COMMITTENTE:

RODRIQUEZ
CANTIERI NAVALI S.P.A.
VIA S. RAINERI 22
95122 MESSINA
Società soggetta all'attività di direzione e coordinamento di IMMSI S.p.A.

PROGETTO URBANISTICO
E ARCHITETTONICO:

ING. MICHELE MINISTERI
ARCH. VITTORIO GRATTAROLA
ARCH. PAOLO BANDINI

PROGETTO IDRAULICO
MARITTIMO:

ACQUA
TECNO
ING. PAOLO TURBOLENTE

Dott. Ing. MICHELE MINISTERI
Iscritto all' Albo di Messina
Matric. 868
MESSINA

Rodriquez Cantieri Navali SpA
Amministratore Delegato
Livio Corghi

Regione Liguria
Provincia di Savona
Comune di Pietra Ligure

S.U.A. Strumento urbanistico attuativo
di approvazione regionale L. 24 / 87

D.P.R. 509/97
Decr. Min. Trasporti e Navigazione 14.04.98
Conf. Servizi L. 241/90 e s.m.i.

PROGETTO PER LA TRASFORMAZIONE URBANISTICA DEI CANTIERI NAVALI RODRIQUEZ IN UN PORTO TURISTICO CON ANNESSE STRUTTURE PUBBLICHE, RICETTIVE, RESIDENZIALI E PRODUTTIVE



PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO STRUTTURALE

Ex-Mensa
Calcoli strutturali

OPERA	FASE	SETTORE	TAVOLA N°	REV	FILE
OA	PD	ST	D301	0	

	GIUGNO 2012	0		
Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE	SCALA

INDICE

1 PREMESSE 4

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 5

2.1 Normativa emessa dallo stato italiano 5
2.2 Normativa emessa da enti pubblici 5
2.3 Riferimenti bibliografici 6

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI 6

3.1 Acciaio per carpenteria metallica 6
3.2 Saldature 6
3.3 Unioni bullonate 6
3.4 Calcestruzzo per getti in opera elevazioni Rck ≥ 40 N/mm2 6

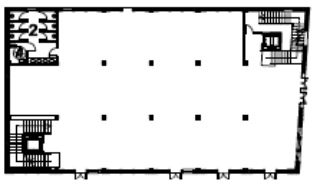
4 CRITERI DI VERIFICA PER IL CLS 7

4.1 Verifiche agli Stati Limite Ultimi 7
4.1.1 Verifica per sollecitazioni di presso/tenso-flessione 7
4.1.2 Verifica per sollecitazione tagliante 7
4.2 Verfifiche agli Stati Limite di esercizio 8
4.3 Verifiche a fessurazione 8
4.3.1 Premessa 8
4.3.2 Valutazione della distanza media tra le fessure 10
4.3.3 Valutazione della deformazione media delle barre d'armatura 10
4.3.4 Valutazione dell'ampiezza delle fessure (valore medio e valore di calcolo) 11

5 CRITERI DI RIPARAZIONE E RAFFORZAMENTO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI 12

1 PREMESSE

La presente relazione riporta e commenta l'analisi del recupero dell'attuale fabbricato ex mensa, per il quale è previsto un cambio di destinazione d'uso ai vari piani, opera prevista nel quadro di realizzazione del progetto definitivo per la trasformazione urbanistica e produttiva dei Cantieri Navali Rodriquez a Pietra Ligure, con annesse strutture pubbliche, ricettive, residenziali e portuali diportistiche.
La struttura esistente è in c.a. e risale agli anni '20, si eleva in altezza di 17.6 ed ha dimensioni rettangolari in pianta pari a 18.05x33.2m circa. Per il recupero di tale edificio, a causa del cambiamento della destinazione d'uso, saranno previsti, dopo l'esecuzione di adeguate prove in situ atte a determinare l'effettiva resistenza degli elementi strutturali, dei rinforzi dei solai mediante getti integrativi in cls e reti elettrosaldate; mentre per quanto concerne i pilastri verranno eseguiti degli interventi di riparazione e rafforzamento strutturale o mediante calastrellatura metallica o mediante FRP. Tali interventi saranno stabiliti in maniera esatta in fase esecutiva, una volta noti i risultati delle prove in situ sulla struttura esistente. In questa relazione viene illustrata una panoramica delle possibili tecniche di riparazione e rafforzamento delle strutture in esame.



PIANTA PIANO TERRA



PROSPETTO EST

In base alla nuova normativa sismica contenuta nelle "*Norme Tecniche per le Costruzioni*", si attribuisce all'opera una vita nominale di 50 anni (tipo di costruzione 2: opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale) ed una classe d'uso III: il periodo di riferimento per l'azione sismica risulta pertanto pari a 75 anni.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

I calcoli sviluppati nel seguito sono stati svolti nello spirito del metodo *"agli Stati Limite"* e nel rispetto della normativa vigente; in particolare si sono osservate le prescrizioni contenute nelle seguenti normative.

2.1 Normativa emessa dallo stato italiano

- Ministero delle Infrastrutture - D.M. 14/01/2008: "Nuove norme tecniche per le costruzioni";
- Legge n.1086 del 05/11/1971: "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Legge n.64 del 02/02/1974: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- Circ.Min. n°617 del 02/02/2009: "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008";
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale (febbraio 2008): "Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive";
- Ministero dei LL.PP. - D.M. 11/03/1988: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Ministero dei LL.PP. - Circ. n°30483 del 24/09/1988: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

2.2 Normativa emessa da enti pubblici

- **CNR-10016/2000:** "Travi composte in acciaio e calcestruzzo: istruzioni per l'impiego nelle costruzioni";
- **CNR-10011/97:** "Costruzioni in acciaio: Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo, la manutenzione";
- **CNR-10030/87:** "Anime irrigidite di travi a parete piena";
- **CNR-10018/85:** "Apparecchi d'appoggio in gomma e PTFE nelle costruzioni: Istruzioni per il calcolo e l'impiego";
- **CNR-DT 207/2008:** "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni";
- **UNI EN 197-1:** "Cemento - Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni.
- **UNI EN 206-1:** "Calcestruzzo - Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità".
- **UNI 11104/2004:** "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1".

