



SOFT.LAB
SOFTWARE PER L'EDILIZIA



ORDINE DEGLI
INGEGNERI
DELLA PROVINCIA
DI CASERTA

***Progettazione sismica
e sicurezza di edifici
in cemento armato
nuovi ed esistenti***

***STATI GENERALI
DEL CEMENTO ARMATO***



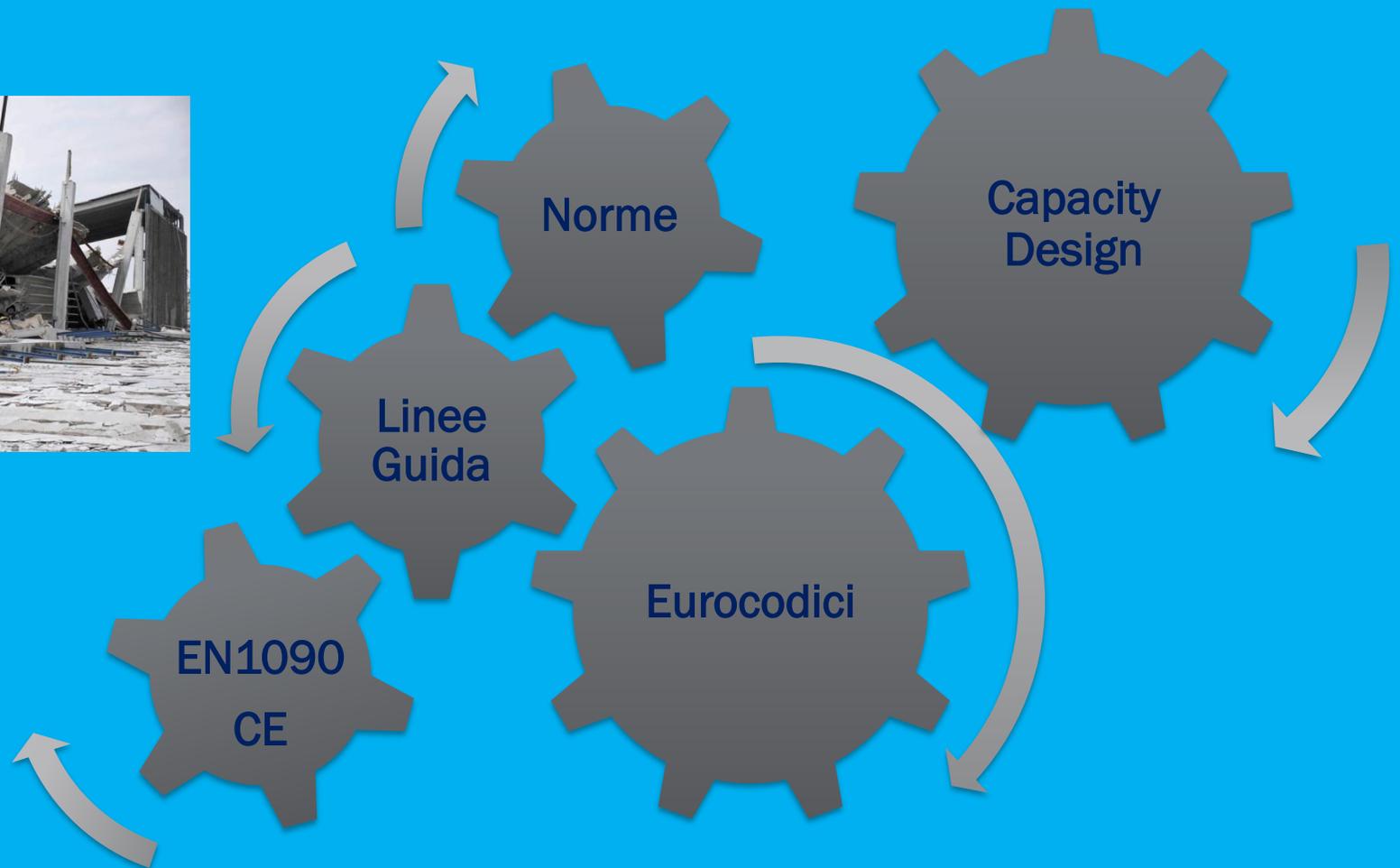
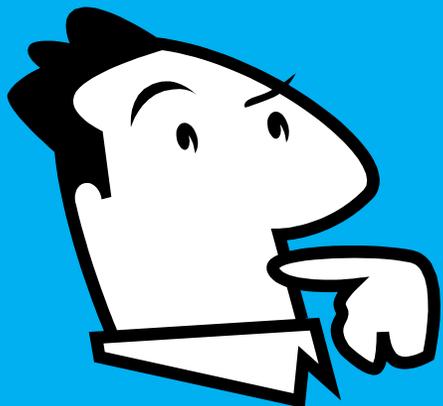
**PROF. ING.
VINCENZO NUNZIATA**

**Edifici in cemento armato
a bassa danneggiabilità in
zona sismica: il metodo dello
Strength Ductility Design**

STRENGTH DUCTILITY DESIGN

Secondo il metodo di progettazione per resistenza e duttilità (o strength ductility design), in zona sismica: *“le strutture presenteranno un comportamento elastico-resistente per il terremoto di progetto (spettro elastico, $q \leq 1,5$) con verifica della duttilità a livello deduttivo secondo una progettazione consapevole e controllata”.*

Ma il programma diceva che era verificato!



FASI Strength Ductility Design – c.a.

1. Criteri di progettazione e regola d'arte

- Qualità dei materiali
- Forma
- Sovradimensionamento
- Regolarità e semplicità strutturale

2. Criteri di Analisi Teorica e Calcolo

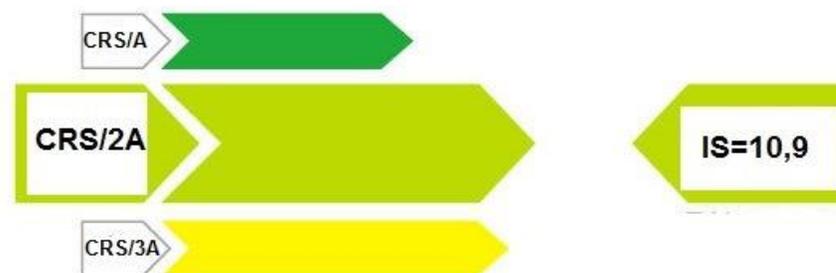
- Verifiche per meccanismi fragili
- Telai con controventi concentrici, pareti e/o nuclei irrigidenti
- Telai con controventi dissipativi o speciali

3. Prescrizioni Costruttive e Controllo di Esecuzione

- Controllo dei dettagli costruttivi e fasi di getto
- Controllo di esecuzione



CLASSE DI RISCHIO SISMICO



1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali



Materiali scadenti

1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali

Calcestruzzo: composizione

Il calcestruzzo, o conglomerato cementizio (in francese *beton*, in inglese *concrete*), è un materiale artificiale che si ottiene mescolando insieme in opportune proporzioni: cementi, aggregati o inerti (sabbia e ghiaia o pietrisco) e acqua, più eventuali additivi e aggiunte.

Il cemento a contatto con l'acqua fa *presa* e indurisce, legando tra loro gli aggregati in un'unica massa compatta e resistente.

Il calcestruzzo va considerato come una pietra artificiale formata da due componenti principali: pasta di cemento (cemento + acqua) e aggregati, secondo la seguente formulazione:

$$\text{Calcestruzzo} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Pasta di cemento : cemento + acqua} \\ + \\ \text{Aggregati : sabbia + ghiaia o pietrisco} \end{array} \right.$$

Il calcestruzzo strutturale deve essere caratterizzato in fase progettuale, secondo le attuali norme, almeno da quattro parametri:

- classe di resistenza
- classe di consistenza al getto
- diametro massimo dell'aggregato
- classe di esposizione ambientale

1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali

Calcestruzzo: i componenti

I materiali che compongono un calcestruzzo cementizio, sono:

- Cemento
- Aggregati
- Acqua

In alcuni casi vengono impiegati anche altri componenti che possono essere:

- Aggiunte
- Additivi.

I cementi vengono classificati in base alla resistenza a compressione a 28 giorni determinata su provini di malta normale (una parte in peso di cemento e tre di sabbia, 1:3); secondo le norme si ha:

cemento normale tipo 32,5 – resistenza minima a compressione a 28 giorni 32,5 N/mm² (325 kg/cm²);

cemento ad alta resistenza tipo 42,5 – resistenza minima a compressione a 28 giorni 42,5 N/mm² (425 kg/cm²);

cemento ad alta resistenza e rapido indurimento tipo 52,5 – resistenza minima a compressione a 28 giorni 52,5 N/mm² (525 kg/cm²).

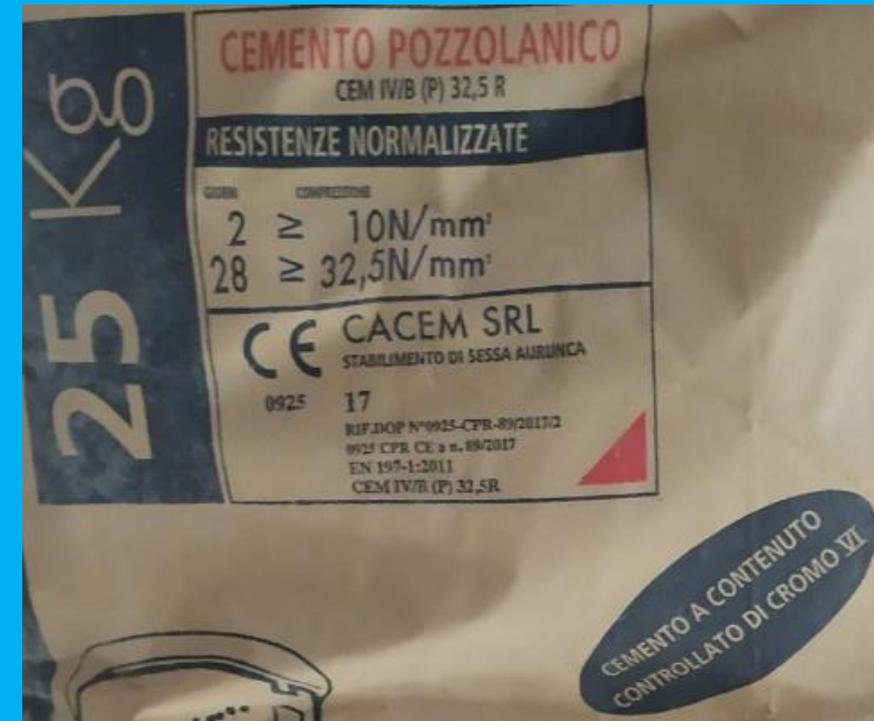
1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali

Calcestruzzo: i componenti

Tabella 1. Tipi di cemento e composizione – Percentuali massa¹⁾ – UNI EN 197

Tipi di cemento	Denominazione	Sigla CEM	Clinker K	Loppa d'altoforno granulata S	Microsilicee D ²⁾	Pozzolana		Cenere volante		Scisto calcinato T	Calcare L	Costituenti secondari ³⁾	
						Naturale P	Industriale Q ⁹⁾	Silicica V	Calcica W				
I	Cemento Portland	I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Cemento Portland alla loppa	II-A/S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		II-B/S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Cemento Portland alla microsilicee	II-A/D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Cemento Portland alla pozzolana	II-A/P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5	
		II-B/P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5	
		II-A/Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
		II-B/Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
	Cemento Portland alla cenere volante	II-A/V	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
		II-B/V	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
		II-A/W	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5	
		II-B/W	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5	
	Cemento Portland allo scisto calcinato	II-A/T	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5	
		II-B/T	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5	
	Cemento Portland al calcare	II-A/L	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
		II-B/L	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
	Cemento Portland composito	II-A/M	80-94	←-----6-20 ¹⁾ -----→									0-5
		II-B/M	65-79	←-----21-35 ²⁾ -----→									0-5
	III	Cemento d'altoforno	III-A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	0-5
III-B			20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
III-C			5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
IV	Cemento pozzolanico	IV-A	65-89	-	←-----11-35-----→					-	-	0-5	
		IV-B	45-64	-	←-----36-55-----→					-	-	0-5	
V	Cemento composito	V-A	40-64	18-30	-	←-----18-30-----→					-	-	0-5
		V-B	20-39	31-50	-	←-----31-50-----→					-	-	0-5



1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali

Calcestruzzo: Composizione o mix design

La dosatura più comune per ottenere un metro cubo di calcestruzzo è la seguente:

Cemento 3,5 kN

Sabbia 0,4 mc \cong 5,5 kN

Ghiaia o Pietrisco 0,8 mc \cong 14,50 kN

Acqua 1,8 kN

+ $\left\{ \begin{array}{l} -AGGIUNTE \\ -ADDITIVI \end{array} \right.$

Calcestruzzo: Compattezza

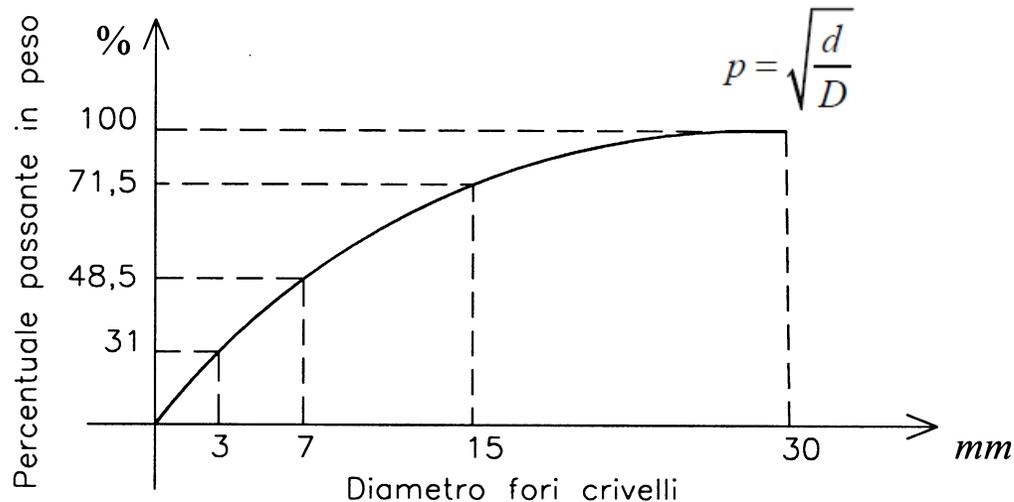


Tabella 3. Composizione di aggregato di peso 20 kN secondo la curva di Fuller

Mucchio	Diametro min./max (mm)	Percentuale in peso	Peso (kN)
1	15/30	$(100-71,5) = 28,5$	5,7
2	7/15	$(71,5-48,5) = 23$	4,6
3	3/7	$(48,5-31) = 17,5$	3,5
4	1/3	31	6,2
	Tot.	100%	20 kN

Curva di Fuller per $D \leq 30$ mm

1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali



Progetto di miscela

data ---

Elaborato tecnico eseguito per : ---

Cantiere : ---

Scheda tecnica del calcestruzzo:	Rck 30	D25	S3	Sigla MIX	---	Classe d'esposizione	XC2
----------------------------------	--------	-----	----	-----------	-----	----------------------	-----

Composizione della miscela

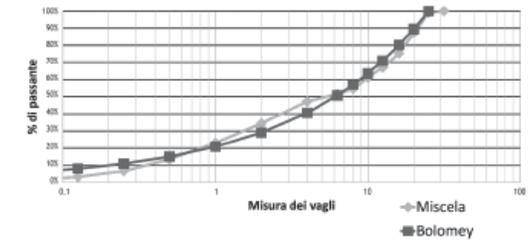
Aggregati	Frz.	Volume occ. dm ³	M.V. (secco) kg/dm ³	Pesi (secco) kg/m ³	Assorbim. del granulo	Pesi (SBA) kg/m ³	Provenienza
Sabbia	49%	338.9	2.68	907	1.40%	920	Reggia Cave
Pietrischetto	10%	69.2	2.59	179	0.06%	179	SEMAC
Pietrisco	41%	283.6	2.67	758	0.04%	758	SEMAC
.....	0%	0	0	0	0.00%	0	
.....	0%	0	0	0	0.00%	0	Cementir maddaloni
Cemento 42R CEM BALL		110	3	330	0.00%	330	Mapei dynamon SX
Acqua		175	1	188	-	175	
Additivo		3.3	1.1	3.63	-	3.63	
Vuoti		20	-	-	-	-	
Totali		1000		2.366		2.366	

