



**Resistenza al fuoco su strutture navali:
un esempio applicativo**

UNO SCENARIO REALE

19 Novembre 2002 sul MCMV *ORKLA* della Royal Norwegian Navy

Allarme

ore 06.54:

“FUOCO A BORDO” in un locale macchinari

Dopo 2 minuti

ore 06.56:

fiamme di 4 metri di altezza al di sopra della sovrastruttura

Dopo 5 minuti

ore 06.59:

viene comandato l' ABBANDONO DELLA NAVE

Dopo 26 minuti

ore 07.20:

collasso della sovrastruttura con propagazione delle fiamme sotto il ponte coperta: UNITA' PERSA.



L' ANALISI

SORGENTI (navi-sommergibili)

- **IMPIANTO ELETTRICO** (39-61%)
- **FIAMME LIBERE** (19-14%)
 - portaceceneri e cestini nei CORRIDOI
 - attrezzature di CUCINA
 - saldature e manutenzione
- **CALORE RADIANTE** (14-5%)
 - trafilamenti POMPE e SALA MOTORE
- **FIAMMIFERI E MOZZICONI** (5-1%)
- **ALTRO/SCONOSCIUTO** (23-19%)

RESISTENZA all' Incendio

- **STABILITA' STRUTTURA**
RITENZIONE termo-meccanica
- **ISOLAMENTO termico**
BARRIERA termica
- **INTEGRITA'**
Contenimento FIAMME-FUMI-CENERI

Eric Greene – *Marine Composites II edition* – Annapolys Maryland 1999, USA

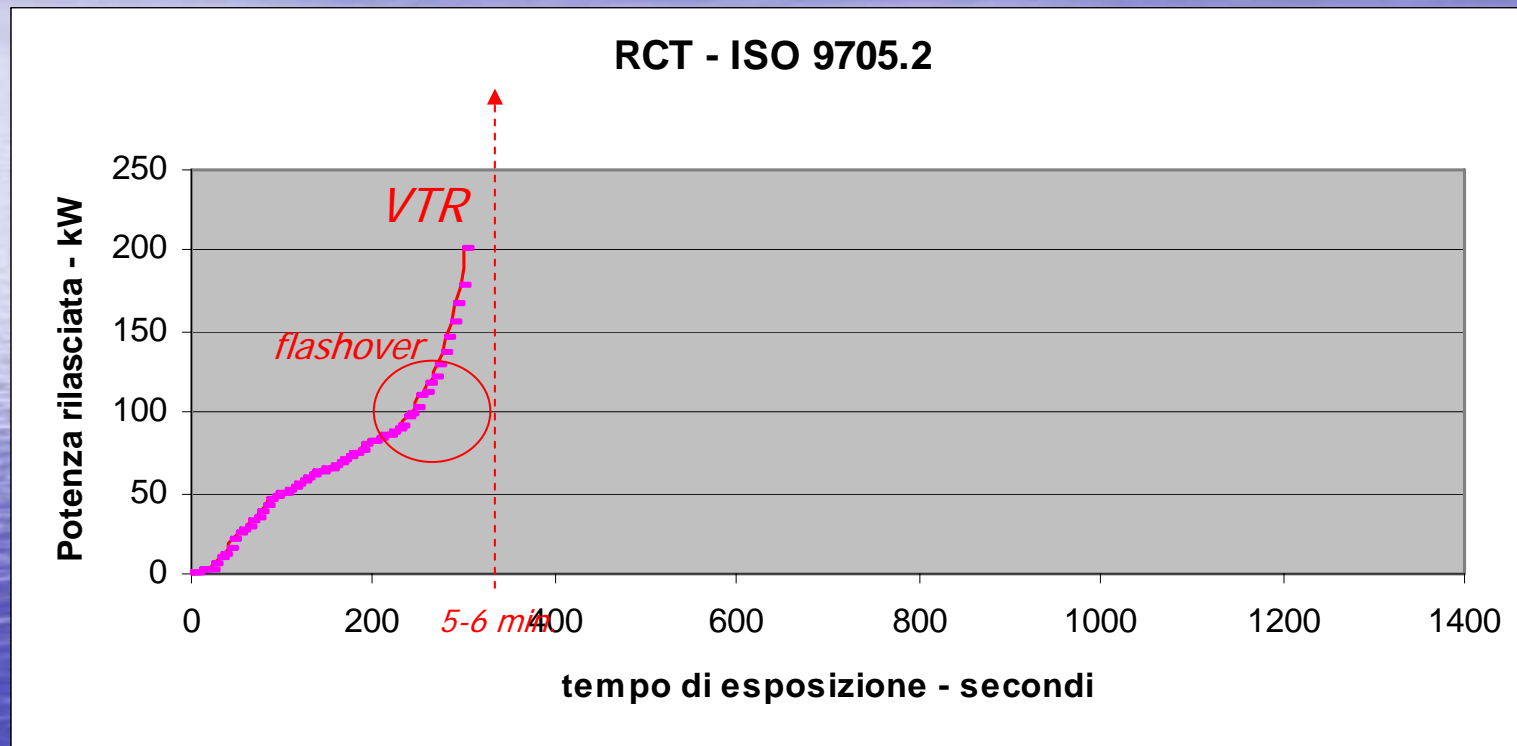
REAZIONE al Fuoco

1. (tempo di) **INNESCO** del MATERIALE
2. (velocita' di) **PROPAGAZIONE** delle FIAMME
 - **EMISSIONE** di CALORE
 - **CONSUMO** di OSSIGENO
3. **Produzione di FUMI**
 - **TOSSICITA'** e **CORROSIVITA'**
 - **DENSITA'** (riduzione della **VISIBILITA'**)
4. **INCENDIO - *flashover*** (irreversibile)

