

LA ROBUSTEZZA STRUTTURALE NEI CONFRONTI DELLE AZIONI ACCIDENTALI

Franco Bontempi, Chiara Crosti, Luisa Giuliani

Facoltà di Ingegneria,

Università degli Studi di Roma “La Sapienza”

Via Eudossiana 18 – 00184 ROMA

franco.bontempi@uniroma1.it - chiara.crosti@uniroma1.it - luisa.giuliani@uniroma1.it

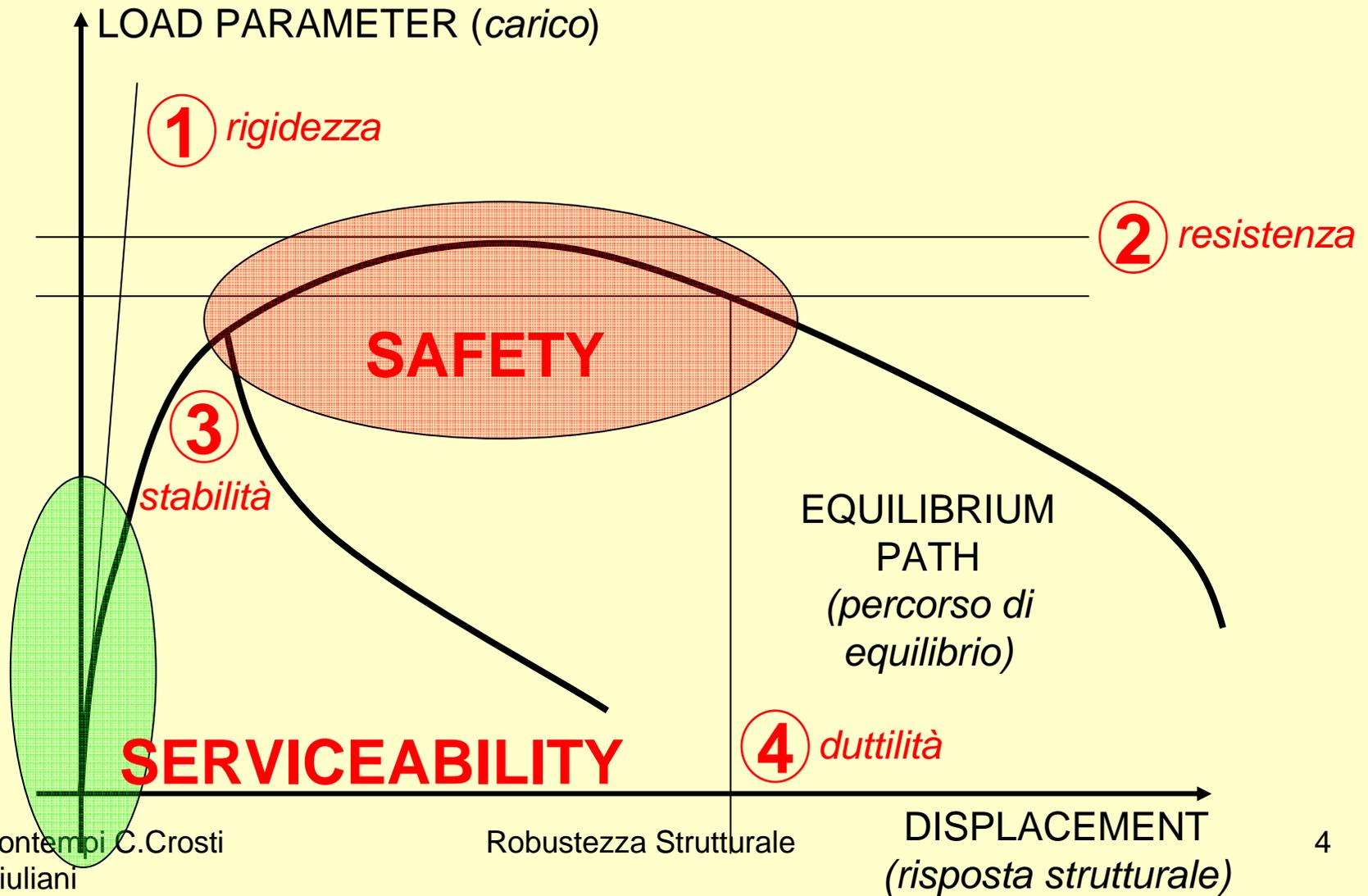
INDICE

- Parte I: definizioni e considerazioni generali;
- Parte II: applicazione ad un edificio alto con valutazioni numeriche;
- Parte III: analisi di un caso di struttura reale soggetta ad incendio e considerazioni di tipo progettuale.

Parte I: DEFINIZIONI

- Qualità strutturali,
- Robustezza strutturale,
- Situazioni HPLC vs. LPHC
- Approcci
- Livelli di crisi

Qualità strutturali (1)



Qualità strutturali (2)

- qualità legate alla funzionalità (serviceability):
 - 1) Rigidezza (limitata deformabilità);
- qualità legate alla sicurezza (safety):
 - 2) Resistenza (adeguata capacità portante);
 - 3) Stabilità (capacità di non allontanarsi troppo dalla configurazione di equilibrio nominale);
 - 4) Duttilità (capacità di mantenere adeguata capacità portante fino ad una certa deformazione – ovvero, capacità di assorbire energia);
- **QUESTE QUALITA' SONO VALUTATE SULLA STRUTTURA, CON LE SUE IMPERFEZIONI, NEL SUO STATO INTEGRO**

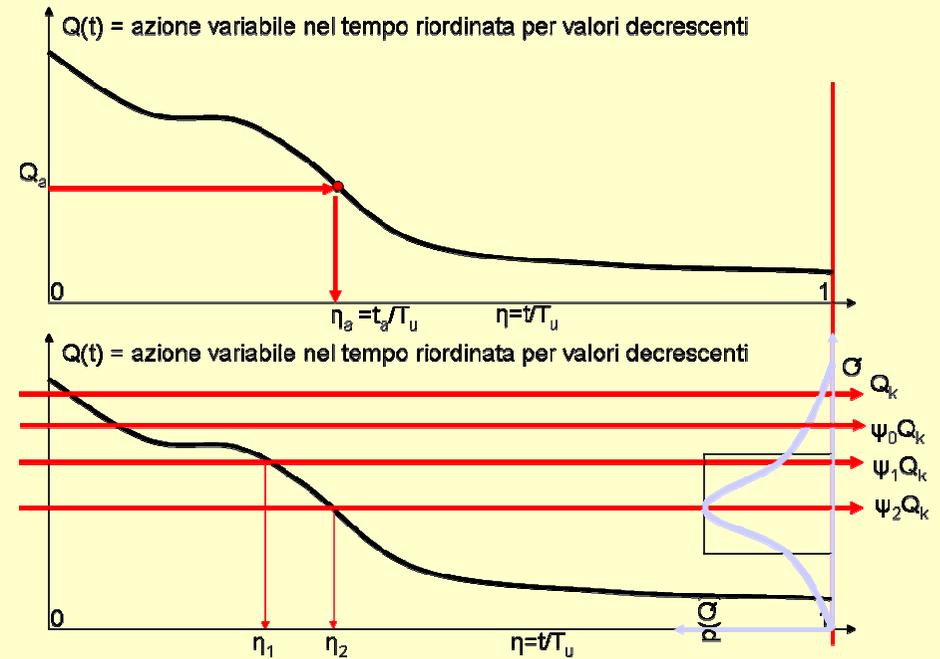
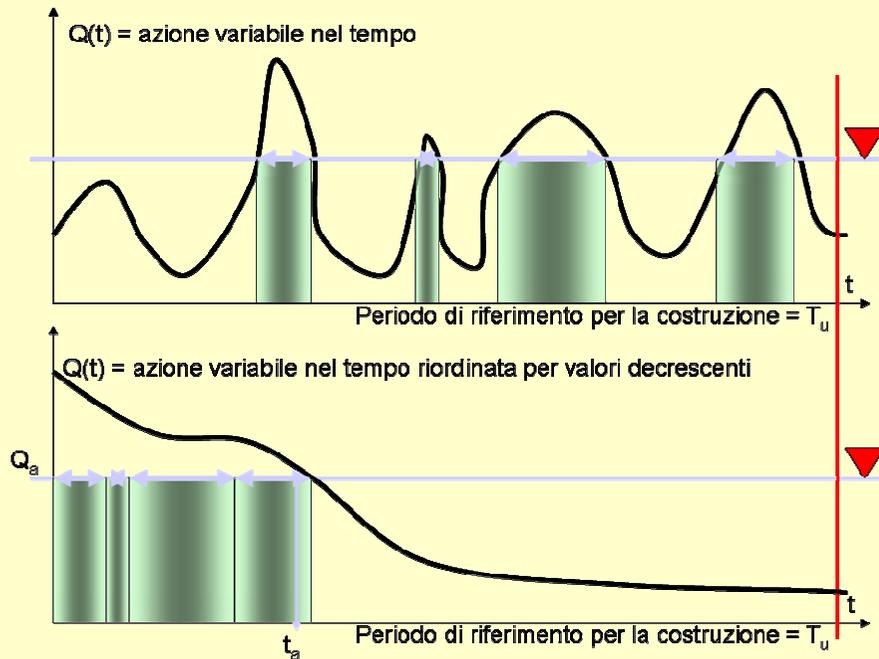
Robustezza strutturale (1)

- **SI CONSIDERA ORA COME LE QUALITA' STRUTTURALI, IN PARTICOLARE QUELLE RELATIVE ALLA SICUREZZA, CAMBIANO QUANDO LA STRUTTURA NON E' PIU' INTEGRA, OVVERO E' DANNEGGIATA:**
- **UNA STRUTTURA E' ROBUSTA SE MOSTRA UN DEGRADO REGOLARE DELLE QUALITA' (... RESISTENZA) CON L'ENTITA' DEL DANNEGGIAMENTO CHE SUBISCE.**

Robustezza strutturale (2)

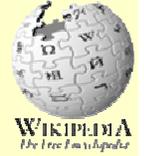
- Implica regolarità:
 - A piccoli danneggiamenti, conseguono piccoli decrementi di qualità;
 - A grandi danneggiamenti, conseguono grandi decrementi di qualità;
- In altri termini, deve corrispondere un
 - Effetto (perdita di qualità)
proporzionato alla
 - Causa (danneggiamento)

Situazioni HPLC



High **Probability **L**ow **C**onsequences**

Situazioni LPHC: Air France Flight 4590



F.Bontempi C.Crosti
L.Giuliani

Robustezza Strutturale

Low Probability High Consequences

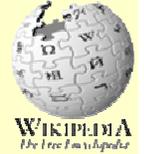
Situazioni LPHC: Ronan Point



F.Bontempi C.Crosti
L.Giuliani

Low Probability High Consequences Robustezza Strutturale

Situazioni LPHC: I-35W Mississippi River Bridge

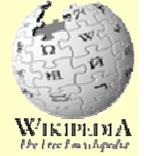


F.Bontempi C.Crosti
L.Giuliani

Robustezza Strutturale

Low Probability High Consequences

Situazioni LPHC: WT 9/11



F.Bontempi C.Crosti
L.Giuliani

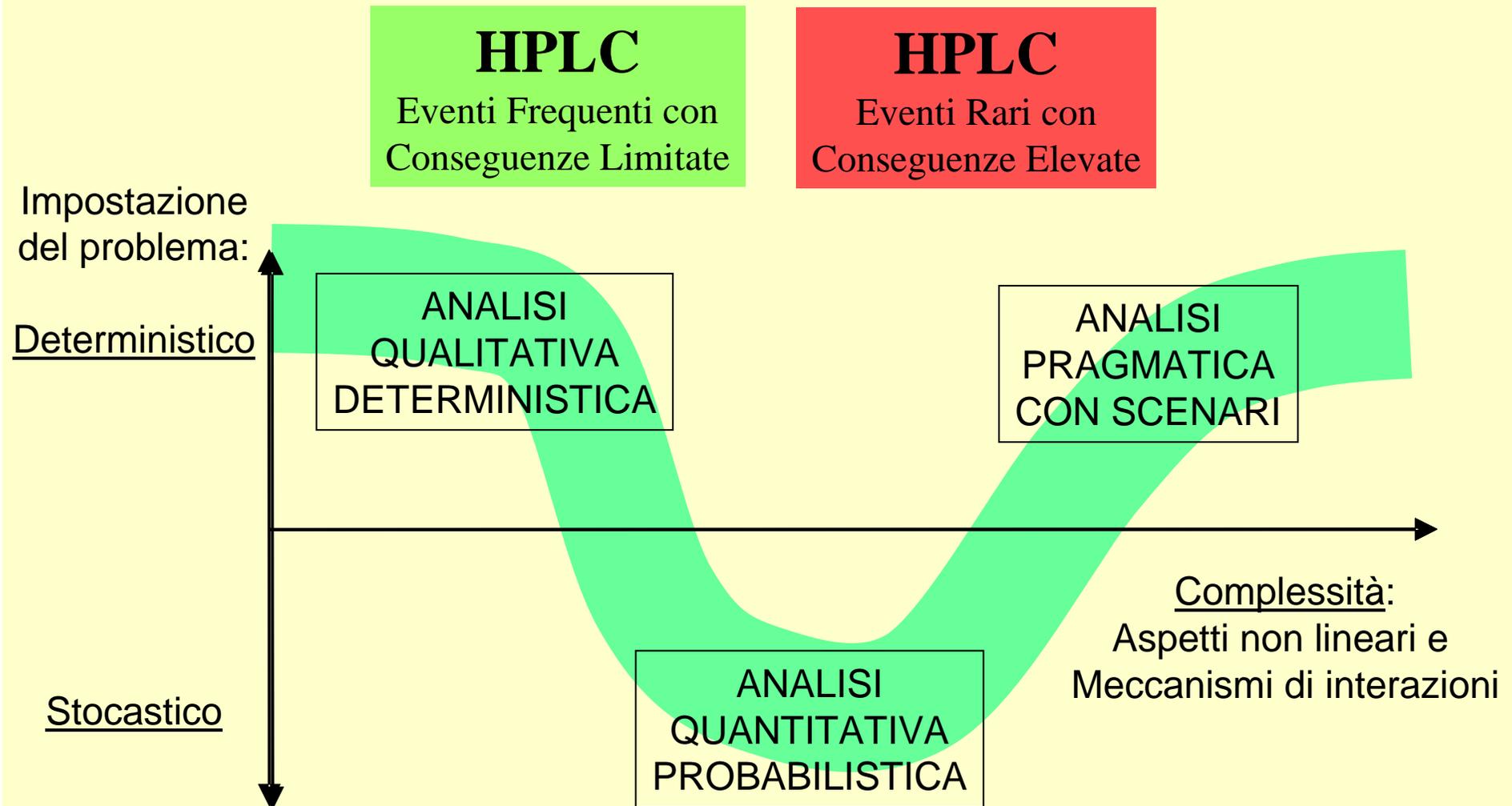
Low Probability High Consequences

Robustezza Strutturale

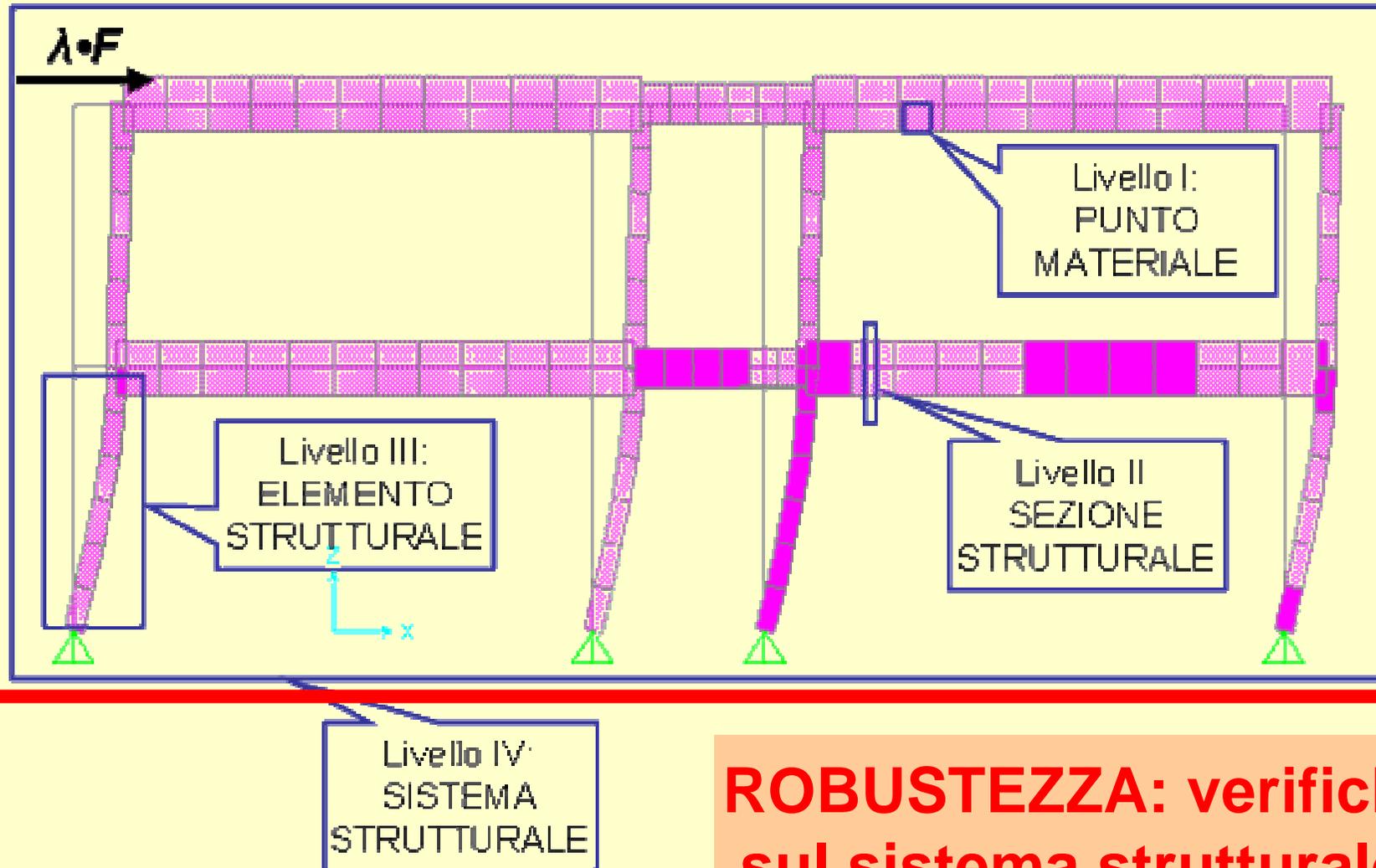
Situazioni HPLC vs LPHC

- Le situazioni HPLC sono generalmente associati a basse quantità di energia, a deboli rotture e coinvolgono poche persone.
- Le situazioni LPHC sono generalmente associati a grandi rilasci di energia, a ampie rotture e coinvolgono numerose persone.

