

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

### EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)  
 SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)  
 COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)  
 SACYR S.A.U. (MANDANTE)  
 ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)  
 A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

<p><b>IL PROGETTISTA</b></p> <p>Dott. Ing. E. Pagani                  Ordine Ingegneri Milano                  n° 15408</p> 	<p><b>IL CONTRAENTE GENERALE</b></p> <p>Project Manager                  (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p><b>STRETTO DI MESSINA</b>                  Direttore Generale e                  RUP Validazione                  (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p><b>STRETTO DI MESSINA</b>                  Amministratore Delegato                  (Dott. P. Ciucci)</p>
---	--	---	--

<p><i>Unità Funzionale</i></p> <p><i>Tipo di sistema</i></p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i></p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i></p> <p><i>Titolo del documento</i></p>	<p>GENERALE</p> <p>TECNICO</p> <p>ELEMENTI DI CARATTERE GENERALE</p> <p>GENERALE</p> <p>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</p>	<p>GE0321_F0</p>
---	---	------------------

CODICE	C G 0 8 0 0 P R X D G T C 0 0 G 0 0 0 0 0 0 0 1 F0
--------	--

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	FINAMORE	PAGANI	MARCHESELLI



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>		<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G0000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

INDICE.....		iii
1	Verifiche di resistenza al fuoco delle gallerie stradali.....	5
2	Verifiche di resistenza al fuoco delle gallerie ferroviarie .....	10

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>		
<p align="center">VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE  GALLERIE</p>	<p><i>Codice documento</i>  CG0800PRXDGTC00G00000000F0</p>	<p><i>Rev</i>  F0</p>	<p><i>Data</i>  20/06/2011</p>	

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</p>	<p><i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>	

## 1 Verifiche di resistenza al fuoco delle gallerie stradali

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>	<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## Premessa

Di seguito viene riportata la verifica della resistenza al fuoco valida per le infrastrutture stradali di collegamento all'opera di attraversamento dello Stretto nella regione Sicilia e Calabria.

La norma UNI ((UNI ENV 1992-1-2) risulta essere molto dettagliata nella definizione delle procedure di verifica di resistenza al fuoco; la norma definisce la resistenza la fuoco come *“la misura dell’attitudine degli elementi costruttivi a conservare la propria funzionalità per un tempo prestabilito e con condizioni di esposizione al fuoco prefissate”* .

I requisiti si distinguono in :

- **R:** Conservazione della capacità portante;
- **E:** Capacità di tenuta;
- **I:** Capacità di isolamento;

La conservazione della capacità portante (R) corrisponde al mantenimento della funzione statica degli elementi strutturali, ossia la capacità di resistere per un tempo prestabilito alle azioni combinate dei carichi di esercizio e della temperatura.

Le capacità di tenuta ed isolamento (E ed I) sono requisiti richiesti per garantire la capacità di separazione (compartimentazione), impedendo sia il passaggio di fiamma e gas attraverso le superfici divisorie (tenuta), che il passaggio di calore sulla superficie non esposta direttamente al fuoco (isolamento).

La resistenza al fuoco degli elementi costruttivi può essere valutata sperimentalmente in appositi forni di prova o, in alternativa, per quel che riguarda la capacità portante (R), attraverso uno strumento di calcolo analitico fornito dalla norma UNI ENV 1992-1-2. La verifica al fuoco mediante il metodo analitico si effettua valutando la risposta strutturale nelle condizioni di temperatura previste dall'incendio **“standard”** e sotto l'azione dei carichi di progetto, per il tempo di resistenza al fuoco corrispondente al tempo d'esposizione in cui viene raggiunto lo **stato limite di collasso**.

Per le opere in esame, si esegue la verifica della capacità portante (R), della tenuta (E) e dell'isolamento (I) riferendosi ad un tempo di esposizione al fuoco pari a 120 minuti.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>	<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## Metodi di verifica norma (UNI ENV 1992-1-2)

Secondo quanto indicato nella norma UNI ENV 1992-1-2, la resistenza al fuoco di una struttura di calcestruzzo (armato) viene determinata per mezzo di uno dei seguenti metodi:

- o Analisi della struttura nel suo insieme
- o Analisi di parti della struttura
- o Analisi dell'elemento strutturale

Per la verifica dei requisiti di resistenza all'incendio normalizzato è sufficiente l'analisi dell'elemento strutturale.