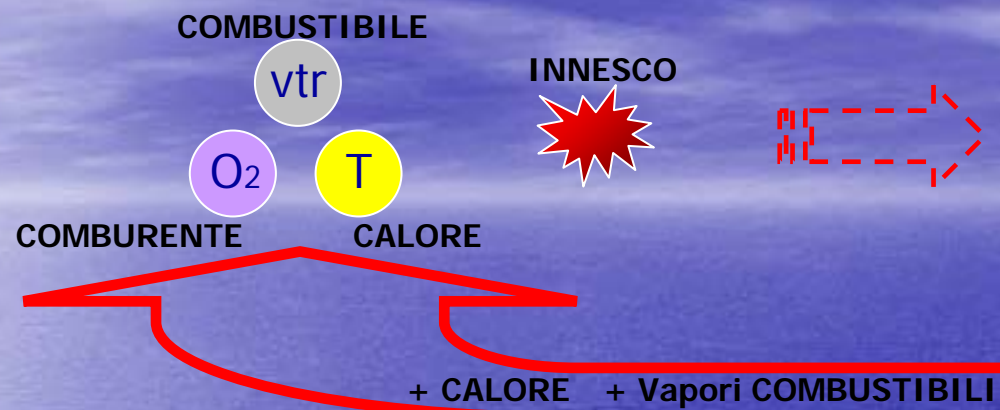


LA REAZIONE DELLA VETRORESINA

Full Scale Room Corner Test

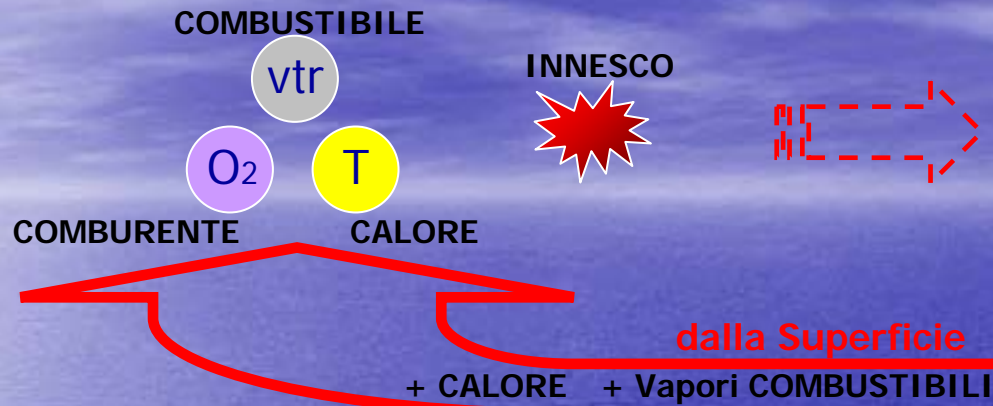


LA REAZIONE DI COMBUSTIONE



OSSIDAZIONE
AUTO-ALIMENTANTE

LA COMBUSTIONE IN DETTAGLIO



OSSIDAZIONE
AUTO-ALIMENTANTE

- + FUMI
- + CENERI
- + GAS
- + VAPORI
- + CATRAME

- CALORE
- COMBURENTE
- COMBUSTIBILE

in Superficie

AUTO-LIMITANTE

INDAGINE: LOCALE SOTTOCOPERTA NON COIBENTATO – RESISTENZA ALL' INCENDIO

$$P = 3.5 \text{ kN/m}^2$$

Load Bearing Fire Resisting
IMO Res. MSC.45(65)_H.S.C.C.

SOFFITTO: Ponte di coperta

1 PARETE:
Paratia
strutturale

3 PARETI: Divisori autoportanti

2,5 metri



100 kW*10min
300 kW*10min

Full Scale Room Corner Test
ISO 9705

2,5 metri

3,6 metri

PROGETTAZIONE _ obiettivi

➤ *MATERIALE: BASSA REAZIONE AL FUOCO*

- *BASSA PROPENSIONE ALL' INNESCO*
- *BASSA PROPAGAZIONE SUPERFICIALE DELLA FIAMMA*
- *ALTA PROPENSIONE ALL' AUTOESTINGUENZA*
- *BASSA PROPENSIONE AL flash-over*
- *BASSA EMISSIONE DI CALORE*
- *BASSA EMISSIONE DI FUMI*
- *BASSE OPACITA', TOSSICITA' E CORROSIVITA' DEI FUMI*

