



Università degli Studi di Napoli Federico II
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA STRUTTURALE
CATTEDRA DI “COSTRUZIONI IN MURATURA”

Nicola Augenti

PROGETTAZIONE DI STRUTTURE IN MURATURA

Criteria di progetto e metodologie di calcolo

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli - 13 febbraio 2007

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. Infr. e Trasp. 14.09.2005 (Obbligatorio dal 24.04.2007 ?)

“Norme tecniche per le Costruzioni”

Cap. 5 : NORME SULLE COSTRUZIONI

Cap. 9 : COSTRUZIONI ESISTENTI

Cap. 11 : MATERIALI E PRODOTTI PER USO STRUTTURALE

O.P.C.M. 3274 del 20.03.2003 e 3431 del 03.05.2005 (DM § 5.7.1)

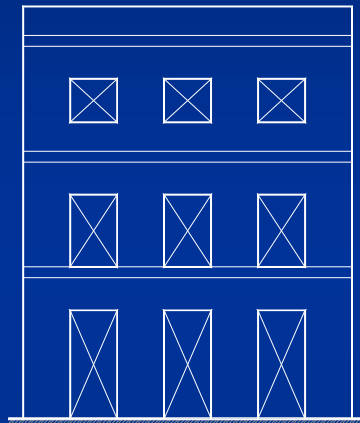
**ALL. 2: “Norme tecniche per il progetto, la valutazione
e l’adeguamento sismico degli edifici”**

Cap. 8 : EDIFICI NUOVI CON STRUTTURA IN MURATURA

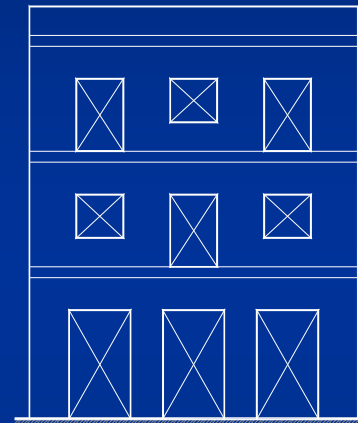
Cap. 11 : EDIFICI IN MURATURA ESISTENTI

EDIFICI TRATTATI

- Pareti collegate da cordoli e catene (DM § 5.4.4)



Pareti regolari



Pareti irregolari

- Edifici con impalcati rigidi nel piano solidali alle pareti portanti (DM § 5.4.4)

Solai rigidi nel piano rispetto agli elementi verticali se:

⇒ realizzati in c.a.

⇒ con soletta in c.a. ($s > 5$ cm) collegata da connettori ai travetti in acciaio o legno

EDIFICI REGOLARI IN PIANTA (OPCM)

- ⇒ solai rigidi nel piano rispetto alle pareti
- ⇒ distribuzione di masse e rigidzze approssimativamente simmetrica
- ⇒ pianta inscritta in un rettangolo con rapporto tra i lati ≤ 4
- ⇒ rientri o sporgenze non superiori al 25% dei rispettivi lati

MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA (DM § 5.7.4)

Edifici Regolari in pianta ⇒ modello piano separato per ciascuna dir. principale

L'analisi dell'edificio si riduce a quella delle pareti che lo compongono, ciascuna sottoposta alle azioni che le competono

L'analisi della parete consiste nel confrontare la forza tagliante di progetto con la capacità resistente:

- di ogni pannello;
- di ogni piano;
- dell'intera parete.

METODI DI VERIFICA E CRITERI DI SICUREZZA

- **SLE: Stato Limite di Esercizio** → protezione nei confronti del danno reversibile
 - **assenza di danni**
 - **intera capacità portante alle azioni vert. e orizz.**
- **SLD: Stato Limite di Danno** → protezione nei confronti del danno irreversibile
 - **assenza di danni gravi**
 - **intera capacità portante alle azioni vert. e orizz.**
- **SLU: Stato Limite Ultimo** → sicurezza nei confronti della stabilità
 - **residua resistenza e rigidità alle azioni orizz.**
 - **intera capacità portante alle azioni verticali**

METODI DI ANALISI STRUTTURALE

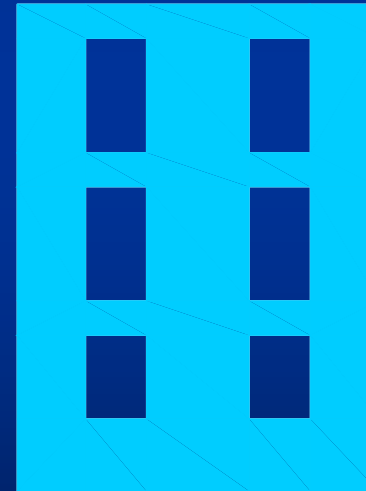
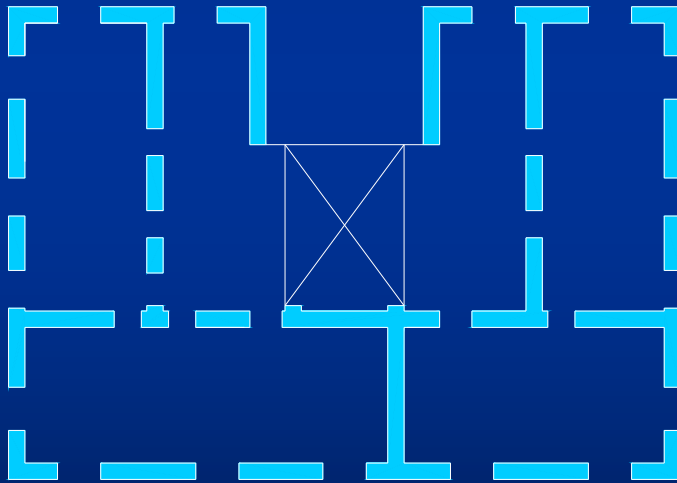
- MACRO-MODELLAZIONE → **RAN, SAM, 3MURI, 3DMAS**
- MICRO-MODELLAZIONE → **DIANA, ANSYS**
- Programmi “Pezzottati” → (omissis)

