



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1045

DATA: 15/07/2014

APPUNTI

STUDENTE: Ottina

MATERIA: Teoria e progetto delle costruz. in c.a.o e c.a.p. 2013-14

Prof. Taliano

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.

	<p>Teoria e Progetto delle Costruzioni in Cemento Armato e Precompresso</p> <h2>Programma del corso</h2> <p>Maurizio Taliano</p> <p>Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica Politecnico di Torino</p> 
	

	<ol style="list-style-type: none">1. Quadro normativo vigente in Italia2. Requisiti essenziali delle strutture3. Classificazione delle strutture e degli elementi strutturali4. Durabilità delle strutture di c.a. e c.a.p. <p><u>Strutture di calcestruzzo armato</u></p> <ol style="list-style-type: none">5. Comportamento degli elementi strutturali di c.a. allo stato limite ultimo (tensioni normali, tensioni tangenziali, effetti del II ordine, zone di discontinuità)6. Comportamento degli elementi strutturali di c.a. allo stato limite di esercizio (limitazione delle tensioni, fessurazione, controllo delle inflessioni)7. Disposizioni costruttive per gli elementi strutturali di c.a.8. Strutture esposte al fuoco9. Progetto di un edificio di civile abitazione con struttura controventata di c.a.
	<p>M. Taliano Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino</p>

Teoria e Progetto delle Costruzioni in Cemento Armato e Precompresso

1. Quadro normativo
2. Requisiti essenziali delle strutture
3. Classificazione degli elementi strutturali

Maurizio Taliano
Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica
Politecnico di Torino




1. Quadro normativo

- D.P.R. 380/2001 "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia"
- Legge n.1086/71 "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"
Iter previsto →
- Legge n.64/74 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche."
- D.M. 14/01/2008
- Eurocodici (EN1990, Eurocodice 2-1.1, 1.2) e norme EN (EN 206-1)



```

    graph TD
      COMMITTENTE --> PROGETTISTA
      COMMITTENTE --> DIRETTORE_DEI_LAVORI[DIRETTORE DEI LAVORI]
      COMMITTENTE --> COSTRUTTORE
      COMMITTENTE --> COLLAUDATORE
      PROGETTISTA --> PROGETTO_ESECUTIVO[PROGETTO ESECUTIVO]
      COSTRUTTORE --> DENUNCIA_DEI_LAVORI[DENUNCIA DEI LAVORI]
      DENUNCIA_DEI_LAVORI --> INIZIO_DEI_LAVORI[INIZIO DEI LAVORI]
      INIZIO_DEI_LAVORI --> FINE_DEI_LAVORI[FINE DEI LAVORI]
      FINE_DEI_LAVORI --> COLLAUDATORE
      COLLAUDATORE --> COLLAUDO_STATICO[COLLAUDO STATICO]
      PROGETTO_ESECUTIVO --> COLLAUDATORE
      COLLAUDATORE --> DIRETTORE_DEI_LAVORI
      COLLAUDATORE --> COLLAUDATORE
      
      subgraph Denuncia_De_Lavori_Box [DENUNCIA DEI LAVORI]
        P_E[PROGETTO ESECUTIVO]
        R_I[RELAZIONE ILLUSTRATIVA]
        P_R[PROGETTO, RELAZIONE E R.I.]
      end
      
      subgraph Inizio_De_Lavori_Box [INIZIO DEI LAVORI]
        O_C[documenti di cantiere]
      end
      
      subgraph Fine_De_Lavori_Box [FINE DEI LAVORI]
        R_S[Relazione a struttura ultimata]
        D_L[Denuncia dei lavori]
      end
      
      subgraph Relazione_A_Struttura_Ultimata_Box [RELAZIONE A STRUTTURA ULTIMATA]
        C_N[CERTIFICATI NON STRUTTURALI]
        P_I[PROVAZIONE STATICA CIVE E C.A.P.]
        T_P[TESTI PROVVEDI CARICO]
      end
      
      COLLAUDATORE --> R_S
      COLLAUDATORE --> D_L
      COLLAUDATORE --> C_N
      COLLAUDATORE --> P_I
      COLLAUDATORE --> T_P
      
      COLLAUDATORE --> S_U[Sportello Unico]
      S_U --> DENUNCIA_DEI_LAVORI
      
      COLLAUDATORE --> I_D[Integrazione della denuncia dei lavori]
      I_D --> INIZIO_DEI_LAVORI
      
      COLLAUDATORE --> V_V[eventuali varianti al progetto esecutivo]
      V_V --> INIZIO_DEI_LAVORI
  
```

M. Taliano
Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino



CAO & CAP

QUADRO NORMATIVO

1) DPR 380/2001

TESTO UNICO DELLE DISPOSIZIONI LEGISLATIVE e REGOLAMENTARI IN MATERIA EDILIZIA

Di Testi Unici ne sono stati emanati differenti, dovevano raccogliere le varie leggi che erano emanate nel tempo e che davano una forte incertezza.

• Legge 1086/71

NORME PER LA DISCIPLINA DI OPERE IN CAO, CAP e A STRUTTURE METALLICHE

Questa è la legge Quadro per le strutture.

→ È una NORMA AMMINISTRATIVA e non applicativa perché contiene l'iter da seguire.

Le responsabilità sono delimitate nella legge 1086/71, che viene richiamata nel DPR 380/2001.

PROGETTISTA: progetta le strutture secondo le Norme Vigenti, ha il compito del PROGETTO ESECUTIVO.

OSTRUTTORE: in Cantiere vanno bene in opera le procedure definite dal progetto.

DIRETTORE LAVORI: deve controllare le caratteristiche statiche del materiale usato.

COLLAUDATORE: deve controllare il progetto, fare prove sui materiali, verificare la rispondenza opera con il progetto. Bisogna accettare i materiali. Il collaudatore controlla l'opera FINITA e non fa i controlli in corso d'opera.

STEPS: PROGETTISTA → OSTRUTTORE → SPORTELLI UNICO EDILIZIA
(Vecchio Genio Civile)

Nel 2003 era uscita un ordinanza che ha introdotto il metodo semi-probabilistico ma ha anche creato molta confusione.

Il DL 2008 ha raccolto i vecchi decreti e superato i problemi di applicazione delle Norme nei vari campi.

Il DL 2008 è per strutture vecchie e nuove.

3) EUROCODICI (A LIVELLO EUROPEO)

EN 1990 - Per la SICUREZZA

EUROCODICE 2-1.1 - Per STRUTTURE IN C.A.

EUROCODICE 1.2 - Regole per strutture in C.A. MA VALUTA L'INCENDIO.

EUROCODICE 8 - PROGETTO ANTISISMICO.

• NORME DI PRODOTTO ARMONIZZATE

EN - 206-1 - Norma sul CLS.

Non tutte le norme sono ARMONIZZATE (posso applicare la marcatura CE), e nel caso del CLS, acciaio, se non è presente la marcatura CE, devo avere un ATTESTATO DI QUALIFICAZIONE (che sostituisce la CE).

Per i materiali nuovi (come i TASSERU), bisogna avere un BENEFITARE TECNICO (Technical approve) che definisce come mettere in opera il materiale quando la norma non è stata ancora pubblicata.

3) DUTTILITÀ

la duttilità riguarda quelle strutture promive di collasso. Il collasso non deve essere fragile e cerco di far avvenire prima i collassi duttili rispetto a quelli fragili.

Così il collasso duttile o relativamente duttile abbassa la capacità portante dell'elemento strutturale.

4) ROBUSTEZZA NEI CONFLUENTI DELLE AZIONI ECCEZIONALI

la robustezza è la capacità della struttura di evitare danni sproporzionati rispetto alle cause impreviste come URTI - INCENDI - ESPLOSIONI.

Bisogna evitare collassi a catena con strutture incatenate o strutture intelaiate.

Nei Eurocodici vengono menzionati in evidenza i PRINCIPI e le REGOLE D'APPLICAZIONE.

PRINCIPI (#P) : Regole generali da applicare / rispettare

REGOLE D'APPLICAZIONE (#) : Regole necessarie per il soddisfacimento dei principi.

Ogni progettista può utilizzare altre regole d'applicazione POCHE' dimostri il soddisfacimento dei principi.

NORMA PRESTAZIONALE

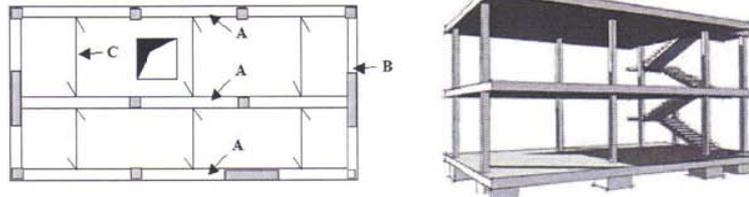
- PRINCIPI, tutti e da seguire
- REGOLE D'APPLICAZIONE, non sono vincolate ma devono rispettare i principi.

Anche le norme tecniche (NT) sono un documento PRESTAZIONALE, ma non lo è la NETTA DISTINZIONE tra principi e regole d'applicazione.

3. Classificazione degli elementi strutturali

Lo schema della struttura in elevazione si compone di:

pilastri, muri in c.a., travi, solai, telai



Schema in pianta di un impalcato di edificio:
A) travi longitudinali; B) travi trasversali; C) direzione di orditura dei solai.



M. Taliano
Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino

3. Classificazione degli elementi strutturali

Le strutture sono classificate come:

- Strutture controventate
- Strutture non controventate

Controvento:

- elevata rigidezza flessionale e di taglio
- incastro a fondazioni adeguate
- capace di assorbire tutte le forze orizzontali (100% F_H)

- Strutture a nodi fissi
- Strutture a nodi mobili

Struttura a nodi fissi: nell'analisi globale gli effetti del II ordine sono trascurabili.

Telaio a nodi fissi: gli spostamenti del I ordine incrementano meno del 10% gli effetti delle azioni calcolati con la teoria del I ordine.



M. Taliano
Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino

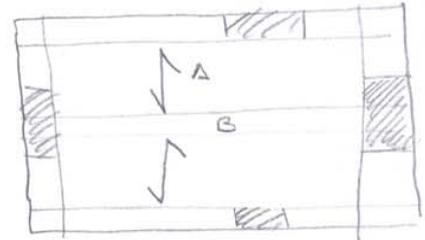
3) CLASSIFICAZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

La struttura in elevazione si compone dei seguenti
 ELEMENTI PORTANTI: Pilastri, Travi in C.A. (o setti in C.A.),
 Travi, Impalcato di solco e Telai (piano o 3D,
 formati da travi e pilastri).

Le forze sono applicate in 1 PUNTO dell'IMPALCATO:

• FORZE ORIZZONTALI (VENTO)

 SETTO = TRAVO IN C.A.
 Il setto deve assorbire la
 TOTALITÀ delle forze
 orizzontali (F_H):
 Comportamento DIAFRAMMATICO.



Nel P.O. l'impalcato si comporta come un PIANO RIGIDO
 e l'effetto di F_H va nei setti verticali resistenti, che sono:

- PILASTRI: se la struttura non è controventata, per effetto del comportamento diaframmatico F_H si scarica sui pilastri.
- SETTI CA: se la struttura è controventata.

• FORZE VERTICALI

L'effetto delle forze verticali è assorbito dalle TRAVI.

Se i telai sono monodimensionali, l'orditura va
 realizzata con \downarrow .

- A: Dal punto di vista economico, i telai vanno messi nella direzione più corta.
- B: le TRAVI portante il solco vanno messe nella direzione più lunga.

Se le forze esterne e le reazioni dei pilastri non sono
 COMPENSARI, nasce un effetto torsionale e si ha
 il comportamento diaframmatico.

