



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO BICOCCA
Piazza dell'Ateneo Nuovo n.1 20126 MILANO



PROGETTO DEFINITIVO PER IL COMPLETAMENTO DELLA RESIDENZA UNIVERSITARIA DENOMINATA U32 SITO NEL COMUNE DI MILANO IN VIA DEMOSTENE 10

CODICE CUP: H43D22000050005

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:



PROGETTO CMR
MASSIMO ROJ ARCHITECTS

PROGETTO ARCHITETTONICO

Arch. Massimo Roj

PROGETTO IMPIANTISTICO, STRUTTURALE, ACUSTICO, PREVENZIONE INCENDI

Ing. Marco Ferrario

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Massimiliano Cardillo

INVARIANZA IDRAULICA: RESPONSABILE E REFERENTE

Ing. Laura Pezzoni

INVARIANZA IDRAULICA: OPERATORI DIRETTORE TECNICO

Dott. Alessandro Casile - calcolo idraulico
Ing. Laura Pezzoni

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO - BICOCCA

La Rettrice
(Giovanna Iannantuoni)

AREA INFRASTRUTTURE E APPROVVIGIONAMENTI

Il Dirigente
(arch. Annamaria Maggiore)

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

(Arch. Laura Vergani)

TIPOLOGIA ELABORATO:

**Analisi storico critica e
relazione sulle strutture
esistenti**

EDIFICIO:

U32

LIVELLO PROGETTUALE:

DEFINITIVO

TAVOLA N°:

U32.00_PD.R.ST.001_r00

NOME FILE:

U32.00_PD.R.ST.001_r00

SCALA:

-

DATA:

12.06.2022

N.REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

CONTROLLATO

APPROVATO



INDICE

1.	PREMESSA.....	2
1.1	Quadro normativo di riferimento adottato.....	2
2.	METODOLOGIA OPERATIVA	3
3.	ANALISI STORICO-CRITICA.....	3
3.1	Corpo A	7
3.2	Corpo B	8
3.3	Corpo C	9
4.	RILIEVO GEOMETRICO-STRUTTURALE	10
5.	CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI	13
6.	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA	16
6.1	Parametri e caratteristiche del terreno.....	16
6.2	Analisi delle azioni sismiche	16
7.	LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA	17
8.	PIANIFICAZIONE DELLE PROVE IN OPERA.....	18
8.1	Prove previste	19
8.1.1	Indagini mediamente distruttive	20
8.1.2	Indagini non distruttive.....	21
8.1.3	Elenco prove.....	22



1. PREMESSA

La presente relazione riguarda le indagini strutturali dell'immobile esistente situato nel Comune di Milano in via Demostene n° 10; l'edificio in oggetto, in seguito denominato U32 e destinato a residenze universitarie, è costituito da tre corpi distinti in funzione delle destinazioni d'uso, quali aule studio e spazi comuni (corpo A), alloggi (corpo B) e ambienti di distribuzione e vano scale (corpo C).

Trattandosi di una realtà le cui strutture sono già parzialmente realizzate, si rivela necessario procedere con la valutazione della sicurezza, la progettazione degli interventi, l'esecuzione e il collaudo dell'edificio. A tal fine, vengono pianificate e descritte le indagini strutturali oggetto della presente relazione.

Tenendo ben presenti i criteri di intervento per le costruzioni esistenti (Cap. 8) e i controlli dei materiali impiegati per uso strutturale (Cap. 11) delineati dalle NTC2018 e dalla rispettiva Circolare Applicativa, si fa riferimento alle "Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera" per le corrette procedure e valutazioni delle proprietà meccaniche del materiale impiegato. L'obiettivo delle indagini strutturali è infatti quello di andare a verificare la sicurezza strutturale e dei sistemi costruttivi esistenti attraverso una corretta caratterizzazione dello stato di fatto e dei materiali, possibile solo mediante analisi accurate e scientificamente giustificabili dei risultati di prove distruttive e non-distruttive.

Il presente documento viene redatto su richiesta del Cliente e i risultati costituiranno un utile supporto per redigere, se necessario, il successivo progetto di intervento, documento obbligatorio nel caso si intendano eseguire lavori sull'edificio.

1.1 Quadro normativo di riferimento adottato

- *D.M. LL.PP. 17/01/2018* – Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»
- *Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019* - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
- *C.S.LL.PP. Settembre 2017* – Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera



2. METODOLOGIA OPERATIVA

L'analisi di una costruzione esistente è strettamente legata alla conoscenza che è possibile avere di un edificio; più essa è esaustiva, maggiore è il livello di sicurezza dei risultati ottenuti e della corretta modellazione strutturale dell'oggetto di indagine.

A tal proposito, vengono elencate e spiegate sinteticamente le tappe principali necessarie per una corretta comprensione della costruzione da analizzare (vedi Cap. 8.5 **NTC2018**):

- analisi storico-critica
- rilievo geometrico-strutturale
- caratterizzazione meccanica dei materiali

È importante definire col Committente già in fase preliminare il grado di approfondimento caratterizzante ognuna di queste voci, poiché il cosiddetto "livello di conoscenza" LC che ne deriva influenzerà tutti i numerosi e differenti parametri correttivi coinvolti nella modellazione dell'edificio in esame: i "fattori di confidenza" FC andranno infatti a diminuire le proprietà dei materiali utilizzate nelle verifiche. In funzione degli approfondimenti effettuati, vengono definiti tre diversi livelli corrispondenti a una crescente informazione. Come si può capire dai valori dei FC, la normativa premia a livello analitico un solido investimento nelle indagini.

- LC1: livello di conoscenza limitato = > FC = 1,35
- LC2: livello di conoscenza adeguato = > FC = 1,20
- LC3: livello di conoscenza accurato = > FC = 1,00

Stabiliti quindi gli obiettivi da raggiungere e le informazioni da ottenere, è fondamentale la definizione di un piano per l'organizzazione delle prove da effettuare e gli elementi da analizzare. Trattandosi di un edificio in c.a., la **Circolare** dà indicazioni precise riguardo alla quantità di provini da testare alla vedi Tabella C8.5.V, mentre le **Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera** normalizzano le procedure e le valutazioni dei risultati delle prove stesse. La definizione delle proprietà meccaniche del materiale indagato avviene attraverso prove distruttive e non distruttive.

3. ANALISI STORICO-CRITICA

Si tratta della componente d'indagine legata all'acquisizione del materiale disponibile; è fondamentale per capire epoca di costruzione (e rispettive normative utilizzate per la progettazione), tecniche costruttive, modifiche e/o alterazioni, interventi precedenti.

Nel caso di U32 si fa riferimento ai disegni esecutivi forniti dalla Committenza. Le date riportate sulle tavole fanno riferimento a Settembre 2010, mentre i tabulati di calcolo a Settembre 2009. Si riconduce la normativa utilizzata per la progettazione alle **NTC2008**.



Come già riportato, il complesso U32 è destinato a residenze universitarie ed è costituito da tre corpi distinti in funzione delle destinazioni d'uso: aule studio e spazi comuni sono concentrate nel corpo A, il corpo B è destinato agli alloggi, mentre il vano scale è localizzato nel corpo C.

