

**SEZIONE A – LAUREA SPECIALISTICA
SETTORE CIVILE E AMBIENTALE**

Prova pratica per la classe 28/S – LM 23 Ingegneria Civile
Ingegneria dei Sistemi di Trasporto

Prestazioni dei veicoli e dimensionamento di un sistema di trasporto

Una linea ferroviaria suburbana a doppio binario lunga 50 km suddivisa in 10 tratte di uguale lunghezza presenta un dislivello di 500 m fra le stazioni terminali. Il convoglio che si intende utilizzare è costituito da una unità di trazione che presenta una caratteristica meccanica di trazione on un tratto a forza costante fino alla velocità V_0 ed uno successivo a potenza costante fino alla velocità massima. La forza di trazione allo spunto è tale da assicurare al convoglio a pieno carico un'accelerazione di 1 m/s^2 in piano e rettilineo. La capacità frenante del convoglio è invece tale da garantire in ogni condizione una decelerazione di servizio di 1 m/s^2 . Nell'ora di punta e nella direzione più carica si richiede una potenzialità di almeno 1000 passeggeri/h.

Si richiede:

- 1) Il consumo [Wh] ed il consumo specifico [Wh/tkm] sul giro per il generico treno riferiti sia al cerchione che alla sottostazione.
- 2) La stesura dell'orario informa tabellare, provvedendo ad arrotondare per eccesso i tempi di percorrenza in modo da fornire al pubblico orari di partenza e di arrivo arrotondati al minuto.
- 3) Il tracciamento dell'orario grafico del servizio per l'ora di punta ed il parco veicolare necessario per soddisfare tale domanda.



| Caratteristiche del treno regionale | | |
|---|--------------------|---------|
| Tara | 92 | t |
| Percentuale delle masse rotanti rispetto alla tara | 13 | % |
| Potenza di trazione oraria al cerchione per $V_0 \leq V \leq V_{max}$ | 1250 | kW |
| Resistenza specifica al moto del treno in piano e rettilineo (velocità V in [km/h]) | $2 + 2,8(V/100)^2$ | N/kN |
| Posti totali del treno | 346 | |
| Massa del passeggero | 75 | kg |
| Rendimento medio della trasmissione di energia ruote-pantografo | 0,87 | |
| Potenza media al pantografo assorbita dai servizi ausiliari | 50 | kW |
| Caratteristiche della linea | | |
| Velocità massima | 140 | km/h |
| Rendimento medio della trasmissione di energia elettrica dalla sottostazione al pantografo | 0,90 | |
| Caratteristiche dell'esercizio | | |
| Intervallo temporale minimo fra arrivo e successiva partenza di un treno alle stazioni capolinea | 15 | minuti |
| Tempo di sosta alle fermate intermedie | 60 | secondi |

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale
 Esame di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere
 I sessione 2012 - settore Ingegneria Civile e Ambientale
 Sezione A – Laurea specialistica

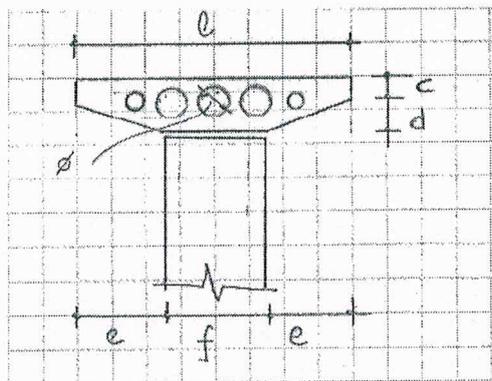
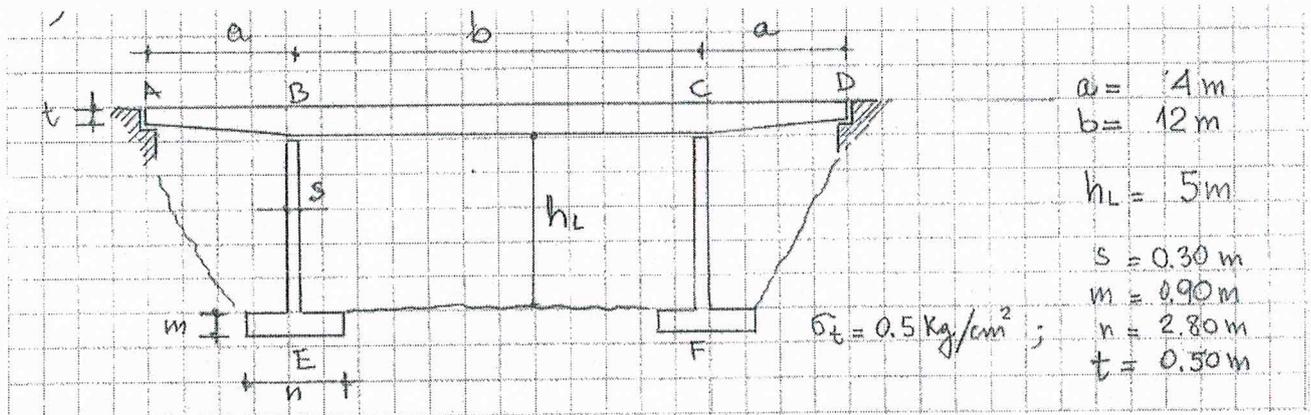
IV Prova pratica

Classi di laurea **Classi di laurea LM23, 28/S**
Ingegneria Civile; Ingegneria dei Sistemi di trasporto; Ingegneria Strutturale e Geotecnica

TEMA 1

Si deve realizzare una passerella pedonale in C.A. delle dimensioni in figura e posto in **zona sismica I**. La trave è continua sugli appoggi ABCD ed è alleggerita mediante tubi di diametro $\Phi = 200$ e 400 mm. Il candidato verifichi il dimensionamento della trave, del pilastro e della fondazione, di cui si deve calcolare la lunghezza.

