



PROVINCIA DI POTENZA

INTERVENTO DI ADEGUAMENTO SISMICO
DELL'EDIFICIO SCOLASTICO SEDE DELL'I.I.S.
"DE SARLO" DI LAGONEGRO
VIA SANT'ANTUONO
CODICE EDIFICIO 760390475

CUP: H62C21000410001



PROGETTO ESECUTIVO

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Arch. Manuela CORINGRATO (Capogruppo)

S. & S. ENGINEERING Srls

Geom. Domenico Franco GIOIA

Geol. Mario CHIORAZZO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Funzionario Ing. Tiziana CAPPA

ELABORATO:		Relazione sui materiali (Revisione)	Tav. N. S.4
Data:	Novembre 2022	Scala:	

RTP: Cap. Arch. Manuela CORINGRATO - S. & S. Engineering srls - Geom. Domenico Franco GIOIA - Geol. Mario Chiorazzo

Sommario

1. Riferimenti normativi	2
2. Premessa	3
3. Cemento armato ordinario.....	4
3.1. Classi di resistenza e principali caratteristiche meccaniche del cls.....	4
3.2. Acciaio da c.a.o.	10
3.2.1. Caratteristiche dimensionali e di impiego.....	10
3.2.2. Classi di resistenza e principali caratteristiche meccaniche.....	10
3.3. Classi di esposizione	11
3.3.1. Condizioni ambientali	11
3.3.2. Sensibilità delle armature alla corrosione	12
4. ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA	13
4.1. Classi di resistenza e caratteristiche meccaniche elementi strutturali	13
4.2. Classi di resistenza e caratteristiche meccaniche elementi di giunzione.....	14
5. DISPOSITIVI DI DISSIPAZIONE	16
5.1. Generalità	16
5.2. Applicazione al caso in esame.....	19
6. SINTESI MATERIALI ADOTTATI E RELATIVE CLASSI DI RESISTENZA.	20

1. Riferimenti normativi

La normativa a cui si fa riferimento per la progettazione esecutiva delle strutture è la seguente:

- **D.M. 17.01.2018:** *aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”*;
- **Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti n. 7 del 21 gennaio 2019:** *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”*;
- **ETAG 001 Edition 1997 – Annex C:** *“Design Methods for Anchorages”. Guideline for european technical approval of metal anchors for use in concrete.*
- **UNI EN 15129:2018:** *“Dispositivi antisismici”*.

2. Premessa

Nella presente relazione vengono descritti i materiali utilizzati ai fini del progetto strutturale e si determinano le caratteristiche meccaniche di progetto in conformità alla normativa vigente, a partire dai valori caratteristici e dai coefficienti parziali di sicurezza. Il prospetto seguente mostra una sintesi degli aspetti approfonditi nella presente relazione.

<i>MATERIALE /COMPONENTE</i>	<i>CARATTERISTICHE</i>
<u>Calcestruzzo</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Classi di resistenza e campi di applicazione; • Principali caratteristiche meccaniche
<u>Acciaio da c.a.</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Tipologia e classe dell'acciaio; • Principali caratteristiche meccaniche;
<u>c.a.</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Classe di esposizione dell'elemento;
<u>Acciaio da carpenteria metallica</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Tipologia e classe dell'acciaio; • Principali caratteristiche meccaniche.
<u>Dispositivi di dissipazione</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Principali caratteristiche.

3. Cemento armato ordinario

3.1. Classi di resistenza e principali caratteristiche meccaniche del cls

Il D.M. 17/01/18 fornisce indicazioni riguardanti le strutture di:

- calcestruzzo armato normale (cemento armato);
- calcestruzzo armato precompresso (cemento armato precompresso);
- calcestruzzo a bassa percentuale di armatura o non armato;

con riferimento a calcestruzzi di peso normale e con esclusione di quelle opere per le quali vige una regolamentazione apposita a carattere particolare. Al § 4.1.12 delle NTC2018 sono date inoltre le norme integrative per le strutture in calcestruzzo di inerte leggero.

Ai fini della valutazione del comportamento e della resistenza delle strutture in calcestruzzo, questo viene titolato ed identificato mediante la classe di resistenza contraddistinta dai valori caratteristici delle resistenze cilindrica f_{ck} e cubica a compressione uniassiale R_{ck} , misurate rispettivamente su provini cilindrici (o prismatici) e cubici, espressa in MPa (§ 11.2 delle NTC2018).

Per le classi di resistenza normalizzate per calcestruzzo normale si può fare utile riferimento a quanto indicato nelle norme UNI EN 206-1:2006 e nella UNI 11104:2004. Sulla base della denominazione normalizzata vengono definite le seguenti classi di resistenza:

CLASSE DI RESISTENZA	f_{ck} [N/mm ²]	R_{ck} [N/mm ²]
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C28/35	28	35
C32/40	32	40
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105

I calcestruzzi delle diverse classi di resistenza trovano impiego secondo quanto riportato nella Tab. 4.1.II delle NTC2018, fatti salvi i limiti derivanti dal rispetto della durabilità. Per classi di resistenza superiore a C70/85 si rinvia al caso C) del § 11.1 delle NTC2018.