2.3 Riferimenti bibliografici

Castellani: **Costruzioni in zona sismica**
Masson Italia Editori 1983

Migliacci – F. Mola: **Progetto agli stati limite delle strutture in c.a.**
Masson Italia Editori 1985

C. Cestelli Guidi: **Geotecnica e tecnica delle fondazioni**
Ulrico Hoepli Editore 1987

R. Lancellotta: **Geotecnica**
Edizioni Zanichelli 1987

Ballio G., Mazzolani F.M.**Strutture in acciaio** *Ulrico Hoepli Editore – 2000*

Bowles J.E.: **Fondation Analysis and Design 4th edition**
McGraw-Hill – New York, 1988

Edward L. Wilson: **Three dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures**
A physical approach with emphasis on earthquake engineering
CSI Berkeley CA, USA 1998

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 Acciaio per carpenteria metallica

Si utilizza un acciaio strutturale resistente agli agenti atmosferici tipo **S-355 J0**, conforme alle norme UNI EN 10025-2, con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Modulo elastico	E =	210000	N/mm^2
Tensione caratteristica di snervamento (t ≤ 40 mm)	f_{yk} =	355.00	N/mm^2
Tensione caratteristica di rottura (t ≤ 40 mm)	f_{tk} =	510.00	N/mm^2
Coefficiente di sicurezza per resistenza membrature	γ_{M0} =	1.05	--
Coefficiente di sicurezza per instabilità nei ponti	γ_{M1} =	1.10	--
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese	γ_{M2} =	1.25	--
Resistenza di calcolo membrature (t ≤ 40 mm)	f_d =	338.10	N/mm^2
Resistenza di calcolo per instabilità (t ≤ 40 mm)	f_d =	322.73	N/mm^2
Resistenza di calcolo sezioni tese (t ≤ 40 mm)	f_d =	284.00	N/mm^2

3.2 Saldature

In base a quanto riportato in D.M. 14/01/2008 paragrafo 11.3.4.5, la saldatura degli acciai dovrà avvenire con uno dei procedimenti all'arco elettrico codificati secondo la norma UNI EN ISO 4063:2001.
In particolare tutte le saldature delle membrature principali dovranno essere a **completo ripristino di I classe**.
Le saldature delle orditure secondarie saranno **a cordoni d'angolo continue**, con spessore di gola minimo pari a 0.7 volte lo spessore minimo da unire.

3.3 Unioni bullonate

Si utilizzano bulloni ad alta resistenza di **classe 10.9**.
Per le caratteristiche meccaniche si fa riferimento a quanto riportato nel paragrafo 11.3.4.6.1 del D.M. 14/01/2008.

3.4 Calcestruzzo per getti in opera elevazioni Rck ≥ 40 N/mm2

Classe di esposizione	XS1
Rapporto massimo acqua/cemento	0.50
Classe di resistenza	C32/40
Contenuto minimo di cemento	340
Tipo di cemento	CEM I÷II
Slump	S4
Diametro massimo inerte	16 mm

Classe di Resistenza				**C32/40**	
Resistenza caratteristica a compressione cubica	R_{ck}	=		**40.00**	N/mm^2
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	f_{ck}	=	$0.83 \cdot R_{ck}$	= 33.20	N/mm^2
Resistenza media a compressione cilindrica	f_{cm}	=	$f_{ck}+8$	= 41.20	N/mm^2
Modulo elastico	E_c	=	$22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3}$	= 33642.78	N/mm^2
Resistenza a trazione semplice	f_{ctm}	=	$0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$	= 3.10	N/mm^2
Resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)	f_{ctk}	=	$0.70 \cdot f_{ctm}$	= 2.17	N/mm^2
Stato Limite Ultimo					
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_C	=		1.50	--
Coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata	α_{cc}	=		0.85	--
Resistenza a compressione di calcolo	f_{cd}	=	$\alpha_{cc} \cdot f_{ck}/\gamma_C$	= 18.81	N/mm^2
Resistenza a trazione di calcolo	f_{ctd}	=	f_{ctk}/γ_C	= 1.45	N/mm^2
Stato Limite di Esercizio					
Tensione max di compressione - Comb. rara	σ_c	<	$0.60 \cdot f_{ck}$	= 19.92	N/mm^2
Tensione max di compressione - Comb. quasi permanente	σ_c	<	$0.45 \cdot f_{ck}$	= 14.94	N/mm^2

4 CRITERI DI VERIFICA PER IL CLS

4.1 Verifiche agli Stati Limite Ultimi

4.1.1 Verifica per sollecitazioni di presso/tenso-flessione

Come previsto dal DM 14.01.2008 al § 4.1.2.1.2.4 con riferimento alla generica sezione la verifica di resistenza allo SLU si esegue controllando che:

$$M_{Rd} \quad M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove:

- M_{Rd} è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a N_{Ed};
- N_{Ed} è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;
- M_{Ed} è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

4.1.2 Verifica per sollecitazione tagliante

Per la verifica a sollecitazione tagliante si esegue dapprima la verifica degli *elementi senza armature resistenti a taglio,* secondo quanto previsto dal Ministero delle Infrastrutture nel D.M. 14.01.2008 al punto 4.1.2.1.3.1.
Indicato con V_{Ed} il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente allo SLU, si verifica controllando che risulti:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = \max\left\{ 0.18 \cdot k \cdot \frac{\sqrt[3]{100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d;\ (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

dove:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \qquad \text{con d altezza utile della sezione espressa in mm}$$

$v_{min} = 0.035 \cdot \sqrt{k^3} \cdot \sqrt{f_{ck}}$

$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02$ con b_w larghezza minima della sezione espressa in mm

$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 \cdot f_{cd}$ tensione media di compressione nella sezione

Qualora la verifica non andasse a buon fine è necessario ricorrere ad *elementi provvisti di armature resistenti a taglio* secondo quanto previsto al punto 4.1.2.1.3.2 del già citato D.M..
Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "*taglio-trazione*" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\mathrm{ctg}\alpha + \mathrm{ctg}\vartheta) \cdot \sin\alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "*taglio-compressione*" si calcola con:

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{\mathrm{ctg}\alpha - \mathrm{ctg}\vartheta}{1 + \mathrm{ctg}^2\vartheta}$$

La resistenza a taglio dell'elemento strutturale è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$$

Nelle precedenti espressioni, i nuovi parametri, introdotti rispetto al caso di elementi sprovvisti di armatura a taglio, assumono il seguente significato:

ϑ	inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento con la limitazione $1.0 \leq \mathrm{ctg}\vartheta \leq 2.5$
α	inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento
A_{sw}	area dell'armatura trasversale
s	interasse tra due armature trasversali consecutive
$f'_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$	resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima
α_c	coefficiente maggiorativi pari a:

1	per membrature non compresse
$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0.25 \times f_{cd}$
1.25	per $0.25\ f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0.5 \times f_{cd}$
$2.5 \times (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0.5 \times f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

4.2 Verifiche agli Stati Limite di esercizio

Le verifiche agli SLE si risolvono nel controllare che i valori di tensione nei materiali siano inferiori ai limiti di normativa (punto 4.1.2.2.5 del D.M. 14.01.2008).

