



# POLITECNICO DI MILANO

## Area Tecnico Edilizia

P.zza Leonardo da Vinci, 32 - 20133 M I L A N O

PHONE: +39 02 2399.1    [www.polimi.it](http://www.polimi.it)

Campus:  
Via La Masa

Edificio N°: 22  
Via La Masa 20 - Milano

Struttura:  
Dipartimento di Meccanica

Codice Lavoro:  
1023\_10

Oggetto:  
Ristrutturazione e Riqualificazione impiantistica edificio 22 (ex PPG)  
Lotto funzionale n.2

## Progetto ESECUTIVO

Progettazione: **arch. Dario Poli - A.T.E. - Politecnico di Milano**

Responsabile Unico del Procedimento: **arch. Riccardo Licari - A.T.E. - Politecnico di Milano**

Consulenza progettazione architettonica: **Ardea s.r.l. - Ing. Arturo Montanelli**

Consulenza opere strutturali: **Ing. Christian Amigoni**

Consulenza impianti: **Studiogamma s.r.l.**

Titolo Tavola  
**RELAZIONE OPERE  
STRUTTURALI**

Categoria Tavola  
**OPERE  
STRUTTURALI**

Codice Tavola

SCALA: -    PLOTTAGGIO: -    FORMATO: **A4/A3**

NOME FILE: PDGR - 0101A00 - 010 - 00 - RelSTRU.doc

**PDGR**

**0101A00**

**010**

**00**

NOTE:

3					
2					
1					
0	EMISSIONE E STAMPA	23.03.2012	CA	CA	DP
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

**COMUNE DI MILANO**

***Ristrutturazione e Riqualificazione impiantistica edificio 22 (ex PPG)***

***Lotto funzionale n. 2***

**RELAZIONE OPERE STRUTTURALI**

**INDICE**

1.1	Oggetto	2
1.2	Descrizione inquadramento normativo	2
1.3	Descrizione intervento, prescrizioni normative e verifiche condotte	3

**COMUNE DI MILANO****Ristrutturazione e Riqualificazione impiantistica edificio 22 (ex PPG)****Lotto funzionale n. 2****RELAZIONE OPERE STRUTTURALI****1.1 Oggetto**

La presente relazione è relativa al progetto di ristrutturazione di un immobile con struttura in calcestruzzo armato facente parte del Campus di Ingegneria del Politecnico in via la Masa a Milano.

**1.2 Descrizione inquadramento normativo**

Il calcolo della struttura verrà eseguito nel rispetto delle normative attualmente in vigore e delle principali raccomandazioni CNR-UNI riguardanti il calcolo delle strutture. In seguito si elencano le normative assunte come riferimento:

- Norme Tecniche per le costruzioni NTC08;
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008;

L'edificio è ubicato nel Comune di Milano, comune classificato in zona sismica quattro, secondo la classificazione emanata nel 2003.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva relativa ai dati che verranno utilizzati nel corso delle verifiche svolte sull'edificio in oggetto.

<b>Regione</b>	<b>Lombardia</b>
<b>Provincia</b>	<b>Milano</b>
<b>Comune</b>	<b>Milano</b>
<b>Classificazione zona sismica</b> (Classificazione 2003)	<b>4</b>
<b>Vita nominale della struttura in anni (<math>V_N</math>)</b> (Paragrafo 2.4.1 Tab. 2.4.I NTC 2008)	<b>50</b>
<b>Coefficiente d'uso della costruzione (<math>C_u</math>)</b> (Paragrafo 2.4.3 Tab. 2.4.II NTC 2008)	<b>1</b>
<b>Categoria topografica</b> (Paragrafo 3.2.2 Tab. 3.2.IV NTC 2008)	<b>T1</b>
<b>Fattore di struttura (<math>q</math>)</b> (Paragrafo 7.3.1 NTC 2008)	<b>1,50</b>

### 1.3 Descrizione intervento, prescrizioni normative e verifiche condotte

L'intervento in oggetto prevede le seguenti problematiche strutturali da analizzare:

1. Rimozione di alcune porzioni di solaio laterocementizio per la creazione di una hall di accesso;
2. Rinforzo di alcuni nodi di solaio con fibre di carbonio;
3. Consolidamento dei campi di solaio opposti alla zona di rimozione dei solai prevista al punto 1;
4. Consolidamento delle travi di bordo tramite apposizione di tubi verticali in acciaio. L'intervento è dovuto all'aumento del carico gravante sulle travi di bordo a causa dell'apposizione di nuovi elementi di facciata. L'intervento sarà eseguito lungo tutta l'estensione dell'edificio sui lati est, ovest e sud.
5. Realizzazione di un nuovo cordolo di fondazione per l'appoggio della struttura della facciata continua.
6. Demolizione delle rampe di accesso esistenti e sostituzione con scale in acciaio.