La valutazione della resistenza al fuoco, limitatamente alla capacità portante di elementi strutturali in calcestruzzo armato normale o precompresso sottoposti ad un incendio "normalizzato", viene effettuata mediante:

- o dati tabellari;
- o metodo semplificato di calcolo;
- o metodi di calcolo generali.

Il metodo tabellare consiste nella semplice individuazione delle dimensioni trasversali della sezione e della distanza dall'asse della barra di armatura. In certi casi possono essere anche richieste semplici individuazioni del livello di carico e di particolarità costruttive addizionali. I valori tabellari possono essere modificati quando lo stato di tensione reale nell'acciaio e la temperatura sono noti con maggiore accuratezza.

*Il metodo semplificato di calcolo consiste, in primo luogo, nel determinare la mappatura termica della sezione, nel determinare la sezione trasversale ridotta di conglomerato, nel rivalutare la resistenza e il modulo elastico a breve termine del calcestruzzo e dell'acciaio e quindi nel calcolare la capacità portante ultima della struttura considerando la sezione ridotta secondo la ENV 1992-1-1, e nel confrontare la capacità con relativa combinazione di azioni.*

Nei metodi di calcolo generali, infine, vengono valutati, anche su modelli differenti, lo sviluppo e la distribuzione della temperatura nella membratura strutturale (risposta termica) ed il comportamento meccanico della struttura o di una parte di questa (risposta meccanica).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>	<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

### Verifica della capacità portante (UNI ENV 1992-1-2)

Nell'ambito della progettazione definitiva delle opere di accesso al ponte, per la verifica al fuoco è stato adottato il **metodo tabellare** codificato dalla norma UNI.

I prospetti contenenti tali dati sono stati realizzati su una base empirica confermata dall'esperienza e dalla valutazione teorica delle prove.

Questi dati sono derivati da assunzioni prudenziali approssimate per gli elementi strutturali più comuni.

Come indicato al punto 4.2.2 della UNI ENV 1992-1-2, i requisiti per la funzione di separazione (criteri "E" ed "I") possono essere considerati soddisfatti quando lo spessore minimo delle pareti o solette è in accordo con i valori tabellari contenuti nel prospetto 4.2.

Nel caso in esame

<b>Resistenza standard</b>	<b>all'incendio</b>	<b>Spessore minimo (mm)</b>
EI 120		120

Essendo ovunque lo spessore delle strutture nettamente maggiore di 120mm, la verifica risulta abbondantemente soddisfatta.

Le tabelle adottate nella verifica degli elementi sono:

Prospetto 4.3 Pareti portanti di calcestruzzo armato

Prospetto 4.9 Solette non nervate di calcestruzzo armato ordinario e precompresso

Il primo prospetto è stato utilizzato per gli elementi presso-inflessi con riferimento ai valori riferiti ad una parete esposta su una sola faccia ed assumendo il parametro  $\mu_f$  che tiene conto delle combinazioni di carico in caso di incendio per quanto attiene la resistenza a compressione e, per quanto possibile, della flessione, compresi gli effetti del secondo ordine, pari a 0.7 (si veda punto 4.2.3 della norma). Per gli elementi prevalentemente inflessi è stato invece impiegato il secondo prospetto.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>		<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Nei casi in esame, si ha:

*Elementi presso-inflessi*

<b>Resistenza all'incendio standard</b>	<b>Spessore minimo (mm)</b>	<b>Distanza nominale a dall'asse della barra (mm)</b>
REI 120	160	35

*Elementi inflessi*

<b>Resistenza all'incendio standard</b>	<b>Spessore minimo (mm)</b>	<b>Distanza nominale a dall'asse della barra (mm)</b>
REI 120	200	35

Come è possibile dedurre dai documenti progettuali le dimensioni minime degli elementi strutturali superano sempre il minimo previsto dalla norma ed il distanza nominale dall'asse della barra utilizzato nelle verifiche risulta pari a **5 cm**;

In sede di P.E., al momento dello studio di dettaglio delle armature e della loro schematizzazione grafica, saranno garantiti gli spessori minimi di protezione al fuoco per ogni singolo elemento di rinforzo in acciaio.