Rapp. A/C= 0.54

Caratteristiche della miscela

Vagli serie UNI	Valore miscela	Valore di Bolomey
0.063	1.20	6.00
0.125	3.20	8.10
0.25	6.60	11.00
0.5	13.60	15.10
1	23.10	20.90
2	34.40	29.10
4	47.30	40.60
6.3	51.50	50.70
8	54.60	57.00
10	61.20	63.60
12.5	67.10	71.00
16	75.40	80.20
20	87.30	89.60
25	99.00	100.00
31.5	100.00	112.10

GRANULOMETRIA



Caratteristiche del calcestruzzo fresco

Prova	Valore	Norma di riferimento
Abbassam. Al cono di Abrams (slump)	130 mm	UNI EN 12350-2
Massa volumetrica	2379 kg/m ³	UNI EN 12350-6
Aria inglobata	1.90%	UNI EN 12350-7
Acqua essudata	0.00%	UNI 7122

Caratteristiche del calcestruzzo indurito

Prova n	gg	Peso	Resistenza	
1	2	7.973 kg	18.5	N/mm ²
2	2	7.973 kg	19	N/mm ²
3	7	7.973 kg	29.9	N/mm ²
4	7	7.973 kg	29.3	N/mm ²
5	28	7.973 kg	38	N/mm ²
6	28	7.973 kg	38	N/mm ²

ANDAMENTO RESISTENZE

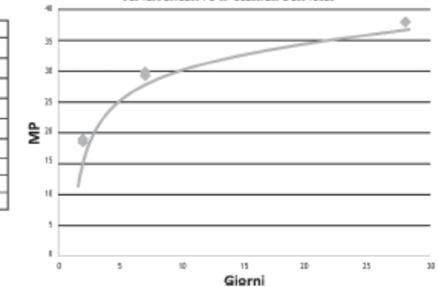


Figura 3. Esempio di mix design del fornitore

1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali

il paragrafo 11.2.8 della NTC 2018 prevede che gli impianti di produzione del calcestruzzo debbano dotarsi di un “*sistema permanente di controllo interno della produzione allo scopo di assicurare che il prodotto risponda ai requisiti previsti dalle presenti norme e che tale rispondenza sia costantemente mantenuta fino all’impiego*”. Un po’ come avviene per le strutture in acciaio, dove è previsto un sistema di controllo interno allo stabilimento di produzione (officina) o **FPC** (Factory Production Control).



1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali

Calcestruzzo: Lavorabilità

La lavorabilità, designata con il termine *consistenza* nella normativa vigente, è l'attitudine del calcestruzzo fresco ad essere manipolato e messo in opera.

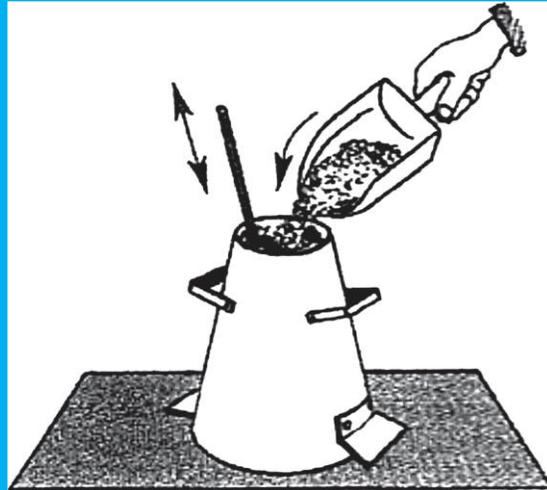
I metodi di misura (prove) della consistenza più largamente adottati sono i seguenti:

- **abbassamento al cono;**
- **compattabilità (Walz);**
- **spandimento.**

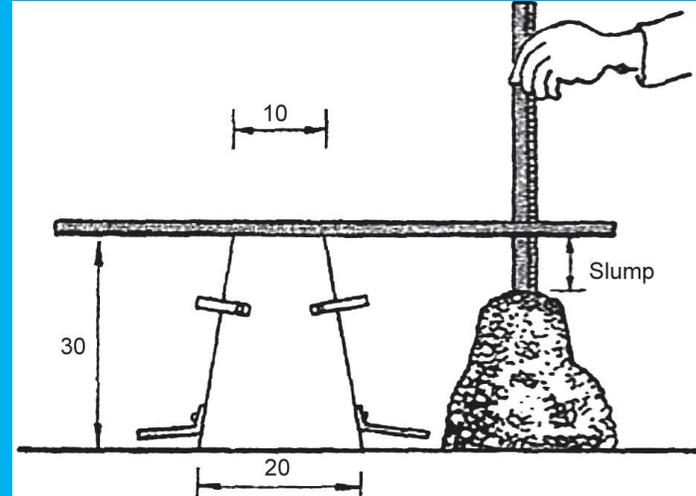
1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali

Calcestruzzo: Lavorabilità Cono di Abrams



Riempimento del cono in tre strati e Costipamento con tondino.



Misura dell'abbassamento dopo estrazione del cono

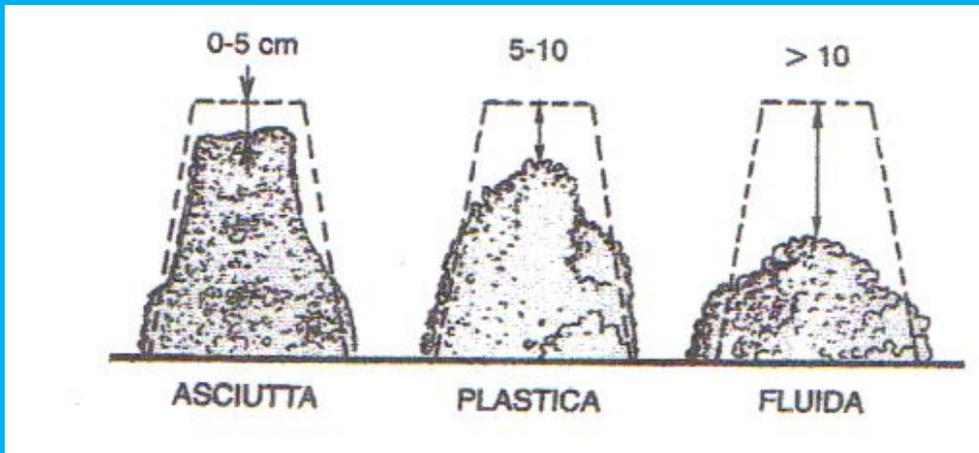


Tabella 4. Classe di consistenza mediante le misure dell'abbassamento al cono (UNI EN 206-1)

Classe di consistenza	Abbassamento (slump) (mm)	Denominazione corrente
S1	da 10 a 40	Umida
S2	da 50 a 90	Plastica
S3	da 100 a 150	Semifluida
S4	da 160 a 210	Fluida
S5	> 210	Superfluida

Consistenza

1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali

Calcestruzzo: Durabilità

La *durabilità* di una struttura in c.a. insieme alla *resistenza caratteristica* sono i due parametri fondamentali per una corretta progettazione strutturale. Mentre la durabilità è legata ad esigenze di tipo prestazionale della specifica tipologia strutturale in riferimento ad un determinato periodo minimo di servizio prescritto dalle norme, la resistenza caratteristica è invece legata a indicazioni di tipo statistico.

Il problema principale delle strutture in c.a. sono le armature in acciaio con la loro tendenza ad arrugginirsi e tornare alla forma naturale di *ferro* con tutti i problemi conseguenti a tale fenomeno per la struttura, come avremo modo di approfondire di seguito

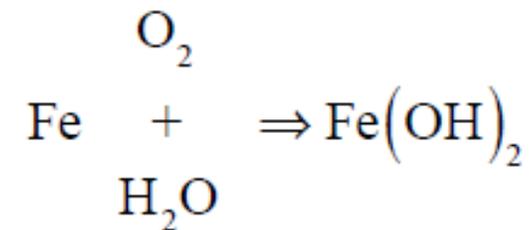
In definitiva un calcestruzzo è tanto più durevole quanto maggiore è la sua resistenza caratteristica o classe e quanto maggiore è il grado di protezione delle armature.

1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali

La corrosione delle armature

La corrosione delle armature è dovuta alla reazione chimica tra il ferro (Fe) che è la componente predominante dell'acciaio, l'ossigeno (O₂) e l'acqua (H₂O). La reazione determina la formazione di idrossidi di ferro [Fe(OH)₂] ovvero la *ruggine*:



Una prima osservazione che si può fare è che la ruggine *non si forma* in climi secchi e ventilati o in strutture protette ed asciutte, per mancanza dell'elemento acqua nella reazione chimica, oppure *non si forma* in strutture completamente immerse in acqua, per mancanza dell'elemento ossigeno.

1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali

Calcestruzzo: Durabilità



Effetti della ruggine sulle strutture



Tabella 6. Tempo di carbonatazione del ricoprimento riferito a calcestruzzo CEM II A-L 42,5 in ambiente con umidità relativa del 65%

Copriferro (mm)	a/c	Tempo di carbonatazione (anni)
20	0,6	3,9
40	0,6	15,7
20	0,5	8,2
40	0,5	32,7
20	0,4	27,7
40	0,4	110,8

1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali

Calcestruzzo: Durabilità

Caratteristiche dell'ambiente			Linee guida (Consiglio superiore dei LL.PP. Servizio Tecnico Centrale)		
Nessun rischio di corrosione delle armature o di attacco chimico			Max rap. a/c	R_{ck} Min (N/mm ²)	Contenuto minimo di cemento (kg/m ³)
		pareti a contatto di acque industriali fortemente aggressive			
Attacco dei cicli gelo/disgelo					
XF1	Grado moderato di saturazione in assenza di Sali disgelanti	Superfici verticali esposte alla pioggia ed al gelo	0,55	37	300
XF2	Grado moderato di saturazione in presenza di sali disgelanti	Superfici verticali di strutture stradali esposte a nebbie contenenti agenti disgelanti	0,50	37-40	320
XF3	Grado elevato di saturazione in assenza di sali disgelanti	Superfici orizzontali esposte alla pioggia e al gelo	0,50	37-40	320
XF4	Grado elevato di saturazione in presenza di sali disgelanti	Superfici verticali e orizzontali esposte a spruzzi d'acqua contenenti sali disgelanti	0,45	45	350

Caratteristiche dell'ambiente			Linee guida (Consiglio superiore dei LL.PP. Servizio Tecnico Centrale)		
Nessun rischio di corrosione delle armature o di attacco chimico			Max rap. a/c	R_{ck} Min (N/mm ²)	Contenuto minimo di cemento (kg/m ³)
		industriali contenenti cloruri			
XD3	Ciclicamente secco e bagnato	Parti di ponti, pavimentazioni, parcheggi per auto	0,45	45	350
Corrosione delle armature indotta da cloruri dell'acqua di mare					
XS1	Esposizione ad atmosfera salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture sulla costa o in prossimità di essa	0,50	37-40	320
XS2	Sommerso	Parti di strutture marine	0,45	45	350
XS3	Nelle zone delle maree, nelle zone soggette a spruzzi	Parti di strutture marine	0,45**	45	350**
Attacco chimico					
XA1	Aggressività debole	Contenitori di fanghi e vasche di decantazione; contenitori e vasche per acque reflue	0,55	37	300*
XA2	Aggressività moderata	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi	0,50	37-40	320*
XA3	Aggressività forte	Elementi strutturali o	0,45**	45	350**

Tabella 7. Classi di esposizione ambientale

Caratteristiche dell'ambiente			Linee guida (Consiglio superiore dei LL.PP. Servizio Tecnico Centrale)		
Nessun rischio di corrosione delle armature o di attacco chimico			Max rap. a/c	R_{ck} Min (N/mm ²)	Contenuto minimo di cemento (kg/m ³)
X0	Molto secco	Edifici interni a umidità molto bassa (<45%)	-	-	-
Corrosione delle armature indotta da carbonatazione del calcestruzzo					
XC1	Secco	Interni di edifici a bassa umidità relativa	0,60	30	280
XC2	Bagnato, raramente secco	Parti di struttura di contenimenti o liquidi; fondazioni	0,60	30	280
XC3	Umidità moderata	Edifici con interni a umidità relativa da moderata ad alta; calcestruzzo esterno riparato dalla pioggia	0,55	37	300
XC4	Ciclicamente secco e bagnato	Superfici a contatto con acqua non comprese nelle classi XC2	0,50	37-40	320
Corrosione delle armature indotta da cloruri					
XD1	Umidità moderata	Superfici esposte a spruzzi diretti d'acqua contenenti cloruri	0,55	37	300
XD2	Bagnato, raramente secco	Piscine: calcestruzzo esposto ad acque	0,50	37-40	320

1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali

Calcestruzzo: L'Acciaio

L'acciaio da cemento armato comunemente adoperato è fornito in barre di forma circolare (lunghezza 6÷12 m) e in reti elettrosaldate (dim. 2÷3 m × 3÷6 m, maglia 10÷20 cm).

Tutti gli acciai per cemento armato devono essere ad aderenza migliorata, aventi cioè una superficie dotata di nervature o dentature trasversali atte ad aumentare l'aderenza al conglomerato cementizio.

Tabella 9. Caratteristiche dei tipi d'acciaio per c.a.

Caratteristiche	B450C	B450A
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$f_{nom} \geq 450 \text{ N/mm}^2$	$f_{nom} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	$f_{nom} \geq 540 \text{ N/mm}^2$	$f_{nom} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
$(f_t / f_y)_k$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	$\geq 1,05$
$(f_y / f_{ynom})_k$	$\leq 1,25$	$\leq 1,25$
Allungamento ($A_{gt,k}$)	$\geq 7,5\%$	$\geq 2,5\%$
Diametro del mandrino Per prove di carico di Pieghamento a 90° e successivo Raddrizzamento senza cricche:		
$\varnothing \leq 12 \text{ mm} (\varnothing \leq 10 \text{ mm})$	40	
$12 \leq \varnothing \leq 16 \text{ mm}$	50	
$16 < \varnothing \leq 25 \text{ mm}$	80	
$25 < \varnothing \leq 40 \text{ mm}$	100	

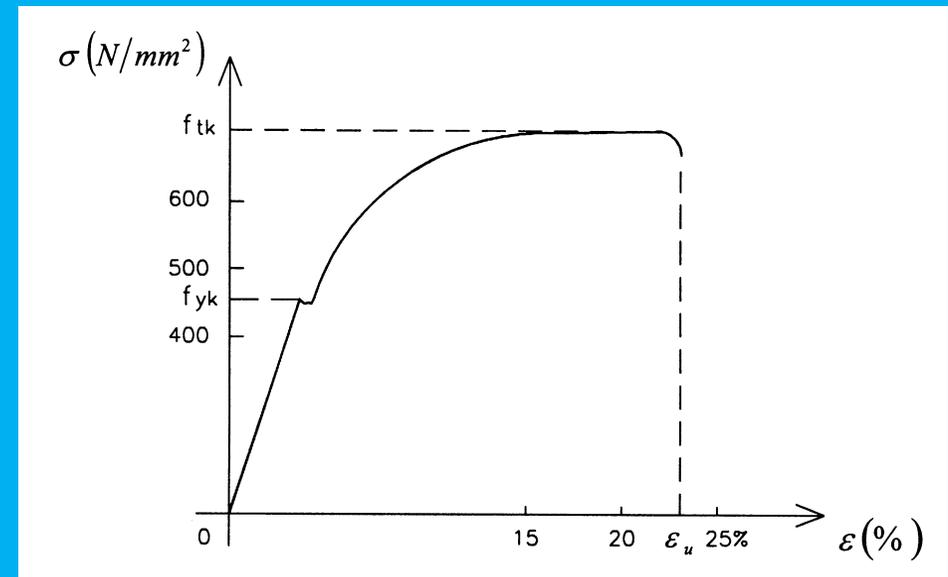


Diagramma σ - ε acciaio B450C

1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali

Calcestruzzo: L'Acciaio

Acciaio zincato

È ammesso l'uso di acciaio zincato purché le caratteristiche fisiche, meccaniche e tecnologiche siano conformi alle prescrizioni relative agli acciai B450C e B450A. Il materiale base da sottoporre a zincatura deve essere qualificato all'origine. I controlli di accettazione in cantiere e la relativa verifica di quanto sopra indicato devono essere effettuati sul prodotto finito, dopo il procedimento di zincatura, presso un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001, secondo quanto previsto al § 11.3.2.12 NTC 2018. In ogni caso occorre verificare le caratteristiche del prodotto finito secondo le procedure indicate per i centri di trasformazione di prodotti per costruzioni di calcestruzzo armato. Per le modalità di controllo del rivestimento di zinco (qualità superficiale, adesione del rivestimento, massa di rivestimento per unità di superficie) e quale utile guida per la scelta dei quantitativi minimi di zinco, si può fare riferimento alle norme UNI EN 10622 ed UNI EN ISO 1461.

