una coppia di pareti dovrà essere realizzata con superficie ondulata al fine di migliorare l'aderenza con il calcestruzzo di riempimento;
- il conglomerato cementizio da utilizzare per il riempimento dovrà essere dosato a 300 Kg/mc e dovrà essere posto in opera con la massima cura;
- in ogni cella del calcestruzzo di riempimento saranno disposti n° 4 profilati metallici correnti dalla quota d'imbasamento sino al massiccio in conglomerato cementizio semplice;
- l'elemento prefabbricato di sommità, lungo tutte le pareti, contiene una staffatura per il collegamento con la sovrastruttura in c.a.;
- la sovrastruttura in c.a. conterrà una staffatura per il collegamento con il massiccio in conglomerato cementizio semplice.

Verranno inoltre eseguite le verifiche concio per concio,  
ossia a livello di ogni contatto tra gli elementi prefabbricati  
contigui. Dette verifiche saranno condotte nell'ipotesi che la  
monoliticità si realizzi solo nell'ambito del singolo "masso  
cellulare".

Nei calcoli che seguono, si sono considerati i seguenti  
pesi specifici:

- peso specifico massa cellulare 2,50 t/mc;
- peso specifico riempimento di cls 2,30 t/mc;
- peso specifico sovrastruttura 2,50 t/mc.
- peso specifico scogliera 1,90 t/mc.

Inoltre si è ipotizzato un sovraccarico accidentale sul  
molo pari a 2 t/mq, un tiro alle bitte corrispondente a 1 t/m  
e un coefficiente di attrito  $f$  fra la struttura e il piano di  
fondazione pari a 0,50.

## 1.1. - CARICHI VERTICALI

### Peso massa cellulare 1° ordine:

$$P1 = [3 \times (10,00 \times 0,35 \times 2,10) + 8 \times (2,475 \times 0,35 \times 2,10) + 2 \times (1,00 \times 0,50 \times 6,00)] \times 2,50 = 106,51 \text{ t.}$$

### Peso massa cellulare 2° ordine:

$$P2 = P1 - [10 \times (3,14 \times 0,55^2 \times 0,35 / 4) \times 2,50] + 2 \times 1,00 \times 0,50 \times 6,00 \times 2,50 = 89,43 \text{ t.}$$

### Peso massa cellulare 3° ordine:

$$P3 = P1 - [20 \times (3,14 \times 0,55^2 \times 0,35 / 4) \times 2,50] + 2 \times 1,00 \times 0,50 \times 6,00 \times 2,50 = 87,35 \text{ t.}$$

### Peso scogliera:

$$P4 = (1,00 \times 6,00 \times 10,50) \times 1,80 = 113,40 \text{ t.}$$

### Peso riempimento celle con cls:

$$Pr1 = [2 \times (2,867 \times 2,475 \times 3,20)] \times 2,30 = 104,45 \text{ t.}$$

$$Pr2 = [4 \times (2,867 \times 2,475 \times 6,30)] \times 2,30 = 411,27 \text{ t.}$$

### Peso acqua celle lato mare:

$$Pc = [2 \times (2,867 \times 2,475 \times 3,10)] \times 1,02 = 44,87 \text{ t.}$$

### Sottospinta:

$$Ss = 12,00 \times 6,00 \times 5,50 \times 1,02 = 403,92 \text{ t.}$$

### Peso sovrastruttura:

$$Ps1 = 1,20 \times 6,00 \times 10,00 \times 2,50 = 180,00 \text{ t.}$$

$$Ps2 = ((2,00 + 2,70) \times 4,50 / 2) \times 6,00 \times 2,50 = 158,63 \text{ t.}$$

### Sovraccarico:

$$Q = 7,00 \times 6,00 \times 2,00 = 84,00 \text{ t.}$$

## 1.2. - CARICHI ORIZZONTALI

### Tiro alla bitta:

$$T = 1,00 \times 6,00 = 6,00 \text{ t.}$$

### Azioni della scogliera a tergo dei blocchi:

Il coefficiente di spinta viene determinato con la formula del Krey:

$$K = \frac{\text{sen}^2(\alpha + \Phi)}{\text{sen}^2 \alpha \times \text{sen}(\alpha - \theta) \times \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\Phi + \theta) \times \text{sen}(\Phi - \epsilon)}{\text{sen}(\alpha - \theta) \times \text{sen}(\alpha + \epsilon)}} \right]^2}$$

dove:

$\alpha$  - Angolo formato dal paramento interno con l'orizzontale =  $90^\circ$

$\Phi$  - Angolo di attrito interno della scogliera =  $45^\circ$

$\theta$  - Angolo di attrito tra la scogliera ed il calcestruzzo delle pareti =  $15^\circ$

$\epsilon$  - Angolo tra l'estradosso del terrapieno ed il piano orizzontale =  $0^\circ$

Per cui si ottiene;  $K = 0,158$

La spinta complessiva per ml. di parete si ottiene da:

$$St = \frac{1}{2} \gamma H^2 K = \frac{1}{2} 1,80 \times 11,00^2 \times 0,158 = 17,21 \text{ t/ml.}$$

$$St = 17,21 \times 6,00 = 103,24 \text{ t.}$$

essa è applicata ad  $1/3$  dell'altezza del muro. Le componenti di tale spinta sono:

$$Sto = St \times \cos \theta = 103,24 \times \cos 15^\circ = 99,72 \text{ t.}$$

$$Stv = St \times \sin \theta = 103,24 \times \sin 15^\circ = 26,72 \text{ t.}$$

### Moto ondooso:

In presenza di moto ondooso si considera un abbassamento del livello del mare di 0,80 ml.

Nella fig. 1 sono riportati i diagrammi di spinta. (per le sottospinte viene riportata solo la versione rispetto a quelle già valutate al punto "carichi verticali").

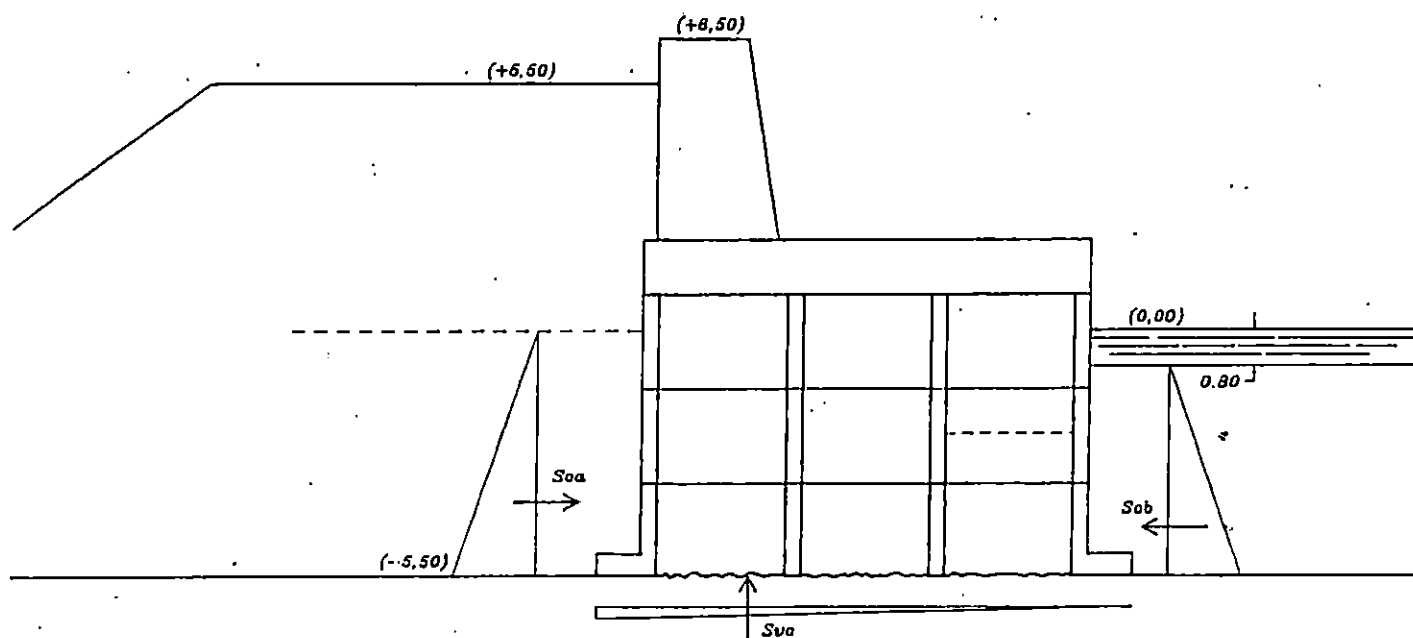


Fig. 1

Le spinte dovute al moto ondooso vengono così computate:

$$Soa = 5,61 \times 5,50 \times 6,00 / 2 = 92,57 \text{ t.}$$

$$Sob = 4,79 \times 4,70 \times 6,00 / 2 = 67,54 \text{ t.}$$

$$Svc = 0,82 \times 6,00 \times 12,00 / 2 = 29,52 \text{ t.}$$



### Sisma sulle terre

In presenza di sisma bisogna considerare un incremento di spinta DF pari alla differenza tra la spinta Sts esercitata dal terreno retrostante in condizioni sismiche e quella statica St:

$$DF = Sts - St$$

in cui:

$$Sts = A \times St'$$

dove:

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta')}{\cos^2\beta \times \cos\theta'} = 0,99756$$

$$\theta' = \arctan c = 4^\circ$$

$$c = \frac{S - 2}{100} = \frac{9 - 2}{100} = 0,07$$

S = grado di sismicità della zona = 9

$\beta$  = angolo formato dall'intradosso del muro con la verticale

St' = spinta calcolata per:

$$\epsilon' = \epsilon + \theta' = 4^\circ \quad \alpha' = \alpha - \theta' = 86^\circ$$

In queste condizioni risulta:

$$K' = 0,187 \quad St' = 122,19 \text{ t.}$$

Per cui:

$$DF = A \times St' - St = 18,65 \text{ t.}$$

applicata a 2/3 dell'altezza H.

#### Sisma sulle acque:

L'azione del sisma sulle onde viene valutato adattando alla situazione in esame le formule SEHB Giapponesi valevoli per corpi a sezione cilindrica.

$$fidr = 3/4 ( C \times R ) \times Yw \times B^2 \times H$$

con :

$$C = \text{coeff. sismico} = 0,07$$

$$R = \text{coeff. risposta} = 1,00$$

$$B = \text{fascia unitaria massa cellulare} = 1,00 \text{ ml.}$$

$$H = \text{altezza molo} = 5,50 \text{ ml.}$$

$$fidr = 3/4 \times 0,07 \times 1,00 \times 1,02 \times 1,00^2 \times 5,50 = 0,30 \text{ t.}$$

Su tutto l'elemento cellulare si ha:

$$Fidr = 0,30 \times 6,00 = 1,80 \text{ t.}$$

#### Sisma sulle masse:

Le forze sismiche si ottengono moltiplicando i pesi per il coefficiente di intensità sismico ( $c=(S-2)/100$ , con  $S=9$ ), otterremo di conseguenza:

- per il massa cellulare 1° ordine:

$$F1 = P1 \times 0,07 = 7,46 \text{ t.}$$

- per il massa cellulare 2° ordine:

$$F2 = P2 \times 0,07 = 6,26 \text{ t.}$$

- per il massa cellulare 3° ordine:

$$F3 = P3 \times 0,07 = 6,12 \text{ t.}$$

- per la scogliera:

$$F4 = P4 \times 0,07 = 7,94 \text{ t.}$$

- per il riempimento:

$$Fr1 = Pr1 \times 0,07 = 7,31 \text{ t.}$$

$$Fr2 = Pr2 \times 0,07 = 28,79 \text{ t.}$$

- per la sovrastruttura:

$$Fs1 = Ps1 \times 0,07 = 12,60 \text{ t.}$$

$$Fs2 = Ps2 \times 0,07 = 11,10 \text{ t.}$$

### 1.3. - CONDIZIONI DI CARICO

Le verifiche globali vengono effettuate per 4 differenti condizioni di carico, che qui vengono di seguito esposte:

- 1° Condizione :  $P + T$
- 2° Condizione :  $P + T + M$
- 3° Condizione :  $P + T + M + S$
- 4° Condizione :  $P + T + M + S + Q$

dove i vari simboli hanno il seguente significato:

P = carichi permanenti.

T = tiro alla bitta.

M = moto ondoso.

S = sisma.

Q = carico accidentale sul molo.

ed inoltre:

N = totale carichi verticali

S = totale spinta

Ms = momento stabilizzante

Mr = momento ribaltante

#### 1.4. - VERIFICHE

Le verifiche di stabilità globale, com'è noto, sono fondamentalmente tre:

A) Verifiche al ribaltamento ed allo scorrimento.

Si ha :

- al ribaltamento  $Gr = \frac{Ms}{Mr} > 1,50$

- allo scorrimento  $Gs = \frac{fxN}{S} = \frac{0,50 \times N}{S} > 1,30$

B) Verifica allo schiacciamento

- per eccentricità di carichi  $> H/6$

$$P_{max} = \frac{2 N}{3 \times B \times d}$$

con  $d$  = distanza tra il bordo del masso ed il punto d'applicazione della risultante dei carichi verticali, calcolata attraverso la relazione:

$$d = \frac{Ms - Mr}{N}$$

- per eccentricità  $< H/6$

$$P = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$

con:  $A = 6,00 \times 12,00 = 72,00 \text{ mq}$

$W = (6,00 \times 12,00^2)/6 = 144,00 \text{ mc}$

1° CONDIZIONE (vedi Fig. 2)

Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$Ms1 = (P1+Ps1-Ss) \times 6,00 + (P2+P3+Pr2) \times 7,26 + (Pr1+Pc) \times 2,78 + \\ + P4 \times 11,50 + Ps2 \times 9,50 + Stv \times 12,00 = 7.111,62 \text{ t xm.}$$

$$Mr1 = Tx7,50 + Stox3,67 = 410,97 \text{ t xm.}$$

Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N1 = P1 + P2 + P3 + P4 + Pr1 + Pr2 + Pc + Ps1 + Ps2 + \\ + Stv - Ss = 918,71 \text{ t.}$$

$$S1 = T + Sto = 105,72 \text{ t.}$$

Eccentricità:

$$e = \frac{H}{2} - \frac{Ms1 - Mr1}{N1} = 1,29 \text{ m.}$$

$$\frac{H}{6} = \frac{12}{6} = 2,00 \text{ m.}$$

Verifica al ribaltamento:

$$Gr = \frac{Ms1}{Mr1} = 17,30 > 1,5$$

Verifica allo scorrimento:

$$Gs = \frac{f \times N1}{S1} = 6,08 > 1,3$$

Verifica allo schiacciamento:

$$e < \frac{H}{6}$$

$$M1 = N1 \times e = 1.188,39 \text{ t xm.}$$

$$p_{\min} = \frac{N1}{A} - \frac{M1}{W} = 4,51 \text{ t/m}^2 = 0,45 \text{ Kg/cm}^2$$

$$p_{\max} = \frac{N1}{A} + \frac{M1}{W} = 21,01 \text{ t/m}^2 = 2,10 \text{ Kg/cm}^2$$