METODO AI MACRO-ELEMENTI “RAN”

A) - ANALISI DA CONDURRE PER OGNI PIANO DELL'EDIFICIO

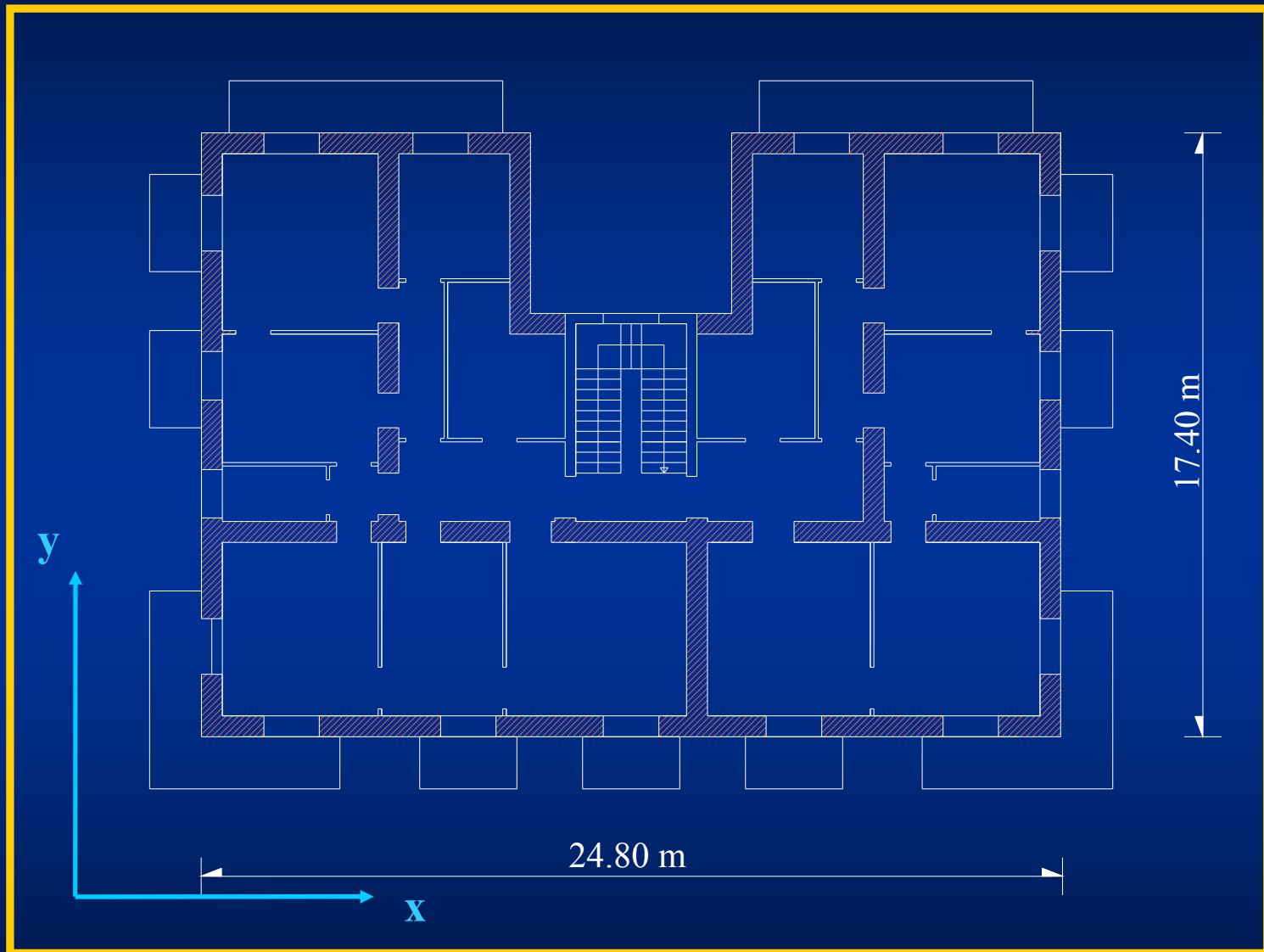
A.1 - Individuazione delle pareti longitudinali resistenti lungo due direzioni principali

A.2 - Definizione della geometria delle pareti (in pianta e in sezione)