- Calcestruzzo compresso:
  - Combinazione rara $\sigma_c < 0.60 \times f_{ck}$ per cls R_{ck} 40 $\rightarrow \sigma_c < 19.92$ N/mm^2
  - Combinazione quasi permanente $\sigma_c < 0.45 \times f_{ck}$ per cls R_{ck} 40 $\rightarrow \sigma_c < 14.94$ N/mm^2
- Acciaio teso:
  - Combinazione rara $\sigma_s < 0.80 \times f_{yk}$ per acciaio B450 $\rightarrow \sigma_s < 360.0$ N/mm^2

4.3 Verifiche a fessurazione

4.3.1 Premessa

Viene eseguita la verifica allo stato limite di apertura delle fessure con riferimento al D.M. 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" (§ 4.1.2.2.4).

Prima di procedere alle verifiche a fessurazione è necessario definire delle apposite combinazioni di carico ed effettuare una valutazione relativa al grado di protezione delle armature metalliche contro la corrosione (in termini di condizioni ambientali e sensibilità delle armature stesse alla corrosione).
Si distinguono i seguenti casi (riportati nella tabella 4.1.II del D.M. 14.01.2008):

- ***Combinazioni di azioni:***
  - Frequente (indicata con FR);
  - Quasi Permanente (indicata con QP).
- ***Condizioni ambientali:***
  - Ordinarie;
  - Aggressive;
  - Molto Aggressive.
- ***Sensibilità delle armature alla corrosione:***
  - Sensibili (acciai da precompresso);
  - Poco sensibili (acciai ordinari).

Come criteri di scelta dello stato limite di fessurazione si fa riferimento alla tabella di seguito riportata.

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi perman.	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi perman.	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi perman.	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Si considerano i seguenti valori limite di apertura delle fessure: w_1 = 0.2 mm;
w_2 = 0.3 mm;
w_3 = 0.4 mm.

Con l'ausilio del programma di calcolo "STS Stati Limite", si procede al calcolo del valore caratteristico dell'ampiezza della fessura w_d, confrontandolo con i valori limite precedentemente definiti.

Il calcolo è condotto attraverso i seguenti passaggi:
- Valutazione della distanza media tra le fessure (A_{sm});
- Valutazione della deformazione media delle barre d'armatura (ε_{sm});
- Valutazione dell'ampiezza delle fessure (valore medio e valore di calcolo).

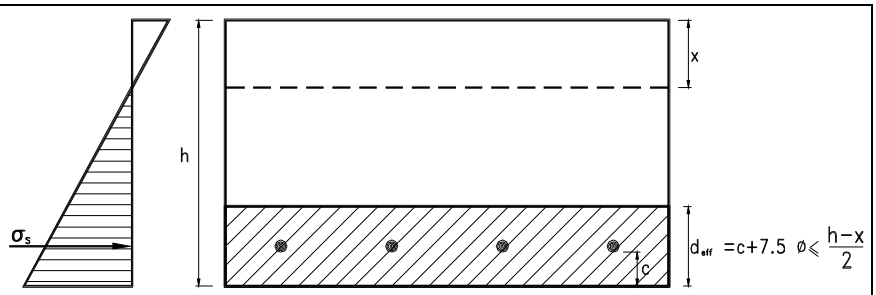
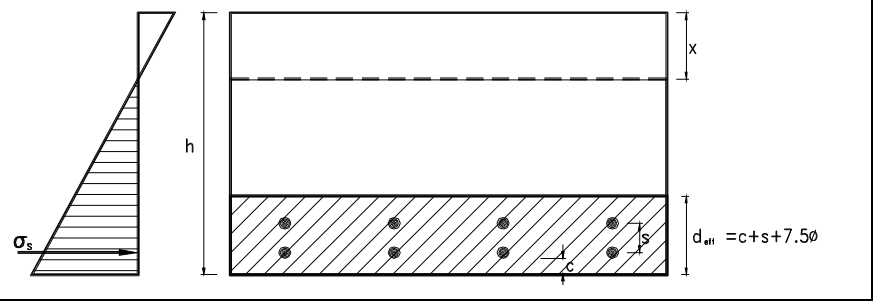
Per il calcolo di Δ_{sm} e ε_{sm} si utilizzano criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica: in particolare si fa riferimento alla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n°252 del 15/10/1996 (*"Istruzioni relative alle Norme Tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D.M. 09.01.1996"*).

In base alla tabella 4.1.III del D.M. 14.01.2008, le classi di esposizione individuate per le opere in esame riconducono a condizioni ambientali del tipo "Aggressive" e "Molto aggressive". Pertanto, secondo la tabella 4.1.IV:

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione	Armatura poco sensibile	
			Stato Limite	w_d
b	Aggressive (XS1)	Frequente	Apertura fessure	$\leq w_2$ = 0.3 mm
		Quasi permanente	Apertura fessure	$\leq w_1$ = 0.2 mm
c	Molto Aggressive (XS2)	Frequente	Apertura fessure	$\leq w2$ = 0.2 mm
		Quasi permanente	Apertura fessure	$\leq w1$ = 0.2 mm

4.3.2 Valutazione della distanza media tra le fessure

Si definisce l'area efficace A_{ceff} come l'area di calcestruzzo entro la quale la barra di acciaio può effettivamente influenzare l'apertura della fessura. In base alle indicazioni riportate nella Circ. Min. LL.PP. n°252, si definisce l'altezza efficace con riferimento agli schemi di seguito riportati.