È opinione dell'Autore che tutte le armature per strutture in c.a. debbano essere obbligatoriamente protette dal processo di ossidazione. Uno dei sistemi più semplici ed economici per avere questo tipo di protezione è proprio la zincatura a caldo (o galvanizzazione), che può essere eseguita negli stessi impianti di zincatura delle strutture in carpenteria metallica.

1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Qualità dei materiali

Calcestruzzo: L'Acciaio ZINCATO!



1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

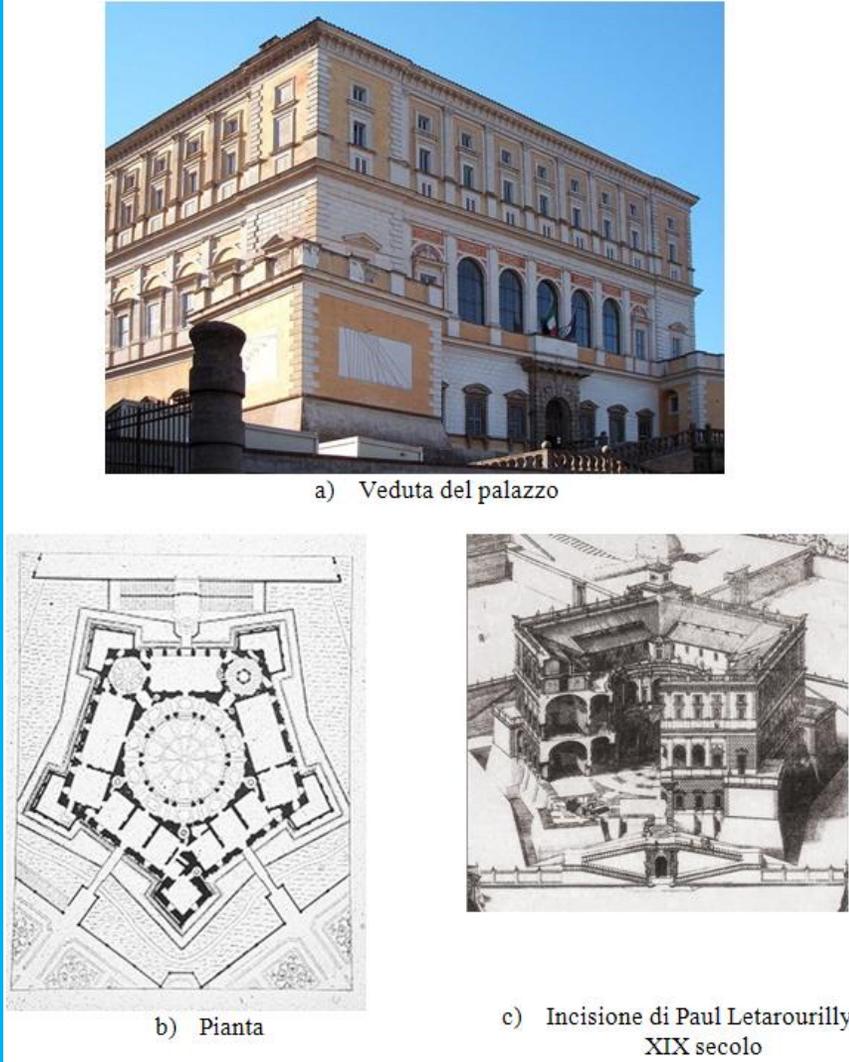
Qualità dei materiali

Calcestruzzo: ACCIAIO PROTETTO CON ANTIRUGGINE



1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Forma

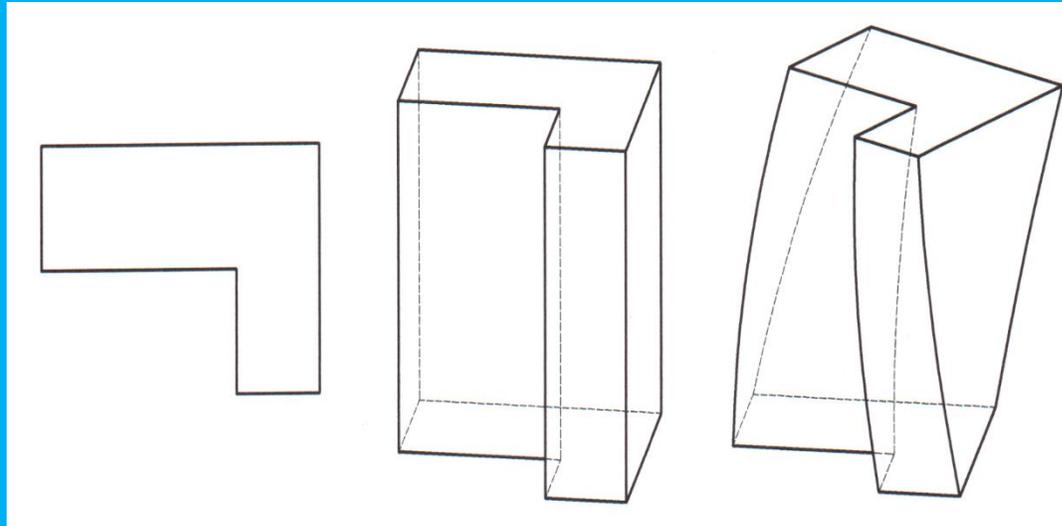


Palazzo Farnese, Vignola 1547-1565 circa, forma regolare

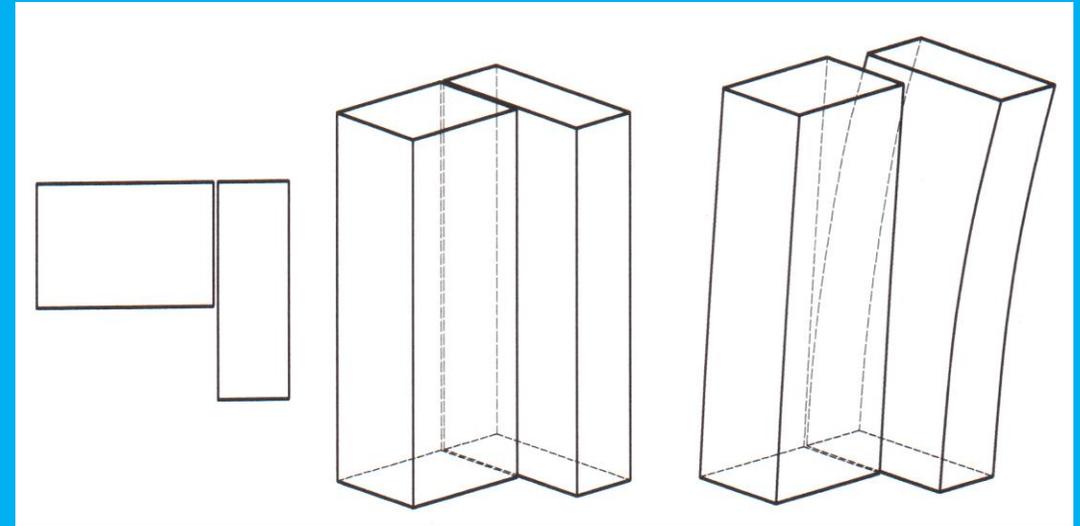
Forme irregolari

1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

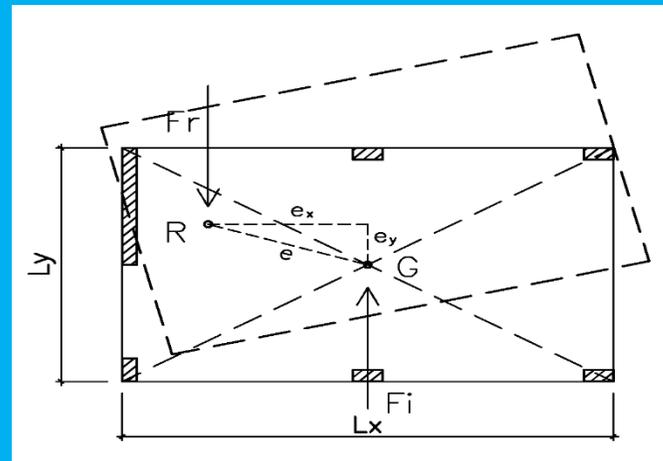
Forma



Edificio non simmetrico



Edifici simmetrici giuntati

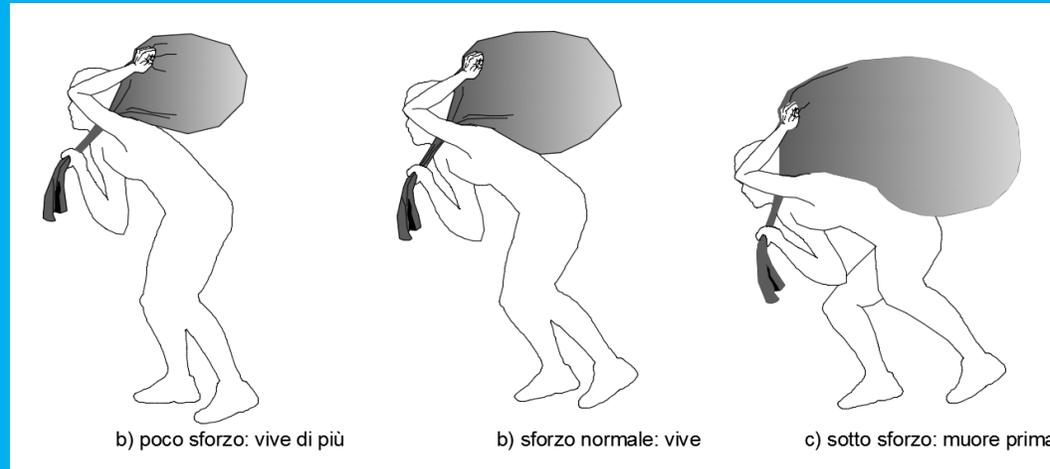
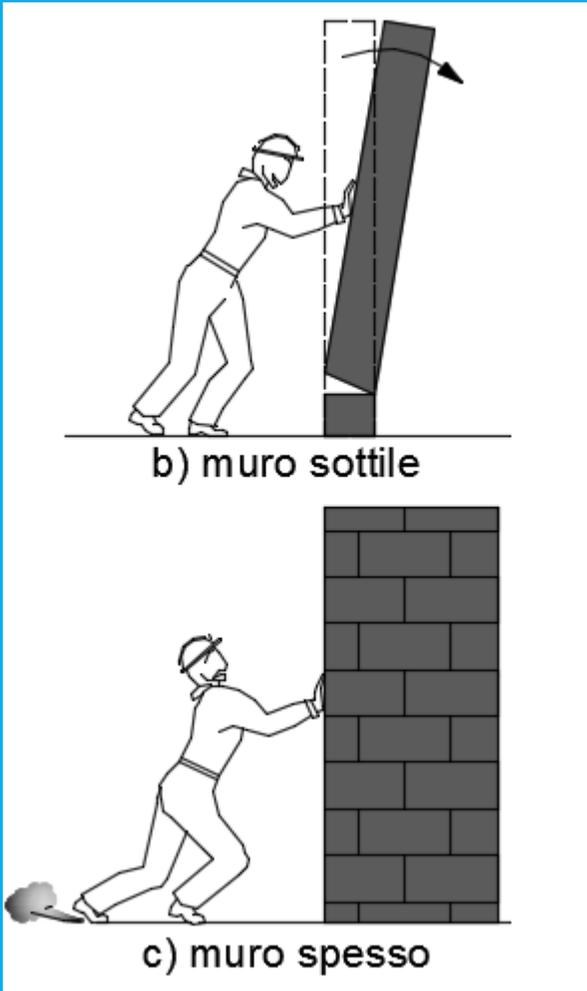


Torsione generata dall'eccentricità tra baricentro delle masse e delle rigidezze

1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Sovradimensionamento

Meglio abbondare...



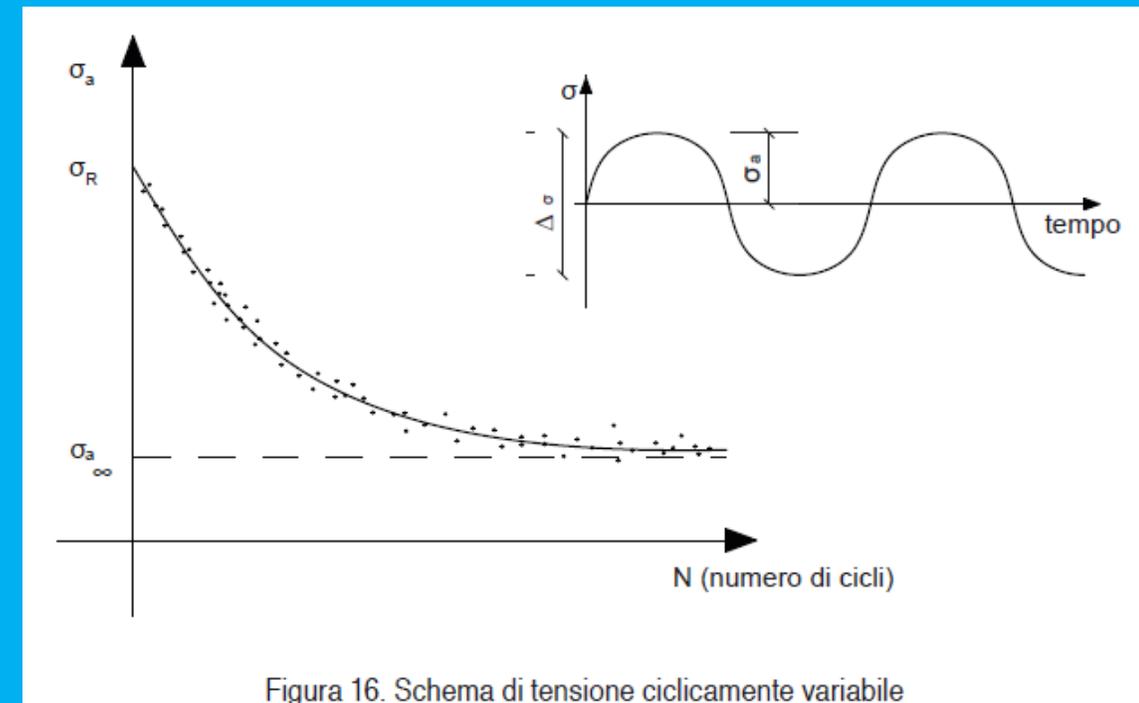
1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Sovradimensionamento

La Fatica

Il sovradimensionamento delle sezioni strettamente necessarie comporta un ulteriore beneficio in termini di durata e sicurezza delle strutture di cui normalmente nella progettazione strutturale non viene tenuto conto, ovvero il fenomeno della *fatica*, a cui si possono attribuire numerosi crolli sia di edifici che di infrastrutture (ponti e viadotti) soggetti a cicli di carico variabili in maniera continua

La rottura per fatica può avvenire in elementi o strutture soggetti a variazioni di carico come travi porta carroporti, ponti e strutture offshore ecc. (figura 16). La rottura ha inizio per la progressiva crescita di una microfessura del materiale e il carico che provoca la rottura può essere ben al disotto del suo valore statico.