Si consideri un sovraccarico accidentale $p = 500$ kg/mq ed una tensione ammissibile ed una tensione ammissibile del terreno $\sigma_t = 0,5$ kg/cmq.



Materiali:
 B450C ; C25/30

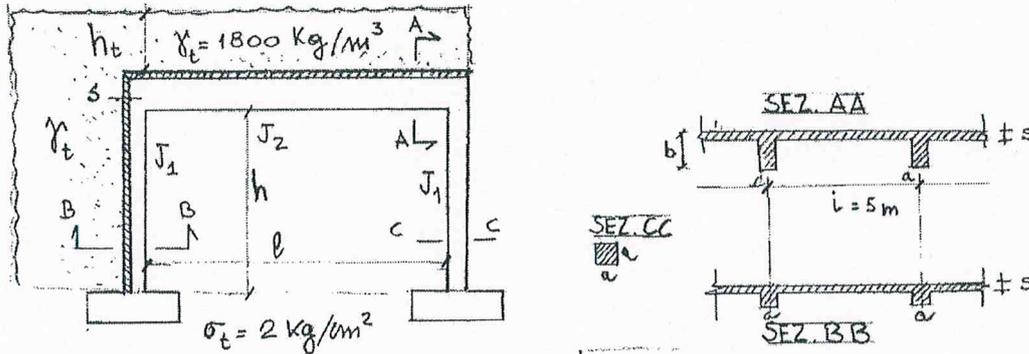
In scala 1:50 e 1:20 si devono disegnare: a) la carpenteria ed armatura della trave ABCD; b) la carpenteria ed armatura del pilastro BE; c) la carpenteria ed armatura della fondazione a plinto isolato F; d) i dettagli dell'appoggio A e B tra trave continua, spalla e pilastro. Altri dati necessari vengano fissati dal candidato.

TEMA 2

In zona sismica I si deve realizzare una galleria mediante dei portali delle dimensioni riportate in figura, aventi interasse $i = 5$ m e collegati con soletta di spessore s , con giacitura orizzontale e verticale. Il terreno di riempimento ha un peso specifico $\gamma_t = 1800$ kg/mc e copre per una altezza $ht = 2$ m.

I pilastri hanno sezione quadrata axa e le travi una sezione rettangolare axb : il rapporto tra i momenti di inerzia è $J_2/J_1 = 2,5$.

Il candidato deve 1) dimensionare pilastri e travi in c.a.; 2) dimensionare un plinto di fondazione, fissata una tensione ammissibile del terreno $\sigma_t = 2,0 \text{ kg/cm}^2$; 3) dimensionare la soletta s ; 4) disegnare in scala 1:50, 1:20 le carpenterie e le armature di tutti gli elementi strutturali dimensionati.



$l = \text{luce netta} = 10\text{m}$; $h = \text{altezza netta} = 5\text{m}$;

Le caratteristiche dei materiali sono fissate dal candidato come anche tutti gli altri dati necessari per il Calcolo.

TEMA 3

Prestazioni dei veicoli e dimensionamento di un sistema di trasporto

Una linea ferroviaria suburbana a doppio binario lunga 50 km suddivisa in 10 tratte di uguale lunghezza presenta un dislivello di 500 m fra le stazioni terminali. Il convoglio che si intende utilizzare è costituito da una unità di trazione che presenta una caratteristica meccanica di trazione on un tratto a forza costante fino alla velocità V_0 ed uno successivo a potenza costante fino alla velocità massima. La forza di trazione allo spunto è tale da assicurare al convoglio a pieno carico un'accelerazione di 1 m/s^2 in piano e rettilineo. La capacità frenante del convoglio è invece tale da garantire in ogni condizione una decelerazione di servizio di 1 m/s^2 . Nell'ora di punta e nella direzione più carica si richiede una potenzialità di almeno 1000 passeggeri/h.

Si richiede:

- 1) Il consumo [Wh] ed il consumo specifico [Wh/tkm] sul giro per il generico treno riferiti sia al cerchione che alla sottostazione.
- 2) La stesura dell'orario in forma tabellare, provvedendo ad arrotondare per eccesso i tempi di percorrenza in modo da fornire al pubblico orari di partenza e di arrivo arrotondati al minuto.
- 3) Il tracciamento dell'orario grafico del servizio per l'ora di punta ed il parco veicolare necessario per soddisfare tale domanda.

