

CNVVF  
CCI

Procedimento analitico per valutare la resistenza  
al fuoco degli elementi costruttivi di conglomerato  
cementizio armato, normale e precompresso

UNI  
9502

Analytical fire resistance assessment of reinforced concrete and prestressed concrete structural elements

### 1. Scopo

La presente norma specifica un metodo di calcolo per la valutazione della resistenza al fuoco, limitatamente alla capacità portante, di elementi singoli di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, sottoposti all'incendio normalizzato. Questo metodo si applica ai casi considerati nella UNI 7678 e può essere considerato alternativo al metodo sperimentale ivi indicato. La presente norma non entra quindi nel merito della verifica del sistema strutturale soggetto ad incendio, fatte salve le limitazioni specificate in 2.

Possono inoltre essere utilizzati altri metodi di calcolo purché essi siano comprovati da adeguata documentazione teorica e sperimentale e conducano a sicurezze non minori di quelle previste nella presente norma.

### 2. Campo di applicazione

La presente norma si applica sia a singoli elementi strutturali di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, soggetti a sollecitazioni semplici e composte, sia a elementi di conglomerato cementizio protetti con idonei rivestimenti continui.

### 3. Riferimenti

- UNI 6407 Prodotti finiti laminati d'acciaio per armature per cemento armato non precompresso
- UNI 7675 Prodotti finiti di acciaio non legato trafilati — Fili per cemento armato precompresso
- UNI 7676 Funi spirodali di acciaio non legato — Trefoli a 7 fili per cemento armato precompresso
- UNI 7677 Prove al fuoco — Termini e definizioni
- UNI 7678 Elementi costruttivi — Prove di resistenza al fuoco

### 4. Definizioni

Ai fini della presente norma valgono, oltre alle definizioni riportate nelle norme di cui in 3, quelle che seguono.

- 4.1. **Incendio normalizzato:** Variazione della temperatura nel tempo secondo UNI 7678.
- 4.2. **stato limite ultimo di collasso:** Stato corrispondente alla perdita di capacità portante dell'elemento strutturale per rottura o instabilità.

### 5. Metodo di calcolo

Il calcolo della resistenza al fuoco si articola come segue:

- determinazione della distribuzione di temperatura nell'elemento al variare del tempo di esposizione all'incendio normalizzato;
- determinazione delle variazioni delle proprietà meccaniche dei materiali costruttivi al variare della temperatura;
- verifica della capacità portante allo stato limite ultimo di collasso secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

### 6. Azioni di calcolo

Le azioni in base alle quali si esegue il calcolo della resistenza al fuoco (capacità portante), sono rappresentate dalla più gravosa delle combinazioni:

$$F_{d\theta} = G_k + \varphi_p \cdot P_k + Q_{1k} + 0,7 \cdot Q_{2k,i}$$

dove:  $F_{d\theta}$  è il valore dell'azione di calcolo;

$G_k$  è il valore caratteristico delle azioni permanenti;

$\varphi_p$  è il fattore di riduzione della forza di precompressione dato dal rapporto fra la forza di precompressione al tempo  $t$  di esposizione al fuoco e  $P_k$  (vedere 8.3);

$P_k$  è il valore caratteristico della forza di precompressione a temperatura ordinaria;

(segue)

Le norme UNI sono revisionate, quando necessario, con la pubblicazione sia di nuove edizioni sia di fogli di aggiornamento. È importante pertanto che gli utenti delle stesse si accertino di essere in possesso dell'ultima edizione o foglio di aggiornamento.

- $Q_{1k}$  è il valore caratteristico delle azioni variabili di lunga durata;
- $Q_{2k,j}$  è il valore caratteristico di una delle seguenti azioni di breve durata, con
  - $j = 1$  vento,
  - $j = 2$  neve,
  - $j = 3$  altre azioni rare.

Si deve tener conto anche delle azioni interne dovute, in caso di incendio, all'eventuale impedimento delle dilatazioni. È ammesso non tener conto delle azioni sismiche e di quelle di natura dinamica, ragionevolmente non presenti durante l'incendio.

## 7. Determinazione delle temperature negli elementi durante l'esposizione al fuoco

Il presupposto del calcolo della resistenza al fuoco è la determinazione della distribuzione delle temperature all'interno dell'elemento al tempo corrispondente alla resistenza al fuoco richiesta.

I fattori che influenzano la distribuzione della temperatura sono:

- geometria dell'elemento;
- tipo di esposizione al fuoco, coefficiente di trasmissione termica globale;
- proprietà fisiche del conglomerato cementizio (massa volumica, calore specifico, conduttività termica, contenuto d'acqua);
- possibilità di dissipare energia termica;
- eventuali rivestimenti protettivi.

### 7.1. Distribuzione delle temperature

Posto:

- $\theta_c$  la temperatura del conglomerato cementizio, in °C;
- $\rho_c$  la massa volumica, in kg/m<sup>3</sup>, che diminuisce all'aumentare della temperatura;
- $c_c$  il calore specifico, in J/kg °C, considerato costante al variare della temperatura;
- $\lambda_c$  la conduttività termica del conglomerato cementizio, variabile in funzione della temperatura.