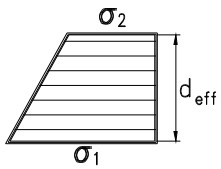
Caso 1: Lembo teso con un solo ordine di tondini d'armatura.	
Caso 2: Lembo teso con più livelli di tondini d'armatura.	

La distanza media tra le fessure, per la condizione di fessurazione stabilizzata in corrispondenza del livello baricentrico dell'armatura all'interno dell'area efficace, è data da:

$$\Delta_{sm} = 2 \cdot \left(c + \frac{s}{10} \right) + k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{\phi}{\rho_r}$$

dove:

- c = ricoprimento dell'armatura (copriferro netto);
- s = distanza tra le barre d'armatura; se $s > 14 \cdot \phi$ si adotterà $s = 14 \cdot \phi$;
- ϕ = diametro della barra;
- k_2 = coefficiente che caratterizza l'aderenza del cls alla barra, a cui si assegnano i seguenti valori:
  - 0.4 per barre ad aderenza migliorata;
  - 0.8 per barre lisce.
- k_3 = coefficiente che tiene conto della forma del diagramma delle tensioni prima della fessurazione, in base al seguente prospetto:
  - 0.125 (caso di diagramma triangolare di flessione e pressoflessione);
  - 0.250 (caso di trazione pura);
  - $0.25 \cdot \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2 \cdot \sigma_1}$ (caso di trazione eccentrica o in cui si consideri una sola parte della sezione):



  - σ_1, σ_2 = trazione nel cls teso;
  - $\rho_r = A_s/A_{ceff}$ = rapporto geometrico d'armatura (con A_s = area della sezione di acciaio posta nell'area A_{ceff}).

4.3.3 Valutazione della deformazione media delle barre d'armatura

La deformazione media delle barre d'armatura ε_{sm} è valutata secondo la seguente espressione che tiene conto del contributo del calcestruzzo teso che la circonda:

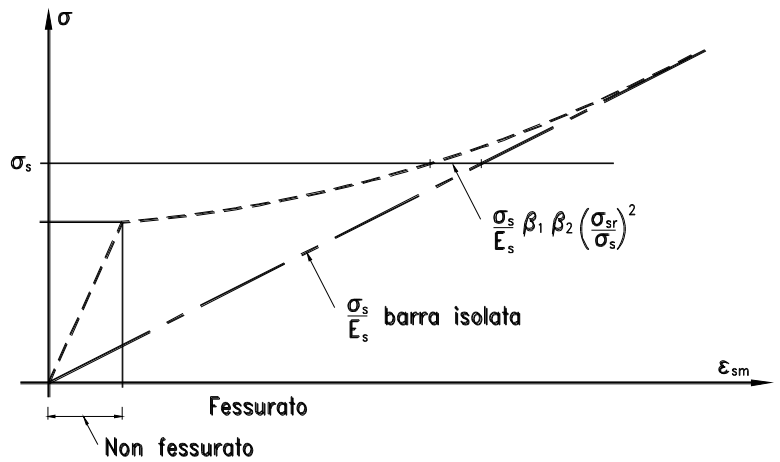
$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left| 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right| \geq 0.4 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

dove:

- σ_s = tensione nell'acciaio calcolata nella sezione fessurata;
- σ_{sr} = tensione nell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la sollecitazione corrispondente al raggiungimento della resistenza media a trazione f_{ctm} nella fibra di cls più sollecitata in sezione interamente reagente, compresa nell'area efficace.
- β_1 = coefficiente rappresentativo dell'aderenza acciaio-cls, che assume i valori:
  - 1.0 (caso di barre ad aderenza migliorata);
  - 0.5 (caso di barre lisce).
- β_2 = coefficiente che tiene conto delle condizioni di sollecitazione:
  - 1.0 (caso della prima applicazione di una forza di breve durata);
  - 0.5 (caso di azioni di lunga durata o nel caso di azioni ripetute).
- E_s = modulo elastico dell'acciaio delle barre di armatura.

In pratica si tratta di trovare i valori dell'azione assiale N e del momento flettente M (che stiano nello stesso rapporto delle sollecitazioni della combinazione di carico considerata) che portano il calcestruzzo teso della sezione completamente reagente a lavorare al suo limite. Una volta valutati, si opera la verifica della sezione parzializzata e si ricava il valore dello sforzo nell'acciaio teso.

Nella figura seguente si propone il diagramma della deformazione ε_{sm} in funzione della tensione σ_s.



Andamento della deformazione ε_{sm} in funzione della tensione σ_s

4.3.4 Valutazione dell'ampiezza delle fessure (valore medio e valore di calcolo)

L'ampiezza media delle fessure è calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura ε_{sm} per la distanza media tra le fessure Δ_{sm}:

$$w_m \quad \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{sm}$$

Si ricava quindi il valore di calcolo di apertura delle fessure, da confrontare con i valori nominali w_1, w_2 e w_3 riportati precedentemente:

$$w_d \quad 1.7 \cdot w_m$$

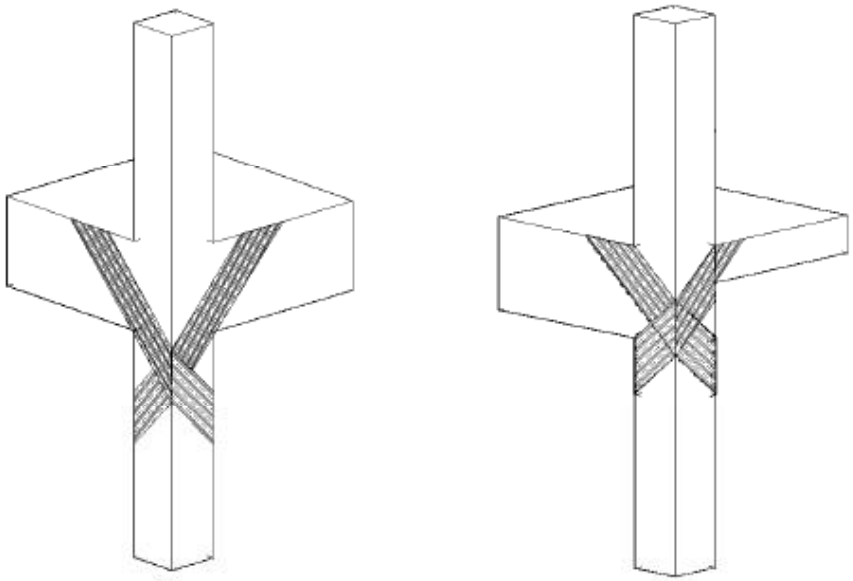
5 CRITERI DI RIPARAZIONE E RAFFORZAMENTO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Gli interventi sugli elementi strutturali, condotti per conseguire un rafforzamento locale e non una semplice riparazione, saranno finalizzati ad eliminare le principali carenze strutturali dell'edificio, che danno luogo ai danni e ai meccanismi di collasso che più frequentemente si manifestano e dunque a conseguire un maggiore livello di sicurezza della costruzione. Per quanto riguarda le strutture in c.a., l'attenzione viene concentrata in questo capitolo sui nodi trave-pilastro non confinati, che sono tipicamente quelli posti sul perimetro della struttura, o all'angolo (nodo d'angolo), ovvero in facciata (nodo intermedio). Nell'ambito delle possibili tecniche che il progettista può scegliere per il rafforzamento locale dei nodi non confinati, ci si limita qui ad analizzare possibili soluzioni basate su incamiciatura in acciaio, su placcatura e fasciatura con materiali compositi, su sistema CAM (Cerchiatura Attiva Manufatti, basata sull'uso di nastri pretesi che confinano in maniera attiva le membrature in calcestruzzo contrastando su pressopiegati metallici ad L e piastre imbutite) ai sensi del punto C8A.7 della Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009. Il proporzionamento dei rinforzi esterni di seguito descritti può essere condotto ai sensi delle Nuove Norme Tecniche (D.M. 14/01/08) e della relativa Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009. Per i materiali compositi, il progettista può riferirsi alle Istruzioni CNR-DT200 ed alle Linee Guida del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.
Nei suddetti tre casi, al fine di garantire comunque un buon comportamento d'insieme del sistema nodo-travi-pilastri, e garantire un significativo incremento della duttilità a tale sistema, e dunque alla struttura nel suo insieme, gli interventi proposti conseguono anche un incremento della resistenza a taglio delle travi e dei pilastri nelle loro parti terminali convergenti nel nodo ed un confinamento delle estremità dei pilastri, dove si concentrano le massime richieste di duttilità in pressoflessione.
Gli interventi vengono descritti nelle loro diverse componenti, ciascuna dedicata a prevenire un meccanismo di collasso. Ciononostante la perfetta riuscita dell'intervento dipende dal complesso di componenti messe in opera, e pertanto non è possibile adottare un intervento solo parzialmente eliminando una parte di tali componenti.

Criteri per il progetto del rafforzamento locale di nodi non confinati

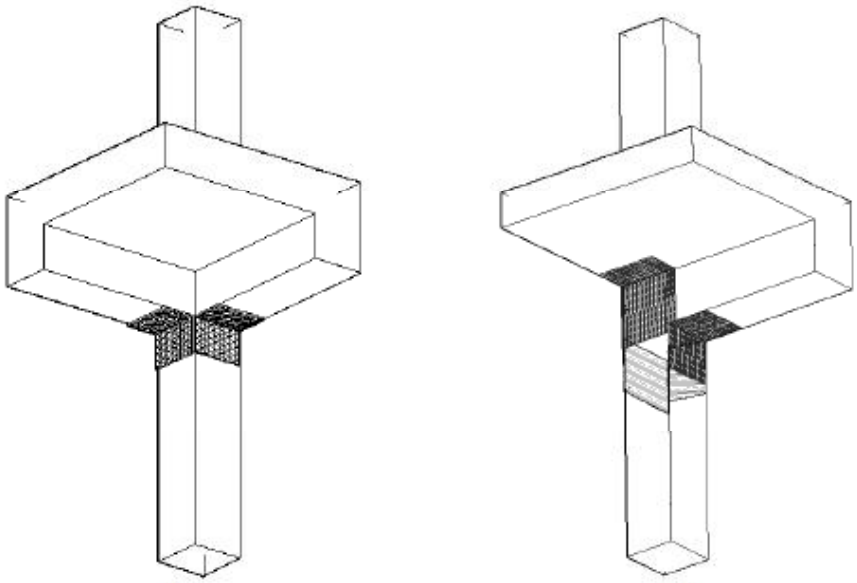
Le tipologie d'intervento proposte migliorano le prestazioni del nodo trave-pilastro mediante:
1) incremento della capacità del pannello di nodo e della porzione di sommità del pilastro rispetto all'azione di taglio esercitata dalla tamponatura.

Per determinare la forza che corrisponde all'attivazione di tale meccanismo si può fare riferimento, in maniera semplificata, al cosiddetto modello di "puntone equivalente" basato sulla formazione di bielle (puntoni equivalenti) accoppiate all'interno dell'ossatura strutturale secondo le due diagonali; si assume che esse siano alternativamente efficaci in funzione della direzione dell'azione sismica, essendo attive solo quelle compresse.
Ai fini dell'applicazione della procedura descritta si raccomanda di verificare che siano soddisfatte le ipotesi discusse al punto 1 dell'Allegato 2 della Circolare 10 aprile 1997, n. 65. Per conferire al nodo una maggiore capacità resistente nei confronti del meccanismo descritto, si propone, nel caso di utilizzo di materiali compositi, di realizzare un rinforzo esterno con tessuti metallici, ovvero, nel caso di incamiciatura in acciaio, mediante piastra sul pannello di nodo ed angolari metallici posti negli spigoli dei pilastri. Nel caso di utilizzo del sistema CAM, si propone di prevedere un rinforzo esterno che colleghi i pressopiegati ad L che confinano i pilastri al di sopra ed al di sotto del nodo; il predetto collegamento viene realizzato nel caso di un nodo d'angolo utilizzando un pressopiegato ad L continuo di maggiori dimensioni contenuto da nastri metallici ad alta resistenza e nel caso di un nodo intermedio con un piatto metallico saldato ai due pressopiegati posti sulla faccia esterna del pilastro; il piatto può essere posizionato sotto, sullo stesso piano o sopra alle ali dei pressopiegati; le saldature sono a cordone d'angolo nel primo e nel terzo caso, sono di testa nel secondo caso; lo spessore del cordone è pari allo spessore minimo dei piatti collegati.
Il proporzionamento di tale rinforzo può essere eseguito ipotizzando di affidare ad esso l'intera forza, H0, precedentemente definita. Si evidenza che, nel caso di sistema CAM, il quantitativo di rinforzo varia di poco al variare della posizione relativa fra piatto e ali dei presso piegati; inoltre, il numero massimo consigliato di nastri (spessore 0.9 mm) sovrapposti per ogni anello è di 6.
A complemento dell'intervento basato su compositi, è opportuno anche disporre delle fasce ad L di tessuto quadriassiale in fibra di carbonio poste all'intersezione delle travi con il pilastro in corrispondenza del nodo trattato