Approcci di analisi



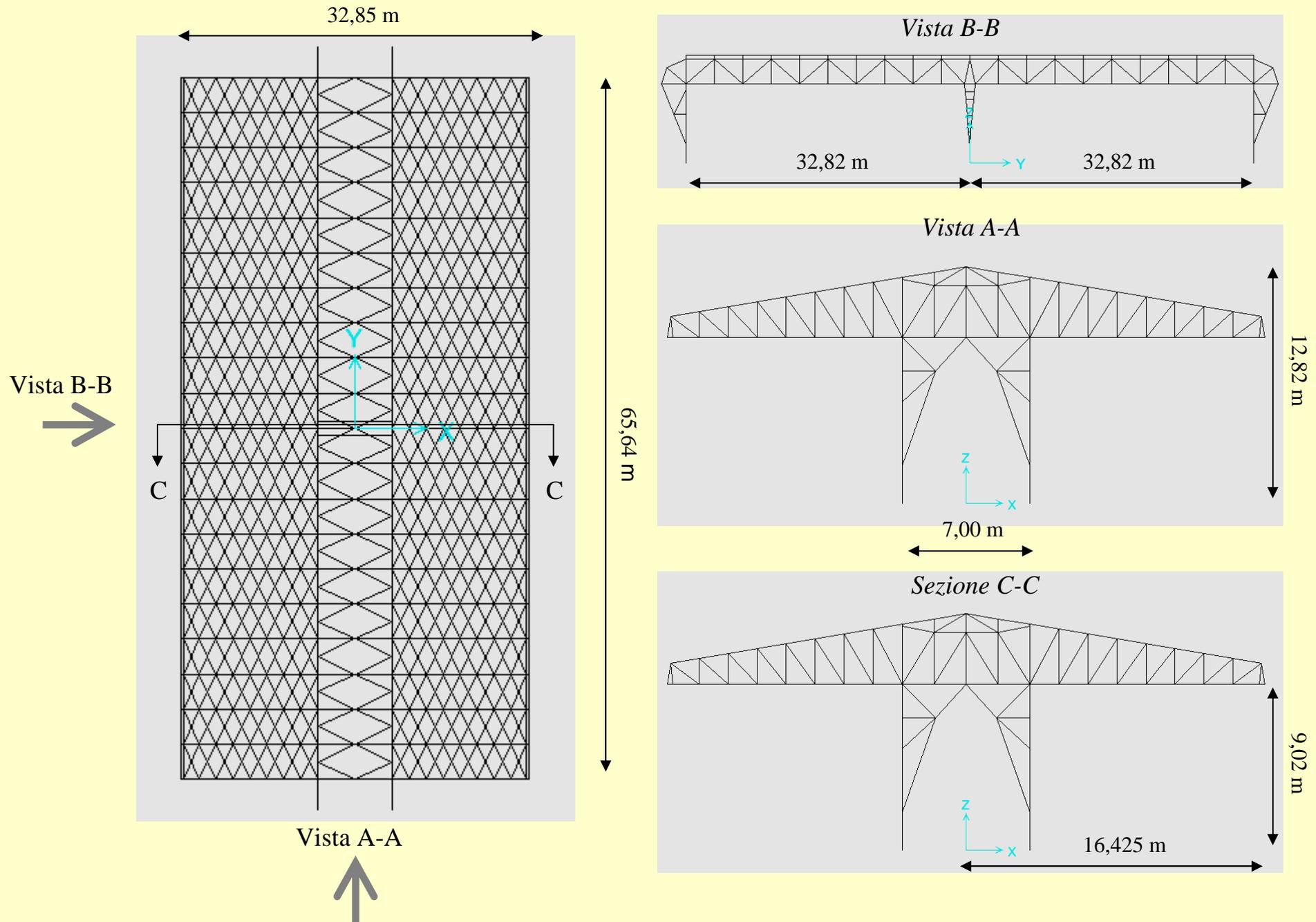
Livelli di crisi: parti vs. sistema



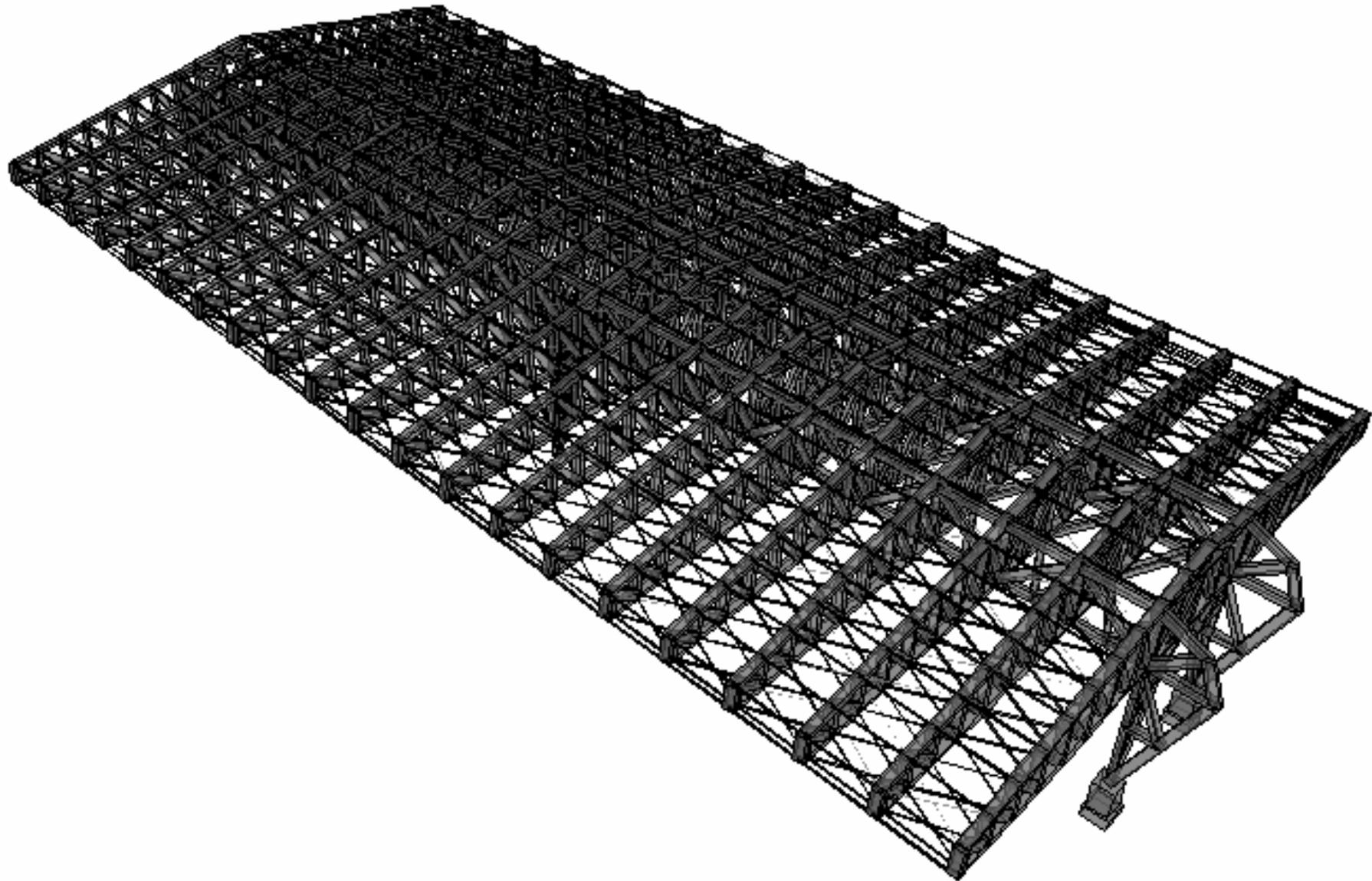
**SLE / SLU: verifiche
sulle parti strutturali!**

**ROBUSTEZZA: verifiche
sul sistema strutturale!**

ESEMPIO

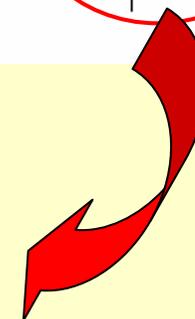
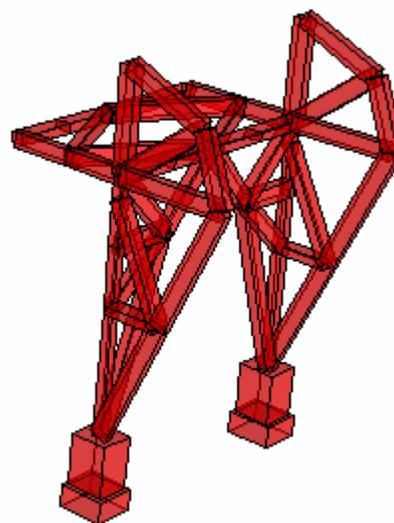
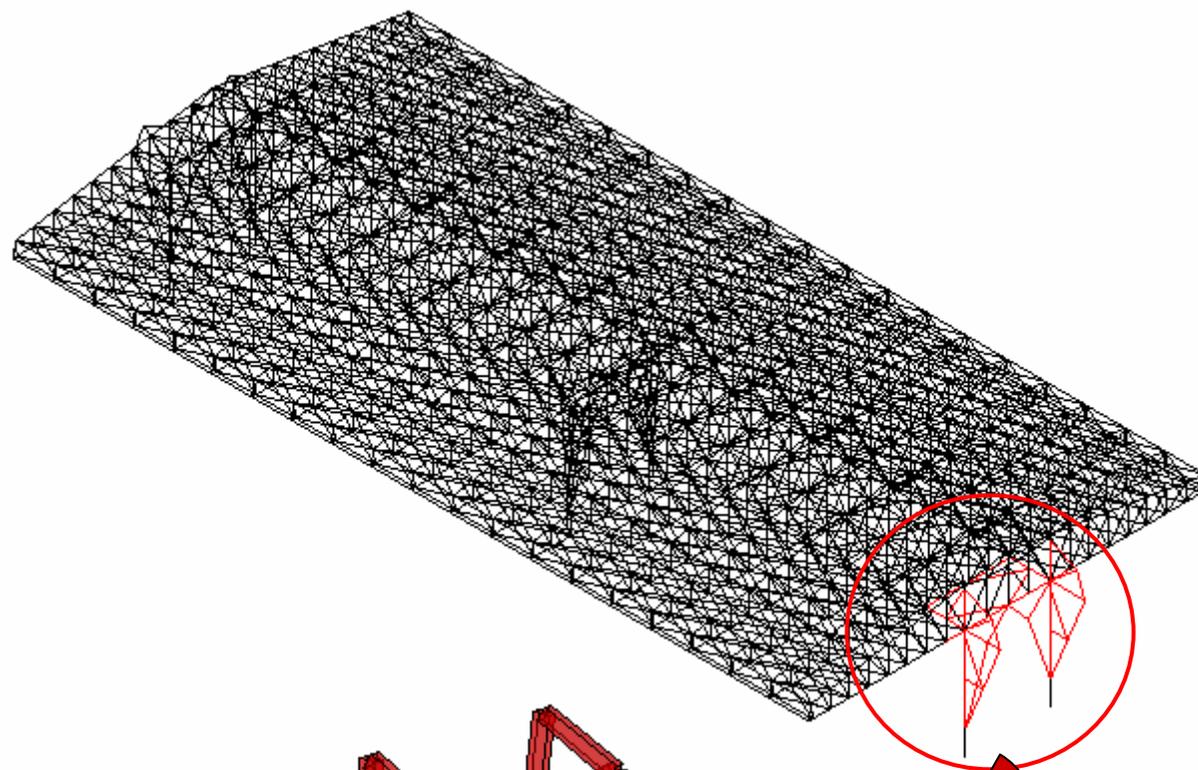
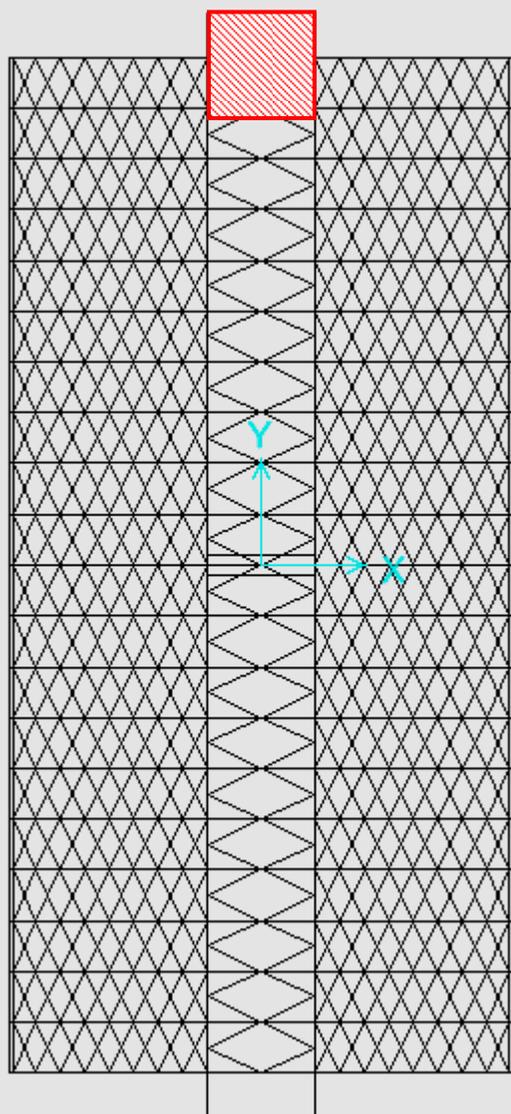


MODELLAZIONE 3D IN CAMPO NON LINEARE



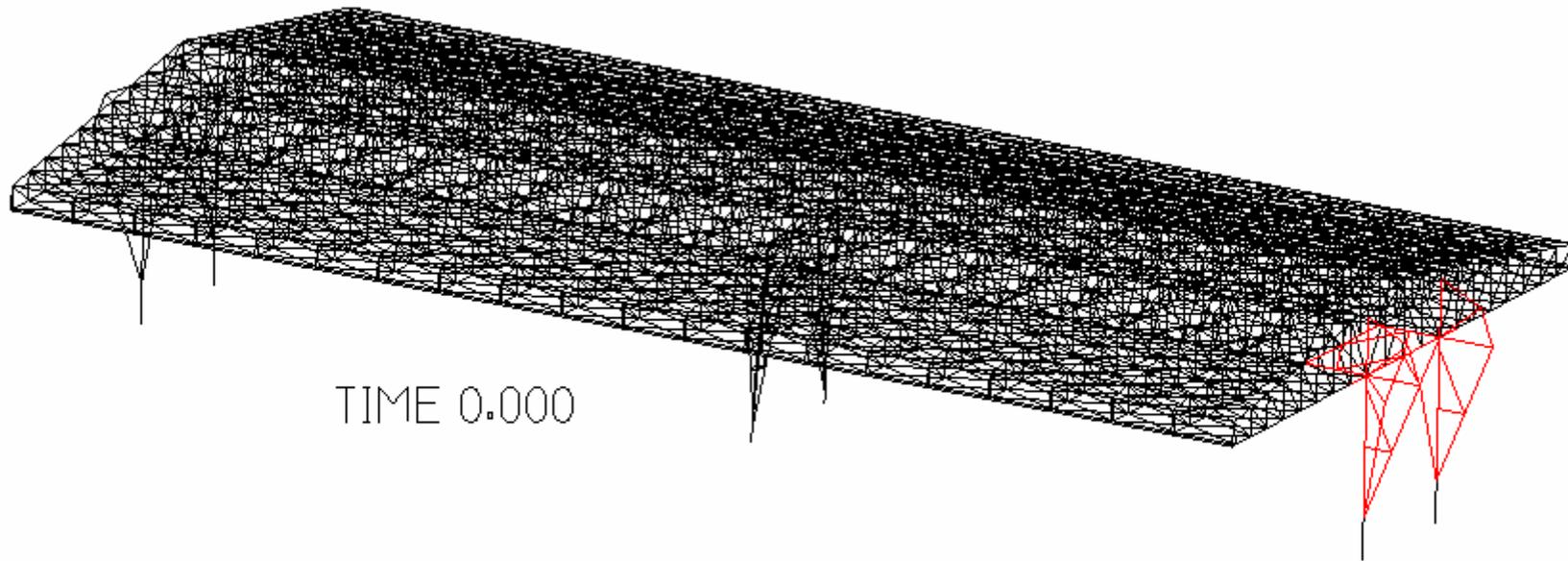
SCENARIO DI INCENDIO

3° Scenario



SCENARIO 3:

A
D
I
N
A

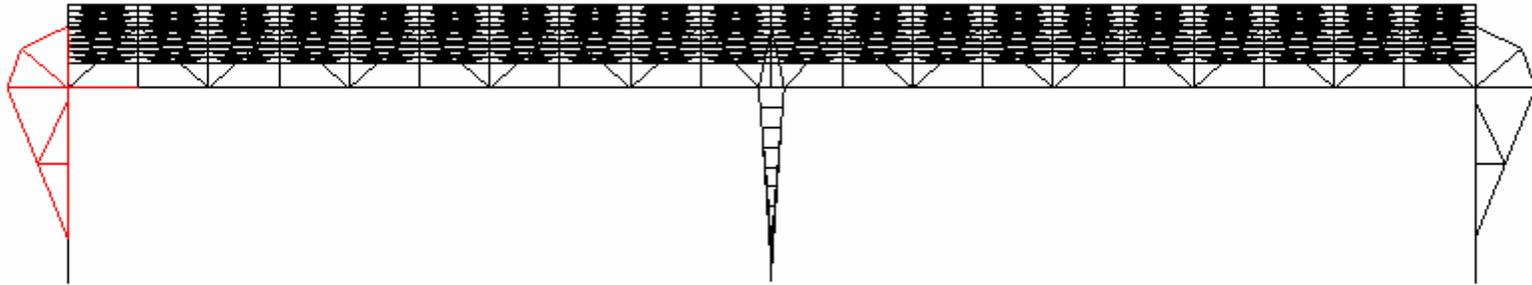


SCENARIO 3:

**A
D
I
N
A**



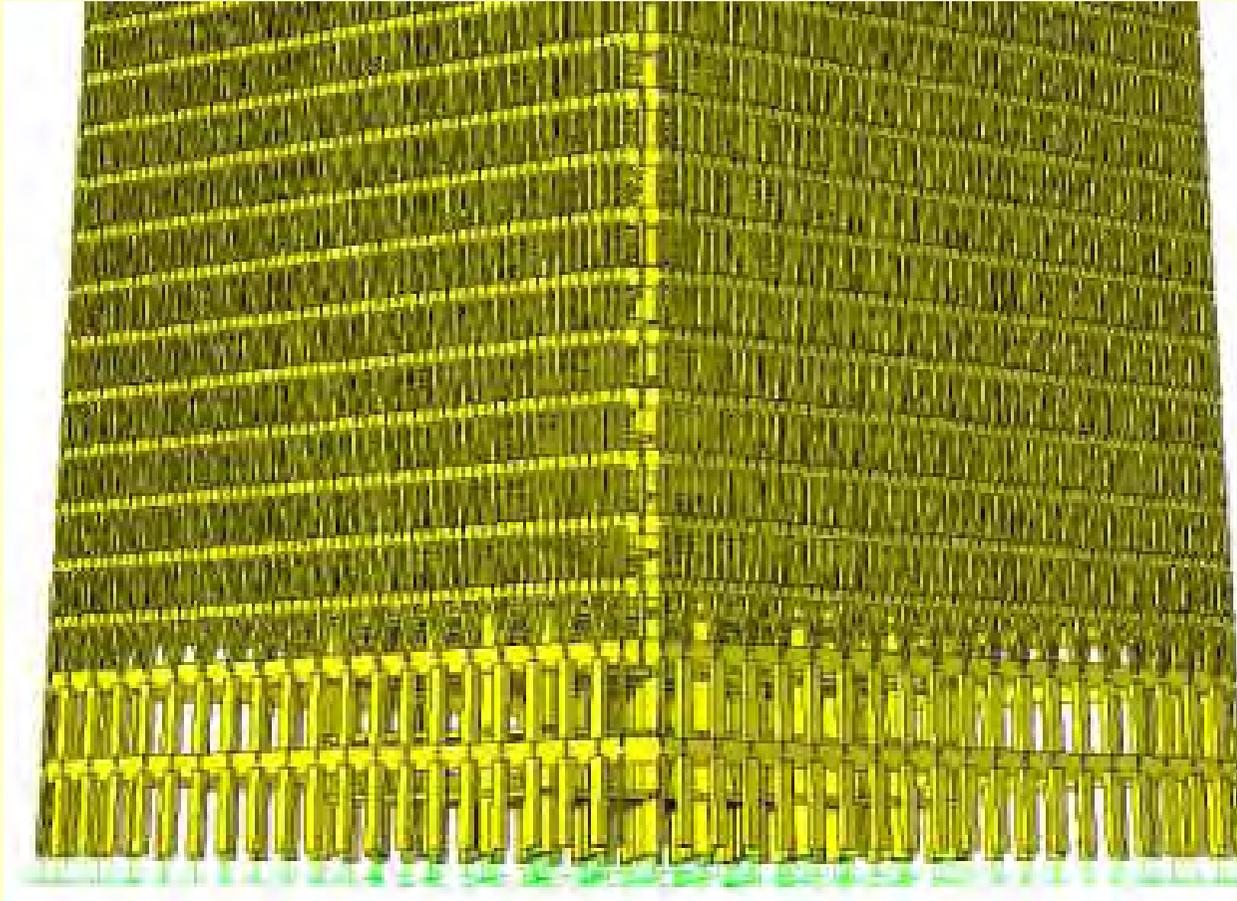
TIME 0.000



Parte II: APPLICAZIONE

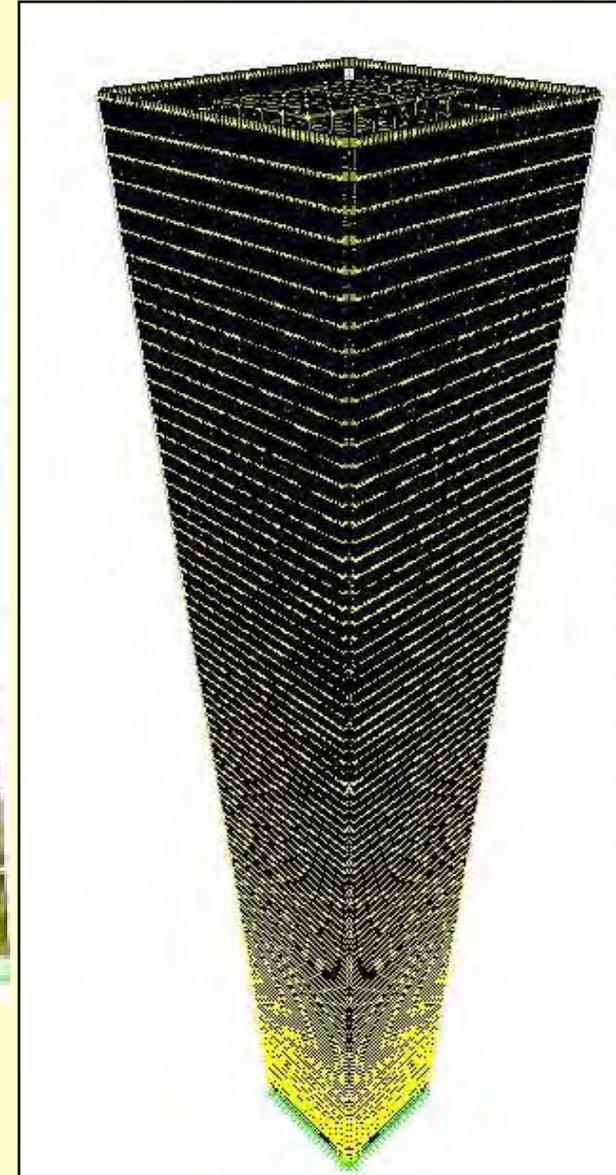
- Analisi di un edificio alto
- Scenari di danno
- Valutazioni quantitative

Edificio alto

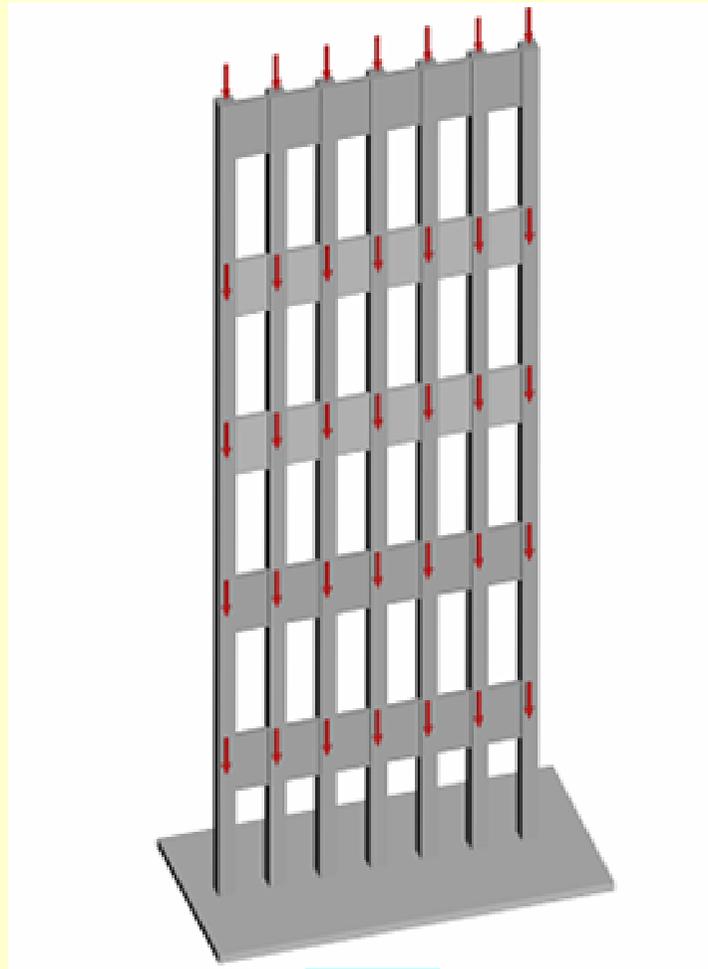


F.Bontempi C.Crosti
L.Giuliani

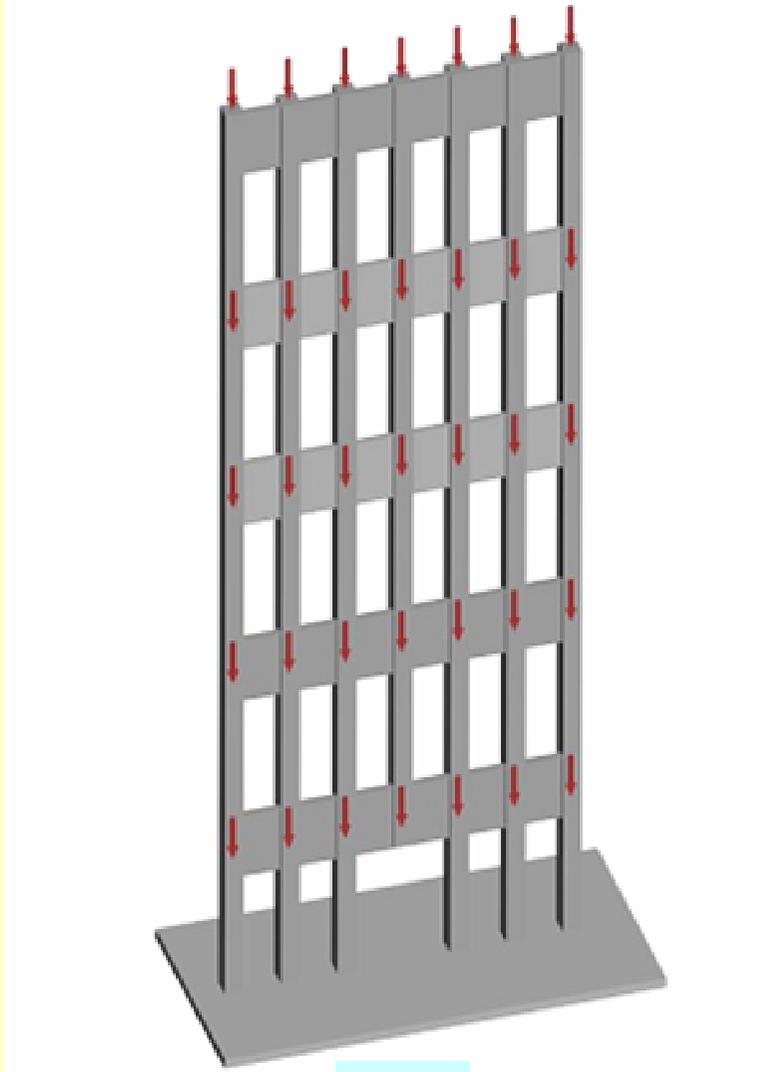
Robustezza Strutturale



Analisi di un componente tipico



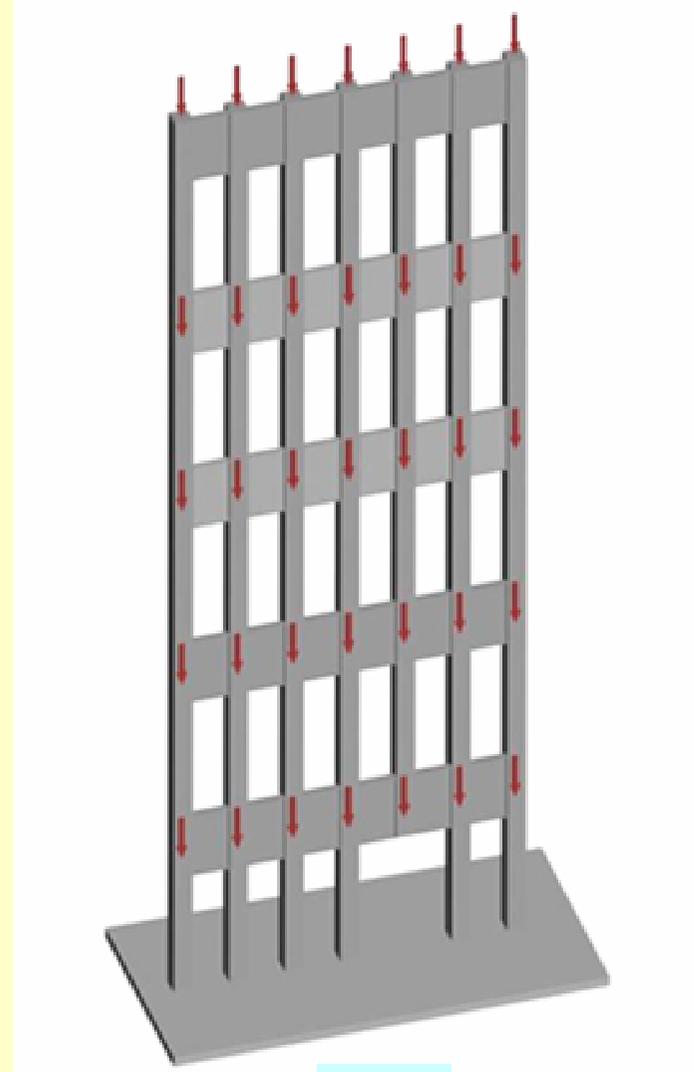
Scenari (1-2)



F.Bontempi C.Crosti
L.Giuliani

D1

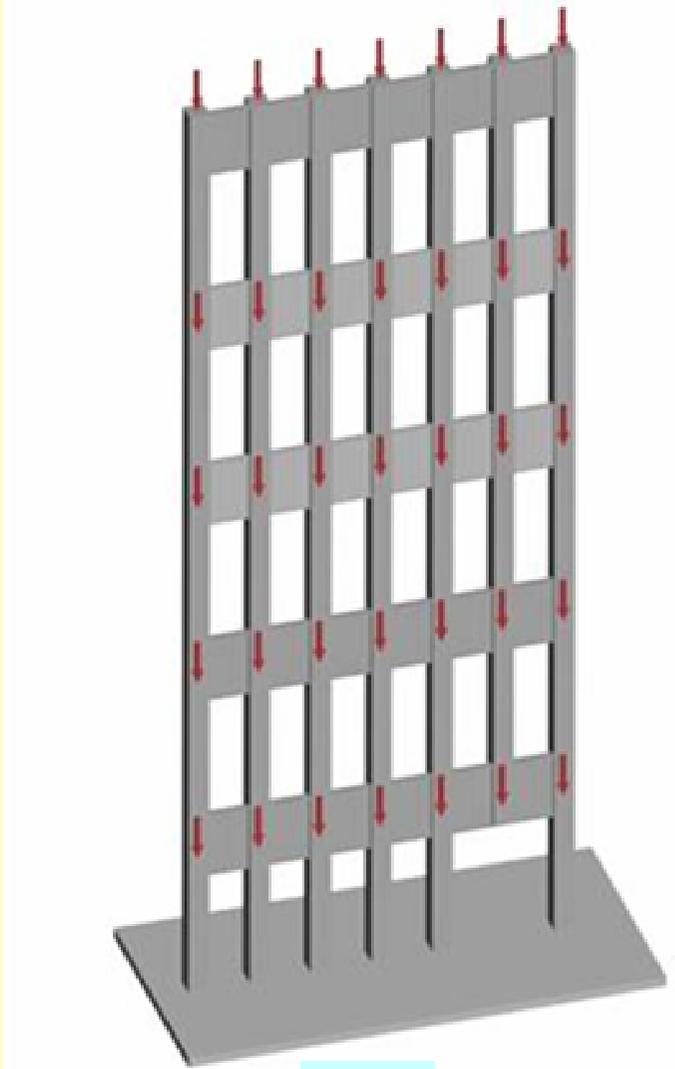
Robustezza Strutturale



D2

24

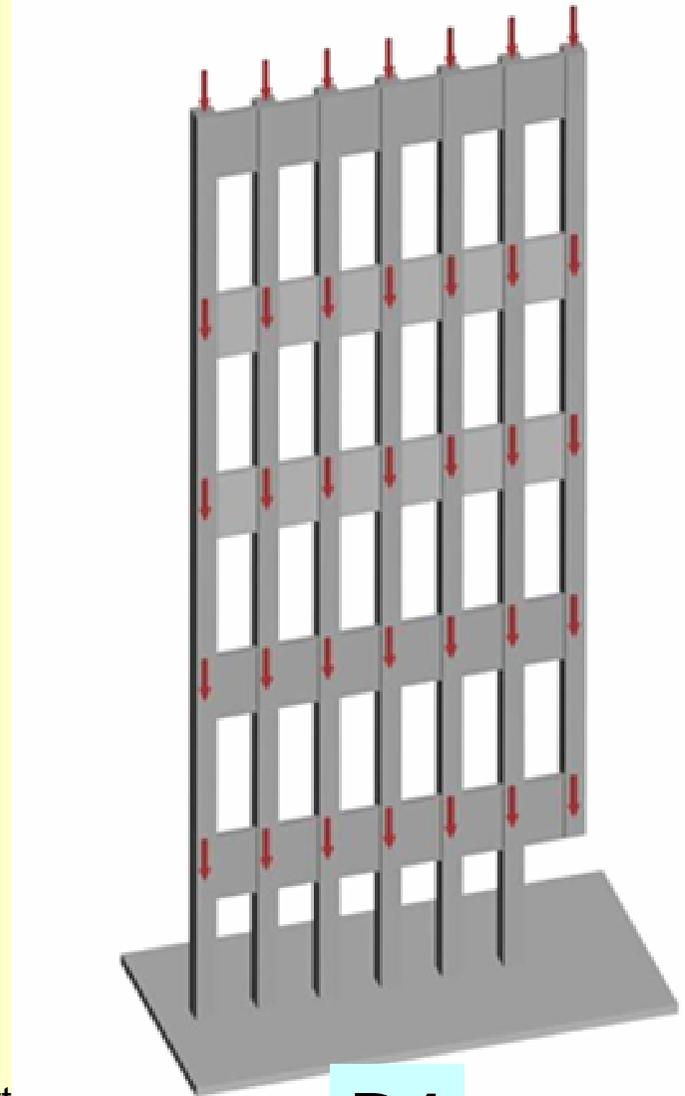
Scenari (3-4)