Salvo specifiche diverse risultanze, si può assumere:

$$\rho_c = 2\,400 - 0,56 \cdot \theta_c$$

$$c_c = 920 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$$

Per il conglomerato cementizio con aggregati silicei e di massa volumica 2 400 kg/m<sup>3</sup>, si può assumere il seguente valore di  $\lambda_c$  convenzionale, espresso in W/m °C:

$$\lambda_c(\theta_c) = 1,63 - 1,74 \cdot 10^{-3} \cdot \theta_c + 6,95 \cdot 10^{-7} \cdot \theta_c^2$$

La conduttività termica diminuisce all'aumentare della temperatura come segue (vedere fig. 1):

$$\lambda_c(0) = 1,63 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda_c(500) = 0,93 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda_c(1\,000) = 0,58 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

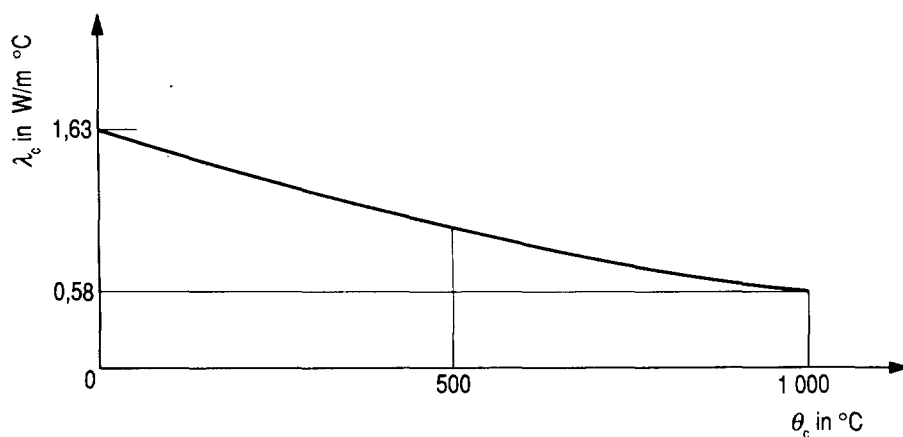


Fig. 1

Si determina la distribuzione della temperatura  $\theta_c$  nell'elemento risolvendo numericamente l'equazione:

$$\rho_c \cdot c_c \cdot \frac{\partial \theta_c}{\partial t} = \text{div} \lambda_c \cdot (\text{grad } \theta_c) \quad [1]$$

La temperatura  $\theta_a$  dell'acciaio si assume uguale a quella  $\theta_c$  del conglomerato cementizio in corrispondenza dell'asse delle armature.

(segue)

## 7.2. Determinazione sperimentale delle temperature nell'elemento

Per situazioni strutturali particolarmente complesse in cui l'applicazione del metodo di cui in 7.1 possa risultare problematica e in particolare per le strutture prefabbricate di serie a geometria complessa o realizzate con materiali particolari o non omogenei o con isolanti incorporati, è necessario procedere all'individuazione della distribuzione delle temperature nel conglomerato cementizio mediante idonee determinazioni sperimentali.

Tale procedimento implica il rilievo della temperatura nei punti interni dell'elemento a diverse distanze dalle superfici esposte, almeno in corrispondenza delle armature previste e della zona compressa nella verifica allo stato limite ultimo di collasso sotto esposizione all'incendio normalizzato.

Le temperature da assumere a base del calcolo si ricavano da quelle sperimentali eliminando il ritardo di vaporizzazione del contenuto d'acqua  $t_v$  (fig. 2).

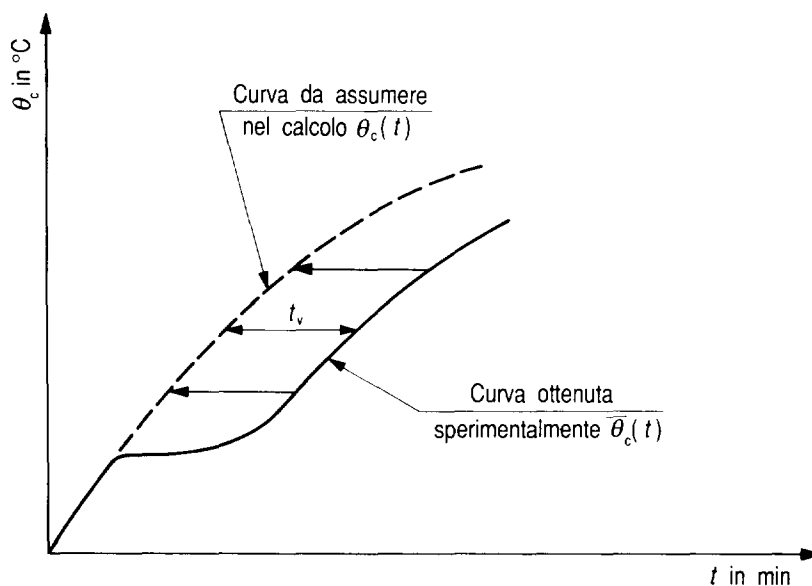


Fig. 2

## 7.3. Soluzione con tabelle

Nei prospetti che seguono sono riportati esempi delle temperature in funzione della distanza  $d$  dell'asse dell'acciaio dalla superficie esposta al fuoco e del tempo  $t$  di esposizione per alcuni tipi di elementi.