• STRUTTURE NON CONTROVENTATE

Una struttura è non controventata quando gli elementi di controvento non sono sufficienti per bloccare le F_H ; questa F_H interverrà anche gli elementi verticali (travi e pilastri) che formano i telai 3D.

Il telaio assorbirà F_H, F_v .

• STRUTTURE A NODI FISSI

Nelle analisi globali, gli effetti del 2° ordine sono trascurabili.

Il telaio è a nodi fissi quando gli spostamenti del I° ordine incrementano meno del 10% gli effetti delle azioni calcolati con la teoria del 1° ordine.

Il telaio è a nodi fissi quando gli effetti del 2° ordine sono piccoli e trascurabili rispetto all'analisi globale della struttura.

- EFFETTI II ORDINE

Il calcolo della struttura viene eseguito con:

- EQUAZIONI DI EQUILIBRIO (per la struttura ipostatica)
- EQUAZIONI DI CONGRUENZA, per gli spostamenti della struttura iperstatica, applichiamo il P.L.V.

Le equazioni di equilibrio sono impostate sulla STRUTTURA INDEFORMATA ma nella realtà, le condizioni di equilibrio andrebbero scritte sulla STRUTTURA DEFORMATA.

La generica reazione può essere suddivisa in:

- Termine per la struttura INDEFORMATA, applico la TEORIA DEL I ORDINE, ed ottengo l'aliquota maggiore della sollecitazione;

7) ELEMENTI NEGLI EDIFICI

1) TRAVE (1D) $L \geq 3H$

la trave è l'elemento lineare dove la lunghezza è almeno pari a 3 volte l'altezza.

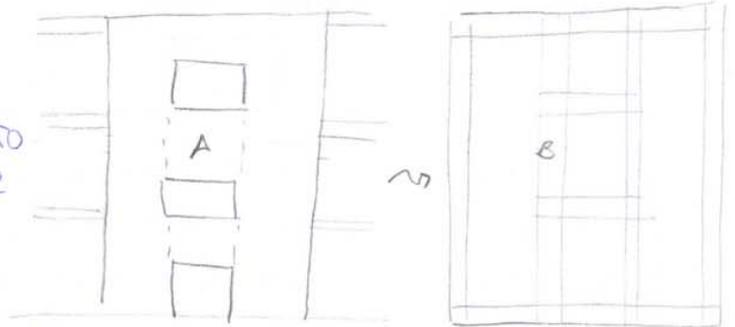
TRAVE PARETE (2D)

Quando $L < 3H$, non posso più applicare la Teoria di De Saint Venant ma devo usare il METODO TRAVE PUNTO NE.

Esempio: VANO ASCENSORE

A: gli spessori delle travi piene sono molto maggiori dello spessore dei solai.

(interasse 2,30, solai 2,10, trave parete 80 cm).



B - TRAVI PARETI RIGIDE: le travi parete devono essere sufficientemente rigide per trasferire le sollecitazioni.

2) PILASTRO (1D) NO FORMA ALLUNGATA

Il pilastro è quell'elemento la cui sezione (rettangolare) ha rapporto dei lati non superiore a 4 e la cui altezza è almeno 3 volte il lato maggiore.

$$\left[\frac{b}{L} < 4 \quad \frac{H}{b} < 3 \right] \quad 0,75 \begin{matrix} 1 \\ 51 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{NO} \end{matrix}$$

Se non sono rispettate ho un MURO N.C.A.

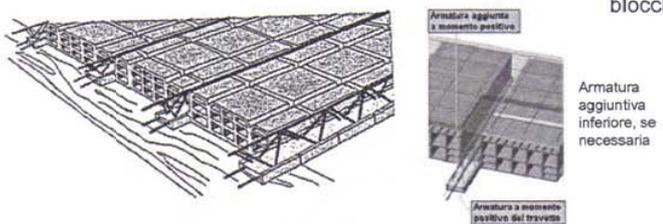
3) SOLETTA PIENA (2D) SPESSORE RIDOTTO

la soletta piena è quell'elemento a portata 2D la cui minore dimensione è almeno pari a 5 volte lo spessore.

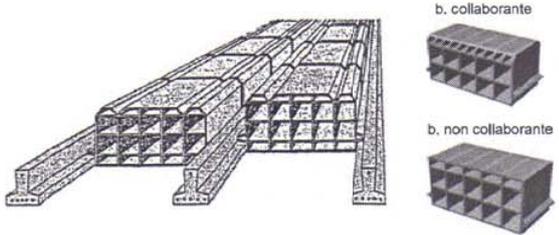
$$\left[l_{MN} \geq 5 \text{ spessore} \right] \rightsquigarrow \text{TEORIA DI KIRCHHOFF}$$

3. Classificazione degli elementi strutturali

b.2) solaio misto in c.a. a travetti tralicciati con fondello di laterizio e blocchi



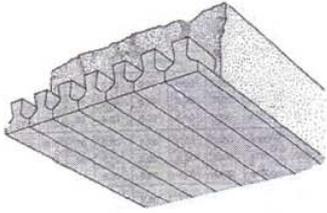
b.3) solaio misto a travetti precompressi (pre-tesi) prefabbricati e blocchi



M. Taliano
Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino

3. Classificazione degli elementi strutturali

b.4) solaio a travetti precompressi (pre-tesi) prefabbricati accostati



M. Taliano
Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino

3. Classificazione degli elementi strutturali

Definizione delle luci teoriche di travi e solai

$$L_{eff} = L_n + a_1 + a_2$$

dove

L_n è la luce netta tra i fili degli appoggi;
 a_i distanza tra il filo dell'appoggio e l'asse dell'appoggio ($i=1,2$)

a) Appoggi di estremità
 b) Appoggi intermedi di elementi continui
 c) Vincolo d'appoggio considerato di incastro perfetto
 d) Vincolo d'appoggio con apparecchio interposto
 e) Mensola

M. Talliano
 Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino

4. Durabilità delle strutture di c.a. e c.a.p.

Classi di esposizione ambientale (EN206-1)

Table 1 – Exposure classes

Class designation	Description of the environment	Informative examples where exposure classes may occur
1 No risk of corrosion or attack		
X0	For concrete without reinforcement or embedded metal. All exposures except where there is frost-thaw, abrasion or chemical attack.	Concrete inside buildings with very low air humidity
	For concrete with reinforcement or embedded metal. Very dry.	
2 Corrosion induced by carbonation		
Where concrete containing reinforcement or other embedded metal is exposed to air and moisture, the exposure shall be classified as follows:		
NOTE: The moisture condition relates to that in the concrete cover to reinforcement or other embedded metal, but in many cases, conditions in the concrete cover can be taken as reflecting that in the surrounding environment. In these cases, classification of the surrounding environment may be adequate. This may not be the case if there is a barrier between the concrete and its environment.		
XC1	Dry or permanently wet	Concrete inside buildings with low air humidity Concrete permanently submerged in water
XC2	Wet, rarely dry	Concrete surfaces subject to long-term wetter contact Many foundations
XC3	Moderate humidity	Concrete inside buildings with moderate or high air humidity External concrete sheltered from rain
XC4	Cyclic wet and dry	Concrete surfaces subject to wetter contact, not within exposure class XC2

M. Talliano
 Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino

4. Durabilità delle strutture di c.a. e c.a.p.

La scelta della classe di esposizione ambientale ha influenza su:
 - rapporto massimo a/c, classe di resistenza minima, contenuto di cemento minimo, contenuto minimo d'aria (EN206-1)

progetto: E1 Valori limite raccomandati per la composizione e le proprietà del calcestruzzo

Necessari Fattori di corrosione e attacco	Classi di esposizione																	
	Corrosione da carbonatazione					Corrosione da cloruri						Attacco gelidivieto				Ambienti cloruri aggressivi		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XC5	Acqua marina			Altri cloruri (derivati dall'acqua di mare)			XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
XS1						XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1							
Rapporto massimo a/c	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	
Classe di resistenza minima	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Contenuto minimo di cemento (kg/m³)	240	200	200	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360	
Contenuto minimo di aria (%)												4,0*	4,0*	4,0*				
Altri impiegati															Aggregati conformi al prEN 12620-2000 con sufficiente resistenza al gelidivieto		Concrete resistent to sulfate*	

i) Quando il carbonatazione non contiene altri aggiunti, le sue prestazioni dovrebbero essere verificate conformemente ad un metodo di prova appropriato rispetto ad un calcestruzzo per il quale è prevista la resistenza al gelidivieto per la relativa classe di esposizione.
 ii) Qualora la presenza di SO₂ comporti le classi di esposizione XA2 e XA3, è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati. Se il cemento è classificato a media o ad alta resistenza ai solfati, il cemento dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA2 in un classe di esposizione XA3 se applicabile) e il cemento ad alta resistenza, ai solfati dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA3.

M. Taliano
 Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino

4. Durabilità delle strutture di c.a. e c.a.p.

- copriferro nominale c_{nom} :

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

dove
 c_{min} copriferro minimo
 Δc_{dev} tolleranza dimensionale (ENV13670-1)

Location of ordinary reinforcement
 Cross section

For all values of h:
 Δc_{min} - 10 mm
 $h \leq 150$ mm, Δc_{max} + 10 mm
 $h = 400$ mm, Δc_{max} + 15 mm
 $h \geq 2500$ mm, Δc_{max} + 20 mm
 with linear interpolation for intermediate values

(da ENV13670-1)

c_{min} = Required minimum cover
 c_n = Nominal cover = $c_{min} + |\Delta c_{min}|$
 c = actual cover
 Δ = Permitted deviation from c_n
 h = Height of cross-section
 Requirement: $c_n + \Delta c_{max} > c > c_n - |\Delta c_{min}|$
 NOTE:
 Permitted plus-deviations for cover to reinforcement for foundations and concrete members in foundations may be increased by 15 mm. The given minus-deviations apply.

M. Taliano
 Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino

4. Durabilità delle strutture di c.a. e c.a.p.

Note: Structural classification and values of $C_{min,dur}$ for use in a Country may be found in its National Annex. **The recommended Structural Class (design working life of 50 years) is 4** for the indicative concrete strengths given in Annex E and **the recommended modifications to the structural class** is given in Table 4.3N. The recommended minimum Structural Class is S1.

The recommended values of $C_{min,dur}$ are given in Table 4.4N (reinforcing steel) and Table 4.5N (prestressing steel).

Table 4.3N: Recommended structural classification

Structural Class	Exposure Class according to Table 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
Design Working Life of 100 years	increase class by 2	increase class by 2	increase class by 2	increase class by 2	increase class by 2	increase class by 2	increase class by 2
Strength Class ¹⁾²⁾	≥ C30/37 reduce class by 1	≥ C30/37 reduce class by 1	≥ C35/45 reduce class by 1	≥ C40/50 reduce class by 1	≥ C40/50 reduce class by 1	≥ C40/50 reduce class by 1	≥ C45/55 reduce class by 1
Member with slab geometry (position of reinforcement not affected by construction process)	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1
Special Quality Control of the concrete production ensured	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1

 M. Taliano
Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino

4. Durabilità delle strutture di c.a. e c.a.p.

$C_{min,dur}$ (valori raccomandati dalla NTC2008):

Tabella 4.1.III - Descrizione delle condizioni ambientali

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella C4.1.IV Copriferrini minimi in mm (Circolare delle NTC)

C_{min}	C_o	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

NB: valori validi per $V_N = 50$ anni; +10 mm per $V_N = 100$ anni; +5 mm se $C < C_{min}$; -5 mm per produzioni sottoposte a controllo di qualità con verifica dei copriferrini.