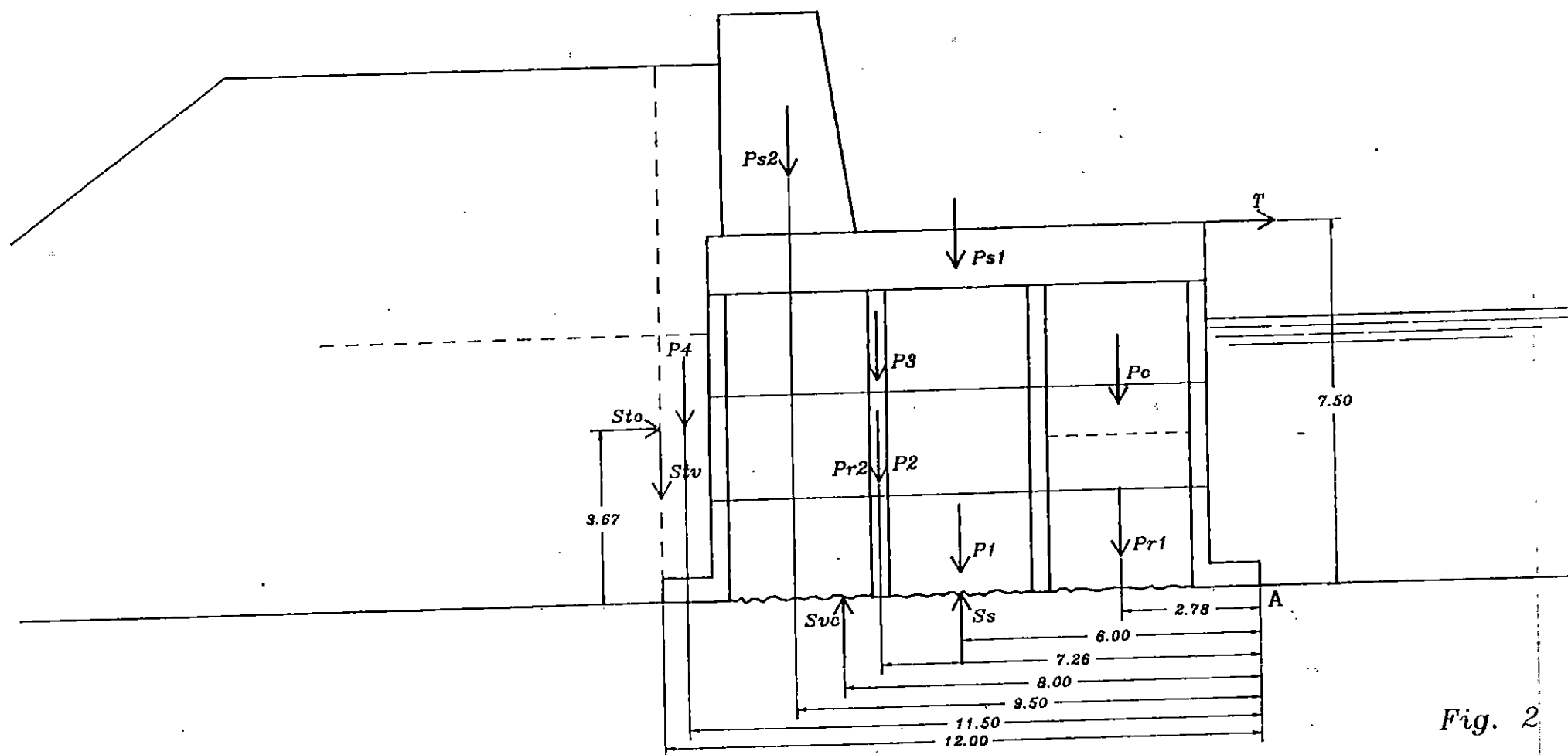


Fig. 2



2. CONDIZIONE (vedi Fig. 3)

Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$Ms2 = Ms1 + Sobx1,57 = 7.217,66 \text{ tkm.}$$

$$Mr2 = Mr1 + Soax1,83 + Svcx8,00 = 816,54 \text{ tkm.}$$

Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N2 = N1 - Svc = 889,19 \text{ t.}$$

$$S2 = S1 + Soa - Sob = 130,75 \text{ t.}$$

Eccentricità:

$$e = \frac{B}{Ms2 - Mr2} - \frac{2}{N2} = 1,20 \text{ m.}$$

Verifica al ribaltamento:

$$Gr = \frac{Ms2}{Mr2} = 8,84 > 1,5$$

Verifica allo scorrimento:

$$Gs = \frac{f \times N2}{S2} = 4,76 > 1,3$$

Verifica allo schiacciamento:

$$e < \frac{H}{6}$$

$$M2 = N2 \times e = 1.065,98 \text{ t xm.}$$

$$p_{\min} = \frac{N2}{A} - \frac{M2}{W} = 4,95 \text{ t/m}^2 = 0,50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$p_{\max} = \frac{N2}{A} + \frac{M2}{W} = 19,75 \text{ t/m}^2 = 1,98 \text{ Kg/cm}^2$$

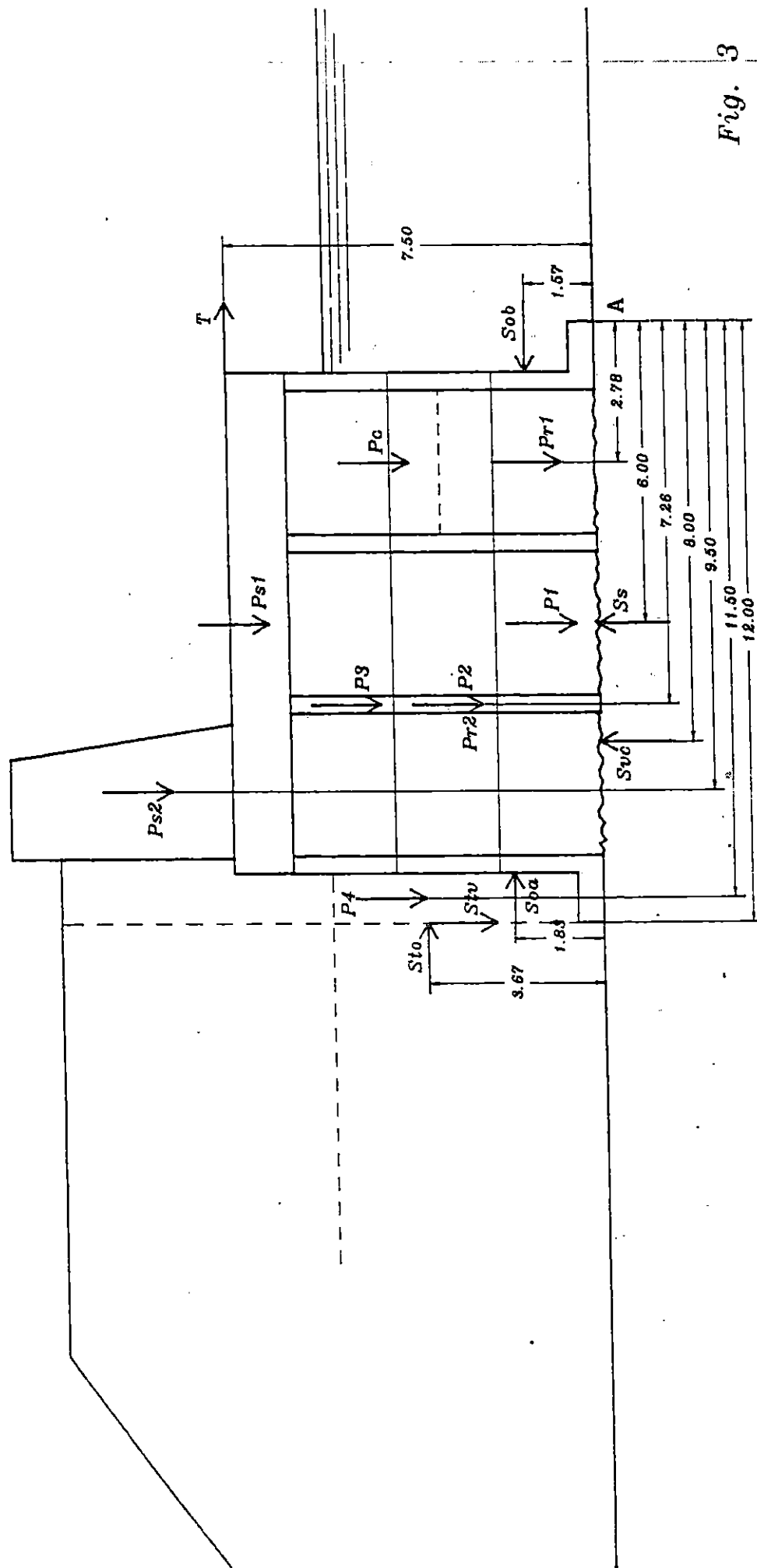


Fig. 3

3° CONDIZIONE (vedi Fig. 4)

Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$Ms3 = Ms2 = 7.217,66 \text{ t xm.}$$

$$\begin{aligned} Mr3 &= Mr2 + F1 \times 1,05 + (F2 + Fr2) \times 3,15 + Fr1 \times 1,60 + F3 \times 5,25 + \\ &\quad + F4 \times 5,50 + Fs1 \times 6,90 + Fs2 \times 9,70 + DF \times 7,33 + Fidr \times 2,75 = \\ &= 1.358,54 \text{ t xm.} \end{aligned}$$

Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N3 = N2 = 889,19 \text{ t.}$$

$$\begin{aligned} S3 &= S2 + F1 + F2 + F3 + F4 + Fr1 + Fr2 + Fs1 + Fs2 + DF + \\ &\quad + Fidr = 238,78 \text{ t.} \end{aligned}$$

Eccentricità:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{Ms3 - Mr3}{N3} = 0,59 \text{ m.}$$

Verifica al ribaltamento:

$$Gr = \frac{Ms3}{Mr3} = 5,31 > 1,5$$

Verifica allo scorrimento:

$$Gs = \frac{f \times N3}{S3} = 2,61 > 1,3$$

Verifica allo schiacciamento:

$$e < \frac{H}{6}$$

$$M3 = N3 \times e = 523,98 \text{ t xm.}$$

$$p_{min} = \frac{N3}{A} - \frac{M3}{W} = 8,71 \text{ t/m}^2 = 0,87 \text{ Kg/cm}^2$$

$$p_{max} = \frac{N3}{A} + \frac{M3}{W} = 15,99 \text{ t/m}^2 = 1,60 \text{ Kg/cm}^2$$

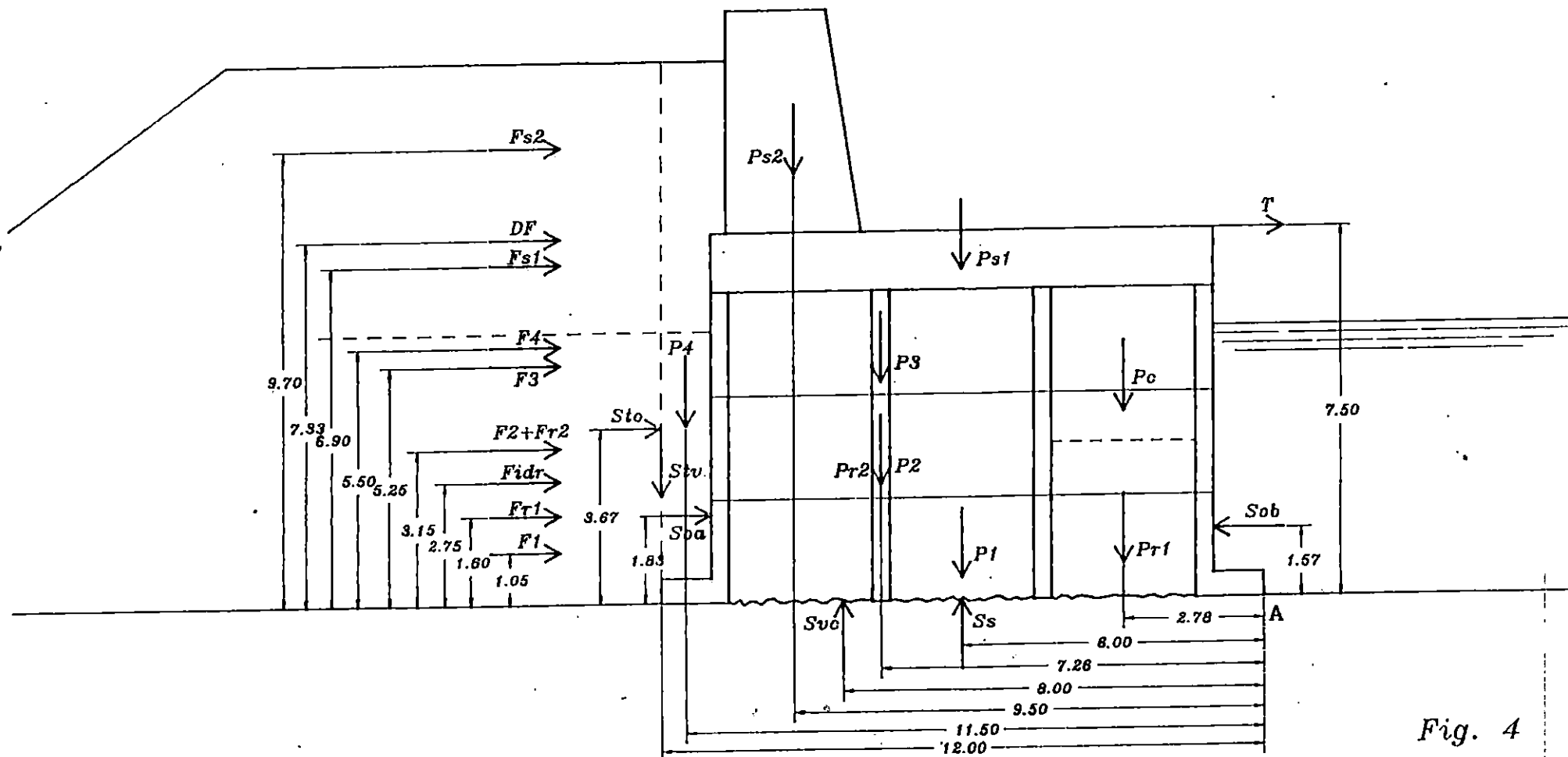


Fig. 4

4° CONDIZIONE (vedi Fig. 5)

Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$Ms4 = Ms3 + Qx4,50 = 7.595,66 \text{ t xm.}$$

$$Mr4 = Mr3 = 1.358,54 \text{ t xm.}$$

Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N4 = N3 + Q = 973,19 \text{ t.}$$

$$S4 = S3 = 238,78 \text{ t.}$$

Eccentricità:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{Ms4 - Mr4}{N4} = 0,41 \text{ m.}$$

Verifica al ribaltamento:

$$Gr = \frac{Ms_4}{Mr_4} = 5,59 > 1,5$$

Verifica allo scorrimento:

$$Gs = \frac{f \times N_4}{S_4} = 2,85 > 1,3$$

Verifica allo schiacciamento:

$$e < \frac{H}{6}$$

$$M_4 = N_4 \times e = 397,98 \text{ t.m.}$$

$$p_{min} = \frac{G_4}{A} - \frac{M_4}{W} = 10,75 \text{ t/m}^2 = 1,08 \text{ Kg/cm}^2$$

$$p_{max} = \frac{N_4}{A} + \frac{M_4}{W} = 16,28 \text{ t/m}^2 = 1,63 \text{ Kg/cm}^2$$



