

Via Annibale Zucchini, 69 – Ferrara  
e-mail: info@elletipi.it

**Michelangelo Micheloni**

Via A. Gramsci, 20 – Lastra a Signa (FI)  
e-mail: michelangelo@micheloni.pro

**LAVORO:**

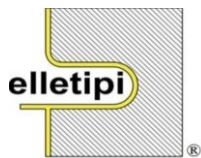
**Esecuzione di indagini strutturali, prove di carico, caratterizzazione dinamica ed elaborazione del modello strutturale dell'edificio "Ex Centrale Termica" dello stabilimento FIAT di Novoli, Firenze**

**TITOLO:**

**Relazione di interpretazione delle indagini conoscitive e descrittiva della modellazione strutturale**

**Ing. Michelangelo Micheloni**

2		
1	REVISIONE	30 settembre 2017
0	EMISSIONE	8 settembre 2017
REV	DESCRIZIONE	DATA
Il presente documento è di proprietà degli autori Le proprietà intellettuali sono dei rispettivi autori. A termini di legge ogni diritto è riservato.		ELABORATO: <b>DOC.02</b>
		N. PAG 39



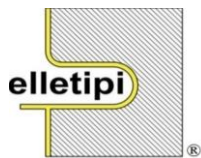
Via Annibale Zucchini, 69 – Ferrara  
e-mail: info@elletipi.it

**Michelangelo Micheloni**

Via A. Gramsci, 20 – Lastra a Signa (FI)  
e-mail: michelangelo@micheloni.pro

## **INDICE GENERALE**

<b>1. PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>2. DESCRIZIONE DEL PROCESSO CONOSCITIVO</b>	<b>5</b>
2.1. FASI DEL PROCESSO CONOSCITIVO	5
2.2. LIVELLO DI CONOSCENZA	5
<b>3. LA STORIA DELL'EDIFICIO</b>	<b>7</b>
<b>4. QUADRO NORMATIVO</b>	<b>10</b>
<b>5. DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO</b>	<b>13</b>
<b>6. IL PROGETTO ORIGINALE</b>	<b>16</b>
<b>7. RILIEVI GEOMETRICI DELL'OPERA ATTUALE.</b>	<b>20</b>
7.1. RILIEVO DELLE DIMENSIONI GENERALI DELLA STRUTTURA	20
7.2. RILIEVO DELLE SEZIONI RESISTENTI DELLE TRAVI E DEI PILASTRI	20
7.3. RILIEVO DELLE MURATURE DELLA CIMINIERA E DEI TAMPONAMENTI	20
<b>8. PROPRIETÀ MECCANICHE DEI MATERIALI</b>	<b>21</b>
8.1. PROVE SUI CALCESTRUZZI	21
8.2. PROVE SULL'ACCIAIO IN BARRE	30
8.3. PROVE SULLE MURATURE	33
<b>9. FENOMENI DI DEGRADO</b>	<b>35</b>
<b>10. CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DELL'EDIFICIO</b>	<b>36</b>



Via Annibale Zucchini, 69 – Ferrara  
e-mail: [info@elletipi.it](mailto:info@elletipi.it)

## **Michelangelo Micheloni**

Via A. Gramsci, 20 – Lastra a Signa (FI)  
e-mail: [michelangelo@micheloni.pro](mailto:michelangelo@micheloni.pro)

---

11.	MODELLO STRUTTURALE	37
12.	ALLEGATI	39

## 1. Premessa

La presente relazione descrive il processo conoscitivo che è stato attuato nell'ambito degli studi sull'edificio della **“Ex Centrale Termica”** dello stabilimento Fiat di Novoli.

Tali studi si collocano nell'ambito della convenzione tra Immobiliare Novoli Spa e Comune di Firenze per il Piano di recupero dell'ex Area Fiat di Novoli.

In dettaglio il lavoro ha riguardato l'esecuzione di indagini strutturali, prove di carico, modellazione dinamica ed elaborazione del modello strutturale dell'edificio



L'edificio, progettato e costruito tra il 1938 ed il 1939 ha un valore storico legato, non solo alla sua età, ma anche al suo ruolo di testimonianza presenza di una realtà industriale fiorentina importante, quale è stato lo stabilimento FIAT di Novoli.