In tale ambito, se necessario, saranno anche svolte le relative verifiche strutturali.

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</p>	<p><i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>	

## 2 Verifiche di resistenza al fuoco delle gallerie ferroviarie

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>	<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

**VERIFICA DI OTTEMPERANZA ALLE NORME STI del 20 dicembre 2007, relativa alla specifica tecnica di interoperabilità concernente la «sicurezza nelle gallerie ferroviarie» nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità [notificata con il numero C(2007) 6450] (Testo rilevante ai fini del SEE) - (2008/163/CE)**

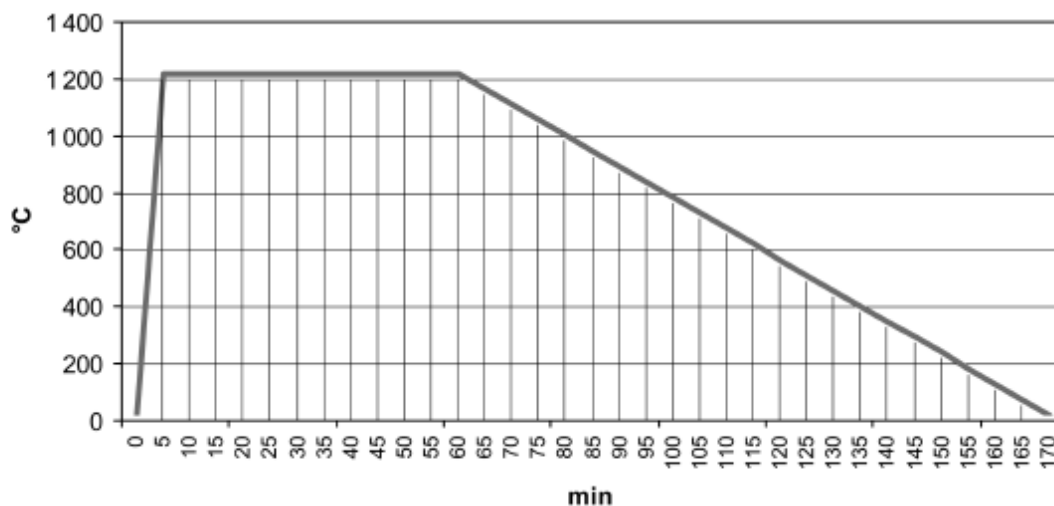
### Requisiti relativi alla protezione al fuoco delle strutture

Le norme STI prevedono, per la verifica la fuoco delle gallerie ferroviarie, le presenti prescrizioni: (Confr. P.to 4.2.2.3.della citata norma)

*“La presente specifica si applica a tutte le gallerie, indipendentemente dalla loro lunghezza.*

*L'integrità della struttura deve mantenersi, in caso di incendio, per un periodo sufficientemente lungo per consentire l'autosoccorso e l'evacuazione dei passeggeri e del personale e l'intervento delle squadre di soccorso senza il rischio di crollo strutturale.*

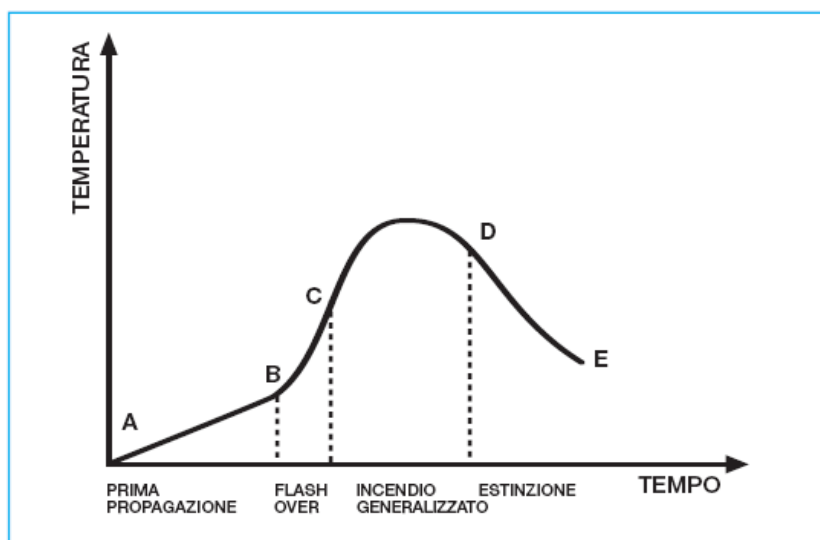
*Deve essere valutato il comportamento in caso di incendio della superficie finita della galleria, sia essa costituita da roccia o rivestita in calcestruzzo. Essa deve resistere alla temperatura dell'incendio per un determinato periodo di tempo. La figura che segue contiene la «curva di incendio (variazione della temperatura nel tempo durante un incendio)» specificata (curva EUREKA). Tale curva deve essere utilizzata unicamente per la progettazione di strutture in calcestruzzo.”*