1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Sovradimensionamento

La Fatica

Vi sono alcune strutture in edilizia per le quali bisognerà porre particolare attenzione alla fatica, ad esempio: i ponti strallati (stralli)* e sospesi (cavi di sospensione e tiranti), strutture offshore, grattacieli, strutture in zone altamente sismiche, ecc. In tutti questi casi la progettazione dovrà seguire delle regole che tengano conto di:

- a) Corretta esecuzione dei dettagli costruttivi: evitare concentrazione di tensioni e bruschi cambiamenti di sezione;
- b) utilizzo delle tensioni limiti di verifica degli elementi strutturali molto al di sotto della tensione limite di snervamento del materiale f_y ; ad esempio nelle verifiche di resistenza fare in modo che il relativo indice non superi il valore 0,6 ($I_r = \sigma_y/f_y \leq 0,6$)

Il Crollo del Ponte Morandi e la FATICA.

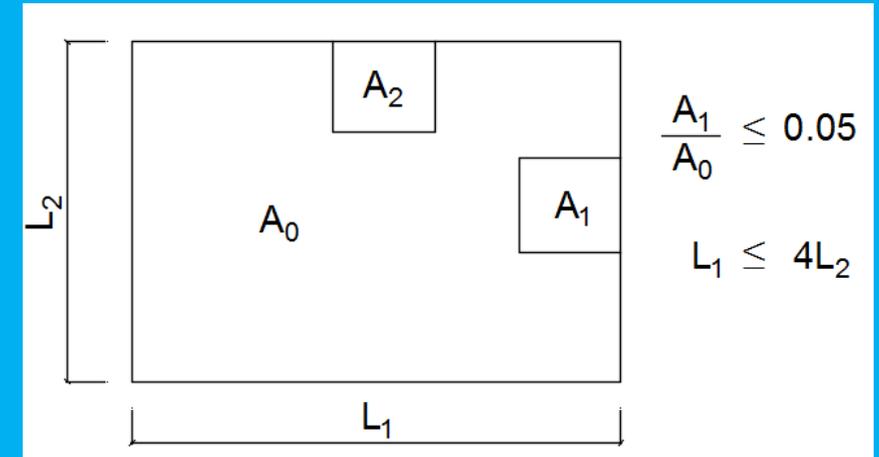


1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

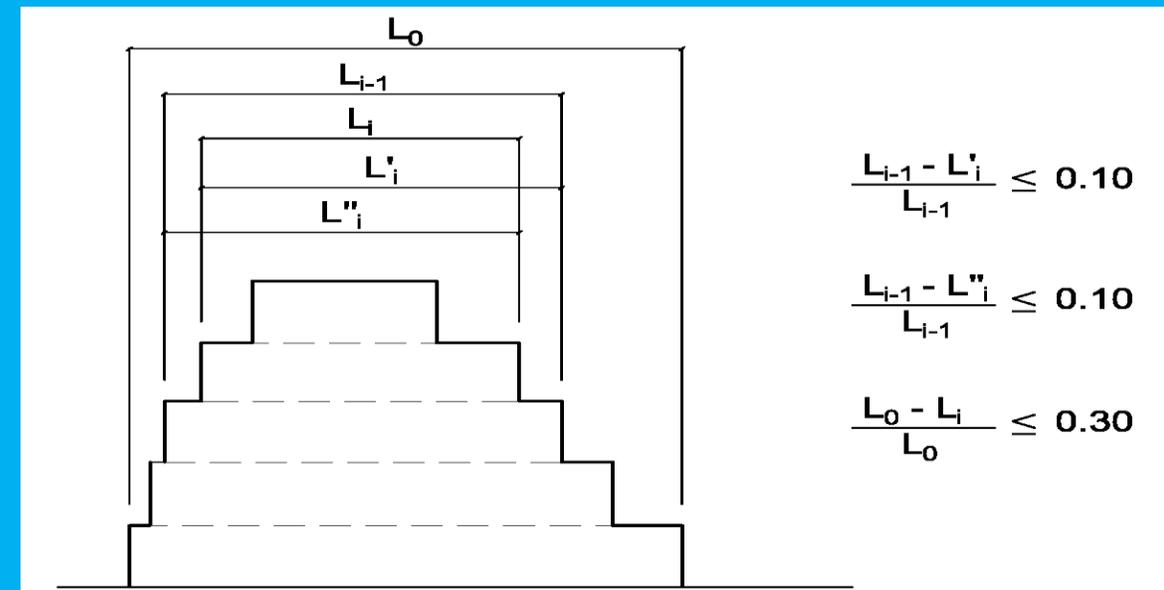
Regolarità e Semplicità Strutturale



Terremoto dell'Aquila 2009 - Irregolarità in Pianta ed Elevazione. Distribuzione masse e rigidezze non uniforme.



Condizioni di regolarità in pianta



Condizioni di regolarità in elevazione

1. PROGETTAZIONE E REGOLA D'ARTE

Assegnazione Indice Sismico

Tabella 10. Criteri generali di progettazione

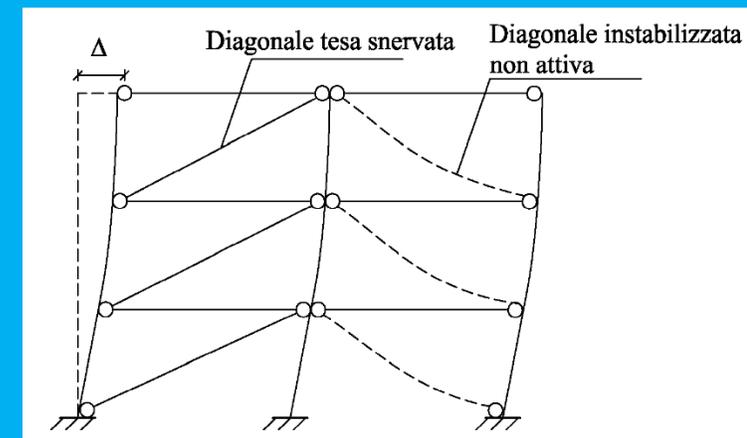
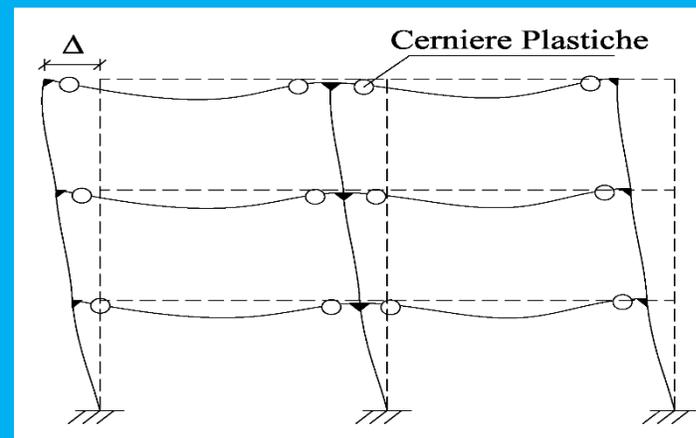
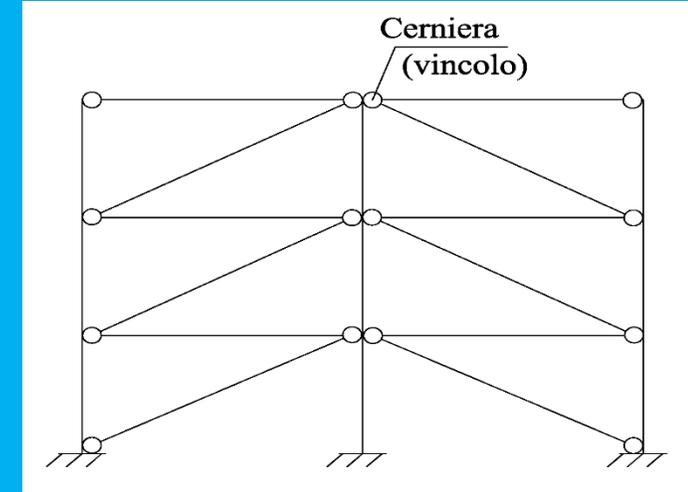
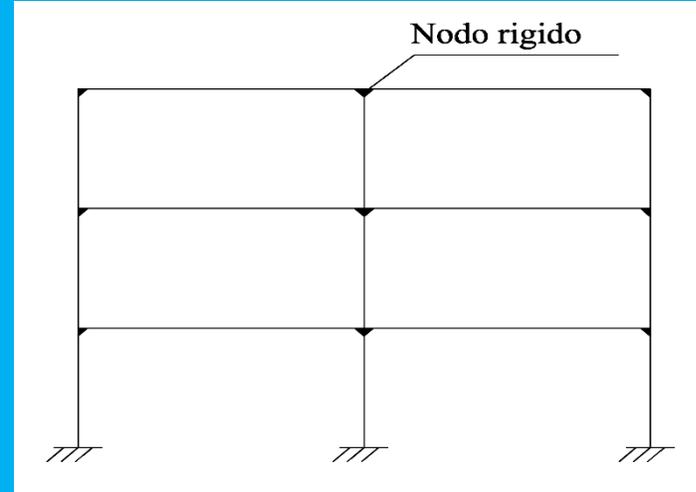
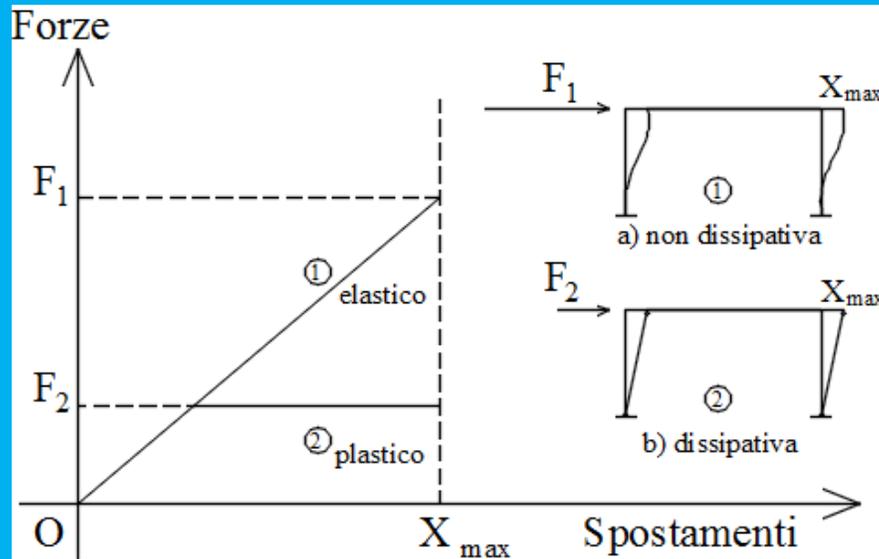
	Calcestruzzo	Indice
	<i>Classi di esposizione c.a.</i>	
Qualità dei materiali	XC1, XC2	1,0
	XC3, XA1, XD1, XF1	1,1
	XC4, XD2, XS1, XA2, XF2, XF3	1,2
	XD3, XS2, XS3, XA3, XF4	1,3
	Calcestruzzi normali	1,0
	Calcestruzzi impermeabili Calcestruzzi impermeabili e autocicatizzanti (self-healing)	1,2 1,3
	Acciaio	
	Non zincato	1,0
	Zincato o Protetto dalla corrosione	1,5
	<i>Eccentricità baricentro Rigidezze – Massa</i>	
Forma	$(ex/Lx; ey/Ly) > 20\%$	1,0
	$10\% < (ex/Lx; ey/Ly) \leq 20\%$	1,2
	$(ex/Lx; ey/Ly) \leq 10\%$	1,3
	<i>Indici di resistenza I_r</i>	
Sovradimensionamento	$0,6 \leq I_r \leq 1$	1,0
	$I_r < 0,6$	1,3
	<i>par. 7.2.1 – NTC 2018</i>	
Regolarità	Non regolare	1,0
	Regolare in pianta o in altezza	1,2
	Regolare in pianta e in altezza	1,3

2. ANALISI TEORICA E CALCOLO

Il Capacity Design o Gerarchia delle Resistenze

Comportamento strutturale dissipativo

Preferito nelle Norme attuali: NTC e EUROCODICI



Il fusibile (la cerniera plastica) è l'anello debole che si sacrifica per proteggere il circuito (la struttura).

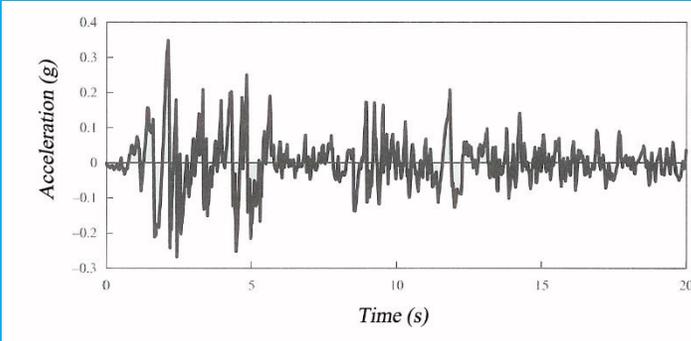


$$q = F_1 / F_2$$

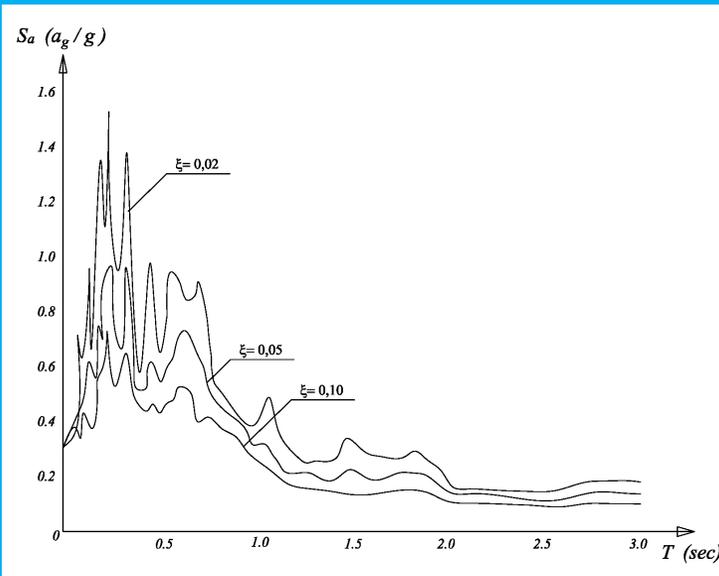
Comportamento duttile di strutture (o dissipativo) secondo il criterio della gerarchie delle resistenze

2. ANALISI TEORICA E CALCOLO

Lo Spettro di Risposta



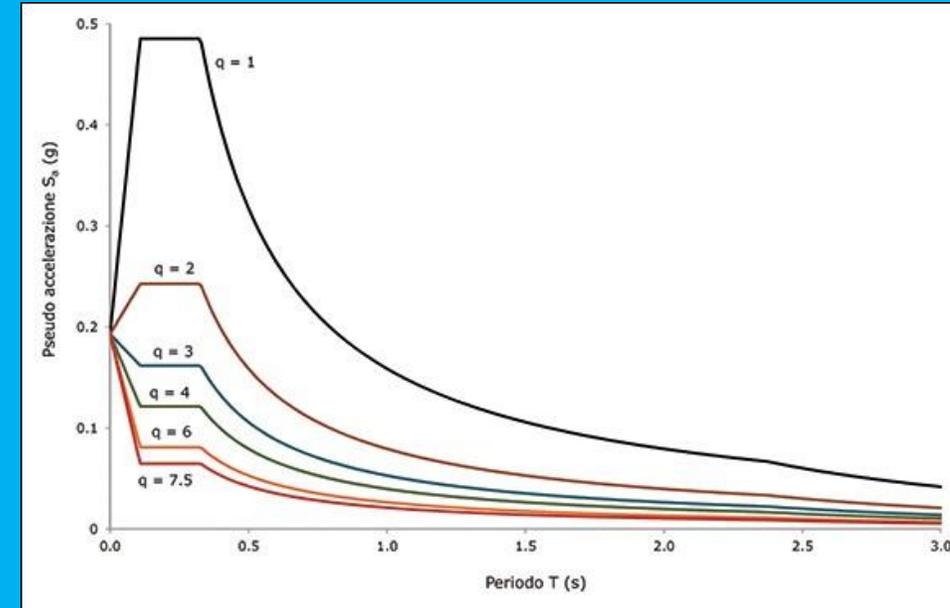
Accelerogramma: componente nord - sud



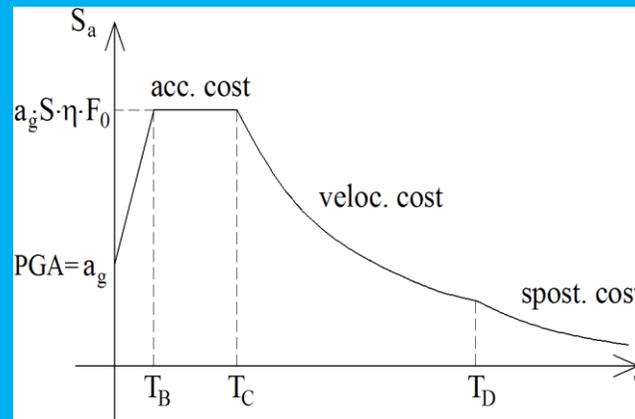
Spettro di risposta dell'accelerazione (El Centro, 1940)