Si descrive di seguito l'impostazione utilizzata per il progetto degli interventi sopra descritti. Nelle tavole e nella relazione di calcolo e dimensionamento delle opere strutturali si illustrano nel particolare i calcoli e le descrizioni complete degli elementi previsti.

#### INTERVENTO 1 – RIMOZIONE DI PORZIONI DI SOLAIO LATEROCEMENTIZIO

Per quanto riguarda la rimozione di porzioni rilevanti del solaio laterocementizio, occorre analizzare il problema anche dal punto di vista sismico. Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008) al capitolo 8.4 individuano tre tipi di intervento sull'esistente. Di seguito si riporta lo stralcio della norma:

*“Si individuano le seguenti categorie di intervento:*

- interventi di adeguamento atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme;*
- interventi di miglioramento atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle presenti norme;*
- riparazioni o interventi locali che interessino elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.”*

Al punto 8.4.1 vengono quindi indicati i casi per i quali sono necessari interventi di adeguamento:

*“È fatto obbligo di procedere alla valutazione della sicurezza e, qualora necessario, all'adeguamento della costruzione, a chiunque intenda:*

- a) sopraelevare la costruzione;*
- b) ampliare la costruzione mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione;*
- c) apportare variazioni di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali in fondazione superiori al 10%; resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;*
- d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente.”*

Al punto 8.4.2 vengono indicate le caratteristiche degli interventi di miglioramento:

*“Rientrano negli interventi di miglioramento tutti gli interventi che siano comunque finalizzati ad accrescere la capacità di resistenza delle strutture esistenti alle azioni considerate. È possibile eseguire interventi di miglioramento nei casi in cui non ricorrano le condizioni specificate al paragrafo 8.4.1. Il progetto e la valutazione della sicurezza dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.”*

Al punto 8.4.3 vengono specificate le caratteristiche della Riparazione o intervento locale:

*“In generale, gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura [...]. Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati e documentare che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non siano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.”*

L'intervento in oggetto può ricadere sotto le specifiche dell'intervento locale, interessando solo una parte dell'edificio, non modificando gli elementi resistenti verticali (pilastri e setti in c.a.), non prevedendo sopraelevazioni e non costituendo un insieme di opere sistematico che alteri lo schema strutturale globale. La verifica locale come intervento locale permetterebbe pertanto di evitare una verifica globale dell'edificio, a patto che non si riducano le resistenze dei singoli elementi e non vanga alterato il comportamento della costruzione nel suo insieme mediante, ad esempio, il progetto di una cerchiatura da realizzare con profili in acciaio.

A seguito di una verifica locale si è appurato che la rigidezza nel piano dell'attuale solaio è molto elevata e un intervento che ripristini la stessa rigidezza dovrebbe prevedere delle opere non compatibili con il progetto architettonico (ad esempio elementi di controvento). L'intervento di demolizione del solaio comporta una riduzione dei pesi e quindi le azioni sismiche di progetto; si è pertanto deciso di indagare la vulnerabilità sismica dello stato di fatto e dello stato di progetto attraverso un'analisi globale ad elementi finiti e di prevedere una cerchiatura in acciaio senza controventi atta a stabilizzare la struttura nel piano orizzontale al fine di valutare il miglioramento o peggioramento del comportamento sismico della costruzione. Si è scelto quindi di verificare con un'analisi globale di tipo modale l'efficacia di un intervento

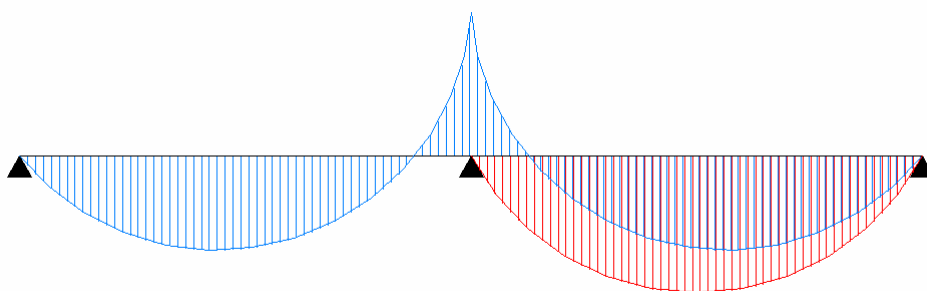
locale. Per lo svolgimento delle verifiche è stato utilizzato il software a elementi finiti WinStrand della EnExSys (Via Tizzano 46/2, Casalecchio di Reno (Bo), licenza1: 0445MGNCHR, licenza2: 0445MGNCH1, Dott. Ing. Amigoni Christian). Come è possibile osservare dai risultati, è stato dimostrato che l'intervento è realizzabile in quanto non comporta un aumento della vulnerabilità sismica e statica dell'edificio. Nella verifica è stato quindi possibile ricercare un risultato di solo miglioramento e non di adeguamento; la normativa infatti impone quest'ultimo tipo di intervento solo nel caso fossero previste sopraelevazioni, ampliamenti, aumenti del carico di più del 10% in fondazione, opere che modificano il comportamento globale della costruzione. Nessuna di queste opere è prevista nello stato di progetto.