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>	<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Di seguito saranno analizzati gli aspetti progettuali di verifica e/o costruttivi per l'ottemperanza a dette norme.

### Generica curva di fuoco



Le strutture che necessitano di specifica protezione al fuoco sono:

1. Gallerie naturali -a singolo o doppio binario- scavate con metodi tradizionali e rivestite in c.a. o cls gettato in opera;
2. Gallerie artificiali policentriche costituite da strutture in c.a.gettato in opera;
3. Gallerie artificiali scatolari costituite da strutture in c.a. gettato in opera;
4. Stazioni ferroviarie;
5. Gallerie scavate con fresa rivestite mediante conci prefabbricati di spessore pari a 40cm (Galleria Sant'Agata e Santa Cecilia).

Nell'ambito del progetto definitivo sono state eseguite le verifiche al fuoco delle strutture relative ai punti 1,2,3,4,5 secondo la norma UNI ENV 1992-1-2. Le strutture di cui ai punti 1-4, tenuto conto degli elevati spessori strutturali e delle conseguenti riserve statiche nonché della possibilità di protezioni locali al fuoco, non risultano soggette a particolari condizioni di rischio.

Detta norma UNI prevede una serie di modalità di calcolo ben definite e di comprovata efficacia

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>	<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

(metodo dell'ISOTERMA 500°), standardizzate su assunzioni di una curva d'incendio leggermente diversa da quella richiesta dalle norme STI; come verrà dettagliatamente dimostrato di seguito le due curve di fuoco, previste dalle due norme, producono un effetto assolutamente paragonabile sulle strutture.

La norma UNI risulta essere molto dettagliata nella definizione delle procedure di verifica di resistenza al fuoco; la norma definisce la resistenza al fuoco come *“la misura dell’attitudine degli elementi costruttivi a conservare la propria funzionalità per un tempo prestabilito e con condizioni di esposizione al fuoco prefissate”*.

I requisiti si distinguono in :

- **R**: Conservazione della capacità portante;
- **E**: Capacità di tenuta;
- **I**: Capacità di isolamento;

La conservazione della capacità portante (**R**) corrisponde al mantenimento della funzione statica degli elementi strutturali, ossia la capacità di resistere per un tempo prestabilito alle azioni combinate dei carichi di esercizio e della temperatura.

Le capacità di tenuta ed isolamento (**E** ed **I**) sono requisiti richiesti per garantire la capacità di separazione (compartimentazione), impedendo sia il passaggio di fiamma e gas attraverso le superfici divisorie (tenuta), che il passaggio di calore sulla superficie non esposta direttamente al fuoco (isolamento).

La resistenza al fuoco degli elementi costruttivi può essere valutata sperimentalmente in appositi forni di prova o, in alternativa, per quel che riguarda la capacità portante (**R**), attraverso uno strumento di calcolo analitico fornito dalla norma stessa. La verifica al fuoco mediante il metodo analitico si effettua valutando la risposta strutturale nelle condizioni di temperatura previste dall'incendio **“standard”** e sotto l'azione dei carichi di progetto, per il tempo di resistenza al fuoco corrispondente al tempo d'esposizione in cui viene raggiunto lo **stato limite di collasso**.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>	<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

### Metodi di verifica norma (UNI ENV 1992-1-2)

Secondo quanto indicato nella norma UNI ENV 1992-1-2, la resistenza al fuoco di una struttura di calcestruzzo (armato) viene determinata per mezzo di uno dei seguenti metodi:

- o Analisi della struttura nel suo insieme
- o Analisi di parti della struttura
- o Analisi dell'elemento strutturale

Per la verifica dei requisiti di resistenza all'incendio normalizzato è sufficiente l'analisi dell'elemento strutturale.