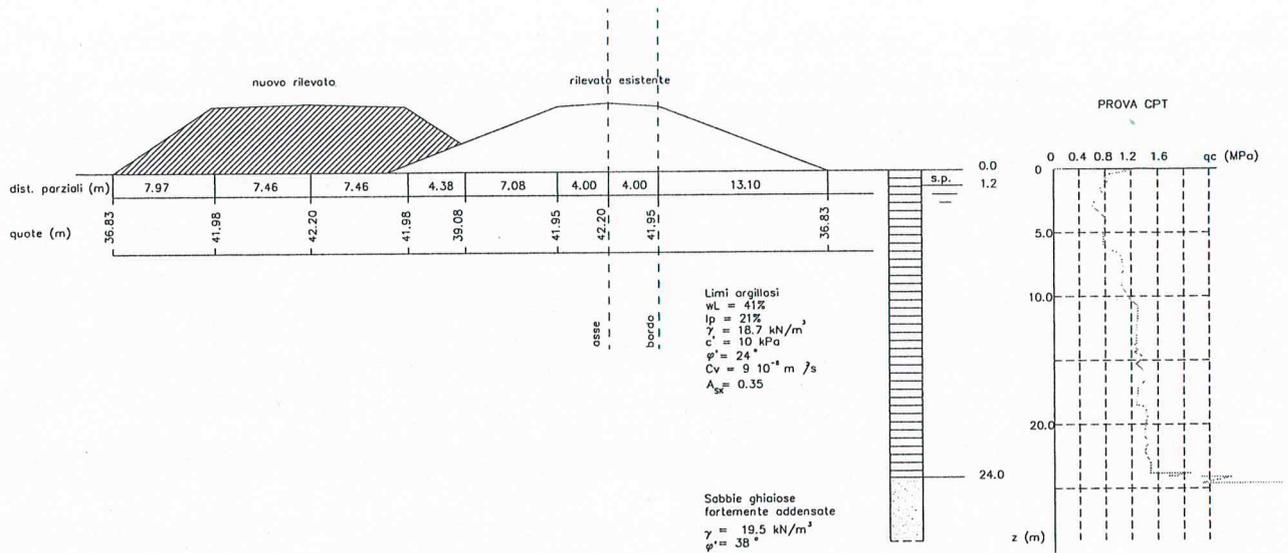
TEMA 4

La realizzazione di una nuova linea ferroviaria richiede la costruzione di un nuovo rilevato in affiancamento a quello esistente. Una sezione tipo dei due rilevati è riportata in allegato. Il tempo di costruzione è pari a circa 6 mesi.

Si richiede di verificare la sicurezza del nuovo rilevato e di calcolare i cedimenti indotti dalla costruzione del nuovo rilevato in asse e al bordo del rilevato esistente dopo 50 mesi dal termine della costruzione.

La stratigrafia del sito e le caratteristiche geotecniche dei terreni sono riportate in allegato. Le proprietà dei terreni sono state desunte da indagini effettuate in zone non interessate dalla presenza del rilevato esistente. Il materiale costituente i rilevati ha un peso dell'unità di volume pari a $19,5 \text{ kN/m}^3$.

Handwritten signatures and initials at the bottom of the page.

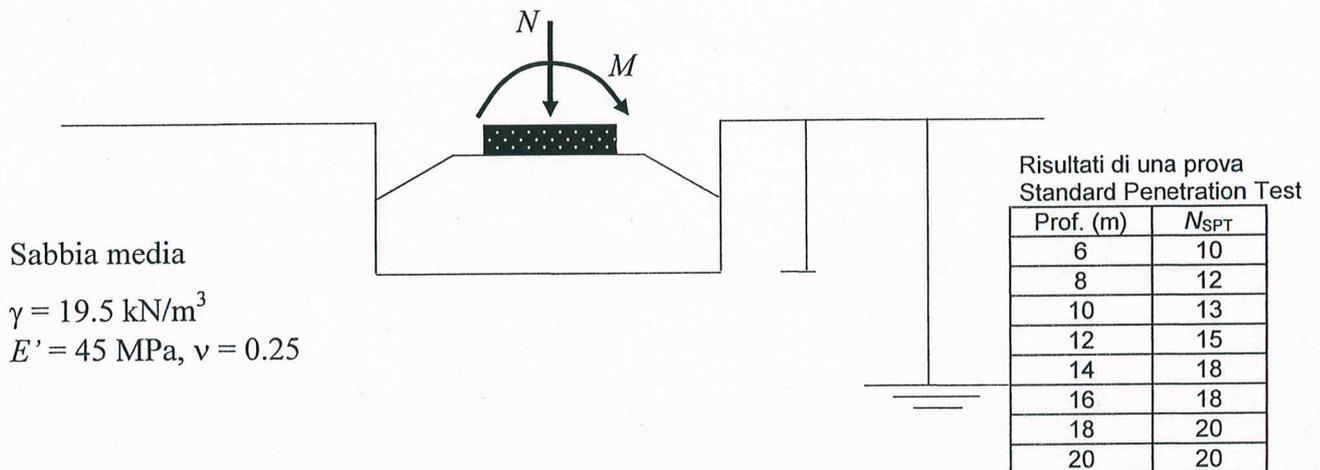


TEMA 5

La fondazione di un pila da ponte, costituita dal plinto quadrato illustrato in figura, è soggetta ad una forza normale $N = 105 \text{ MN}$ e ad una coppia $M = 74 \text{ MNm}$.

Il sottosuolo, interessato da una falda con pelo libero a 7 m di profondità, è costituito da sabbia di granulometria media e può considerarsi omogeneo.

Si richiede il dimensionamento geotecnico del plinto fondazione.



Handwritten signatures and initials:
 Fu, P, S. P. S. S. S., P. M. M., W. W.

TEMA 6

La sorgente S alimenta i tre centri abitati A, B e C di caratteristiche altimetriche e demografiche note (si ipotizzano andamenti lineari delle quote tra i diversi centri abitati ed il partitore).