Per le classi di resistenza superiori a C45/55, la resistenza caratteristica e tutte le grandezze meccaniche e fisiche che hanno influenza sulla resistenza e durabilità del conglomerato devono essere accertate prima dell'inizio dei lavori tramite un'apposita sperimentazione preventiva e la produzione deve seguire specifiche procedure per il controllo di qualità.

Tabella 4.1.II – Impiego delle diverse classi di resistenza

STRUTTURE DI DESTINAZIONE	CLASSE DI RESISTENZA MINIMA
Per strutture non armate o a bassa percentuale di armatura (§ 4.1.11)	C8/10
Per strutture semplicemente armate	C16/20
Per strutture precomprese	C28/35

Per l'opera in esame, si sono assunti i materiali sintetizzati nella seguente tabella.

TIPOLOGIA DI MATERIALE	CLASSE DI RESISTENZA	R_{ck} [N/mm ²]	f_{ck} [N/mm ²]
-	-	-	-
Cls per interventi in fondazione	C25/30	30	25
Cls e Malta interventi in elevazione	C40/50	50	40

Le caratteristiche del calcestruzzo possono essere desunte, in sede di progettazione a partire dalla classe di resistenza prescelta, dalle formulazioni indicate di seguito. Per quanto non previsto si potrà fare utile riferimento alla Sez. 3 di UNI EN 1992-1-1.

In sede di progetto si farà riferimento alla resistenza caratteristica a compressione su cubi R_{ck} così come definita nel § 11.2.1 delle NTC2018.

Dalla resistenza cubica si passerà a quella cilindrica da utilizzare nelle verifiche mediante l'espressione: $f_{ck} = 0,83 \times R_{ck}$.

Sempre in sede di previsioni progettuali, è possibile passare dal valore caratteristico al valor medio della resistenza cilindrica mediante l'espressione: $f_{cm} = f_{ck} + 8$ [N/mm²].

Resistenza a trazione

La resistenza a trazione del calcestruzzo può essere determinata a mezzo di diretta sperimentazione, condotta su provini appositamente confezionati, secondo la norma UNI EN 12390-2:2002, per mezzo delle prove di seguito indicate:

- prove di trazione diretta;
- prove di trazione indiretta: (secondo UNI EN 12390-6:2002 o metodo dimostrato equivalente);
- prove di trazione per flessione: (secondo UNI EN 12390-5:2002 o metodo dimostrato equivalente).

In sede di progettazione si può assumere come resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo il valore (in N/mm²):

$$\begin{aligned} f_{ctm} &= 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} && \text{per classi} \leq C50/60 \\ f_{ctm} &= 2,12 \cdot \ln[1 + f_{cm}/10] && \text{per classi} > C50/60 \end{aligned}$$

I valori caratteristici corrispondenti ai frattili 5% e 95% sono assunti, rispettivamente, pari a $0,7f_{ctm}$, ed $1,3f_{ctm}$. Il valore medio della resistenza a trazione per flessione è assunto, in mancanza di sperimentazione diretta, pari a: $f_{ctm} = 1,2f_{ctm}$.

Modulo elastico

Per modulo elastico istantaneo del calcestruzzo va assunto quello secante tra la tensione nulla e $0.40f_{cm}$, determinato sulla base di apposite prove, da eseguirsi secondo la norma UNI 6556:1976.

In sede di progettazione si può assumere il valore:

$$E_{cm} = 22.000 \cdot [f_{cm}/10]^{0,3} \quad [\text{N/mm}^2]$$

Tale formula non è applicabile ai calcestruzzi maturati a vapore. Essa non è da considerarsi vincolante nell'interpretazione dei controlli sperimentali delle strutture.

Coefficiente di Poisson

Per il coefficiente di *Poisson* può adottarsi, a seconda dello stato di sollecitazione, un valore compreso tra 0 (calcestruzzo fessurato) e 0,2 (calcestruzzo non fessurato).

Coefficiente di dilatazione termica

Il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo può essere determinato a mezzo di apposite prove, da eseguirsi secondo la norma UNI EN 1770:2000.

In sede di progettazione, o in mancanza di una determinazione sperimentale diretta, per il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo può assumersi un valor medio pari a $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, fermo restando che tale quantità dipende significativamente dal tipo di calcestruzzo considerato

(rapporto inerti/legante, tipi di inerti, ecc.) e può assumere valori anche sensibilmente diversi da quello indicato.