Di seguito verranno quindi descritte tutte le fasi del processo conoscitivo ed i risultati a cui ha portato.

## 2. Descrizione del processo conoscitivo

### 2.1. Fasi del processo conoscitivo

Il processo conoscitivo necessario al raggiungimento di un quadro completo di dati, tale da permettere la corretta valutazione dello stato di sicurezza dell'opera, si articola attraverso varie fasi, di seguito elencate.

- Ricerca storica sull'opera
- Studio del progetto originale e dei documenti allegati
- Studio dei documenti relativi alla realizzazione dell'opera
- Rilievi geometrici in sito
- Prove sui materiali che compongono l'opera
- Prove geologiche
- Prove geofisiche e analisi sismica del sito

Per ognuna delle fasi sopra elencate è stato fatto un accurato lavoro di studio i cui risultati vengono riportati di seguito nel presente documento.

### 2.2. Livello di conoscenza

Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali si prevede di utilizzare l'approccio delle attuali normative quali il DM 14.01.2008 e successive integrazioni.

In base a quanto riportato al paragrafo C8A.1.B della Circolare 2/2/2009 n. 617 CSLLPP, il livello di conoscenza viene identificato in base alle informazioni disponibili sulla geometria della struttura, sui dettagli costruttivi e sulle proprietà dei materiali. Nel caso in esame considerando i dati disponibili e le possibilità di eseguire indagini in sito si è ipotizzato di raggiungere un livello di **“Conoscenza Adeguata – LC2”** a cui corrisponde un **fattore di confidenza FC = 1,20**.

Tale livello di conoscenza viene raggiunto raccogliendo le seguenti informazioni.

Geometria dell'opera nello stato attuale: *la geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso viene effettuato un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni. I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti*



*i dettagli strutturali, saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi lineare o non lineare.*

Nel caso in esame verranno utilizzati i pochi disegni disponibili del progetto originale, ovvero le piante e le sezioni generali dell'edificio. Tali dati geometrici verranno integrati con rilievi in sito delle carpenterie di tutti i piani e delle sezioni resistenti.

Dettagli costruttivi: *i dettagli sono noti da un'estesa verifica in-situ oppure parzialmente noti dai disegni costruttivi originali incompleti. In quest'ultimo caso viene effettuata una limitata verifica in situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.*

Nel caso in esame non sono disponibili i disegni del progetto originale dell'opera e quindi è stata eseguita un'estesa verifica in situ con rilievi delle sezioni resistenti e saggi mirati alla verifica delle armature metalliche. La tabella C8A.1.3a della Circolare 2/2/2009 n. 617 CSLLPP definisce delle verifiche estese quando viene rilevata l'armatura per almeno il 35% degli elementi strutturali.

Proprietà meccaniche dei materiali conglomerato e acciaio: *Le informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali di prova, o da estese verifiche in-situ. Nel primo caso sono anche eseguite limitate prove in-situ; se i valori ottenuti dalle prove in-situ sono minori di quelli disponibili dai disegni o dai certificati originali, sono eseguite estese prove in-situ. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.*

Nel caso in esame poiché non sono disponibili né i disegni costruttivi originali né i certificati originali di prova dei materiali sono state eseguite delle estese verifiche in situ, ovvero, come richiesto dalla tabella C8A.1.3a della Circolare 2/2/2009 n. 617 CSLLPP, sono state fatte delle prove su 2 provini in calcestruzzo per 300m<sup>2</sup> di piano dell'edificio e 2 campioni di armatura per piano dell'edificio.

### 3. La storia dell'edificio

Lo stabilimento FIAT di Novoli, oggi scomparso, venne realizzato tra il 1938 ed il 1939 su progetto dell'ing. Vittorio Bonadé Bottino consulente e direttore del servizio costruzioni della FIAT.



**fotografia tratta dalla stampa dell'epoca con la centrale termica in primo piano**

La sua costruzione fu ampiamente pubblicizzata dalla stampa dell'epoca come operazione di importanza fondamentale per lo sviluppo industriale di Firenze. Ufficialmente era stata annunciata la realizzazione di uno stabilimento che inizialmente sarebbe stato destinato alla sola riparazione di automezzi e in seguito anche alla produzione di motori da automobili.