La valutazione della resistenza al fuoco, limitatamente alla capacità portante di elementi strutturali in calcestruzzo armato normale o precompresso sottoposti ad un incendio "normalizzato", viene effettuata mediante:

- o dati tabellari;
- o metodo semplificato di calcolo;
- o metodi di calcolo generali.

Il metodo tabellare consiste nella semplice individuazione delle dimensioni trasversali della sezione e della distanza dall'asse della barra di armatura. In certi casi possono essere anche richieste semplici individuazioni del livello di carico e di particolarità costruttive addizionali. I valori tabellari possono essere modificati quando lo stato di tensione reale nell'acciaio e la temperatura sono noti con maggiore accuratezza.

*Il metodo semplificato di calcolo consiste, in primo luogo, nel determinare la mappatura termica della sezione, nel determinare la sezione trasversale ridotta di conglomerato, nel rivalutare la resistenza e il modulo elastico a breve termine del calcestruzzo e dell'acciaio e quindi nel calcolare la capacità portante ultima della struttura considerando la sezione ridotta secondo la ENV 1992-1-1, e nel confrontare la capacità con relativa combinazione di azioni.*

Nei metodi di calcolo generali, infine, vengono valutati, anche su modelli differenti, lo sviluppo e la distribuzione della temperatura nella membratura strutturale (risposta termica) ed il comportamento meccanico della struttura o di una parte di questa (risposta meccanica).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>	<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

### Verifica della capacità portante (UNI ENV 1992-1-2)

Nell'ambito della progettazione definitiva delle opere di accesso al ponte, per la verifica al fuoco è stato adottato il **metodo tabellare** codificato dalla norma UNI.

I prospetti contenenti tali dati sono stati realizzati su una base empirica confermata dall'esperienza e dalla valutazione teorica delle prove.

Questi dati sono derivati da assunzioni prudenziali approssimate per gli elementi strutturali più comuni.

Come indicato al punto 4.2.2 della UNI ENV 1992-1-2, i requisiti per la funzione di separazione (criteri "E" ed "I") possono essere considerati soddisfatti quando lo spessore minimo delle pareti o solette è in accordo con i valori tabellari contenuti nel prospetto 4.2.

Nel caso in esame

<b>Resistenza standard</b>	<b>all'incendio</b>	<b>Spessore minimo (mm)</b>
EI 120		120

Essendo ovunque lo spessore delle strutture nettamente maggiore di 120mm, la verifica risulta abbondantemente soddisfatta.

Le tabelle adottate nella verifica degli elementi sono:

Prospetto 4.3 Pareti portanti di calcestruzzo armato

Prospetto 4.9 Solette non nervate di calcestruzzo armato ordinario e precompresso

Il primo prospetto è stato utilizzato per gli elementi presso-inflessi con riferimento ai valori riferiti ad una parete esposta su una sola faccia ed assumendo il parametro  $\mu_f$  che tiene conto delle combinazioni di carico in caso di incendio per quanto attiene la resistenza a compressione e, per quanto possibile, della flessione, compresi gli effetti del second'ordine, pari a 0.7 (si veda punto 4.2.3 della norma). Per gli elementi prevalentemente inflessi è stato invece impiegato il secondo prospetto.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>		<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Nei casi in esame, si ha:

*Elementi presso-inflessi*

<b>Resistenza all'incendio standard</b>	<b>Spessore minimo (mm)</b>	<b>Distanza nominale a dall'asse della barra (mm)</b>
REI 120	160	35

*Elementi inflessi*

<b>Resistenza all'incendio standard</b>	<b>Spessore minimo (mm)</b>	<b>Distanza nominale a dall'asse della barra (mm)</b>
REI 120	200	35

Come è possibile dedurre dai documenti progettuali le dimensioni minime degli elementi strutturali superano sempre il minimo previsto dalla norma ed il distanza nominale dall'asse della barra utilizzato nelle verifiche risulta pari a **5 cm**;

In sede di P.E., al momento dello studio di dettaglio delle armature e della loro schematizzazione grafica, saranno garantiti gli spessori minimi di protezione al fuoco per ogni singolo elemento di rinforzo in acciaio.