Ritiro

La deformazione assiale per ritiro del calcestruzzo può essere determinata a mezzo di apposite prove, da eseguirsi secondo le norme UNI 6555:1973 e UNI 7086:1972, rispettivamente per calcestruzzi confezionati con inerti aventi dimensioni massime sino a 30 mm, od oltre 30 mm.

In sede di progettazione, e quando non si ricorra ad additivi speciali, il ritiro del calcestruzzo può essere valutato sulla base delle indicazioni di seguito fornite. La deformazione totale da ritiro si può esprimere come: $\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$, dove:

- ε_{cs} è la deformazione totale per ritiro;
- ε_{cd} è la deformazione per ritiro da essiccamento;
- ε_{ca} è la deformazione per ritiro autogeno.

Il valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro da essiccamento:

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h \varepsilon_{c0}$$

può essere valutato mediante i valori delle Tabb. 11.2.Va-b delle NTC2018 in funzione della resistenza caratteristica a compressione, dell'umidità relativa e del parametro h_0 :

Tabella 11.2.Va – Valori di ε_{c0}

f_{ck}	Deformazione da ritiro per essiccamento (in ‰)					
	Umidità Relativa (in %)					
	20	40	60	80	90	100
20	-0,62	-0,58	-0,49	-0,30	-0,17	+0,00
40	-0,48	-0,46	-0,38	-0,24	-0,13	+0,00
60	-0,38	-0,36	-0,30	-0,19	-0,10	+0,00
80	-0,30	-0,28	-0,24	-0,15	-0,07	+0,00

Tabella 11.2.Vb – Valori di k_h

h_0 (mm)	k_h
100	1,0
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,70

Per valori intermedi dei parametri indicati è consentita l'interpolazione lineare. Lo sviluppo nel tempo della deformazione ε_{cd} può essere valutato come:

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t - t_s) \cdot \varepsilon_{cd,\infty}$$

dove la funzione di sviluppo temporale assume la forma:

$$\beta_{ds}(t - t_s) = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0,04 h_0^{3/2}]$$

in cui:

t è l'età del calcestruzzo nel momento considerato (in giorni);

t_s è l'età del calcestruzzo a partire dalla quale si considera l'effetto del ritiro da essiccamento (normalmente il termine della maturazione, espresso in giorni);

h_0 è la dimensione fittizia (in mm) pari al rapporto $2A_c/u$, essendo A_c l'area della sezione in calcestruzzo, u il perimetro della sezione in calcestruzzo esposto all'aria.

Il valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro autogeno $\varepsilon_{ca,\infty}$ può essere valutato mediante l'espressione:

$$\varepsilon_{ca,\infty} = -2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} \text{ con } f_{ck} \text{ in N/mm}^2$$

Viscosità

In sede di progettazione, se lo stato tensionale del calcestruzzo, al tempo $t_0 = j$ di messa in carico, non è superiore a $0,45f_{ckj}$, il coefficiente di viscosità $\phi(\infty, t_0)$, a tempo infinito, a meno di valutazioni più precise (per es. § 3.1.4 di UNI EN 1992-1-1), può essere dedotto dalle seguenti Tab. 11.2.VI e 11.2.VII delle NTC2018, dove h_0 è la dimensione fittizia definita in § 11.2.10.7 delle stesse norme:

Tabella 11.2.VI – Valori di $\phi(\infty, t_0)$. Atmosfera con umidità relativa di circa il 75%

t_0	$h_0 \leq 75 \text{ mm}$	$h_0 = 150$	$h_0 = 300$	$h_0 \geq 600$
3 giorni	3,5	3,2	3,0	2,8
7 giorni	2,9	2,7	2,5	2,3
15 giorni	2,6	2,4	2,2	2,1
30 giorni	2,3	2,1	1,9	1,8
≥ 60 giorni	2,0	1,8	1,7	1,6

Tabella 11.2.VII – Valori di $\phi(\infty, t_0)$. Atmosfera con umidità relativa di circa il 55%

t_0	$h_0 \leq 75 \text{ mm}$	$h_0 = 150$	$h_0 = 300$	$h_0 \geq 600$
3 giorni	4,5	4,0	3,6	3,3
7 giorni	3,7	3,3	3,0	2,8
15 giorni	3,3	3,0	2,7	2,5
30 giorni	2,9	2,6	2,3	2,2
≥ 60 giorni	2,5	2,3	2,1	1,9

Per valori intermedi è ammessa una interpolazione lineare.

Nel caso in cui sia richiesta una valutazione in tempi diversi da $t = \infty$ del coefficiente di viscosità, questo potrà essere valutato secondo modelli tratti da documenti di comprovata validità.

Durabilità

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario o precompresso, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo. A tal fine in fase di progetto la prescrizione, valutate opportunamente le condizioni

ambientali del sito ove sorgerà la costruzione o quelle di impiego, deve fissare le caratteristiche del calcestruzzo da impiegare (composizione e resistenza meccanica), i valori del copriferro e le regole di maturazione.