La linea tratteggiata indica l'esposizione al fuoco.

### 7.3.1. Solette piane

Per la sezione di solette piane, la risoluzione dell'equazione [1] di cui in 7.1 fornisce i risultati riportati nel prospetto I, ottenuto applicando l'incendio normalizzato a un conglomerato cementizio di proprietà fisiche in precedenza definite (fig. 3).

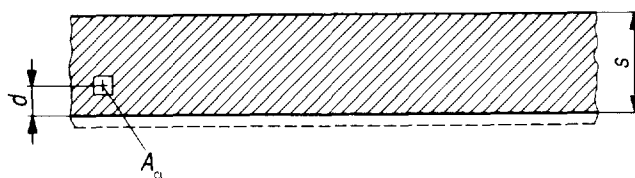


Fig. 3

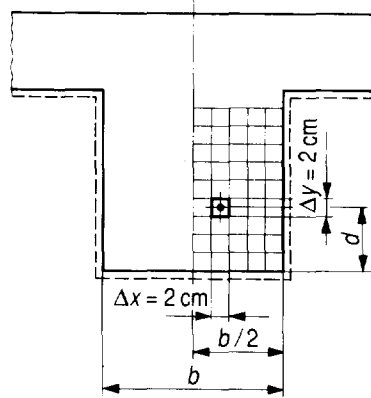
**Prospetto I — Solette piane esposte sull'intradosso per  $s \geq 5 d$** 

$d$ cm	Tempo di esposizione al fuoco $t$ min				
	30	60	90	120	180
	Temperatura $\theta_c$ °C				
0	460	670	760	815	890
0,5	420	625	720	775	850
1	380	580	680	740	820
1,5	340	540	640	700	785
2	300	495	600	660	750
2,5	270	450	555	625	710
3	215	400	520	590	680
3,5	180	360	475	550	640
4	140	315	435	510	605
4,5	100	270	400	475	570
5	65	235	360	440	535
5,5	30	200	325	405	500
6	—	175	285	375	475
6,5	—	140	255	340	440
7	—	105	235	320	420
7,5	—	75	200	290	400
8	—	45	185	265	375
9	—	—	128	211	327

**7.3.2. Sezioni di travi e pilastri**

Per le sezioni di travi e pilastri, la risoluzione dell'equazione [1], di cui in 7.1 fornisce, caso per caso, la mappa delle temperature in funzione del tempo di esposizione al fuoco.

Nella fig. 4 è riportata la distribuzione delle temperature dopo 60, 90, 120 min per travi con larghezza di nervatura  $b$  di 12-20-28 cm e nella fig. 5 quella con  $a$  di 40 cm per pilastri. Le temperature indicate si riferiscono al valore rilevato al centro dei quadrati di 2 cm di lato in cui è stato discretizzato l'elemento.



$b = 12 \quad t = 60$

360	450	620
360	450	620
365	455	620
375	465	625
395	480	640
435	510	655
495	560	690
585	640	740
715	745	805

$b/2$

$b = 12 \quad t = 90$

525	590	720
525	595	720
535	600	725
550	615	735
575	635	745
610	665	765
660	705	795
730	765	835
820	840	885

$b/2$

$b = 12 \quad t = 120$

620	675	780
625	680	700
635	690	785
650	700	795
670	720	805
705	745	825
745	785	850
805	830	885
875	890	920

$b/2$

$b = 20 \quad t = 60$

115	165	260	405	600
120	165	260	405	600
130	175	270	410	605
150	195	285	425	615
185	225	310	445	625
240	280	360	480	650
330	365	435	540	685
465	490	540	620	735
640	655	685	735	805

$b/2$

$b = 20 \quad t = 90$

230	280	370	510	685
240	285	380	515	690
255	300	390	525	695
285	330	415	540	705
330	370	450	570	720
390	430	500	605	745
480	510	570	660	780
595	620	665	735	825
740	755	785	825	885

$b/2$

$b = 20 \quad t = 120$

345	390	475	595	750
360	400	485	605	755
380	420	500	615	760
410	450	525	635	775
455	490	560	665	790
520	550	610	700	815
600	625	675	750	850
700	728	755	815	885
815	830	855	890	920

$b/2$

$b = 28 \quad t = 60$

			150	250	400	595
			150	255	400	595
		100	160	260	400	600
		120	175	275	420	605
110	125	155	210	305	440	620
175	190	215	265	350	475	645
275	285	305	350	425	535	680
420	435	445	475	535	615	730
600	615	625	645	680	730	800