Un'altra tesi sosteneva che la costruzione della fabbrica sarebbe stata commissionata dagli strateghi dell'Aeronautica che intendevano trasferire da Torino la FIAT Aviazione perché facile bersaglio delle incursioni nemiche. Ma a pochi mesi dall'inizio della costruzione venne dato il contrordine allo sviluppo di Firenze come città della Aviazione e venne così accantonato il progetto della FIAT Aviazione.

Tuttavia, l'opera di realizzazione del complesso industriale proseguì usufruendo del terreno concesso tramite convenzione alla Società Anonima dell'Amministrazione Comunale.

Il gruppo di fabbricati realizzati nel 1939 comprendeva lo stabilimento di produzione, la centrale termica, depositi e magazzini.





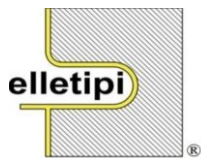
**veduta aerea dell'area FIAT nel 1965**

Oggi l'unico edificio rimasto in vita è quello della centrale termica, identificato nelle planimetrie dell'epoca come fabbricato "a11".



**veduta aerea dell'area FIAT nel 2016**





Via Annibale Zucchini, 69 – Ferrara  
e-mail: [info@elletipi.it](mailto:info@elletipi.it)

## **Michelangelo Micheloni**

Via A. Gramsci, 20 – Lastra a Signa (FI)  
e-mail: [michelangelo@micheloni.pro](mailto:michelangelo@micheloni.pro)

---

L'edificio, isolato da altri fabbricati, è oggi collocato nel Piano di recupero dell'ex Area Fiat di Novoli con denominazione "A3".

La ex centrale termica è quindi l'unico edificio dell'area che una volta ristrutturato rimarrà a testimoniare, in qualche misura, la presenza di una realtà industriale fiorentina importante.

## 4. Quadro normativo

Il quadro normativo considerato sarà rappresentato sia dalle attuali normative, per quanto riguarda i risultati finali della ricerca, ma anche dalle normative vigenti all'epoca della costruzione del ponte, necessarie per una completa comprensione del progetto dell'opera.

### Normativa vigente al momento della redazione del presente documento – Anno 2017

- D.M. Infrastrutture del 14 gennaio 2008 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”
- Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 Consiglio Superiore Lavori Pubblici “Istruzioni per l'applicazione delle <Nuove norme tecniche per le costruzioni> di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008”
- “Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera” approvate con Decreto del Presidente CSLLPP n. 361 del 26 settembre 2017

### Normativa vigente al momento del progetto e realizzazione – Anni 1938-1939

- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 10 gennaio 1907, pubblicato sulla G.U. n. 28 del 2/2/1907 “Norme tecniche per l'esecuzione di opere in cemento armato”
- Regio Decreto Legge n. 1981 del 4/9/1927.
- Regio Decreto Legge del 16 novembre 1939 n. 2229 “Norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato”

Con il **Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 10 gennaio 1907**, pubblicato sulla G.U. n. 28 del 2/2/1907, vennero approvate in Italia le prime norme tecniche per l'esecuzione di opere in cemento armato, da applicarsi però alle sole opere di competenza del Ministero stesso. Tali norme, redatte dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, rappresentarono per l'Italia la prima norma cogente riguardante la sicurezza delle costruzioni intesa come problematica di interesse sociale di rilevanza tale da dover essere regolamentata ex lege.

La norma poneva fine all'epoca ottocentesca durante la quale la sicurezza delle costruzioni si ipotizzava formalmente garantita dal rispetto di regole tecniche senza l'obbligo della verifica numerica, introducendo la necessità di verifica dei livelli tensionali dei componenti strutturali. La norma imponeva infatti che i progetti

dovessero essere obbligatoriamente accompagnati dai calcoli statici che dovevano dimostrare il rispetto di tensioni ammissibili.

Con il **Regio Decreto Legge n. 1981 del 4/9/1927** la disciplina delle opere in c.a. è stata estesa all'ambito privato. A partire dall'11/11/1927 quindi, nell'esecuzione di opere in c.a., è sorto l'obbligo in base al quale l'opera doveva essere costruita sulla base di un progetto esecutivo firmato solo da ingegneri. L'opera doveva essere *diretta* da un ingegnere ed eseguita da imprese di comprovata idoneità tecnica, specificando la necessità di certificati che attestassero l'esecuzione di opere analoghe con esito pienamente favorevole. La qualità e la proprietà dei materiali impiegati doveva essere comprovata da certificati rilasciati da laboratori ufficiali. Al termine dei lavori il committente doveva consegnare al prefetto, che svolgeva l'attività di sorveglianza delle opere in c.a., copia del certificato di collaudo redatto da un ingegnere.