F.Bontempi C.Crosti
L.Giuliani

D3

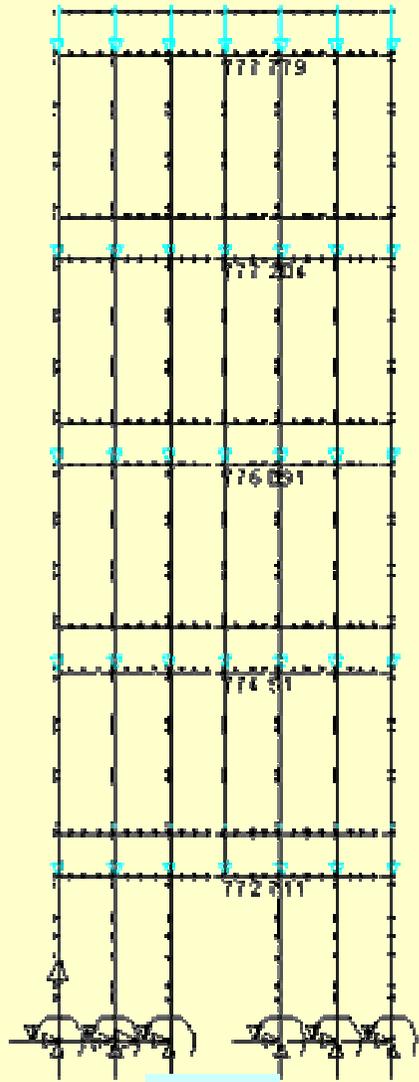
Robustezza Strutturale



D4

25

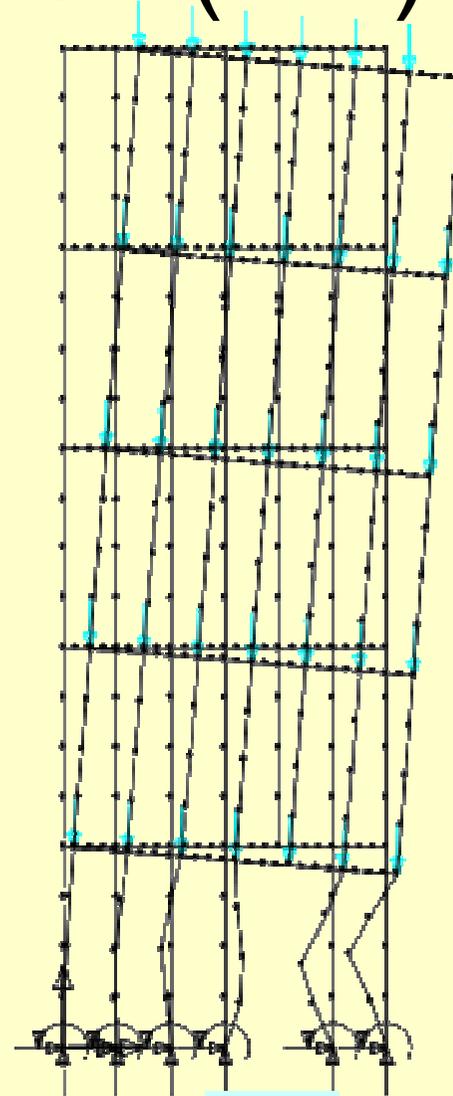
Modalità di collasso (1-2)



F.Bontempi C.Crosti
L.Giuliani

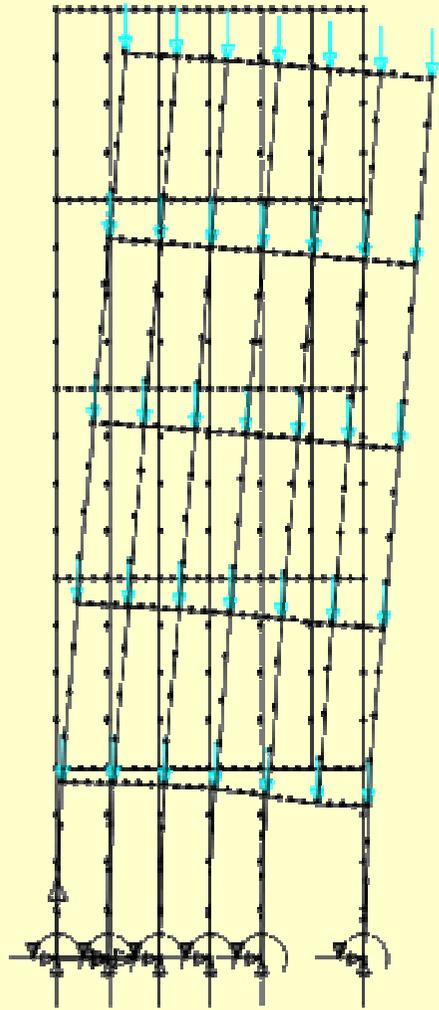
D1

Robustezza Strutturale



D2

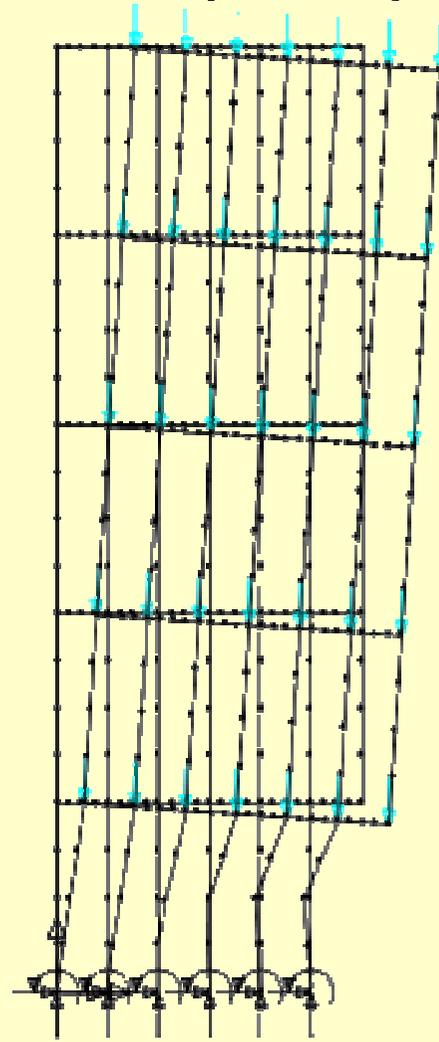
Modalità di collasso (3-4)



F.Bontempi C.Crosti
L.Giuliani

D3

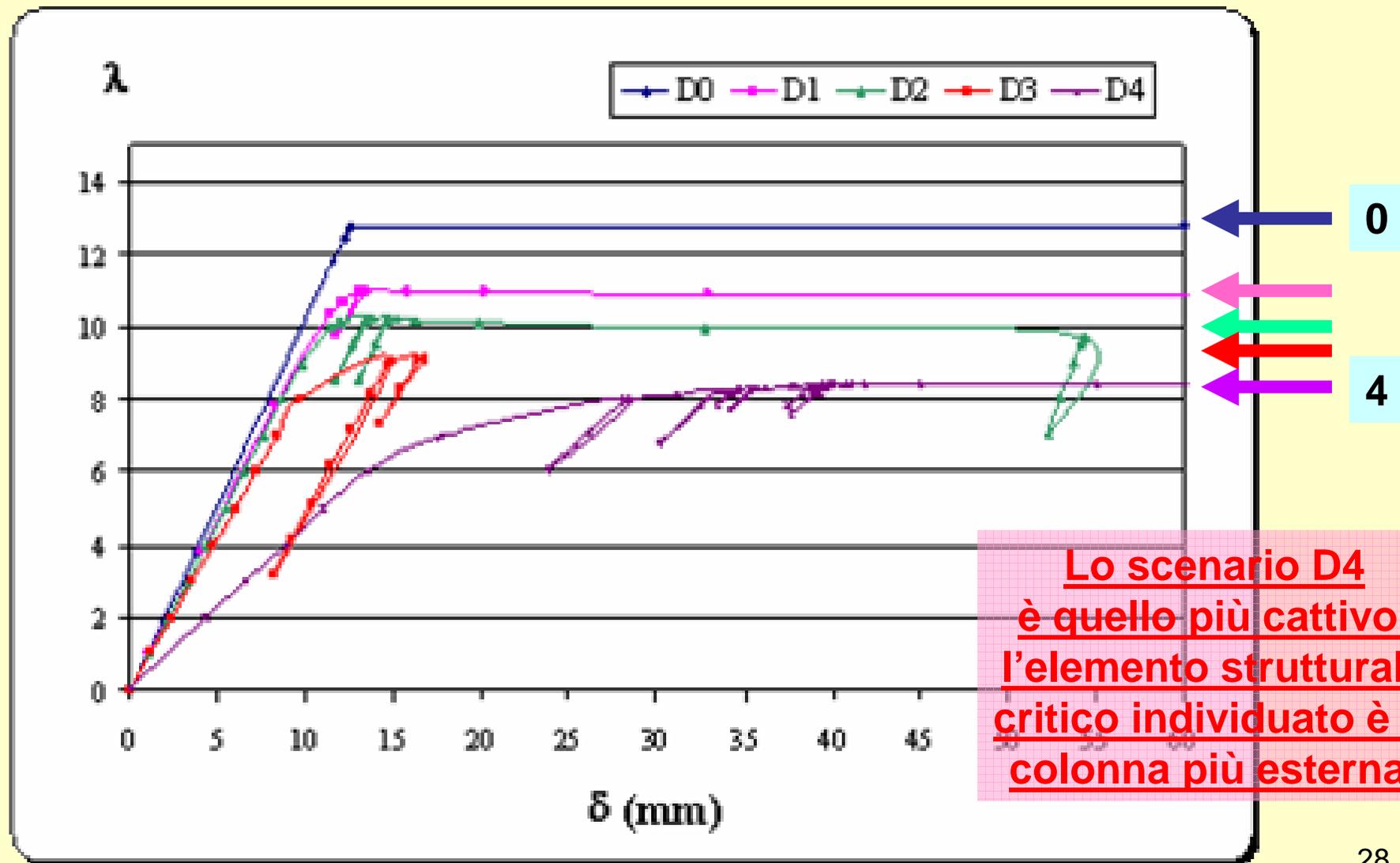
Robustezza Strutturale



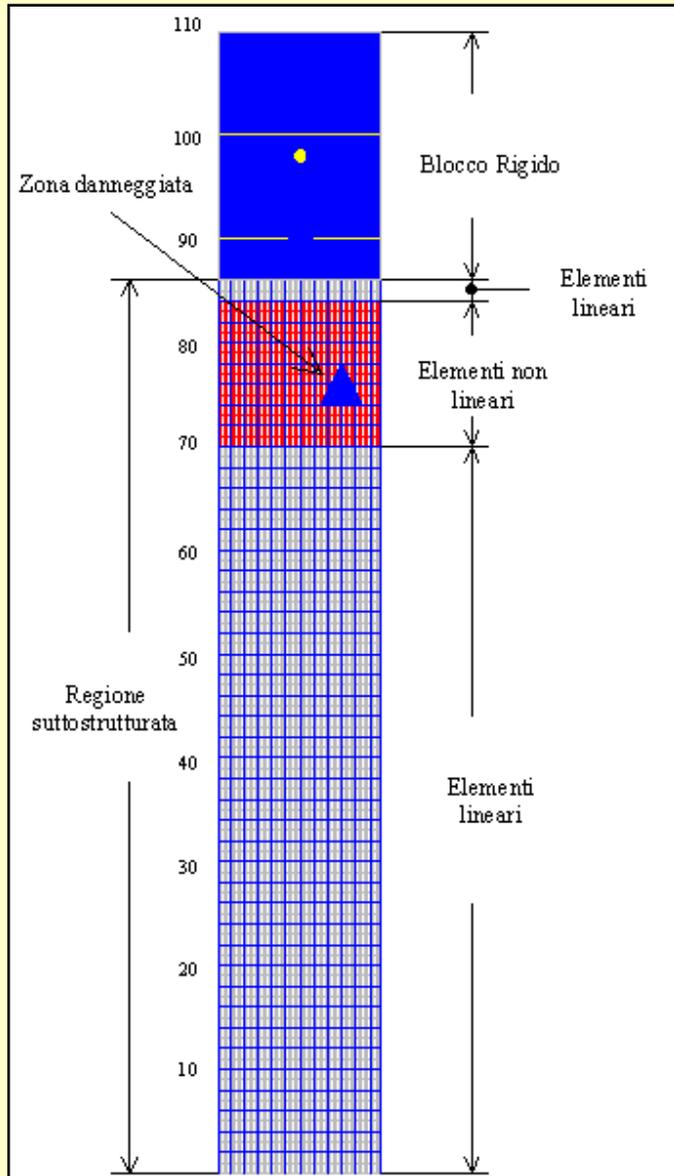
D4

27

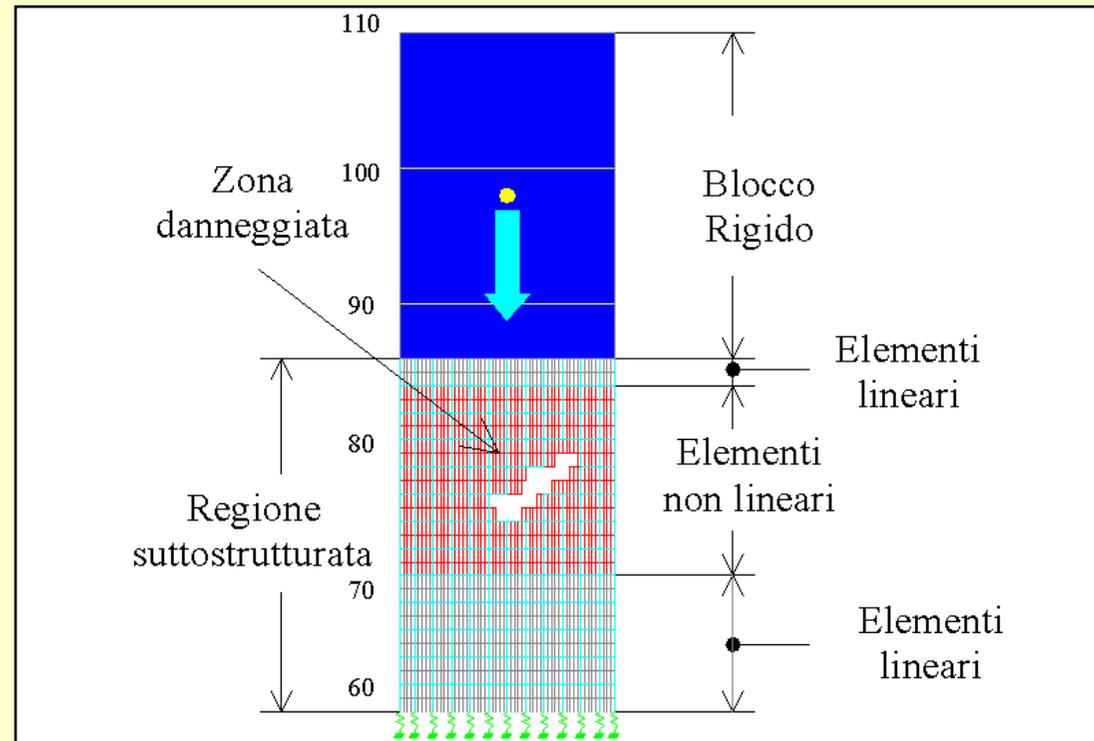
Sintesi dei risultati: elemento critico



Modellazione edificio alto



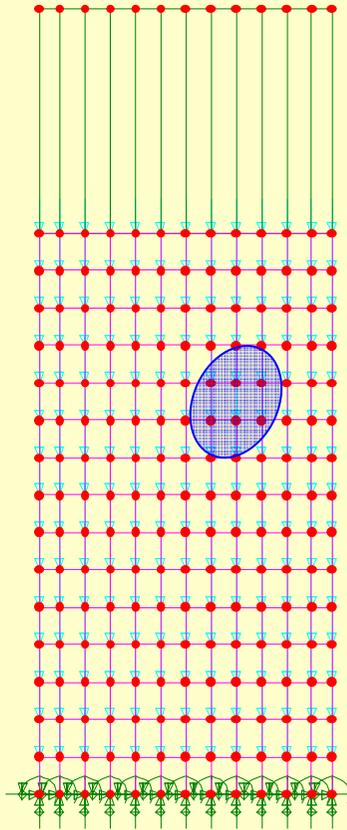
L. Giurani



Robustezza Strutturale

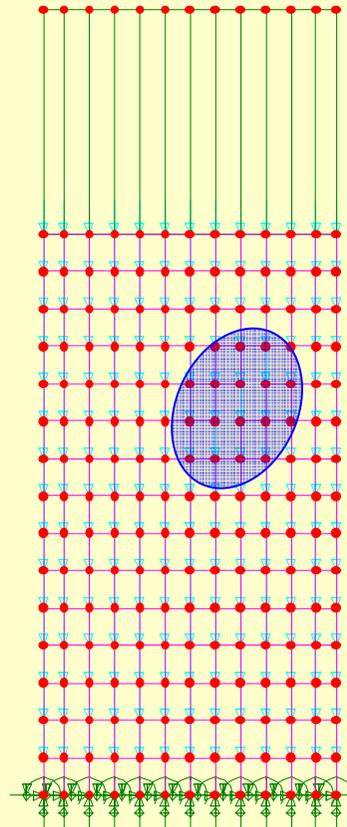


Scenari di danneggiamento



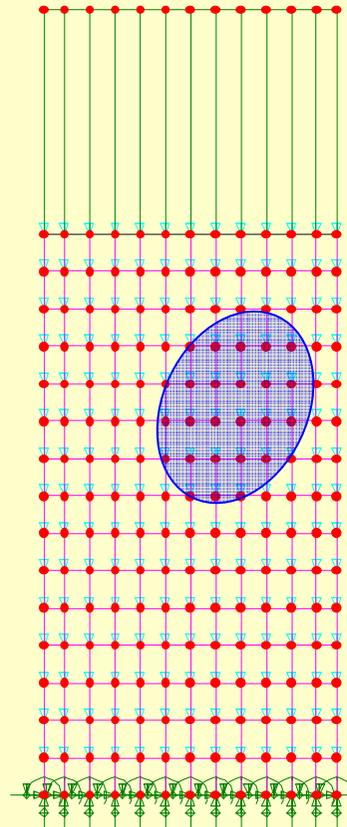
Scenario 1

(1 asta
eliminata)