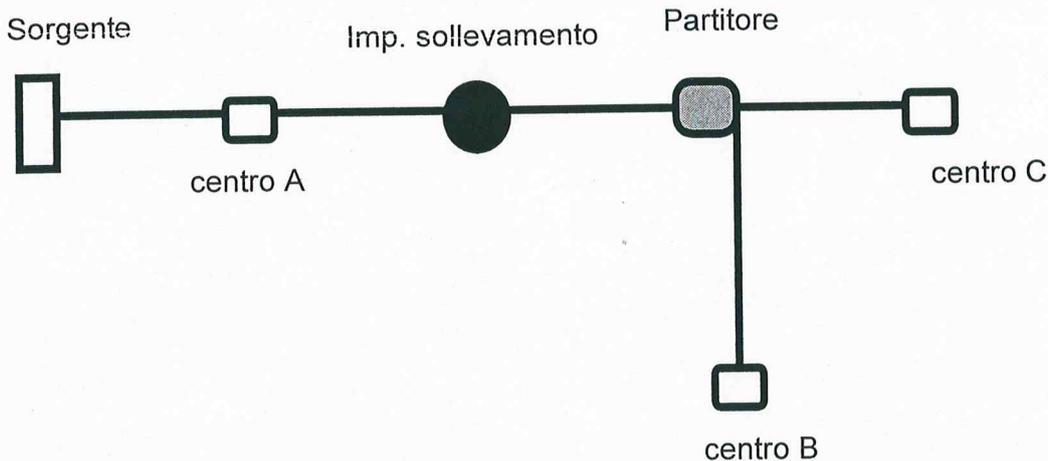
Dimensionare secondo criteri di massima economia la condotta di alimentazione, l'impianto di sollevamento, il partitore di portata ed i serbatoi di compenso dei tre centri.

Dopo averne individuato la localizzazione, dimensionare l'impianto di sollevamento, indicando le caratteristiche delle macchine operatrici impiegate.

Si provveda alla progettazione idraulica e strutturale del partitore, supposto semi-interrato, assumendo i seguenti parametri geotecnici per il terreno di fondazione: $\gamma = 1750 \text{ kg/m}^3$, $c = 0$, $\varphi = 32^\circ$ e falda a -1.5 m dal piano campagna.

- Sorgente: quota: 150 m.s.m.
- Centro A: quota: 130 m.s.m., 6.500 abitanti, $L_{SA} = 2.000 \text{ m}$
- Centro B: quota: 210 m.s.m., 11.000 abitanti, $L_{SB} = 10.000 \text{ m}$
- Centro C: quota: 260 m.s.m., 12.000 abitanti, $L_{SC} = 8.500 \text{ m}$
- Partitore P a pelo libero: quota: 300 m.s.m., $L_{SP} = 7.500 \text{ m}$
- Rendimento pompe 0.70
- Costo dell'energia € 0,21 / kWh
- Tasso di attualizzazione 4,5 %
- Costo delle condotte € 1,00 / kg
- **Peso della tubazione** $P_t = 250 D^{1.45}$
- Costo del serbatoio € 500,00 / m³

Il candidato completi ed integri i dati forniti con ogni dato ritenga opportuno, motivandone brevemente la necessità e la scelta dei valori attribuiti.



fh

P

Stefano

Alle R/S

P.M.M.

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

Facoltà di Ingegneria

Esame di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere

I sessione 2012

Sezione A – Laurea Magistrale – Settore civile e ambientale

Prova pratica – Ingegneria Civile

TEMA 7

Con riferimento alla cartografia allegata (scala 1:1000), è dato l'asse di una linea ferroviaria storica a doppio binario (circolazione omotachica per trasporto pubblico locale) per un breve tratto in curva con raggio pari a 150 m.

I parametri di progetto attuali (modello di esercizio) sono i seguenti:

- *scartamento nominale* $s = 1500$ mm;
- *accelerazione non compensata* $a_{nc} = 0.6$ m/s²;
- *sopraelevazione massima* $h_{max} = 140$ mm;
- *rapporto variazione della insufficienza di sopraelevazione* $dI/dt = 40$ mm/s (contraccolpo pari a circa 0.25 m/s³);
- *velocità massima* $V_{max} = 50$ km/h;
- *pendenza massima raccordo (sghembo massimo)* $dH/dl = 2$ ‰;

Effettuare un predimensionamento geometrico del tratto di tracciato in curva (per l'asse dei binari) considerando di voler adottare per la linea un incremento di velocità pari a 10 km/h ed ipotizzando di poter incrementare la sopraelevazione massima fino a 160 mm lasciando inalterati gli altri parametri del modello di esercizio.

Le geometria del tracciato attuale può essere ricavata, se necessaria, dalla cartografia allegata con precisione grafica. Gli altri dati necessari possono essere scelti liberamente nel rispetto della normativa.

Per il tracciato si richiede:

- ✓ una relazione tecnica con l'indicazione dei calcoli;
- ✓ la planimetria di tracciamento in scala 1:1000;
- ✓ il profilo altimetrico.