➤ *STRUTTURA: ALTA RESISTENZA AL FUOCO*

- *RITENZIONE DELLE PRESTAZIONI MECCANICHE*
- *ISOLAMENTO TERMICO*
- *TENUTA DELLE EMISSIONI GASSOSE*

PROGETTAZIONE _ percorso

multidisciplinare

sperimentale

1. *MATERIE PRIME COMPONENTI
(matrici, fibre, appretti, anime espanse, additivi)*
2. *COMPOSIZIONE DELLE SINGOLE LAMINE*
3. *COMPOSIZIONE DEL LAMINATO MONOLITICO*
4. *COMPOSIZIONE DEL LAMINATO SANDWICH*
5. *VERIFICA TERMO-MECCANICA DEL LAMINATO*
6. *VERIFICA TERMO-MECCANICA DELLA STRUTTURA*
7. *TECNOLOGIA DI STAMPAGGIO*
8. *POST-INDURIMENTO DEL LAMINATO*
9. *FINITURA DELLE SUPERFICI*
10. *TECNOLOGIA DI ASSEMBLAGGIO*

iterativo

composite design for manufacturing

PROGETTAZIONE _ laminati e strutture

MATRICI

Epossidiche
Fenoliche
Poliestere
Poliestere alogenate
Epossi-Vinilestere
Vinilestere-Uretaniche

ADDITIVI

ATH
APP
Grafite E (esfoliante)

FIBRE

Vetro E
Carbonio
Ibridi V/C

RINFORZI

Tessuti
Unidirezionali
Unidirezionali Cuciti

ANIME

Balsa
PVC
PIR

RIVESTIMENTI

Emulsione ceramica

STAMPAGGIO

Manuale
Sacco sottovuoto
Infusione
Pre-pregs

COMBINAZIONI VERIFICATE SPERIMENTALMENTE

19 LAMINATI monolitici

17 LAMINATI sandwich

2 PANNELLI PIANI STRUTTURALI monolitici 1200 x 1200

4 PANNELLI PIANI STRUTTURALI sandwich 1200 x1200

4 PANNELLI AUTOPORTANTI monolitici 1000 x 500

4 PANNELLI AUTOPORTANTI sandwich 1000 x 500

1 PONTE MONOLITICO COSTOLATO 3040 x 3040

1 PONTE SANDWICH COSTOLATO 3040 x 3040

1 LOCALE MONOLITICO COSTOLATO 3,6 x 2,5 x 2,5 m

1 LOCALE SANDWICH COSTOLATO 3,6 x 2,5 x 2,5 m

SPECIFICHE DI CALCOLO PONTI

[IMORes. MSC.45(65)]

CARICO PRESSIONE ESTERNA: 3.500 N/m²

CARICO INCENDIO lato interno: curva T/t *ISO 834, 0-60 minuti*

MASSIMA DEFORMAZIONE AMMISSIBILE: $f = L^2 / (400 \cdot h)$

MASSIMA VELOCITA' DI DEFORMAZIONE AMMISSIBILE: $df/dt = L^2 / (9000 \cdot h)$

DIMENSIONI nette: 3.430 x 3.430 mm

FASCIAME 1: monolitico

FASCIAME 2: sandwich

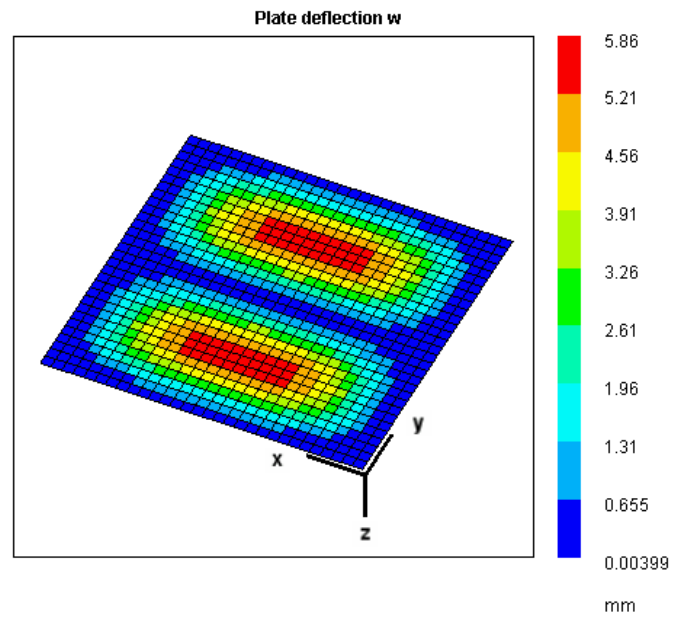
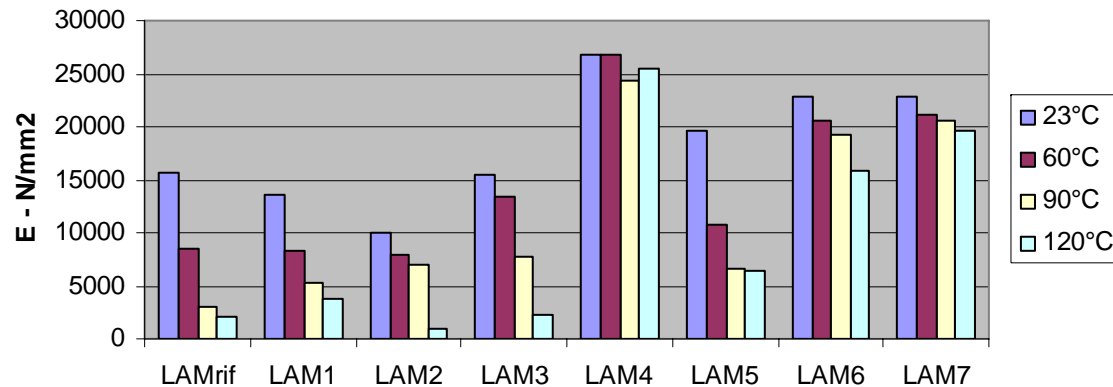
STRUTTURA: costola centrale