In tale ambito, se necessario, saranno anche svolte le relative verifiche strutturali.

A titolo dimostrativo circa l'equivalenza -in termini di effetti- delle due curve di fuoco (norme STI ed UNI) di seguito vengono illustrate una serie di analisi di confronto.

Le analisi dimostrano come il metodo di verifica utilizzato in sede di progetto definitivo sia conforme alle richieste nella nuova normativa europea con curva tempo-temperatura EUREKA.

Durante la fase di progettazione esecutiva, per ottemperare formalmente alle richieste STI saranno comunque condotte le verifiche secondo le curve EUREKA.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>	<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## VERIFICA DI RESISTENZA IN CASO DI INCENDIO – confronto fra comportamento al fuoco secondo il T.U. 2008 e norme STI

La verifica strutturale di resistenza al fuoco è stata effettuata in accordo con la vigente normativa italiana, verificando che:

$$E_{d,fi} < R_{d,t,fi}$$

dove

$E_{d,fi}$  = effetto di calcolo delle azioni in situazione di incendio;

$R_{d,t,fi}$  = resistenza di calcolo in situazione di incendio per la specifica durata t.

Il metodo scelto è quello dell'isoterma 500°C, applicabile per un'esposizione all'incendio normalizzato: tale metodo consiste in una riduzione generale della sezione trasversale rispetto a una zona danneggiata dal calore; lo spessore del calcestruzzo danneggiato si pone uguale alla profondità media dell'isoterma dei 500°C e questa porzione di calcestruzzo si presuppone non contribuisca alla capacità portante, mentre la restante sezione trasversale mantiene i suoi valori di resistenza e modulo di elasticità iniziali.

La normativa Italiana vigente fornisce mappature termiche calcolate per specifici elementi strutturali, quali lastre, travi e pilastri.

In particolare, per la classe REI 120, la profondità dell'isoterma 500°C è mediamente pari a 4 cm (si vedano i risultati su lastre e travi) e tale valore si ritiene sufficientemente conservativo.

Nell'ambito della verifica al fuoco delle strutture del ponte è richiesta la verifica secondo le norme STI che prevedono una curva del fuoco differente da quella utilizzata dalla norma Italiana.

A tal proposito sono stati confrontati i risultati dell'applicazione della norma Italiana con le nuove disposizioni adottate dalla normativa comunitaria in merito alle gallerie ferroviarie.

L'analisi termica è stata svolta impostando la curva temperatura-tempo ottenute dalle prove EUREKA ed adottate con Decisione Della Commissione Europea del 20 dicembre 2007.

Si riportano di seguito i parametri fisici adottati per l'analisi termica e la curva EUREKA introdotta nel software di analisi per punti come da tabella analoga a quanto formulato ed adottato dalla

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>		<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G0000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

normativa tedesca RABT-ZTV(train).

**Dati per analisi del transitorio termico e verifica capacità p...** ✕

---

**Scambio di calore con l'ambiente**

$H_{net,d} = \alpha \cdot c \cdot (T_g - T_m)^{**n} + e_{res} \cdot B \cdot (T_{Ag}^{**4} - T_{Am}^{**4})$

**Lato esposto**

e res:  remiss. risultante (irraggiamento)

alfa c:  coeff. scambio (convezione)

exp n:  esponente

**Lato non esposto**

e res:  remiss. risultante (irraggiamento)

alfa c:  coeff. scambio (convezione)

exp n:  esponente

B:  costante di Stefan-Boltzmann

Ta:  temperatura assoluta

**Max iter. Tolleranza**

per elementi di contorno

per la matrice sistema

DT:  intervallo di calcolo [minuti]

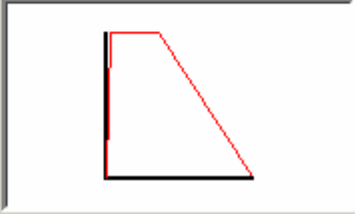
**Curve relative al conglomerato**

Temperatura gas (t)  ISO834

Conducibilità cls (T)

Calore specifico cls (T)

Massa cls (T)