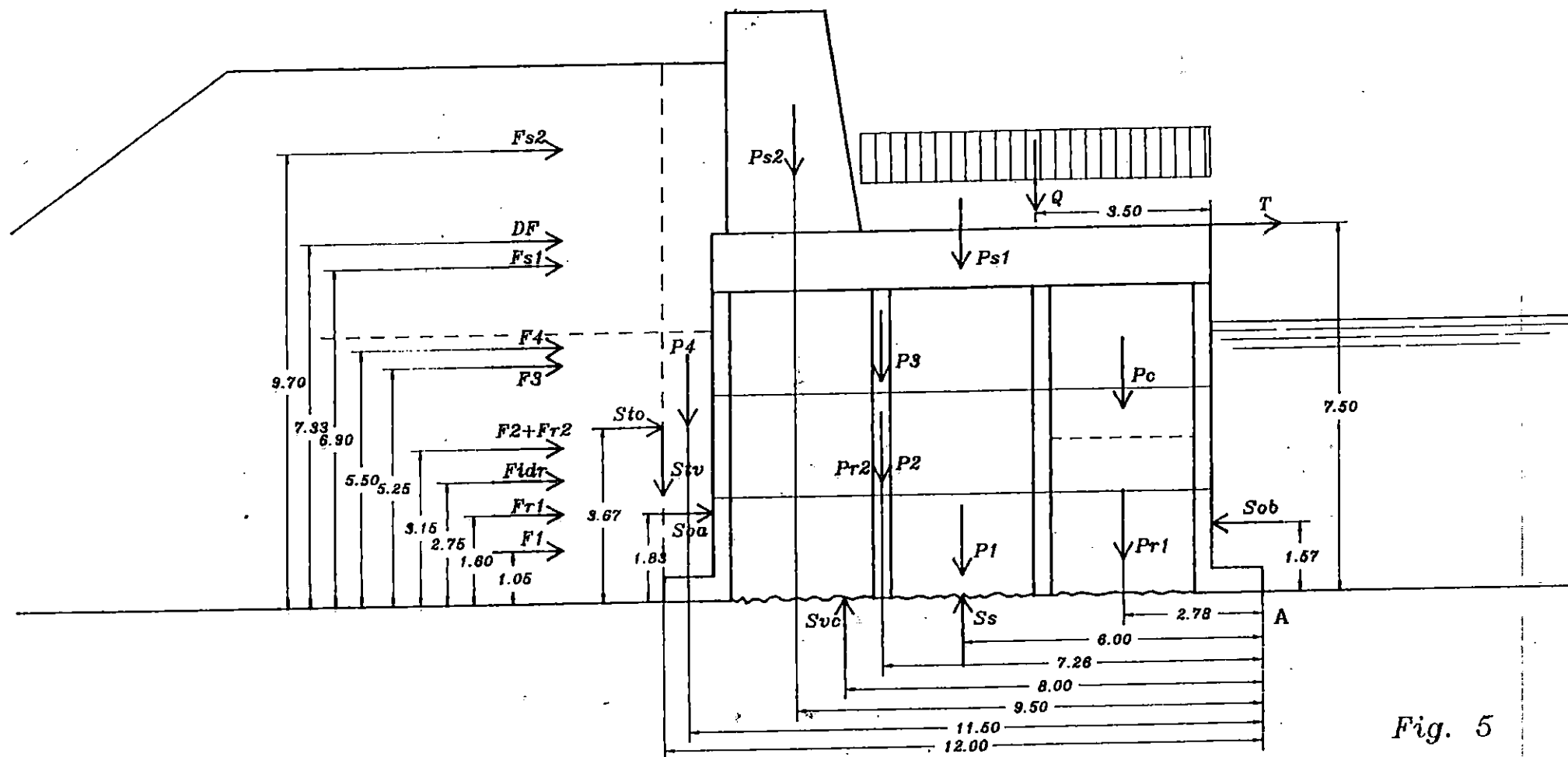


Fig. 5

I valori riepilogativi delle verifiche globali adesso effettuate sono riportati nella tabella seguente:

CONDIZIONE	Gr	Gs	e [ m ]	pmin [Kg/cm <sup>2</sup> ]	pmax [Kg/cm <sup>2</sup> ]
1°	17,30	6,08	1,29	0,45	2,10
2°	8,84	4,76	1,20	0,50	1,98
3°	5,31	2,61	0,59	0,87	1,60
4°	5,59	2,85	0,41	1,08	1,63

Dalla tabella precedente si evince che la condizione più sfavorevole per la sicurezza, anche se ampiamente verificata, è rappresentata dalla condizione di carico 3.

Per tale condizione, esaminiamo il comportamento statico della struttura quando al posto del normale moto ondoso (0,80m) si verifica un evento di particolare intensità.

Consideriamo a tale proposito il caso in cui il livello del mare, lato foraneo, sia corrispondente alla quota massima del muro paraonde ( + 6,50 m ), mentre il livello nello specchio acqueo interno coincida con quello medio ( 0,00 m ).

Ovviamente si lasciano inalterate tutte le altre sollecitazioni agenti sulla struttura, non considerando però l'effetto del sisma.

Avremo quindi:

$$S_a = 12,24 \times 12,00 \times 6,00 / 2 = 440,64 \text{ t.}$$

$$S_b = 5,61 \times 5,50 \times 6,00 / 2 = 92,57 \text{ t.}$$

$$S_c = 6,52 \times 6,00 \times 7,78 / 2 = 154,80 \text{ t.}$$

Considerando inoltre il peso dell'acqua, lato interno:

$$P_5 = (1,00 \times 5,00 \times 6,00) \times 1,02 = 30,60 \text{ t.}$$

Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$M_s = (P_1 + P_{s1} - S_s) \times 6,00 + (P_2 + P_3 + P_{r2}) \times 7,26 + (P_{r1} + P_c) \times 2,78 + P_4 \times 11,50 \\ + P_5 \times 0,50 + P_{s2} \times 9,50 + S_{tv} \times 12,00 + S_{bx} \times 1,83 = 7.296,32 \text{ txm.}$$

$$M_r = T \times 7,50 + S_{to} \times 3,67 + S_a \times 4,00 + S_{cx} \times 9,41 = \\ = 3.630,20 \text{ txm.}$$

Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_{r1} + P_{r2} + P_c + P_{s1} + P_{s2} + \\ + S_{tv} - S_s - S_c = 949,31 \text{ t.}$$

$$S = T + S_{to} + S_a - S_b = 453,79 \text{ t.}$$

Eccentricità:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_s - M_r}{N} = 2,14 \text{ m.}$$

Verifica al ribaltamento:

$$Gr = \frac{Ms}{Mr} = 2,01 > 1,5$$

Verifica allo scorrimento:

$$Gs = \frac{f \times N}{S} = 1,46 > 1,3$$

Verifica allo schiacciamento:

$$e > \frac{H}{6}$$

$$d = \frac{Ms - Mr}{N} = 3,36 \text{ m.}$$

$$P_{max} = \frac{2 \times N}{3 \times B \times d} = \frac{2 \times 949,31}{3 \times 12,00 \times 3,86} = 13,66 \text{ t/m}^2 = 1,37 \text{ Kg/cm}^2$$

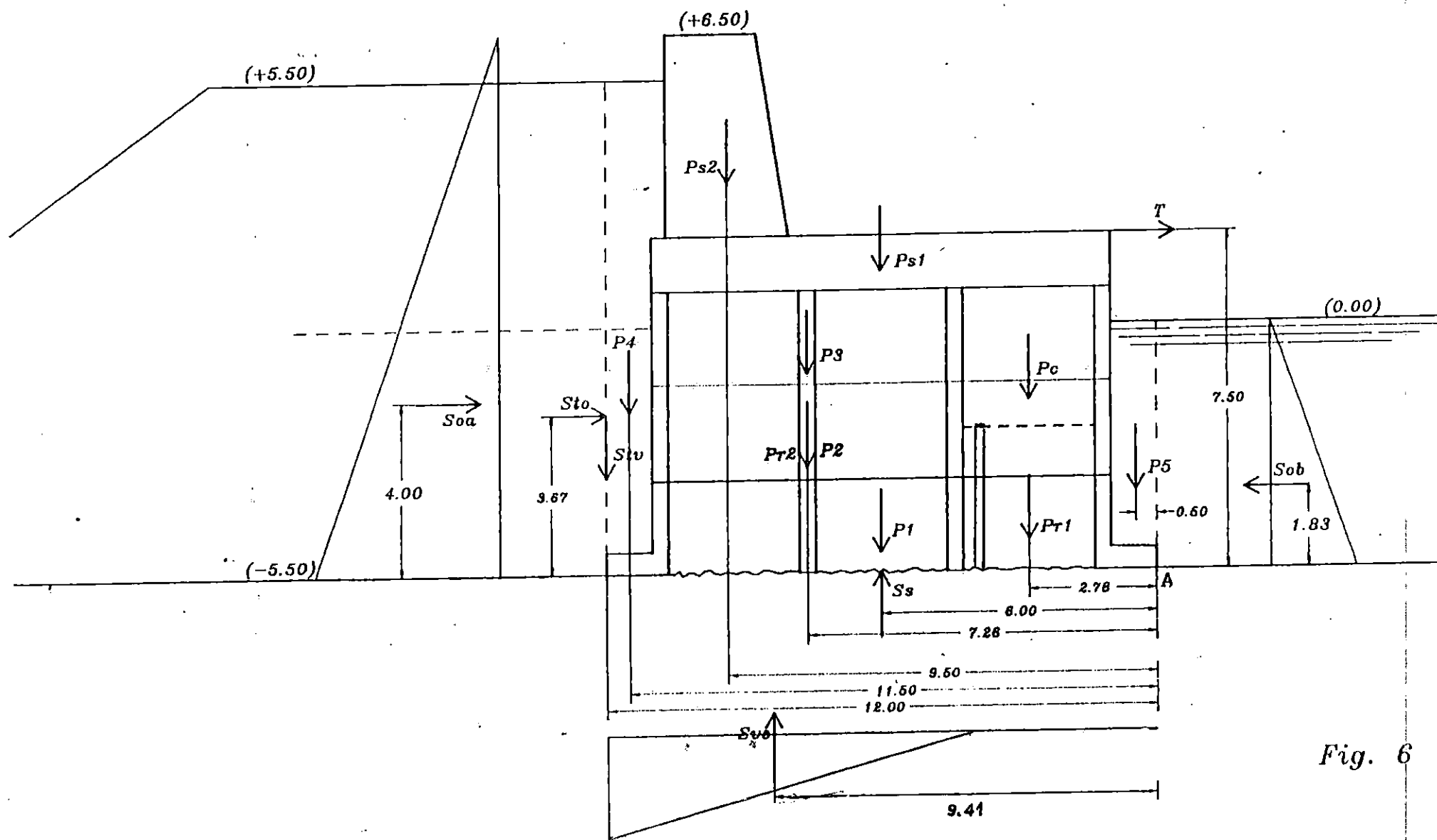


Fig. 6

#### 1.5. - VERIFICHE A LIVELLO DI OGNI CONCIO

Le verifiche a livello di ogni concio vengono effettuate per una sola condizione di carico, la più gravosa.

Ovviamente tale condizione di massima sollecitazione risulta variabile in funzione della particolare verifica che ci si appresta a compiere.

Con lo stesso significato dei simboli avremo quindi:

- |                                |                     |
|--------------------------------|---------------------|
| - Verifica al ribaltamento     | $P + T + M + S$     |
| - Verifica allo scorrimento    | $P + T + M + S$     |
| - Verifica allo schiacciamento | $P + T + M + S + Q$ |

In quest'ultima verifica, prudenzialmente, si fa l'ipotesi che possa verificarsi la condizione secondo la quale le azioni vengano ad interessare solo i tre setti in C.A. trasversali.

Avremo quindi che:

$$A = 3 \times 0,35 \times 10,00 = 10,50 \text{ m}^2.$$

$$W = (3 \times 0,35 \times 10,00^2) / 6 = 17,50 \text{ mc.}$$

Inoltre si ipotizza che l'attrito tra un concio e l'altro sia tale da considerare un coefficiente d'attrito  $f$  pari a 0,60.

Per semplicità, nel prosieguo dei calcoli si indicherà la condizione di carico  $P + T + M + S$ , come condizione 1, mentre la  $P + T + M + S + Q$ , come condizione 2.

1.5.1. - 1° LIVELLO - CARICHI VERTICALI (Fig. 7)

Peso massa cellulare 3° ordine:

$$P_3 = 87,36 \text{ t.}$$

Peso riempimento celle con cls:

$$P_r = [4 \times (2,867 \times 2,475 \times 2,10)] \times 2,30 = 137,09 \text{ t.}$$

Peso acqua celle lato mare:

$$P_c = [2 \times (2,867 \times 2,475 \times 2,10)] \times 1,02 = 30,40 \text{ t.}$$

Sottospinta:

$$S_s = 1,30 \times 6,00 \times 10,00 \times 1,02 = 79,56 \text{ t.}$$

Peso sovrastruttura:

$$P_{s1} = 180,00 \text{ t.}$$

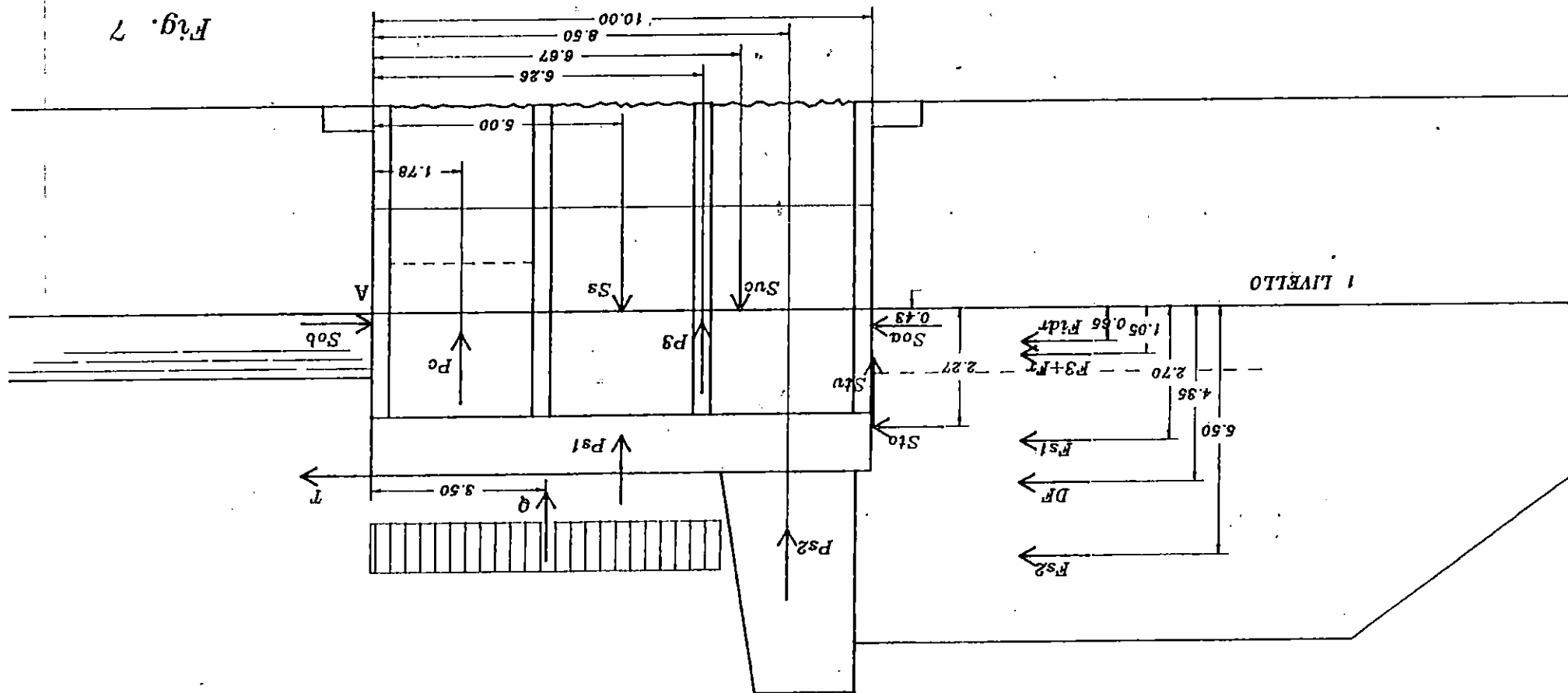
$$P_{s2} = 158,63 \text{ t.}$$

Sovraccarico:

$$Q = 34,00 \text{ t.}$$



Fig. 7



### 1.5.2. - 1° LIVELLO - CARICHI ORIZZONTALI

Tiro alla bitta:

$$T = 6,00 \text{ t.}$$

Azioni della scogliera a tergo dei blocchi:

Il coefficiente di spinta viene determinato sempre con la formula del Krey:

$$K = \frac{\text{sen}^2(\alpha + \Phi)}{\text{sen}^2 \alpha \times \text{sen}(\alpha - \theta) \times \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\Phi + \theta) \times \text{sen}(\Phi - \epsilon)}{\text{sen}(\alpha - \theta) \times \text{sen}(\alpha + \epsilon)}} \right]^2}$$

dove:

$\alpha$  - Angolo formato dal paramento interno con l'orizzontale =  $90^\circ$

$\Phi$  - Angolo di attrito interno del terreno =  $45^\circ$

$\theta$  - Angolo di attrito tra il terreno ed il calcestruzzo delle pareti =  $15^\circ$

$\epsilon$  - Angolo tra l'estradosso del terrapieno ed il piano orizzontale =  $0^\circ$