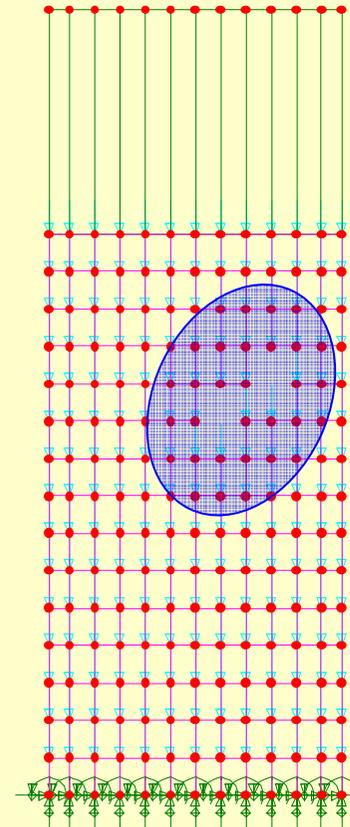
Scenario 2

(3 aste
eliminate)



Scenario 3

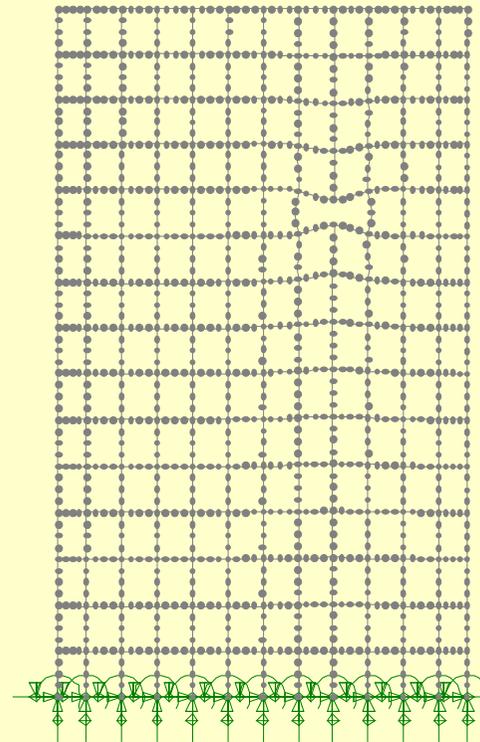
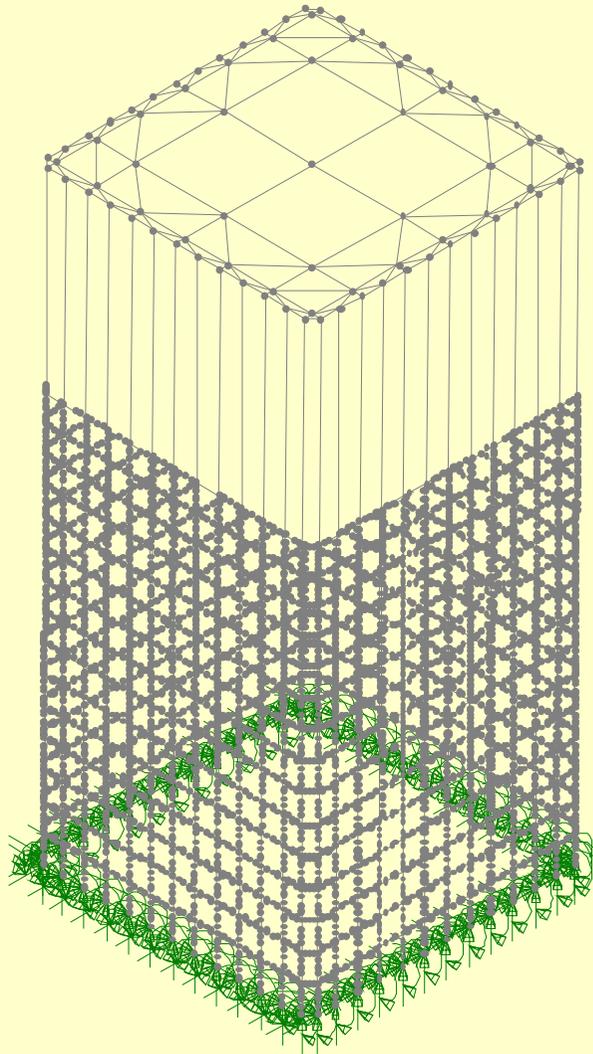
(5 aste
eliminate)



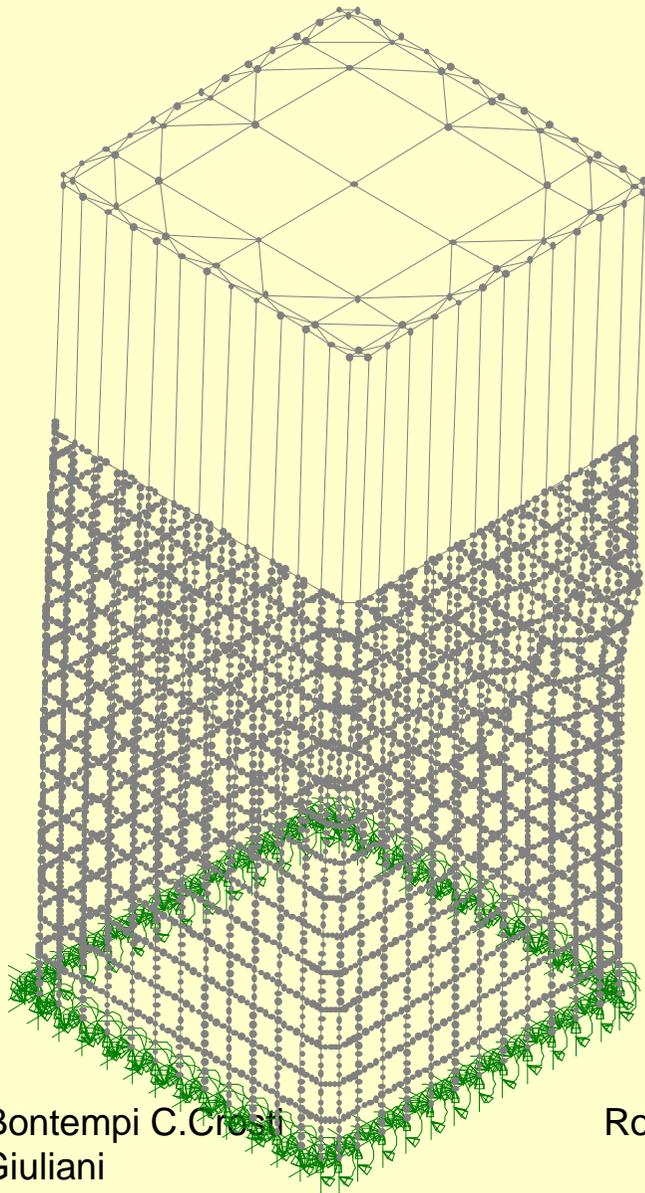
Scenario 4

(7 aste
eliminate)

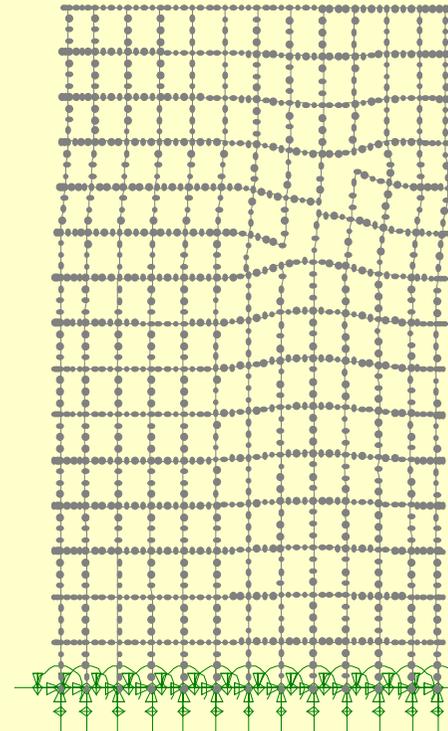
Collasso secondo scenario 1



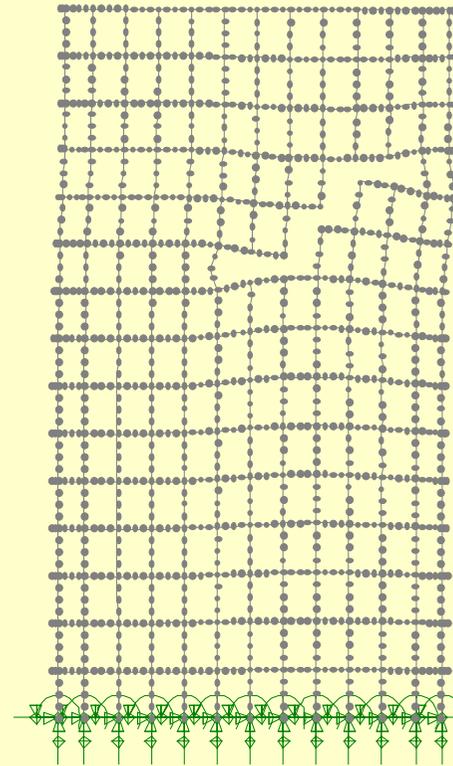
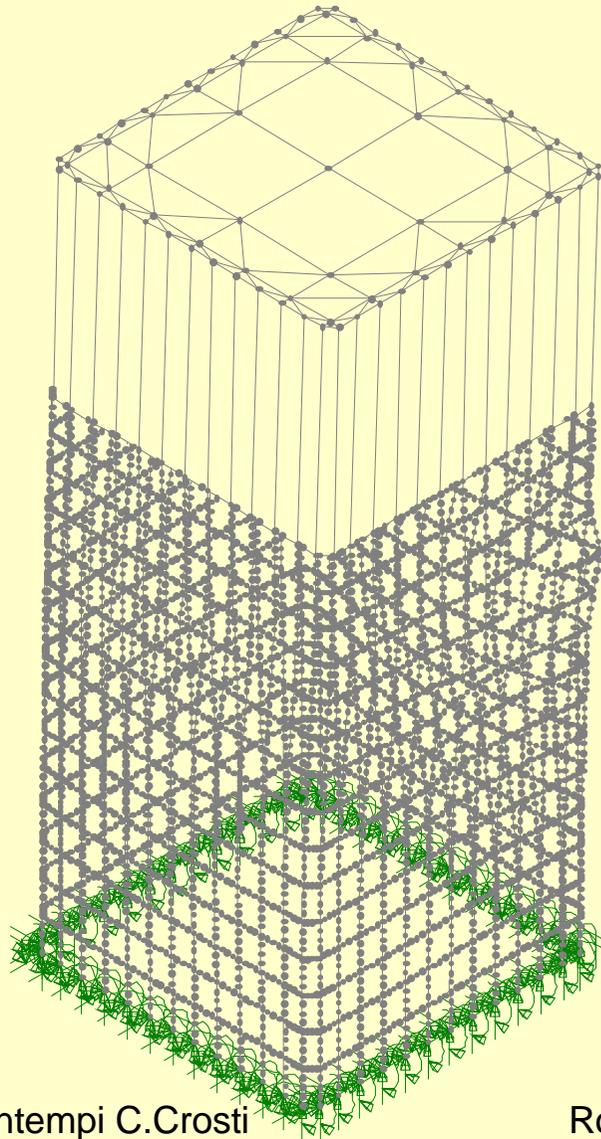
Collasso secondo scenario 2



.....



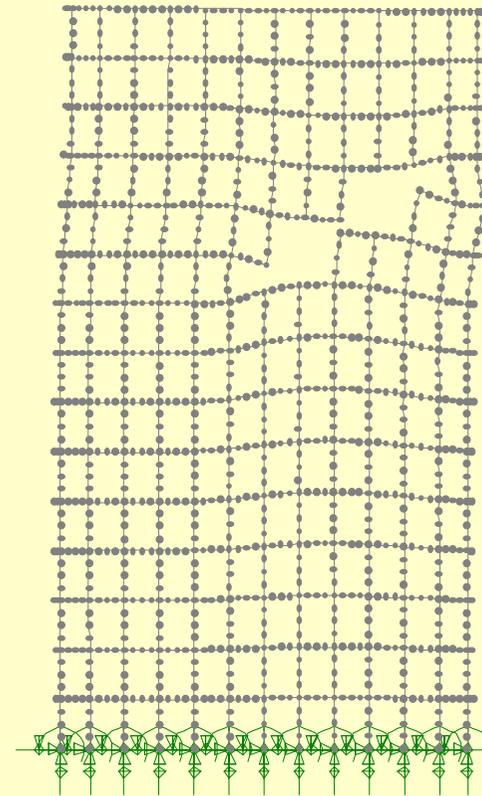
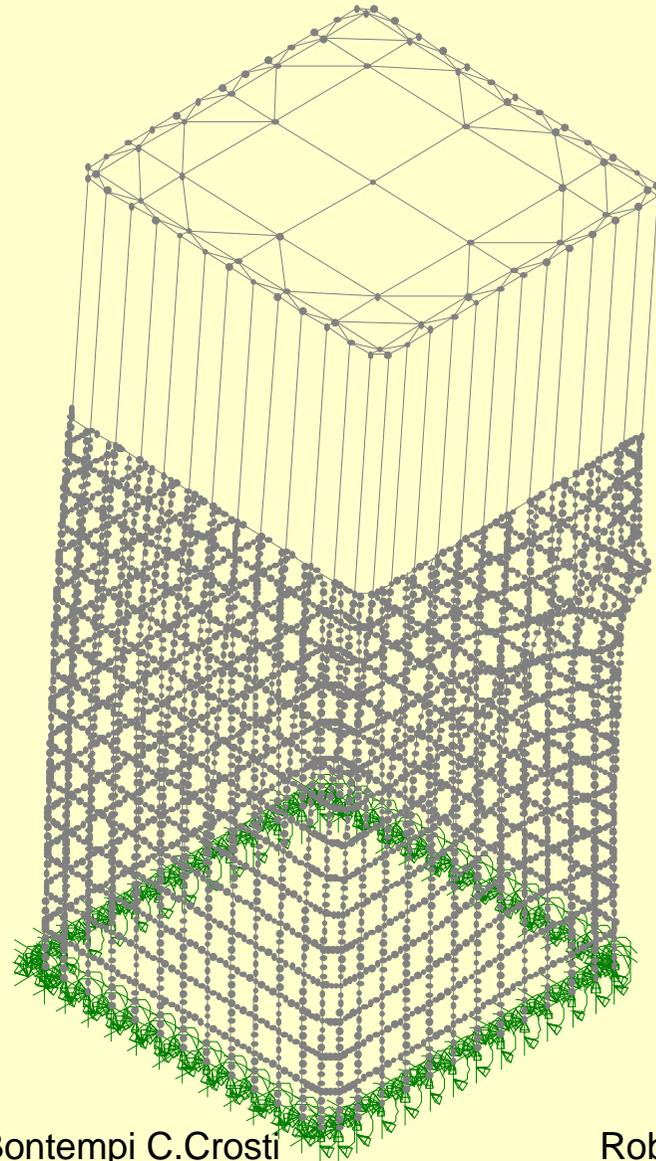
Collasso secondo scenario 3



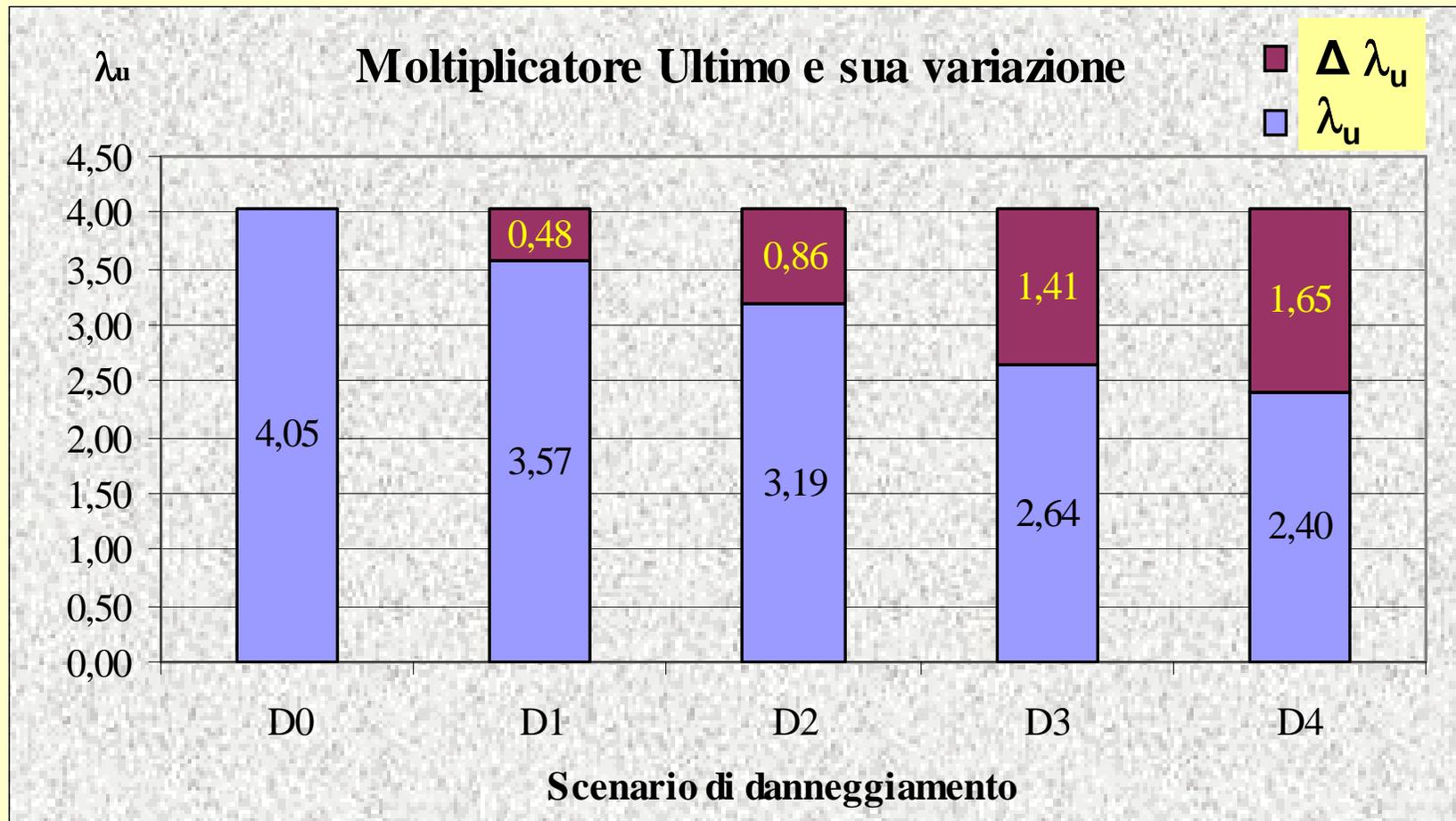
F.Bontempi C.Crosti
L.Giuliani

Robustezza Strutturale

Collasso secondo scenario 4



Sintesi dei risultati



Si hanno valutazioni quantitative del comportamento strutturale in presenza di danno!