$b/2$

$b = 28 \quad t = 90$

	120	170	250	365	505	685
110	130	180	260	370	515	690
130	155	200	280	385	520	695
165	185	235	310	405	540	705
220	240	285	350	445	565	720
295	315	355	415	495	605	745
405	420	450	500	570	665	780
540	550	575	610	665	735	825
705	715	725	750	780	825	885

$b/2$

$b = 28 \quad t = 120$

175	205	255	340	450	585	745
195	220	275	355	460	585	745
225	250	300	380	480	610	760
270	290	340	410	510	630	775
330	350	395	460	550	660	795
405	425	465	525	600	700	820
510	525	555	605	670	750	850
630	645	665	705	755	815	890
775	785	800	820	850	890	920

$b/2$

Fig. 4

(segue)

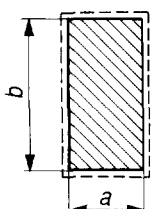
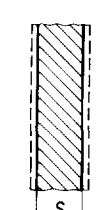
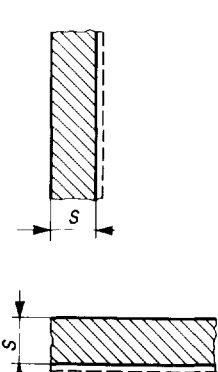


### 7.3.3. Temperature medie nella sezione

Per il calcolo delle azioni interne dovute all'eventuale impedimento alla dilatazione termica, si può fare riferimento alla temperatura media degli elementi.

Il prospetto II riporta, a titolo d'esempio, la temperatura media  $\theta_c$  nella sezione di alcuni tipi di elemento.

Prospetto II — Temperatura media nella sezione

Elemento	Sezione	Dimensioni cm	Tempo di esposizione $t$ min				
			30	60	90	120	180
		$a \times b$	$\theta_c$ °C				
Pilastro esposto su 4 lati		15 x 30	30	150	300	400	500
		30 x 30	0	30	100	140	200
		30 x 60	0	15	60	110	160
Parete esposta su 2 lati		$s = 12$	170	350	450	570	—
Parete o soletta esposta su 1 lato		$s = 15$	100	200	280	350	440
		$s = 30$	50	100	150	180	250
		$s = 45$	30	70	100	120	165

### 7.4. Elementi protetti

Per la determinazione delle temperature in presenza di rivestimenti protettivi, si può ricadere nei casi precedenti, aggiungendo agli spessori del conglomerato cementizio lo spessore equivalente.

Si definisce spessore equivalente del materiale protettivo lo spessore del conglomerato cementizio che occorrerebbe per esercitare lo stesso grado di protezione del rivestimento protettivo applicato.

Si definisce rapporto di equivalenza il rapporto tra lo spessore equivalente e lo spessore del rivestimento protettivo.

Nel prospetto III sono riportati i valori del rapporto di equivalenza di alcuni materiali protettivi, valori che possono essere utilizzati per il calcolo, in mancanza di dati specifici.

(segue)

**Prospetto III — Spessori equivalenti di materiali protettivi**

Materiali	Rapporto di equivalenza
Conglomerato cementizio normale (2 400 kg/m <sup>3</sup> )	1,0
Conglomerato cementizio cellulare (≤ 500 kg/m <sup>3</sup> )	2,0
Conglomerato cementizio con aggregati di argilla espansa (≤ 1 500 kg/m <sup>3</sup> )	1,5
Gesso	1,8
Laterizio	1,0
Intonaco di cemento	1,1
Intonaco o lastre di fibre minerali, di vetro o di roccia (contenuto in fibre ≥ 80%)	2,5
Intonaco di cemento e vermiculite (rapporto ≤ 4:1)	2,5
Intonaco di gesso e vermiculite (rapporto ≤ 4:1)	2,7
Intonaco di cemento e perlite (rapporto ≤ 4:1)	2,5
Intonaco di gesso e perlite (rapporto ≤ 4:1)	2,7

**8. Variazione delle proprietà meccaniche dei materiali con la temperatura**

Le proprietà meccaniche dei materiali e i valori caratteristici di resistenza ad essi associati variano con la temperatura alla quale sono sottoposti. Le leggi convenzionali di variazione da impiegare nel calcolo sono riportate di seguito.

**8.1. Resistenza del conglomerato cementizio**

La variazione convenzionale delle resistenze meccaniche del conglomerato cementizio con la sua temperatura  $\theta_c$  è definita attraverso i fattori di riduzione:

$$\varphi_c = \frac{R_c(\theta_c)}{R_{ck}}$$

$$\varphi_{ct} = \frac{f_{ct}(\theta_c)}{f_{ctk}}$$

dove:  $R_c(\theta_c)$  è la resistenza a compressione a temperatura  $\theta_c$ ;

$R_{ck}$  è la resistenza caratteristica a compressione a 20 °C;

$f_{ct}(\theta_c)$  è la resistenza a trazione a temperatura  $\theta_c$ ;

$f_{ctk}$  è la resistenza caratteristica a trazione a 20 °C.

Nel prospetto IV sono riportati i fattori  $\varphi_c$  e  $\varphi_{ct}$  in funzione della temperatura  $\theta_c$  rispettivamente per compressione e trazione: è ammessa l'interpolazione lineare.