Vengono di seguito elencati gli elaborati più significativi forniti dalla committenza, correlati da alcuni estratti delle tavole.

• Tavole esecutive architettoniche	RIS_U32_ESE_ARCH_01	Rilievo – Punti fissi
	RIS_U32_ESE_ARCH_02	Planimetria generale opere esterne
	RIS_U32_ESE_ARCH_03	Pianta P. Interrato quota -1.50 corpo B
	RIS_U32_ESE_ARCH_04	Pianta P. Terra quota +0.15 corpo A
	RIS_U32_ESE_ARCH_05	Pianta P. Rialzato quota +1.80 corpo B
	RIS_U32_ESE_ARCH_06	Pianta P. Primo quota +3.45 corpo A
	RIS_U32_ESE_ARCH_07	Pianta P. Primo quota +5.10 corpo B
	RIS_U32_ESE_ARCH_08	Pianta P. Secondo quota +6.75 corpo A
	RIS_U32_ESE_ARCH_09	Pianta P. Secondo quota +8.40 corpo B
	RIS_U32_ESE_ARCH_10	Pianta P. Terzo quota +10.05 corpo A
	RIS_U32_ESE_ARCH_11	Pianta P. Copertura quota +11.70 corpo B
	RIS_U32_ESE_ARCH_13	Sezione A-A
	RIS_U32_ESE_ARCH_14	Sezione B-B
	RIS_U32_ESE_ARCH_15	Sezione C-C
	RIS_U32_ESE_ARCH_16	Particolari costruttivi op. esterne
	RIS_U32_ESE_ARCH_17	Prospetto su via Stefanardo da Vimercate
	RIS_U32_ESE_ARCH_18	Prospetto est
	RIS_U32_ESE_ARCH_19	Prospetto su via Demostene
	RIS_U32_ESE_ARCH_20	Prospetto nord
	RIS_U32_ESE_ARCH_21	Particolare di facciata
	RIS_U32_ESE_ARCH_22	Sezione di facciata
	RIS_U32_ESE_ARCH_23-A	Particolari costruttivi: moduli abitativi A e A1
	RIS_U32_ESE_ARCH_23-B	Particolari costruttivi: moduli abitativi B e B1
	RIS_U32_ESE_ARCH_24-A	Particolari costruttivi: moduli abitativi C e C1
	RIS_U32_ESE_ARCH_24-B	Particolari costruttivi: moduli abitativi C1 e C2
	RIS_U32_ESE_ARCH_25	Particolari costruttivi: servizi igienici u.a. tipo A
	RIS_U32_ESE_ARCH_26	Particolari costruttivi: servizi igienici u.a. tipo... disabili
	RIS_U32_ESE_ARCH_27-A	Particolari costruttivi: servizi igienici u.a. tipo... disabili
	RIS_U32_ESE_ARCH_27-B	Particolari costruttivi: servizi igienici u.a. tipo... disabili
	RIS_U32_ESE_ARCH_28	Pianta P. Interrato infissi quota -1.50 corpo B
	RIS_U32_ESE_ARCH_29	Pianta P. Terra infissi quota +0.15 corpo A
	RIS_U32_ESE_ARCH_30	Pianta P. Rialzato infissi quota +1.80 corpo B
	RIS_U32_ESE_ARCH_31	Pianta P. Primo infissi quota +3.45 corpo A
	RIS_U32_ESE_ARCH_32	Pianta P. Primo infissi quota +5.10 corpo B
	RIS_U32_ESE_ARCH_33	Pianta P. Secondo infissi quota +6.75 corpo A
	RIS_U32_ESE_ARCH_34	Pianta P. Secondo infissi quota +8.40 corpo B
	RIS_U32_ESE_ARCH_35	Pianta P. Terzo infissi quota +10.05 corpo A



	RIS_U32_ESE_ARCH_36	Pianta P. Copertura infissi quota +11.70 corpo B
	RIS_U32_ESE_ARCH_38	Pianta P.T. e 1° controsoffitti
	RIS_U32_ESE_ARCH_39	Pianta P.2° e 3° controsoffitti
	RIS_U32_ESE_ARCH_41	Abaco muri
	RIS_U32_ESE_ARCH_42	Abaco solai
	RIS_U32_ESE_ARCH_43	Abaco finestre
	RIS_U32_ESE_ARCH_44	Abaco finestre
	RIS_U32_ESE_ARCH_45	Cabina elettrica e deposito rifiuti
	RIS_U32_ESE_ARCH_46	Particolari opere esterne
• Tavole esecutive strutturali	RIS_U32_ESE_ST_01A	Carpenterie e armature fondazioni corpo A
	RIS_U32_ESE_ST_01B	Carpenterie fondazioni corpo B
	RIS_U32_ESE_ST_01C	Carpenterie e armature elevazioni corpo C
	RIS_U32_ESE_ST_02	Foglio ferro diaframmi
	RIS_U32_ESE_ST_02A	Carpenterie piano primo corpo A
	RIS_U32_ESE_ST_02B	Carpenterie piano rialzato corpo B
	RIS_U32_ESE_ST_02C	Carpenterie e armature rampe, fondazioni e muri corpo C
	RIS_U32_ESE_ST_03	Carpenterie e armature platea di fondazione e muri controterra scale di sicurezza esterne
	RIS_U32_ESE_ST_03A	Carpenterie piani secondo e terzo corpo A
	RIS_U32_ESE_ST_03B	Carpenterie piano n-esimo piano primo piano secondo corpo B
	RIS_U32_ESE_ST_03C	Carpenteria passerella impianti corpo C
	RIS_U32_ESE_ST_04	Planimetrie consolidamenti a getto-iniezione
	RIS_U32_ESE_ST_04A	Carpenterie piano copertura corpo A
	RIS_U32_ESE_ST_04B	Carpenterie piano copertura corpo B
	RIS_U32_ESE_ST_05	Scale di sicurezza esterne in acciaio corpo A e B
	RIS_U32_ESE_ST_05A	Armature piano primo corpo A
	RIS_U32_ESE_ST_06B	Armature piano rialzato corpo B
	RIS_U32_ESE_ST_07A	Armature piano copertura corpo A
	RIS_U32_ESE_ST_07B	Armature piano n-esimo corpo B
	RIS_U32_ESE_ST_08A	Carpenterie e armature pilastri corpo A
	RIS_U32_ESE_ST_08B	Armature piano copertura corpo B
	RIS_U32_ESE_ST_09A	Solai piani 1-2-3 corpo A
	RIS_U32_ESE_ST_09B	Armature pilastri corpo B
	RIS_U32_ESE_ST_10B	Piano rialzato corpo B
	RIS_U32_ESE_ST_11B	Piani 1-2 corpo B
	RIS_U32_ESE_ST_12B	Piano copertura corpo B
• Documenti	RIS_U32_ESE_CAL_ST_Corpo A	Tabulato di calcolo
	RIS_U32_ESE_CAL_ST_Corpo B	Tabulato di calcolo
	RIS_U32_ESE_CAL_ST_Corpo C	Tabulato di calcolo
	Relazione Tecnica Demostene	U32 - Relazione generale



PROGETTO DEFINITIVO PER IL COMPLETAMENTO DELLA RESIDENZA UNIVERSITARIA DENOMINATA U32
SITA NEL COMUNE DI MILANO IN VIA DEMOSTENE 10