### INTERVENTO 2 – RINFORZO DI NODI DI SOLAIO CON FIBRE DI CARBONIO

Grazie alle verifiche svolte, è stato possibile individuare alcuni nodi di solaio che peggiorano il loro coefficiente di vulnerabilità, peraltro non scendendo mai al di sotto del 70% del coefficiente di sicurezza individuato allo stato di fatto. I nodi di solaio in oggetto si concentrano per la maggior parte nelle zone adiacenti alla porzione di solaio rimosso. Per rispettare le prescrizioni normative, le quali impongono di non peggiorare le condizioni di sicurezza rispetto allo stato di fatto, si è deciso di intervenire con delle cerchiature mediante elementi fibrorinforzati (in acciaio o carbonio). Si è deciso di non intervenire con la fasciatura dei nodi per i quali il coefficiente di vulnerabilità sismica peggiora di meno del 5% poiché si ritiene che possono essere imputabili ad approssimazioni di calcolo e comunque non significative per descrivere l'effettiva vulnerabilità dell'edificio.

### INTERVENTO 3 – CONSOLIDAMENTO DI SOLAIO LATEROCEMENTIZIO

L'intervento di rimozione dei solai comporta una modifica dello schema statico del solaio adiacente a quello eliminato. Ipotizzando uno schema strutturale ideato per una trave continua su due campate, la rimozione di una delle due parti comporta un aumento del momento positivo nella campata rimanente, che può variare in relazione al grado di incastro fornito dagli appoggi agli estremi. Ipotizzando di avere una trave su tre appoggi perfetti, si avrebbe un incremento da  $pl^2/14$  a  $pl^2/8$ . Si riporta di seguito un'immagine esemplificativa:



L'intervento prevede pertanto un consolidamento con fibre in acciaio in grado di assorbire l'incremento di momento scaturito dalla modifica dello schema statico originario.

### INTERVENTO 4 – CONSOLIDAMENTO TRAVI DI BORDO CON TUBI VERTICALI IN ACCIAIO

Il progetto architettonico prevede la posa in opera di nuovi elementi di facciata più pesanti di quelli esistenti. A seguito di sondaggi eseguiti in sito, è risultato evidente come le armature presenti nelle travi siano molto variabili e di tipologia differente anche all'interno dello stesso elemento strutturale. Sono stati infatti rinvenuti ferri d'armatura di tipo quadro, di tipo tondo liscio e di tipo tondo ad aderenza migliorata. Si evidenzia come

in molti punti risulti altresì difficile individuare con precisione le dimensioni e le armature della trave a causa di diversi fattori, quali ad esempio il passaggio di impianti e l'estrema variabilità delle armature rinvenute.



FOTO 7794: Ferri quadrati e tondi lisci verticali



FOTO 8237: Connessione solaio-trave di bordo





FOTO 8278: Passaggio impianti nelle travi di bordo

Questa grande varietà delle armature e delle sezioni di fatto impedisce di rinvenire la sezione critica sulla quale svolgere le verifiche di resistenza. Si evidenzia peraltro come la particolare forma delle sezioni delle travi di bordo e l'impossibilità di rimuovere i serramenti abbiano impedito all'impresa di svolgere dei saggi completi ed esaustivi. Si è ritenuto pertanto di affidare l'incremento di carico, ove presente, ad un sistema di tubi verticali in acciaio in grado di portare a terra i carichi con continuità. Si prevede di inserire questi tubi all'interno dei profili in alluminio della facciata continua. Si prevede l'inserimento di un tessuto isolante tra i tubi in acciaio e la struttura in alluminio per prevenire effetti galvanici tra i due materiali. Dalle indicazioni del progetto architettonico emerge che le facciate continue non sono previste appese bensì appoggiate alle travi sottostanti; i tubi di rinforzo sono pertanto previsti solo al piano terra e al piano primo. In caso di modifica di questo schema di facciata occorrerà rivalutare l'intervento. Non si prevede la posa di tubi di rinforzo nella parte centrale dell'edificio (Hall d'ingresso) poiché la rimozione del solaio comporta di fatto una riduzione dei carichi sulle travi.

#### INTERVENTO 5 – REALIZZAZIONE DI CORDOLO DI FONDAZIONE PER FACCIATA CONTINUA

Nella parte centrale dell'edificio il progetto architettonico prevede l'appoggio a terra della facciata continua. Si dimensiona pertanto un cordolo di fondazione atto a sorreggere i carichi della facciata.

#### INTERVENTO 6 – SOSTITUZIONE DI SCALE IN ACCIAIO ESTERNE

E' prevista la demolizione delle rampe esistenti in c.a. e la loro sostituzione con delle scale con struttura in acciaio. I nuovi elementi saranno strutturalmente indipendenti e saranno verificati con le NTC 2008.