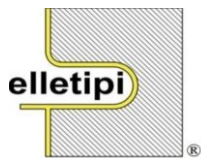
Il turbolento periodo della Prima Guerra Mondiale e del successivo dopoguerra, portò ad aggiornamenti, modifiche e Circolari, molte volte con prescrizioni contraddittorie. Questo disordine ebbe fine con le “Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato”, approntate dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ed emanate con il **Regio Decreto Legge n.2229 del 16 novembre 1939**.

La norma attuava ed imponeva in maniera rigorosa le aspettative della precedente norma del 1907, indicando in modo puntuale prestazioni e processi di verifica della sicurezza, stabilendo l'elenco dei Laboratori Ufficiali per le prove sui materiali ed introducendo il processo del controllo ed approvazione dei calcoli statici e del progetto da parte dei Genii Civili e delle Prefetture.

Poiché come verrà meglio spiegato nel successivo capitolo 6 non c'è certezza sulla data di progettazione e realizzazione dell'opera, ma si suppone che sia avvenuta tra il 1938 ed il 1940 è necessario considerare quanto riportato nelle tre normative sopra elencate, ovvero il Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 10 gennaio 1907, il Regio Decreto Legge n. 1981 del 4/9/1927 ed il Regio Decreto Legge n.2229 del 16 novembre 1939.

Le principali differenze tra i due quadri normativi sono le seguenti.





Via Annibale Zucchini, 69 – Ferrara  
e-mail: [info@elletipi.it](mailto:info@elletipi.it)

**Michelangelo Micheloni**

Via A. Gramsci, 20 – Lastra a Signa (FI)  
e-mail: [michelangelo@micheloni.pro](mailto:michelangelo@micheloni.pro)

- 
- ✓ Le attuali norme prevedono verifiche secondo il metodo degli Stati Limite mentre le vecchie normative prevedevano verifiche con il metodo delle Tensioni Ammissibili.
  - ✓ Le nuove norme prevedono dei carichi identificati in base alle destinazioni d'uso, mentre le vecchie norme non identificavano delle classi di carico ma lasciavano libertà al progettista di prevedere i carichi ritenuti opportuni.
  - ✓ Le nuove norme prevedono materiali con caratteristiche meccaniche ben identificate, mentre le vecchie indicavano solo dei valori minimi per le caratteristiche meccaniche.
  - ✓ Le vecchie norme non prevedevano verifiche sismiche.

## 5. Descrizione dell'edificio

Si tratta di un edificio a torre di dimensioni in pianta pari a circa 20mx20m e cinque piani fuori terra, per un'altezza massima fuori terra di 31 m, ad eccezione della ciminiera che raggiunge i 50 metri di altezza da terra.



**prospetto**

Il piano terra è caratterizzato dai grossi pilastri che sorreggono l'edificio e le caldaie del piano primo.



**vista del piano terra**

Due solai (a quota +5 m. e +22 m.) sezionano il grande spazio verticale. Sul primo sono appoggiate le due grandi caldaie, sul secondo le tramogge per l'alimentazione e la ciminiera, che prosegue oltre il solaio di copertura.



**vista delle caldaie e del sistema di scale metalliche del 1° piano**

Il primo piano è con uno spazio fortemente caratterizzato dalla presenza delle due grandi caldaie in laterizio e da un intreccio di scalette metalliche che si arrampicano fino al terzo livello.