RIS_U32_ESE/REL_GEO

Relazione Geologico-Tecnica



Figura 1 - Prospetto est U32

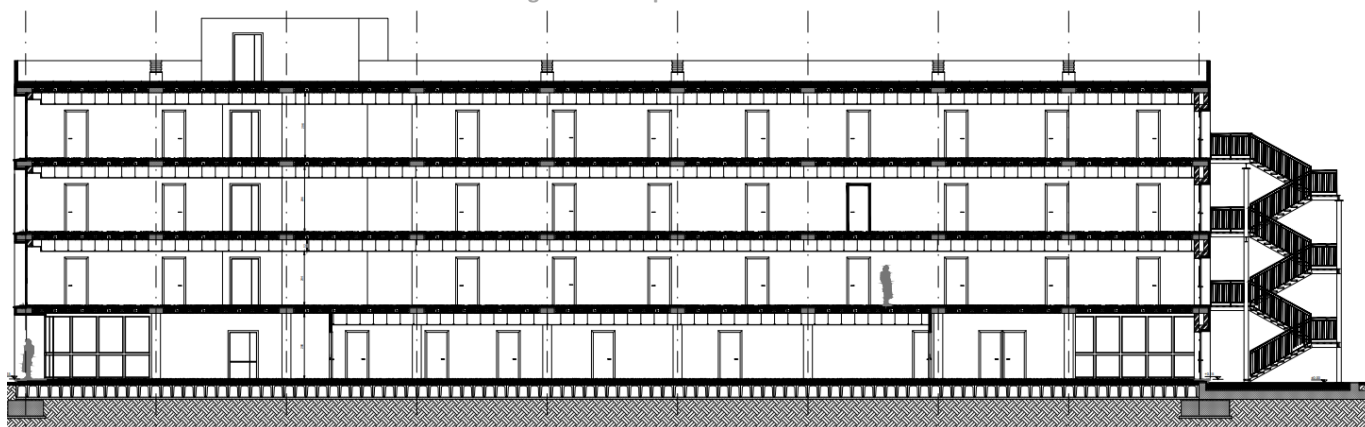


Figura 2 - Sezione corpo A



PROGETTO DEFINITIVO PER IL COMPLETAMENTO DELLA RESIDENZA UNIVERSITARIA DENOMINATA U32
SITA NEL COMUNE DI MILANO IN VIA DEMOSTENE 10

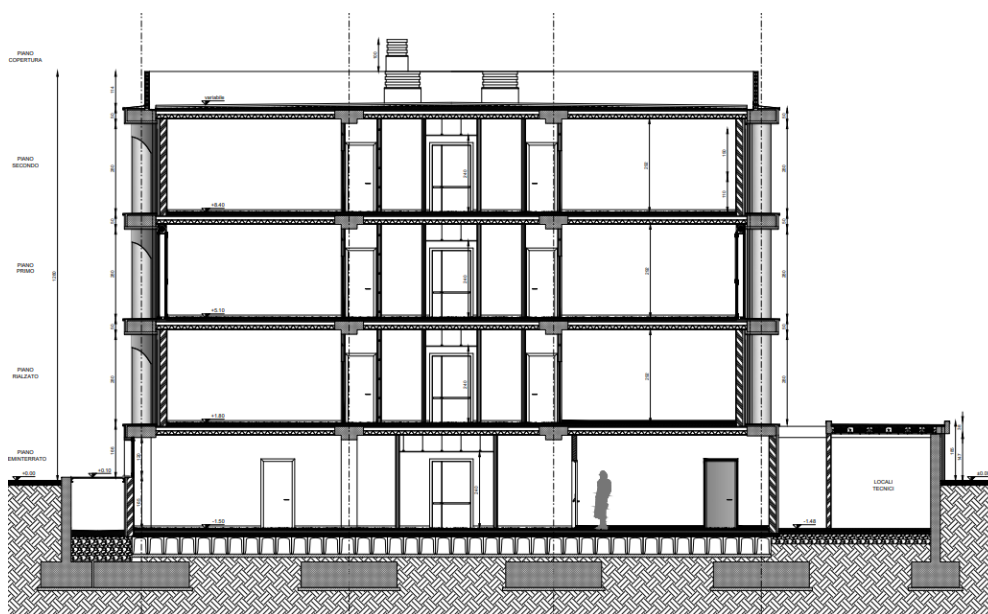


Figura 3 - Sezione corpo B

Il complesso edilizio in esame è un fabbricato identificabile in tre corpi funzionali architettonicamente comunicanti, ma strutturalmente distinti tramite giunti di circa 30cm.
Dalle tavole fornite dalla Committenza è possibile definire ciascun componente di U32.

3.1 Corpo A

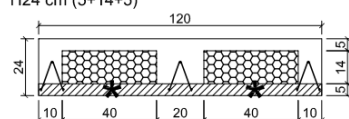
L'edificio si sviluppa su una pianta rettangolare di dimensioni di circa 15m x 54m e da progetto è dotato di quattro livelli fuori terra (i.e. piano terra, piani 1°-3°). Il prospetto di lunghezza maggiore risulta parallelo a via Stefanardo da Vimercate.

Il sistema costruttivo è riconducibile ad un sistema a telaio, costituito da travi e pilastri (di cui si riscontrano tre diverse tipologie: a sezione rettangolare in corrispondenza dei prospetti minori, a sezione quadrata interni all'edificio, a sezione circolare in corrispondenza dei prospetti maggiori). Gli impalcati risultano in laterocemento – vedi sezione tipica riportata.

TIPOLOGIE DI SOLAI

SOLAIO CORPO A

Solaio a lastre tralicciate alleggerite
H24 cm (5+14+5)



* sfiati in tutte le lastre con accompagnamento
prova di laboratorio per attestazione efficacia



Considerando la sezione verticale, le quote definite a pavimento finito sono pari a (+0.15) per il piano terra, (+3.45) piano primo, (+6.75) piano secondo, (+10.05) piano terzo, (+13.35) piano copertura. Non sono previste falde, la copertura risulta piana.

Le fondazioni sono costituite da plinti isolati.