Verif. 7.5.3

**Valori di default per verifiche**

Classe:  tempo di esposizione R

Gc,fi:  coeff. di sicurezza calcestruzzo

Gs,fi:  coeff. di sicurezza acciaio

temperatura staffe mediata

Gw,fi:  coeff. di sicurezza legno

Unità di misura SI: [daN,m,J,W,C]; Sezioni scalate in automatico

**Curva tempo-temp...** [X]

n.	t [min]	Temperatura
1	0.0	20.0
2	5.0	1200.0
3	60.0	1200.0
4	170.0	20.0

1

OK      Annulla

**Analisi della resistenza al fuoco della sezione** [X]

Lato	Tratto	Stato	Tratto	Stato	Tratto	Stato	Prot...
Lat...	100	Esposto	0	Non...	0	Non...	0
Lat...	50	Adiabatico	0	Non...	0	Non...	0
Lat...	100	Adiabatico	0	Non...	0	Non...	0
Lat...	50	Adiabatico	0	Non...	0	Non...	0

Dati per analisi transitorio

Dimensione lato mesh [cm]: 2.0

N. nodi: 1326

N. elementi: 1250

Avanzate...  
Aggiorna  
Analisi termica  
Usa per verifica

[t=60] Rettangolare: b=100.00 h=50.00

1167.05

20.0

Esposizione: 60 minuti

Cls gamfi: 1.2      Capacità %: 93      90 [\*]

Acc. gamfi: 1      T max: 233.818      329.875 [\*\*]

[\*] Rispett. compressione e trazione      [\*\*] Rispett. longitudinale e staffa

OK      Esci

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>		<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

La temperatura massima viene raggiunta per un tempo di esposizione pari a 60 minuti, con isoterma di 500 °C alla profondità di circa 4 cm dalla superficie esposta al fuoco.

Le armature tese raggiungono una temperatura pari a 336,5 °C (profondità 5 cm dalla superficie esposta al fuoco).

■ Analisi della resistenza al fuoco della sezione
✕

Lato	Tratto	Stato	Tratto	Stato	Tratto	Stato	Prot...
Lat...	100	Esposto	0	Non...	0	Non...	0
Lat...	50	Adiabatico	0	Non...	0	Non...	0
Lat...	100	Adiabatico	0	Non...	0	Non...	0
Lat...	50	Adiabatico	0	Non...	0	Non...	0

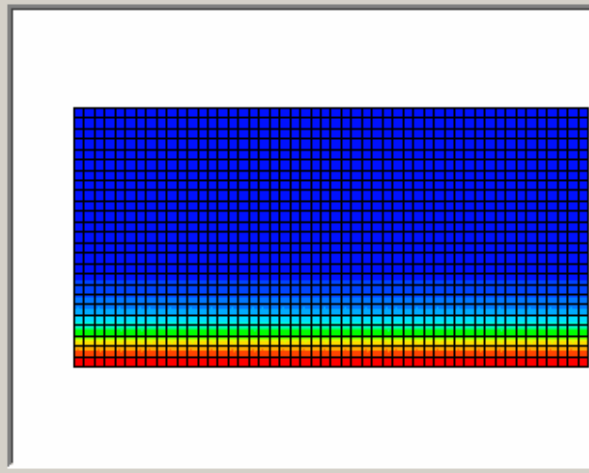
**Dati per analisi transitorio**

Dimensione lato mesh [cm]

N. nodi

N. elementi

[t=120] Rettangolare: b=100.00 h=50.00



580.15

20.0

Esposizione: 120 minuti

Cl. gamfi

Acc. gamfi

Capacità %

T max

[°]

[°C]

[\*] Rispett. compressione e trazione      [\*\*\*] Rispett. longitudinale e staffa

Coerentemente con il diagramma temperatura-tempo adottato le temperature poi decrescono per tempi di esposizione superiori a 60 minuti. L'analisi semplificata che si è scelto di adottare viene

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>	<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

comunque condotta al momento in cui si raggiungono le temperature massime indotte dalla curva EUREKA implementata nel software.