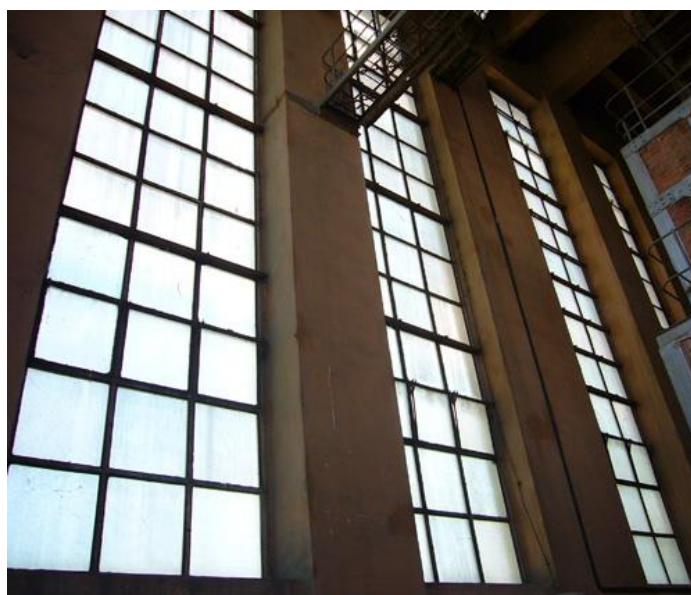
A quota +27 m. si trova un altro solaio aperto nella parte centrale sul quale si trovavano le vasche dell'acqua ed infine a quota +31,2 m. c'è il solaio di copertura.





**piano terzo con le due grandi vasche ai lati e lo spazio aperto al centro**

I prospetti, di disegno semplice, sono caratterizzati dalle lunghe aperture simmetriche rispetto all'asse verticale.