Il fattore di comportamento (o di struttura) « q », come recita la norma, è un fattore di tipo convenzionale con cui si tiene conto in maniera generica delle capacità dissipative della struttura. Esso è un fattore fissato in larga parte in base a considerazioni di tipo empirico dalla comunità scientifica.

$$F_{eq} \cong m \cdot S_a; \quad T \cong \frac{n}{12}$$



Spettri Elastici e di Progetto



Spettro di risposta normalizzato

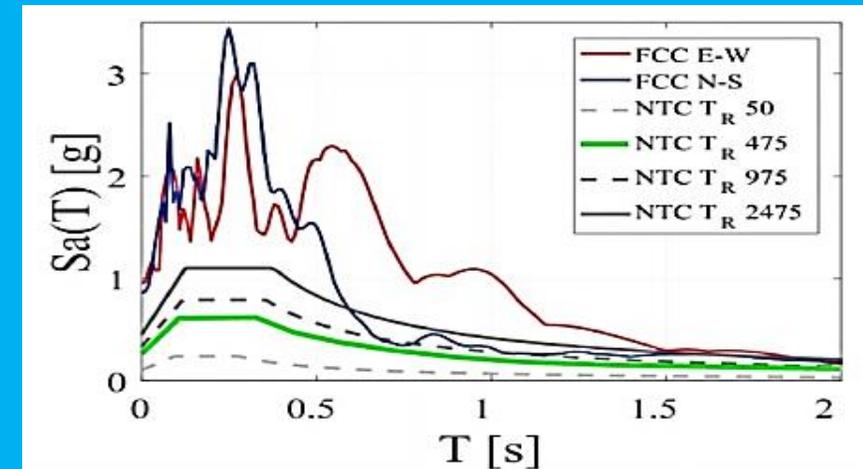
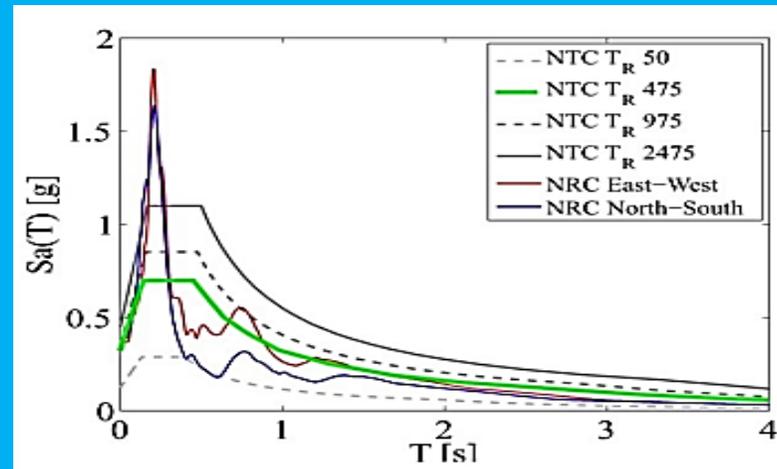
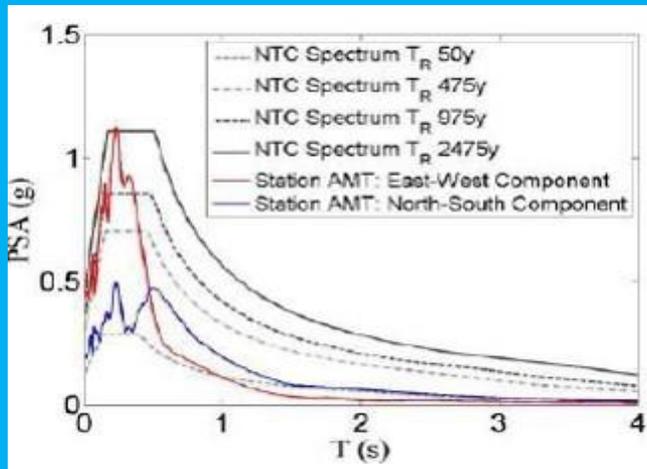
Accertata l'origine empirica del fattore di struttura non si può essere che meravigliati nel verificare quotidianamente l'estrema sofisticazione (complicazione) delle procedure di verifica delle strutture e i metodi di calcolo raffinati proposti quando una errata valutazione di un solo parametro « q » può comportare una differenza di risultati (sollecitazioni, deformazioni, armature) anche del 30%!

2. ANALISI TEORICA E CALCOLO

Confronto Spettri di Risposta

Frequenza terremoti Magnitudo $M > 5,5$ negli ultimi anni

Data e Ora (Italia)	Magnitudo	Zona
2017-01-18 11:14:09	Mw 5.5	2 km NW Capitignano (AQ)
2016-10-30 07:40:17	Mw 6.5	4 km NE Norcia (PG)
2016-10-28 22:02:43	ML 5.8	Tirreno Meridionale (MARE)
2016-10-26 21:18:07	Mw 5.9	3 km S Visso (MC)
2016-08-24 03:36:32	Mw 6.0	1 km W Accumoli (RI)
2012-05-29 09:00:02	Mw 5.6	1 km SW Medolla (MO)
2012-05-20 04:03:50	Mw 5.8	7 km NW Finale Emilia (MO)
2009-04-06 03:32:40	Mw 6.1	2 km SW L'Aquila (AQ)
2006-10-26 16:28:36	Mw 5.8	Tirreno Meridionale (MARE)
2002-09-06 03:21:28	MLNET 5.6	Costa Siciliana centro settentrionale



Amatrice 24.08.2016 – $M=6,0$
 $Sa_{REALE} / Sa_{SLV} = 1,15/0,6 = 2$ volte
 $Sa_{REALE} / Sa_{SLV-q=4} = 1,15/(0,6/4) = 8$ volte

Norcia 30.10.2016 – $M=6,5$
 $Sa_{REALE} / Sa_{SLV} = 1,8/0,6 = 3$ volte
 $Sa_{REALE} / Sa_{SLV-q=4} = 1,8/(0,6/4) = 12$ volte

Forche Canapine 30.10.2016 – $M=6,5$
 $Sa_{REALE} / Sa_{SLV} = 3,2/0,6 = 5$ volte
 $Sa_{REALE} / Sa_{SLV-q=4} = 3,2/(0,6/4) = 21$ volte

2. ANALISI TEORICA E CALCOLO

Strutture «nuove» progettate con Norme antisismiche recenti!



Terremoto di Kobe del 1995 – M=6,8



Terremoto dell'Aquila del 2009 - M=6,1



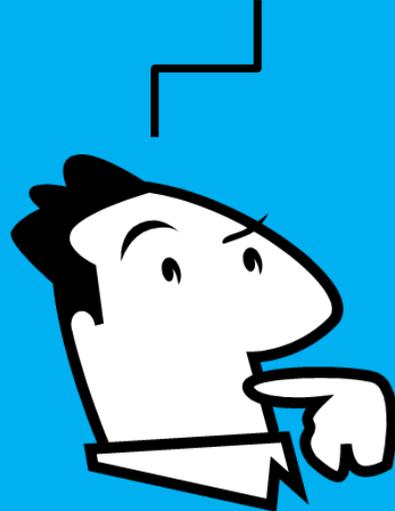
Terremoto Centro Italia del 2016 - M=6,0

2. ANALISI TEORICA E CALCOLO

COSTI DI COSTRUZIONE V/S COSTI DI RIPARAZIONE

«IL CAPACITY DESIGN E' PIU' ECONOMICO» !

(MA SIAMO SICURI?)



Ammettere che la struttura possa andare in campo plastico in occasione di terremoti di media-alta intensità in alcuni punti singolari: cerniere plastiche alle estremità delle travi, snervamento di aste di controvento tese, ecc., significa accettare dei costi di riparazione (sempre più ingenti per le nuove tecnologie messe a disposizione dal mercato) o al limite di demolizione e ricostruzione non più sostenibili dall'economia nazionale.

2. ANALISI TEORICA E CALCOLO

Principi

- ❖ Per terremoti di media – alta intensità, di magnitudo M_w fino a 6,5 ($M_w \leq 6,5$), l'edificio dovrà mostrare un comportamento elastico-resistente. Tale comportamento sarà ottenuto applicando nel calcolo i principi previsti dalla norma NTC per strutture non dissipative con fattore di struttura $q \leq 1,5^*$. **La gerarchia delle resistenze viene automaticamente esclusa.**
- ❖ Per terremoti di alta-altissima intensità ($M_w > 6,5$), per costruzioni di importanza significativa, pubbliche o strategiche (classe d'uso III-IV), o **su richiesta della committenza**, l'edificio dovrà mostrare un comportamento resistente e duttile. Tale comportamento sarà conseguito applicando oltre ai principi di cui al punto precedente (struttura non dissipativa, $q \leq 1,5$), anche delle regole di progettazione che coinvolgono la duttilità a livello locale e globale su base deduttiva.

2. ANALISI TEORICA E CALCOLO

Principi

A livello locale, si farà in modo di favorire meccanismi di rottura duttili rispetto a quelli fragili, mediante l'utilizzo di un unico fattore di sovraresistenza $\gamma_{sv}=1,3$ da applicare alle sollecitazioni di calcolo di tipo *fragili* nelle verifiche degli elementi strutturali, secondo lo schema riportato in tabella*.

Verifiche per meccanismi fragili

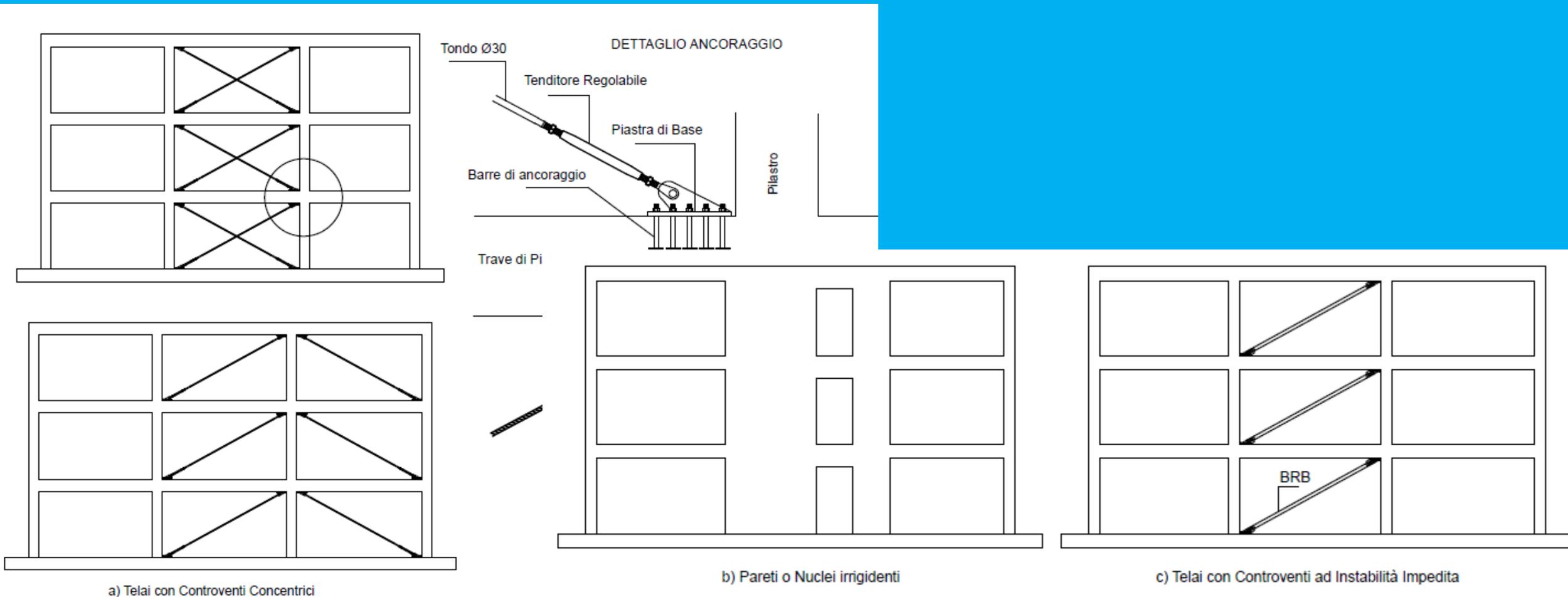
Tabella 11. Verifiche per meccanismi fragili

Elemento strutturale	Sollecitazione	Fattore di sovraresistenza
<i>Travi</i>	Taglio	$\gamma_{sv} = 1,3$
<i>Pilastri</i>	Pressoflessione	
	Taglio	
<i>Nodi trave-pilastro</i>	Flessione	
	Taglio	
<i>Collegamenti delle diagonali di controvento tese e/o compresse</i>	Sforzo normale	

2. ANALISI TEORICA E CALCOLO

Principi

A livello globale, si utilizzeranno nella progettazione **tipologie strutturali** che consentono una medio-alta o altissima dissipazione di energia in occasione di eventi sismici di elevata intensità, **oppure** elementi strutturali di media-alta o altissima resistenza opportunamente posizionati (figura 30).



2. ANALISI TEORICA E CALCOLO

Assegnazione Indice Sismico

Tabella 12. Criteri di analisi teorica e calcolo

		Indici
Verifiche per meccanismi fragili	Non eseguite	1
	Eseguite	1,2
Telai con controventi concentrici, pareti e/o nuclei irrigidenti	Non presenti	1
	Presenti	1,2
Telai con controventi dissipativi o speciali	Non presenti	1
	Presenti	1,3

3. PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE E CONTROLLO DEI RISULTATI

- ✓ La causa principale dei crolli o gravi danni strutturali in edilizia è il difetto di esecuzione. Pertanto secondo la filosofia dello strength ductility design si dovranno adottare procedure di controllo di esecuzione e qualifica dei materiali che rendano minima la probabilità che tali eventi possano verificarsi, anche in funzione dell'importanza e complessità dell'opera.
- ✓ Un ruolo molto importante, a parere dell'Autore, al fine di garantire una corretta esecuzione dell'opera progettata e quindi maggiore sicurezza dal punto di vista strutturale, assume la figura del progettista strutturale nella veste anche di **direttore dei lavori strutturali** e quindi di controllore della corretta esecuzione dell'opera da lui progettata

3. PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE E CONTROLLO DEI RISULTATI

Nell'ambito della progettazione secondo il metodo dello strength ductility design, basata essenzialmente su un comportamento strutturale non dissipativo con fattore di struttura $q \leq 1,5$ (anche se è previsto un controllo della duttilità a livello deduttivo) non verranno applicate le regole di progetto di cui al cap. 7 delle NTC 2018 per strutture dissipative sia per quanto riguarda le verifiche di resistenza secondo la filosofia di progettazione del capacity design sia per le verifiche di duttilità previste solo per strutture dissipative (par. 7.3.6.1, NTC 2018).