Ai fini della valutazione della durabilità, nella formulazione delle prescrizioni sul calcestruzzo, si potranno prescrivere anche prove per la verifica della resistenza alla penetrazione agli agenti aggressivi, ad esempio si può tener conto del grado di impermeabilità del calcestruzzo. A tal fine può essere determinato il valore della profondità di penetrazione dell'acqua in pressione in mm.

Per la prova di determinazione della profondità della penetrazione dell'acqua in pressione nel calcestruzzo indurito vale quanto indicato nella norma UNI EN 12390-8:2002.

Al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe, si potrà fare utile riferimento alle indicazioni contenute nelle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206-1:2006 ed UNI 11104:2004.

Sintesi dei risultati principali ottenuti

Classe di resistenza	Proprietà elastiche		Proprietà termiche	Proprietà meccaniche		
	E_c [N/mm ²]	ν -	α_c [°C ⁻¹]	f_{ck} [N/mm ²]	f_{ctk} [N/mm ²]	ε_{cu} -
C25/30	31476	0.20	$1 \cdot 10^{-5}$	25.00	1.80	0.0035
C40/50	35220	0.20	$1 \cdot 10^{-5}$	40.00	2.46	0.0035

Le proprietà meccaniche indicate in tabella sono quelle caratteristiche; da esse è possibile passare ai valori di progetto dividendo per il coefficiente parziale di sicurezza γ_c e/o per il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata α_{cc} , secondo quanto indicato dal D.M.17/01/2018 §4.1.2 "Verifiche agli stati limite".

3.2. Acciaio da c.a.o.

3.2.1. Caratteristiche dimensionali e di impiego

L'acciaio per cemento armato ordinario è generalmente prodotto in stabilimento sotto forma di barre o rotoli, reti o tralicci, per utilizzo diretto o come elementi di base per successive trasformazioni. Prima della fornitura in cantiere gli elementi di cui sopra possono essere saldati, presagomati (staffe, ferri piegati, ecc.) o preassemblati (gabbie di armatura, ecc.) a formare elementi composti direttamente utilizzabili in opera.

La sagomatura e/o l'assemblaggio possono avvenire:

- in cantiere, sotto la vigilanza della Direzione Lavori;
- in centri di trasformazione, solo se provvisti dei requisiti di cui al § 11.3.1.7 delle NTC2018.

Tutti gli acciai per cemento armato devono essere ad aderenza migliorata, aventi cioè una superficie dotata di nervature o indentature trasversali, uniformemente distribuite sull'intera lunghezza, atte ad aumentarne l'aderenza al conglomerato cementizio. Per quanto riguarda la marchiatura dei prodotti vale quanto indicato al § 11.3.1.4 delle NTC2018.

Per la documentazione di accompagnamento delle forniture vale quanto indicato al § 11.3.1.5 delle stesse norme. Le barre sono caratterizzate dal diametro ϕ della barra tonda liscia equipesante, calcolato nell'ipotesi che la densità dell'acciaio sia pari a $7,85 \text{ kg/dm}^3$.

Gli acciai B450C, di cui al § 11.3.2.1 delle NTC2018, possono essere impiegati in barre di diametro ϕ compreso tra 6 e 40 mm.

Per gli acciai B450A, di cui al § 11.3.2.2 delle NTC2018, il diametro ϕ delle barre deve essere compreso tra 5 e 10 mm.

L'uso di acciai forniti in rotoli è ammesso, senza limitazioni, per diametri fino a $\phi \leq 16 \text{ mm}$ per B450C e fino a $\phi \leq 10 \text{ mm}$ per B450A.

3.2.2. Classi di resistenza e principali caratteristiche meccaniche

L'acciaio per cemento armato normale utilizzato per l'opera di progetto è del tipo B450C, caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento f_y e rottura f_t :

$f_{y \text{ nom}}$	450 N/mm ²
$f_{t \text{ nom}}$	540 N/mm ²

e deve rispettare i requisiti indicati nella Tab. 11.3.Ib delle NTC2018:

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{y \text{ nom}}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	$\geq f_{t \text{ nom}}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
$(f_y/f_{y \text{ nom}})_k$	$< 1,35$	
	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$	$\geq 7,5 \%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12 \text{ mm}$	4ϕ	
$12 \leq \phi \leq 16 \text{ mm}$	5ϕ	
per $16 < \phi \leq 25 \text{ mm}$	8ϕ	
per $25 < \phi \leq 40 \text{ mm}$	10ϕ	

3.3. Classi di esposizione

3.3.1. Condizioni ambientali

Per la verifica delle prestazioni in esercizio delle strutture in c.a, vanno definite le classi di esposizione degli elementi strutturali in funzione delle condizioni ambientali.