Parte III: CASO REALE

- Windor Building a Madrid
- Continuità
- Compartimentazione
- Collassi favorevoli vs. sfavorevoli
- Confinamento del collasso

CONTINUITA'



B-17F/Bf-109 midair collision on February 1, 1943 over Tunisia.

B-17 flew 90 minutes and landed safely.

(USAF Museum Photographs)

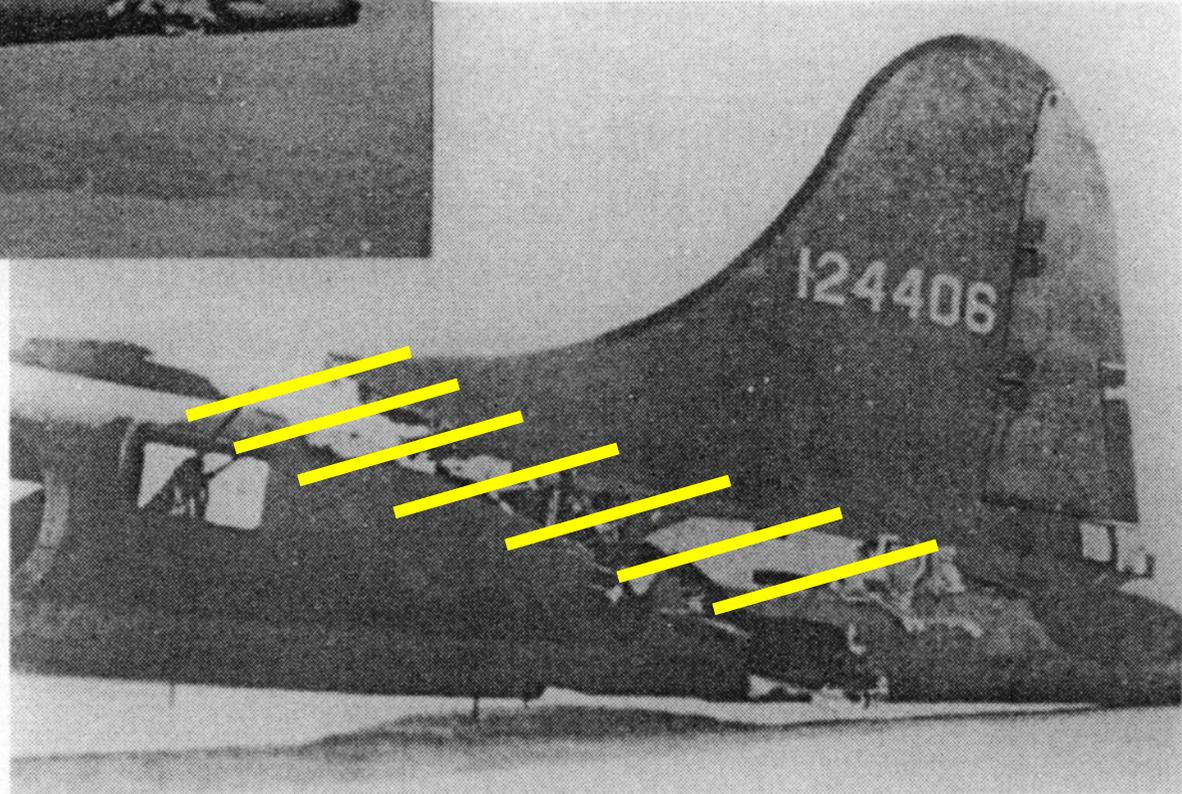


Figure 1.1. Example of a damage tolerant aircraft. This Boeing B-17 Flying Fortress collided with another aircraft during World War II and, although sustaining large amounts of structural damage, landed safely (Photographs courtesy of the U.S. Air Force Museum.)

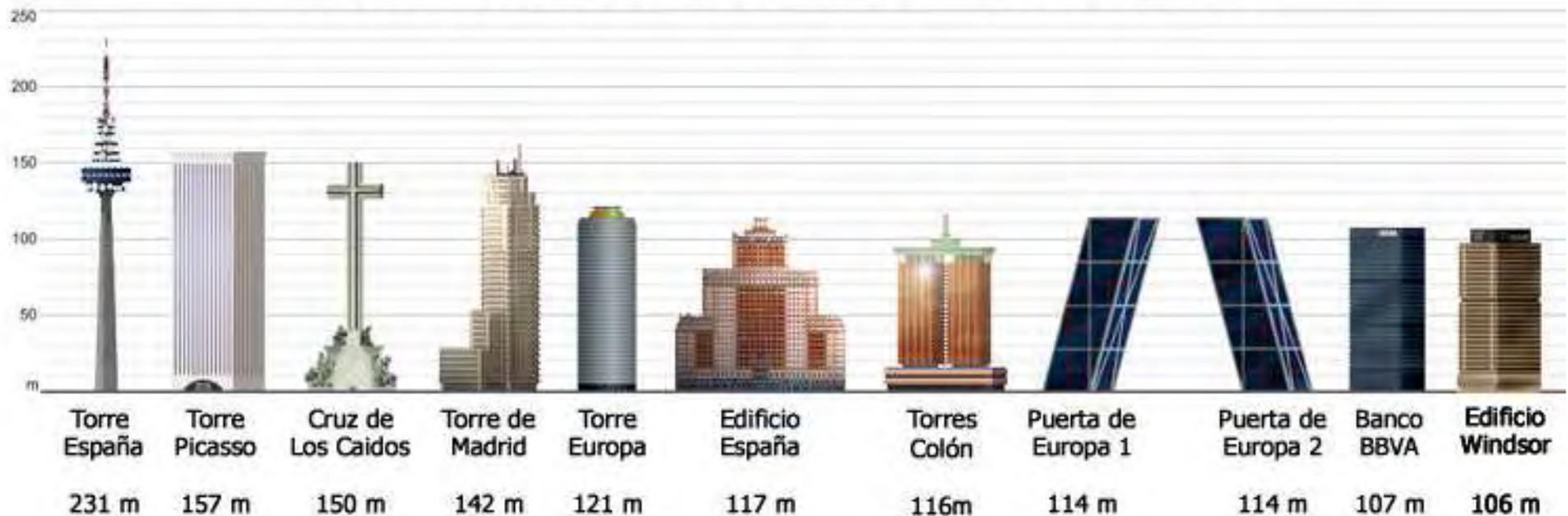
COMPARTIMENTAZIONE



Figure 1.6. April 1988 example of service-induced damage that led to explosive decompression and loss of large portion of fuselage skin when small fatigue cracks suddenly linked together. The subsequent fracture was eventually arrested by fuselage frame structure, and the aircraft landed safely (Photograph courtesy of the National Transportation Safety Board.)

Edificio Windsor

Rascacielos de Madrid





Incendio en el edificio Windsor



Portada Localización Fuego

El edificio Windsor está ubicado en una de las principales zonas comerciales y de negocios de Madrid.



Información: Elaboración propia, COAM, Emilio Amade | Gráfico: elmundo.es | e-mail

National Institute for Land and Infrastructure Management
国土交通省 国土技術政策総合研究所

One Stop Shop
in Structural Fire Engineering
by the University of Manchester

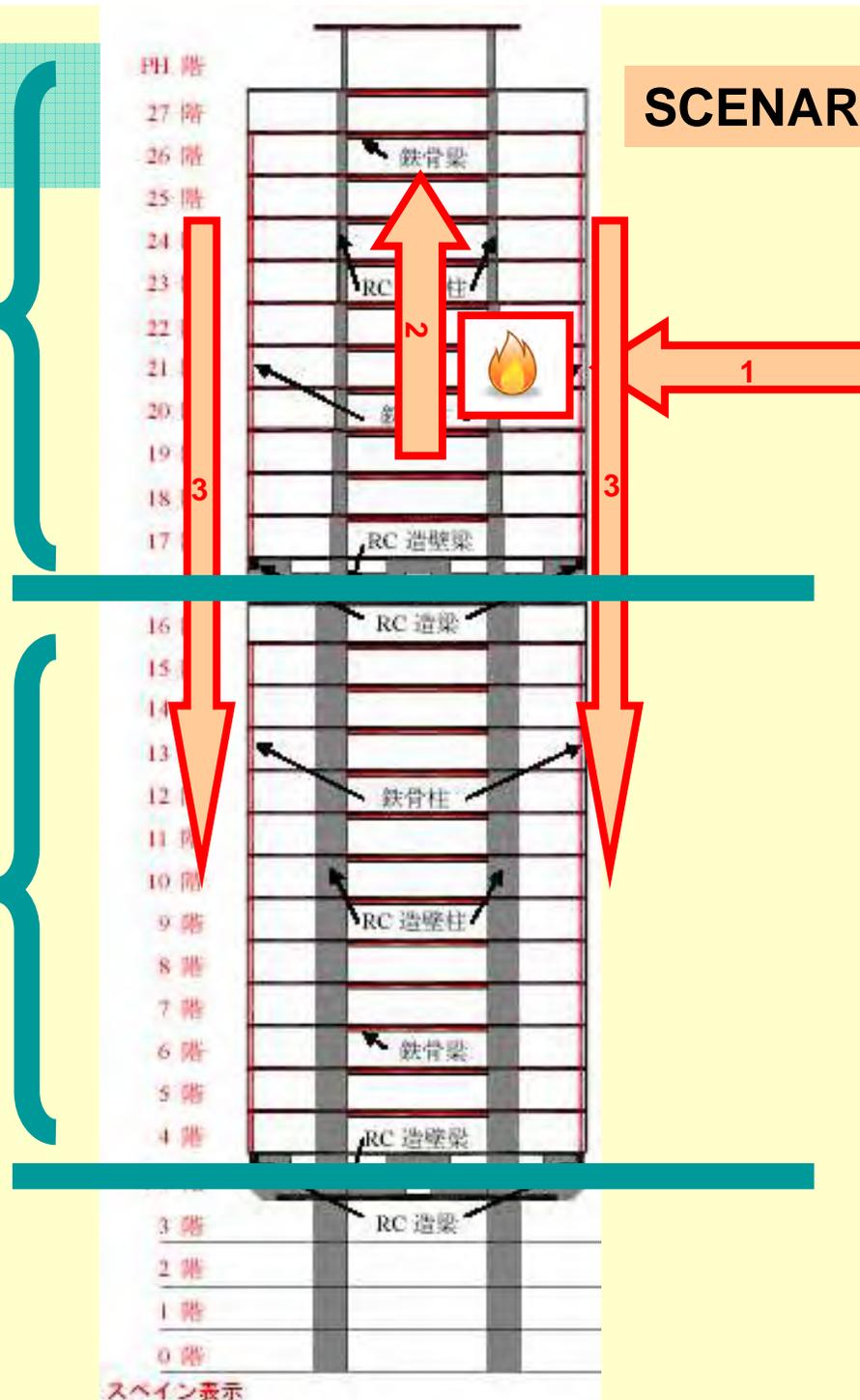
Un documento de **elmundo.es**
ARDE EL WINDSOR

SISTEMA STRUTTURALE

COMPARTIMENTO STRUTTURALE SUPERIORE

COMPARTIMENTO STRUTTURALE INFERIORE

SCENARIO D'INCENDIO







F.Bontempi C.Crosti
L.Giuliani





F.Bontempi C.Crosti
L.Giuliani



Un documento de elmundo.es
ARDE EL WINDSOR

F.Bontempi C.Crosti
L.Giuliani

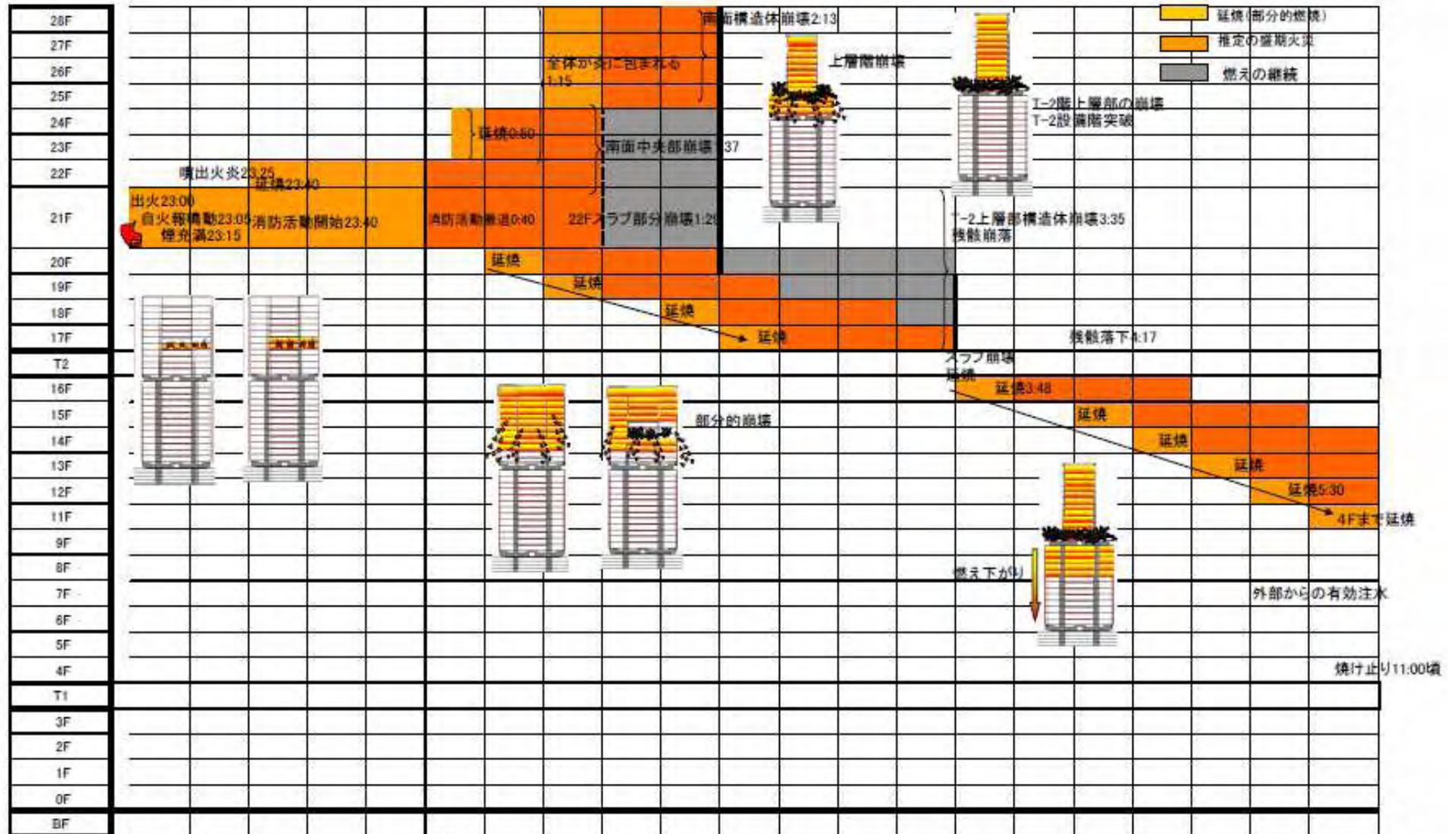
Table 1 Estimated time frame of fire development (NILIM 2005)

Time	Fire Development	Cross Section
23:00	Fire started at the 21 st Floor	
23:05 ~ 23:20	After receiving a fire signal, the security guards went to the 21 st floor and attempting to fight the fire before giving up	
23:21	Fire brigade was called	
23:25	Fire brigade arrived	
23:30	Fire brigade started to fight the fire (news report)	
00:00	All floors above the 21 st floor were in fire (news report)	
00:30	Fire brigade retreated and adopted a defensive position, preventing fire spread to adjacent buildings	
02:00	Fire spread below the 17 th floor	
02:15	Chunks of facade started falling off (news report)	
03:30	Fire spread below 16 th floor, crossing over the upper technical floor	
04:00	Floors at upper level collapsed (news report)	
05:30	Fire spread below the 12 th floor (news report)	
08:30	Fire spread below the 4 th floor	
13:30	Fire was under controlled	
17:00	Fire brigade declared the put out of the fire (news report)	

Table 2 Estimated time frame of collapses (NILIM 2005)

Time	Collapse Situation
1:29	East face of the 21st floor collapsed
1:37	South middle section of several floors above the 21st floor gradually collapsed
1:50	Parts of floor slab with curtain walls collapsed
2:02	Parts of floor slab with curtain walls collapsed
2:11	Parts of floor slab with curtain walls collapsed
2:13	Floors above about 25th floor collapsed Large collapse of middle section at about 20th floor
2:17	Parts of floor slab with curtain walls collapsed
2:47	Southwest corner of 1 ~ 2 floors below about 20th floor collapsed
2:51	Southeast corner of about 18th ~ 20th floors collapsed
3:35	South middle section of about 17th ~ 20th floors collapsed Fire broke through the Upper Technical Floor
3:48	Fire flame spurted out below the Upper Technical Floor
4:17	Debris on the Upper Technical Floor fell down