VINCOLI: 4 lati incastrati

LAMINATI E STRUTTURE

MODELLAZIONE/VERIFICA TERMO-MECCANICA

FLESSIONE - ASTM D790 - MODULI ELASTICI A 23-60-90-120 °C



	w	x	y
	mm	mm	mm
min	0	0.00	0.00
max	5.89	1500.00	800.00

Stiffened plate : **Lastra Monolitica costolata**
 Modified : Fri Dec 08 10:27:53 2006
 Laminate : Lastra monolitica costolata h = 20.06 mm
 Type : Solid,Reinf.
 a = 3000 mm;b = 3000 mm;CCCC

Plate load : **Carico statico 3.5kN/mq**
 Modified : Mon Dec 04 11:47:33 2006

Laminate engineering constants

Laminate : **Lastra monolitica costolata**
 Modified : Fri Dec 08 10:27:53 2006

Lay-up : (0a/0b/90b)17 h = 20.06 mm

Ply
 a Mat Vetro E 300 infusione autoest.
 b UDR 475 vetro E infusione autoest.

Moduli (GPa)

In-plane	Flexural	Zero-curv.
E _x = 12.21	E ^f _x = 12.19	E ⁿ (k=0) _x = 12.21
E _y = 12.20	E ^f _y = 12.21	E ⁿ (k=0) _y = 12.21
G _{xy} = 2.14	G ^f _{xy} = 2.14	G ⁿ (k=0) _{xy} = 2.14

Out-of-plane shear (incl. shear distr. correction)

G_{zx} = 1.78
 G_{yz} = 1.78

Poisson's ratios

In-plane	Flexural	Zero-curv.
nu _{xy} = 0.0863	nu ^f _{xy} = 0.0862	nu ⁿ (k=0) _{xy} = 0.0863
nu _{yx} = 0.0862	nu ^f _{yx} = 0.0864	nu ⁿ (k=0) _{yx} = 0.0863