Non verranno applicate in particolare le indicazioni di cui al par. 7.4.6 “Dettagli costruttivi per le strutture a comportamento dissipativo” per quanto riguarda le limitazioni geometriche di travi e pilastri e limitazioni di armatura. Si farà riferimento esclusivamente al par. 4.1 “*Costruzioni in calcestruzzo*” per le prescrizioni costruttive e di calcolo integrate da regole di progetto in zona sismica dettate dall'esperienza e dalla buona regola d'arte.

3. PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE E CONTROLLO DEI RISULTATI

Dettagli costruttivi

Per le strutture in c.a., forse ancor di più rispetto a quelle in acciaio, ha un'importanza fondamentale la cura dei dettagli costruttivi e della buona regola d'arte. Si riporteranno di seguito alcune indicazioni riferite ai due elementi principali che caratterizzano le strutture in c.a., ovvero travi e pilastri; per un maggiore approfondimento in merito, esteso anche ad altri elementi strutturali (solai, pareti, scale, ecc.), occorrerà riferirsi alla bibliografia e all'esperienza personale.

TRAVI

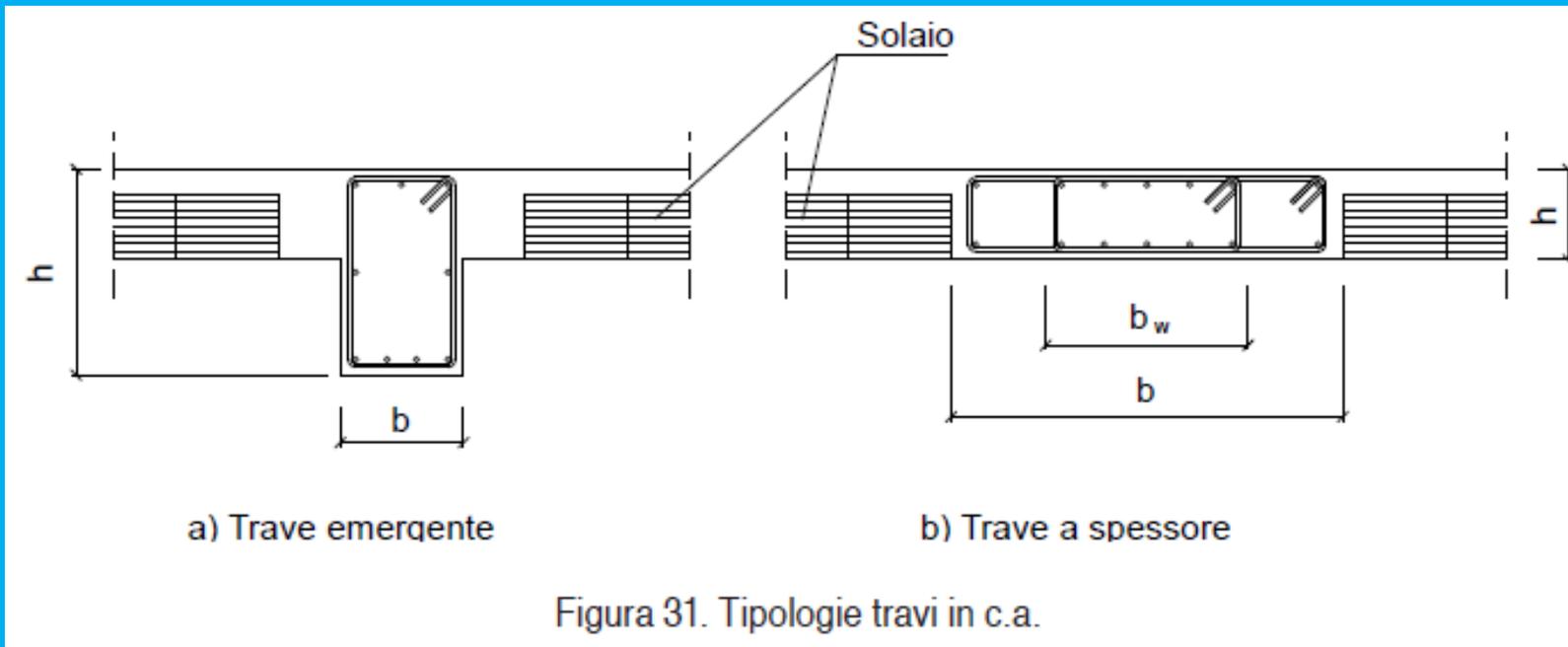


Figura 31. Tipologie travi in c.a.

3. PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE E CONTROLLO DEI RISULTATI

Sebbene le travi a spessore abbiano una rigidezza (momento di inerzia) molto inferiore rispetto alle travi emergenti e abbiano un comportamento statico per così dire maggiormente ambiguo nella modellazione strutturale a telaio spaziale con la quale in genere si schematizza una struttura in c.a., presentano alcuni vantaggi che nella maggioranza dei casi di strutture normali in c.a. le fanno preferire alle travi emergenti (maggiormente performanti), tra cui:

- pianta libera e non vincolante dal punto di vista architettonico per gli ambienti interni (nessuno vorrebbe vedere una trave emergente al centro di un salone o camera da letto);
- facilità di casserare gli impalcati dei solai con casseforme in legno formate da tavole in piano o pannelli, evitando tagli e sprechi di legname per realizzare la parte emergente delle travi;
- facilità di “montare” le armature metalliche;
- tempi di esecuzione ridotti.

Le travi a spessore sono osteggiate all'uso dall'attuale normativa per edifici in zona sismica progettati con il metodo del capacity design (metodo preferito dalla norma stessa) di cui al capitolo 7 delle NTC 2108, con restrizioni di tipo geometrico e verifiche di dettaglio che alla fine rendono quasi impossibile realizzare delle travi portanti a spessore. Tali restrizioni vengono invece superate nel metodo di progettazione dello strength ductility design, che fa riferimento a strutture non dissipative nella progettazione in zona sismica e quindi esclude automaticamente gli obblighi di normativa di cui al capitolo 7, adottando solo le prescrizioni di cui al paragrafo 4.1 della norma.

3. PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE E CONTROLLO DEI RISULTATI

D'altra parte, l'Eurocodice 8 (EC8), da cui le NTC traggono spunto e di cui in alcuni casi sono una semplice traduzione o sintesi, non presenta tale discriminazione nei confronti delle travi a spessore anche se il loro uso non è completamente trattato (punto 5.1.1 (2) – EC8), infatti al punto 5.4.1.2.1 (3) P l'EC8 riporta che, per sfruttare l'effetto favorevole della compressione nella colonna sull'aderenza delle barre orizzontali che passano nel nodo, la larghezza bw di una trave sismica principale deve soddisfare la seguente espressione:

$$bw \leq \min(bc + hw ; 2bc)$$

Dove:

hw è l'altezza della trave

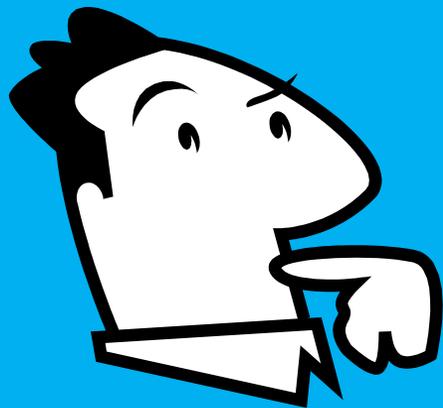
bc è la larghezza del pilastro ortogonale all'asse della trave

bw è la larghezza dell'anima della trave.

ne discende che la clausola riportata al punto 5.4.1.2.1(3)P dell'EC8 pone solo dei limiti alla larghezza della trave a spessore in cui devono essere contenute le armature principali, che per continuità chiameremo ancora bw , senza alcuna limitazione alla larghezza totale della trave b .

3. PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE E CONTROLLO DEI RISULTATI

Ma è vero
quello che dice
l'ing. NUNZIATA
??



EBBENE SI!
Perché non potrebbe
essere altrimenti!

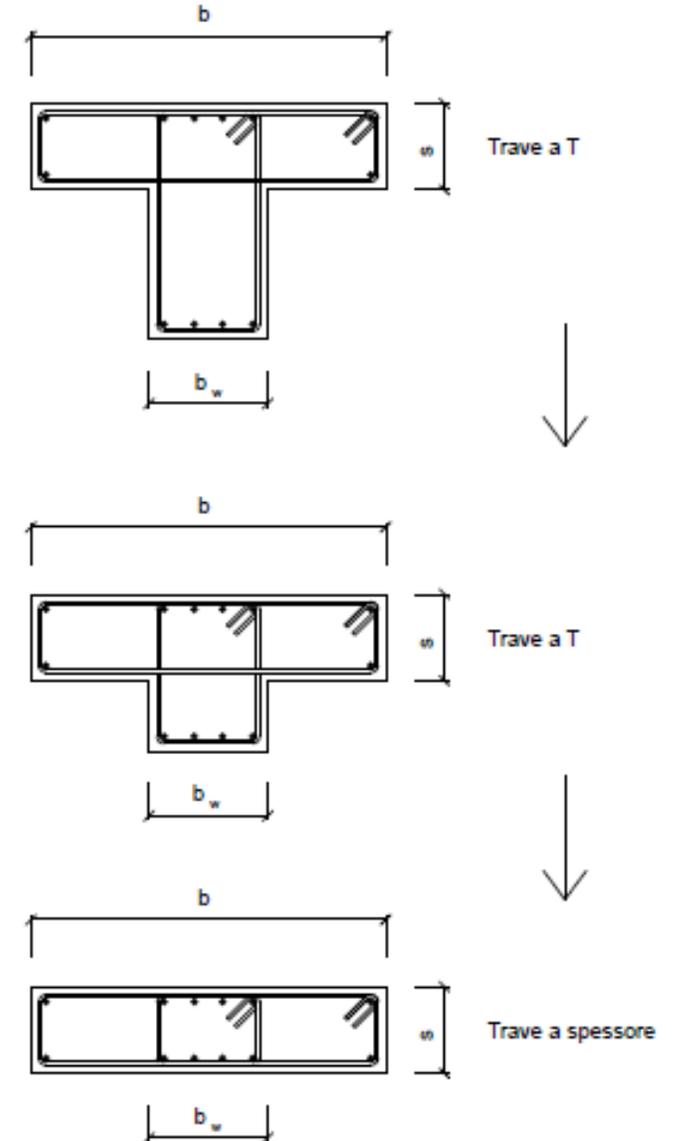


Figura 33. Trasformazione della trave a T in trave a spessore

3. PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE E CONTROLLO DEI RISULTATI

Il Progetto Architettonico e Strutturale

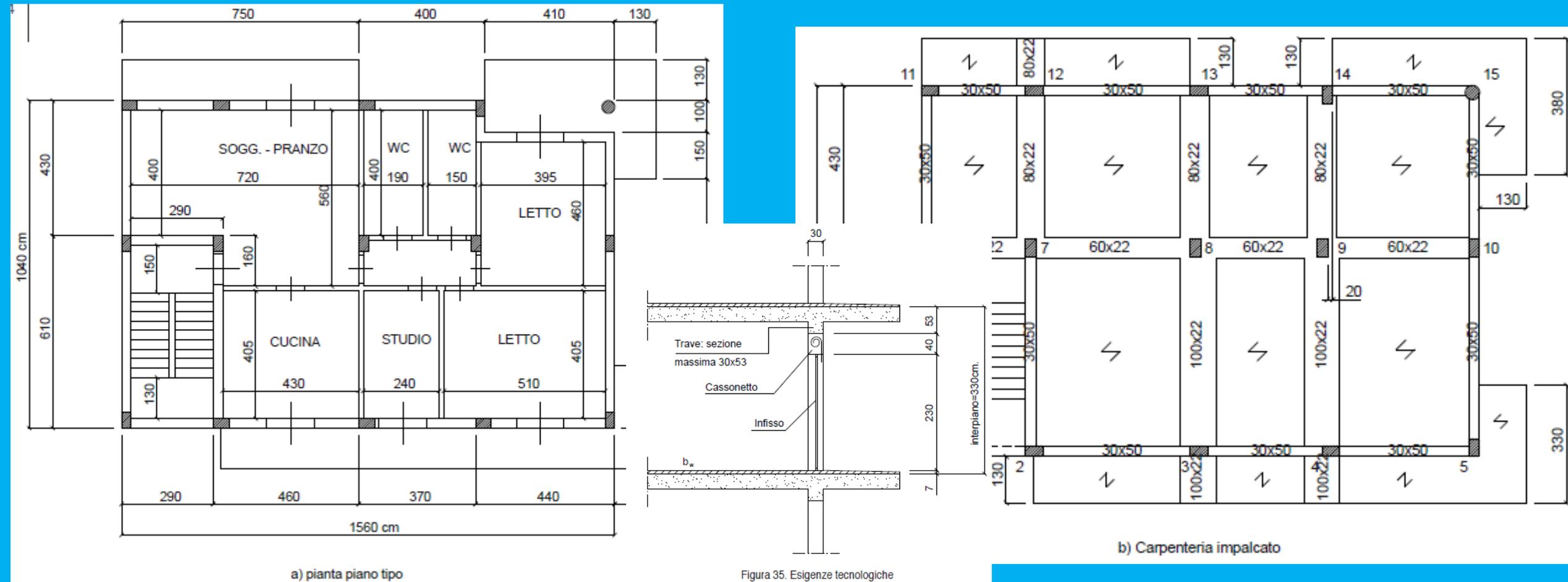
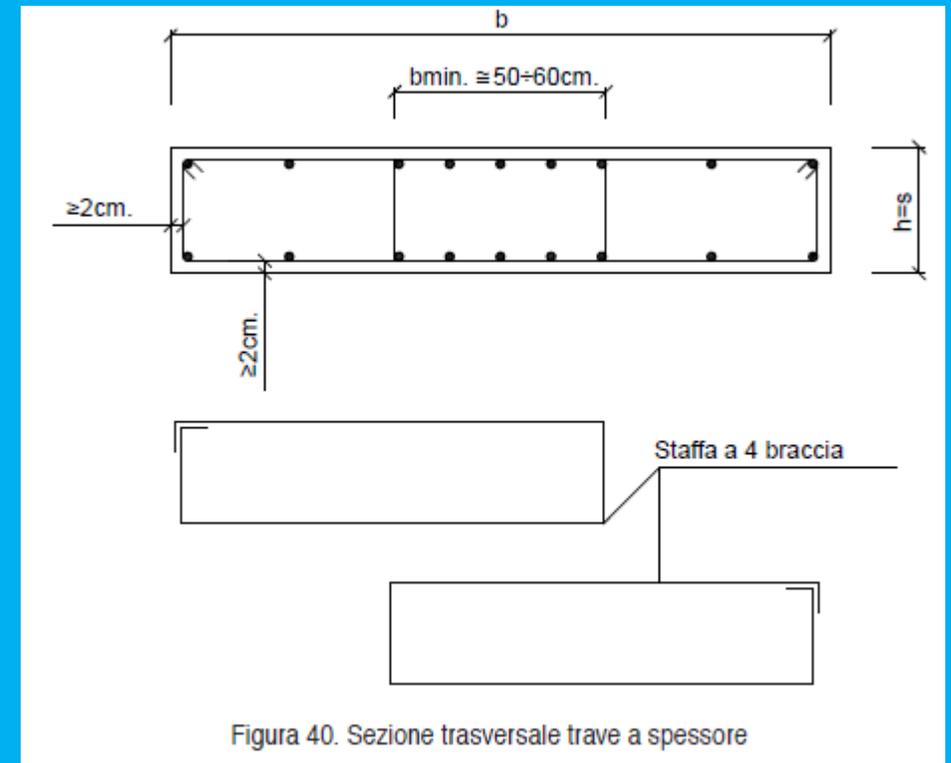
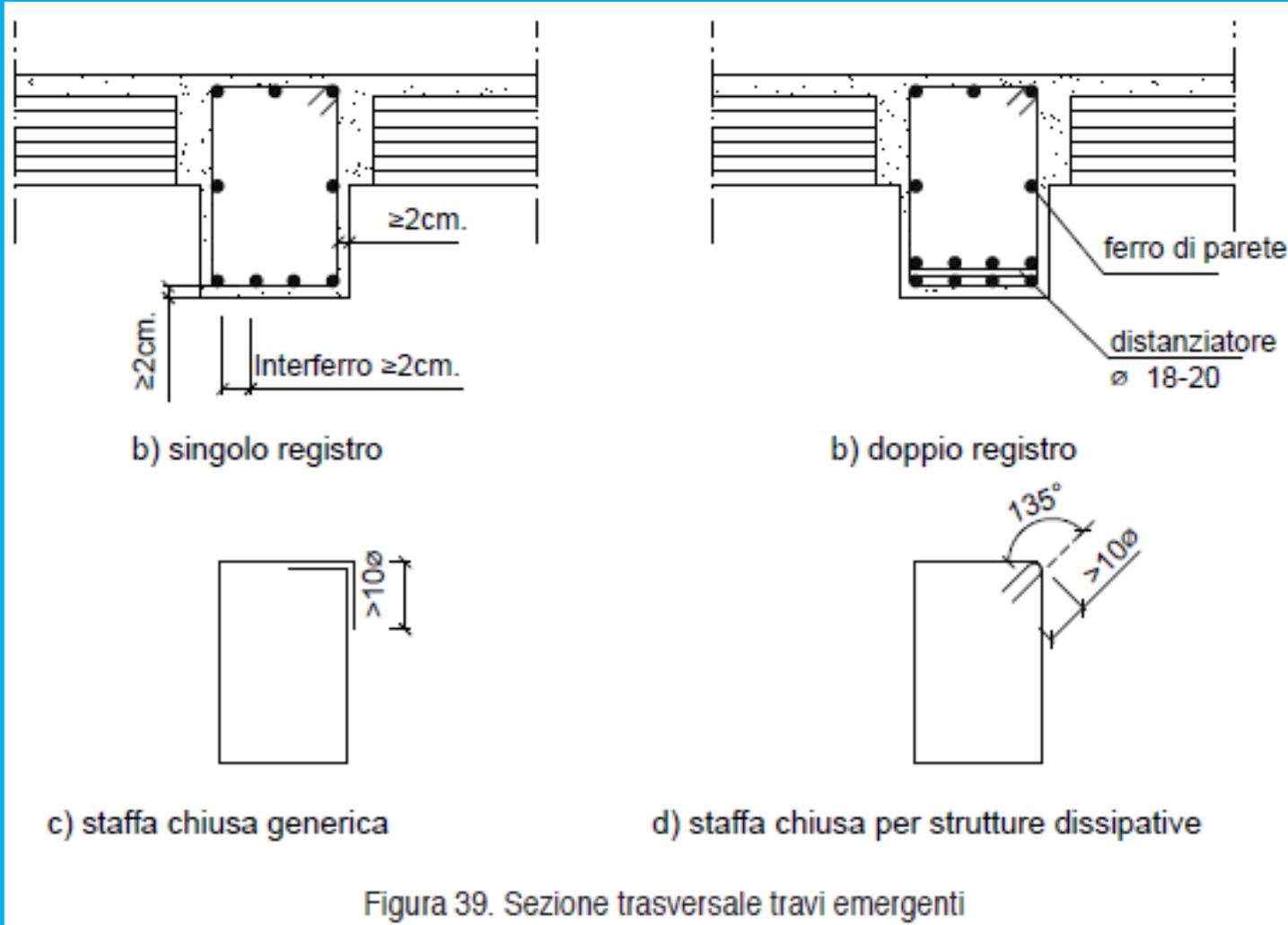