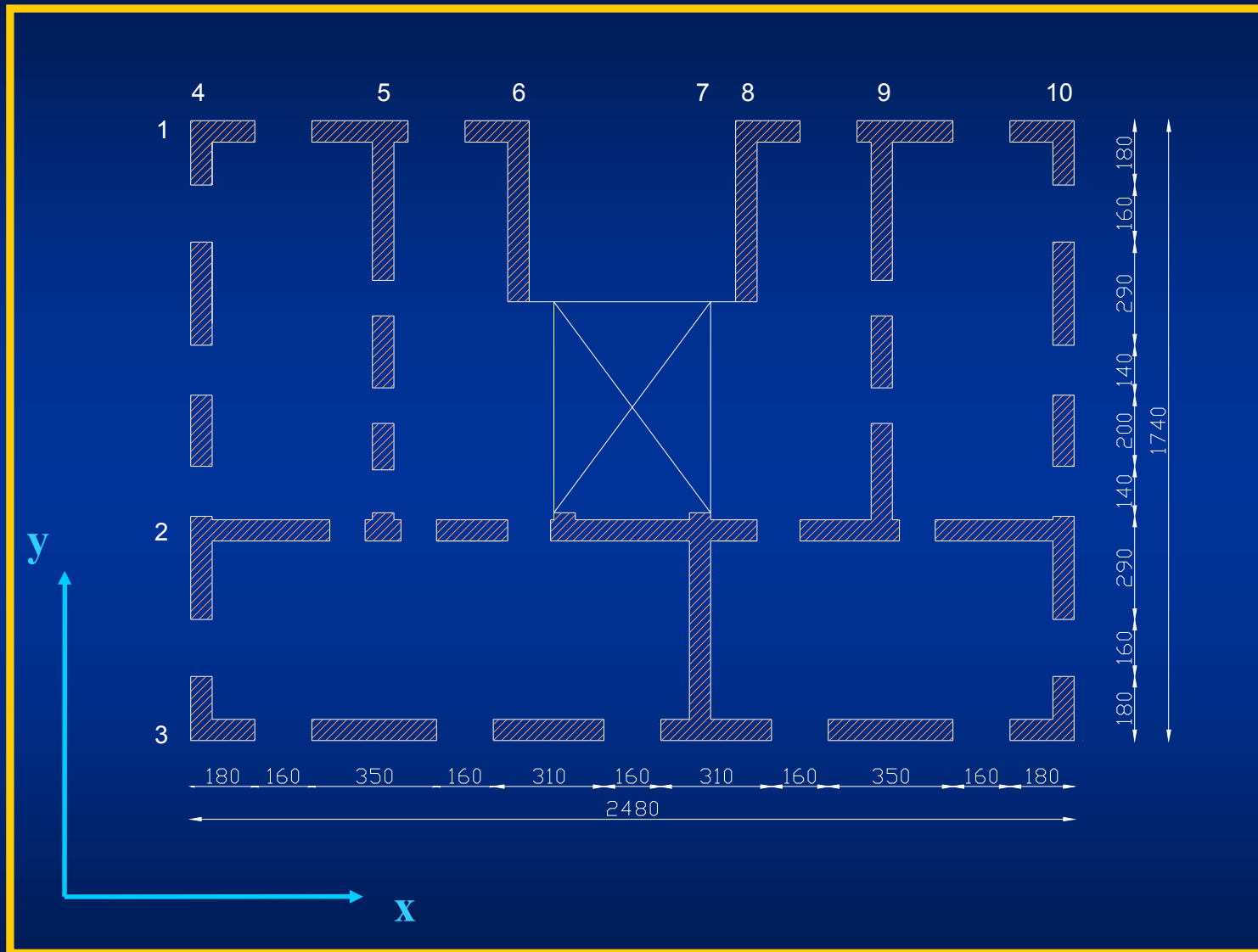


A.3 - Analisi delle azioni verticali (**pesi propri e carichi di esercizio**)

A.4 - Analisi delle azioni orizzontali (**sisma, vento, spinte**)



Edificio per civili abitazioni: pianta piano terreno



Pareti resistenti in entrambe le direzioni principali x e y

Azioni determinate mediante analisi statica lineare allo SLU (OPCM § 4.5.2 / 8.5.1.)

**Forza statica equivalente
in direz. longitudinale**

$$F_i = S_d(T_1) \cdot \frac{W_i}{g} \cdot \lambda \cdot \frac{z_i \cdot \sum_j (W_j)}{\sum_j (z_j \cdot W_j)} \cdot \gamma_I$$

$S_d(T_1)$ accelerazione sismica di progetto allo SLU orizz. e vert. funzione di:

- T_1 periodo di vibrazione ≤ 4 s $\Rightarrow T_1 = 0,05 \times H^{3/4}$
- a_g accelerazione massima per suolo di categoria A (0,35÷0,05 g per zone 1, 2, 3, 4)
- S fattore di suolo (1,00÷1,35 per categorie A, B, C, D, E)
- $q = 1,5 \div 2,0 \alpha_u / \alpha_1$ fattore di struttura (riduttivo delle forze elastiche)

per edifici regolari in elevazione a un piano $\Rightarrow q = 2,8$
 più piani $\Rightarrow q = 3,6$

per edifici irregolari in elevazione a un piano $\Rightarrow q = 2,1$
 più piani $\Rightarrow q = 2,7$

Ad esempio per $0.2 < T < 0.4$ $S_d = 2,5 a_g S / q$

$$W_i = G_k + \sum_i (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

peso sismico con: G_k carichi permanenti

Q_{ki} azioni variabili

ψ_{2i} coeff. di combinazione

$$\Rightarrow W_1 = G_1 + \psi_{neve} \cdot Q_{neve} + \psi_{sovr} \cdot Q_{sovr}$$

λ coefficiente di edificio con $\lambda = 0.85$ per almeno tre piani

$\lambda = 1$ per meno di tre piani o edifici irreg. in altezza

$$\frac{z_i \cdot \sum_j (W_j)}{\sum_j (z_j \cdot W_j)} = \gamma_i \text{ coefficiente di distribuzione azioni sismiche}$$

γ_I fattore di importanza della costruzione

**Forza statica equivalente
in direz. trasversale**

$$F_a = W_a \cdot S_a \cdot \gamma_I / q_a = 0.33 \cdot W_a \cdot S_a \cdot \gamma_I$$