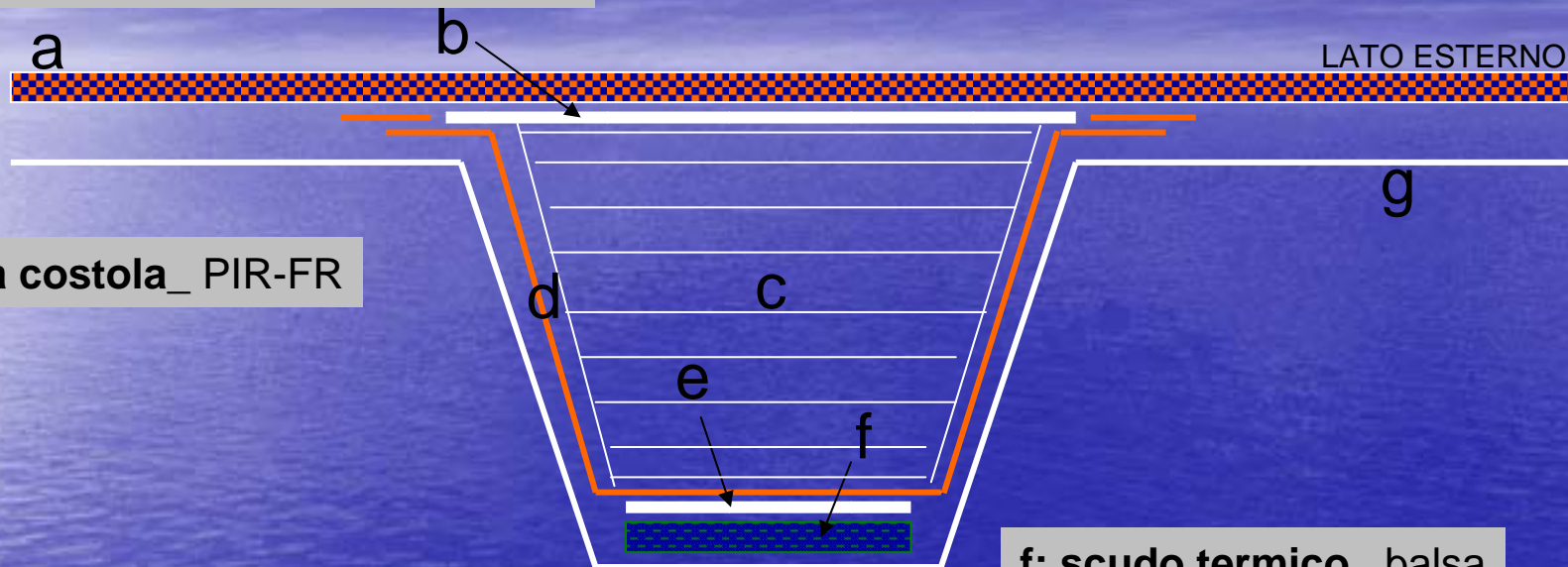
Lekhnitskii's coefficients

In-plane	Flexural	Zero-curv.
eta _{xy,x} = 0	eta ^f _{xy,x} = 0	eta ⁿ (k=0) _{xy,x} = 0
eta _{xy,y} = 0	eta ^f _{xy,y} = 0	eta ⁿ (k=0) _{xy,y} = 0
eta _{x,xy} = 0	eta ^f _{x,xy} = 0	eta ⁿ (k=0) _{x,xy} = 0
eta _{y,xy} = 0	eta ^f _{y,xy} = 0	eta ⁿ (k=0) _{y,xy} = 0

COSTRUZIONE PONTE MONOLITICO

a: fasciame monolitico_lamine biax 0/90 vetro infuso, matrice ibrida VE-U

b: piattabanda inferiore_ UD carbonio



c: anima costola_ PIR-FR

d: laminato costola_ ibrido v/c infuso

e: piattabanda superiore_ UD carbonio

f: scudo termico_ balsa

g: strato sacrificale_ vetro, grafiteE, allumina

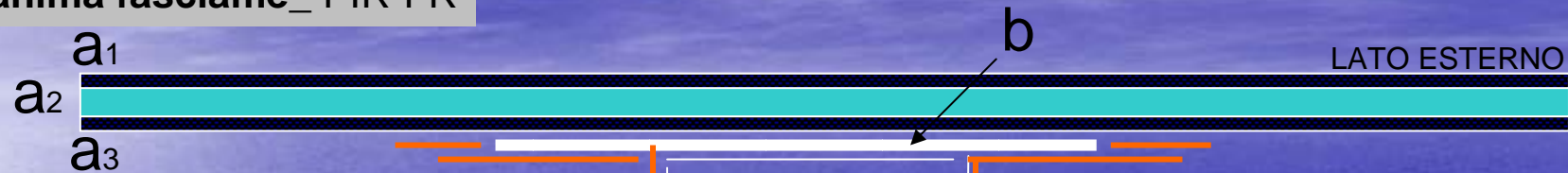
DIMENSIONI : 3,4 x 3,4 m

PESO: 36 Kg/m²

COSTRUZIONE PONTE SANDWICH

a1: pelle es. fasciame_ lamine biax 0/90 carbonio infuso, matrice ibrida VE-U

a2: anima fasciame_ PIR-FR



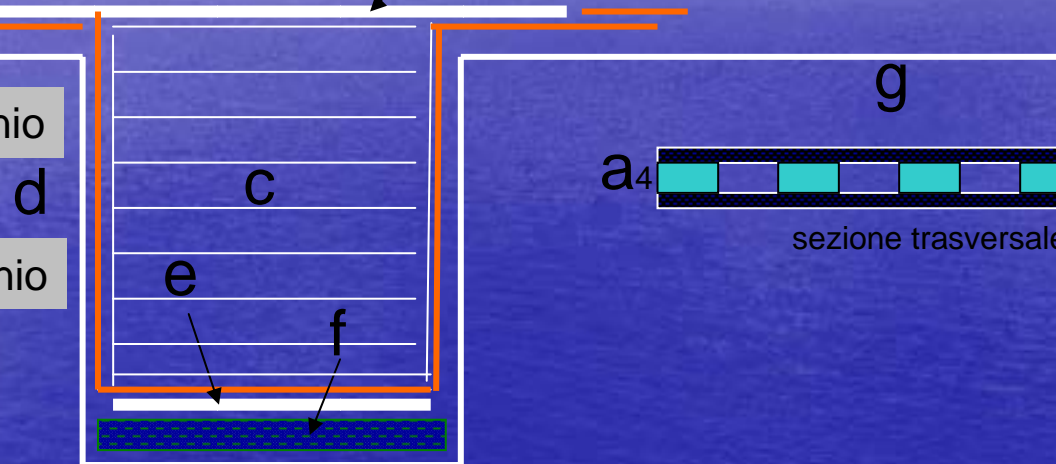
a3: pelle in. fasciame_ 1 strato carbonio