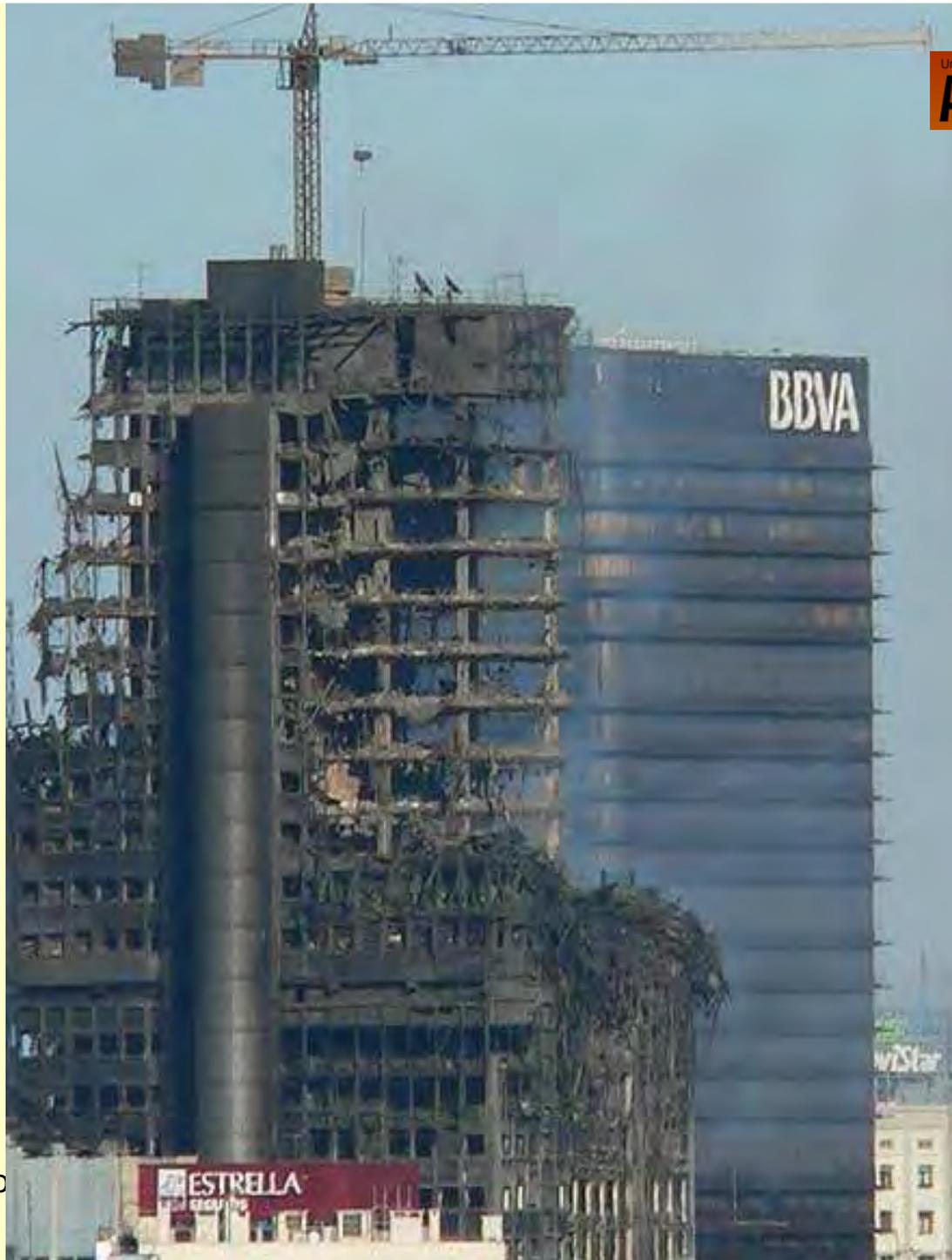
23:00 23:20 23:40 0:00 0:20 0:40 1:00 1:20 1:40 2:00 2:20 2:40 3:00 3:20 3:40 4:00 4:20 4:40 5:00



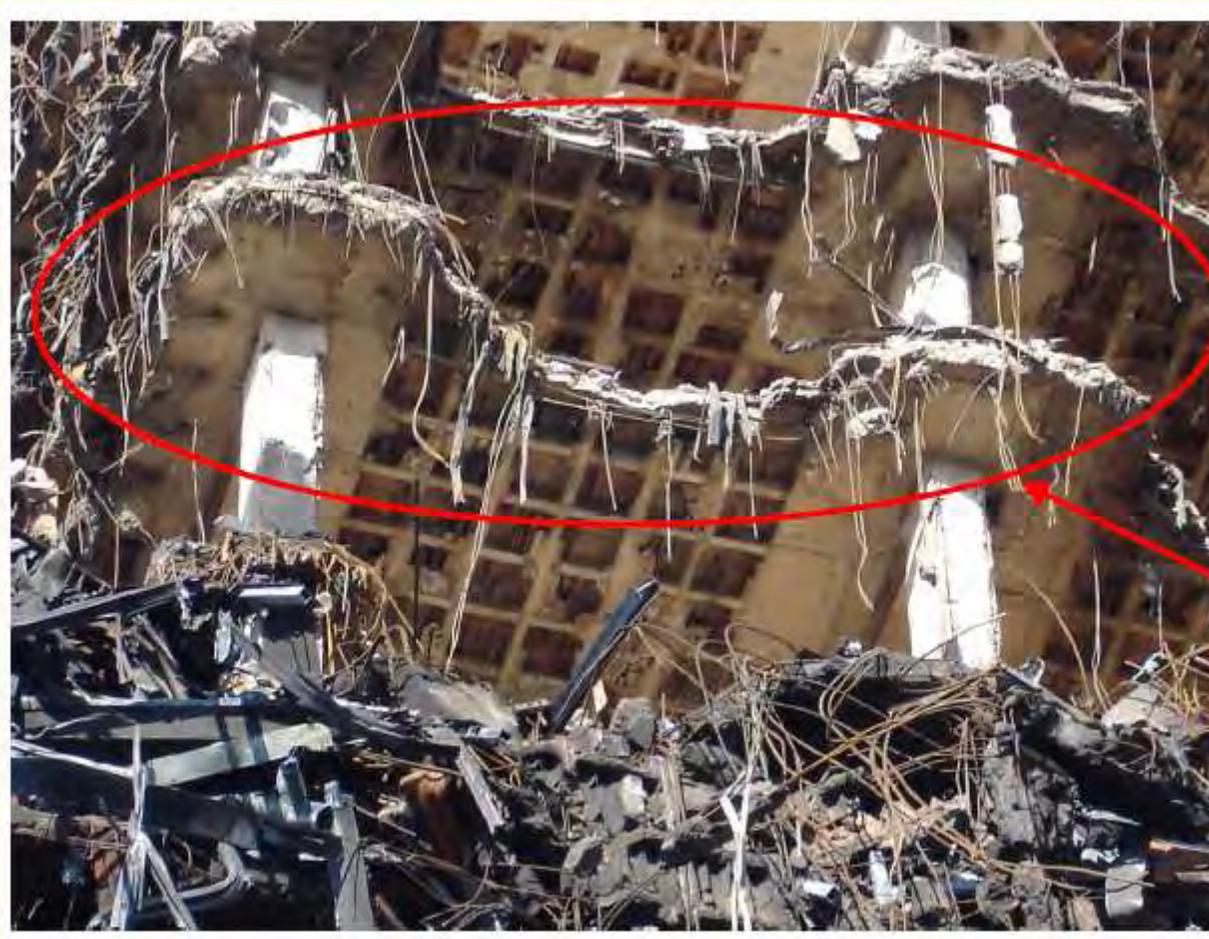
警備員覚知? 警備員駆付け23:15 通報23:20 消防覚知23:21 消防到着23:25 内部からの消防活動撤 周辺延焼防止活動 鎮圧15:00



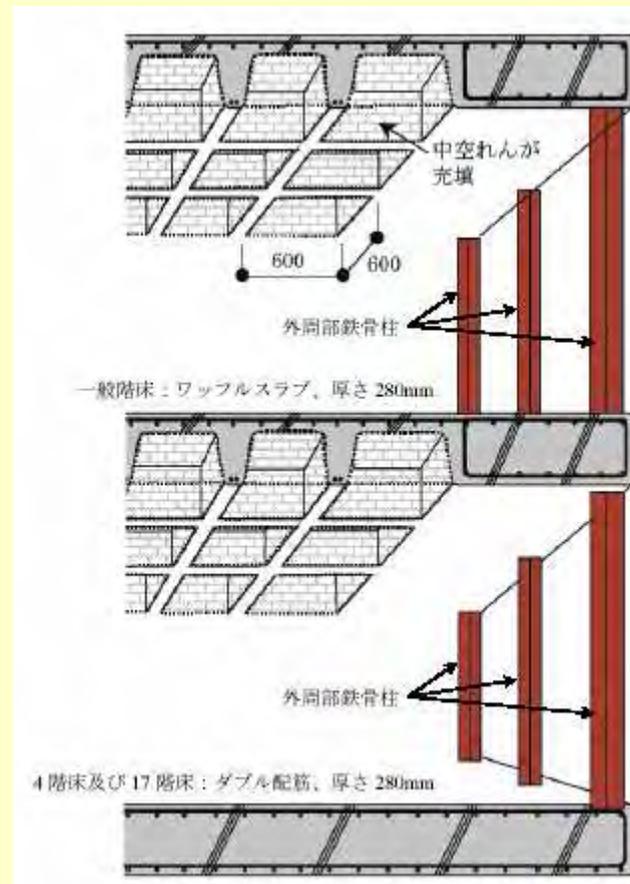
F.Bontempi C.Crosti
L.Giuliani



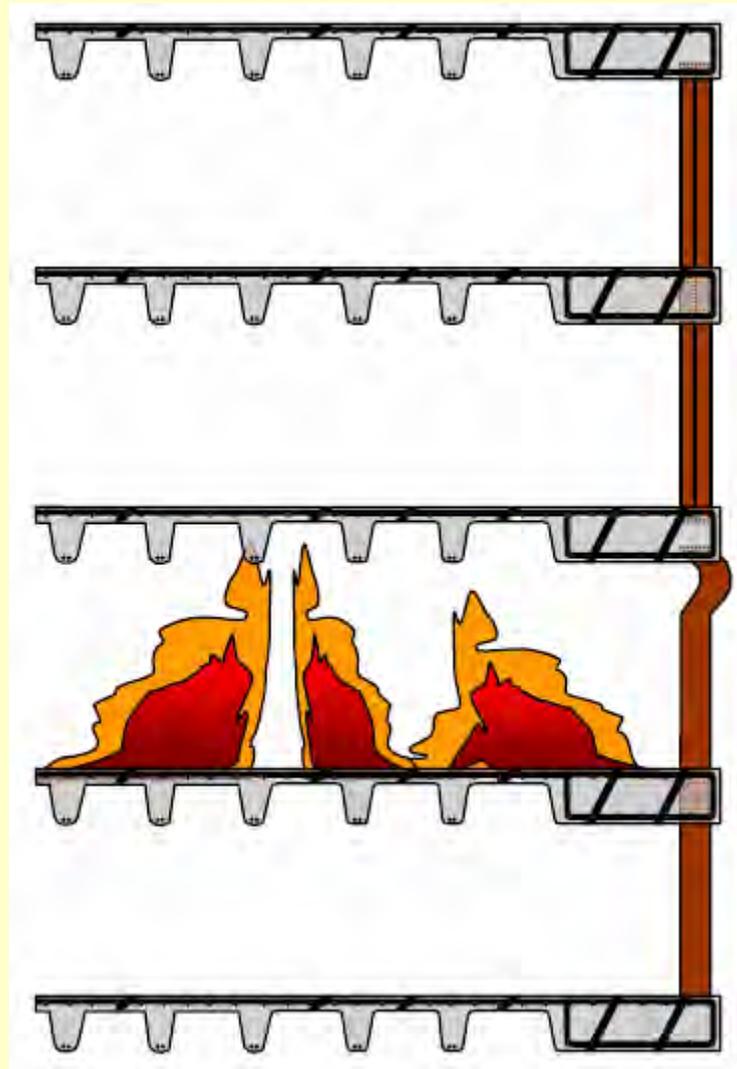
F.Bontempi C.Cro
L.Giuliani



Collasso progressivo

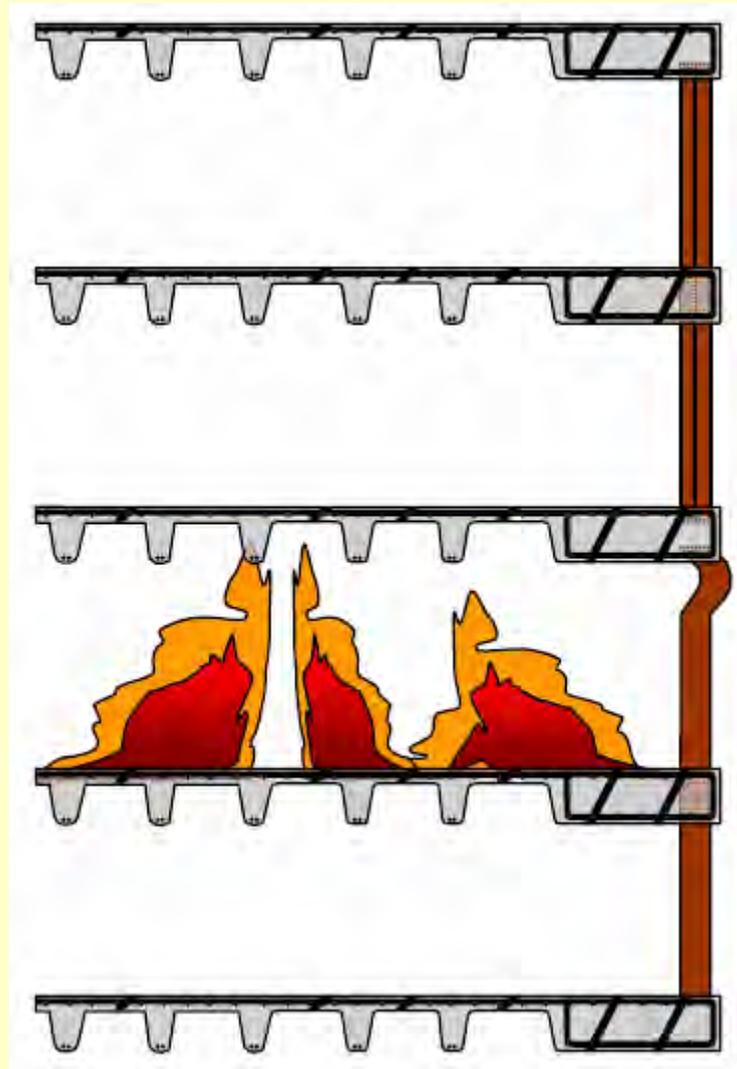


Collasso progressivo (1)



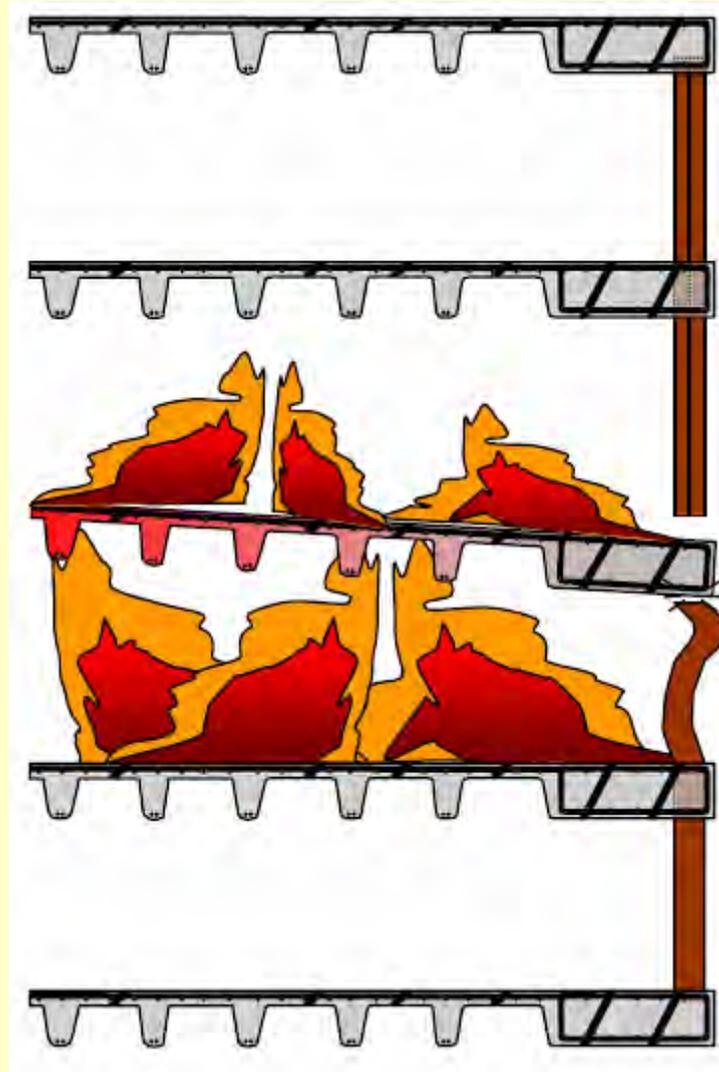
Robustezza Strutturale

Collasso progressivo (2)