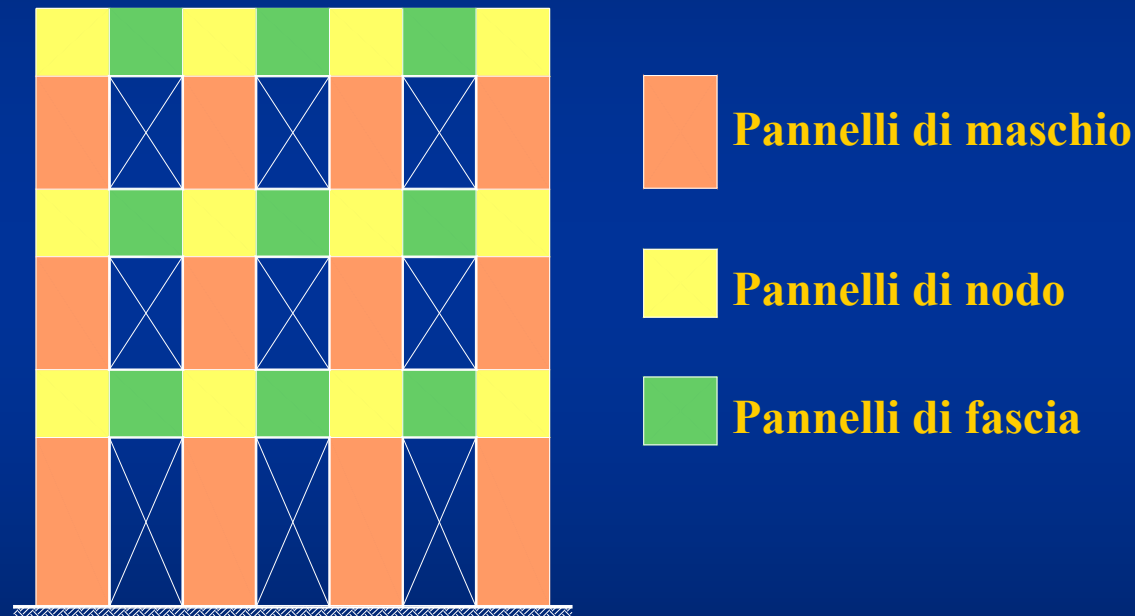
S_a coefficiente sismico

$$\text{con } S_a = \frac{a_g \cdot S}{g} \cdot \left(1.5 \cdot \left(1 + \frac{z}{H} \right) - 0.5 \right) \geq \frac{a_g \cdot S}{g}$$

L'ANALISI STATICA LINEARE È CONSENTITA SOLO PER COSTRUZIONI NUOVE O ESISTENTI, ANCHE IRREGOLARI IN ALTEZZA, PURCHÉ SIA: $T_1 \leq 2.5 T_C$ e $H \leq 40$ m