Tali condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella Tab. 4.1.III delle NTC2018 con riferimento alle classi di esposizione definite nelle Linee Guida per il calcestruzzo strutturale emesse dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

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

Con riferimento alle opere in esame, sono state considerate le seguenti condizioni ambientali di esposizione ai fini delle verifiche agli stati limite di esercizio:

- Interventi in elevazione → Ordinaria XC1;

PRESCRIZIONI ESECUTIVE		
Classe di esposizione	XS1	[-]
Classe minima di consistenza	S4	[-]
Diametro massimo degli inerti	25	[mm]
Rapporto massimo a/c	50	[-]
Tipo di Cemento	I-V	[-]
Copriferro minimo	35	[mm]

- Interventi in fondazione → Ordinaria XC2.

PRESCRIZIONI ESECUTIVE		
Classe di esposizione	XC2/XC3	[-]
Classe minima di consistenza	S4	[-]
Diametro massimo degli inerti	25	[mm]
Rapporto massimo a/c	50	[-]
Tipo di Cemento	I-V	[-]
Copriferro minimo	40	[mm]

3.3.2. Sensibilità delle armature alla corrosione

Le armature si distinguono in due gruppi:

- armature sensibili;
- armature poco sensibili.

Appartengono al primo gruppo gli acciai da precompresso; al secondo gruppo gli acciai ordinari, come quelli utilizzati per il caso in esame.

4. ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA

4.1. Classi di resistenza e caratteristiche meccaniche elementi strutturali

Per la realizzazione di strutture metalliche si utilizzano acciai conformi alle norme armonizzate della serie UNI EN 10025 (per i laminati), UNI EN 10210 (per i tubi senza saldatura) e UNI EN 10219-1 (per i tubi saldati), recanti la Marcatura CE. Per gli acciai di cui alle norme armonizzate UNI EN 10025, UNI EN 10210 ed UNI EN 10219-1, in assenza di specifici studi statistici di documentata affidabilità, ed in favore di sicurezza, per i valori delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} e di rottura f_{tk} da utilizzare nei calcoli si assumono i valori nominali $f_y = R_{eH}$ e $f_t = R_m$ riportati nelle relative norme di prodotto.

Per l'accertamento delle caratteristiche meccaniche indicate nel seguito, il prelievo dei saggi, la posizione nel pezzo da cui essi devono essere prelevati, la preparazione delle provette e le modalità di prova devono rispondere alle prescrizioni delle norme *UNI EN ISO 377:1999*, *UNI 552:1986*, *EN 10002-1:2004*, *UNI EN 10045-1:1992*.

In sede di progettazione si possono assumere convenzionalmente i seguenti valori nominali delle proprietà elastiche del materiale:

- modulo elastico $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$;
- modulo di elasticità trasversale $G = E / [2 (1 + \nu)] \text{ N/mm}^2$;
- coefficiente di Poisson $\nu = 0,3$;
- coefficiente di espansione termica lineare $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (per temperature fino a $100 \text{ }^\circ\text{C}$);
- densità $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.

Sempre in sede di progettazione, per gli acciai di cui alle norme europee *EN 10210*, come nel caso in esame, si possono assumere nei calcoli i valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} e di rottura f_{tk} relativi ai profili a sezione cava laminati a caldo. Per quel che riguarda le piastre di connessione, invece, si fa riferimento alla norma UNI EN 10025.

Le tabelle seguenti mostrano le caratteristiche meccaniche principali da prendere in considerazione per lo specifico progetto e comprende anche le particolari piastre forate ad altissima resistenza utilizzate per il rinforzo dei nodi in c.a. non confinati.

ACCIAIO S235 H - $s \leq 40$ mm LAMINATI SEZ. CAVA (UNI-EN-10210-1)

$f_{tk} =$	360	MPa	Tensione caratteristica di rottura
$f_{yk} =$	235	MPa	Tensione caratteristica di snervamento
$\gamma_{m,0} =$	1.05	-	Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$f_{yd} =$	223.8	MPa	Resistenza di calcolo dell'acciaio
E	210000	MPa	Modulo di elasticità longitudinale di calcolo

ACCIAIO S355 J2 - SPESSORI < 40 mm - PIASTRE DI COLLEG. (UNI-EN-10025-2)

$f_{tk} =$	510	MPa	Tensione caratteristica di rottura
$f_{yk} =$	355	MPa	Tensione caratteristica di snervamento
$\gamma_{m,0} =$	1.05	-	Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$f_{yd} =$	338.1	MPa	Resistenza di calcolo dell'acciaio
E	210000	MPa	Modulo di elasticità longitudinale di calcolo

ACCIAIO S700 MC - SPESSORI < 8 mm - RINFORZO NODI C.A. (UNI-EN-10149-2)