 M. Taliano
Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino

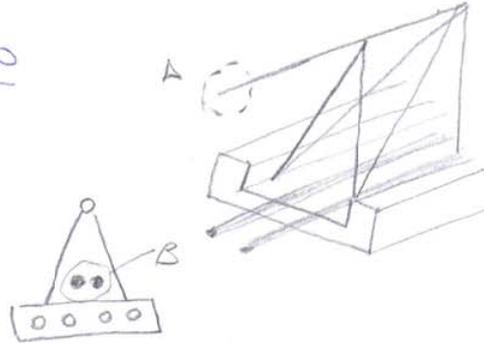
Il getto del c/c viene fatto solo dopo aver bagnato i blocchi di calcestruzzo (NON AVERE RISTAGNI D'ACQUA):

- BLOCCO ASCIUTTO: assorbe l'acqua d'impasto
- BLOCCO CON RISTAGNO D'ACQUA: fornisce acqua ed altera q/c variando la resistenza del c/c.

TRAVETTI CON FONDELLI DI UTILE RIFILTO

A: questo ferro non ha funzione strutturale ma serve per facilitare il montaggio.

B: Armature aggiuntive del cappotto viene quando è necessario.

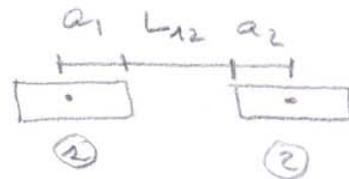


TRAVETTI METESI (PREFABBRICATI)

Riduce il peso degli elementi portanti di protezione (PUNTELLI) e delle travi di basamento.

LUCI TEORICHE DI TRAVI e SOLAI

$$L_{EFFETTIVA} = L_m + a_1 + a_2$$



L_m = luce netta tra i fili degli appoggi.
 a_1 distanza tra il filo dell'appoggio e il suo anco.

Bisogna definire i baricentri delle sezioni di sezione per definire l'asse geometrico dell'elemento monodimensionale.

ASSI GEOMETRICI

- TRAVE: baricentro della trave;
- PUNTELLO: baricentro del pilastro.

Quando la trave è nel nucleo di controvento (incastro molto rigido), l'asse geometrico è diverso dal baricentro.

1) CLASSE XC

Questa classe riguarda quelle strutture che non hanno rischi di corrosione delle armature metalliche e attacco chimico, come le non è messa in esame.

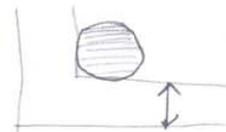
2) CLASSE XC

> CORROSIONE ARMATURE PER CARBONATAZIONE DEL CLS.

Abbiamo 4-campi di XC in funzione del tipo di attacco e facciamo riferimento alla corrosione delle armature metalliche dovuta dalla carbonatazione del CLS inalterato e non inalterato (ossido di ferro).

EFFETTI

- 1) Deposito della ruggine con conseguente aumento di volume: nasce una membrana nel CLS con conseguente DISREGO DEL CLS.



Abbiamo una fessurazione nello strato di copriferro.

SPALLING CLS: distacco di placche di CLS con vena a nudo dell'acciaio, è la situazione più pericolosa perché abbiamo la caduta di queste placche.

- 2) Senza lo strato di copriferro, l'armatura è vena a nudo e subisce attacchi chimici.
- 3) legato alla COMPOSIZIONE CHIMICA DEL CLS.

Il CLS meno in opera viene miscelato con cemento, acqua, aggregato e additivi: dalla reazione di idratazione si forma la calce idrata Ca(OH)_2 che ALZA IL PH (12-13) e forma un AMBIENTE BASICO.

Si crea un FILM PASSIVANTE nell'armatura che rende l'armatura più protetta rispetto alla corrosione.

Questo ambiente basico produce effetti positivi nella resistenza a corrosione.

Nelle fasi iniziali il PH è BASSO ma cresce nel tempo.

Per queste a clom' viene richiesta una resistenza minima del c/s (R_{ck}) sempre più crescente.

Il progettista deve scegliere 1 delle a clom'.

Avere più coerenza nella struttura significa avere una quantità maggiore da carbonatare ed aumentare il tempo necessario per mettere a nudo le armature.

La corrosione da carbonatazione è DIFFUSA.

3) CLASSE XS (S = SEA - MARE)

> CORROSIONE DA CLORURI DELLE STRUTTURE A CAUSA ACQUA DI MARE.

La corrosione da cloruri è PUNTUALE.

PITTING CORROSION = i cloruri producono la formazione di Anodo = Catodo puntuale nella barra.

In generale i cloruri sono presenti in:

- ACQUA D'INTRA: il loro effetto riguarda quegli edifici distanti anche alcuni Km dalla costa;
- SALE ANTIGELO o dentro le PISCINE.

• SOTTOCLASSI XS

XS1 : STRUTTURE IN PROSSIMITA' DELLA COSTA, ESPOSTE AL TRASCINAMENTO EOLICO DELL'ACQUA.

Le zone di fascia costiera sono soggette all'azione di UMIDITA' AMBIENTALE prodotta dall'acqua di mare.

XS2 : STRUTTURE IMMERSI NELL'ACQUA DI MARE

Il c/s è permanentemente immerso nell'acqua di mare; siccome è saturo d'acqua, l'effetto dei cloruri è ridotto.

- CICLI BAGNATO - ASCIUTTO : le strutture soggette ai cicli hanno una corrosione DISCONTINUA ricevendo omogeneo nei periodi asciutti e acqua nei periodi bagnati e il cloruro può derivare dai SALI DISSECCANTI usati nei periodi "invernali".

5) CLASSE XF

> CORROSIONE PER CICLI DI GELO - DISGELO + SALI DISSECCANTI

XF1 : AMBIENTI CON MODERATA SATURAZIONE SENZA SALI DISG.

XF2 : AMBIENTI CON MODERATA SATURAZIONE CON SALI DISG.

XF3 : AMBIENTI CON ELEVATA SATURAZIONE D'ACQUA SENZA SALI

XF4 : AMBIENTI CON ELEVATA SATURAZIONE D'ACQUA CON SALI

Per queste classi uno degli ADDITIVI AERANTI è:

- AUMENTANO IL VOLUME DEI VUOTI NEL C.C.S., permettendo di assorbire e espandere di volume dell'acqua e riducendo le cricche.
- RIDUCONO LA RESISTENZA MECCANICA.

6) CLASSE XA

> CORROSIONE DA ATTACCO CHIMICO

la corrosione avviene per strutture soggette a SO_4^{--} , CO_2 , Mg^{++} ... presenti nel terreno.

Scelgo la classe (XA 1,2,3) in base a:

- ACIDITA' TERRENO (in genere è trascurabile)
- PERMEABILITA' TERRENO
- QUANTITA' SO_4^{--}

Se il terreno è poco permeabile si riduce il rischio di attacco solforico e anche la classe XA.

Questi limiti superiori vanno considerati dal progettista ma servono solo per il controllo (men' della BOM del CLS):

- Questo dato non è riportato nella relazione di calcolo perché il CLS è PRECONFEZIONATO.
- Si richiede al CLS di avere una determinata PRESTAZIONE: quindi il fornitore del CLS ad avere, oltre ad una determinata resistenza, anche un determinato a/c.

Bisogna controllare nella BOM DI CONSEGNA qual'è il rapporto a/c utilizzato per confezionare il CLS.

RESISTENZA MINIMA

"Un CLS meno poroso è PIÙ RESISTENTE".

La resistenza minima è specificata nella relazione di calcolo.

INDICAZIONE SUL QUANTITATIVO MINIMO DI CEMENTO:

X C 2 / 3 : 280 Kg / m³ → cemento 300 Kg / m³

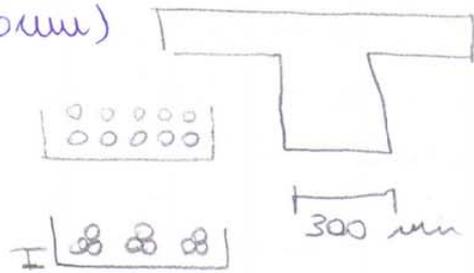
Una volta il CLS era denominato in base al DOSAGGIO DI CEMENTO, adesso viene detto nella RESISTENZA MINIMA.

Il dosaggio di cemento non entra nella relazione tecnica.

Se il CLS è soggetto a cicli di gelo/degelo, meglio introdurre degli ADDITIVI AERANTI, per creare della POROSITÀ che permetta di resistere all'azione del gelo (prodotto dei vuoti che interepongono l'aumento di volume ed evita i danni).

Se in uno spazio ridotto (300mm) devo mettere molte barre (10 ϕ 20), posso:

- mettere 6 barre per strati
- BARE DI GRUPPO



le barre vicine richiedono ELEVATE TENSIONI di aderenza.



ϕ_{Eq} : diametro della barra equivalente al gruppo di r .

3) PROTEZIONE ARMATURA DA INCENDIO (ALTET).

L'armatura a $T > 400^\circ\text{C}$ è soggetta ad un deciso ridimento delle resistenze.

Il copriferro minimo è dato dal

massimo ($\phi_{\text{corrosione}}$, durabilità, resistenza incendio).

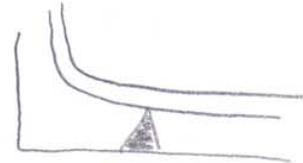
Il copriferro può:

- ESSERE AUMENTATO, per avere più SICUREZZA;
- ESSERE RIDOTTO se:
 - Usiamo barre d'acciaio inossidabile;
 - Usiamo trattamenti superficiali ANTICARBONATAZIONE

Come determinare $C_{min, dur}$? Ho 2 tabelle:

- 1 - ACCIAIO ORDINARIO per cls normale
- 2 - CLS precorrotto, elevata resistenza delle armature alla corrosione.

Le staffe riducono l'espansione trasversale per effetto Poisson e lo stato pone da R_{ct} a 25/30, aumentando R_{ct} .



La presenza delle staffe in Trave e Pilastri produce che il FRONTE CARBONATATO incantra i PRVA le staffe delle altre barre.

Il copriferro nominale è riferito alla 1^a barra di armatura incantrata (STAFFE).

Per le STRUTTURE PREFABBRICATE O IN CONTINUO DI GEOMETRIA pona ridurre la classe perche' è compito del controllore DEI LAVORI di controllare di avere dei distanzatori tra le armature.

• NTC 2008 (STESSE CLASSI DI ESPOSIZIONE)

CLASSI AMBIENTALI: ORDINARIO - AGGRESSIVO e MOLTO AGGRESSIVO
anno' valori differenti di copriferro minimo.