b: piattabanda inferiore_ UD carbonio

c: anima costola_ PIR-FR

d: laminato costola_ ibrido v/c infuso

e: piattabanda superiore_ UD carbonio



a4: costole fasciame_ 1 lam. carbonio

f: scudo termico_ balsa

g: strato sacrificale_ vetro, grafiteE, allumina

DIMENSIONI: 3,4 x 3,4 m

PESO: 9 Kg/m²

PROVE E MISURE _ 1

su LAMINE e LAMINATI

FASE INIZIALE: DECOMPOSIZIONE DEL MATERIALE

- *Indice di Temperatura (ISO 4589-3); minima Temperatura dell' aria necessaria a supportare la combustione del laminato (al 21% di Ossigeno)*
- *Indice di Ossigeno (ISO 4589-2); minima concentrazione di Ossigeno necessaria a supportare la combustione del laminato (a T ambiente)*
- *Emissione di Fumi @ 25 kW/m² (ISO 5659-2); evoluzione della densita' dei fumi emessi nei primi 20 minuti di esposizione senza fiamma pilota*
- *Tossicita' Fumi Emessi @ 350 °C (NFX70-100-1); evoluzione delle concentrazioni di gas tossici e corrosivi emessi insieme ai fumi*
- *Calore Emesso HRR @ 35 kW/m² (ISO 5660-1); sviluppo di calore di combustione nei primi 30 minuti di esposizione*

PROVE E MISURE _ 2a

su LAMINE e LAMINATI

FASE INTERMEDIA: SVILUPPO DEL FUOCO

- *Propagazione Superficiale della Fiamma (ISO 5658-2); velocità di propagazione della fiamma lungo la superficie del materiale per esposizione @ 50 kW/m²*
- *Emissione di Fumi @ 25 kW/m² (ISO 5659-2); evoluzione della densità dei fumi emessi nei primi 20 minuti di esposizione con fiamma pilota*
- *Calore Emesso HRR @ 50 kW/m² (ISO 5660-1); sviluppo di calore di combustione nei primi 30 minuti di esposizione*

PROVE E MISURE _ 2b

su LAMINE e LAMINATI

FASE INTERMEDIA: SVILUPPO DEL FUOCO

- *Ritenzione del Modulo Elastico @ 60°C, 90°C, 120 °C (ASTMD790)
evoluzione della perdita di rigidità del laminato con la temperatura*
- *Ritenzione del Carico a Rottura @ 60°C, 90°C, 120 °C (ASTMD790)
evoluzione della perdita di resistenza del laminato con la temperatura*

PROVE E MISURE _ 3

su LAMINE e LAMINATI

FASE FINALE: INCENDIO

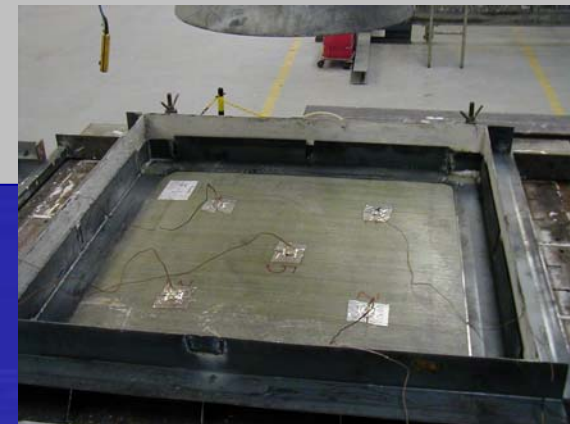
- *Emissione di Fumi @ 50 kW/m² (ISO 5659-2); evoluzione della densita' dei fumi emessi nei primi 20 minuti di esposizione senza fiamma pilota*
- *Tossicita' Fumi Emessi @ 800 °C (NFX70-100-1); evoluzione delle concentrazioni di gas tossici e corrosivi emessi insieme ai fumi*
- *Calore Emesso HRR @ 75 kW/m² (ISO 5660-1); sviluppo di calore di combustione nei primi 30 minuti di esposizione*

PROVE E MISURE _ 4

su STRUTTURE in SCALA RIDOTTA

FASE FINALE: INCENDIO

- *Reazione al Fuoco in scala ridotta SBI (Euroclasse-ISO 13823); calore sviluppato (THR), velocità di crescita dell' incendio (FIGRA), evoluzione del fronte di fiamma (LSF), quantità (TSP) di fumo emesso e sua velocità (SMOGRA) di emissione in 20 minuti di esposizione di pannello a "L" @ 30 kW*
- *Resistenza alla piccola fornace (IMO Res. A.754(18); IMO Res. MSC.45(65));*
Integrità e Isolamento offerto da pannelli 1200x1200 mm esposti al bruciatore (profilo termico ISO 834), senza carico statico imposto



PROVE E MISURE _ 5

su STRUTTURE in SCALA REALE

FASE FINALE: INCENDIO

- *Reazione al Fuoco Locale sottocoperta RCT (ISO 9705); andamento della potenza termica (con valutazione della propensione al flashover per $P > 1000$ kW) e dell' opacità dei fumi prodotta in 10 minuti di esposizione della stanza 2,5x2,5x3,6 m. @ 100 kW seguiti da ulteriori 10 minuti di esposizione @ 300 kW*
- *Resistenza alla fornace (IMO Res. A.754(18); IMO Res. MSC.45(65)); Stabilità, Integrità e Isolamento offerto da pannelli 3040x3040 mm esposti al bruciatore (profilo termico ISO 834), con carico statico imposto*