Figura 35. Esigenze tecnologiche

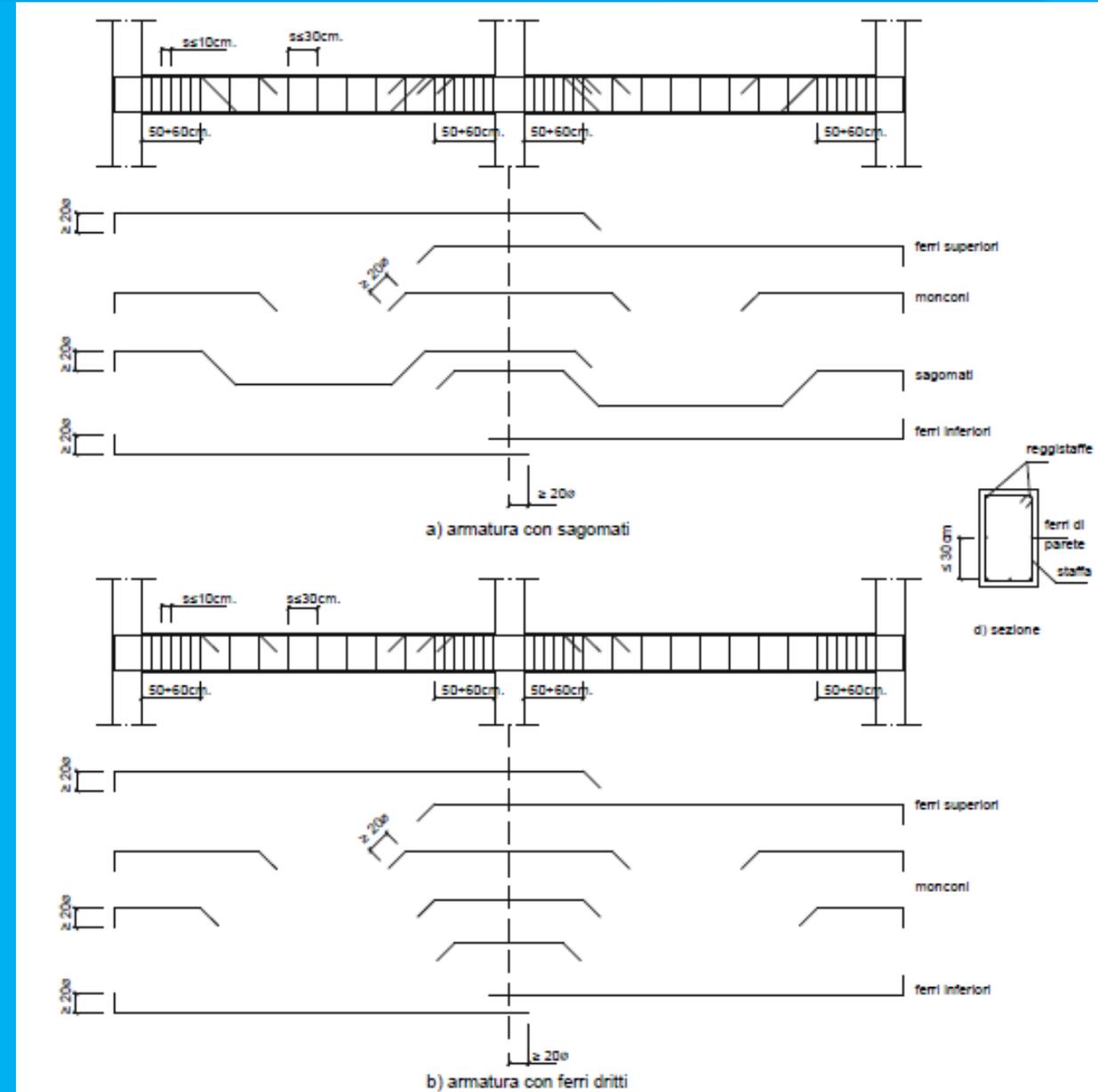
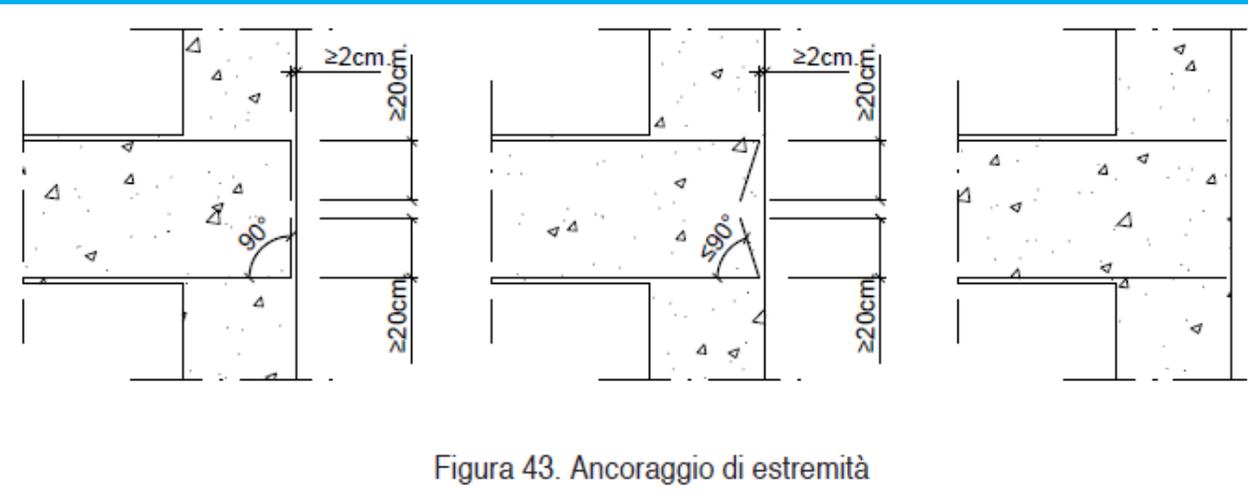
3. PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE E CONTROLLO DEI RISULTATI

Dettagli Costruttivi



3. PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE E CONTROLLO DEI RISULTATI

Dettagli Costruttivi



3. PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE E CONTROLLO DEI RISULTATI

Dettagli Costruttivi

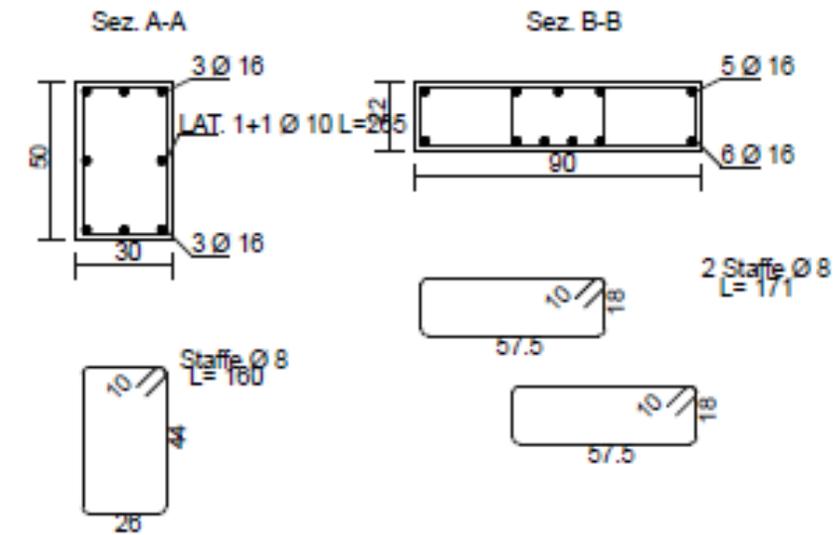
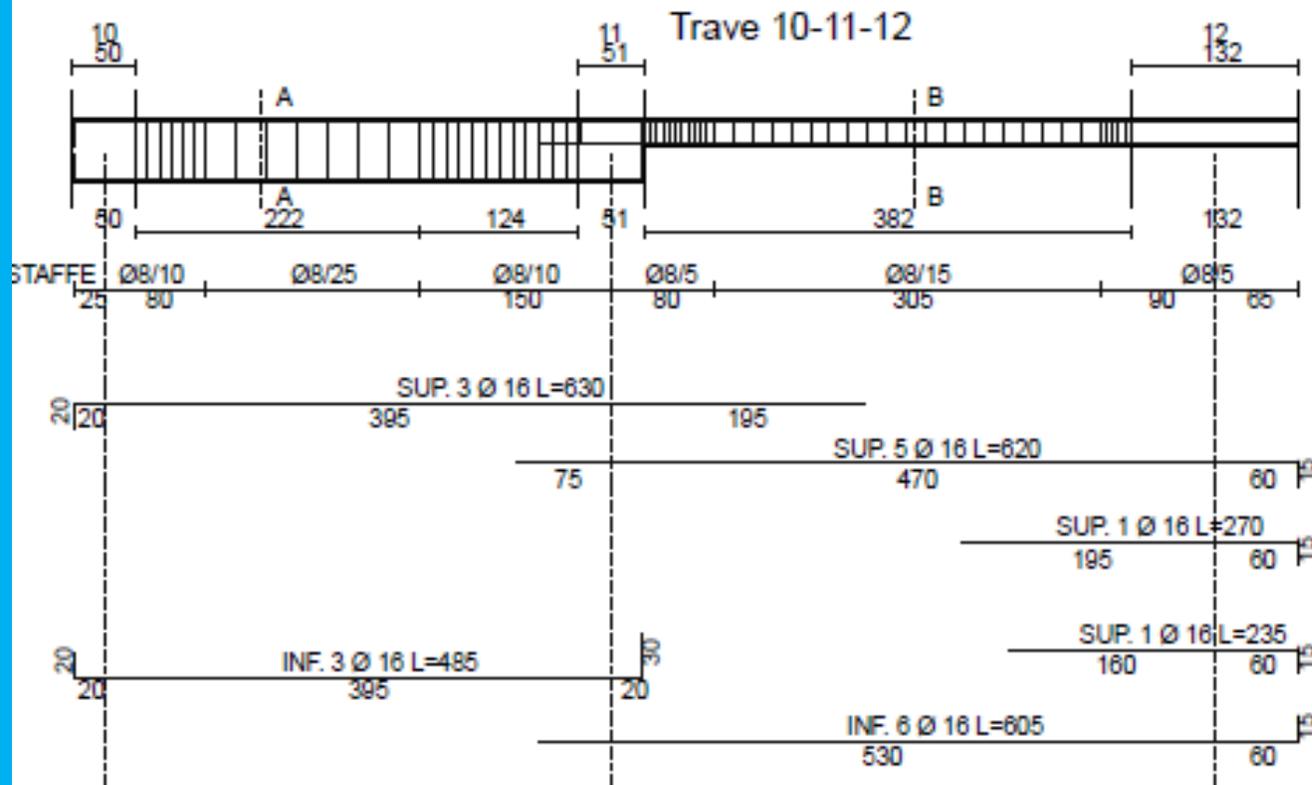
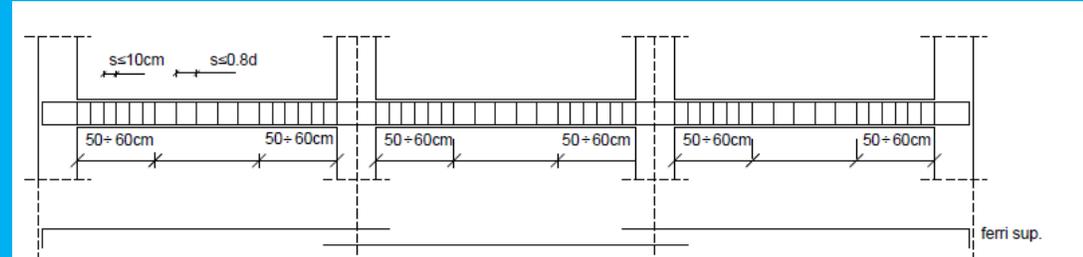