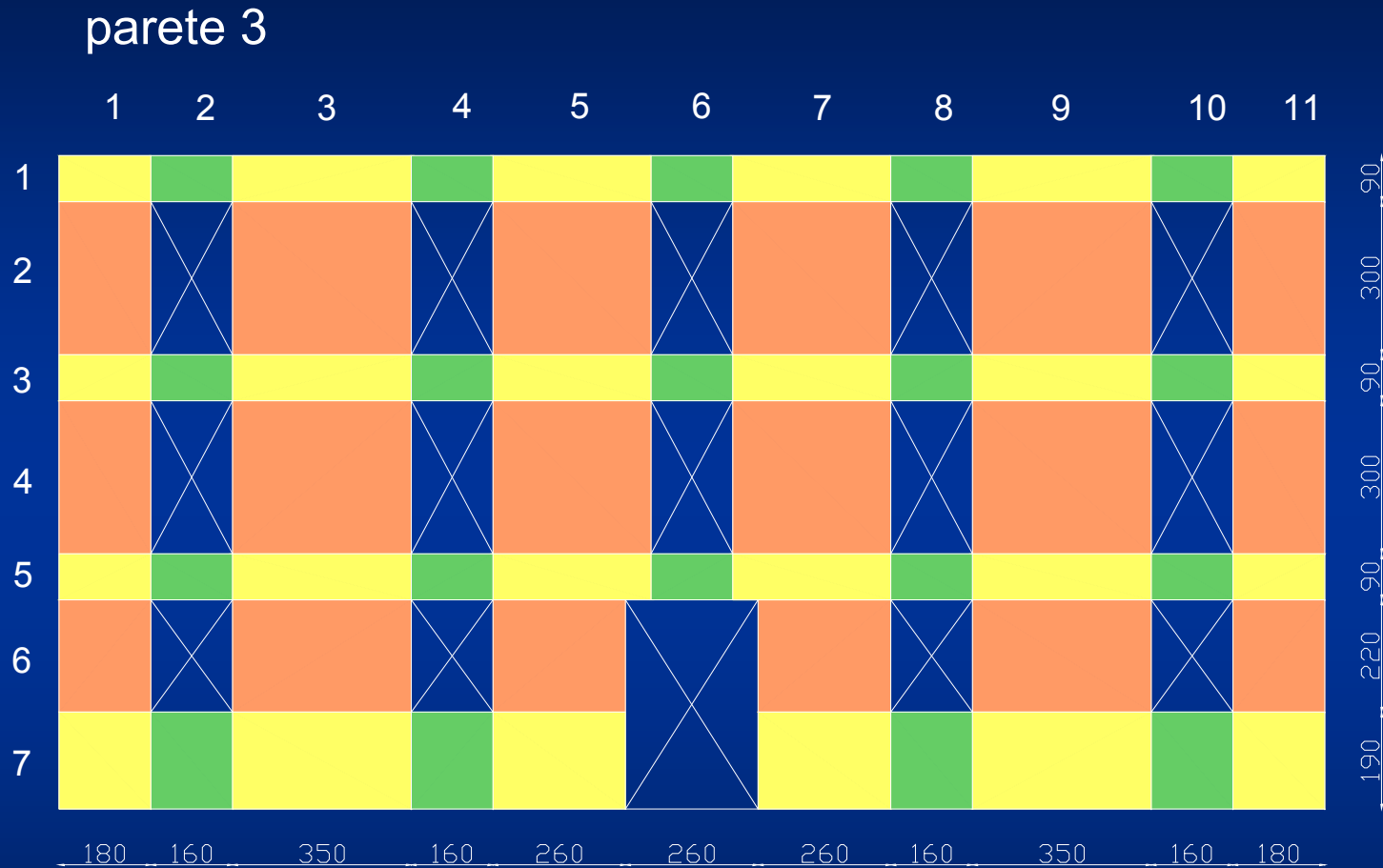
B) - ANALISI DA CONDURRE PER CIASCUNA PARETE

B.1 - Discretizzazione in *pannelli di maschio*, *di fascia* e *di nodo*



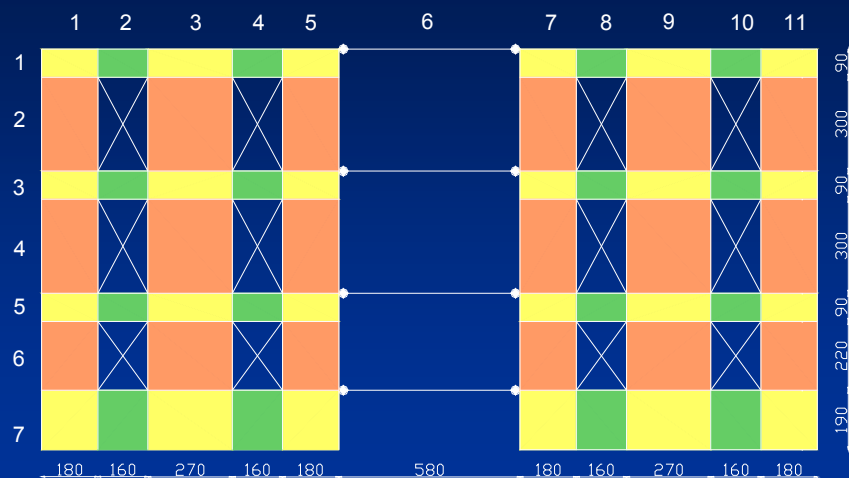
B.2 - Definizione della geometria di ciascun pannello

B.3 - Definizione delle caratteristiche elasto-meccaniche di ogni pannello

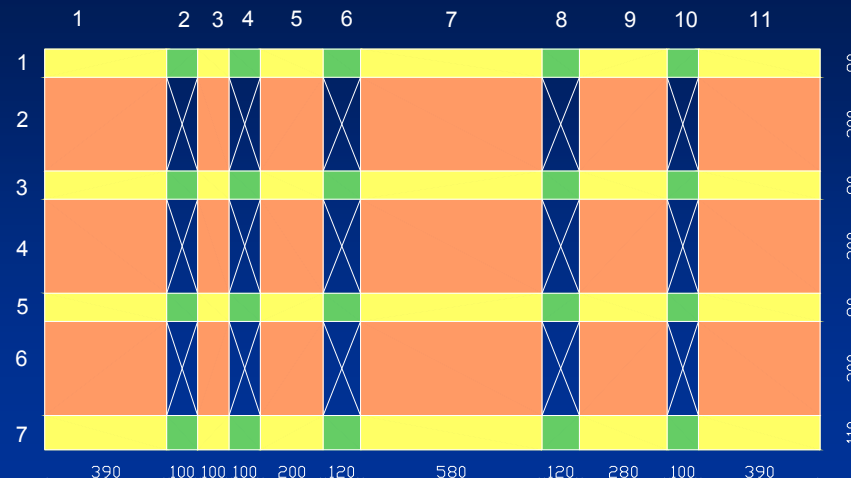


Parete oggetto di analisi strutturale

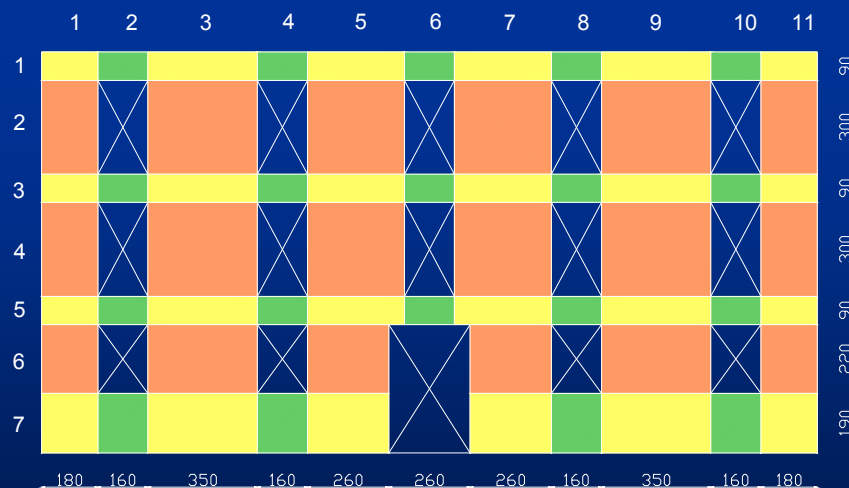
parete 1



parete 2



parete 3



Pannelli di nodo



Pannelli di maschio



Pannelli di fascia



Pareti resistenti in direzione x : sezioni verticali

B.4 - Determinazione forze verticali applicate a ciascun pannello

B.5 - Determinazione forze orizzontali applicate a ciascun pannello

La ripartizione delle risultanti orizzontali di piano tra i pannelli di maschio che compongono ciascuna parete ad ogni piano va effettuata in proporzione alle rispettive rigidezze elastiche alla traslazione (flessionali e taglianti)

$$k = \frac{1}{\frac{H^3}{12 \cdot E \cdot I} + 1,2 \cdot \frac{H}{G \cdot A}} = \frac{1}{\frac{H}{B \cdot s} \cdot \left[\frac{1}{E} \cdot \left(\frac{H}{B} \right)^2 + \frac{1,2}{G} \right]}$$