Valori  $\varphi_c < 0,2$  e  $\varphi_{ct} < 0,2$  si assumono, ai fini del calcolo, uguali a zero.

**Prospetto IV — Fattori di riduzione della resistenza del conglomerato cementizio**

$\theta_c$ °C	50	250	400	490	500	600	700	800	815	1 000
$\varphi_c$	1,00	1,00	0,76	0,62	0,61	0,45	0,34	0,23	0,20	0,00
$\varphi_{ct}$	1,00	0,64	0,36	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

La fig. 6 riporta le variazioni di  $\varphi_c$  e  $\varphi_{ct}$  in funzione della temperatura  $\theta_c$ .

(segue)

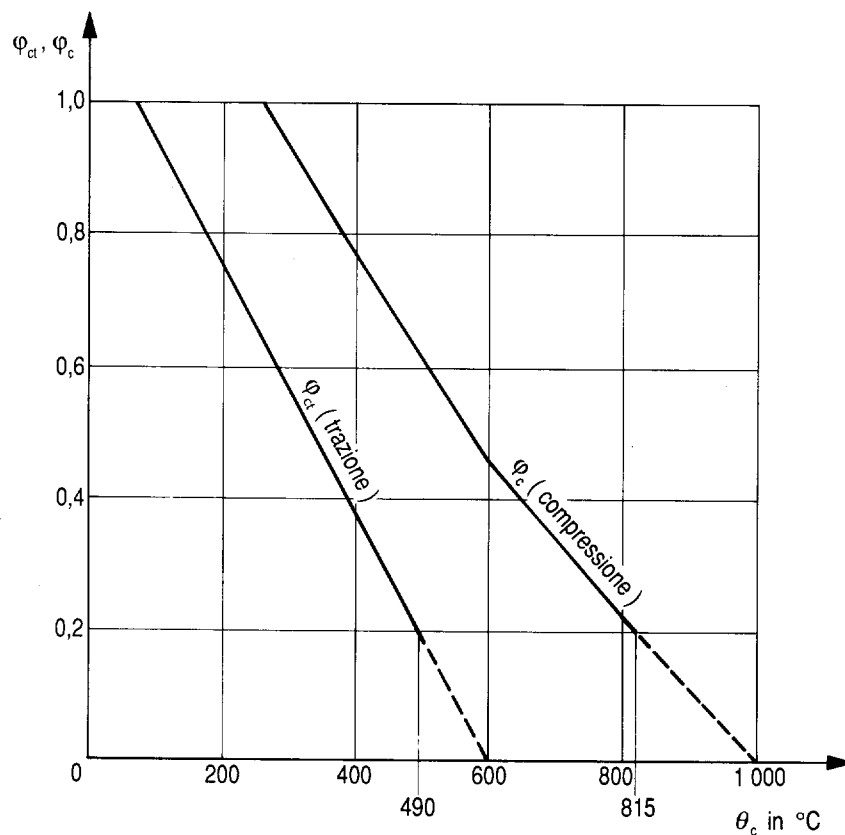


Fig. 6

## 8.2. Legame sforzo-deformazione

La variazione convenzionale del modulo di elasticità del conglomerato cementizio è definita attraverso il fattore di riduzione:

$$\varphi_e = \frac{E_c(\theta_c)}{E_c}$$

dove:  $E_c(\theta_c)$  è il modulo di elasticità alla temperatura  $\theta_c$ ;

$E_c$  è il modulo di elasticità a 20 °C.

Nel prospetto V sono riportati i valori di  $\varphi_e$  al variare della temperatura  $\theta_c$ : è ammessa l'interpolazione lineare.

**Prospetto V — Fattore di riduzione del modulo di elasticità del conglomerato cementizio**

$\theta_c$ °C	0	50	200	400	600
$\varphi_e$	1,00	1,00	0,50	0,15	0,05

## 8.3. Resistenza a trazione dell'acciaio

8.3.1. La variazione convenzionale della resistenza a trazione dell'acciaio per cemento armato con la sua temperatura  $\theta_a$  è definita dal fattore di riduzione:

$$\varphi_a = \frac{f_y(\theta_a)}{f_{yk}}$$

dove:  $f_y(\theta_a)$  è la tensione di snervamento dell'acciaio per conglomerato cementizio armato alla temperatura  $\theta_a$ , in °C;

$f_{yk}$  è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio per conglomerato cementizio armato a 20 °C.

(segue)

8.3.2. La variazione convenzionale della resistenza a trazione dell'acciaio per precompressione con la sua temperatura  $\theta_a$  è definita dal fattore di riduzione:

$$\varphi_p = \frac{f_{pt}(\theta_a)}{f_{ptk}}$$

dove:  $f_{pt}(\theta_a)$  è la tensione di rottura dell'acciaio per precompressione alla temperatura  $\theta_a$ , in °C;  
 $f_{ptk}$  è la tensione caratteristica di rottura dell'acciaio per precompressione a 20 °C.