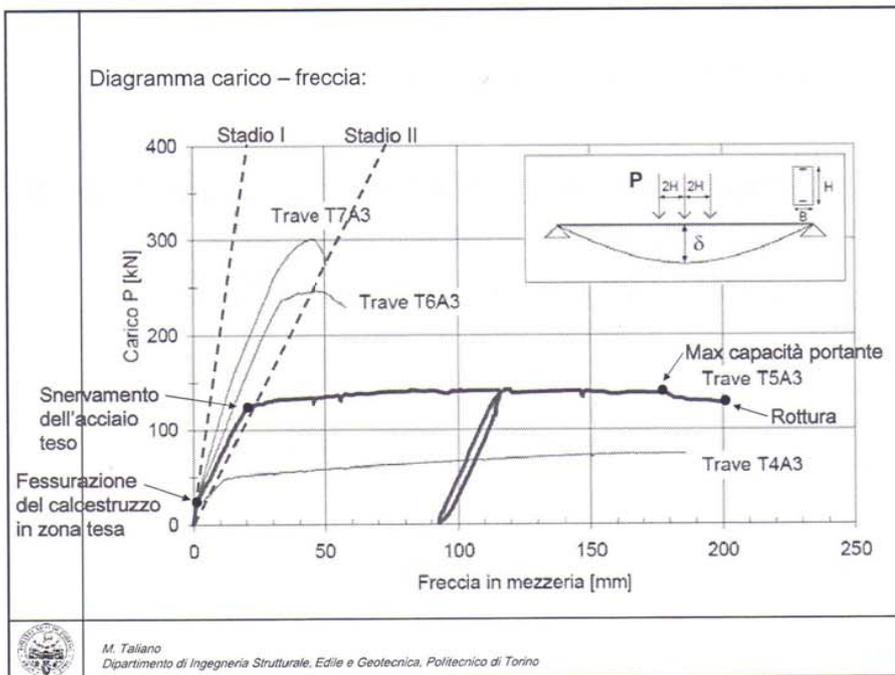
la circolare NTC non ha valore di legge ma è un testo che descrive la norma = È COGENTE PER OPERE PUBBLICHE.

Classe C 25/30 : CLS ORDINARIO DI BASSA RESISTENZA

C_{0} = classe di riferimento

C_{100} = per le strutture in opera.

V_N = VITA NORMALE.



1. Analisi delle tensioni nelle fasi iniziali

Assunzioni di base

- Conservazione delle sezioni piane (ipotesi di congruenza);
- Perfetta aderenza tra acciaio ordinario e calcestruzzo ($\epsilon_c = \epsilon_s$);
- Comportamento isotropo, omogeneo ed elastico lineare dei materiali.

calcestruzzo non fessurato

acciaio da c.a.

NB: per calcestruzzo fessurato $f_{ct} = 0$

NB: sezione di calcestruzzo non armato ...

M. Taliano
Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino

1. Analisi delle tensioni nelle fasi iniziali

Compressione semplice

Si dimostra che:

$\sigma_c = \frac{N_z}{A_{c,om}}$

$\sigma_s = \alpha_e \cdot \frac{N_z}{A_{c,om}}$

$\epsilon_s = \epsilon_c = \frac{N_z}{E_c \cdot A_{c,om}}$

Il comportamento della sezione in c.a. soggetta a compressione semplice, interamente reagente, può essere studiato con le formule della Scienza delle Costruzioni analizzando il comportamento della sezione ideale di solo calcestruzzo di area omogeneizzata :

$A_{c,om} = A_c + \alpha_e A_s$

dove α_e coefficiente di omogeneizzazione, pari a E_s/E_c

$A_{c,om}$ area omogeneizzata di calcestruzzo (interamente reagente)

A_c area **effettiva** di calcestruzzo

A_s area di acciaio

Per una sezione rettangolare di base B, altezza H, armata con A_s risulta:

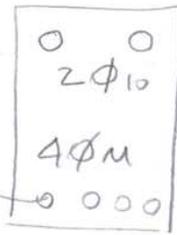
$A_{c,om} = B H + (\alpha_e - 1) A_s$

essendo $A_c = B H - A_s$

M. Taliano
Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino

Per l'acciaio ho i valori di :

- TENSIONE MEDIA DI SVERNAMENTO
- TENSIONE MEDIA A TRAZIONE
- DEFORMAZIONE ULTIMA A ROTTURAZIONE



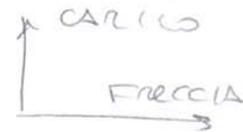
M-UTILE = ALTEZZA COPRI FERRO

ARMATURA A CORRERE.

Nella 1^a prova faccio lavorare l'armatura inferiore

PROCEDIMENTO

- Faccio lavorare la trave e la poggio sui vincoli, la prova non è ancora partita e la trave è soggetta al peso proprio.
- Facciamo lo zero di lettura e subito l'abbonamento per P_0 .
- Applico il carico mediante martinetti e legge le deflessioni/abbonamenti della trave
- Facciamo crescere il carico per determinare la relazione tra carico e fleccia.



In funzione della quantità d'armatura avrò un comportamento differente.

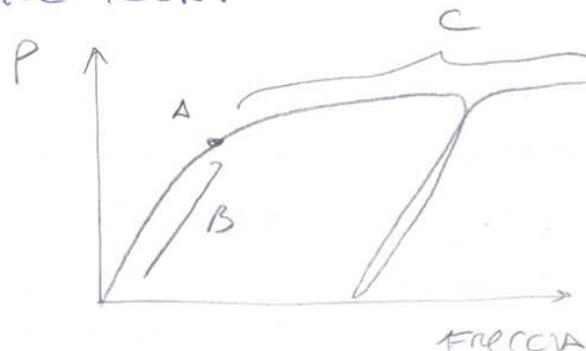
La trave meno armata ha una resistenza meccanica inferiore: all'aumentare della quantità di armatura inferiore, mantenendo costanti gli altri parametri, ho che la resistenza meccanica aumenta e che aumenta la capacità portante del sistema.

La duttilità è la capacità della struttura di subire grandi deformazioni in campo plastico.

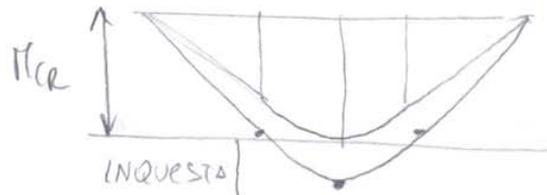
Aumentando l'armatura, la duttilità diminuisce ma aumenta la resistenza R_{ck} .

TRAVE T5A3 ha 2 tipi di comportamento.

- B = FASE ELASTICA
- C = FASE PLASTICA

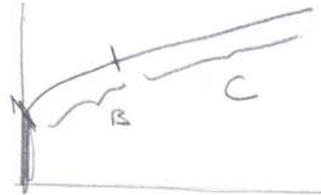


La prima fessura nasce quando ho $M = M_{cr}$, fessura non regolare.



Dopo la prima fessura, se aumento il carico, nascono NUOVE FESSURE, COMPATIBILMENTE CON LE CARATTERISTICHE DI ADERENZA TRA ACCIAIO E CLS.

B: in questa zona nasce un numero FINITO DI FESSURE

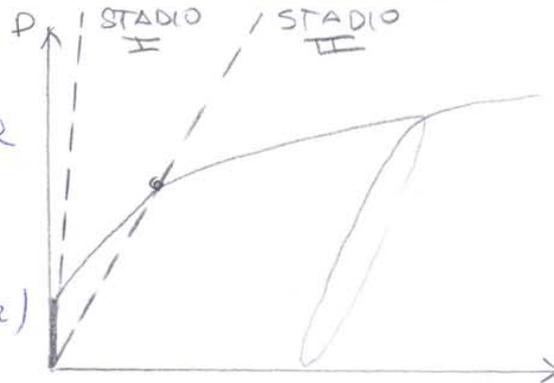


C: Quando TUTTE le fessure si sono formate, all'aumentare del carico, non si formano nuove fessure ma le fessure esistenti SI APRONO: FASE DI FESSURAZIONE STABILIZZATA.

RIEPILOGO

• STADIO 1 FASE INIZIALE, sezione internamente reagente, $M < M_{cr}$

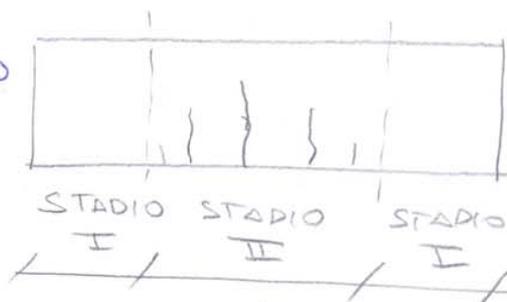
Il momento di fessurazione (M_{cr}) è circa il 10-15% della resistenza ultima a flessione del CLS.



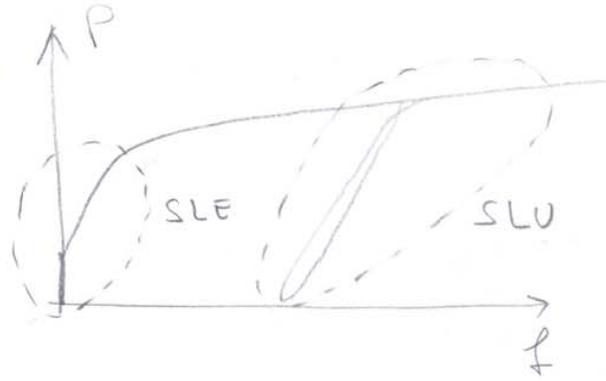
• STADIO 2 la sezione più sollecitata è fessurata
 - LA RESISTENZA DIMINUISCE
 - LA DEFORMABILITA' TEORICA AUMENTA

La retta --- della fase 2 è una modellazione che sarebbe valida solo se TUTTA la trave fosse fessurata.

Nella realtà i valori della trave non ancora in fase 1 quando il centro (sezione più sollecitata) è in fase 2.



- Il calcolo delle sollecitazioni viene fatto nello STADIO 1 considerando di avere un c/c con uguale resistenza a trazione e compressione.
Calcolo in FASE ELASTICA.



- La verifica si effettua paragonando il momento RESISTENTE (momento capacità portante) con il momento SOLLECITANTE.

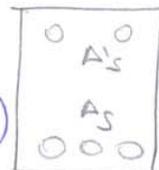
Nei calcoli facciamo diverse combinazioni di carico.

NOTAZIONE

P_{qp} = CARICO QUASI PERMANENTE } $P_{qp} = 0,5 P_d$
 P_d = CARICO DELLO SLU } $P_{dur} = 0,7 P_d$
 P_{dur} = CARICO CARATTERISTICO DELLA COMBINAZIONE RARA

SLU - FASE ELASTOPLASTICA

Progetta l'armatura longitudinale ($A'_{s,l}; A_{s,l}$) e l'armatura trasversale ($A_{s,w}$, STAFFE).



Verifico che $M_{Ed} \leq M_{red}$.

SLE - FASE DI ESERCIZIO

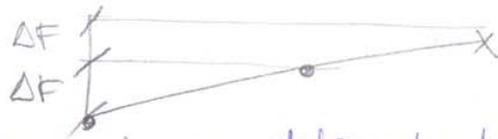
Non faccio il progetto perché ho già i materiali.

Verifico che $\sigma < \sigma_{max}$.

In passato, negli edifici esistenti, si usava il metodo delle TENSIONI AMMISSIBILI.

In STADIO 2 convenzionalmente si verifica sia lo SLE che lo SLU.

Se invece avessi fatto la PROVA
A CONTROLLO DI CARICO,
 anche solo aumentando la forza di una determinata
 quantità, sarei andato QUASI SUBITO A ROTTURA.
 la prova a controllo di carico è una PROVA INCONTROLLATA
 ed è poco sicura per il personale che fa la prova.
 la prova viene fatta quasi sempre in controllo di FRECCEA.



5) INTRODUZIONE

L'analisi delle strutture in C.A. nello fase di esercizio non può prescindere dall'istante di tempo in cui essa viene effettuata.

La struttura deve resistere circa 50 anni.

Svolto il parametro tempo a differenti livelli:

- INFLUENZA DEL MATERIALE (C.C.S., ACCIAIO);
- LIVELLO SEZIONALE: guardiamo le conseguenze del livello reologico (viscosità) dei materiali.

Per tener conto degli effetti reologici del materiale sulle sezioni: avremo una ridistribuzione delle tensioni e delle deformazioni.

Non determineremo mai le soluzioni ESATTE ma è TUTTO CONVENTIONATO; bisogna ricordare dentro un RANGE AFFIDABILE DI SOLUZIONI.