$f_{tk} =$	750-900	MPa	Tensione caratteristica di rottura
$f_{yk} =$	700	MPa	Tensione caratteristica di snervamento
$\gamma_{m,0} =$	1	-	Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$f_{yd} =$	700.0	MPa	Resistenza di calcolo dell'acciaio
E	210000	MPa	Modulo di elasticità longitudinale di calcolo

4.2. Classi di resistenza e caratteristiche meccaniche elementi di giunzione**Bulloni, dadi e rosette a “serraggio non controllato”**

Agli assiemi Vite/Dado/Rondella impiegati nelle giunzioni ‘non precaricate’ si applica quanto specificato al punto A del § 11.1 delle NTC2018, in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 15048-1. In alternativa anche gli assiemi ad alta resistenza conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 14399-1 sono idonei per l'uso in giunzioni non precaricate; è importante che viti, dadi e rondelle in acciaio, devono essere associate come in tabella 11.3.XIII.a. di seguito stralciata

Tab. 11.3.XIII.a

Viti	Dadi	Rondelle	Riferimento
Classe di resistenza UNI EN ISO 898-1:2013	Classe di resistenza UNI EN ISO 898-2:2012	Durezza	
4.6	4; 5; 6 oppure 8	100 HV min.	UNI EN 15048-1
4.8			
5.6	5; 6 oppure 8		
5.8			
6.8	6 oppure 8	100 HV min oppure 300 HV min.	
8.8	8 oppure 10		
10.9	10 oppure 12		

Le tensioni di snervamento f_{yb} e di rottura f_{tb} delle viti appartenenti alle classi indicate nella precedente tabella 11.3.XIII.a - NTC2018, sono riportate nella tabella 11.3.XIII.b delle stesse norme:

Tab. 11.3.XIII.b

Classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{tb} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

(I valori evidenziati in tabella sono quelli assunti in sede di progetto)

Bulloni a “serraggio controllato”

Agli assiemi Vite/Dado/Rondella impiegati nelle giunzioni ‘Precaricate’ si applica quanto specificato al punto A del § 11.1 delle NTC2018, in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 14399-1. È importante che viti, dadi e rondelle in acciaio, devono essere associate come in tabella 11.3.XIV stralciata dalle stesse norme.

Tab. 11.3.XIV

Sistema	Viti		Dadi		Rondelle	
	Classe di resistenza	Riferimento	Classe di resistenza	Riferimento	Durezza	Riferimento
HR	8.8	UNI EN 14399-1	8	UNI EN 14399-3	300-370 HV	UNI EN 14399 parti 5 e 6
	10.9	UNI EN 14399-3	10	UNI EN 14399-3		
HV	10.9	UNI EN 14399-4	10	UNI EN 14399-4		

Saldature

Il progetto non prevede saldature da eseguirsi in opera, ma soltanto saldatura a completa penetrazione o a cordoni d'angolo da eseguire perentoriamente in officina da personale specializzato.

5. DISPOSITIVI DI DISSIPAZIONE

5.1. Generalità

Gli smorzatori viscosi attualmente in commercio sono dispositivi del tipo cilindro/pistone in cui la laminazione di un fluido siliconico, attraverso un idoneo circuito idraulico, permette la dissipazione dell'energia introdotta dal sisma nella struttura sotto forma di calore. Il comportamento meccanico degli attuali dispositivi commerciali è ben descritto dal modello di Maxwell (FIGURA 5.1) che vede uno smorzatore puro caratterizzato da un legame costitutivo forza-velocità, non-lineare di tipo esponenziale (FIGURA 5.1) in serie con una molla rappresentativa della compressibilità del fluido:

$$F_d = c_{NL} \cdot v^\alpha = k_{oil} \cdot x$$

dove c_{NL} è il coefficiente di smorzamento del dispositivo non-lineare, α è l'esponente dello smorzatore (tipicamente per dispositivi commerciali $\alpha=0.15-0.30$), k_{oil} rappresenta la rigidezza corrispondente alla compressibilità del fluido ed x la corsa del pistone.