Prevale il termine flessionale o quello tagliante in funzione del rapporto H/B

C) - VERIFICHE PER AZIONI NON SISMICHE SU OGNI PANNELLO (DM § 5.4.6)

C.1 - Determinazione dello sforzo normale $N = R$

con : R_{ij} risultante delle azioni verticali

C.2 - Determinazione dell'eccentricità di $N = R$

⇒ eccentricità da costruzione

⇒ eccentricità strutturali r

⇒ eccentricità accidentali $a = h/200$

⇒ eccentricità da azioni orizzontali trasversali $t = M/N$

C.4 - Determinazione delle eccentricità convenzionali: e

⇒ $e = |r| + a$

⇒ $e = (|r| + a) / 2 + |t|$

C.5 - Determinazione del coefficiente di eccentricità convenzionale $\varepsilon = 6 e / s$

C.6 - Determinazione delle eccentricità convenzionali: $\lambda = \rho h / s$

C.7 - Determinazione del coefficiente $\Phi = f(\lambda, \varepsilon)$ di riduzione della resistenza

C.8 – Verifica SLU a presso-flessione in direzione trasversale

$$N_d \leq \Phi B s f_d$$

C.9 – Verifica SLU a sforzo normale concentrato

$$N_{dc} \leq \beta_c A_c f_d$$

con : β_c coeff. di amplificazione (unitario per elem. non di Categoria I)

A_c area di appoggio

C.10 – Verifica SLU a presso-flessione in direzione longitudinale

$$M_d \leq M_{Rd}$$

C.11 – Verifica SLU a taglio in direzione longitudinale

$$V_{dV} \leq \beta B s f_{vd}$$

con : β coeff. di parzializzazione del pannello

C.12 – Verifica SLE (solo se l'edificio è più alto di 4 piani)

$$d_r \leq 3 h / 1000$$

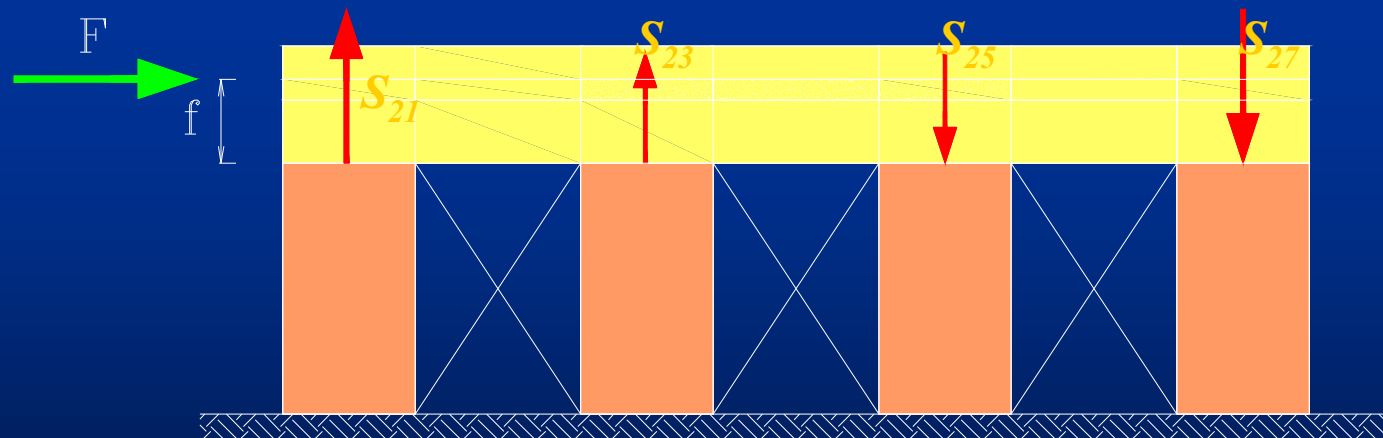
con : d_r spostamento relativo all'interpiano h

D) - ANALISI DA CONDURRE PER OGNI PIANO DI CIASCUNA PARETE

D.1 - Determinazione sforzo normale $N_{ij} = R_{ij} + S_{ij}$ su ogni pannello (DM § 5.4.5)

con : R_{ij} risultante delle azioni verticali

S_{ij} variazione dello sforzo normale dovuto alle azioni orizzontali.