Solo se la struttura è importante si affittano i calcoli, ma di solito non si fa.

Consideriamo i diversi istanti di vita della struttura.

t_0 = ISTANTE INIZIALE TEMPO DI RITROVARE DELLE CASSE FORTE, e la struttura è soggetta al pieno momento e trasferisce i carichi in fase di lavoro.

A] ANALISI DELLE TENSIONI NELLE FASI INIZIALI

Per $t = t_1$ non considero le fasi reologiche del materiale.

• LEGGE COSTITUTIVA

La legge costitutiva del materiale lega lo stato di tensione con lo stato di deformazione.

$$\boxed{\sigma = E \varepsilon} \quad \text{in FASE ELASTICA}$$

- RETTO OTTOGONO: ogni punto ha le stesse componenti;
- RETTO ISOTROPO: stesso comportamento per ogni direzione di forze considerate, non ho il materiale stratificato
- RETTO ELASTICO LINEARE: la σ è proporzionale a ε .

• CONDIZIONI DI EQUILIBRIO

Introduco le caratteristiche di sollecitazione:

$$\boxed{\begin{aligned} N_z &= \int_A \sigma_z dA & M_x &= \int_A \sigma_z y dA \\ & & M_y &= \int_A \sigma_z x dA \end{aligned}}$$

queste modifichiamo TENSIONI NORMALI.
(x,y) sono gli assi principali di inerzia.

• CONDIZIONE DI CONGRUENZA INTERNA

In SDC queste equazioni da sole non erano sufficienti per risolvere il problema elastico perché nel solido di Saint Venant esiste una TRIPlice INDETERMINAZIONE: devo applicare le equazioni di congruenza interna.

Considero di non avere STRAPPI o CONNETTAZIONI.

In seguito all'applicazione delle forze, non bisogna avere strappi o connettamenti di un materiale e le sezioni rimangono piane;

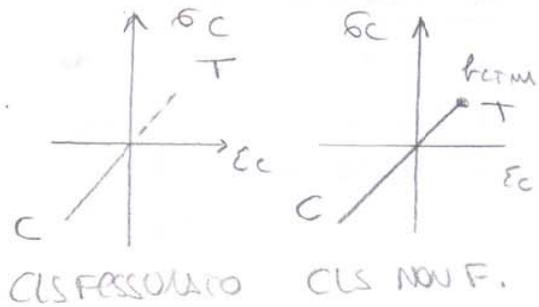
La IPOTESI DI NAVIER DI CONSERVAZIONE DELLE SEZIONI PIANE.

3 - COMPORTAMENTO ISOTROPO, OTTOEDRO E ELASTICO LINEARE DEI MATERIALI

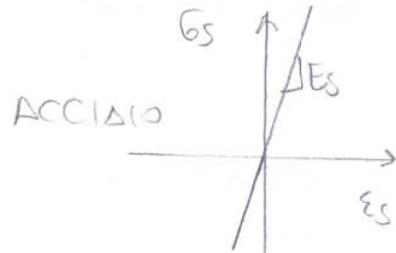
$E_s = 200 \text{ GPa} = 200 \text{ kN/mm}^2$

f_{ctm} = RESISTENZA A TRAZIONE CLS.

Se $f > f_{ctm}$ perdiamo il comportamento elastico lineare in trazione ed il CLS non è reagente.

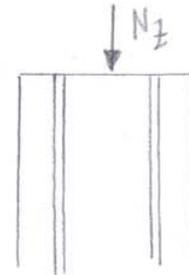
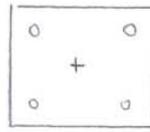


$E_{cls} = E_{cm}$



SEZIONE DI C.A. - PIASTRO

N_z = forza applicata nel baricentro della sezione di sola CLS.



Perché non diciamo che N_z appartiene al baricentro della sezione di C.A.?

I calcoli strutturali vengono fatti convenzionalmente pensando che la sezione sia fatta di sola CLS, con il CLS che reagisce ugualmente a T/C.

STRUTTURA 10, elementi che rappresentano la totalità dei punti del solo baricentro delle zone di sola CLS.

In questo caso $\sigma_{CLS} \equiv \sigma_{C.A.}$

1) COMPRESSIONE SEMPLICE

Vallo determinare lo stato di tensione e deformazione.

REGGE COSTITUTIVA (ELASTICITÀ LINEARE)

$$\epsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_c}$$

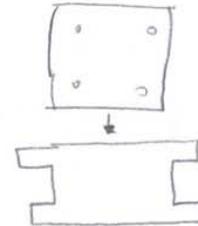
$$\epsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\sigma_c = E \epsilon_c \quad \sigma_s = E \epsilon_s$$

SEZIONE IDEALE OTTOGENIZZATA

L'acciaio viene reso omogeneo al CLS, che diventa il nostro materiale di riferimento.

Siccome l'acciaio ha delle caratteristiche di rigidità differenti dal CLS, devo considerare il suo peso nel valore di rigidità globale: amplifico l'area di influenza dell'acciaio.



$$\epsilon = \frac{Nz}{E_c \left(A_c + \frac{E_s}{E_c} A_s \right)}$$

Trasformo il comportamento della sezione di C.A. in un comportamento della sezione di solo CLS aumentando a omogeneizzare l'armatura.

$d_e = \frac{E_s}{E_c}$ **Coefficiente di omogeneizzazione**

$$\epsilon = \frac{Nz}{E_c (A_c + d_e A_s)}$$

$$\epsilon = \frac{Nz}{E_c A_{c,oro}}$$

$$A_{c,oro} = A_c + d_e A_s$$

$A_{c,oro}$ = area di CLS omogeneizzata, $A_{c,oro} > A_c$.

A_c = area di CLS, che per la sezione rettangolare non è $b \times h$ ma

$$A_c = b \cdot h - A_s$$

$$A_{c,oro} = A_c + d_e A_s = b \cdot h - A_s + d_e A_s =$$

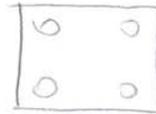
$$A_{c,oro} = b \cdot h + A_s (d_e - 1)$$

$d_e - 1$ tiene conto che, nella sezione di CLS compressa, TUTTA la sezione di CLS è resistente.

Aumentiamo la sezione di CLS aggiungendo, all'area lorda ($b \cdot h$), le termine $A_s (d_e - 1)$.

2) Perché uno 8 ferri e non 4?

Perché non posso armarlo con 4 $\phi 25$?



la Norma impone che la distanza tra le 2 barre non inferiori ≥ 250 mm.

CALCOLI

Nel capitolo delle verifiche vanno determinate le proprietà geometriche della sezione omogeneizzata:

- BARICENTRO SEZIONE: il baricentro della sezione omogeneizzata deve coincidere con il baricentro del CLS; l'armatura va sempre messa in modo SIMMETRICO (con il calcolo il momento statico).

- AREA SEZIONE OMOGENEIZZATA

$$A_{\text{omog}} = 400 \cdot 400 + (6,5 - 1) \cdot 1608 = 168844 \text{ mm}^2$$

con CLS C25/30, $E_{\text{cm}} = 31 \text{ GPa} = 31 \text{ kN/mm}^2$,
 rapporto nella sezione materiali.

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{\text{cm}}} = \frac{200}{31} = 6,5$$

la tensione nel CLS uniforme:

$$\sigma_c = \frac{(-1000 \cdot 10^3) \text{ N}}{168844} = \frac{N_z}{A_{\text{omog}}} = -5,9 \text{ MPa (N/mm}^2)$$

$\sigma_{\text{max},c} \leq$ OPPORTUNI LIMITI, definiti per:

- RIDURRE LA MICROFESSURAZIONE del CLS in esercizio;
- AUMENTARE LA DURABILITÀ della sezione;
- RIDURRE GLI EFFETTI VISCOSI.

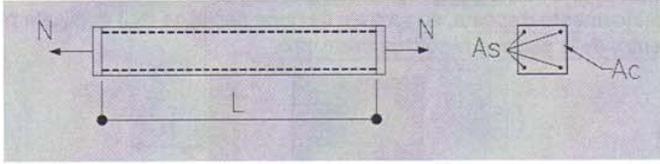
Come ho calcolato N_z ?

N_z è stato calcolato per la situazione persistente di carico RRS, quindi devo verificare σ_c con il valore riferito alla combinazione RRS.

le tensioni nel CLS sono uniformi.

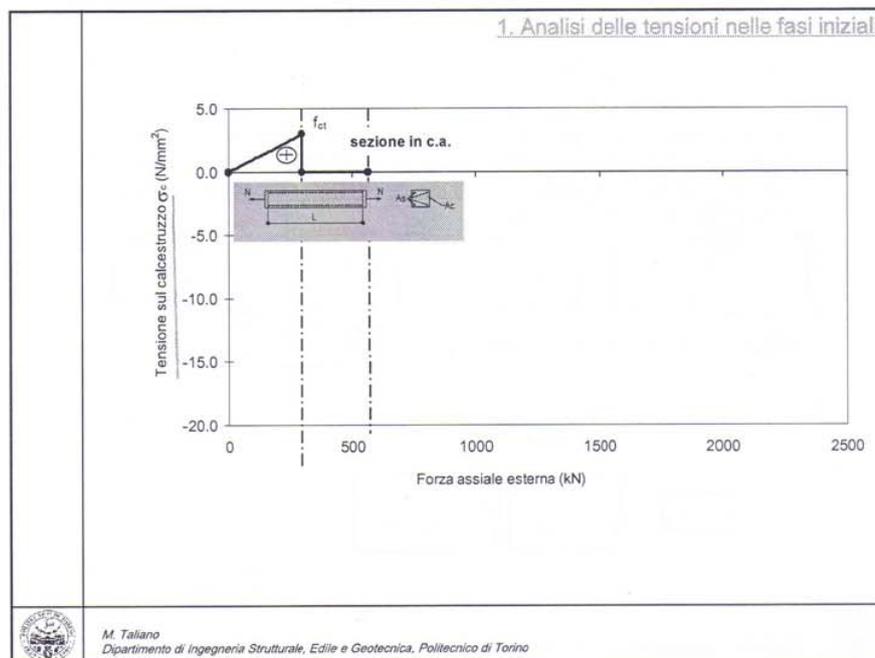
1. Analisi delle tensioni nelle fasi iniziali

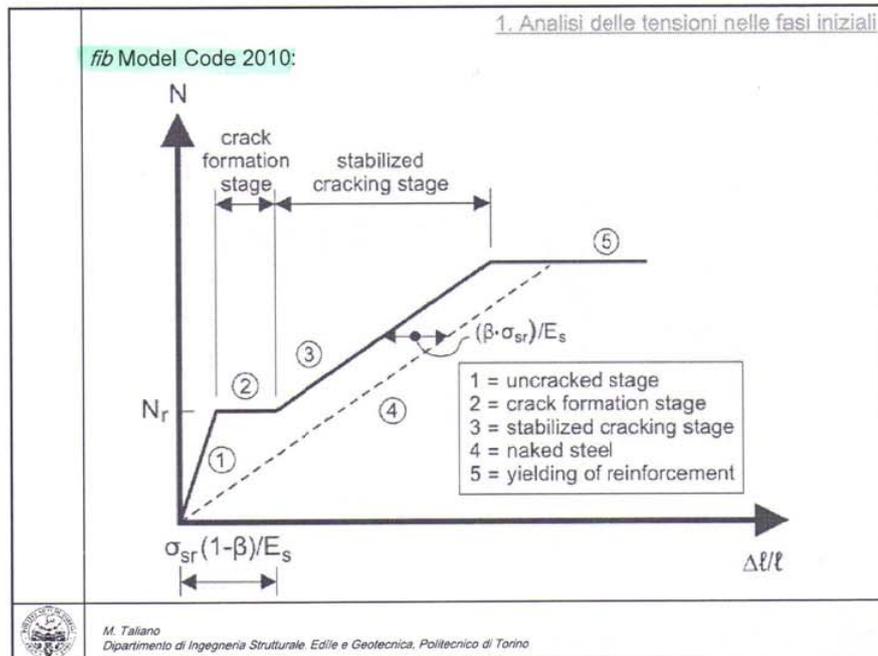
Applicazione: comportamento teorico di un tirante in c.a.