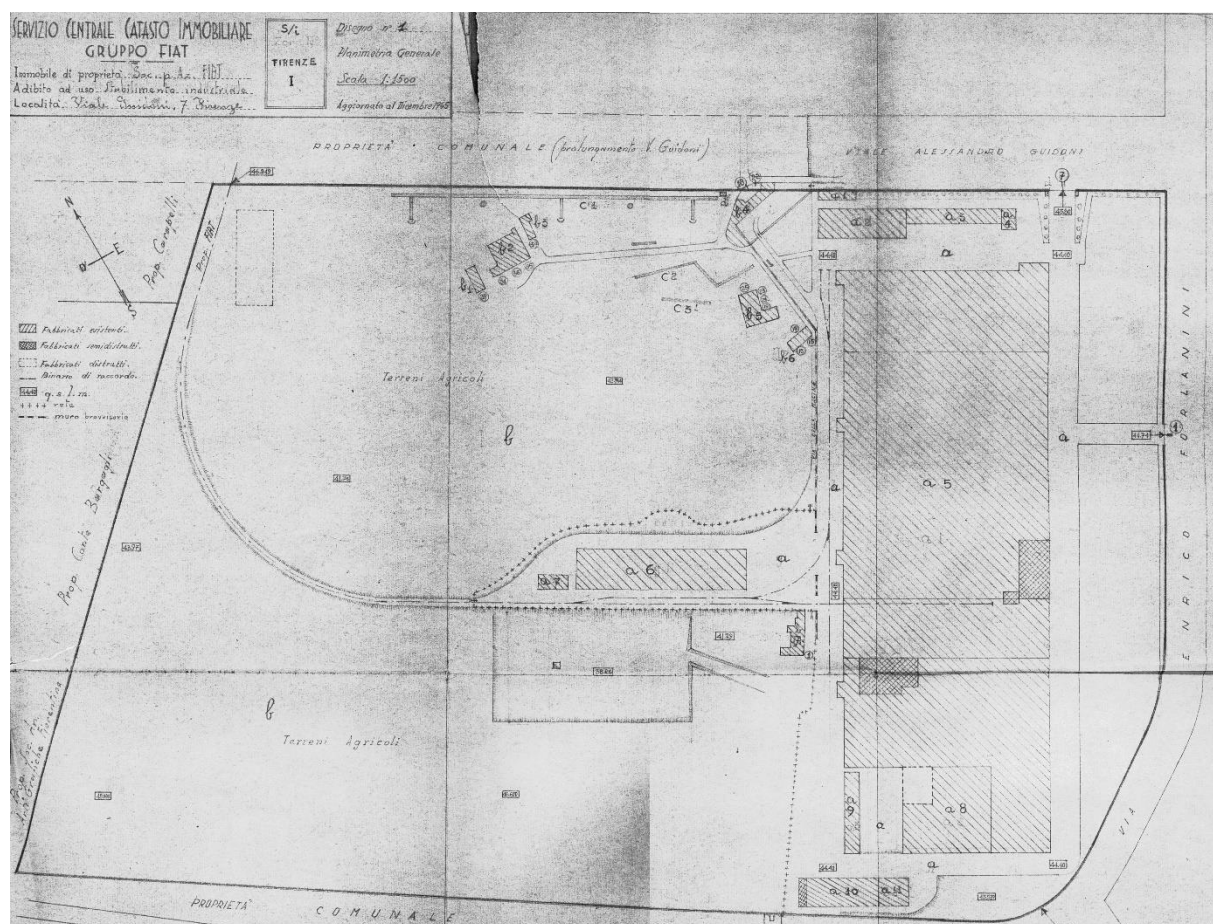


**le finestre del piano primo**

## 6. Il progetto originale

Le ricerche effettuate presso il Centro Storico Fiat di Torino e presso l'Archivio Storico del Comune di Firenze hanno permesso di reperire interessanti documenti e disegni sulla realizzazione della fabbrica, ma purtroppo non è stato reperito il progetto originale delle strutture dell'opera.

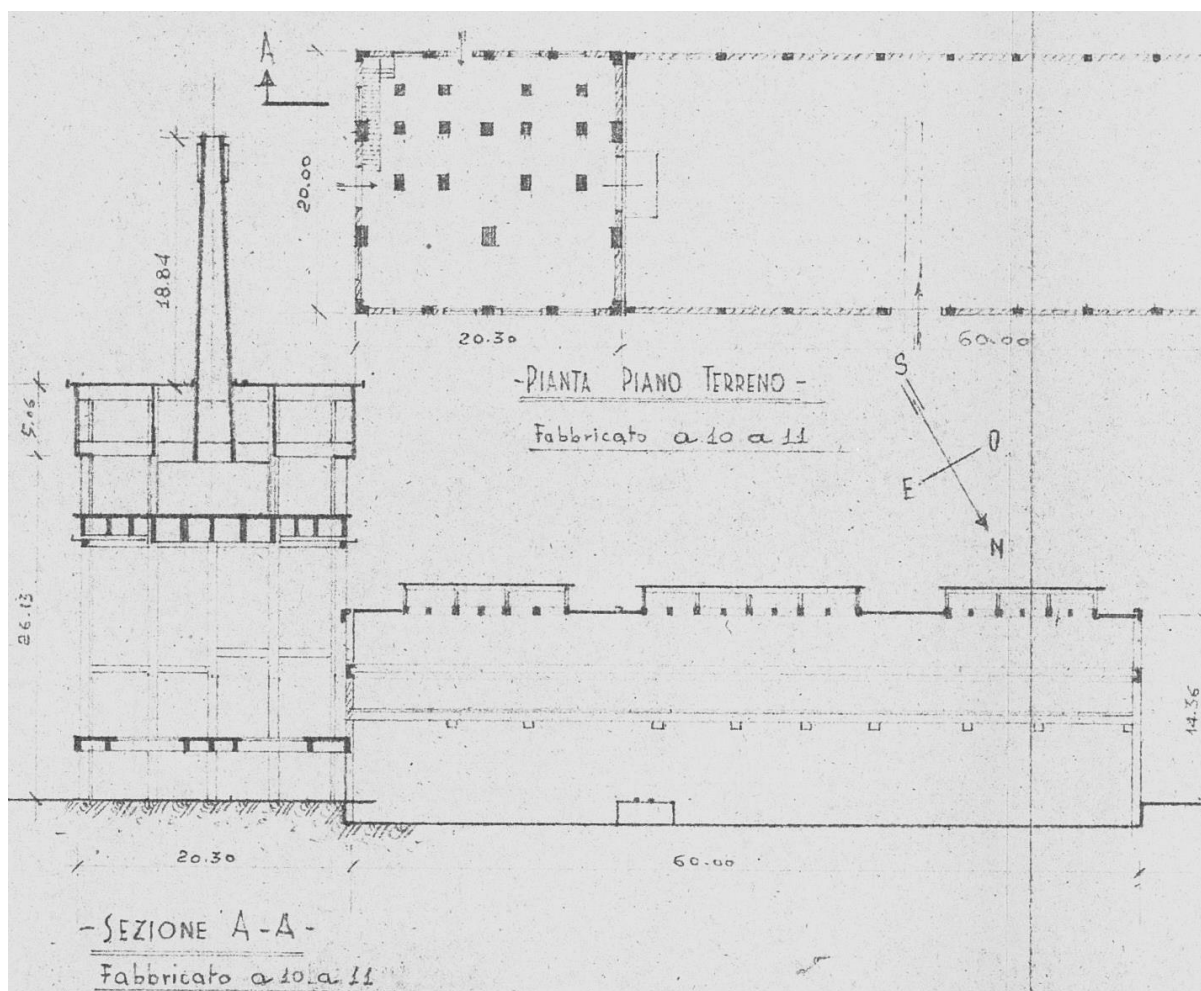
In particolare le planimetrie dello stabilimento, reperite presso il Centro Storico Fiat di Torino, hanno permesso di identificare la centrale termica come l'edificio "a11".