RESISTENZE DI PROGETTO (DM § 5.4.6.1)

Per sforzo normale centrato e a presso-flessione : $f_d = f_k / \gamma_m \gamma_{Rd}$

Per sforzo tagliante : $f_{vd} = f_{vk} / \gamma_m \gamma_{Rd}$

con: f_k **Resistenza caratteristica della muratura a compressione**

con: f_{vk} **Resistenza caratteristica della muratura a taglio**

γ_m **Coefficiente parziale di sicurezza:**

$\gamma_m = 2,0$ per elementi di Categoria I

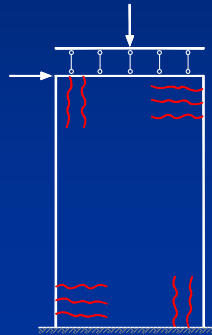
$\gamma_m = 2,5$ per elementi naturali o di Categoria II

γ_m **Coefficiente parziale di modello:**

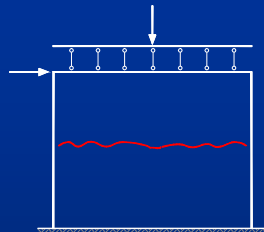
$\gamma_{Rd} = 1,2$ per verifiche allo SLU

$\gamma_{Rd} = 2,0$ per verifiche alle tensioni

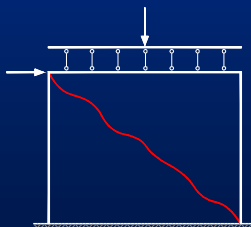
MECCANISMI DI COLLASSO PER PANNELLI SOLLECITATI DA N e V
(dipendenti dalla geometria B/H e dallo sforzo normale applicato N)



Modalità di collasso per presso-flessione



Modalità di collasso per taglio da scorrimento



Modalità di collasso per taglio da trazione

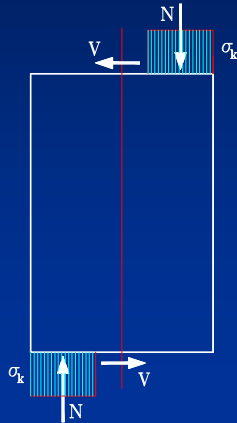


Collasso per presso-flessione



Collasso per taglio da trazione

RESISTENZA DEI PANNELLI DI MASCHIO PER PRESSO-FLESSIONE



Stato Limite Plastico o Stato Limite Ultimo

$$\bar{V}_p = \frac{V_p}{N_u} = \frac{B}{H} \cdot \left(\frac{N}{B \cdot s \cdot f_d} - \left(\frac{N}{B \cdot s \cdot f_d} \right)^2 \right) = \frac{B}{H} \cdot (\bar{N} - \bar{N}^2)$$

RESISTENZA DEI PANNELLI DI MASCHIO PER TAGLIO DA TRAZIONE

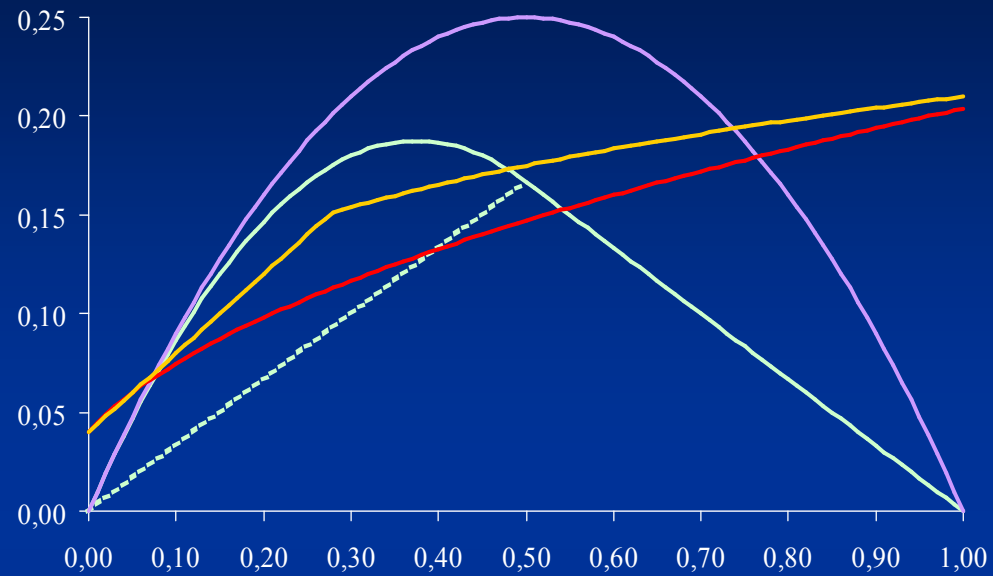
$$\bar{V}_t = \frac{V_t}{N_u} = \frac{f_{vod}}{f_d} \cdot \sqrt{1 + \frac{N}{B \cdot s \cdot f_d} \cdot \frac{f_d}{f_{vod}} \cdot \frac{1}{p}} = \beta \cdot \sqrt{1 + \frac{\bar{N}}{p \cdot \beta}}$$

RESISTENZA DEI PANNELLI DI MASCHIO PER TAGLIO DA SCORRIMENTO

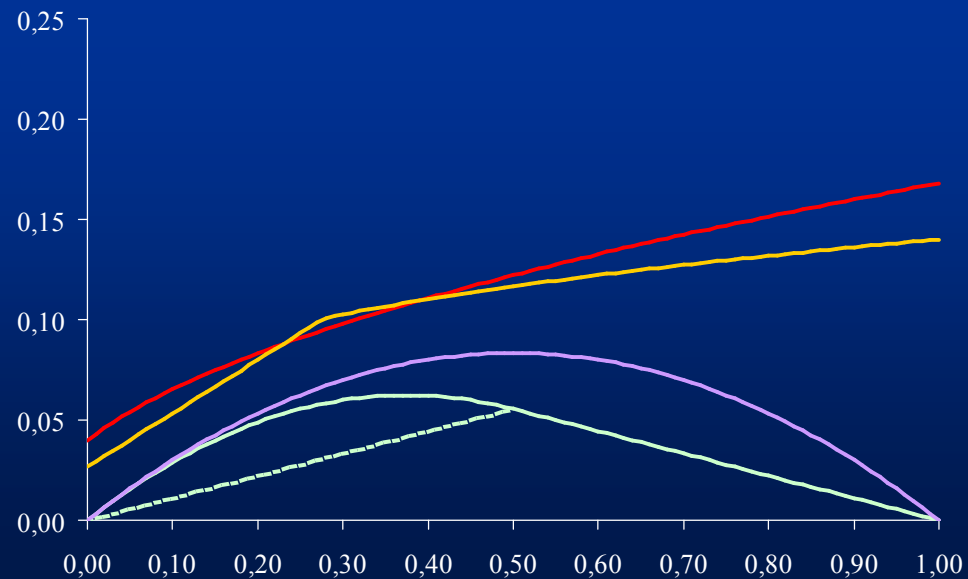
$$\bar{V}_a = \frac{V_a}{N_u} = \frac{1}{p} \cdot \left(\frac{f_{vod}}{f_d} + \mu_a \cdot \frac{N}{B \cdot s \cdot f_d} \right) = \frac{1}{p} \cdot (\gamma + \mu_a \cdot \bar{N})$$