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale
Esame di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere
I sessione 2012 - settore Ingegneria Civile e Ambientale
Sezione A - Laurea Specialistica

IV Prova pratica

Classe di laurea LM35, 38S
Ingegneria per l'ambiente e il territorio; Ingegneria dell'Ambiente per lo Sviluppo Sostenibile

TEMA 1

Dopo aver assunto opportuni valori dei parametri a base dei calcoli e aver fornito una motivazione delle scelte effettuate, il candidato stimi la produzione di fanghi biologici di supero di un impianto di trattamento delle acque reflue urbane a servizio di un centro abitato dotato di fognatura mista ed avente una popolazione equivalente di 150.000 abitanti.

Il Candidato dimensiona dunque le unità costituenti la linea di trattamento fanghi, che dovranno includere uno stadio di digestione anaerobica per la stabilizzazione biologica della sostanza organica, assumendo a sua discrezione, e motivandone la scelta, i dati che ritiene utili ai fini della progettazione. Nell'elaborato, il Candidato fornisca altresì una descrizione delle misure e dei dispositivi che dovranno essere adottati per la riduzione degli impatti sull'ambiente circostante delle unità oggetto del dimensionamento.

Si eseguano inoltre i calcoli strutturali relativi ad un particolare della vasca di stoccaggio temporaneo dei fanghi (fondo o parete), nell'ipotesi che questa sia realizzata in un deposito di terreno limo-sabbioso caratterizzato dai seguenti valori dei parametri geotecnici: $(\gamma = 17 \text{ kN/m}^3; c' = 0; \phi' = 26)$ e che il livello della falda sia a quota -0,30 cm dal piano campagna.

TEMA 2

Si prenda in considerazione un impianto di comminuzione che debba trattare 800 tonnellate al giorno di un minerale di media durezza ($W_i = 18 \text{ kWh/short}$). Sia il primo stadio di comminuzione costituito da un Jaw-Crusher di cui in Tabella 1 sono riportati i dati dell'alimentazione ed in Figura 1 viene rappresentato il modello matematico di riferimento, essendo B la matrice di rottura ed C la matrice di Classificazione interna.

Tabella 1: Alimentazione del Jaw-Crusher

| Dimensioni (mm) | | Feed (%) |
|-----------------|-----|----------|
| -150 | +75 | 5 |
| -75 | +37 | 23 |
| -37 | +18 | 38 |
| -18 | +9 | 24 |
| -9 | | 10 |
| | | |

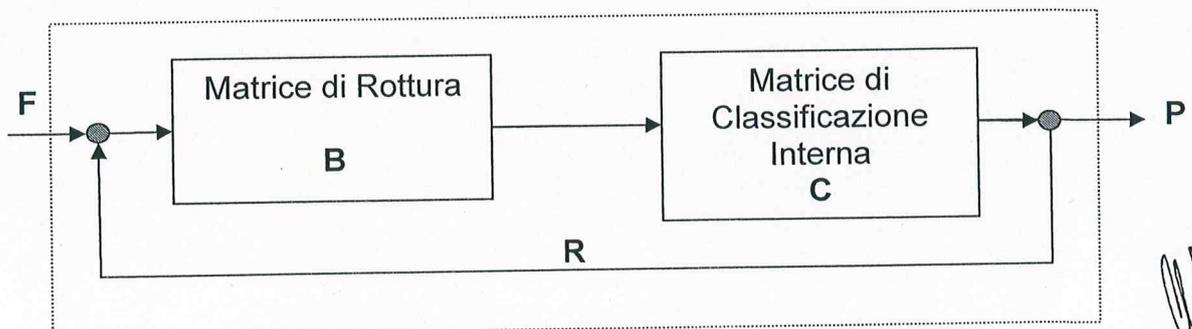


Figura 1: Modello matematico del Jaw-Crusher

[Firma]

[Firma]

[Firma]

$$B = \begin{pmatrix} 0,38 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,28 & 0,38 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,17 & 0,28 & 0,39 & 0,00 & 0,00 \\ 0,09 & 0,16 & 0,27 & 0,38 & 0,00 \\ 0,09 & 0,18 & 0,34 & 0,62 & 1,00 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & \mathbf{0,70} & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & \mathbf{0,55} & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & \mathbf{0,40} & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & \mathbf{0,10} \end{pmatrix}$$

Il candidato determini:

- La distribuzione granulometrica del prodotto della frantumazione (P);
- L'imperfezione dell'operazione di comminuzione;
- La potenza efficace richiesta dal Jaw-Crusher
- Dimensionare l'impianto di messa a terra relativo al Jaw-Crusher

E' lasciata al candidato piena facoltà di scelta relativamente a tutti quei parametri ed a quelle grandezze non espressamente specificate necessarie per la corretta risoluzione del compito.

TEMA 3

L'urbanizzazione primaria di una nuova lottizzazione residenziale prevede il progetto preliminare del sistema di smaltimento delle sole acque meteoriche come mostrato in Figura 1 (misure in metri).