Per cui si ottiene;  $K = 0,153$

La spinta complessiva per ml. di parete si ottiene da:

$$St = \frac{1}{2} \gamma H^2 K = 6,58 \text{ t/ml.}$$

$$St = 6,58 \times 6,00 = 39,45 \text{ t.}$$

Le componenti di tale spinta sono:

$$St_o = St \times \cos \theta = 38,11 \text{ t.}$$

$$St_v = St \times \sin \theta = 10,21 \text{ t.}$$

Moto ondoso:

$$Soa = 1,33 \times 1,30 \times 6,00 / 2 = 5,17 \text{ t.}$$

$$Sob = 0,51 \times 0,50 \times 6,00 / 2 = 0,77 \text{ t.}$$

$$Svc = 0,82 \times 6,00 \times 10,00 / 2 = 24,60 \text{ t.}$$

Sisma sulle terre:

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta')}{\cos^2 \beta \times \cos \theta'} = 0,99756$$

$$K' = 0,187 \quad St' = 46,69 \text{ t.}$$

Per cui:

$$DF = A \times St' - St = 7,13 \text{ t.}$$

Sisma sulle acque:

$$fidr = 3/4 \times 0,07 \times 1,00 \times 1,02 \times 1,00^2 \times 1,30 = 0,07 \text{ t.}$$

$$Fidr = 0,07 \times 6,00 = 0,42 \text{ t.}$$

Sisma sulle masse:

- per il masso cellulare 3° ordine:

$$F3 = 6,12 \text{ t.}$$

- per il riempimento:

$$Fr = Pr \times 0,07 = 9,60 \text{ t.}$$

- per la sovrastruttura:

$$Fs1 = 12,60 \text{ t.}$$

$$Fs2 = 11,10 \text{ t.}$$

### 1.5.3. - 1° LIVELLO - VERIFICHE

#### CONDIZIONE 1

#### Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$Ms' = (P3+Pr) \times 6,26 + Pcx1,78 + (Ps1-Ss) \times 5,00 + Ps2 \times 8,50 + \\ + Stvx10,00 + Sobx0,17 = 3.411,95 \text{ txm.}$$

$$Mr' = Tx3,30 + Stox2,27 + Soax0,43 + Svcx6,67 + \\ + (F3+Fr) \times 1,05 + Fs1 \times 2,70 + Fs2 \times 5,50 + Dfx4,53 + \\ + Fidr \times 0,65 = 416,76 \text{ txm.}$$

#### Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N' = P3 + Pr + Pc + Ps1 + Ps2 + Stv - Svc - Ss = 499,53 \text{ t.}$$

$$S' = T + Sto + Soa - Sob + F3 + Fr + Fs1 + Fs2 + \\ + DF + Fidr = 95,48 \text{ t.}$$

## CONDIZIONE 2

Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$M_s'' = M_s' + Q \times 3,50 = 3.705,95 \text{ t xm.}$$

$$M_r'' = M_r' = 416,76 \text{ t xm.}$$

Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N'' = N' + Q = 583,53 \text{ t.}$$

$$S'' = S' = 95,48 \text{ t.}$$

Eccentricità:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_s'' - M_r''}{N''} = 0,64 \text{ m.}$$

Verifica al ribaltamento:

$$Gr = \frac{Ms'}{Mr'} = 8,19 > 1,5$$

Verifica allo scorrimento:

$$Gs = \frac{f \times N'}{S'} = 3,66 > 1,3$$

Verifica allo schiacciamento:

$$e < \frac{H}{6}$$

$$M'' = N'' \times e = 371,54 \text{ t xm.}$$

$$p_{min} = \frac{N''}{A} - \frac{M''}{W} = 24,0 \text{ t/m}^2 = 2,4 \text{ Kg/cm}^2$$

$$p_{max} = \frac{N''}{A} + \frac{M''}{W} = 76,81 \text{ t/m}^2 = 7,68 \text{ Kg/cm}^2$$

1.5.4. - 2° LIVELLO - CARICHI VERTICALI (Fig. 8)

Peso massa cellulare 2° ordine:

$$P2 = 89,43 \text{ t.}$$

Peso massa cellulare 3° ordine:

$$P3 = 87,36 \text{ t.}$$

Peso riempimento celle con cls:

$$Pr1 = [2 \times (2,867 \times 2,475 \times 1,10)] \times 2,30 = 35,90 \text{ t.}$$

$$Pr2 = [4 \times (2,867 \times 2,475 \times 4,20)] \times 2,30 = 274,18 \text{ t.}$$

Peso acqua celle lato mare:

$$Pc = 44,87 \text{ t.}$$

Sottospinta:

$$Ss = 3,40 \times 6,00 \times 10,00 \times 1,02 = 208,08 \text{ t.}$$

Peso sovrastruttura:

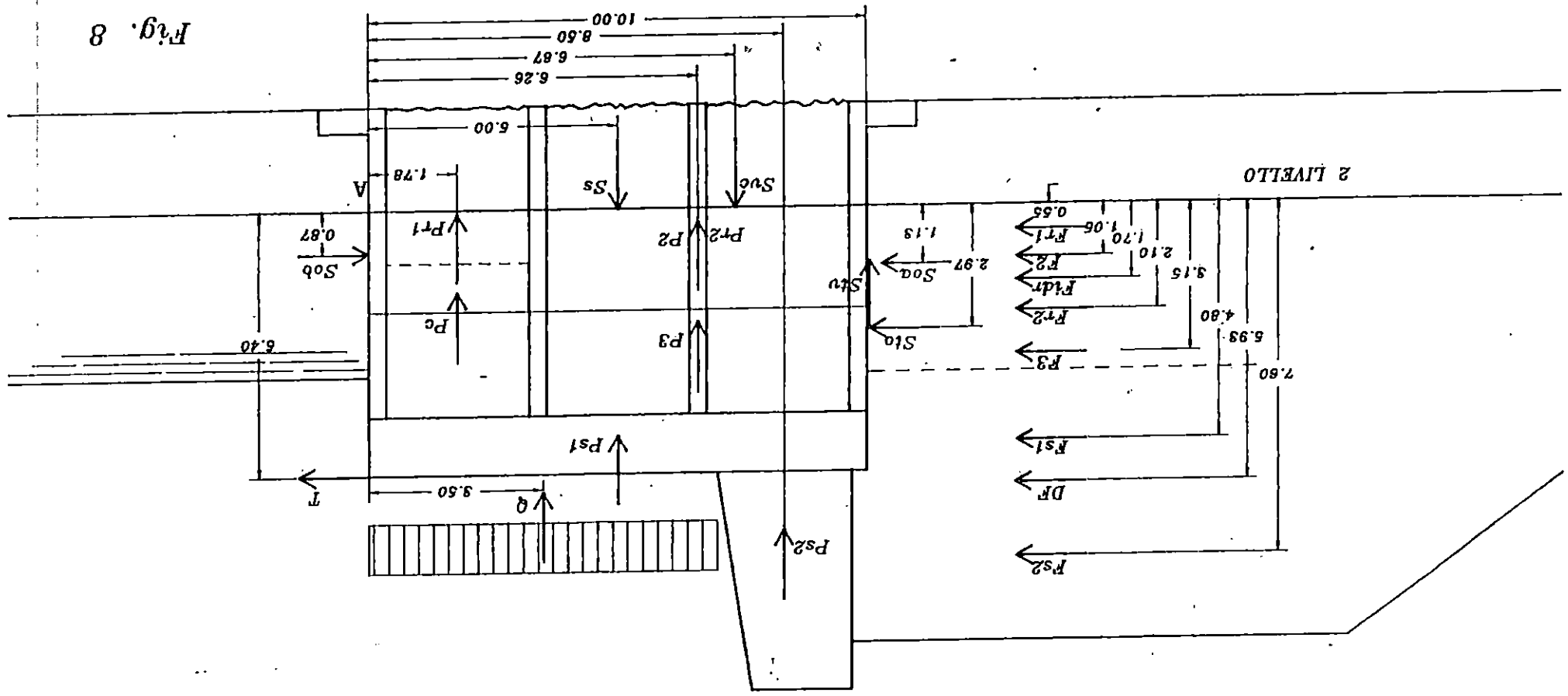
$$Ps1 = 180,00 \text{ t.}$$

$$Ps2 = 158,62 \text{ t.}$$

Sovraccarico:

$$Q = 84,00 \text{ t.}$$

Fig. 8





#### 1.5.5. - 2° LIVELLO - CARICHI ORIZZONTALI

Tiro alla bitta:

$$T = 6,00 \text{ t.}$$

Azioni della scogliera a tergo dei blocchi:

$$K = 0,158$$

La spinta complessiva per ml. di parete si ottiene da:

$$St = \frac{1}{2} \gamma H^2 K = \frac{1}{2} 1,80 \times 8,90^2 \times 0,158 = 11,26 \text{ t.}$$

$$St = 11,26 \times 6,00 = 67,58 \text{ t.}$$

Le componenti di tale spinta sono:

$$Sto = St \times \cos \theta = 65,28 \text{ t.}$$

$$Stv = St \times \sin \theta = 17,49 \text{ t.}$$

Moto ondoso:

$$Soa = 2,47 \times 2,40 \times 6,00 / 2 = 35,37 \text{ t.}$$

$$Sob = 2,65 \times 2,60 \times 6,00 / 2 = 20,69 \text{ t.}$$

$$Svc = 0,82 \times 6,00 \times 10,00 / 2 = 24,60 \text{ t.}$$

Sisma sulle terre:

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta')}{\cos^2 \beta \times \cos \theta'} = 0,99756$$

$$K' = 0,187 \quad St' = 79,99$$

Per cui:

$$DF = A \times St' - St = 12,21 \text{ t.}$$

Sisma sulle acque:

$$fidr = 3/4 \times 0,07 \times 1,00 \times 1,02 \times 1,00^2 \times 3,40 = 0,18 \text{ t.}$$

$$Fidr = 0,18 \times 6,00 = 1,08 \text{ t.}$$

Sisma sulle masse:

- per il masso cellulare 2° ordine:

$$F2 = 6,26 \text{ t.}$$

- per il masso cellulare 3° ordine:

$$F3 = 6,12 \text{ t.}$$

- per il riempimento:

$$Fr1 = Pr1 \times 0,07 = 2,51 \text{ t.}$$

$$Fr2 = Pr2 \times 0,07 = 19,19 \text{ t.}$$

- per la sovrastruttura:

$$Fs1 = 12,60 \text{ t.}$$

$$Fs2 = 11,10 \text{ t.}$$

#### 1.5.6. - 2° LIVELLO - VERIFICHE

##### CONDIZIONE 1

##### Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$Ms' = (P2+P3+Pr2) \times 6,26 + (Pc+Pr1) \times 1,78 + (Ps1-Ss) \times 5,00 + \\ + Ps2 \times 8,50 + Stv \times 10,00 + Sob \times 0,87 = 4.367,70 \text{ t xm.}$$

$$Mr' = Tx5,40 + Stox2,97 + Soax1,13 + Svcx6,67 + \\ + F2 \times 1,05 + F3 \times 3,15 + Fr1 \times 0,55 + Fr2 \times 2,10 + Fs1 \times 4,80 + \\ + Fs2 \times 7,60 + DFx5,93 + Fidr \times 1,70 = 716,94 \text{ t xm.}$$

##### Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N' = P2 + P3 + Pr1 + Pr2 + Pc + Ps1 + Ps2 + \\ + Stv - Svc - Ss = 655,18 \text{ t.}$$

$$S' = T + Sto + Soa - Sob + F2 + F3 + Fr1 + Fr2 + \\ + Fs1 + Fs2 + DF + Fidr = 157,03 \text{ t.}$$

---

---

CONDIZIONE 2

Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$M_s'' = M_s' + Q \times 3,50 = 4.661,70 \text{ txm.}$$

$$M_r'' = M_r' = 716,94 \text{ txm.}$$

Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N'' = N' + Q = 739,18 \text{ t.}$$

$$S'' = S' = 157,03 \text{ t.}$$

Eccentricità:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_s'' - M_r''}{N''} = 0,34 \text{ m.}$$

Verifica al ribaltamento:

$$Gr = \frac{Ms'}{Mr'} = 6,09 > 1,5$$

Verifica allo scorrimento:

$$Gs = \frac{f \times N'}{S'} = 2,92 > 1,3$$

Verifica allo schiacciamento:

$$e < \frac{H}{6}$$

$$M'' = N'' \times e = 248,85 \text{ t xm.}$$

$$p_{min} = \frac{N''}{A} - \frac{M''}{W} = 56,48 \text{ t/m}^2 = 5,62 \text{ Kg/cm}^2$$

$$p_{max} = \frac{N''}{A} + \frac{M''}{W} = 84,62 \text{ t/m}^2 = 8,46 \text{ Kg/cm}^2$$

Anche in questo caso sono riportati i valori riepilogativi delle verifiche a livello di ogni concio :

LIVELLO	Gr	Gs	e [ m ]	pmin [Kg/cm <sup>2</sup> ]	pmax [Kg/cm <sup>2</sup> ]
1	8,19	3,66	0,64	3,43	7,68
2	6,09	2,92	0,34	5,62	8,46

PARTE 1<sup>a</sup> - VERIFICHE GLOBALI

## 1. - CONSIDERAZIONI GENERALI

La banchina in argomento viene realizzata in blocchi di calcestruzzo.

Al fine di verificare la stabilità globale dell'opera si fa riferimento ad uno schema ideale semplificato che ipotizza una condizione di monoliticità dei blocchi di calcestruzzo.

Nei calcoli che seguono, si sono considerati i seguenti pesi specifici:

- peso specifico blocco di cls.....2,50 t/mc
- peso specifico soletta a tergo  
della banchina.....2,50 t/mc
- peso specifico terreno.....1,80 t/mc
- peso specifico acqua di mare.....1,02 t/mc

Inoltre si è ipotizzato un sovraccarico accidentale sulla banchina pari a 1 t/mq, così ripartito:

- sovraccarichi fissi	0,80	t/mq
- sovraccarichi mobili	0,20	t/mq
totale	<u>1,00</u>	t/mq

un tiro alle bitte corrispondente a 0,50 t/m e un coefficiente di attrito  $f$  fra la struttura e il piano di fondazione pari a 0,60.