$L = 3 \text{ m}$
 $A_c = 900 \text{ cm}^2$
 $A_s (4\varnothing 20) = 1\,256 \text{ mm}^2$
 $f_{ct} = 3 \text{ N/mm}^2$
 $f_{sy} = 450 \text{ N/mm}^2$
 $E_c = 25 \text{ kN/mm}^2$
 $E_s = 200 \text{ kN/mm}^2$


 M. Taliano
 Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino





1. Analisi delle tensioni nelle fasi iniziali

Flessione semplice (retta)

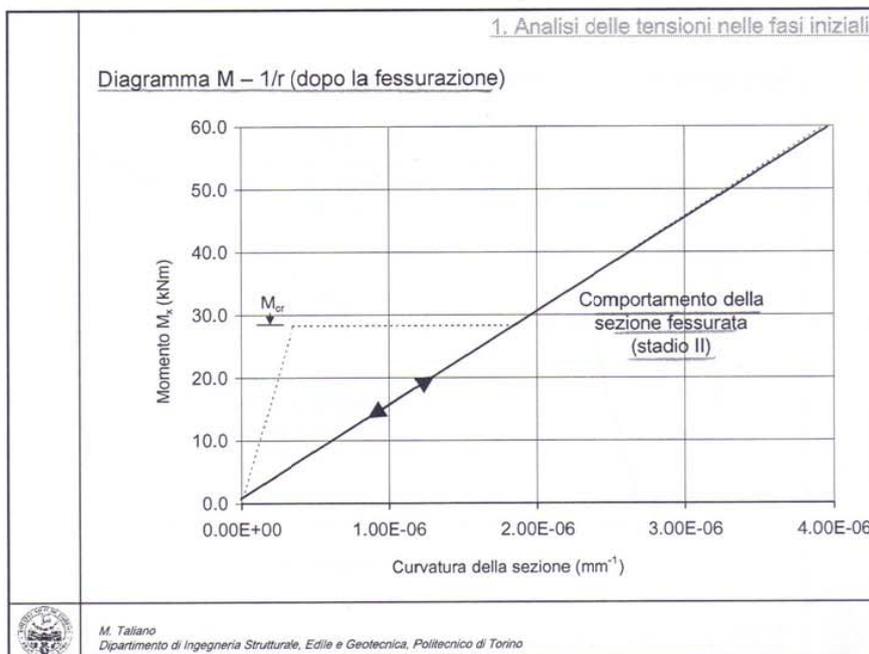
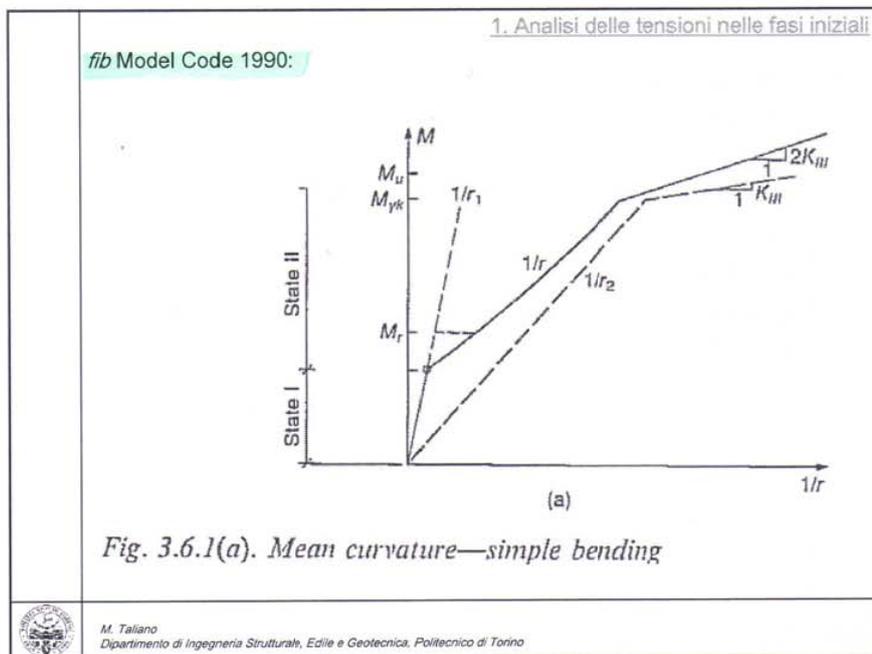
a) Stadio I – sezione interamente reagente

$$\sigma_c = \frac{M_x}{I_{x,om,I}} \cdot y \leq f_{ctm} \quad \sigma_s = \alpha_e \cdot \frac{M_x}{I_{x,om,I}} \cdot y_s \quad \mu_x = \frac{M_x}{E_c \cdot I_{x,om,I}}$$

b) Stadio II – sezione fessurata (parzializzata)

$$\sigma_{c,max} = \frac{M_x}{I_{x,om,II}} \cdot x_c \quad \sigma_s = \alpha_e \cdot \frac{M_x}{I_{x,om,II}} \cdot y_s \quad \mu_x = \frac{M_x}{E_c \cdot I_{x,om,II}}$$

M. Taliano
Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino



Quando ho $\sigma_{c, \text{max}}^{(+)} > f_{ctm}$ ho solo l'acciaio e valgono le Formule di Saint Venant per l'acciaio, considerandolo come un materiale elastico, isotropo, omogeneo e lineare.

Cosa succede se N_z produce $\sigma_{c, \text{max}}^+ = f_{ctm}$?
Quanto vale lo sforzo normale di flessione?

$$N_{CR} = N_z$$

N_{CR} = SFORZO DI FLESSIONE (o DI ROTURA)

N_z è l'incognita, legata allo sforzo normale di flessione.

$$N_z = f_{ctm} \cdot A_{c, \text{oro}}$$

• SEZIONE INTERAMENTE REAGENTE $N_z \leq N_{CR}$

Facciamo riferimento alla sezione ideale, aumentando l'acciaio con il c/c.

$$\sigma_c = \frac{N_z}{A_{c, \text{oro}}} \leq f_{ctm} \quad \sigma_s = \alpha_e \frac{N_z}{A_{s, \text{oro}}} \quad \epsilon_c = \epsilon_s = \frac{N_z}{E_c A_{c, \text{oro}}}$$

• SEZIONE PARZIALIZZATA $N_z > N_{CR}$

$$\sigma_c = 0 \quad \sigma_s = \frac{N_z}{A_s} \quad \epsilon_s = \frac{N_z}{E_s A_s}$$

Il tirante è diviso in 2 parti e la sezione fessurata in comporta come un unico materiale:

ϵ_s = deformazione media dell'acciaio.

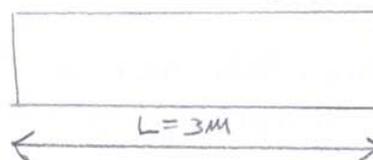
11) ESEMPIO

TIRANTE SOGGETTO A N crescente

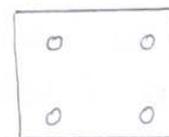
$$A_c = 900 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 4 \phi 20 = 1256 \text{ cm}^2$$

$f_{ct} = 3 \text{ Mpa}$, resistenza media a trazione del c/c

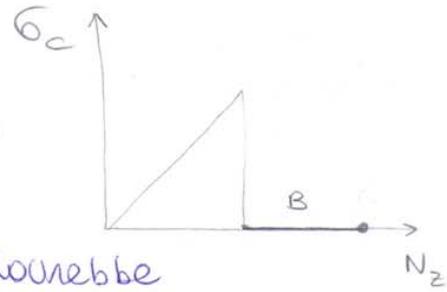


$$\alpha_e = 8$$



REGGE TENSILE + SFORZO NORMALE

B Punto di termine del comportamento elastico lineare, quando n raggiunge lo snervamento del materiale (f_y , nella pratica dovrebbe essere il limite elastico).



Per $N > N_{CR}$ ho da solo elacubio reninte

$$\sigma_c = 0 \quad \sigma_s = \frac{N_z}{A_s} \quad \epsilon_s = \frac{N_z}{E_s A_s}$$

Ho questo comportamento fino ad avere N_z tale che

$$\sigma_s = f_y = 450 \text{ N/mm}^2$$

$$\boxed{N_y = f_y A_s}$$

$N_y = N_z$ sforzo normale che produce lo snervamento dell'acciaio ($\gamma = \gamma_{EL}$).

$$N_y = f_y A_s = 450 \cdot 1256 = 565200 \text{ N} = 565,2 \text{ kN}$$

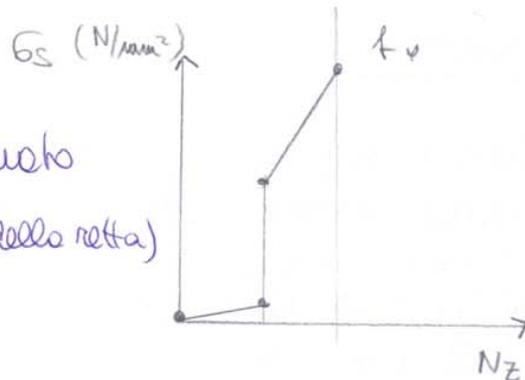
N_y è lo sforzo normale massimo che può essere portato in un campo elastico lineare.

13) COMPORTAMENTO DELL'ACCIAIO

Per $N < N_{CR}$ ho che l'acciaio ha un incremento di tensione, governato

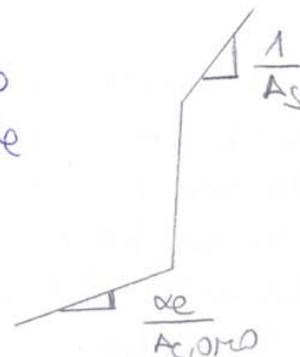
da $\frac{de}{A_{c,1070}}$ (coefficiente angolare della retta)

$$\sigma_s = de \frac{N_z}{A_{c,1070}}$$



Per $N > N_{CR}$ ho che il carico N_z è portato interamente dall'acciaio con coefficiente angolare più alto ($\frac{1}{A_s}$):

$$\frac{1}{A_s} > \frac{de}{A_{c,1070}}$$



• ALLUNGAMENTO TIRANTE FESSURATO

Devo considerare il contributo irrigidente del c/c res o (TENSION STIFFENING) riducendo la deformabilità del tirante.

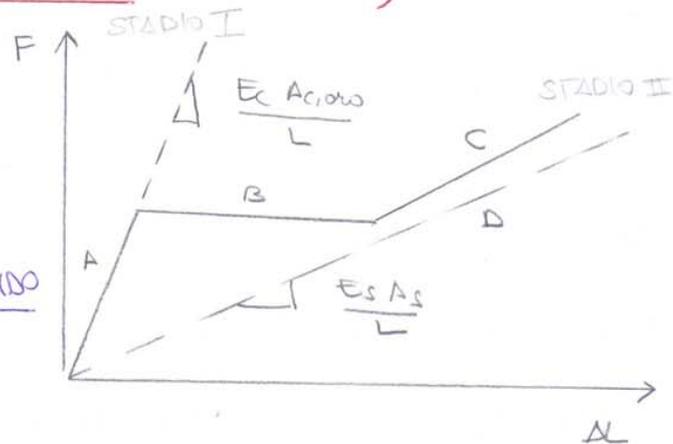
$$\Delta L = \frac{Nz}{E_s A_s} L - \Delta L_{T.S.}$$

IPOTIZZO $\Delta L_{T.S.} = 10\% \frac{Nz}{E_s A_s} \cdot L$

• LEGGE COSTITUTIVA DELLA SEZIONE (TIRANTE)

F = Forza, parametro che tiene conto di tutte le reunioni.