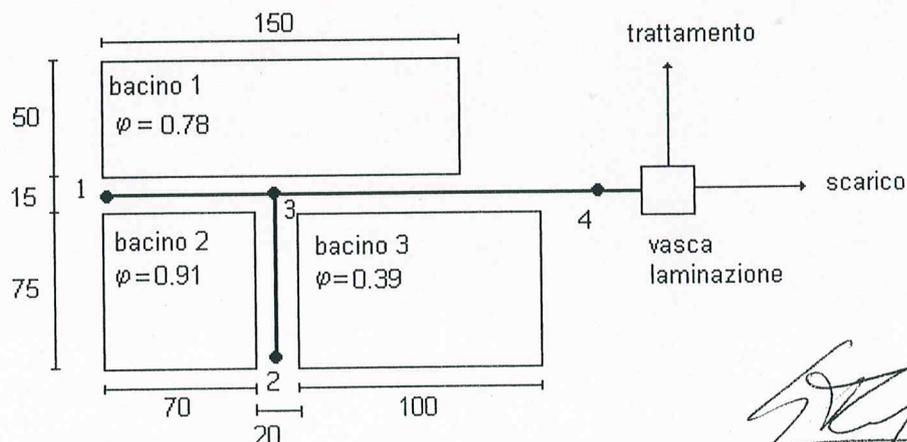
Le quote del terreno in corrispondenza dei 4 nodi principali sono:

| nodo | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------|-------|-------|------|------|
| m s.l.m | 13.70 | 10.20 | 9.00 | 7.00 |

mentre i coefficienti di afflusso dei 3 bacini scolanti sono illustrati in figura.

L'elaborazione dei dati pluviometrici di una vicina stazione di misura ha fornito la seguente equazione di possibilità pluviometrica (h in mm, t in ore) $h = 21.42\theta^{0.34}$

Le acque raccolte dall'ultimo collettore vengono immesse in una vasca di laminazione che, tramite un opportuno manufatto di ripartizione, permette di inviare all'impianto di trattamento consortile le acque con portate fino a 5 volte quella nera media di tempo asciutto prima di essere recapitate nel corpo idrico ricettore.



Handwritten signature

Handwritten signature

Handwritten signature

Si richiede:

1. il dimensionamento dei collettori utilizzando il metodo cinematico (ipotizzando un tempo di accesso pari a 5 minuti ed assumendo una pendenza pari a quella del terreno);
2. il volume di invaso da assegnare alla vasca, ipotizzando uno scarico di fondo regolato in modo ottimale (ed assumendo un coefficiente udometrico delle acque nere pari a 1,20 l/s/ha);
3. il livello massimo raggiunto e la massima portata uscente dalla vasca a seguito dell'evento critico per l'ultimo collettore, ipotizzando un invaso prismatico avente superficie pari a 100 m² e lo scarico di fondo (del diametro di 25 cm) completamente aperto;

Per i dati non forniti esplicitamente, il candidato assuma dei valori opportuni in relazione al problema in esame.

Ju

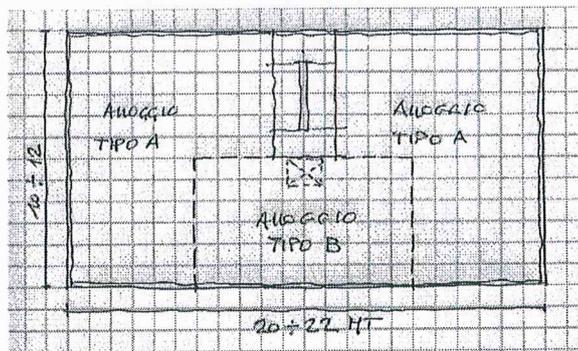
Q

AW
SE/SL
FM-M

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale
Esame di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere
I sessione 2012 - settore Ingegneria Civile e Ambientale
Sezione A – Laurea Specialistica

IV Prova pratica

Classe di laurea 4/S, LM4
Ingegneria Edile Architettura; Ingegneria delle Costruzioni edili; Architettura e Restauro



Si progetti un edificio di 4 piani, costituito da tre moduli residenziali organizzati in linea, ripetendo lo schema sopra riportato. Gli alloggi, fanno riferimento agli standard degli edifici per edilizia a carattere economico-popolare, il tipo A per 4 o 5 posti letto, il tipo B per due posti letto. Ogni alloggio deve essere dotato almeno di balcone; possono essere previsti servizi igienici anche senza finestra, con ventilazione forzata. (Le posizioni di ascensore, scale e alloggi, indicati nello schema, sono indicative).

Si richiedono gli elaborati di seguito indicati:

In scala 1:100

- Pianta del modulo tipo con indicati a) tipologia degli ambienti con gli arredi fondamentali utili a definirne l'organizzazione funzionale; b) elementi strutturali portanti verticali; c) porte e finestre, queste ultime posizionate e dimensionate anche in rapporto all'orientamento scelto dal candidato per l'edificio; d) quote fondamentali atte alla verifica dimensionale degli ambienti e dell'intero alloggio in relazione agli standard indicati.
- Sezione verticale trasversale, rappresentata per almeno due livelli residenziali e contenente la scala e almeno un balcone degli alloggi, quotata nelle dimensioni significative, con rappresentati gli elementi strutturali orizzontali corrispondenti alla impostazione della pianta.

In scala 1:10

Sezione costruttiva con i dettagli dei nodi solaio di copertura-tamponatura verticale-infisso-tamponatura verticale-solaio intermedio, con specificati spessori e natura dei materiali impiegati per realizzare strutture murarie capaci di garantirne il corretto funzionamento.

Si richiede inoltre:

- Calcolo delle trasmittanze, verifica della conformità alla normativa vigente relativa al contenimento dei consumi energetici, degli elementi costruttivi rappresentati nella sezione richiesta, di cui al punto precedente.
- Determinata la conformazione di un telaio strutturale con esclusione delle fondazioni, e lo schema di carpenteria del solaio relativo, eseguire l'analisi dei carichi e il dimensionamento di una trave del solaio di copertura nelle condizioni di esercizio, le verifiche strutturali di legge, il calcolo delle armature, senza tener conto della presenza di eventuali sollecitazioni sismiche.