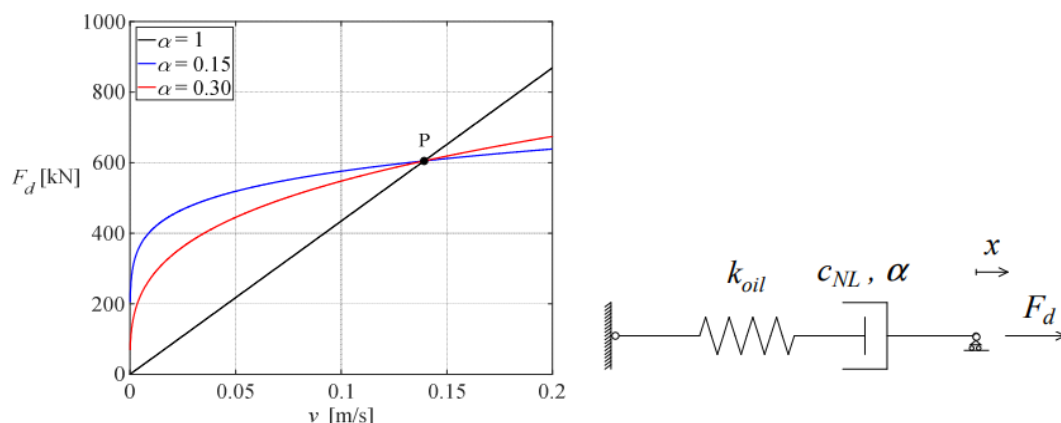


FIGURA 5.1 – RELAZIONE FORZA-VELOCITÀ AL VARIARE DELL'ESPONENTE α E MODELLO DI MAXWELL

Per quel che concerne le: *Prove di qualificazione sui dispositivi*, *Prove di accettazione sui materiali* e *Prove di accettazione sui dispositivi*, si rimanda rispettivamente ai §11.9.2 - §11.9.3 - §11.9.6.1 del D.M.17/01/18, nonché alla norma specifica UNI EN 15129:2018.

È però importante ricordare che:

- ✓ tutti i dispositivi devono avere una vita di servizio maggiore di 10 anni nel campo di temperatura di riferimento indicato nelle specifiche tecniche applicabili a ciascun dispositivo; in assenza di indicazioni riportate nelle suddette specifiche tecniche, il campo di temperatura di riferimento deve essere almeno compreso fra -15 °C e $+45\text{ °C}$;

- ✓ le procedure di qualificazione hanno lo scopo di dimostrare che il dispositivo è in grado di mantenere la propria funzionalità nelle condizioni d'uso previste durante tutta la vita di progetto. A tale proposito, i dispositivi antisismici devono essere conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 15129 e recare la Marcatura CE; inoltre si applica il sistema di valutazione e verifica della costanza della prestazione previsto nella suddetta norma europea armonizzata per le applicazioni critiche. Ogni fornitura deve essere accompagnata da un manuale contenente le specifiche tecniche per la posa in opera e la manutenzione;
- ✓ i controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori per tutte le tipologie di dispositivi e sono demandati al Direttore dei Lavori il quale, prima della messa in opera, è tenuto ad accertare e a verificare la prescritta documentazione di qualificazione, e a rifiutare le eventuali forniture non conformi. Il Direttore dei Lavori dovrà inoltre effettuare la verifica geometrica e delle tolleranze dimensionali, nonché le prove di accettazione. Quest'ultime devono essere eseguite e certificate da un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001, dotato di adeguata competenza, attrezzatura ed organizzazione, e devono rispettare i requisiti stringenti richiesti dalle NTC2018, che si ricorda indica un numero minimo di prove di accettazione, riferito alla tipologia omogenea, pari almeno al 20% dei dispositivi e comunque non meno di 4 e non più del numero di dispositivi da mettere in opera.

Sempre in merito alle prove di accettazione, è importante controllare la stabilità dei cicli isteretici caratterizzati principalmente dalla massima forza sviluppata F_{max} e dall'energia sviluppata E_d in un ciclo, per una prefissata ampiezza e frequenza, ossia i valori delle costanti C e α richieste al paragrafo successivo; in dettaglio, per assicurare un comportamento ciclico stabile, le variazioni dell'energia dissipata E_d in una serie di cicli di carico riferiti a stessa velocità e spostamento massimi devono essere limitate nel modo seguente:

$$|E_{d(i)} - E_{d(3)}| / E_{d(3)} \leq 10\%$$

dove il pedice “(3)” si riferisce a quantità determinate nel terzo ciclo di carico ed il pedice “(i)” si riferisce a quantità relative all'iesimo ciclo, escluso il primo ($i \geq 2$).

Le massime differenze tra le caratteristiche meccaniche ottenute nelle prove di qualificazione ed i valori di progetto o nelle normali condizioni d'uso devono essere contenute entro i limiti riportati in Tab. 11.9.III delle NTC2018 (vedi figura), tenendo conto dei rapporti di scala tra i dispositivi sottoposti a prove di qualificazione e quelli reali.

Tab. 11.9.III

	Fornitura	Invecchiamento	Temperatura	Frequenza di prova
F_{max}	$\pm 15\%$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$
E_d	-15%	-5%	-5%	$\pm 10\%$

Ultimi aspetti importanti:

- il dispositivo deve possedere due cerniere sferiche alle estremità onde evitare effetti di trafilamento e deterioramento delle guarnizioni, e la capacità rotazionale deve essere valutata tenendo conto dei carichi che interesseranno la struttura nel corso della vita, degli effetti del sisma e dei disallineamenti di montaggio. In ogni caso la rotazione consentita dalle cerniere non deve essere inferiore ai 2 gradi sessagesimali;
- i dispositivi, che sono stati progettati in modo da evitare snervamenti sotto l'applicazione dei carichi di servizio e rotture sotto le condizioni di collasso, devono essere in grado di sopportare le accelerazioni laterali risultanti dalle analisi sismiche strutturali allo SLC. In assenza di tale valutazione, devono resistere ad una forza minima trasversale pari ad almeno due volte il peso proprio del dispositivo.