(a) (b)

Figura 22. Fasce diagonali con tessuto metallico unidirezionale su nodo d'angolo: (a) nodo con due travi emergenti; (b) nodo con una trave emergente ed una a spessore



(a) (b)

Figura 23. Fascia ad L di tessuto quadriassiale in fibra di carbonio poste all'intersezione delle travi con il pilastro di un nodo d'angolo: (a) nodo con due travi emergenti; (b) nodo con una trave emergente ed una trave a spessore

29

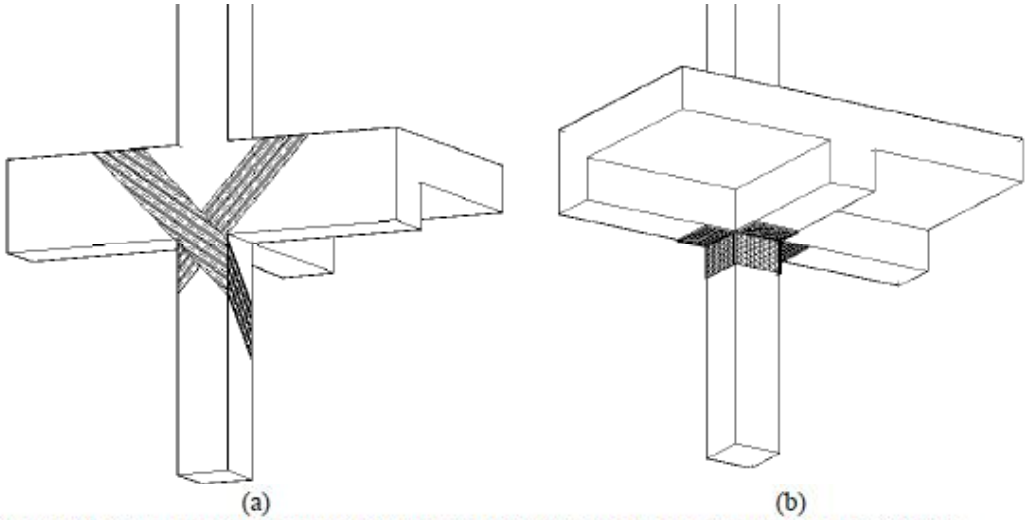


Figura 24. Fasce diagonali con tessuto metallico unidirezionale su nodo intermedio: (a) vista esterna; (b) vista interna

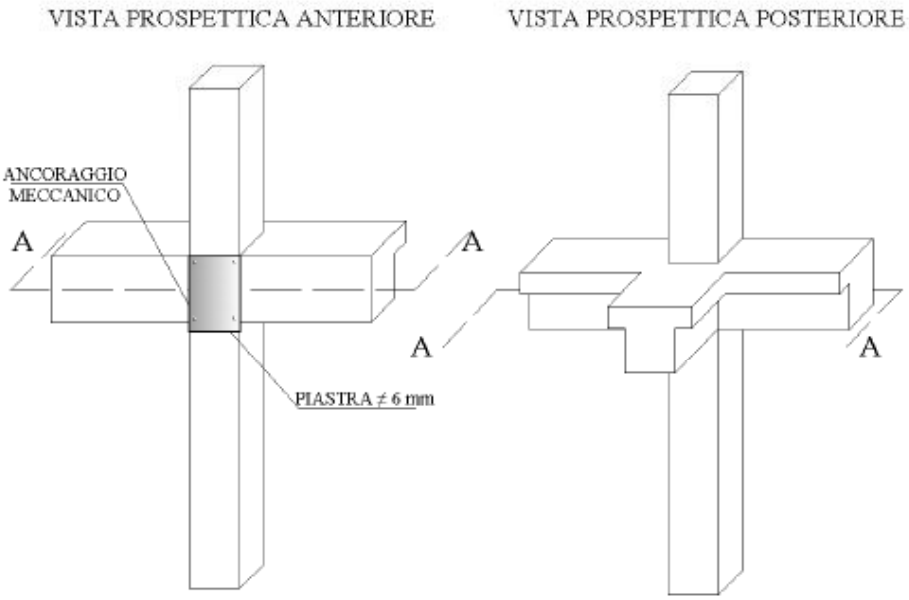


Figura 25. Piastra in acciaio sagomata sul pannello di nodo intermedio, adeguatamente distanziata dal supporto in c.a. e fissaggio della stessa, con tassellatura meccanica