# SEZIONE TIPO BANCHINA DI RIVA IMBASATA A QUOTA -4.00

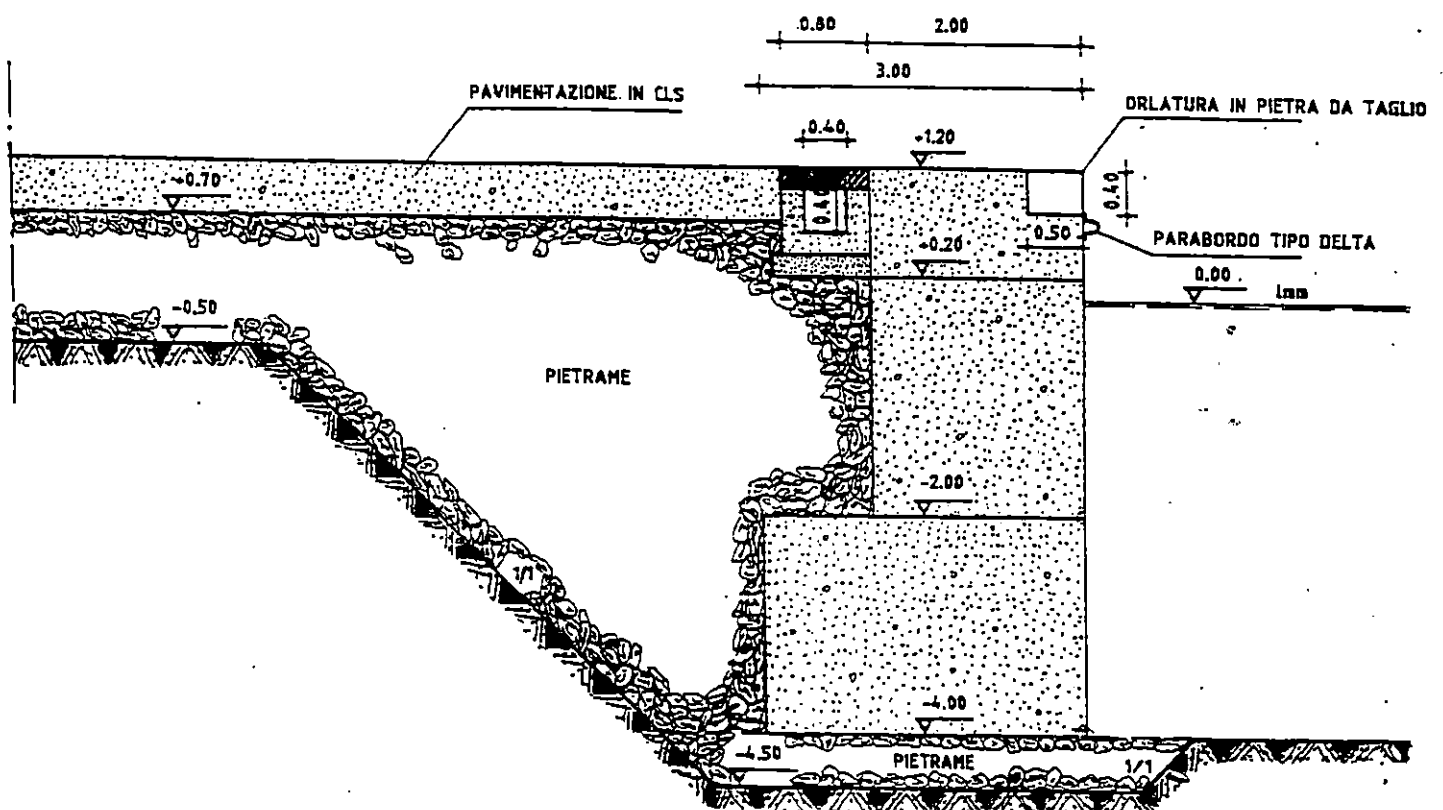


Fig. 1



## 1.1 - CARICHI VERTICALI

### Pesi struttura:

$$P1 = (3,00 \times 2,00 \times 1,00) \times 2,50 = 15 \text{ t}$$

$$P2 = (2,00 \times 2,20 \times 1,00) \times 2,50 = 11 \text{ t}$$

$$P3 = (3,00 \times 1,00 \times 1,00) \times 2,50 = 7,5 \text{ t}$$

$$P4 = (1,00 \times 2,20 \times 1,00) \times 1,80 = 3,96 \text{ t}$$

### Sovraccarico:

$$Q = (0,50 \times 1,00 \times 1) \times 2,50$$

$$q = Q/l = 1,25 \text{ t/mq}$$

altezza fittizia generata dal sovraccarico:

$$h' = \frac{q}{\tau t} = \frac{1,00}{1,80} = 0,56 \text{ m}$$

### Sottospinta:

$$S = (1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 + 1,00 \times 2,00 \times 1,00 \times 1,00 + 1,00 \times 2,00 \times 1,00 \times 1,00) \times 1,00 = 12,24 \text{ t}$$

## 1.2. CARICHI ORIZZONTALI

Tiro alla bitta:

$$T = 0,50 \times 1,00 = 0,50 \text{ t}$$

Azioni del rinterro a tergo dei blocchi:

Il coefficiente di spinta viene determinato con la formula del Krey:

$$K = \frac{\text{sen}^2(\alpha + \Phi)}{\text{sen}^2 \alpha \times \text{sen}(\alpha - \theta) \times \left[ 1 + \frac{\text{sen}(\Phi + \theta) \times \text{sen}(\Phi - \epsilon)}{\text{sen}(\alpha - \theta) \times \text{sen}(\alpha + \epsilon)} \right]^2}$$

dove:

$\alpha$  - Angolo formato dal paramento interno con l'orizzontale =  $90^\circ$

$\Phi$  - Angolo di attrito interno del terreno =  $30^\circ$

$\theta$  - Angolo di attrito tra il terreno ed il calcestruzzo delle pareti =  $15^\circ$

$\epsilon$  - Angolo tra l'estradosso del terrapieno ed il piano orizzontale =  $0^\circ$

Per cui si ottiene :  $K = 0,30$

La spinta complessiva per ml di parete si ottiene da:

$$St = \frac{1}{2} \gamma H^2 K = \frac{1}{2} 1,80 \times 4,70^2 \times 0,30 = 5,96 \text{ t}$$

essa è applicata ad  $1/3$  dell'altezza del muro. Le componenti di tale spinta sono:

$$Sto = St \times \cos \theta = 5,96 \times \cos 15^\circ = 5,76 \text{ t}$$

$$Stv = St \times \sin \theta = 5,96 \times \sin 15^\circ = 1,54 \text{ t}$$

Oltre ad essa è presente anche una spinta sulla struttura provocata dal peso della soletta posta a tergo della banchina:

$$Sq = q H K = 1,25 \times 4,70 \times 0,30 = 1,76 \text{ t}$$

In presenza di sovraccarico, bisogna considerare un'altezza fittizia  $h'$  ( già calcolata ), le spinte delle terre diventano quindi:

$$H' = H + h' = 4,70 + 0,56 = 5,26 \text{ m}$$

$$St = \frac{1}{2} \gamma H'^2 K = \frac{1}{2} 1,80 \times 5,26^2 \times 0,30 = 7,47 \text{ t}$$

$$Sto = St \times \cos \theta = 7,47 \times \cos 15^\circ = 7,17 \text{ t}$$

$$Stv = St \times \sin \theta = 7,47 \times \sin 15^\circ = 1,93 \text{ t}$$

$$Sq = q H' K = 1,25 \times 5,26 \times 0,30 = 1,97 \text{ t}$$

#### Moto ondoso:

In presenza di moto ondoso si considera un abbassamento del livello del mare di 0,80 ml.

Nella fig. 2° sono riportati i diagrammi di spinta (per le sottospinte viene riportata solo la versione rispetto a quelle già valutate al punto "carichi verticali").

Le spinte dovute al moto ondoso vengono così computate:

$$Soa = 1/2 \gamma_w H^2 = 1/2 \times 1,02 \times 4,00^2 = 8,16 \text{ t}$$

$$Sob = 1/2 \gamma_w H^2 = 1/2 \times 1,02 \times 3,20^2 = 5,22 \text{ t}$$

$$Svo = 1/2 \gamma_w (H_1 - H_2) B = 1/2 \times 1,02 \times (4,00 - 3,20) \times 3,00 = 1,22 \text{ t}$$

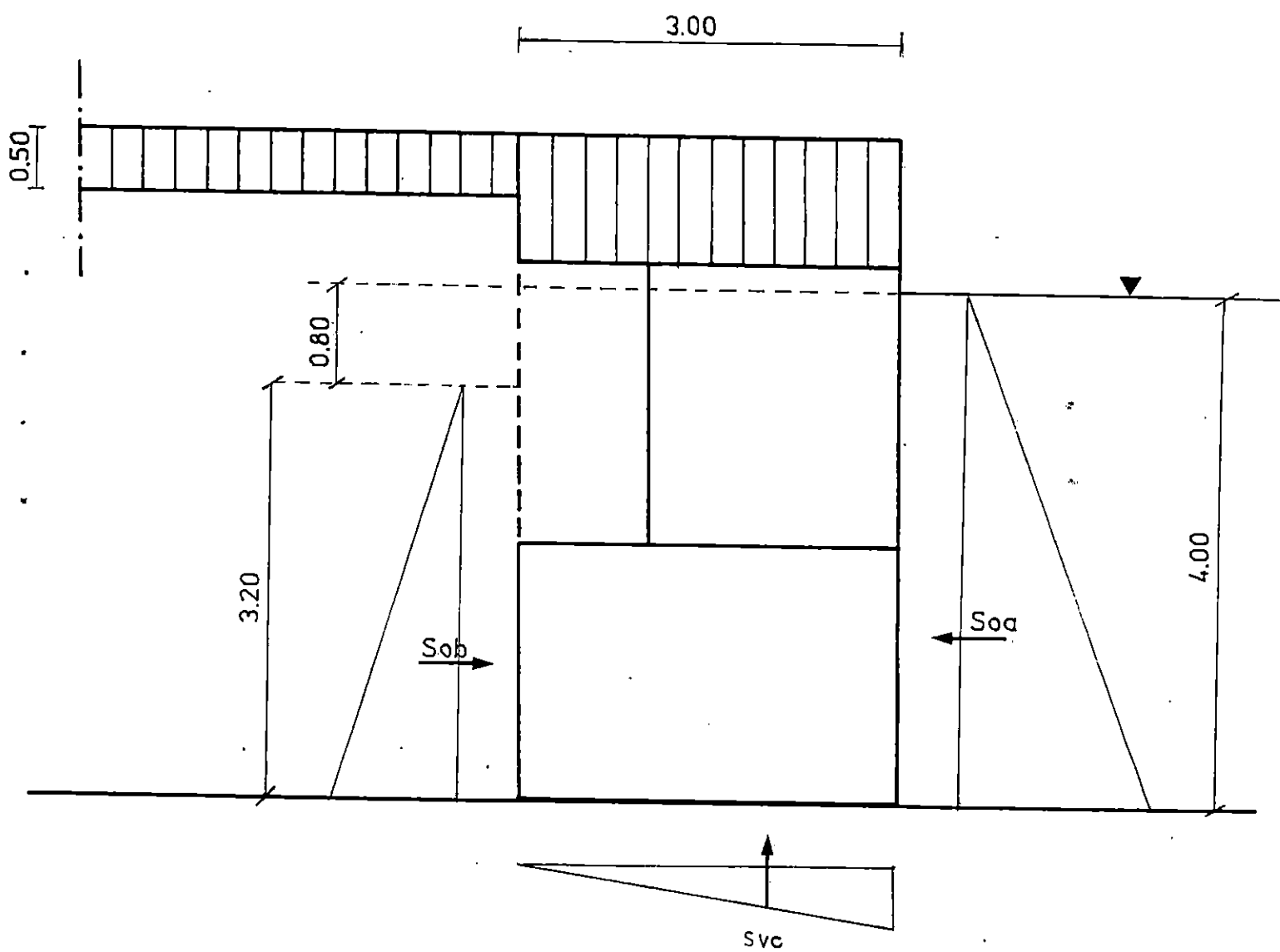


Fig. 2

In presenza di sisma bisogna considerare un incremento di spinta DF pari alla differenza tra la spinta Sts esercitata dal terreno retrostante in condizioni sismiche e quella statica St:

$$DF = Sts - St$$

In cui:

$$Sts = A \times St'$$

dove:

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta')}{\cos^2 \beta \times \cos \theta'} = 0,997$$

$$\theta' = \arctan c = 4^\circ$$

$$c = \frac{S - 2}{9 - 2} = \frac{100}{7} = 0,07$$

S = grado di similitudine della zona = 9

β = angolo formato dall'incrocio del muro con la verticale

St' = spinta calcolata per:

$$e' = e + \theta' = 4^\circ$$

$$a' = a - \theta' = 86^\circ$$

In queste condizioni risulta:

$$K' = 0,347$$

$$St' = 6,90 t$$

Per cui:

$$DF = A \times St' - St = 0,997 \times 6,90 - 5,96 = 0,92 t$$

Mentre in presenza di sovraccarico:

$$St' = 1/2 \times 1,80 \times 3,26^2 \times 0,347 = 8,64 \text{ t}$$

$$DF = 0,997 \times 8,64 - 7,47 = 1,14 \text{ t}$$

Sisma sulle acque:

L'azione del sisma sulle onde viene valutato adattando alla situazione in esame le formule SEHB Giapponesi valevoli per corpi a sezione cilindrica:

$$fidr = 3/4 ( C \times R ) \times \tau w \times B^2 \times H$$

con :

$$C = \text{coeff. sismico} = 0,07$$

$$R = \text{coeff. risposta} = 1,00$$

$$B = \text{fascia unitaria} = 1,00 \text{ ml}$$

$$H = \text{altezza banchina} = 4,00 \text{ ml}$$

$$fidr = 3/4 \times 0,07 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00^2 \times 4,00 = 0,21 \text{ t/ml}$$

Sulla parete di 1,00 ml si ha quindi:

$$Fidr = 0,21 \times 1,00 = 0,21 \text{ t}$$

Le forze sismiche si ottengono moltiplicando i vari pesi per il coefficiente di intensità sismica ( $c=(S-2)/100$ , con  $S=9$ ),  
 otterremo di conseguenza:

$$\begin{aligned} F_1 &= P_1 \times 0,07 = 1,05 \text{ t} \\ F_2 &= P_2 \times 0,07 = 0,77 \text{ t} \\ F_3 &= P_3 \times 0,07 = 0,525 \text{ t} \\ F_4 &= P_4 \times 0,07 = 0,28 \text{ t} \end{aligned}$$

### 1.3.1. CONDIZIONI DI CARICO

---

Le verifiche globali vengono effettuate per 4 differenti condizioni di carico, che qui vengono di seguito esposte:

- 1° Condizione :  $P + T$
- 2° Condizione :  $P + T + M$
- 3° Condizione :  $P + T + M + S$
- 4° Condizione :  $P + T + M + S + Q$

dove i vari simboli hanno il seguente significato:

P = carichi permanenti.

T = tiro alla bitta.

M = moto ondoso.

S = sisma.

Q = carico accidentale sulla banchina.

ed inoltre:

N = totale carichi verticali

S = torce spinta

M<sub>s</sub> = momento stabilizzante

M<sub>r</sub> = momento ribaltante



#### 1.4. - VERIFICHE

Le verifiche di stabilità globale, com'è noto, sono fondamentalmente tre:

A) B) Verifiche al ribaltamento ed allo scorrimento

$$\text{ - al ribaltamento } Gr = \frac{Ms}{Mr} > 1,50$$

$$\text{ - allo scorrimento } Gs = \frac{fxN}{S} = \frac{0,60 \times N}{S} > 1,30$$

C) Verifica allo schiacciamento

- per eccentricità di carichi  $> H/6$

$$P_{max} = \frac{2N}{3NBxd}$$

con  $d$  = distanza tra il bordo del masso ed il punto

l'intersezione della linea d'azione dei carichi verticali, calcolata attraverso la relazione:

$$d = \frac{Ms - Mr}{N}$$

- per eccentricità  $< H/6$

$$P = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$

$$\text{con: } A = 3,00 \times 1,00 = 3,00 \text{ mq}$$

$$W = (1,00 \times 3,00^2)/6 = 1,5 \text{ mc}$$

1. CONDIZIONE (vedi Fig. 3).

Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$M_s = P_1 \times 1,50 + P_2 \times 1,00 + P_3 \times 1,50 + P_4 \times 2,50 + S_{tv} \times 3,00 - S_s \times 1,50 = \\ = 40,91 \text{ t xm}$$

$$M_r = T \times 5,20 + S_{to} \times 1,57 + S_q \times 2,35 = 15,78 \text{ t xm}$$

Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + S_{tv} - S_s = 26,76 \text{ t}$$

$$S = T + S_{to} + S_q = 8,02 \text{ t}$$

Eccentricità:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_s - M_r}{N} = 1,50 - \frac{40,91 - 15,78}{26,76} = 0,56 \text{ m}$$

$$\frac{H}{6} = \frac{3,00}{6} = 0,50 \text{ m}$$

Verifica al ribaltamento:

$$Gr = \frac{M_s}{M_r} = 2,59 > 1,50$$

Verifica allo scorrimento:

$$G_s = \frac{f \times N}{S} = 2,00 > 1,30$$

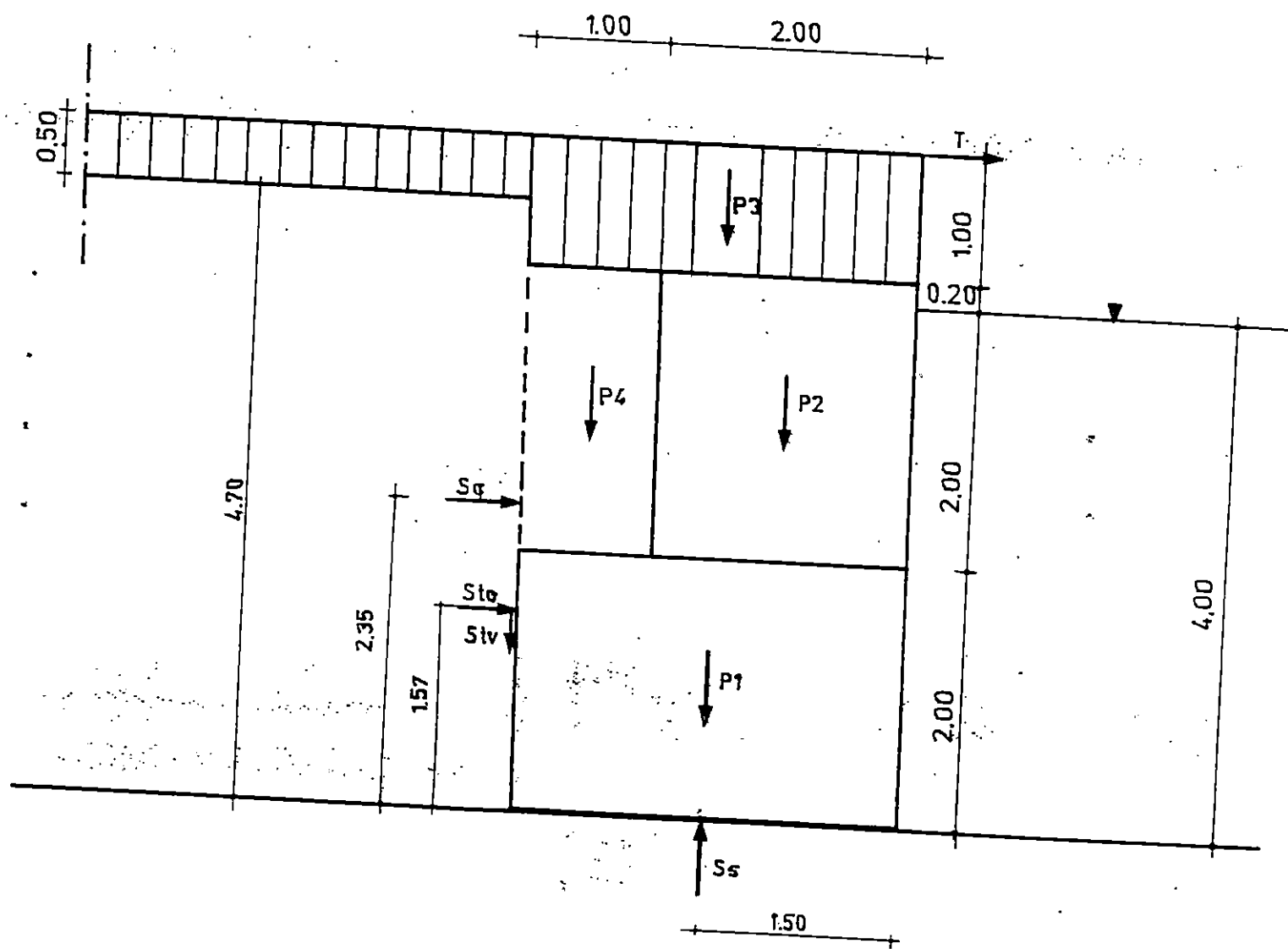
Verifica allo schiacciamento:

$$e > \frac{H}{6}$$

La sezione risulta parzializzata

$$d = \frac{P_1 \times 1,50 + P_2 \times 1,00 + P_3 \times 1,50 + P_4 \times 2,50 - S_s \times 1,50 + S_{tv} \times 3,00}{N} = 1,53 \text{ m}$$

$$p_{\max} = \frac{2 \times N}{3 \times B \times d} = \frac{2 \times 26,76}{3 \times 3,00 \times 1,53} = 3,89 \text{ t/m}^2 = 0,39 \text{ Kg/cm}^2$$



CONDIZIONE 1

Fig. 3

2° CONDIZIONE (vedi Fig. 4)

Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$M_s = P1x1,55 + P2x1,00 + P3x1,50 + P4x2,50 + Stvx3,00 + Soax1,33 + \\ - Ssx1,50 = 51,76 \text{ t xm}$$

$$M_r = Tx5,20 + Stox1,57 + Sqx2,35 + Sobx1,06 + Svcx1,00 = 22,53 \text{ t xm}$$

Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N = P1 + P2 + P3 + P4 + Stv - Ss - Svc = 25,54 \text{ t}$$

$$S = T + Sto + Sq - Soa + Sob = 5,08 \text{ t}$$

Eccentricità:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_s - M_r}{N} = 0,35 \text{ m}$$

Verifica al ribaltamento:

$$Gr = \frac{M_s}{M_r} = 2,30 > 1,50$$

Verifica allo scorrimento:

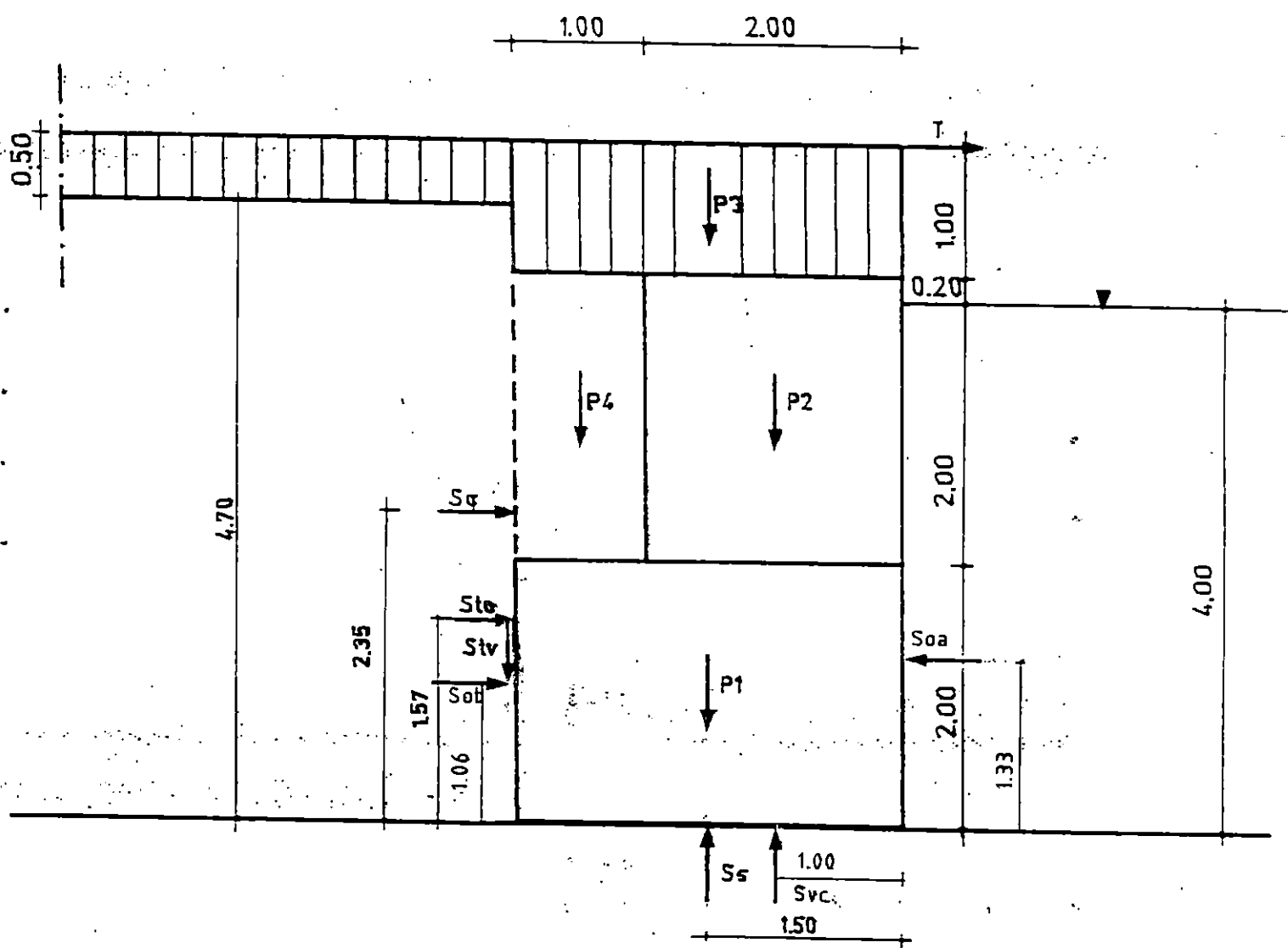
$$Gs = \frac{f \times N}{S} = 3,02 > 1,30$$

Verifica allo schiacciamento:

$$e < \frac{H}{6}$$

La sezione non è parzializzata

$$p = \frac{N}{A} \pm \frac{N \times e}{W} = \begin{aligned} &= p_{\max} = 14,47 \text{ t/m}^2 = 1,45 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= p_{\min} = 2,55 \text{ t/m}^2 = 0,25 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$



CONDIZIONE 2

Fig. 4

3<sup>a</sup> CONDIZIONE (vedi Fig. 51)

Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$M_s = P_1 \times 1,50 + P_2 \times 1,00 + P_3 \times 1,50 + P_4 \times 2,50 + Stv \times 3,00 + Soa \times 1,33 + \\ - Ssx \times 1,50 = 51,76 \text{ txm}$$

$$M_r = T \times 5,20 + Sto \times 1,57 + Sqx \times 2,35 + Ssx \times 1,17 + Sob \times 1,06 + Svc \times 1,00 + \\ + F_1 \times 1,00 + F_2 \times 3,10 + F_3 \times 4,70 + F_4 \times 3,10 + DF \times 3,13 + Fidr \times 2,00 = \\ = 32,60 \text{ txm}$$

Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + Stv - Ss - Svc = 25,54 \text{ t}$$

$$S = T + Sto + Sq - Soa + Sob + F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + DF + Fidr = 8,835 \text{ t}$$

Eccentricità:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_s - M_r}{N} = 0,75 \text{ m}$$

Verifica al ribaltamento:

$$Gr = \frac{M_s}{M_r} = 1,58 > 1,50$$

Verifica allo scorrimento:

$$Gs = \frac{f \times N}{S} = 1,73 > 1,30$$



Verifica alla schiacciamento:

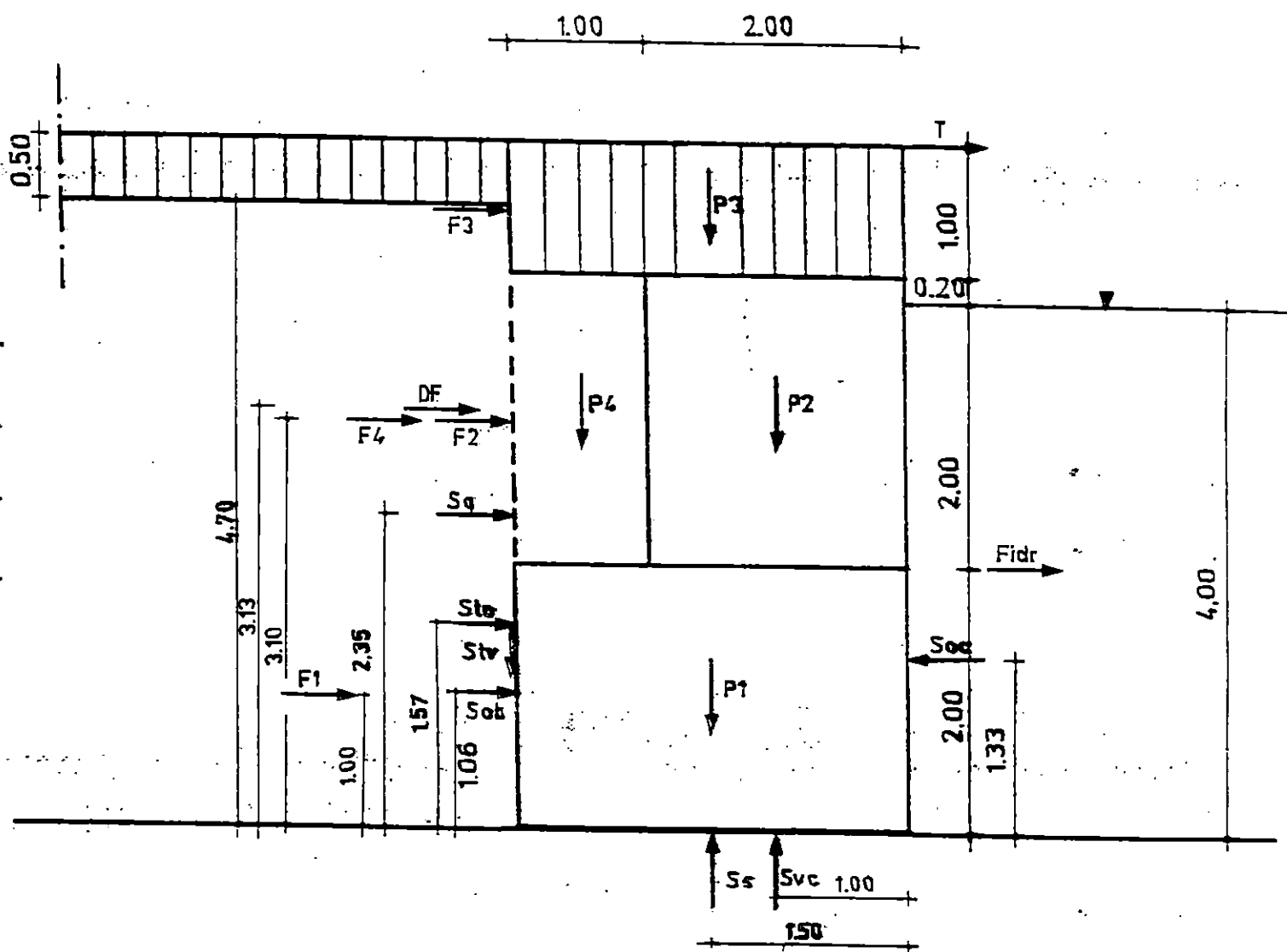
$$\sigma > \frac{6}{H}$$

La sezione risulta parzialmente

$$d = \frac{P1 \times 1,50 + P2 \times 1,00 + P3 \times 1,50 + P4 \times 2,50 - Ss \times 1,50 + St \times 3,00 - Svc \times 1,00}{N}$$

$$= 1,55 \text{ m}$$

$$p_{max} = \frac{2 \times N}{3 \times B \times d} = 3,66 \text{ t/m}^2 = 0,37 \text{ Kg/cm}^2$$



CONDIZIONE 3

Fig. 5

#### 4ª CONDIZIONE (vedi Fig. 6)

Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$M_s = F_1 \times 1,50 + P_2 \times 1,00 + P_3 \times 1,50 + P_4 \times 2,50 + Stv \times 3,00 + Soa \times 1,33 = \\ - Ss \times 1,50 = 52,92 \text{ txm}$$

$$M_r = T \times 5,20 + Sto \times 1,57 + Sq \times 2,35 + Sob \times 1,06 + Svc \times 1,00 + F_1 \times 1,00 + \\ + F_2 \times 3,10 + F_3 \times 4,70 + F_4 \times 3,10 + DF \times 3,13 + Fid_r \times 2,00 = 35,14 \text{ txm}$$

Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + Stv - Ss - Svc = 25,93 \text{ t}$$

$$S = T + Sto + Sq - Soa + Sob + F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + DF + Fid_r = 10,675 \text{ t}$$

Eccentricità:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_s - M_r}{N} = 0,81 \text{ m}$$