8.3.3. Nel prospetto VI sono riportati i valori di  $\varphi_a$  e  $\varphi_p$  al variare della temperatura  $\theta_a$ ; è ammessa l'interpolazione lineare. Valori  $\varphi_a < 0,2$  e  $\varphi_p < 0,2$  si assumono, ai fini del calcolo, uguali a zero.

**Prospetto VI — Fattori di riduzione delle resistenze a trazione dell'acciaio**

$\theta_a$ °C	75	200	300	400	500	580	600	670	750
$\varphi_a$	1,00	1,00	0,85	0,70	0,54	0,42	0,37	0,20	0,00
$\varphi_p$	1,00	0,95	0,73	0,52	0,30	0,20	0,00	0,00	0,00

La fig. 7 riporta le variazioni di  $\varphi_a$  e  $\varphi_p$  in funzione della temperatura  $\theta_a$ .

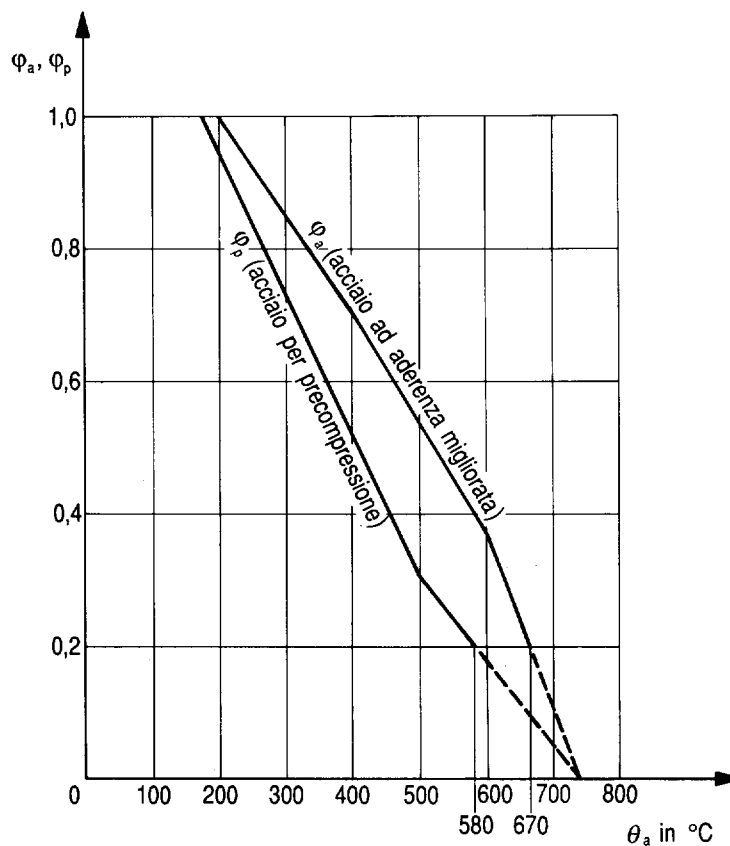


Fig. 7

## 9. Verifica della capacità portante

### 9.1. Condizioni sufficienti a garantire la capacità portante

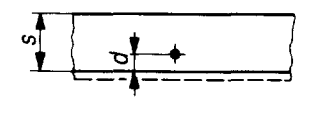
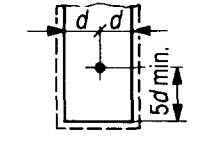
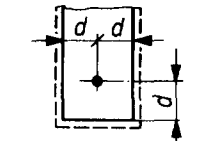
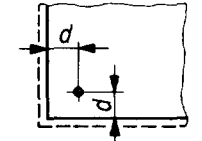
#### 9.1.1. Distanza dell'asse dell'acciaio dalla superficie esposta

Per tempi di esposizione di 30 min e 60 min la verifica analitica può essere omessa quando i valori della distanza  $d$  dell'asse delle barre o dei trefoli più esposti dalla superficie esterna sono non minori di quelli riportati nel prospetto VII.

Per tempi maggiori di 60 min è necessaria in ogni caso la verifica analitica.

(segue)

Prospetto VII — Distanze  $d$ , in cm, dell'asse dell'acciaio dalla superficie esposta al fuoco

Acciaio	Tempo di esposizione $t$ min				
Per conglomerato cementizio armato	30 60	* 2,20	* 4,00	2,50 5,00	* 4,5
Per precompressione	30 60	* 3,3	2,5 5,00	3,5 6,00	3,00 5,5

\* È sufficiente il ricoprimento previsto dalle norme di progettazione a temperatura ordinaria.

### 9.1.2. Spessori del conglomerato cementizio in zona compressa

Se la temperatura a metà del minimo spessore  $s$  (fig. 8) è  $\leq 500$  °C si può escludere il cedimento del conglomerato cementizio e quindi prescindere dalla verifica di resistenza a compressione; tale condizione si verifica per spessori maggiori di quelli riportati nel prospetto VIII.