DOMINI DI CRISI

**Pannello di maschio
"tozzo"**



**Pannello di maschio
"snello"**



E) - VERIFICHE PER AZIONI SISMICHE SU OGNI PANNELLO (OPCM 8.2.2)

E.1 – Verifica SLU a presso-flessione in direzione longitudinale

$$V_d \leq V_f = \frac{M_u}{H} = \frac{B \cdot N}{2 \cdot H} \left(1 - \frac{N}{0,85 \cdot f_d \cdot B \cdot s} \right)$$

E.2 – Verifica SLU a taglio in direzione longitudinale

$$V_{dV} \leq b \ s \ f_{vd} \leq \beta_l \ B \ s \ f_{vd}$$

con : b lunghezza reagente della sezione e β coeff. di parzializzaz. del pannello

E.3 – Verifica SLU a taglio in direzione trasversale

$$F_a \leq 0.85 \ f_{vd} \ B \ s' \ (s - s') / 2 \ d$$

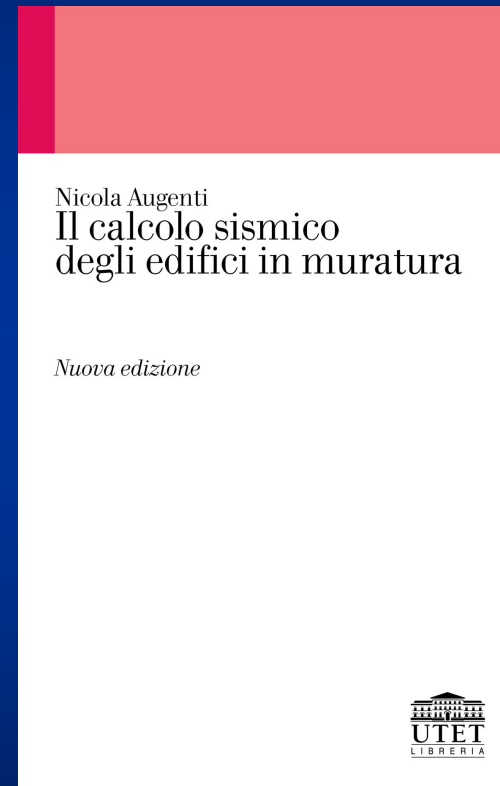
con : s' larghezza reagente della sezione

E.4 – Verifica SLU “travi in muratura” a flessione e taglio

RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO

Prima edizione 2000 ⇒ esaurita
Nuova edizione 2004

- **Caratteristiche dei materiali e prove**
- **Verifiche per azioni non sismiche**
- **Analisi sismica con metodo RAN**
- **Normativa**
- **Esempi applicativi**





Progetto esecutivo 2005 / 2008 – Linea di Ricerca 1

VALUTAZIONE E RIDUZIONE DELLA VULNERABILITÀ DI EDIFICI IN MURATURA

OBIETTIVI: *Aggregati edilizi*

Caratteristiche dei materiali e modalità di prova

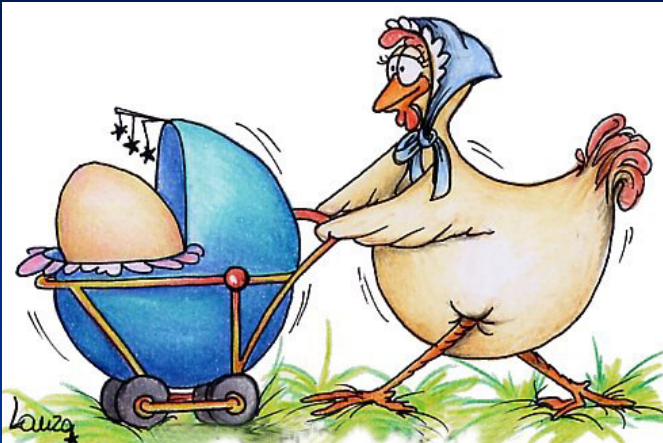
Modellazione e metodi di analisi

Comportamento delle fasce di piano

Vulnerabilità degli edifici

Modalità di consolidamento

Emanazione di documenti ad uso professionale



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II - FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

Nascita nuovo Insegnamento: 11 aprile 2006

Inizio nuovo Corso: 27 febr. 2007

“DIAGNOSI E TERAPIA DEI DISSESTI STRUTTURALI”

- Programma:**
- Patologie strutturali
 - Fattori di rischio
 - Diagnosi dei dissesti
 - Interventi di assicurazione
 - Analisi dei crolli
 - Ingegneria forense
 - Terapia dei dissesti

GRAZIE PER L'ATTENZIONE