Verifica al ribaltamento:

$$Gr = \frac{M_s}{M_r} = 1,51 > 1,50$$

Verifica allo scorrimento:

$$Gs = \frac{f \times N}{S} = 1,46 > 1,30$$

Verifica allo schiacciamento:

$$e > \frac{H}{6}$$

La sezione risulta parzializzata

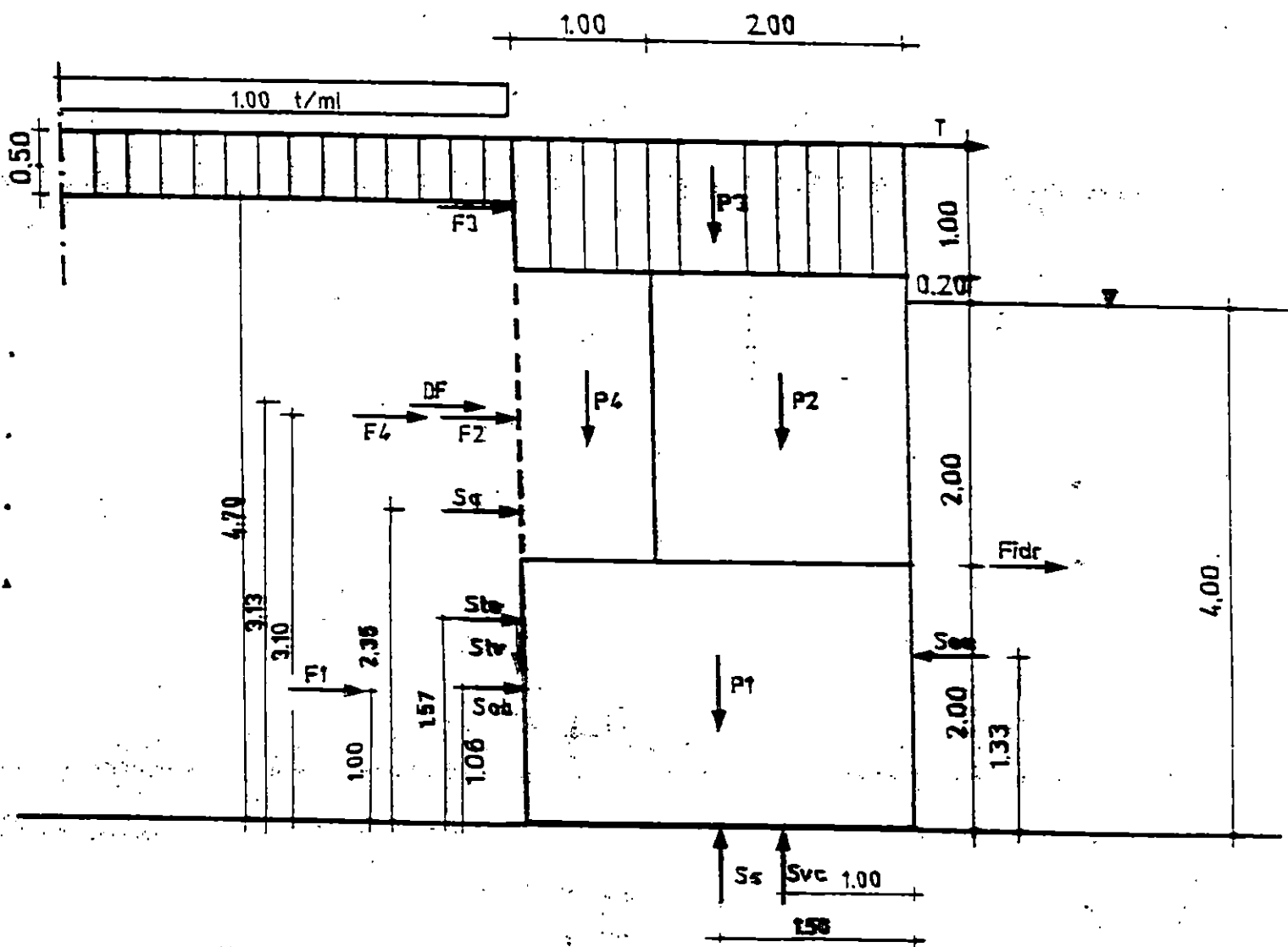
$$d = \frac{P1 \times 1,50 + P2 \times 1,00 + P3 \times 1,50 + P4 \times 2,50 - Ssx1,50 + Stvx3,00 - Svcx1,00}{N} =$$

$$= 1,57 \text{ m}$$

$$p_{\max} = \frac{2 \times N}{3 \times B \times d} = 3,67 \text{ t/m}^2 = 0,37 \text{ Kg/cm}^2$$

I valori riepilogativi delle verifiche globali adesso effettuate sono riportati nella tabella seguente:

CONDIZIONE	Gr	Gs	e [m]	pmax(pmin) [Kg/cm <sup>2</sup> ]
1°	2,59	2,00	0,56	0,29
2°	2,30	3,02	0,35	1,45(0,25)
3°	1,58	1,73	0,75	0,37
4°	1,51	1,46	0,81	0,37



CONDIZIONE 4

Fig. 6

## PARTE 2<sup>a</sup> - VERIFICHE A LIVELLO DI OGNI CONCIO

Le verifiche a livello di ogni concio vengono effettuate per una sola condizione di carico, la più gravosa.

Ovviamente tale condizione di massima sollecitazione risulta variabile in funzione della particolare verifica che ci si appresta a compiere.

Con lo stesso significato dei simboli avremo quindi:

- verifica al ribaltamento	$P + T + M + S$
- verifica allo scorrimento	$P + T + M + S$
- verifica allo schiacciamento	$P + T + M + S + Q$

Per semplicità, nel prosieguo dei calcoli si indicherà la condizione di carico  $P + T + M + S$  come condizione 1, mentre la  $P + T + M + S + Q$  come condizione 2.

Avremo quindi:

$$a = 2,00 \times 1,00 = 2 \text{ mq}$$

$$v = (1,00 \times 2,00^2) / 6 = 0,67 \text{ mc}$$

$$H/6 = 2/6 = 0,33 \text{ m}$$

### CARICHI AGENTI

$$P_2 = 11 \text{ t} \quad P_3 = 7,5 \text{ t} \quad T = 0,50 \text{ t}$$

$$S_s = (2,00 \times 2,00 \times 1,00) \times 1,02 = 4,08 \text{ t}$$

$$S_t = 1/2 \pi w H^2 K = 1/2 \times 1,80 \times 2,7^2 \times 0,30 = 1,97 \text{ t}$$

$$Sto = St \times \cos 15^\circ = 1,9 \text{ t}$$

$$Stv = St \times \sin 15^\circ = 0,51 \text{ t}$$

$$Sq = q H K = 1,25 \times 2,7 \times 0,30 = 1,01 \text{ t}$$

in presenza di sovraccarico:

$$St = 1/2 \tau w H'^2 K = 1/2 \times 1,80 \times 3,26^2 \times 0,30 = 2,87 \text{ t}$$

$$Sto = St \times \cos 15^\circ = 2,77 \text{ t}$$

$$Stv = St \times \sin 15^\circ = 0,74 \text{ t}$$

$$Sq = q H' K = 1,25 \times 3,26 \times 0,30 = 1,22 \text{ t}$$

#### Moto ondoso:

$$Soa = 1/2 \tau w H^2 = 1/2 \times 1,02 \times 2,00^2 = 2,04 \text{ t}$$

$$Sob = 1/2 \tau w H^2 = 1/2 \times 1,02 \times 1,20^2 = 0,734 \text{ t}$$

$$Svc = 1/2 \tau w (H_1 - H_2) B = 1/2 \times 1,02 \times (2,00 - 1,20) \times 2,00 = 0,816 \text{ t}$$

#### Sisma sulle terre:

$$St' = 1/2 \tau w H^2 K = 1/2 \times 1,80 \times 2,70^2 \times 0,347 = 2,28 \text{ t}$$

$$DF = A \times St' - St = 0,997 \times 2,28 - 1,97 = 0,30 \text{ t}$$

in presenza di sovraccarico:

$$St' = 1/2 \tau w H'^2 K = 1/2 \times 1,80 \times 3,26^2 \times 0,347 = 3,32 \text{ t}$$

$$DF = 0,997 \times 3,32 - 2,87 = 0,44 \text{ t}$$

#### Sisma sulle acque:

$$fidr = 3/4 (C \times R) \tau w B^2 H = 3/4 \times 0,07 \times 1 \times 1,02 \times 1,00^2 \times 2,00 = 0,105 \text{ t/ml}$$

$$F_{idr} = 0,105 \times 1,00 = 0,105 \text{ t}$$

Sisma sulle masse:

$$F_2 = P_2 \times 0,07 = 0,77 \text{ t}$$

$$F_3 = P_3 \times 0,07 = 0,525 \text{ t}$$



CONDIZIONE 1 (vedi Fig. 7)

Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$M_s = P_2 \times 1,00 + P_3 \times 1,50 + St_v \times 0,90 + So_a \times 0,67 - Ss \times 1,00 = 17,95 \text{ t xm}$$

$$M_r = T \times 2,20 + St_o \times 0,90 + Sq \times 1,35 + So_b \times 0,40 + Svc \times 0,67 + F_2 \times 1,10 + \\ + F_3 \times 2,70 + DF \times 1,80 + Fid_r \times 1,00 = 7,92 \text{ t xm}$$

Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N = P_2 + P_3 + St_v - Ss - Svc = 12,074 \text{ t}$$

$$S = T + Sq + St_o - So_a + So_b + F_2 + F_3 + DF + Fid_r = 3,804 \text{ t}$$

Verifica al ribaltamento:

$$Gr = \frac{M_s}{M_r} = 2,27 > 1,50$$

Verifica allo scorrimento:

$$Gs = \frac{f \times N}{S} = 1,90 > 1,30$$

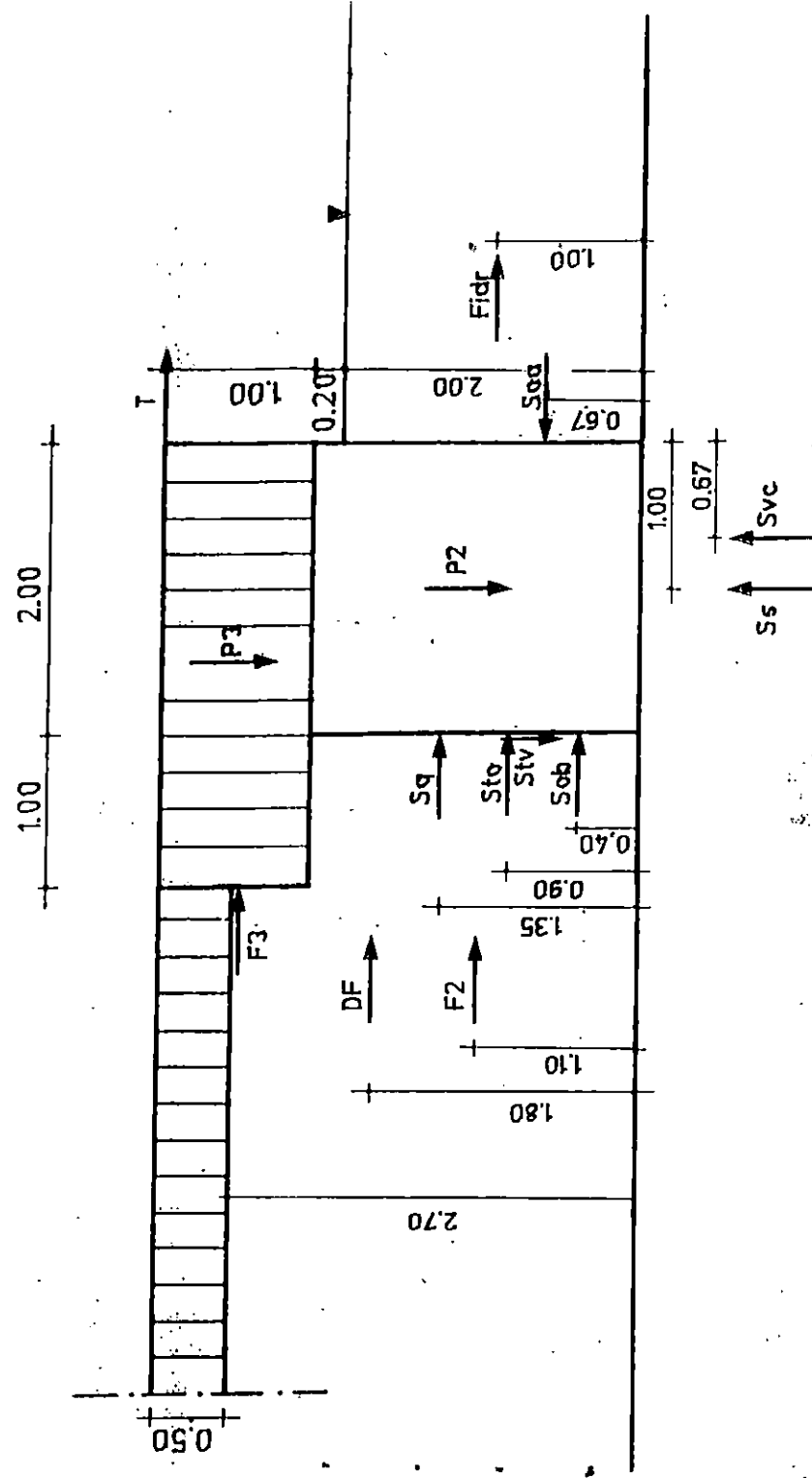


Fig. 7

## CONDIZIONE 2

Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$M_s = P_2 \times 1,00 + P_3 \times 1,50 + St_v \times 0,90 + So_a \times 0,67 - Ss \times 1,00 = 18,16 \text{ t xm}$$

$$M_r = T \times 2,20 + St_o \times 0,90 + Sq \times 1,35 + So_b \times 0,40 + Svc \times 0,67 + F_2 \times 1,10 + F_3 \times 2,70 + DF \times 1,80 + Fid_r \times 1,00 = 9,24 \text{ t xm}$$

Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N = P_2 + P_3 + St_v - Ss - Svc = 12,304 \text{ t}$$

$$S = T + Sq + St_o - So_a + So_b + F_2 + F_3 + DF + Fid_r = 5,024 \text{ t}$$

Eccentricità:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_s - M_r}{N} = 0,27 \text{ m}$$

Verifica allo schiacciamento:

$$e < \frac{H}{6}$$

La sezione non è parzializzata

$$p = \frac{N}{A} \pm \frac{N \times e}{W} = \begin{aligned} &= p_{\max} = 11,11 \text{ t/m}^2 = 1,11 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= p_{\min} = 1,19 \text{ t/m}^2 = 0,12 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## BANCHINA DI RIVA IMBASATA A QUOTA -2,00

### VERIFICHE GLOBALI

#### 1. - CONSIDERAZIONI GENERALI

La banchina in argomento viene realizzata in blocchi di calcestruzzo.

Al fine di verificare la stabilità globale dell'opera si fa riferimento ad uno schema ideale semplificato che ipotizza una condizione di monoliticità dei blocchi di calcestruzzo.

Nei calcoli che seguono, si sono considerati i seguenti pesi specifici:

- peso specifico blocco di cls.....2,50 t/mc
- peso specifico soletta a tergo  
della banchina.....2,50 t/mc
- peso specifico terreno.....1,80 t/mc
- peso specifico acqua di mare.....1,02 t/mc

Inoltre si è ipotizzato un sovraccarico accidentale sulla banchina pari a 1 t/mq, così ripartito:

- sovraccarichi fissi	0,80	t/mq
- sovraccarichi mobili	0,20	t/mq
totale	1,00	t/mq

un tiro alle bitte corrispondente a 0,50 t/m e un coefficiente di attrito fra la struttura e il piano di fondazione pari a 0,60.