**Le analisi dimostrano come il metodo dell'isoterma a 500°C sia conforme alle richieste nella nuova normativa europea con curva tempo-temperatura EUREKA.**

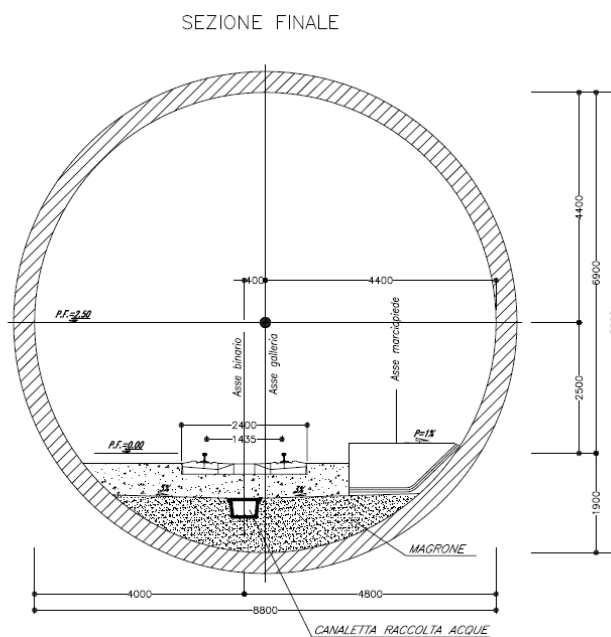
Si ritiene, pertanto, che le analisi svolte dimostrino che il metodo dell'isoterma a 500°C fornisca dei risultati assolutamente in linea con le richieste STI.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>	<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## Verifiche al fuoco degli elementi prefabbricati di rivestimento delle gallerie naturali scavate con TBM. Gallerie Santa Cecilia – Sant’Agata

Le opere in sotterraneo ferroviarie lato Sicilia sono costituite da 2 gallerie naturali a doppio fornice per la cui realizzazione è previsto l’impiego di una macchina di scavo meccanizzato integrale scudata con sostegno in pressione del fronte.

Le gallerie di raggio interno pari a 4.40m e spessore del rivestimento di 40cm si sviluppano complessivamente per circa 15500 m.



Le strutture di rivestimento sono costituite da conci prefabbricati dello spessore di 40cm.

Dal punto di vista della resistenza al fuoco (ottemperanza alla norma UNI) la distanza fra l’asse dell’armatura tesa e l’estradosso della struttura è stato imposto pari a 50 mm (confr., ad es le verifiche a fessurazione della struttura concio di seguito riportate).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE GALLERIE</b>		<i>Codice documento</i> CG0800PRXDGTC00G00000000F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

In sede di progettazione Esecutiva e di elaborazione grafica delle armature saranno garantiti gli spessori minimi di protezione al fuoco per tutti gli elementi strutturali in acciaio.

<b>b</b>	<b>h</b>	<b>E<sub>s</sub></b>	<b>R<sub>ck</sub></b>	<b>m</b>	<b>A<sub>s</sub></b>	<b>n° file</b>	<b>h<sub>f</sub></b>	<b>A's</b>	<b>h'<sub>f</sub></b>
[mm]	[mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[mm <sup>2</sup> ]		[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]
1800	400	210000	50	6.95	1847	1	65	1847	65

<b>copriferro</b>	<b>interasse</b>	<b>k<sub>2</sub></b>	<b>k<sub>3</sub></b>	<b>f</b>	<b>asse neutro</b>	<b>F<sub>ceff</sub></b>	<b>r<sub>r</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>
[mm]	[mm]			[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]			
50	150	0.4	0.125	30	84.4	284040	0.01	1	1

<b>S<sub>n</sub></b>	<b>F<sub>i</sub></b>	<b>v<sub>i</sub></b>	<b>J<sub>i</sub></b>	<b>W<sub>i</sub></b>	<b>M<sub>crm</sub></b>	<b>M<sub>crm</sub></b>	<b>M 1<sup>a</sup> FESS.</b>	<b>M<sub>ex</sub></b>
[mm <sup>3</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[N*mm]	[kN*m]	[kN*m]	[kN*m]
1.5E+08	7.4E+05	200.0	1.0E+10	5.0E+07	1.8E+08	183.2	153.9	76.5

<b>σ<sub>f</sub></b>	<b>σ<sub>fr</sub></b>	<b>s<sub>rm</sub></b>	<b>e<sub>fm</sub></b>	<b>W<sub>k</sub></b>
[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[mm]	[m]	[mm]
129.800	259.600	360.677	-	0