5.2. Applicazione al caso in esame

Nel caso in esame si sono adottate n.3 tipologie di dispositivi fluido-viscosi, le cui caratteristiche principali sono riportate di seguito. Si ribadisce l'importanza del rispetto di tali caratteristiche in quanto, come ricordato al paragrafo precedente, caratterizzano i singoli cicli isteretici stabili che poi determinano la capacità dissipativa richiesta al sistema ai fini dell'adeguamento sismico:

✓ TIPOLOGIA "C1":

- c_{NL} $180 \text{ kN (m/s)}^\alpha$ (coefficiente di smorzamento viscoso)
- $F_{NL,max}$ 157 kN (forza max stato limite SLC)
- α 0.15 (Non linearità forza-velocità)
- s_{max} 31.21 mm (Spostamento max stato limite SLC)
- v_{max} 391.7 mm/s (Velocità max stato limite SLC)

✓ TIPOLOGIA "C2":

- c_{NL} $290 \text{ kN (m/s)}^\alpha$ (coefficiente di smorzamento viscoso)
- $F_{NL,max}$ 236 kN (forza max stato limite SLC)
- α 0.15 (Non linearità forza-velocità)
- s_{max} 20.25 mm (Spostamento max stato limite SLC)
- v_{max} 256.36 mm/s (Velocità max stato limite SLC)

✓ TIPOLOGIA "C3":

- c_{NL} 440 kN (m/s)^a (coefficiente di smorzamento viscoso)
- $F_{NL,max}$ 362 kN (forza max stato limite SLC)
- a 0.15 (Non linearità forza-velocità)
- s_{max} 16.68 mm (Spostamento max stato limite SLC)
- v_{max} 273.2 mm/s (Velocità max stato limite SLC)

6. SINTESI MATERIALI ADOTTATI E RELATIVE CLASSI DI RESISTENZA.

Così come descritto nei paragrafi precedenti, si sintetizzano di seguito i materiali di nuova realizzazione utilizzati e le relative classi di resistenza e di esposizione.

Opere strutturali di nuova realizzazione

CEMENTO ARMATO NORMALE			
<i>ELEMENTO STRUTTURALE</i>	<i>CLASSE DI RESISTENZA CLS</i>	<i>ACCIAIO</i>	<i>CLASSE DI ESPOSIZIONE</i>
Intervento in fondazione	C25/30	B450C	Ordinaria XC2
Interventi in elevazione	C40/50	B450C	Ordinaria XC1

ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA	
<i>ELEMENTO STRUTTURALE</i>	<i>CLASSE DI RESISTENZA</i>
Profili laminati a caldo a sezione cava	S235
Piastre di connessione	S355
Piastre forate ad altissima resistenza per rinforzo nodi in c.a.	S700
Unioni bullonate	Classe 10.9

DISSIPATORI FLUIDO-VISCOSI		
TIPOLOGIA	SIGLA	CARATTERISTICHE MECCANICHE PRINCIPALI
Dissipatore fluido-viscoso a comportamento dipendente dalla velocità	TIP.1 – “C1”	<ul style="list-style-type: none"> – (coefficiente di smorzamento viscoso) = 180 kN (m/s)^a – (forza max stato limite SLC) = 157 kN – (Non linearità forza-velocità) = 0.15 – (Spostamento max stato limite SLC) = 31.21 mm – (Velocità max stato limite SLC) = 391.7 mm/s
Dissipatore fluido-viscoso a comportamento dipendente dalla velocità	TIP.2 – “C2”	<ul style="list-style-type: none"> – (coefficiente di smorzamento viscoso) = 180 kN (m/s)^a – (forza max stato limite SLC) = 236 kN – (Non linearità forza-velocità) = 0.15 – (Spostamento max stato limite SLC) = 20.25 mm – (Velocità max stato limite SLC) = 256.36 mm/s
Dissipatore fluido-viscoso a comportamento dipendente dalla velocità	TIP.3 – “C3”	<ul style="list-style-type: none"> – (coefficiente di smorzamento viscoso) = 440 kN (m/s)^a – (forza max stato limite SLC) = 362 kN – (Non linearità forza-velocità) = 0.15 – (Spostamento max stato limite SLC) = 16.68 mm – (Velocità max stato limite SLC) = 273.2 mm/s

PROGETTISTI DELLE STRUTTURE

DIRETTORE DEI LAVORI