# SEZIONE TIPO BANCHINA DI RIVA IMBASATA A QUOTA -2.00

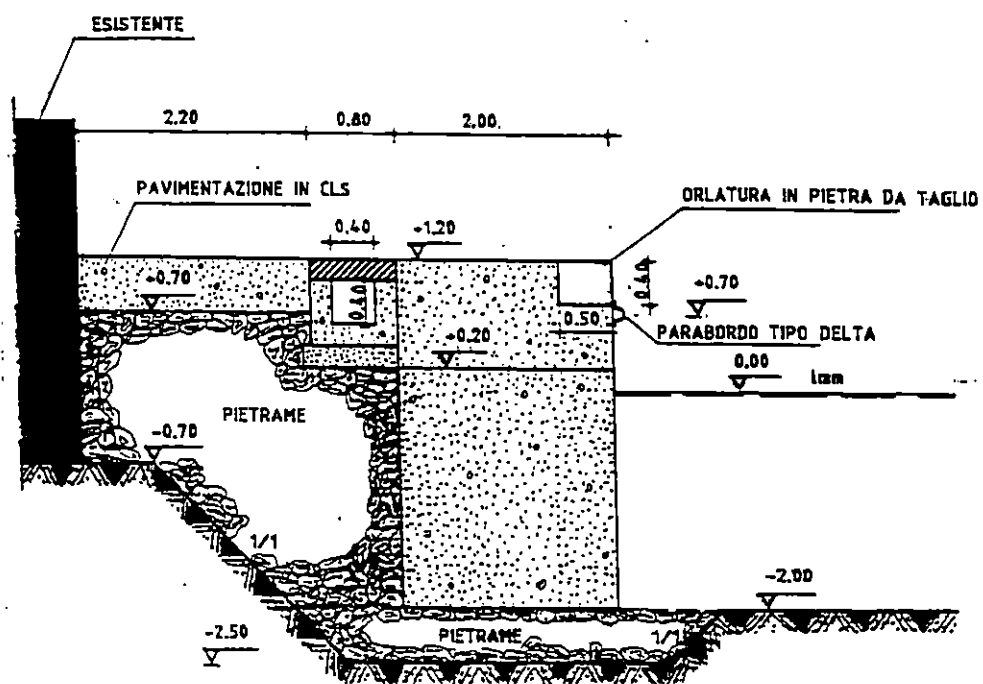


Fig. 8

## 1.1. - CARICHI VERTICALI

Pesi struttura:

$$P1 = (2,00 \times 2,20 \times 1,00) \times 2,50 = 11 \text{ t}$$

$$P2 = (3,00 \times 1,00 \times 1,00) \times 2,50 = 7,5 \text{ t}$$

Sovraccarico:

$$Q = (0,50 \times 1,00 \times 1) \times 2,50$$

$$q = Q/l = 1,25 \text{ t/mq}$$

altezza fittizia generata dal sovraccarico:

$$h' = \frac{q}{\tau t} = \frac{1,00}{1,80} = 0,56 \text{ m}$$

Sottospinta:

$$Ss = (2,00 \times 2,00 \times 1,00) \times 1,02 = 6,12 \text{ t}$$

## 1.2. CARICHI ORIZZONTALI

Tiro alla bitta:

$$T = 0,50 \times 1,00 = 0,50 \text{ t}$$

Azioni del rinterro a tergo dei blocchi:

Il coefficiente di spinta viene determinato con la formula del Krey:

$$K = \frac{\text{sen}^2(\alpha + \Phi)}{\text{sen}^2 \alpha \times \text{sen}(\alpha - \theta) \times \left[ 1 + \frac{\text{sen}(\Phi + \theta) \times \text{sen}(\Phi - \epsilon)}{\text{sen}(\alpha - \theta) \times \text{sen}(\alpha + \epsilon)} \right]^2}$$

dove:

$\alpha$  - Angolo formato dal paramento interno con l'orizzontale =  $90^\circ$

$\Phi$  - Angolo di attrito interno del terreno =  $30^\circ$

$\theta$  - Angolo di attrito tra il terreno ed il calcestruzzo delle  
piloti =  $15^\circ$

$\epsilon$  - Angolo tra l'estradosso del terrapieno ed il piano  
orizzontale =  $0^\circ$

Per cui si ottiene :  $K = 0,30$

La spinta complessiva per ml di parete si ottiene da:

$$St = \frac{1}{2} \gamma t H^2 K = \frac{1}{2} 1,80 \times 2,70^2 \times 0,30 = 1,97 \text{ t}$$

essa è applicata ad 1/3 dell'altezza del muro. Le componenti di tale spinta sono:

$$Sto = St \times \cos \theta = 1,97 \times \cos 15^\circ = 1,90 \text{ t}$$

$$Stv = St \times \sin \theta = 1,97 \times \sin 15^\circ = 0,51 \text{ t}$$

Oltre ad essa è presente anche una spinta sulla struttura provocata dal peso della soletta posta a tergo della banchina:

$$Sq = q H K = 1,25 \times 2,70 \times 0,30 = 1,01 \text{ t}$$

In presenza di sovraccarico, bisogna considerare un'altezza fittizia  $h'$  ( già calcolata ), le spinte delle terre diventano quindi:

$$H' = H + h' = 2,70 + 0,56 = 3,26 \text{ m}$$

$$St = \frac{1}{2} \gamma H'^2 K = \frac{1}{2} 1,80 \times 3,26^2 \times 0,30 = 2,87 \text{ t}$$

$$Sto = St \times \cos \theta = 2,87 \times \cos 15^\circ = 2,77 \text{ t}$$

$$Stv = St \times \sin \theta = 2,87 \times \sin 15^\circ = 0,74 \text{ t}$$

$$Sq = q H' K = 1,25 \times 3,26 \times 0,30 = 1,22 \text{ t}$$

#### 1.2.2.3.3.3.

In presenza di moto ondoso si considera un abbassamento del livello del mare di 0,80 ml.

Le spinte dovute al moto ondoso vengono così computate:

$$Soa = 1/2 \gamma_w H^2 = 1/2 \times 1,02 \times 2,00^2 = 2,04 \text{ t}$$

$$Sob = 1/2 \gamma_w H^2 = 1/2 \times 1,02 \times 1,20^2 = 0,734 \text{ t}$$

$$Soc = 1/2 \gamma_w (H_1 - H_2) B = 1/2 \times 1,02 \times (2,00 - 1,20) \times 2,00 = 0,816 \text{ t}$$



### Sisma sulle terre

In presenza di sisma bisogna considerare un incremento di spinta DF pari alla differenza tra la spinta Sts esercitata dal terreno retrostante in condizioni sismiche e quella statica St:

$$DF = Sts - St$$

in cui:

$$Sts = A \times St'$$

dove:

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta')}{\cos^2 \beta \times \cos \theta'} = 0,997$$

$$\theta' = \arctan c = 4^\circ$$

$$c = \frac{S - 2}{100} = \frac{9 - 2}{100} = 0,07$$

S = grado di sismicità della zona = 9

$\beta$  = angolo formato dall'intradosso del muro con la verticale

St' = spinta calcolata per:

$$\epsilon' = \epsilon + \theta' = 4^\circ \quad \alpha' = \alpha - \theta' = 86^\circ$$

In queste condizioni risulta:

$$K' = 0,347 \quad St' = 2,28 \text{ t}$$

Per cui:

$$DF = A \times St' - St = 0,997 \times 2,28 - 1,97 = 0,30 \text{ t}$$

Mentre in presenza di sovraccarico:

$$St' = 1/2 \times 1,80 \times 3,26^2 \times 0,347 = 3,32 \text{ t}$$

$$DF = 0,997 \times 3,32 - 2,87 = 0,44 \text{ t}$$

#### Sisma sulle acque:

L'azione del sisma sulle onde viene valutato adattando alla situazione in esame le formule SEHB Giapponesi valevoli per corpi a sezione cilindrica:

$$fidr = 3/4 ( C \times R ) \times tw \times B^2 \times H$$

con :

$$C = \text{coeff. sismico} = 0,07$$

$$R = \text{coeff. risposta} = 1,00$$

$$B = \text{fascia unitaria} = 1,00 \text{ ml}$$

$$H = \text{altezza banchina} = 4,00 \text{ ml}$$

$$fidr = 3/4 \times 0,07 \times 1,00 \times 1,02 \times 1,00^2 \times 2,00 = 0,105 \text{ t/ml}$$

La parete di 1,00 ml si ha quindi.

$$Fidr = 0,105 \times 1,00 = 0,105 \text{ t}$$

#### Sisma sulle masse:

Le forze sismiche si ottengono moltiplicando i vari pesi per il coefficiente di intensità sismico ( $c=(S-2)/100$ , con  $S=9$ ), otterremo di conseguenza:

$$F1 = P1 \times 0,07 = 0,77 \text{ t}$$

$$F2 = P2 \times 0,07 = 0,525 \text{ t}$$

### 1.3. - CONDIZIONI DI CARICO

Le verifiche globali vengono effettuate per una sola condizione di carico, la più gravosa.

Ovviamente tale condizione di massima sollecitazione risulta variabile in funzione della particolare verifica che ci si appresta a compiere.

Prenderemo pertanto in considerazione, in funzione del tipo di verifica, le seguenti condizioni di carico:

- |                                |                     |
|--------------------------------|---------------------|
| - verifica al ribaltamento     | $P + T + M + S$     |
| - verifica allo scorrimento    | $P + T + M + S$     |
| - verifica allo schiacciamento | $P + T + M + S + Q$ |

dove i vari simboli hanno il seguente significato:

P = carichi permanenti.

T = tiro alla bitta.

M = moto ondoso.

S = spinta.

Q = carico accidentale sulla banchina.

ed inoltre:

N = totale carichi verticali.

S = totale spinta.

Ms = momento stabilizzante.

Mr = momento ribaltante.

Per semplicità, nel prosieguo dei calcoli si indicherà la condizione di carico  $P + T + M + S$  come condizione 1. mentre la  $P + T + M + S + Q$  come condizione 2.

#### 1.4. - VERIFICHE

Le verifiche di stabilità globale, com'è noto, sono fondamentalmente tre:

A) B) Verifiche al ribaltamento ed allo scorrimento

- al ribaltamento 
$$Gr = \frac{Ms}{Mr} > 1,50$$

- allo scorrimento 
$$Gs = \frac{fxN}{S} = \frac{0,60 \times N}{S} > 1,30$$

C) Verifica allo schiacciamento

- per eccentricità di carichi  $> H/6$

$$P_{max} = \frac{2 N}{3xBxd}$$

con  $d$  = distanza tra il bordo del masso ed il punto d'applicazione della risultante dei carichi verticali, calcolata attraverso la relazione:

$$d = \frac{Ms - Mr}{N}$$

- per eccentricità  $< H/6$

$$P = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$

con:  $A = 2,00 \times 1,00 = 2,00 \text{ mq}$

$W = (1,00 \times 2,00^2)/6 = 0,67 \text{ mc}$

CONDIZIONE 1 (vedi Fig. 9)

Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$M_s = P_1 \times 1,00 + P_2 \times 1,50 + St_v \times 0,90 + So_a \times 0,67 - Ss \times 1,00 = 17,95 \text{ t xm}$$

$$M_r = T \times 2,20 + St_o \times 0,90 + Sq \times 1,35 + So_b \times 0,40 + Svc \times 0,67 + F_1 \times 1,10 + \\ + F_2 \times 2,70 + DF \times 1,80 + Fidr \times 1,00 = 7,92 \text{ t xm}$$

Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N = P_1 + P_2 + St_v - Ss - Svc = 12,074 \text{ t}$$

$$S = T + Sq + St_o - So_a + So_b + F_1 + F_2 + DF + Fidr = 3,804 \text{ t}$$

Verifica al ribaltamento:

$$Gr = \frac{M_s}{M_r} = 2,27 > 1,50$$

Verifica alla scivolamento:

$$Gs = \frac{f \times N}{S} = 1,90 > 1,30$$

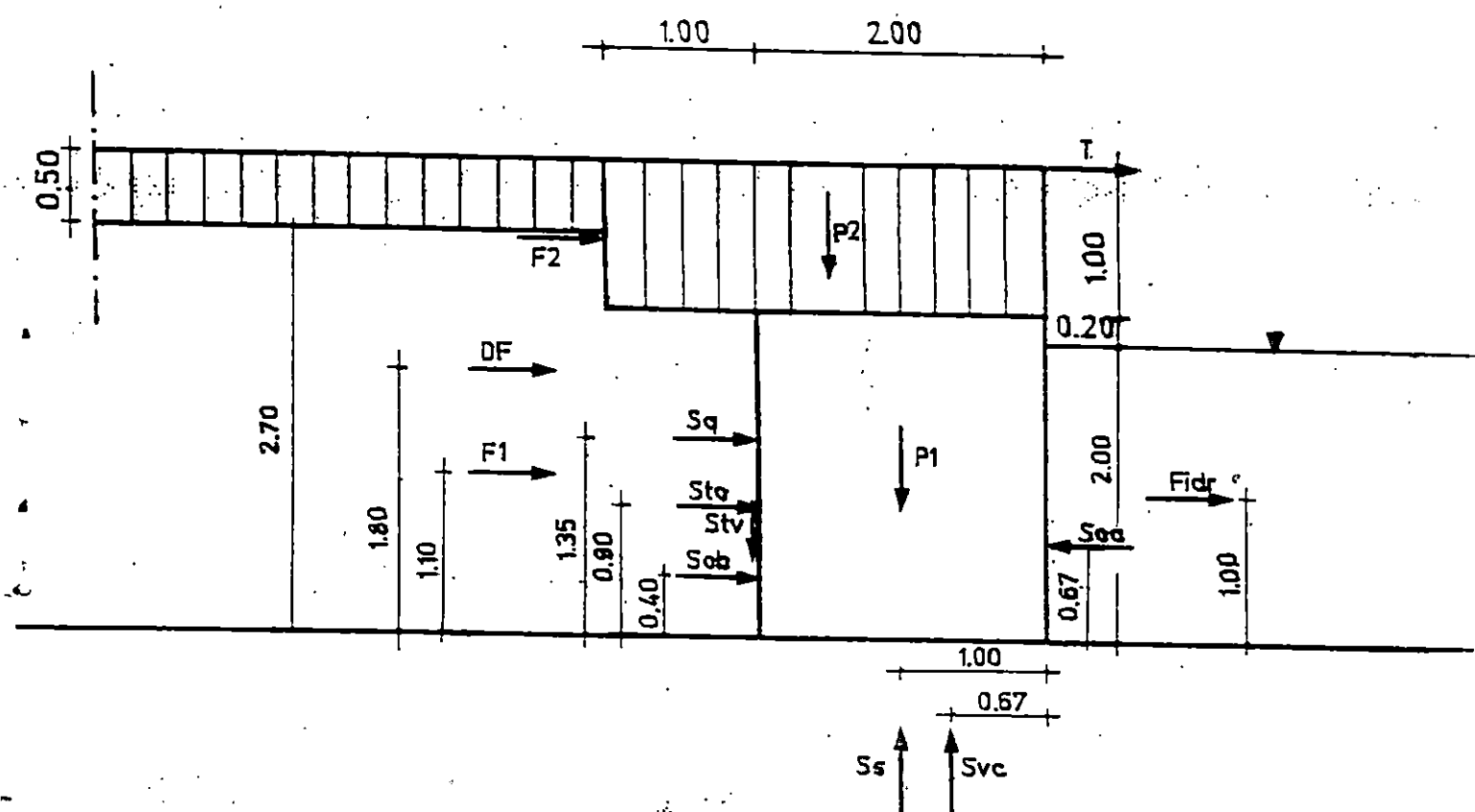


Fig. 9

## CONDIZIONE 2

Somma momenti stabilizzanti e ribaltanti:

$$M_s = P1x1,00 + P2x1,50 + Stvx0,90 + Soax0,67 - Ssx1,00 = 18,16 \text{ t xm}$$

$$M_r = Tx2,20 + Stox0,90 + Sqx1,35 + Sobx0,40 + Svcx0,67 + Fix1,10 + \\ + F2x2,70 + DFx1,80 + Fidr1,00 = 9,24 \text{ t xm}$$

Risultante forze verticali e orizzontali:

$$N = P1 + P2 + Stv - Ss - Svc = 12,304 \text{ t}$$

$$S = T + Sq + Sto - Soa + Sob + F1 + F2 + DF + Fidr = 5,024 \text{ t}$$

Eccentricità:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_s - M_r}{N} = 0,27 \text{ m}$$

Calcolo della schiacciata:

$$e < \frac{H}{6}$$

La sezione non è parzializzata

$$p = \frac{N}{A} \pm \frac{N \times e}{W} = \begin{aligned} &= p_{\max} = 11,11 \text{ t/m}^2 = 1,11 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= p_{\min} = 1,19 \text{ t/m}^2 = 0,12 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$