30



Figura 28. Vista in sezione dello schema di cui alla Figura 27

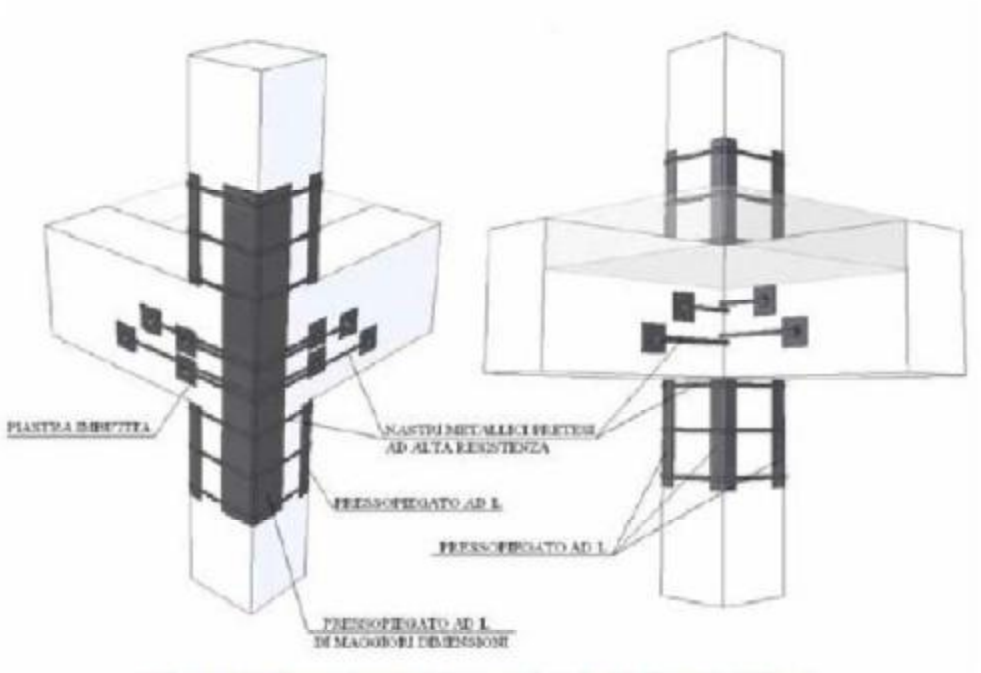
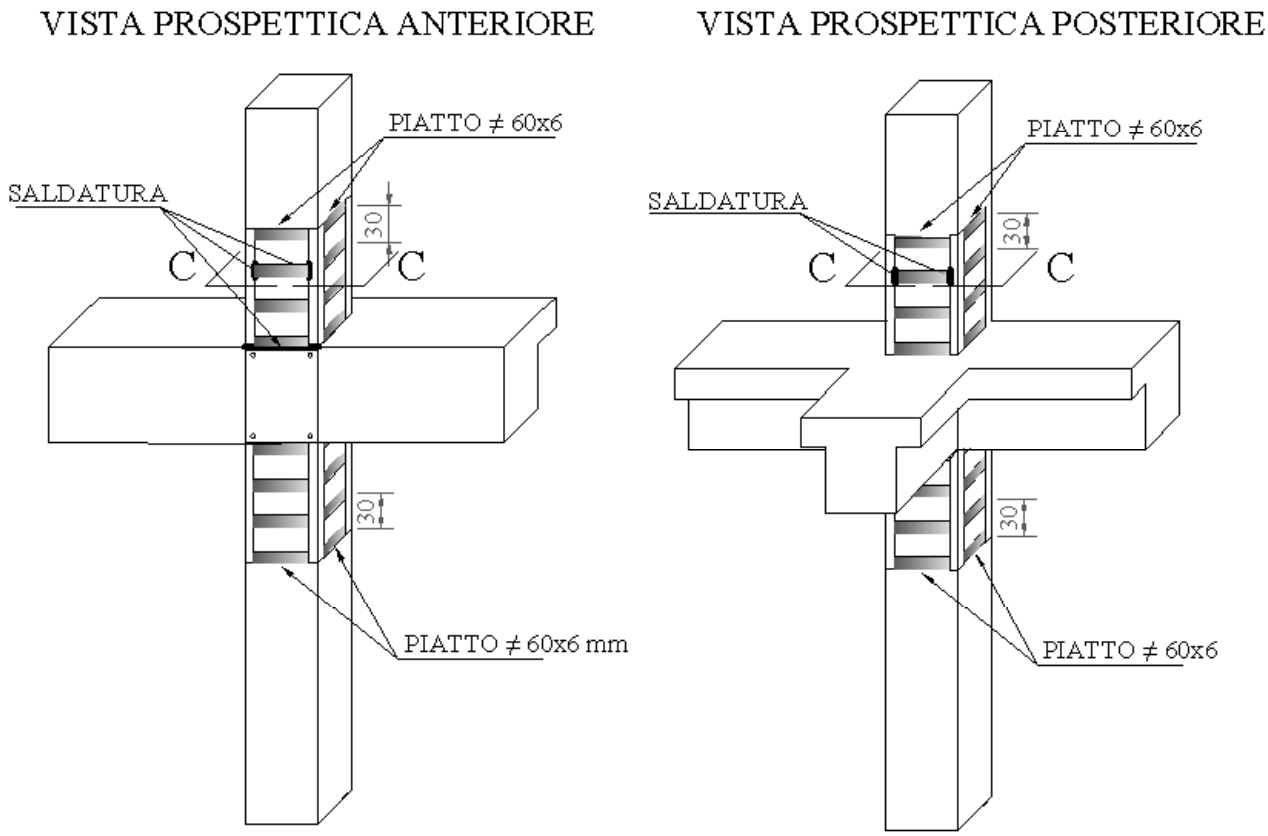


Figura 29. Pressopiegati ad L e nastri pretesi in un nodo d'angolo

32

2) incremento della resistenza a taglio del pannello di nodo. L'incremento di resistenza a taglio del pannello di nodo può essere conseguito, nel caso di utilizzo di materiali compositi, mediante disposizione di tessuto quadriassiale in carbonio ovvero, nel caso di utilizzo di incamiciatura in acciaio, di piastra metallica, ovvero,

nel caso di utilizzo del sistema CAM, con i nastri pretesi di acciaio ad alta resistenza posti in corrispondenza del nodo.
3) confinamento delle estremità dei pilastri. Il confinamento delle estremità dei pilastri consente di conferire alle stesse un significativo incremento della resistenza a taglio e della capacità deformativa; esso ha anche un effetto benefico nei riguardi della potenziale instabilità delle barre longitudinali laddove il passo delle staffe sia molto rado. Per l'estremità superiore del pilastro, l'incremento di resistenza a taglio conferita dal confinamento è anche benefico nei riguardi dell'azione tagliante aggiuntiva dovuta al puntone che si forma nella tamponatura. Il confinamento delle estremità dei pilastri può essere realizzato mediante fasciatura delle stesse con tessuto in carbonio unidirezionale se si utilizzano materiali compositi ovvero mediante calastrellatura nel caso di incamiciatura in acciaio ovvero mediante fasciatura con sistema CAM.