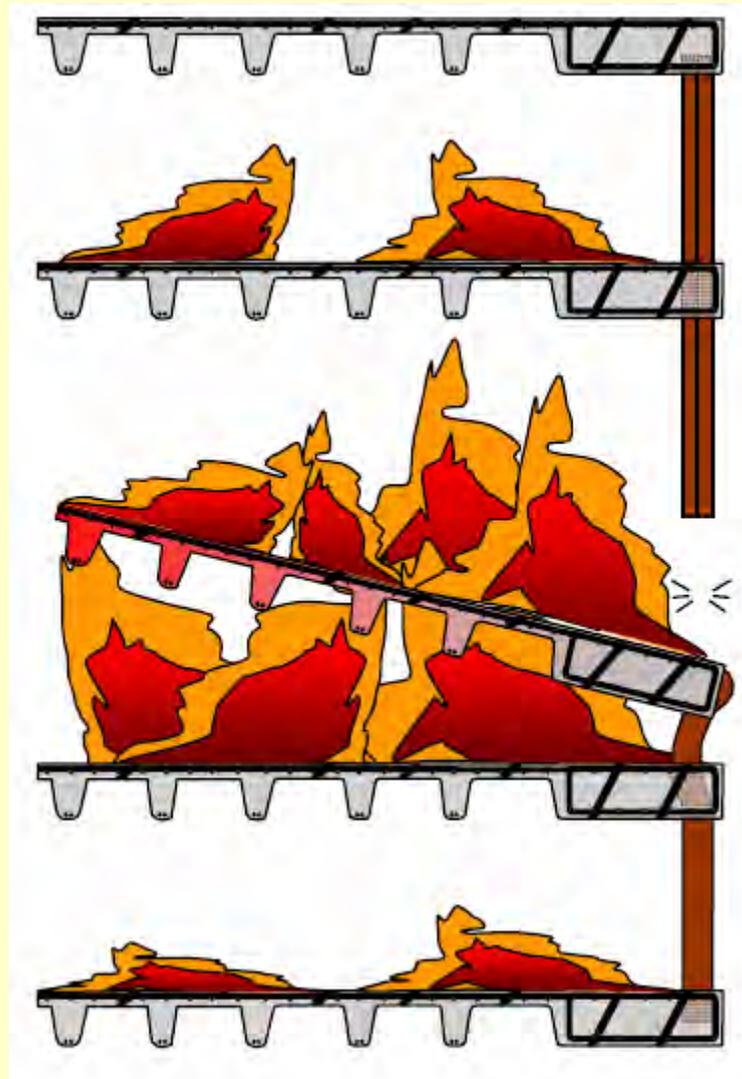


Robustezza Strutturale

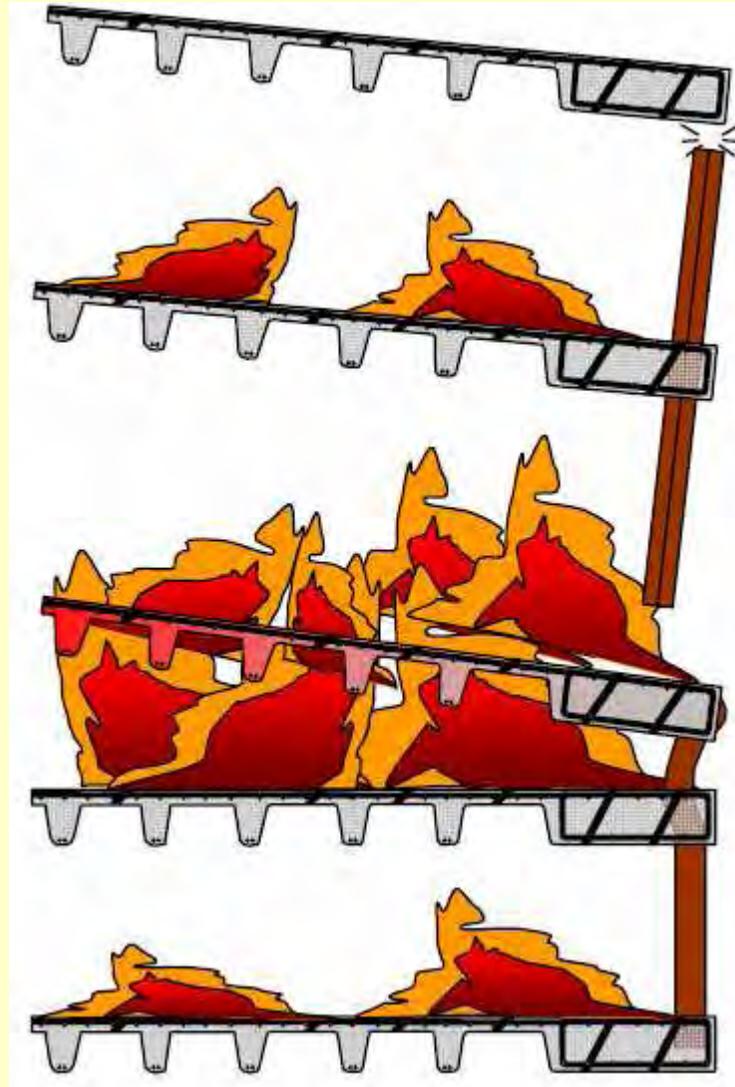
Collasso progressivo (3)



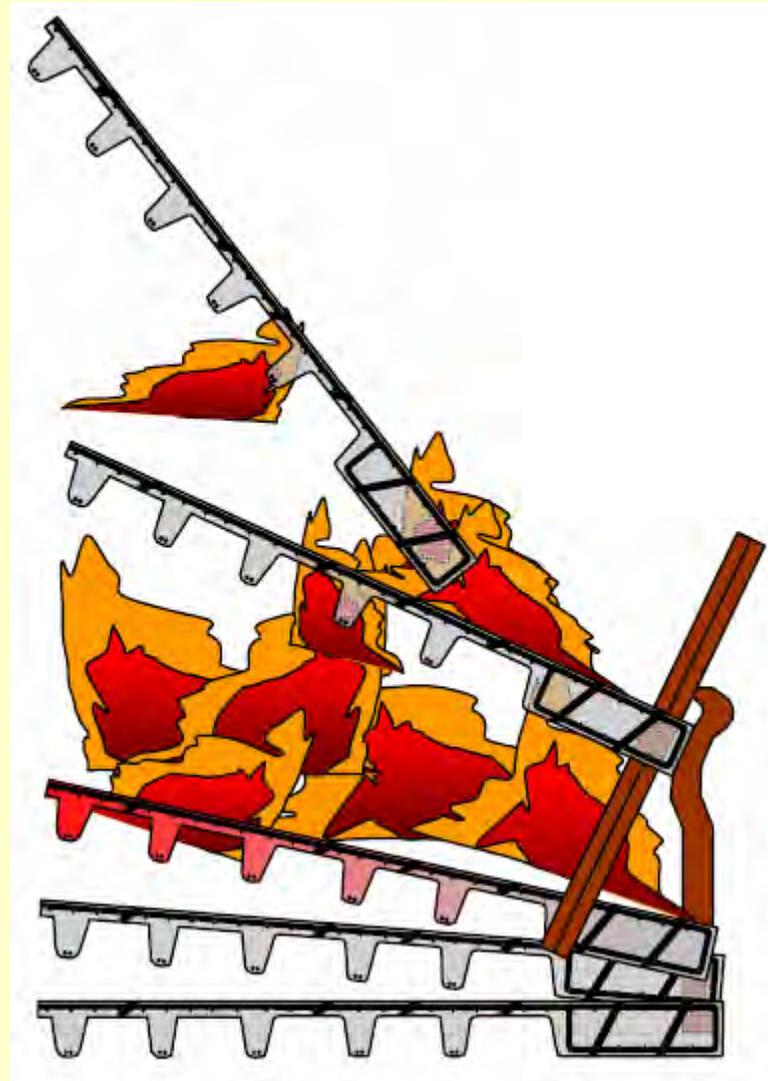
Collasso progressivo (4)



Collasso progressivo (5)



Collasso progressivo (6)



compartimentazione



Un documento de elmundo.es
ARDE EL WINDSOR

F.Bontempi C.Cro
L.Giuliani

Collassi favorevoli vs. sfavorevoli

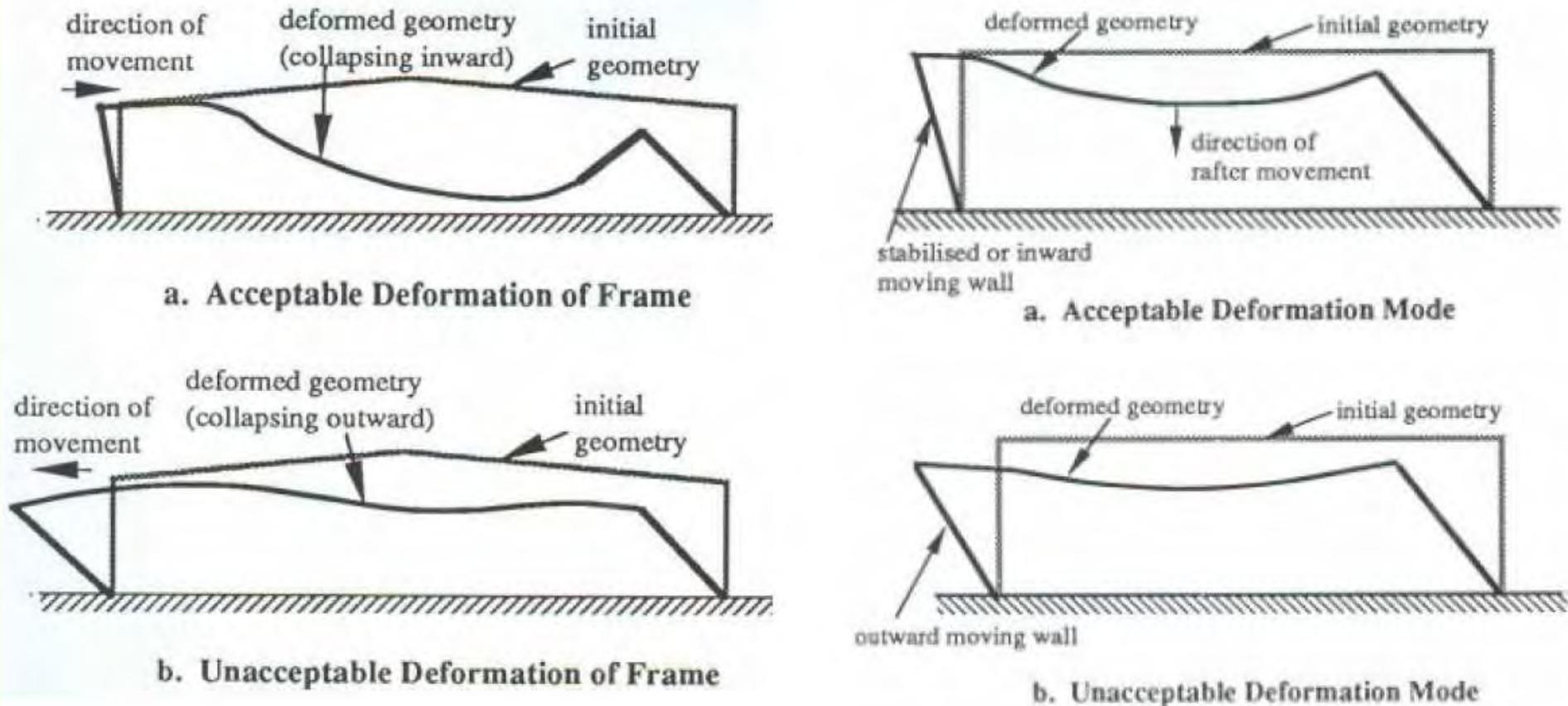


Figure 4-24 Acceptable and unacceptable deformation modes (O'Meagher *et al.*, 1992)

Confinamento del collasso

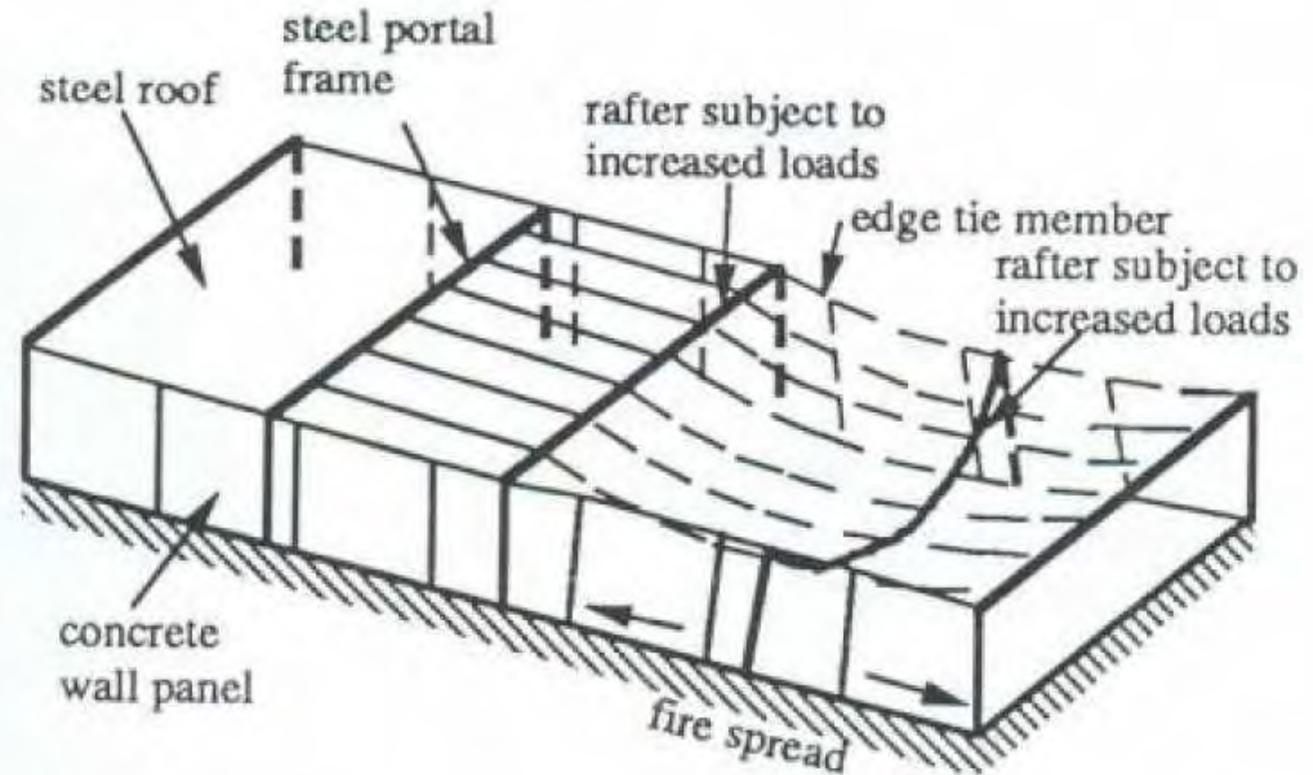


Figure 4-26 Overall building behaviour (O’Meagher *et al.*, 1992)

Robustezza strutturale (3)

- Inoltre:
 - Deve esserci la capacità di non far propagare il danneggiamento, attraverso misure di
 - Continuità,
 - Compartimentazione;
- Si possono individuare elementi critici.
- Il collasso deve avvenire con modalità favorevoli, in genere attraverso confinamento del meccanismo di collasso (implosione).

Bibliografia

- [1] Bontempi F., Arangio S., Sgambi L., “Tecnica delle costruzioni. Basi della progettazione. Strutture intelaiate in acciaio”, Carocci, 2008.
- [2] Bontempi F., Giuliani L., Gkoumas K.: “Handling the exceptions: dependability of systems and structural robustness” (invited lecture), 3rd International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation (SEMC 2007), Cape Town, South Africa, 2007.
- [3] ISO 13387 Fire safety engineering., 1998.
- [4] Bontempi F., Crosti C., “Costruzioni in acciaio secondo l’approccio ingegneristico di progetto”, Rivista Antincendio, Maggio 2008.
- [5] Bontempi F., Crosti C., Giuliani L., “Il ruolo delle strutture nella protezione passiva contro l’incendio”, Rivista Antincendio, Agosto 2008.
- [6] Bontempi F., “Robustezza strutturale”, Atti del Convegno CRASC’06, Università degli Studi di Messina, Messina, 20-22 Aprile 2006.
- [7] Buchanan A.H., “Structural Design for Fire Safety”. John Wiley & Sons.
- [8] Bontempi F., Crosti C., Petrini F., Giuliani L.: “La progettazione prestazionale di strutture in acciaio in presenza di incendio”. XXI Congresso Catania, Costruire con l’Acciaio. Catania 1-3 Ottobre 2007.
- [9] Bontempi F., Crosti C., Petrini F., Giuliani L.: “La valutazione quantitativa delle capacità prestazionali di strutture in acciaio in presenza di incendio”. XXI Congresso Catania, Costruire con l’Acciaio. Catania 1-3 Ottobre 2007.
- [10] Gkoumas C., Crosti C., Bontempi F., “Risk analysis and modelling techniques for structural fire safety”, Proceedings CST2008 & ECT2008 Conferences, Atene 2-5 Settembre 2008.
- [11] Giuliani L., Wolff M.: “Strategie per il conseguimento della robustezza strutturale: connessione e compartimentazione”, 3rd national congress on collapse and reliability of civil structures (CRASC’06), “Università degli Studi di Messina”, Messina, Italy, 20-22 April 2006
- [12] O’Meagher, A.J., Bennets, I.D., Dayawansa, P.H., Thomas, I.R., “Design of Single Storey Industrial Buildings for Fire Resistance”, Journal of the Australian Institute of Steel Construction, Vol. 26, No. 2, pp. 2-17, Maggio, 1992
- [13] Bolognesi S.: L’integrità strutturale e la sua misura attraverso analisi non lineari definite da algoritmi di ottimizzazione, Tesi di Laurea in Ingegneria Civile, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, Relatore Prof. Ing. F. Bontempi, 2000.
- [14] Albera G.: Analisi di sistemi framed-tube per edifici alti con particolare riguardo alla robustezza strutturale, Tesi di Laurea in Ingegneria Civile, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, Relatore Prof. Ing. F. Bontempi, 2002.

Autori

Franco Bontempi è professore ordinario di Tecnica delle Costruzioni nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma "La Sapienza". Si occupa di analisi strutturale e progettazione prestazionale di edifici alti e ponti, coordinando un gruppo di ricerca tra i più attivi nel settore del calcolo automatico e della modellazione strutturale. Negli ultimi anni, è stato membro della Commissione per il Testo Unico delle Norme Tecniche delle Costruzioni presso il Ministero delle Infrastrutture e del Comitato Scientifico per il Ponte sullo Stretto di Messina. Fa parte della Commissione Tecnica per la Sicurezza delle Costruzioni in Acciaio in caso di Incendio. Svolge attività di consulenza per strutture speciali.

Chiara Crosti è allieva del Dottorato di Ricerca in Ingegneria Strutturale presso l'Università di Roma "La Sapienza", dove si occupa di analisi strutturale e di progettazione di costruzioni soggette ad incendio ed esplosioni.

Luisa Giuliani è allieva del Dottorato di Ricerca in Ingegneria Strutturale presso l'Università di Roma "La Sapienza", dove si occupa di robustezza strutturale e analisi del rischio. Attualmente, svolge ricerca presso la Technische Universität Hamburg – Harburg in Germania.

www.francobontempi.org