Prospetto VIII — Spessori oltre i quali non è necessaria la verifica di resistenza alla compressione

Tempo di esposizione $t$ min	Spessore $s$ cm
30 60	minimo * 4,00

\* Previsto dalle norme di progettazione a temperatura ordinaria.

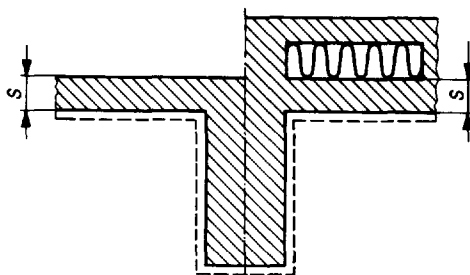


Fig. 8

Per solette al cui interno esistono cavità o materiali alleggerenti (e quindi 2 strati di conglomerato) lo spessore di cui si deve tenere conto è quello dello strato esposto all'incendio.

### 9.2. Metodo approssimativo basato sul fattore di riduzione medio

Definita la distribuzione delle temperature nella sezione da verificare secondo 7, la verifica della capacità portante di un elemento dopo un prefissato tempo di esposizione al fuoco si può effettuare determinando puntualmente il fattore di riduzione  $\varphi_{ai}$  o  $\varphi_{pi}$  di ogni area  $A_{ai}$  di singola barra o  $A_{pi}$  di singolo trefolo di acciaio o  $\varphi_{ci}$  di ogni singola area  $A_{ci}$  di conglomerato cementizio in zona compressa e calcolando il fattore di riduzione medio  $\varphi_m$  ( $\varphi_{ma}$ ,  $\varphi_{mp}$  o  $\varphi_{mc}$ ), media opportunamente pesata dei singoli fattori di riduzione  $\varphi_{ai}$ ,  $\varphi_{pi}$  e  $\varphi_{ci}$  rispettivamente.

Per la verifica a flessione semplice:

$$\varphi_{ma} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{ai} \cdot h_i \cdot \varphi_{ai}}{\sum_{i=1}^n A_{ai} \cdot h_i}$$

(segue)

e

$$\varphi_{mp} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{pi} \cdot h_i \cdot \varphi_{pi}}{\sum_{i=1}^n A_{pi} \cdot h_i}$$

dove  $h_i$  è il braccio della coppia interna della singola barra di area  $A_{ai}$  o del singolo trefolo di area  $A_{pi}$  rispettivamente. Per la verifica a taglio semplice:

$$\varphi_{ma} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{ai} \cdot \varphi_{ai}}{\sum_{i=1}^n A_{ai}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{ai} \cdot \varphi_{ai}}{A_a}$$

Per la verifica a compressione semplice o a flessione nella zona compressa:

$$\varphi_{mc} = \frac{\int_{A_c} \varphi_c dA_c}{A_c}$$

o approssimativamente:

$$\varphi_{mc} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{ci} \cdot \varphi_{ci}}{\sum_{i=1}^n A_{ci}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{ci} \cdot \varphi_{ci}}{A_c}$$

se la distribuzione delle temperature è nota al centro delle aree  $A_{ci}$  in cui è stata discretizzata la sezione di conglomerato cementizio (7.3).

Si ammette che la capacità portante sia verificata quando:

$$\varphi_m \geq 0,58$$

Per  $\varphi_m < 0,58$  si ammette che la capacità portante sia ancora verificata se:

$$\varphi_m \geq \frac{F_d \gamma_m}{\bar{F}_d \bar{\gamma}_m}$$

dove:  $F_d$  è l'azione di calcolo assunta per la verifica di resistenza al fuoco (vedere 6);

$\gamma_m$  è il coefficiente di sicurezza del materiale (vedere 9.3.3);

$\bar{F}_d$  è l'azione di calcolo in base alla quale è dimensionato l'elemento;

$\bar{\gamma}_m$  è il coefficiente di sicurezza del materiale relativo a  $\bar{F}_d$ .

### 9.3. Verifica attraverso la sezione equivalente

#### 9.3.1. Sezione ridotta a temperatura ordinaria equivalente a quella esposta al fuoco

Si può calcolare la resistenza al fuoco riducendo puntualmente le sezioni resistenti del conglomerato cementizio e dell'acciaio mediante i fattori  $\varphi_c$  e  $\varphi_a$  o  $\varphi_p$  rispettivamente e calcolando la resistenza allo stato ultimo di collasso in base alle azioni di calcolo di cui in 6.

Il modulo di elasticità del conglomerato cementizio può essere ridotto con il fattore  $\varphi_e$ .

Stabilita la sezione ridotta equivalente, la verifica a rottura può essere eseguita, per qualsiasi tipo di elemento e sollecitazione, con gli usuali metodi della scienza delle costruzioni.

#### 9.3.2. Diagrammi di calcolo sforzi-deformazioni

##### 9.3.2.1. Conglomerato cementizio

Il diagramma sforzi-deformazioni da assumere per il conglomerato cementizio nel caso di tensioni normali è quello parabola-rettangolo (fig. 9).

L'ordinata massima del diagramma si assume pari alla resistenza di calcolo  $f_{cd}$  di cui in 9.3.3.1.