Calastrelli di altezza 60 mm e spessore 6 mm, saldati agli angolari metallici già posti in opera, attraverso una saldatura testa a testa a completa penetrazione oppure con cordone d'angolo se i calastrelli vengono sovrapposti agli angolari

4) incremento della resistenza a taglio delle estremità delle travi. L'incremento di resistenza a taglio delle estremità delle travi consente di prevenire una eventuale crisi per taglio, secondo un meccanismo fragile che potrebbe attivarsi nel caso in cui la resistenza del calcestruzzo è relativamente bassa e/o le armature a taglio sono carenti. Nel caso di utilizzo di materiali compositi, essa può essere realizzata mediante una fasciatura ad U con tessuto in carbonio unidirezionale che funge anche da ancoraggio per il rinforzo con tessuto quadriassiale del pannello di nodo (secondo quanto mostrato in Figura 43 per nodo d'angolo e in Figura 44 per nodo intermedio) ovvero, nel caso di incamiciatura metallica, mediante la disposizione di piastre metalliche (vedi da Figura 45 a Figura 48) ovvero, nel caso di sistema CAM, mediante la fasciatura della trave con nastri di acciaio ad alta resistenza contrastati su pressopiegati ad L all'intradosso e su piatti o piastre imbutite all'estradosso (ai fini di tale intervento è necessario eseguire la foratura del solaio.
Con riferimento al sistema CAM, si evidenzia che, in presenza di travi alte, l'intervento può essere realizzato anche senza forare il solaio, forando la trave orizzontalmente a livello dell'intradosso del solaio come descritto in Figura 49. Inoltre, un intervento che va oltre la sola riparazione o il rinforzo locale può prevedere l'inserimento di angolari dissipativi fra i pressopiegati ad L che cerchiano i pilastri e quelli che cerchiano le travi ; in questo caso la loro presenza introduce anche un rinforzo a flessione delle estremità di travi e pilastri con un ricondizionamento della gerarchia delle resistenze a vantaggio del pilastro e quindi è necessario

ricalcolare la struttura nel suo insieme. In questo caso è prevista la cerchiatura almeno del pilastro per tutta l'altezza.

Rinforzo a flessione di solai in c.a.

Tale rinforzo può essere realizzato, mediante materiali compositi, disponendo tessuti unidirezionali o lamine pultruse in fibra di carbonio all'intradosso dei travetti del solaio. In alternativa, se il rinforzo è realizzato mediante incamiciatura di acciaio, si può disporre all'intradosso dell'elemento (travetto) una lastra metallica di opportuno spessore (tipicamente 4-5 mm), fissata al supporto in c.a. anche con ancoraggi meccanici, avendo cura di posizionare gli ancoraggi senza tagliare i ferri di armatura ovvero i trefoli nel caso di solai parzialmente prefabbricati (travetti in c.a.p.). Per le modalità applicative, la soluzione con la tecnica dell'incamiciatura in acciaio può risultare più complessa, delicata (incertezza degli ancoraggi) e meno rapida in fase applicativa rispetto ai materiali compositi.

Si osserva che spesso in sede di progetto, l'intervento complessivo per il rinforzo a flessione del solaio in c.a. non è limitato alla sola fase descritta in precedenza (rinforzo con integrazione dell'armatura tesa all'intradosso), bensì necessita anche di intervento integrativo all'estradosso (integrazione della soletta originaria).

In questo caso sarà preventivamente eseguito il rinforzo intradossale dei travetti, previa puntellatura del solaio e, successivamente, si procederà all'esecuzione del getto integrativo all'estradosso, di cui nel seguito si indicano le fasi di lavorazione:

- Puntellatura del campo di solaio oggetto dell'intervento;
- Rimozione di massi e massetti originari; rimozione corticale con idonei mezzi meccanici non battenti del c.a. ammalorato (ove presente) della parte estradossale della soletta originaria del solaio (conservando in opera la puntellatura del solaio oggetto di intervento);
- Ove necessario, bocciardatura (martellinatura) con idoneo utensile delle superfici in calcestruzzo al fine di realizzare l'irruvidimento del supporto; intervento da estendere all'intera superficie da rinforzare;
- Microsabbiatura, con idoneo utensile; intervento da estendere all'intera superficie da rinforzare,
- Trattamento (ove necessario) delle armature originarie della parte estradossale della soletta originaria in calcestruzzo per inibizione della corrosione con malta cementizia anticorrosiva per ferri d'armatura (cfr. punto 3.1.2.1);
- Pulizia per la rimozione di ogni residuo di lavorazione; intervento da estendere all'intera superficie da rinforzare;
- Posa in opera di armatura metallica corrente integrativa, all'estradosso, tipicamente in forma di rete a maglie quadrate 15x15 cm in tondini di acciaio del tipo ad aderenza migliorata del diametro Ø 8 mm; la rete integrativa sarà estesa all'intero ambito dell'area dell'intervento;
- Posa in opera di promotore di adesione tra getti in c.a. successivi, previa applicazione a pennello, a spatola o a spruzzo con airless di aggrappante in forma di adesivo epossidico a media viscosità; il prodotto dovrà recare la marcatura CE in conformità ai requisiti prestazionali richiesti dalla norma europea armonizzata EN 1504-04 ("*Incollaggio strutturale*"); l'applicazione del promotore di adesione sarà estesa all'intero ambito dell'area dell'intervento
- Esecuzione di getto in c.a. integrativo per realizzazione della nuova parte integrativa estradossale della soletta originaria; la nuova parte integrativa estradossale sarà realizzata con calcestruzzo strutturale alleggerito di adeguata classe di resistenza. La nuova soletta avrà uno spessore tipicamente pari a 3-4 cm. La soletta integrativa sarà estesa all'intero ambito dell'area dell'intervento. Nel caso di limitazione, in base all'altezza di interpiano, delle dimensioni complessive degli spessori da aggiungere (soletta integrativa + masso di regolarizzazione per posa pavimento, ecc.), la nuova parte integrativa estradossale della soletta originaria può essere realizzata con massetto strutturale con malta premiscelata a base di legante idraulico speciale a presa normale con ritiro controllato; il prodotto dovrà recare la marcatura CE in conformità ai requisiti prestazionali richiesti dalla norma europea armonizzata EN 13813 in conformità alla classe CT-C30-F6fl.

A titolo di esempio, il prodotto dovrà avere le seguenti caratteristiche prestazionali:

- Massa volumica dell'impasto: 2.100 (kg/m3)
- Resistenza a compressione dopo 28 giorni > 30 N/mm2
- Resistenza a flessione dopo 28 giorni > 6 N/mm2
- Rimozione della puntellatura del campo di solaio oggetto dell'intervento.