A: STADIO I, COMPORTAMENTO RIGIDO che si mantiene fino a superare la resistenza a trazione del c/c.



$$\Delta L_I = \frac{Nz}{E_c \text{ Acciolo}} \cdot L \quad \text{PENDENZA STADIO I}$$

C: STADIO II, COMPORTAMENTO REALE

$$\Delta L_{II} = 0,9 \frac{Nz}{E_s A_s} \cdot L \quad \text{PENDENZA STADIO II}$$

Nello stadio 2 ho perso il ramo dello stadio I

D: COMPORTAMENTO DI BARRA NUDA

$$\Delta L_{B.N.} = \frac{Nz}{E_s A_s} \cdot L$$

b) 3) FLESSIONE RETTA

la flessione è retta (o semplice) se l'asse di sollecitazione coincide con gli assi centrali d'inertzia.

Per bassi valori del momento flettente avrò 2 zone: una Tesa e una Compresa.

Il comportamento della sezione è condizionato dalla resistenza a trazione del CLS.

- $\sigma_{c,MAX}^{(+)} \leq f_{ctm}$ STADIO I, SEZIONE INTERAMENTE REAGENTE
 lo sforzo di trazione è inferiore alla resistenza media a trazione del CLS, il momento agente è minore del momento di fessurazione:

$$M_x \leq M_{cr}$$

e la sezione non è fessurata.

- $\sigma_{c,MAX}^{(+)} > f_{ctm}$ STADIO II, SEZIONE FESSURATA

Nella trave semplicemente appoggiata , dove si formerà la prima fessura?

Al centro, dove ho il massimo momento flettente.

Con la comparsa della prima fessura, la struttura diventa MOLTO PIU' DEFORMABILE e si comporterà come sezione fessurata (STADIO II), globalmente ho:

- RIDUZIONE DI RIGIDETA' con
- AUMENTO DI DEFORMABILITA'.

per il superamento di resistenza a trazione del CLS.

Studiamo i 2 casi separatamente.

Le fessure si formeranno in funzione dei diversi aspetti: si formerà un QUADRO FESSURATIVO STABILIZZATO e poi aumenteranno le aperture delle fessure.

I valori di (σ_s, ϵ_c) sono funzione di (M, Y_s)

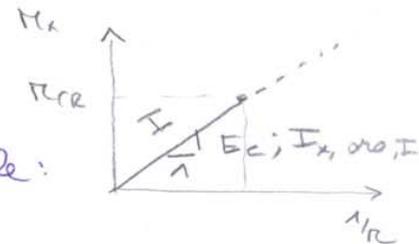
$$\sigma_s = \sigma_e \frac{M_x}{I_{x,0,0,I}} Y_s$$

LA CURVATURA DELLA SEZIONE

$$\mu_x = \frac{1}{R} = \frac{M_x}{E_c I_{x,0,0,I}}$$

Il comportamento di una sezione può essere definito in base alla LEGGE COSTITUTIVA in base a:

- MATERIALE: ELASTICO LINEARE
- SEZIONE: quando il diagramma momento: CURVATURA finale $\epsilon_c < \epsilon_{cm}$ ha un comportamento della sezione elastico lineare.



Ho questo comportamento in STATICO I fino a che:

$$M_x = M_{cr} \rightarrow \epsilon_c = \epsilon_{cm}$$

Il momento flettente produce una tensione massima nel CLS fino tale da essere in condizioni di INCIPIENTE FESSURAZIONE.

- ELEMENTO STRUTTURALE.

Quanto vale M_{max} ?

$$f_{ctm} = \frac{M_{cr}}{I_{x,0,0,I}} \cdot Y_{INF}$$

$Y_{INF} = h_{g,0,0}$ valore della fibra maggiormente tesa,
valore della fibra inferiore se $M > 0$.

Se il S.R. coincide con il baricentro dell'area asportata, coincide anche con l'asse di sollecitazione.

$W = \frac{M}{I}$ MODULO DI RESISTENZA, usato nel calcolo delle tensioni ammissibili.

Abbiamo scritto solo il momento di proporzionale e non il momento d'inerzia proprio delle barre $\frac{\pi R^4}{4} (de-1) \cdot M$,
 con n = numero di barre.

Perché trascuriamo il momento d'inerzia proprio?
 Perché è un valore piccolo e trascurabile rispetto agli altri termini e considero solo il momento di proporzionale.

STADIO II - SEZIONE FOSSURATA (PARZIALIZZATA)

• STATO DI TENSIONE

$N_z = \int_A \sigma_z dA = 0$ la sezione è soggetta a flessione retta

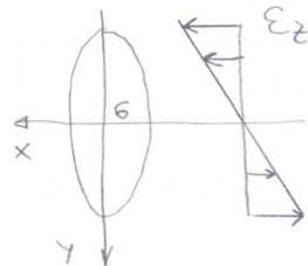
$M_x = \int_A \sigma_z y dA$ equazione della rotazione rispetto ad 1 punto

• CONGRUENZA (Navier)

le sezioni rimangono piane

L'asse y è CENTRALE e PRINCIPALE D'INERZIA

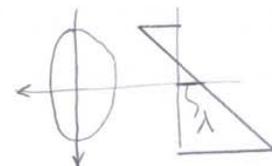
$\sigma_z = \cancel{\lambda} + \mu_x \cdot y - k \cdot y$
= 0 IN G



k è la curvatura della sezione in stadio 2.

$\sigma_z = k y$, equazione di una retta passante per l'origine

Se $\lambda \neq 0$ ho una intercetta (termine noto)



• MATERIALE CON COMPORTAMENTO ELASTICO LINEARE

CLS $\left\{ \begin{array}{l} \sigma_c^{(-)} = E_c \epsilon_c \\ \sigma_c^{(+)} = 0 \end{array} \right.$ in zona tesa la sezione è fessurata

ACCIAIO $\sigma_s^{+,-} = E_s \epsilon_s$

Quante sono le equazioni per risolvere il problema elastico?

$$\sigma_{c,MAX} = \frac{M_x}{I_{x,acciaio}} x_c$$

$$\sigma_s = de \frac{M_x}{I_{x,acciaio}} y_s$$

OSSERVAZIONE

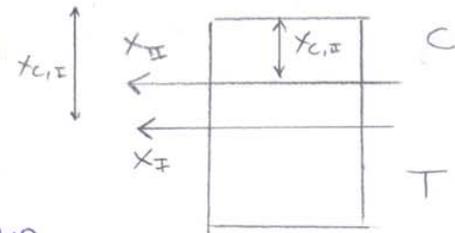
$\int y dA =$ momento statico dell'area rispetto all'asse x

All'interno della [...] ottengo il momento statico della sezione flessurata

$$S_{0, x, II} = 0$$

la condizione dell'asse di separazione è quella di separare le aree di cls reagente (C) dalle aree di cls non reagente (T): questa condizione viene ottenuta imponendo $S_{0, x, II} = 0$.

• In stadio I la caratteristica di un'asse baricentrico è quella di avere $S = 0$



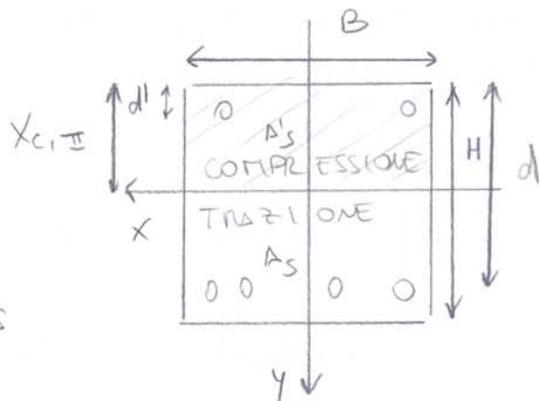
• In stadio II, cambierà la posizione dell'asse ($x_{c, II} < x_{c, I}$), si ridurrà la zona compressa, e la condizione di base per trovare l'asse di separazione è quella di avere

$S_{0, x, II} = 0$
della sezione assopuntata.

In stadio 2 si riduce la zona compressa e ricavo la posizione del nuovo asse di separazione con $S = 0$.

SEZIONE RETTANGOLARE

L'asse x è posizionato a livello dell'asse di separazione.



Torniamo all'espressione

$$0 = k E_c \left[\underbrace{\int_{A_c} y_c dA_c}_{\text{CONTRIBUTO NETTO DEL CLS}} + \underbrace{\frac{E_s}{E_c} \int_{A_s} y_c dA_s}_{\text{ACCIAIO TESO OTTOGENITATO}} + \underbrace{\frac{E_s}{E_c} \int_{A'_s} y_s dA'_s}_{\text{ACCIAIO COMPRESSO}} \right]$$

con $\sigma = E \cdot \varepsilon$ e $\varepsilon = k y$, (E, k) COSTANTI

$$M_x = E_c k \int_{A_c} y_c^2 dA_c + E_s k \int_{A_s} y_s^2 dA_s + E_s k \int_{A_s'} y_s'^2 dA_s'$$

$$M_x = E_c k \left[\int_{A_c} y_c^2 dA_c + \frac{E_s}{E_c} \int_{A_s} y_s^2 dA_s + \frac{E_s}{E_c} \int_{A_s'} y_s'^2 dA_s' \right]$$

$I_{x,0,0,x,II}$

la [...] rappresenta il momento d'inerzia della sezione omogeneizzata in STADIO II.

LA CURVATURA

$$k = \frac{M_x}{E_c I_{x,0,0,x,II}}$$

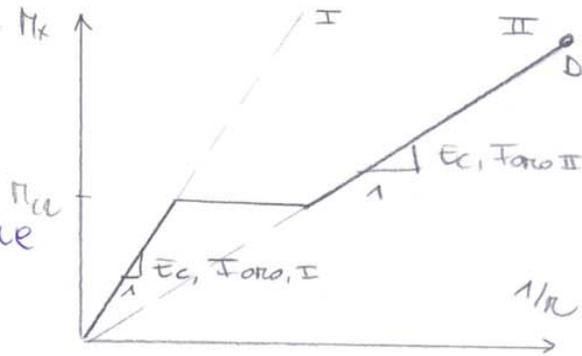
EA = RIGIDEZZA ASSIALE della sezione

EI = RIGIDEZZA FLESSIONALE della sezione fessurata.

Il legame (M_x, k):

Dopo fessurazione, con la perdita di parte del CS reagente, ottengo una struttura più deformabile (e meno rigida).

Qual è il comportamento?



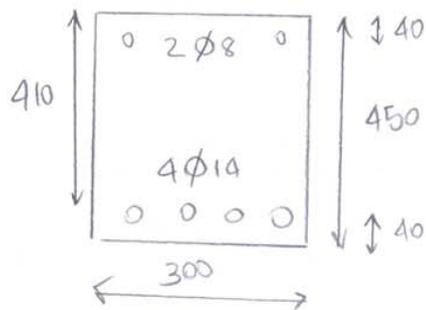
D = PUNTO DI SVERNAMENTO

$$I_{x,0,0,x,II} = \frac{B x_{c,II}^3}{3} + d_e A_s (d - x_{c,II})^2 + (d_e - 1) A_s' (x_{c,II} - d')^2$$

ESEMPIO 1) SEZIONE RETTANGOLARE

GEOMETRIA

la Norma italiana richiede per le strutture in C.A. che lavorano compressa ma almeno $2\phi 14$, Superiormente e inferiormente a correre.