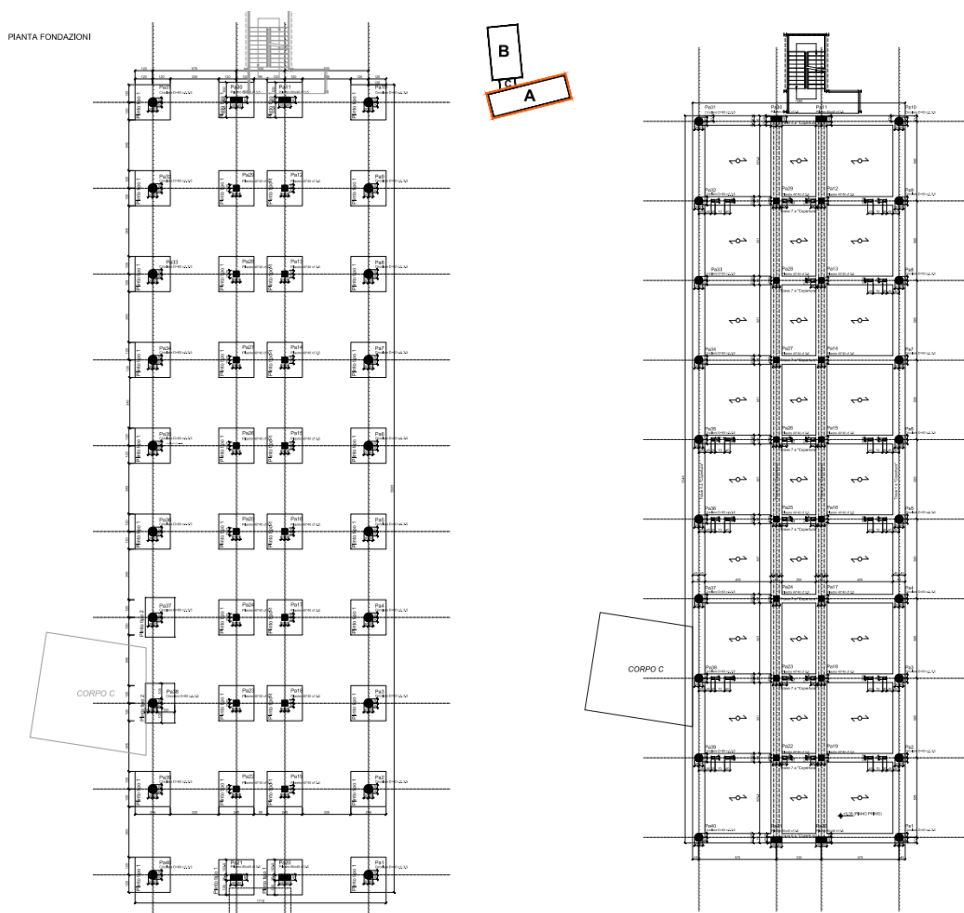


Figura 4 - Pianta fondazioni (sinistra) e piano primo (destra) corpo A

3.2 Corpo B

L'edificio si sviluppa su una pianta rettangolare di dimensioni di circa 20m x 35m e da progetto è dotato di tre livelli fuori terra (i.e. piano rialzato, piani 1°-2°) e di un piano interrato.

Anche in questo caso il sistema costruttivo è riconducibile ad un sistema a telaio, costituito da travi e pilastri (di cui si riscontrano tre diverse tipologie: a sezione rettangolare in corrispondenza dei prospetti minori, a sezione quadrata interni all'edificio, a sezione circolare in corrispondenza dei prospetti maggiori). Gli impalcati risultano in laterocemento – vedi sezione tipica riportata.

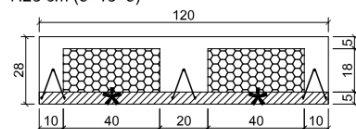


PROGETTO DEFINITIVO PER IL COMPLETAMENTO DELLA RESIDENZA UNIVERSITARIA DENOMINATA U32
SITA NEL COMUNE DI MILANO IN VIA DEMOSTENE 10

TIPOLOGIE DI SOLAI

SOLAIO CORPO B

Solaio a lastre tralicciate alleggerite
H28 cm (5+18+5)



* sfiati in tutte le lastre con accompagnamento
prova di laboratorio per attestazione efficacia

Considerando la sezione verticale, le quote definite a pavimento finito sono pari a (-1.50) per il piano interrato, (+1.80) piano rialzato, (+5.10) piano primo, (+8.40) piano secondo, (+11.70) piano copertura. Non sono previste falde, la copertura risulta piana.

Le fondazioni sono costituite da plinti isolati.

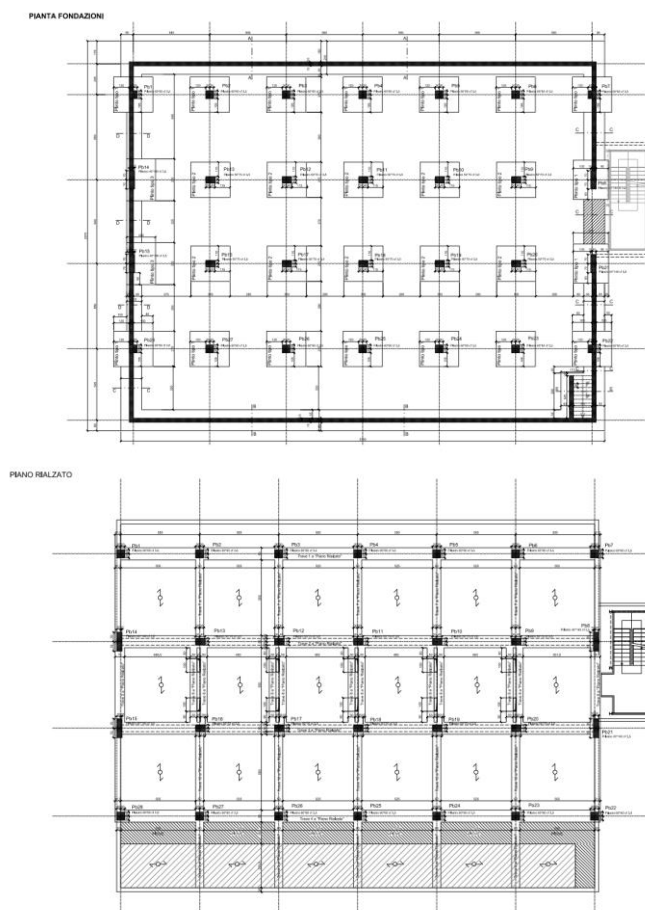


Figura 5 - Pianta fondazioni (sinistra) e piano rialzato (destra) corpo B

3.3 Corpo C

L'edificio si sviluppa su una pianta trapezoidale isoscele di dimensioni di circa $B=9.50\text{m}$, $b=7.80\text{m}$, $h=7\text{m}$ ed un lato obliquo pari a circa 7m ; le rampe di scale sono concentrate in posizione sud, mentre il vano



PROGETTO DEFINITIVO PER IL COMPLETAMENTO DELLA RESIDENZA UNIVERSITARIA DENOMINATA U32
SITA NEL COMUNE DI MILANO IN VIA DEMOSTENE 10

ascensore è localizzato nella parte nord del corpo. Le quote dei pavimenti finiti si adeguano agli interpiani dei corpi A e B.

Il corpo C è caratterizzato da un sistema a pareti armate per tutto lo sviluppo in altezza.

Il blocco è dotato di una struttura mista c.a. e carpenteria (S235/Fe360 con profili di tipo IPE 100, UPN 140, HEA 100, quadri 50x50x3) in corrispondenza della passerella per gli impianti.

Le fondazioni sono della tipologia a platea a spessore costante.