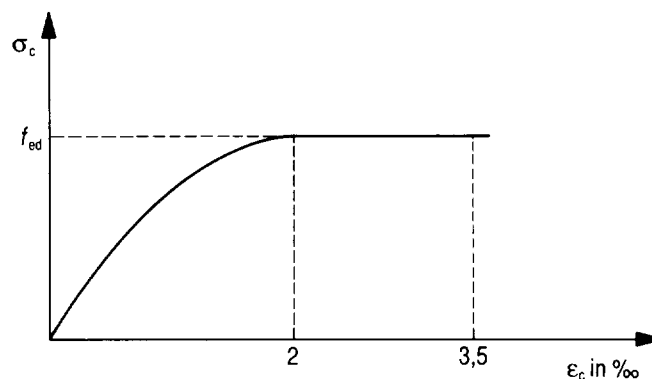


Fig. 9

(segue)

### 9.3.2.2. Acciaio

Il diagramma sforzi-deformazioni da assumere per gli acciai per conglomerato cementizio armato, normale o per precompressione si ricava dal diagramma utilizzato per il calcolo statico a temperatura ordinaria effettuando la trasformazione indicata in fig. 10 in rapporto al fattore di riduzione  $\varphi_a$  o  $\varphi_p$  rispettivamente corrispondente alla temperatura  $\theta_a$  propria dell'armatura considerata (vedere 8.2).

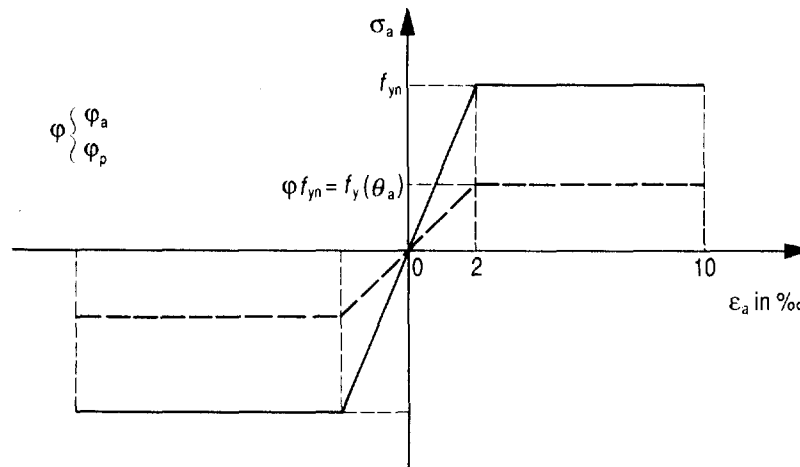


Fig. 10

### 9.3.3. Resistenze di calcolo

#### 9.3.3.1. Conglomerato cementizio

La resistenza di calcolo del conglomerato cementizio si assume pari a:

$$f_{cd} = \varphi_c(\theta_{cc}) \frac{f_{ck,j}}{\gamma_c} = \varphi_c(\theta_{cc}) \frac{0,83 R_{ck,j}}{\gamma_c}$$

dove:  $\varphi_c(\theta_{cc})$  è il fattore di riduzione della resistenza del conglomerato cementizio corrispondente alla temperatura media caratteristica della zona compressa;

$f_{ck,j}$  è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione al giorno  $j^{mo}$  dal getto; si può assumere  $j = 90$  e, in mancanza di valutazioni più precise

$$f_{ck,90} = 1,10 f_{ck,28}$$

essendo  $f_{ck,28}$  la resistenza a 28 giorni dal getto;

$R_{ck,j}$  è la resistenza caratteristica cubica a compressione;

$\gamma_c$  è il coefficiente di sicurezza del conglomerato cementizio; si assume:  $\gamma_c = 1,30$ .

#### 9.3.3.2. Acciaio

La resistenza di calcolo dell'acciaio si assume pari a:

$$f_d = \varphi \frac{f_{yk}}{\gamma_a}$$

dove:  $\varphi = \varphi_a$  e  $\varphi_p$  (vedere 8.3);

$f_{yk}$  è la resistenza caratteristica a trazione dell'acciaio a 20 °C;

$\gamma_a$  è il coefficiente di sicurezza dell'acciaio. Si assume:

$\gamma_a = 1,00$  per acciai controllati in stabilimento,

$\gamma_a = 1,05$  per acciai non controllati in stabilimento.

**Procedimento analitico per valutare la resistenza  
al fuoco degli elementi costruttivi di conglomerato  
cementizio armato, normale e precompresso**

(UNI 9502)

Studio del progetto — Gruppo di lavoro "Resistenza all'incendio" della Commissione "Comportamento all'incendio" dell'UNI, riunioni negli anni 1988 e 1989.

Esame ed approvazione — Commissione "Comportamento all'incendio" dell'UNI, riunione del 26 gen. 1989.

Esame finale ed approvazione — Commissione Centrale Tecnica dell'UNI, riunione del 16 feb. 1989.

Ratifica — Presidente dell'UNI, delibera del 10 apr. 1989.