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale
Esame di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere
I sessione 2012 - settore Ingegneria Civile e Ambientale
Sezione A – Laurea Specialistica

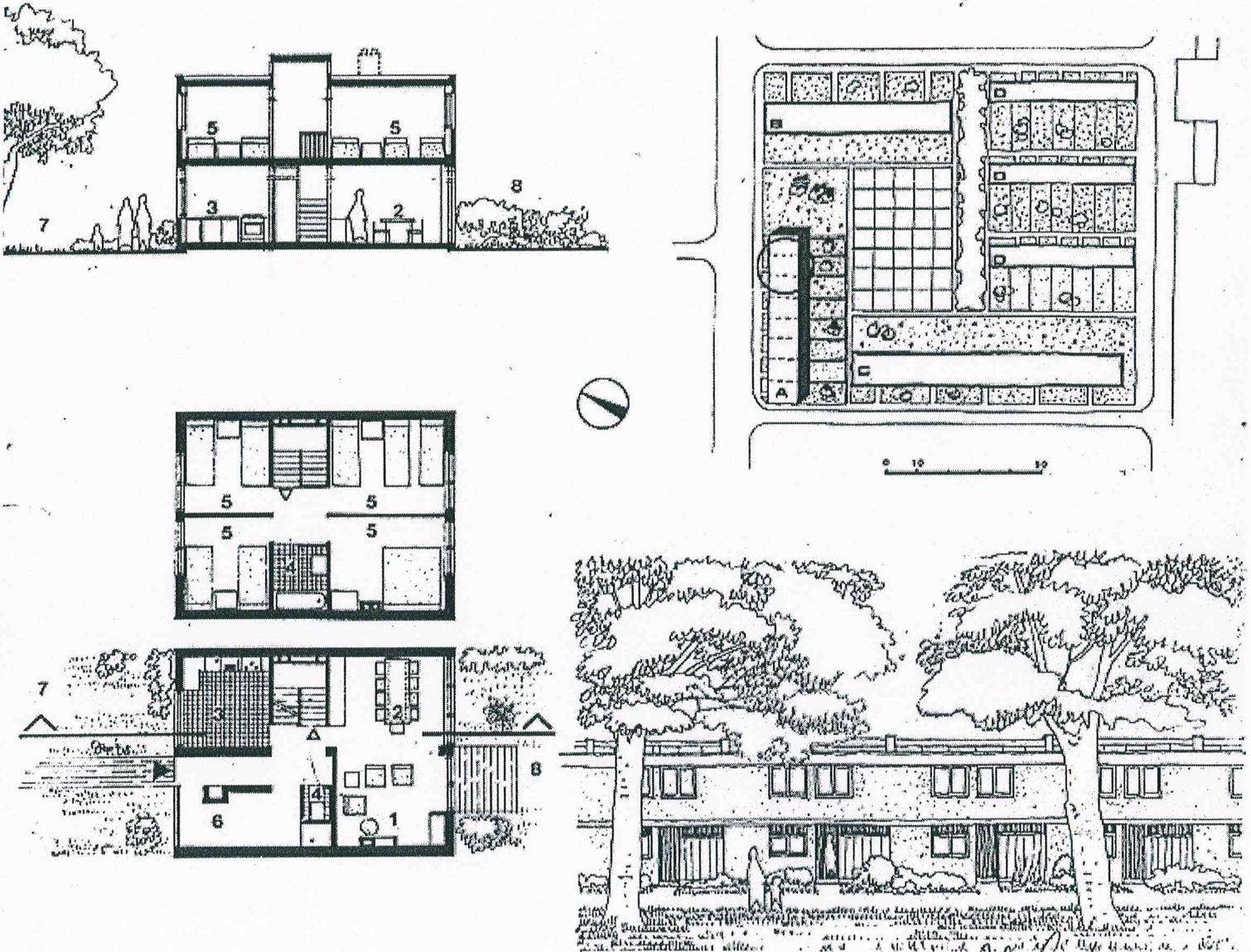
IV Prova pratica

Classe di laurea 4/S, LM4

Ingegneria Edile Architettura; Ingegneria delle Costruzioni edili; Architettura e Restauro

Sulla base dello schema di progetto (rapp. circa 1:200) di seguito illustrato relativo ad un insieme di case unifamiliari a schiera da realizzarsi nell'area romana, il candidato presenti una propria completa proposta di apparecchiatura costruttiva che comprenda:

1. trancia del prospetto nord e relativa sezione, dall'attacco a terra alla copertura, in scala 1:10
2. verifica della chiusura verticale di cui al punto 1, in conformità alla normativa vigente sul risparmio energetico;
3. disegno 1:50 della carpenteria del primo piano, con esclusione della scala.
4. dimensionamento di massima di tutta l'ossatura portante, escluse le fondazioni, in assenza di forze sismiche



Sh P

D 11

Stylized signature and 'M. Ros'

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale
 Esame di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere
 I sessione 2012 - settore Ingegneria Civile e Ambientale
 Sezione A – Laurea Specialistica

IV Prova pratica

Classe di laurea LM26
Ingegneria della Sicurezza e Protezione Civile

Si vuole analizzare, mediante applicazione della metodologia di analisi di rischio quantitativa probabilizzata, il livello di sicurezza atteso per un cantiere temporaneo, con riferimento alla progettazione delle operazioni da condurre all'interno di una trincea in terra per la posa in opera di una condotta. Al fine di garantire la stabilità della trincea vengono poste in opera ortogonalmente alla direzione verticale due barre di lunghezza L pari alla larghezza della trincea (cfr. fig.1).