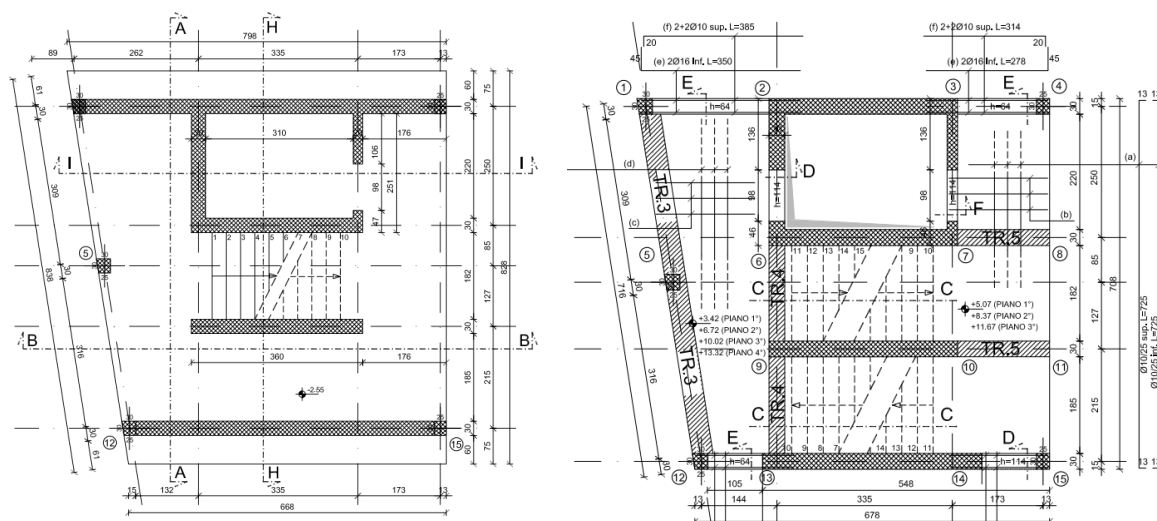


Figura 6 - Pianta fondazioni (sinistra) e piano tipo (destra) corpo C

4. RILIEVO GEOMETRICO-STRUTTURALE

Il rilievo richiesto comprende la definizione sia della geometria complessiva, sia degli elementi costruttivi; devono essere oggetto di rilievo anche la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e lo stato del degrado strutturale, comprendente dissesti, quadri fessurativi e meccanismi di danno.

La Committenza ha provveduto a fornire materiale fotografico riguardante lo stato attuale dell'edificio U32 in seguito al sopralluogo effettuato in data 01.02.2022.



PROGETTO DEFINITIVO PER IL COMPLETAMENTO DELLA RESIDENZA UNIVERSITARIA DENOMINATA U32
SITA NEL COMUNE DI MILANO IN VIA DEMOSTENE 10



Figura 7 - Foto stato di fatto durante il sopralluogo in data 01.02.2022

In data 02.02.2022 è stato effettuato un sopralluogo. A livello realizzativo, il corpo B è sprovvisto dell'ultimo piano, mentre il corpo C è costituito unicamente dalle fondazioni; stata riscontrata corrispondenza a livello strutturale tra "as built" ed elaborati progettuali.

Sono state inoltre realizzate delle foto a 360° interne all'edificio.



PROGETTO DEFINITIVO PER IL COMPLETAMENTO DELLA RESIDENZA UNIVERSITARIA DENOMINATA U32
SITA NEL COMUNE DI MILANO IN VIA DEMOSTENE 10





5. CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

Per la corretta caratterizzazione dei materiali di edifici esistenti la normativa attuale (Cap. 8.5.3 **NTC2018** e C8.5.3 **Circolare**) prevede non solo riferimenti alle documentazioni e ai certificati originali, ma anche verifiche *in situ* e nuove indagini sperimentali. Le indagini di tipo visivo effettuate nei sopralluoghi preliminari sono infatti cruciali per la definizione del piano delle indagini e per la programmazione delle prove da effettuare. Queste ultime dovranno essere motivate per tipologia e quantità, mentre i valori dei risultati ottenuti verranno valutati in base alla tipologia delle prove svolte e calibrati in base alle dispersioni. Le prove (intese come prelievo del materiale, verifica fisica, meccanica e chimica) devono essere effettuate a cura di un laboratorio di cui all'articolo 59 del **D.P.R.380/2001**. Si riporta in seguito un estratto della Circolare riguardante le costruzioni di calcestruzzo armato, in cui si fa riferimento alle **Linee Guida** del C.S.LL.PP.



C8.5.3.2 COSTRUZIONI DI CALCESTRUZZO ARMATO O ACCIAIO

I valori delle caratteristiche meccaniche dei materiali prescindono dalle classi discretizzate previste nelle NTC.

Per definire le caratteristiche meccaniche dei materiali è possibile riferirsi anche alle norme dell'epoca della costruzione.

Calcestruzzo: si fa riferimento alle Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera, del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Acciaio: la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene, in generale, mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove a trazione fino a rottura con determinazione della tensione di snervamento, della resistenza a rottura e dell'allungamento, salvo nel caso in cui siano disponibili certificati di prova conformi a quanto richiesto per le nuove costruzioni nella normativa dell'epoca di costruzione.

Unioni di elementi d'acciaio: la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene, ove possibile, mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove a trazione fino a rottura con determinazione delle caratteristiche meccaniche rilevanti, quali la tensione di snervamento, della resistenza a rottura e dell'allungamento.

Sono ammessi metodi di indagine non distruttiva di documentata affidabilità, ad integrazione di quelli sopra descritti, purché i risultati siano tarati su quelli ottenuti con prove distruttive.

Le prove sui materiali, in analogia a quanto definito per le indagini sui dettagli costruttivi, possono essere eseguite su un numero di elementi diverso, a seconda del livello di conoscenza che si vuole raggiungere.

Si possono distinguere, in relazione al loro grado di approfondimento, tre livelli di prova.

Prove limitate: prevedono un numero limitato di prove in-situ o su campioni, impiegate per completare le informazioni sulle proprietà dei materiali, siano esse ottenute dalle normative in vigore all'epoca della costruzione, o dalle caratteristiche nominali riportate sui disegni costruttivi o nei certificati originali di prova.

Prove estese: prevedono prove in-situ o su campioni più numerose di quelle del caso precedente e finalizzate a fornire informazioni in assenza sia dei disegni costruttivi, sia dei certificati originali di prova o quando i valori ottenuti con le **prove limitate** risultino inferiori a quelli riportati nei disegni o sui certificati originali.

Prove esaustive: prevedono prove in-situ o su campioni più numerose di quelle del caso precedente e finalizzate a ottenere informazioni in mancanza sia dei disegni costruttivi, sia dei certificati originali di prova, o quando i valori ottenuti dalle **prove limitate o estese**, risultino inferiori a quelli riportati sui disegni o nei certificati originali, oppure nei casi in cui si desideri una conoscenza particolarmente accurata.

Al fine di determinare in maniera opportuna il numero e la localizzazione delle prove sui materiali, è utile:

- eseguire un numero limitato di indagini preliminari sugli elementi individuati come rappresentativi a seguito dell'analisi storico-critica, della documentazione disponibile e del rilievo geometrico, al fine di definire un modello preliminare della struttura;
- eseguire un'analisi per la verifica preliminare della sicurezza statica e della vulnerabilità sismica, utilizzando i dettagli costruttivi valutati nel corso della campagna di indagini preliminari (§ C8.5.2.2).

In base all'esito dell'analisi preliminare è valutata la necessità di approfondimenti della campagna di indagini in termini di numero e localizzazione, in relazione all'impegno statico delle diverse membrature, del loro ruolo riguardo alla sicurezza della struttura e del grado di omogeneità dei risultati delle prove preliminari, anche in relazione a quanto previsto dai documenti originari; il progetto delle prove ne fornisce la misura, consentendo così di graduare quantitativamente il livello di approfondimento.