RISULTATI DI REAZIONE

incendio Locale Monolitico non coibentato

“Full Scale Room Test for Surface Products” [ISO 9705]

“Fire-restricting materials [IMO Res. MSC40(64)]”

LIVELLO DI ESPOSIZIONE: 10 minuti @ 100 KW + 10 minuti @ 300 KW

POTENZA MASSIMA SVILUPPATA: 156 KW

PROPENSIONE AL FLASHOVER: NO

AUTOESTINGUENZA: SI'

La combustione si estingue in coincidenza allo spegnimento del bruciatore

Assenza di braci dopo lo spegnimento del bruciatore

RISULTATI DI REAZIONE

incendio Locale Sandwich non coibentato

“Full Scale Room Test for Surface Products” [ISO 9705]

“Fire-restricting materials [IMO Res. MSC40(64)]”

LIVELLO DI ESPOSIZIONE: 10 minuti @ 100 KW + 2 minuti @ 300 KW

POTENZA MASSIMA SVILUPPATA: 558 KW

PROPENSIONE AL FLASHOVER: SI

AUTOESTINGUENZA: NO

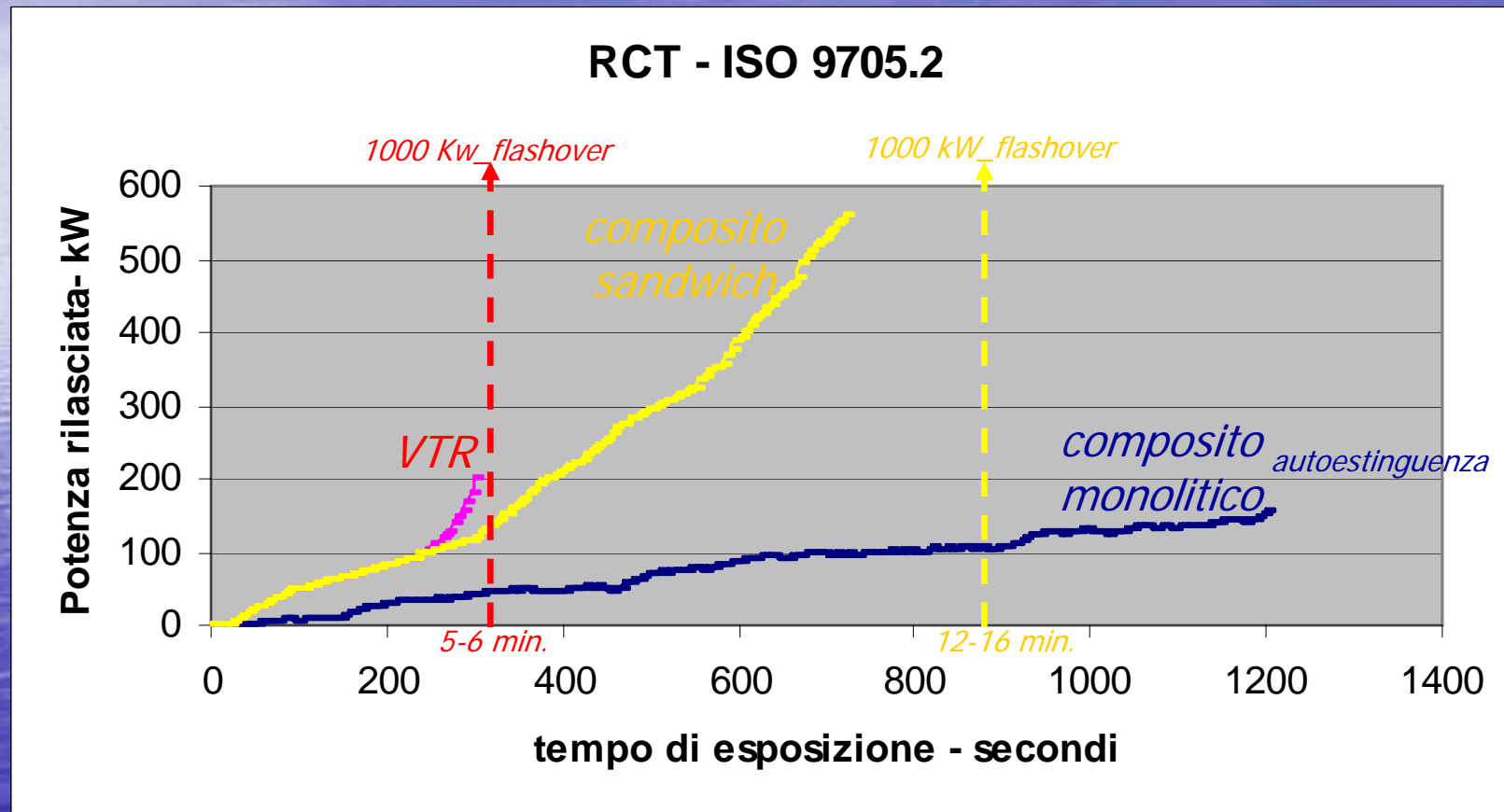
*La combustione **continua** dopo lo spegnimento del bruciatore*