Questa sezione non rispetta la Norma.

STADIO II - SEZIONE PARZIALIZZATA

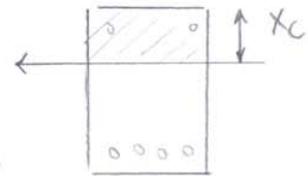
Con $M_x = 40 \text{ kNm}$ $M_{02} = 32,5 \text{ kmm}$ ho fessurazione

Con la prima fessura ho de e l'one di separazione in sposta ed axis:

- la parte superiore e' reagente ed ho tendami di compressione su cis e acciaio
- la parte inferiore ha solo tendami di trazione nell'acciaio.

la sezione e' piu' deformabile e:

- Non ho il contributo del cis reso;
- il contributo del cis compresso e' inferiore perche' si riduce l'area del cis compresso.



Impongo una condizione geometrica:

$$Sotto, \pi = 0$$

che rappresenta un'equazione di 2° grado in x_c .

$$\frac{Bx_c^2}{2} + x_c [de A_s + (de-1) A'_s] - [de A_s d + (de-1) A'_s d'] = 0$$

$$\frac{300}{2} x_c^2 + x_c [6 \cdot 616 + 5 \cdot 100,5] - [6 \cdot 616 \cdot 410 + 5 \cdot 100,5 \cdot 40] = 0$$

$$150 x_c^2 + 4198,5 x_c - 1535460 = 0$$

$$x_c^2 + 27,99 x_c - 10236,4 = 0$$

$$x_{c,II} = \frac{-27,99 + \sqrt{27,99^2 + 4 \cdot 10236,4}}{2} = 87,5 \text{ mm} \quad (\Delta ne \quad 88,1)$$

$x_{c,II} = 87,5 \text{ mm}$ anche $x_{c,II} = 228,4 \text{ mm}$

Calcolo il momento d'inerzia:

$$I_{oro, x, II} = 300 \cdot \frac{87,5^3}{3} + 6 \cdot 616 (410 - 87,5)^2 + 5 \cdot 100 \cdot (87,5 - 40)^2 =$$

$$I_{oro, x, II} = 452,60 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

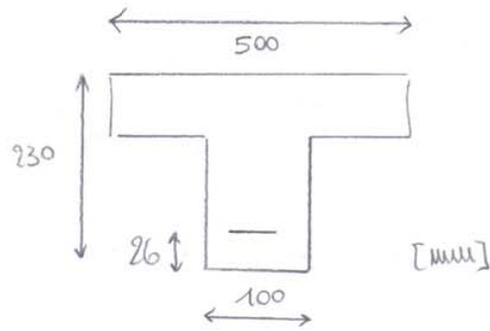
In stadio 2 il momento d'inerzia DIMINUISCE ($I_{oro, II} = 2399,01 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$)

22) SEZIONE A T

$$L = 4,70 \text{ m} \quad \alpha_e = 7$$

$$A_s = 2\phi 12 = 226,2 \text{ mm}^2$$

$$A'_s = 0$$

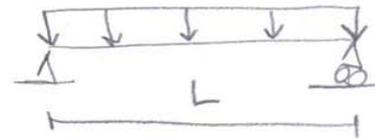


• SCHEMA STATICO

Trave semplicemente appoggiata

• ΔZIONI

$$\left. \begin{array}{l} G_k = 4,50 \text{ kN/m}^2 \\ Q_k = 2,00 \text{ kN/m}^2 \end{array} \right\} \text{CARICHI PER UNITÀ DI SUPERFICIE}$$



$$\left. \begin{array}{l} g_k = G_k \cdot 0,50 \text{ m} = 2,25 \text{ kN/m} \\ q_k = Q_k \cdot 0,50 \text{ m} = 1,00 \text{ kN/m} \end{array} \right\} \text{CARICHI PER UNITÀ DI LUNGHEZZA}$$

P = carico uniformemente distribuito

$$P_{qp} = 2,25 + 0,3 \cdot 1 = 2,55 \text{ kN/m}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

$$P_{car} = 2,25 + 1,0 = 3,25 \text{ kN/m}$$

COMBINAZIONE RARA o CARATTERISTICA

• ANALISI STRUTTURALE

$$M_{max, qp} = \frac{P_{qp} L^2}{8} = \frac{2,55 \cdot 4,7^2}{8} = 7,0 \text{ kNm}$$

$$M_{max, car} = \frac{P_{car} L^2}{8} = \frac{3,25 \cdot 4,7^2}{8} = 9,0 \text{ kNm}$$

• STADIO II

Calcolo l'altezza della zona compressa nella CONDIZIONE GEOMETRICA DI $S=0$.

l'altezza della zona compressa è una condizione geometrica che non dipende dai carichi ed ha lo stesso valore per M_{qp} e M_{car} .

• POTENTO DI FESSURAZIONE - STADIO I

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{I_{x,crack,I}}{y_{INF}}$$

con $f_{ctm} = 3 \text{ N/mm}^2$

- CALCOLO h_g :

$$A_{tot} = 500 \cdot 50 + 180 \cdot 100 + (7-1) \cdot 226,2 = 44357,2 \text{ mm}^2$$

$$S_{tot, B, INF} = 500 \cdot \frac{230^2}{2} - 2 \cdot 200 \cdot \frac{180^2}{2} + (7-1) 226,2 \cdot 26 = 6,75 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$h_g = \frac{S}{A} = \frac{6,75 \cdot 10^6}{44357,2} = 152,17 \text{ mm} = y_{INF}$$

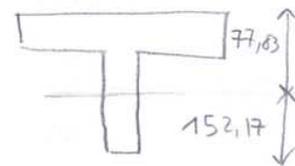
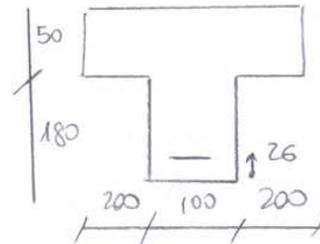
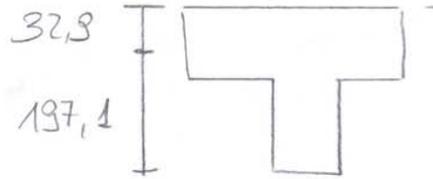
- CALCOLO I

$$I_{x,crack,I} = 500 \cdot \frac{77,83^3}{3} - 2 \cdot 200 \cdot \frac{27,83^3}{3} + 100 \cdot \frac{152,17^3}{3} + (7-1) 226,2 (152,17 - 26)^2 = 214,76 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

- POTENTO DI FESSURAZIONE

$$M_{cr} = 3 \cdot \frac{214,76 \cdot 10^6}{152,17} = \boxed{4,23 \text{ kNm}}$$

STADIO II



• PICCOLA ECCENTRICITÀ - STADIO I (SEZIONE INTERAMENTE RESISTENTE)

Il centro di gravità coincide dell'altro il nocciolo centrale d'inertzia della sezione resistente e l'asse neutro è esterno alla sezione.

- le tensioni nei materiali si possono calcolare applicando il principio di sovrapposizione degli effetti prodotti dalla flessione e dallo sforzo di compressione;
- Nelle ipotesi di sezione interamente omogenea e perfetta aderenza, valgono le seguenti formule:

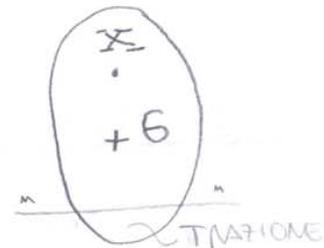
$$\sigma_c = \frac{N_z}{A_{c,oro}} \pm \frac{M_x}{I_{x,oro,I}} \cdot y_c \leq f_{ctm} \quad \sigma_s = \sigma_e \left(\frac{N_z}{A_{c,oro}} \pm \frac{M_x}{I_{x,oro,I}} \cdot y_s \right)$$

CURVATURA

$$\mu_x = \frac{M_x}{E_c I_{x,oro,I}}$$

Visto che la sezione non è parzialmente ma rimane interamente resistente, vale il PSE per il caso di sezione elastica lineare.

Questo caso si verifica quando lo sforzo N ha piccola eccentricità, ovvero che il centro di gravità (G) è "vicino" a G.



Ma che non tutta la sezione è in compressione ma, siccome l'asse neutro taglia la sezione, avrà anche sforzi di trazione, a patto che

$$\sigma_{c,max}^{(+)} \leq f_{ctm}$$

la regione di nocciolo della sezione armata è inferiore di quella della sezione non armata.

$$\text{Con } \sigma_c = E_c \varepsilon_c \quad \text{e} \quad \varepsilon_c = k y$$

$$N_z = k E_c \int_{\text{Area}} y \, dA$$

$$M_x = k E_c \int_{\text{Area}} y^2 \, dA$$

$$e = \frac{M_x}{N_z} = \frac{N_z \cdot y_x}{N_z} = y_x = \frac{k E_c \int_{\text{Area}} y^2 \, dA}{k E_c \int_{\text{Area}} y \, dA}$$

CONDIZIONE
DI POSIZITA'

$$y_x = \frac{\int_{\text{Area}} y^2 \, dA}{\int_{\text{Area}} y \, dA}$$

Il comportamento ideale di un materiale che ha la stessa resistenza a trazione e compressione con dimensioni uguali alle dimensioni di sola c.s.

(N, M) sono applicate in G.

$$e = X_G = \frac{M_x}{N_z}$$

Cos'è moto della sezione?

- h_0 , nel caso di sezione rettangolare è $h/2$;
- γ_x funzione di e, h_0, x_c

$$e = \gamma_x + h_0 - x_c \rightarrow \boxed{\gamma_x = e - h_0 + x_c} \quad (B)$$

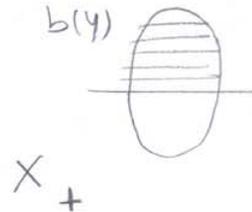
Ho un sistema di 2 equazioni (A, B) in 2 incognite con cui calcolare x_c .

OSSERVAZIONE

Se la sezione ha una **FORMA QUALSIASI**, non è facile farlo in forma chiusa MA devo usare un software di calcolo per approssimare l'integrale in una sommatoria di strisce di spessore ridotto.

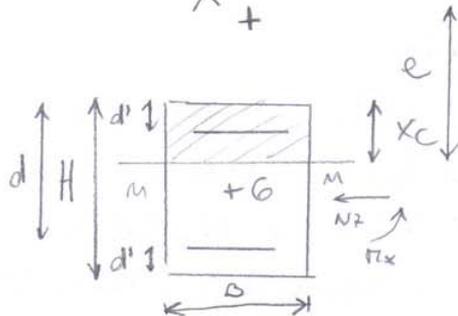
Questo calcolo avrà un piccolo errore.

$b(y)$ ALTEZZA della FIBRA a distanza y .



SEZIONE RETTANGOLARE

$$\boxed{S_{u, m, oro} = B \frac{x_c^2}{2} + (de-1) A'_s (x_c - d') - de A_s (d - x_c)}$$



CISOTROPICO MATERIALI COMP. MATERIALI RESA

$$I_{u, oro} = \underbrace{\frac{Bx_c^3}{3}} + \underbrace{(de-1) A'_s (x_c - d')^2} + \underbrace{de A_s (d - x_c)^2}$$

con $d = H - d'$