Per l'identificazione delle caratteristiche dei materiali, i dati raccolti devono includere le seguenti caratteristiche:

- resistenza e, ove significativo, il modulo elastico E del calcestruzzo;
- tensione di snervamento, resistenza a rottura e allungamento dell'acciaio.

Come già anticipato, le **Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera** del C.S.LL.PP. hanno infatti come finalità la normalizzazione delle procedure e le corrette valutazioni dei risultati delle prove per definire correttamente le proprietà meccaniche del materiale indagato. L'obiettivo è perseguito solo mediante analisi accurate e scientificamente giustificabili.

Per indagare il calcestruzzo armato, le **Linee Guida** distinguono due diverse tipologie di indagini, quali **prove distruttive** e **prove non-distruttive**. Le valutazioni riguardanti le caratteristiche meccaniche del materiale possono in seguito essere valutate attraverso metodi *diretti* (es. carotaggio) e *indiretti* (es. tramite sclerometro, ultrasuoni, metodo pull-out o sonde di penetrazione). Inoltre, per ogni metodo, vengono



definiti in modo esaustivo i principi di funzionamento, la taratura degli strumenti, le modalità di esecuzione delle prove, le curve di correlazione per le misurazioni, nonché la lettura dei risultati.

Nell'ambito delle costruzioni esistenti, si fa riferimento alle seguenti grandezze per il calcestruzzo armato:

- R_c Valore della resistenza misurata mediante prova di compressione su un cubetto prelevato all'atto del getto, confezionato secondo le indicazioni della UNI EN 12390 e maturato in condizioni standard (**resistenza potenziale cubica**)
- f_c Valore della resistenza misurata mediante prova di compressione su un cilindro standard ($d=15$ cm; $h=30$ cm) prelevato all'atto del getto e maturato in condizioni standard (**resistenza potenziale cilindrica**)
- R_{ck} Valore **caratteristico** di R_c
- f_{ck} Valore **caratteristico** di f_c
- $R_{c, is}$ Resistenza cubica stimata all'interno della struttura (**resistenza strutturale cubica**)
- $f_{c, is}$ Resistenza cilindrica stimata all'interno della struttura (**resistenza strutturale cilindrica**)
- $R_{ck, is}$ Valore **caratteristico** della $R_{c, is}$
- $f_{ck, is}$ Valore **caratteristico** della $f_{c, is}$
- $f_{carota (h/d=2)}$ Valore della resistenza misurata su una carota estratta dalla struttura avente $h/d=2$
- $f_{carota (h/d=1)}$ Valore della resistenza misurata su una carota estratta dalla struttura avente $h/d=1$

Figura 8 - Glossario definito dalle *Linee Guida*

Nelle tavole trasmesse dalla Committenza sono esplicitate le diverse tipologie di materiali impiegati e le rispettive caratteristiche:

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI:

Calcestruzzo per strutture interne: travi, scale, lastre tralciate e getti integrativi per solai						
Classe di resistenza	Classe di esposizione	rapporto a/c	Dosaggio minimo cemento	D_{max} aggregato	Classe di consistenza	Classe di contenuto di cloruri
C 25/30	XC1	0,6	300 kg	25 mm	S4	Cl 0,2

Calcestruzzo per elementi interrati: plinti, diaframmi e paratie						
Classe di resistenza	Classe di esposizione	rapporto a/c	Dosaggio minimo cemento	D_{max} aggregato	Classe di consistenza	Classe di contenuto di cloruri
C 25/30	XC2	0,6	300 kg	30 mm	S4	Cl 0,2

Calcestruzzo per elementi interrati: platee di fondazione						
Classe di resistenza	Classe di esposizione	rapporto a/c	Dosaggio minimo cemento	D_{max} aggregato	Classe di consistenza	Classe di contenuto di cloruri
C 25/30	XC2	0,6	300 kg	30 mm	F6	Cl 0,2

Calcestruzzo per tutti i pilastri interni ed esterni con calcestruzzo facciavista						
Classe di resistenza	Classe di esposizione	rapporto a/c	Dosaggio minimo cemento	D_{max} aggregato	Classe di consistenza	Classe di contenuto di cloruri
C 32/40	XF1	0,5	320 kg	25 mm	S4	Cl 0,2

Acciaio d'armatura						
Acciaio tipo B 450C						

6. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA

La Committenza ha provveduto a fornire la relazione geologica e geotecnica, redatta dal Dott. Geol. Fabio Fusina datata ottobre 2010. Si riportano in seguito i parametri e le caratteristiche del terreno individuate. Non si ritengono necessarie ulteriori indagini in merito.

6.1 Parametri e caratteristiche del terreno

Si sintetizzano i dati e le ipotesi di calcolo adottate per le verifiche geotecniche nella lista sottostante:

- **Caratteristiche stratigrafiche dei terreni di fondazione**
Sabbia limosa debolmente ghiaiosa sciolta fino a 2 m al di sotto del piano di posa delle fondazioni, ghiaia e sabbia oltre tale profondità
- **Stato di addensamento alla quota di imposta**
Scarso fino a 2 m al di sotto del piano di posa delle fondazioni, buona oltre tale profondità
- **Stato limite di esercizio alla quota di imposta:** 120 kPa
- **Coefficiente di reazione del sottofondo (Winkler):** 27020 kN/mc per 40t/ml; 40530 kN/mc per 30t/ml
- **Presenza di acque sotterranee:** livello di falda ad una profondità superiore a 20 m dal piano strada
- **Capacità portante del terreno:** buona
- **Categoria sismica del suolo:** B ($V_s = 441$ m/s)

6.2 Analisi delle azioni sismiche

Il Comune di Milano è collocato in zona sismica 3. In data 10.04.2016 infatti è entrato in vigore la nuova zonizzazione sismica della Regione Lombardia (B.U.R.L 29 del 16.07.2014) che riclassifica Milano da zona 4 a zona 3. Si riportano in tabella i parametri sismici per periodi di ritorno di riferimento T_r .

Stato limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_o [/]	T_c^* [s]
Operatività	30	0.019	2.558	0.165
Danno	50	0.025	2.547	0.192
Salvaguardia vita	475	0.052	2.645	0.280
Prevenzione collasso	975	0.063	2.673	0.300

Con:

a_g : accelerazione orizzontale massima del sito

F_o : massimo valore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T_c^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

All'edificio sono state assegnate una vita nominale $V_n > 50$ anni e una classe d'uso II ed è pertanto di tipo ordinario.



7. LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA

La normativa attuale (Cap.8.5.4 **NTC2018** e Cap. C8.5.4 **Circolare**) prevede tre possibili livelli di conoscenza sulla base della completezza e del grado di approfondimento delle informazioni riguardanti le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali, i dettagli strutturali e le proprietà meccaniche dei materiali:

- LC1: livello di conoscenza limitato = > FC = 1,35
- LC2: livello di conoscenza adeguato = > FC = 1,20
- LC3: livello di conoscenza accurato = > FC = 1,00

Sulla base delle informazioni trasmesse, in accordo con la Committenza, si è scelto di definire il grado di approfondimento delle indagini da fare per l'edificio in esame:

Per le strutture si considera un livello di conoscenza intermedio LC2, con FC=1.2

LC2: si intende raggiunto quando siano stati effettuati, come minimo, l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato, con riferimento al § C8.5.1, il rilievo geometrico completo e *indagini estese* sui dettagli costruttivi, con riferimento al § C8.5.2, *prove estese* sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, con riferimento al § C8.5.3; il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1,2** (nel caso di costruzioni di acciaio, se il livello di conoscenza non è **LC3** solo a causa di una non esaustiva conoscenza sulle proprietà dei materiali, il fattore di confidenza può essere ridotto, giustificandolo con opportune considerazioni anche sulla base dell'epoca di costruzione);

Figura 9 - Estratto C8.5.4 della *Circolare*

Come riportato in C8.5.4.2, i fattori di confidenza FC “verranno applicati ai **valori medi delle resistenze** dei materiali ottenuti dai campioni di prove distruttive e non distruttive per fornire una stima dei valori medi delle resistenze dei materiali della struttura entro l'intervallo di confidenza considerato (solitamente assunto pari al 95%).

In merito alle indicazioni riguardanti la quantità di prove da eseguire, si riporta la tabella C8.5.V, nella quale si correla il livello di indagini con lo sviluppo superficiale dell'edificio da analizzare.



A titolo esclusivamente orientativo, nelle tabelle C8.5.V e C8.5.VI si lega il livello (limitato, esteso, esaustivo) delle indagini alla quantità di rilievi dei dettagli costruttivi e di prove per la valutazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali. Rimane inteso che il piano delle indagini deve essere opportunamente calibrato in funzione dell'analisi preliminare (v. § C8.5.2.2 e C8.5.3.2) e quindi, in relazione al livello di conoscenza da raggiungere, orientato agli approfondimenti necessari nelle zone della costruzione ove risulti opportuno, sia in relazione all'impegno statico delle diverse membrature e al loro ruolo riguardo alla sicurezza della struttura, sia in relazione al grado di omogeneità dei risultati delle prove preliminari e al loro accordo con quanto previsto dai documenti originari.

Tabella C8.5.V – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di c.a.

Livello di Indagini e Prove	Rilievo(dei dettagli costruttivi) ^(a)	Prove (sui materiali) ^{(b)(c)(d)}
	Per ogni elemento "primario" (trave, pilastro)	
<i>limitato</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
<i>esteso</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
<i>esaustivo</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

In coerenza con quanto detto, il livello di indagini e prove sarà di tipo **esteso**.

8. PIANIFICAZIONE DELLE PROVE IN OPERA

Questa relazione ha come fine principale la definizione delle indagini da eseguire sull'edificio U32. Le aree da cui estrarre i campioni e su cui eseguire i test devono infatti essere individuate e programmate per permettere la valutazione della resistenza meccanica della struttura, i punti di prova preventivamente identificati e selezionati in base agli obiettivi prefissati: bisogna infatti che i prelievi e i risultati di una regione appartengano statisticamente e qualitativamente alla medesima popolazione di calcestruzzo – da qui la distinzione anche in base alla tipologia di elemento strutturale, se piano o in elevazione. Per non alterare i risultati, è opportuno evitare difetti evidenti nelle aree di prova, ma è necessario annotare ogni anomalia riscontrata (es. vespai, vuoti, occlusioni, presenza materiali estranei). La dimensione e la localizzazione sono determinati in funzione del metodo prescelto, mentre il numero di prove dipende sia dall'affidabilità desiderata nei risultati, sia dalle indicazioni presenti nelle **NTC2018** correlate alle superfici dell'edificio.

È utile combinare tra loro diverse tipologie di prove in funzione di diversi aspetti: accuratezza, tempo d'esecuzione, costo, danno apportato alla struttura.



Metodo di prova	Costo	Velocità di esecuzione	Danno apportato alla struttura	Rappresentatività dei dati ottenuti	Correlazione fra grandezza misurata e resistenza del cls
Carotaggio	Elevato	Lento	Moderato	Buona	Ottima
Indice di rimbalzo	Molto basso	Veloce	Nessuno	Interessa solo la superficie (1)	Debole
Velocità di propagazione di ultrasuoni	Basso	Veloce	Nessuno	Buona, se la prova è ben calibrata. Riguarda tutto lo spessore	Debole Da calibrare caso per caso (2)
Estrazione di inserti	Moderato	Veloce	Limitato	Interessa solo la superficie	Buona (3)
Resistenza alla penetrazione	Moderato	Veloce	Limitato	Interessa solo la superficie	Debole

(1) La singola determinazione è influenzata dallo stato della superficie dell'area di prova (umidità, carbonatazione ecc.).

(2) La misura si correla bene con il modulo elastico del materiale; la bontà della correlazione tra modulo elastico e resistenza meccanica, dipende molto dalle caratteristiche del conglomerato.

(3) Per i calcestruzzi di buona qualità ($\geq 30\text{MPa}$). Modesta per quelli di qualità scadente.

Figura 10 - Comparazione metodi d'indagine riportata dalle *Linee Guida*

Nel caso in esame, si decide di combinare tra loro carotaggi (prove distruttive dirette usate come riferimento per eventuali calibrature dei risultati) con prove SonReb (Sclerometriche Ultrasoniche: non distruttive, rapide nell'esecuzione ed economiche). Ciò è previsto e consentito nel "Cap. 3.3 Prescrizioni specifiche per la stima della resistenza in situ mediante carotaggi da utilizzare nella valutazione di costruzioni esistenti" delle **Linee Guida**: trattandosi di una costruzione esistente è possibile sostituire alcune prove distruttive con prove non distruttive tramite alcune accortezze riguardanti il numero di indagini. Si riporta a riguardo l'estratto di riferimento:

Nel caso di prove che vengano effettuate ai fini della valutazione della capacità di strutture esistenti, si ricorda che, ai sensi della Circolare n. 617, *"Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive"*.

Nel caso di costruzioni esistenti, non si farà riferimento ai valori f_{ck} ed R_{ck} , bensì si calcoleranno i valori medi cilindrici $f_{m(n)}$ o cubici $R_{m(n)}$, definiti come al punto a) del paragrafo precedente, ai quali andranno applicati i "fattori di confidenza" che ridurranno preliminarmente, in base al livello di conoscenza conseguito nelle indagini conoscitive, i valori medi di resistenza dei materiali della struttura esistente.

8.1 Prove previste

Di seguito si elencano le tipologie di prove necessarie per la caratterizzazione della struttura in esame e la relativa contestualizzazione.

In questa fase vengono definite attività d'indagine appartenenti al gruppo delle *verifiche estese* di cui alla tabella C8.5.V della **Circolare**, per le quali è previsto (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**):

- quantità e disposizione dell'armatura verificata per almeno il 35% degli elementi;
- 2 provini di cls ogni 300 m² di piano dell'edificio,
- 2 campioni di armatura per piano dell'edificio,



Le prove sono riferite ad ogni elemento “primario”, (trave e pilastro/setto). Considerato inoltre che è consentito (punto (c) delle note esplicative alla tabella C8.5.V) sostituire alcune prove distruttive (non più del 50%) con altre prove non distruttive in numero almeno pari al triplo - tarandole su quelle distruttive, vengono previste anche prove di SonReb sul calcestruzzo e prove sull'acciaio d'armatura.