Figura 47. Trave a spessore ed emergente: armatura a ferri dritti

3. PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE E CONTROLLO DEI RISULTATI

Dettagli Costruttivi

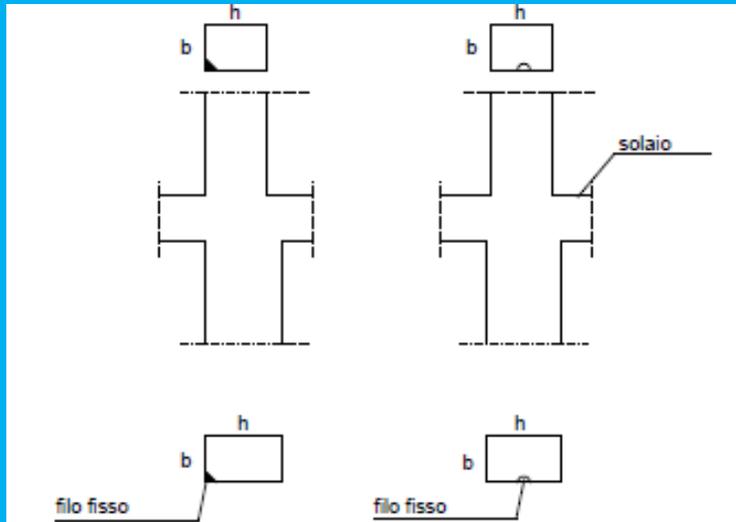


Figura 49. Rastremazione pilastri

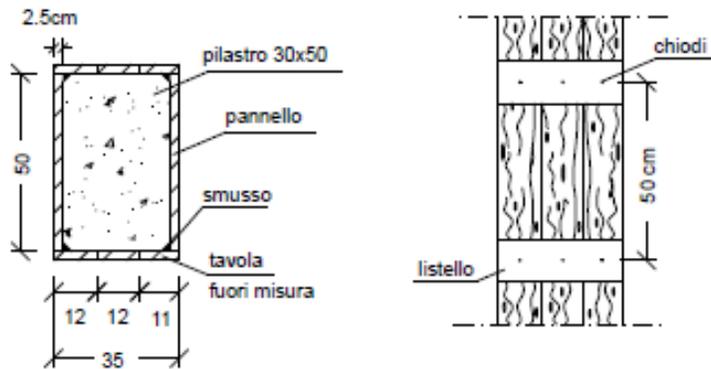


Figura 50. Cassaforma pilastro

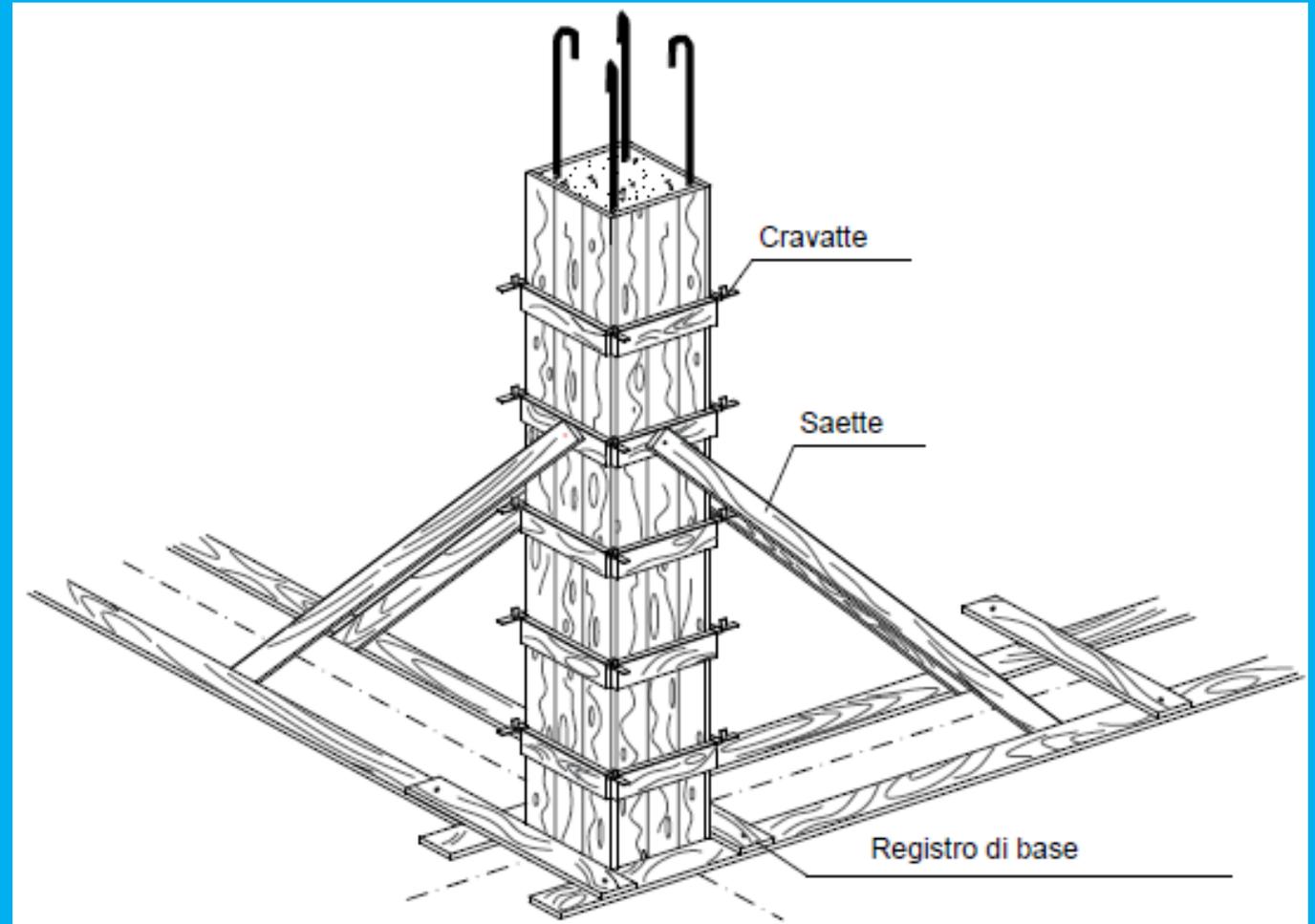


Figura 51. Elementi della cassaforma

3. PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE E CONTROLLO DEI RISULTATI

Dettagli Costruttivi

$25 \text{ cm} \leq b \leq h$
 $h_c \geq h \geq 1/6$ altezza libera $\geq 45 \text{ cm}$

- Armatura longitudinale (ferri)

$$\varnothing_l \geq 12 \text{ mm}$$

$$0,10 N / f_{yd} \leq 1\% A_c < A_s \leq 4\% A_c$$

$$\Delta_l \leq 25 \text{ cm}$$

numero minimo di ferri (barre) $\left\{ \begin{array}{l} \text{num. spigoli sezione} \\ 6 \text{ per sezioni circolari} \end{array} \right.$

- Armature trasversali (staffe)

a) Zone non critiche

$$\varnothing_s \geq 6 \text{ mm}$$

$$s \leq \begin{cases} 12 \varnothing \\ 25 \text{ cm} \end{cases}$$

$$\frac{A_{st}}{s} \geq 0,08 \cdot \frac{f_{cd} \cdot b_{st}}{f_{yd}}$$

b) Zone critiche

$$\varnothing_s \geq 6 \text{ mm}$$

Legature o spille di collegamento $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ ogni } 2 \text{ ferri} \\ \Delta_l \leq 20 \text{ cm (per barre non fissate)} \end{array} \right.$

$$s_c \text{ (spille e staffe)} \leq \begin{cases} 1/2 \cdot b \\ 175 \text{ mm} \\ 8\varnothing_l \end{cases}$$

c) Nodi trave-pilastro

$$i \leq s_c$$

$$\frac{A_{st}}{i} \geq 0,05 \cdot \frac{f_{ck}}{f_{yk}} \cdot b_j$$

dove

$$b_j = \text{minimo} \left[b_w; b + \frac{h}{2} \right] \text{ se } b_w > b$$

$$b_j = \text{minimo} \left[b; b_w + \frac{h}{2} \right] \text{ se } b_w < b$$

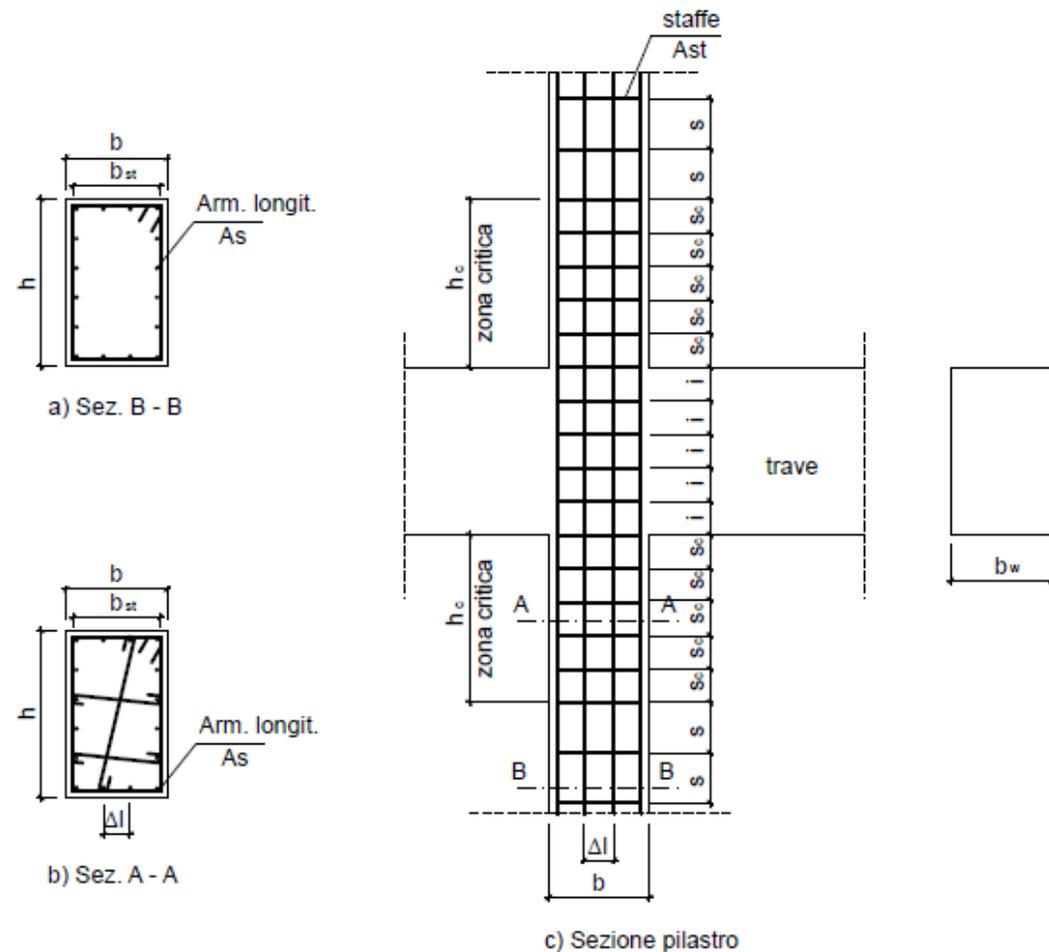


Figura 52. Armatura pilastri

3. PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE E CONTROLLO DEI RISULTATI

Controlli di Esecuzione e Accettazione

Il controllo di esecuzione e di accettazione dei materiali strutturali in cantiere è un'operazione fondamentale per la corretta realizzazione di una struttura in c.a., questo perché un controllo superficiale dell'esecuzione o l'uso di materiali scadenti può comportare difetti di costruzione e perfino il crollo di edifici nuovi in occasione di eventi sismici anche di non forte intensità, sebbene magari la struttura sia stata correttamente progettata dal progettista strutturale.

È per questo motivo che nell'ottica del metodo di progettazione dello strength ductility design assume un'importanza fondamentale la figura del **direttore dei lavori strutturali** (colui che controlla e accetta) coincidente con la figura del **progettista strutturale** (colui che progetta e prescrive).

In merito ai controlli di esecuzione e accettazione dei materiali oltre al riferimento normativo (capitolo 11 – NTC 2018) esiste una diffusa bibliografia (interi libri) e delle linee guida emanate del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (“Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale” e “Linee guida sul calcestruzzo strutturale”) di cui si consiglia la consultazione.

3. PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE E CONTROLLO DEI RISULTATI

Controlli di Esecuzione e Accettazione

Calcestruzzo

Tabella 13. Controlli di accettazione caratteristiche meccaniche del calcestruzzo

Controllo di tipo A	Controllo di tipo B
$R_{c,min} \geq R_{ck} - 3,5$	
$R_{cm28} \geq R_{ck} + 3,5$ (N° prelievi: 3)	$R_{cm28} \geq R_{ck} + 1,48 s$ (N° prelievi ≥ 15)
Ove: R_{cm28} = resistenza media dei prelievi (N/mm ²) $R_{c,min}$ = minore valore di resistenza dei prelievi (N/mm ²) S = scarto quadratico medio	

Le prove a compressione vanno eseguite, conformemente alle norme UNI EN 12390-3:2009, tra il 28° e il 30° giorno di maturazione e comunque entro 45 giorni dalla data di prelievo. In caso di mancato rispetto di tali termini le prove di compressione vanno integrate con quelle riferite al controllo della resistenza del calcestruzzo in opera.

Acciaio

I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori e devono essere effettuati, entro 30 giorni dalla data di consegna del materiale, a cura di un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.

3. PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE E CONTROLLO DEI RISULTATI

Assegnazione Indice Sismico

Tabella 15. Prescrizioni costruttive e controllo di esecuzione

		Indici
<i>Controllo dettagli costruttivi e fasi di getto</i>	30%	1
	60%	1,2
	100%	1,3
<i>Controllo esecuzione</i>	Progettista strutturale	1,3
	Altro professionista	1

4. ASSEGNAZIONE CLASSE DI RISCHIO SISMICO

Tabella 17. Assegnazione classe di rischio sismico dell'edificio

1) Criteri generali di progettazione	
Qualità dei materiali	Calcestruzzo Classi di esposizione c.a. XC1, XC2 XC3, XA1, XD1, XF1 XC4, XD2, XS1, XA2, XF2, XF3 XD3, XS2, XS3, XA3, XF4
	Tipi di calcestruzzi Calcestruzzi normali Calcestruzzi impermeabili Calcestruzzi impermeabili e autocicatizzanti (s)
	Acciaio Non zincato Zincato o protetto dalla corrosione
	Eccentricità baricentro Rigidezze - Mas $(e_x/L_x; e_y/L_y) > 20\%$ $10\% < (e_x/L_x; e_y/L_y) \leq 20\%$ $(e_x/L_x; e_y/L_y) \leq 10\%$
Forma	Indici di resistenza I_r $0,6 \leq I_r \leq 1$ $I_r < 0,6$
Sovradimensionamento	par. 7.2.1 - NTC 2018
Regolarità	Non regolare Regolare in pianta o in altezza Regolare in pianta e in altezza

Studio di Ingegneria
Via
Città:
Tel.:

COMUNE DI.....
Prov. di.....

TITOLO: EDIFICIO PER CIVILE ABITAZIONE ALLA VIA.....
Attestazione Classe di Rischio Sismico

COMMITTENTE:

Il sottoscritto ing.

ATTESTA

che la Classe di Rischio Sismico raggiunta in riferimento al metodo di progettazione "STRENGTH DUCTILITY DESIGN" è **CRS/2A**, che garantisce prestazioni sismiche superiori rispetto alla Norma.

CLASSE DI RISCHIO SISMICO

..... li.....

Il Progettista Strutturale
(Firma e Timbro)

Verifiche teorica e calcolo		Indici (IS)
i fragili	Non eseguite	1,0 <input checked="" type="checkbox"/>
	eseguite	1,2 <input type="checkbox"/>
i e/o nuclei irrigidenti	Non presenti	1,0 <input type="checkbox"/>
	presenti	1,2 <input checked="" type="checkbox"/>
vi o speciali	Non presenti	1,0 <input checked="" type="checkbox"/>
	Presenti	1,3 <input type="checkbox"/>
Verifiche e controllo di esecuzione		Indici (IS)
fasi di getto	30%	1,0 <input type="checkbox"/>
	60%	1,2 <input type="checkbox"/>
	100%	1,3 <input checked="" type="checkbox"/>
Verifiche	Progettista strutturale	1,3 <input checked="" type="checkbox"/>
	Altro professionista	1,0 <input type="checkbox"/>
PARAMETRI IS _{TOT.} = 13,0		
IS = 11 → CRS/A		
10 < IS ≤ 13 → CRS/2A		
IS > 13 → CRS/3A		



SOFT.LAB
SOFTWARE PER L'EDILIZIA



ORDINE DEGLI
INGEGNERI
DELLA PROVINCIA
DI CASERTA

GRAZIE PER L'ATTENZIONE.

***STATI GENERALI
DEL CEMENTO ARMATO***



Accademia
dello
strutturista