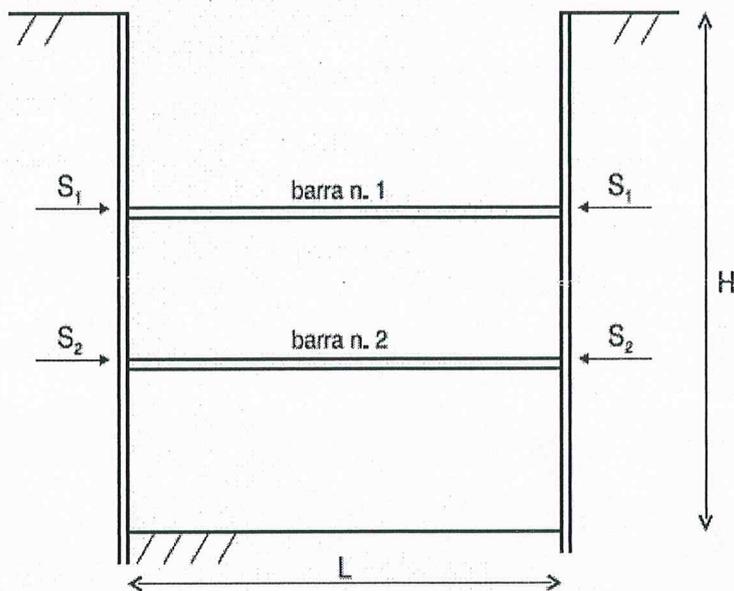


fig. 1

La sollecitazione agente sulle barre deriva dalla pressione del terreno in direzione orizzontale per semplicità assunta **equamente distribuita** sulle due barre di stabilizzazione.

L'Analisi di Rischio è riferita alle seguenti quattro classi di sottoeventi:

- E_1 cedimento della barra 1;
- E_2 cedimento della barra 2;
- E_3 presenza di addetti all'interno della trincea;
- E_4 uso corretto dei sistemi di protezione e allarme da parte degli operai impegnati nel cantiere.

La probabilità di cedimento di una delle due barre vale:

$$P(E_1) = P(E_2) = 1.68 \cdot 10^{-4} \text{ eventi/anno}$$

La probabilità di cedimento della seconda barra, condizionata al cedimento della prima, vale:

$$P(E_2 | E_1) = 0.958$$

Nel caso in esame, in virtù dell'ipotesi posta sulla distribuzione delle sollecitazioni agenti sulle due barre di stabilizzazione, si assuma valida la condizione:

$$E_1 \cap \bar{E}_2 = E_2 \cap \bar{E}_1$$

$$P(E_1 \cap \bar{E}_2) = P(E_2 \cap \bar{E}_1)$$

Jn

Q

[Handwritten signature]
[Handwritten signature]

Si rappresenti l'albero degli eventi, descrittivo delle condizioni di evoluzione del flusso del pericolo, tenuto conto dei quattro sottoeventi descritti e si valutino le probabilità di fine ramo considerati i soli due sottoeventi E_1 ed E_2 .

Assumendo che:

- la presenza di addetti all'interno del cantiere sia determinata dallo svolgimento di due turni lavorativi giornalieri:
 - **I turno lavorativo:** 6.00-12.00 - $N_{max}^* = 4$
 - **II turno lavorativo:** 12.00-18.00 - $N_{max} = 3$
- la probabilità dell'evento E_3 sia coerentemente attribuita in funzione della durata dei turni (la durata complessiva del cantiere sia pari a 80 giorni lavorativi);
- la probabilità dell'evento $\overline{E_4}$ sia pari $5 \cdot 10^{-3}$

Si valutino le probabilità di fine ramo relative al gruppo completo degli scenari descritti dall'evoluzione del flusso del pericolo.

Durante i turni di lavoro nel cantiere di scavo un numero variabile di operai (N), presente all'interno dello scavo, è esposto al pericolo di frana e conseguente seppellimento.

L'esposizione si considera essere una variabile aleatoria. Ai fini dell'analisi quantitativa del rischio si assuma il modello di densità di probabilità riportato sotto:

$$f_{ex}(N) = 10^{-2} - \frac{10^{-4}}{2} * N \quad \text{per } 0 < N \leq N_{max}$$

Per la definizione del danno si consideri che la conseguenza attesa è la morte di tutti gli esposti nel caso in cui si verifichi lo scenario $E_1 \cap E_2 \cap E_3 \cap \overline{E_4}$ e della metà degli esposti nel caso in cui si verifichi lo scenario $E_1 \cap \overline{E_2} \cap E_3 \cap \overline{E_4}$. In tutti gli altri casi non si registrano conseguenze per gli esposti.

Si calcoli il valore atteso della variabile aleatoria danno $E[D]$

Si calcolino le probabilità retrocumulate $P(N \geq N^*)$ della variabile aleatoria danno.

* N_{max} indica il numero massimo di addetti presente all'interno dell'area di cantiere durante il corrispondente turno lavorativo.