In relazione agli obiettivi prefissi per l'attività progettuale, le indagini sono suddivise secondo due tipologie:

- d) Indagini mediamente distruttive, che permettendo d'individuare le caratteristiche meccaniche dei materiali che costituiscono le strutture ed il livello di degrado presente.
- e) Indagini non distruttive, che consistono nell'individuazione delle caratteristiche degli elementi strutturali in c.a.;

8.1.1 Indagini mediamente distruttive

Consistono nel *prelievo di provini cilindrici* da sottoporre a prove di rottura per determinare la resistenza meccanica a compressione ai sensi della **UNI EN 12504-1:2009** e la profondità di carbonatazione ai sensi della **UNI 9944:1992**. Vengono previste (come sostitutive) anche prove tipo SonReb, ad integrazione dei carotaggi.

Si ottengono quindi le informazioni sulle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo e sul comportamento nel tempo dell'armatura nei confronti dei fenomeni corrosivi.

Oltre a questo, è necessario il *prelievo di spezzoni di armatura* per le prove di caratterizzazione meccanica dei tondini di acciaio.

Per l'attività è necessario l'accesso all'intera struttura e l'assistenza muraria (a cura di un'impresa incaricata) per i ripristini delle zone in cui verrà asportato il calcestruzzo (carotaggi e SonReb – SONic REBound), mentre il ripristino delle porzioni di armatura (nelle zone di prelievo) deve essere effettuato a cura di tecnici specializzati, muniti di patentino e corso di formazione specifico (**UNI EN 287-1**).

8.1.1.1 Indagini sul calcestruzzo – prove di rottura a compressione

Prelievo con carotaggio dei provini cilindrici da sottoporre a prove a rottura presso un Laboratorio autorizzato ai sensi dell'art. 59, **DPR 380/2001**.

Il prelievo delle carote deve essere effettuato tramite l'utilizzo di macchina idonea per l'estrazione dopo aver precedentemente analizzato la superficie dell'elemento da carotare con apposito rilevatore di barre d'armatura (pacometro) ed il rapporto diametro (\varnothing) altezza della carota (h) deve essere pari a $\varnothing/h = 1$.

I punti di prelievo sono stati verificati preventivamente sulla base dei disegni esecutivi del c.a. per evitare di sezionare armature principali.

8.1.1.2 Indagini sul calcestruzzo – prova di carbonatazione

La prova va effettuata sulle carote estratte utilizzando la fenoltaleina (indicatore di pH) in forma di soluzione in etanolo allo 0,1%; in base alla formazione delle stratificazioni sul provino viene ricavata la profondità di carbonatazione.

8.1.1.3 Indagini sul calcestruzzo – prova di pull-out

Il metodo è basato sulla misura della forza necessaria ad estrarre dal calcestruzzo un inserto metallico standardizzato, utilizzando un martinetto idraulico collegato all'inserto ed un anello di reazione che contrasta con la superficie del calcestruzzo.



8.1.1.4 Indagini sull'acciaio di armatura – prelievo di campioni

I prelievi di armatura saranno effettuati di norma nelle sezioni meno sollecitate delle strutture.

Le fasi operative sono:

- 1 Rimozione dello strato superficiale di calcestruzzo
- 2 Estrazione tramite taglio della porzione di barra da sottoporre ad analisi in laboratorio
- 3 Saldatura della barra sostitutiva in acciaio a aderenza migliorata dello stesso diametro con elettrodi a freddo eseguita con piccole passate per evitare lo snervamento delle barre dovuto al calore
- 4 Ripristino del ricoprimento con malta cementizia tixotropica ad alta resistenza.

I campioni di acciaio prelevati sono successivamente sottoposti a prova di trazione al fine di determinare le seguenti caratteristiche meccaniche secondo **UNI EN ISO 15630-1**:

- Determinazione del diametro effettivo;
- Tensione di snervamento;
- Tensione di rottura;
- Allungamento percentuale a rottura.

8.1.1.5 Indagini sull'acciaio di armatura – prove di durezza

Nelle zone in cui il prelievo diretto delle barre di armatura risulta di difficile realizzazione, sono previste prove di durezza in situ (**ASTM A956**) al fine di stimare la resistenza meccanica della barra con l'utilizzo di un micro-durometro.

8.1.2 Indagini non distruttive

Le indagini non distruttive consistono in prove di tipo *pacometrico*, che permettono di individuare la posizione delle armature presenti negli elementi di c.a. e lo spessore del copriferro, con particolare riferimento ai nodi strutturali, di tipo *sclerometrico* e di tipo *ultrasonico*, che studia la propagazione di onde elastiche longitudinali all'interno del calcestruzzo.

Anche le **prove non distruttive** devono essere effettuate da Tecnici Certificati CND di II° Livello muniti di patentino e corso di formazione specifico (metodologie MG-SC-UT-TG secondo la **Norma ISO 9712:2012**).

8.1.2.1 Prova sclerometrica

Le fasi operative sono:

- 1 Individuazione della zona in modo da non avere superfici coperte da intonaco/vernici, assenza di ferri di armature (utilizzo pacometro), assenza di vespai e porosità, spessore elemento >100mm
- 2 Pulizia e lisciatura della superficie tramite pietra abrasiva, se necessario con smerigliatore
- 3 Esecuzione di almeno 9 battute
- 4 Calcolo della mediana dei valori degli indici di rimbalzo.



8.1.2.2 Prova ultrasonica

Le fasi operative sono:

- 1 Individuazione della zona in modo da non avere ferri di armature (utilizzo pacometro)
- 2 Pulizia della superficie e posizionamento dei punti di misura
- 3 Misura della distanza tra i punti estremi di ciascun percorso (i.e. distanza tra le due sonde)
- 4 Allineamento delle sonde trasmettenti e riceventi
- 5 Esecuzione delle misure; in caso di misurazioni dirette si effettuano almeno 3 misure su percorsi diversi, nei casi di misurazioni indirette almeno 10.

8.1.3 Elenco prove

Visti i tempi ridotti, constatato il grado di conservazione complessivo delle strutture, si è deciso di optare per un mix di prove calibrato ad hoc. In riferimento a quanto riportato dalla normativa ed alle caratteristiche dell'edificio U32 il set di prove viene riassunto dalla seguente tabella:

U 32 - LC2	mq	Pilastrati				Travi			
		Carotaggi calcestruzzo	Sclerom.	Prelievo barre	Pacom.	Carotaggi calcestruzzo	Sclerom.	Prelievo barre	Pacom.
A 1	735	3	9	2	3	3	9	2	3
A 2	"	3	9	2	3	3	9	2	3
A 3	"	3	9	2	3	3	9	2	3
A 4	"	3	9	2	3	3	9	2	3
B 1	670	2	6	2	2	2	6	2	2
B 2	"	2	6	2	2	2	6	2	2
B 3	"	2	6	2	2	2	6	2	2
		18	54	14	18	18	54	14	18

Il progettista strutturale

Ing. Marco Ferrario