*Presenza di **braci** dopo lo spegnimento del bruciatore*

*Necessario l' intervento dell' **estintore***

REAZIONI DEL COMPOSITO A CONFRONTO

Full Scale Room Corner Test



REAZIONI DEL COMPOSITO A CONFRONTO

LAMINATI MONOLITICI – migliori risultati ottenuti

Comportamento	VTR	COMPOSITO
ACCENDIBILITA' Innesco (@ 50kW/m ²) Indice di Ossigeno Indice di Temperatura	5 secondi 22 % 23 °C	nullo a 30 minuti 99 % 300 °C
PROPAGAZIONE DI FIAMMA	20 cm/minuto	nulla
SVILUPPO CALORE (@ 50kW/m ²) Calore Totale Emesso_THR Flusso Termico_HRR	75 MJ/m ² 290 kW/m ²	0 MJ/m ² 0 kW/m ²
SVILUPPO FUMI (@ 50kW/m ²) Indice VOF4 Indice Tossicita' Densita' massima _D _{max}	3554 7,8 1320	8,9 1,5 106
AUTOESTINGUENZA	NO <i>flashover</i> in 5-6 minuti	SI

RISULTATI DI RESISTENZA

incendio Ponte Monolitico non coibentato

“Load bearing Fire-resisting deck” [IMORes. MSC.45(65)]

LIVELLO DI ESPOSIZIONE (durata): 64 MINUTI

(temperatura fornace: 945°C @ 60 minuti)

➤ **STABILITA' STRUTTURALE**

soddisfatta

freccia iniziale @ 25°C: 5 mm

deformazione nulla fino @ 750°C (20')

deformazione massima @ 65': 75 mm

velocita' deformazione massima: 3,4 mm/min

➤ **INTEGRITA'**

soddisfatta

➤ **ISOLAMENTO TERMICO**

temperatura **media** raggiunta sul lato non esposto: + 140°C @ 64 minuti

temperatura massima raggiunta lato non esposto: + 180°C

RISULTATI DI RESISTENZA

incendio Ponte Sandwich non coibentato

“Load bearing Fire-resisting deck” [IMORes. MSC.45(65)]

LIVELLO DI ESPOSIZIONE (durata): 55 MINUTI
(temperatura fornace: 945°C @ 55 minuti)

➤ **STABILITA' STRUTTURALE**

soddisfatta

freccia iniziale @ 25°C: 4 mm
deformazione nulla fino @ 680°C (10')
deformazione massima @ 55': 93 mm
velocita' deformazione massima: 4,1 mm/min

➤ **INTEGRITA'**

soddisfatta

➤ **ISOLAMENTO TERMICO**

temperatura **media** raggiunta sul lato non esposto: + 140°C @ 55 minuti
temperatura massima raggiunta lato non esposto: + 180°C

CONCLUSIONI

- **IMPOSTATO E VALIDATO**

UN PERCORSO PROGETTUALE/SPERIMENTALE PER IL DIMENSIONAMENTO E LA COSTRUZIONE DI COMPONENTI STRUTTURALI IN COMPOSITO INTRINSECAMENTE RESISTENTE AL FUOCO

- **LA RICERCA FORNISCE AGLI INTERESSATI**

UN CONTRIBUTO IN TERMINI DI CHIAREZZA SUGLI ATTUALI E REALI LIMITI PRESTAZIONALI DEL COMPOSITO ESPOSTO AL FUOCO

- **SI E' DIMOSTRATO CHE**

IMPORTANTI PARTI STRUTTURALI - UN PONTE, UNA PARATIA PRINCIPALE, UN INTERO LOCALE - REALIZZATI IN COMPOSITO POSSONO RESISTERE AL FUOCO SENZA COLLASSARE, SENZA DAR LUOGO AD ESPLOSIONI, SENZA PROPAGARE L' INCENDIO A BORDO DELL' UNITA' NAVALE PER TEMPI UTILI FINO AD OGGI RITENUTI IRRAGGIUNGIBILI DA UN MATERIALE COMBUSTIBILE

- **UN COMPOSITO ADEGUATAMENTE PROGETTATO E COSTRUITO**

PUO' ESSERE CONSIDERATO A TUTTI GLI EFFETTI UN VALIDO MATERIALE STRUTTURALE ALTERNATIVO AL METALLO, ANCHE (E SOPRATTUTTO) IN CASO DI INCENDIO

RINGRAZIAMENTI

SEGREDIFESA (MMI): finanziamento del progetto

INTERMARINE (IMSPA): realizzazione dei manufatti

Ing. M. Collorafi (IMSPA): project management

Ing. A. Cozzolino (IMSPA): assistenza alla costruzione

Olivari Composites: calcolo/verifica laminati e strutture

LA.P.I.: prove e misure

AI PRESENTI: grazie per l' attenzione !

info@ingegneriavetroresina.it