**planimetria generale dello stabilimento Fiat con in basso l'edificio a11 (centrale termica)**

Inoltre la documentazione ritrovata insieme a dette planimetrie contiene delle piante e delle sezioni dell'edificio, attraverso le quali è possibile identificare le dimensioni principali dell'opera.





**pianta e sezione dell'edificio a11 (centrale termica) e del vicino edificio a10 (deposito carbone)**

Purtroppo non è stato possibile identificare in modo esatto né la data del progetto esecutivo, né la data della realizzazione dell'opera.

Infatti presso l'Archivio Storico del Comune di Firenze sono presenti dei progetti depositati nel 25.02.1938 per la realizzazione dei capannoni, ma con una planimetria generale dell'area non corrispondente a quella effettivamente realizzata e senza traccia della centrale termica. Ciò porta quindi a supporre che questo non sia il progetto esecutivo effettivamente realizzato, ma solo una prima versione poi revisionata.



34x45  
1536 (966) 3000

**Ill.mo Signor Podestà del Comune di Firenze**

Al Signor del disposto dei Regolamenti Edilizio e d' Igiene si presenta il progetto  
**di Fabbricato Industriale**  
da eseguirsi in Via Regione di Novoli ( Zona industriale di Firenze)  
di proprietà del Sig. in corso di esproprio ai sensi della Convenzione 24/2/38 a favore FIAT  
domiciliato in Firenze al civico N.º 3 di Via Alamanni Luigi  
per ottenere il relativo nulla osta all' esecuzione.

Progettista è il Sig. (1) **Ing. VITTORIO BONADE' BOTTINO** - Servizio Costruzioni FIAT  
abitante in Torino al civico N.º 9 di Via XXIV Maggio  
Direttore delle opere è il Sig. (1)  
iscritto nell' Albo di \_\_\_\_\_ al civico N.º \_\_\_\_\_ di Via \_\_\_\_\_  
Esecutore dei lavori è il Sig. (2)  
abitante in \_\_\_\_\_ al civico N.º \_\_\_\_\_ di Via \_\_\_\_\_

**DESCRIZIONE PARTICOLAREGGIATA DELLE OPERE**

Esistono sottosuoli? **sottopiani e cunicoli**  
N.º dei piani fuori terra **uno e parzialmente due**  
N.º dei quartieri \_\_\_\_\_  
N.º stanze abitabili { al sottosuolo \_\_\_\_\_  
nei piani fuori terra \_\_\_\_\_  
Sottosuolo - Quartieri N.º \_\_\_\_\_  
1.º Piano - N.º \_\_\_\_\_  
2.º Piano - N.º \_\_\_\_\_  
3.º Piano - N.º \_\_\_\_\_  
Piano - N.º \_\_\_\_\_  
Piano - N.º \_\_\_\_\_  
dei locali adibiti ad uso negozi, magazzini e garages \_\_\_\_\_  
delle latrine \_\_\_\_\_  
dei bagni \_\_\_\_\_

Sistema dei solai \_\_\_\_\_  
Pozzi neri a tenuta N.º \_\_\_\_\_  
Esistono strutture in cemento armato? **Tutte le strutture del Fabbricato**  
Materiali da usarsi per la decorazione delle facciate **mattoni a faccia vista e intonaci di calce**

Firenze li 25 Febbraio 1938 Anno XVI° E. F.

Firma del Proprietario o di chi lo rappresenta \_\_\_\_\_  
• del Progettista **Ing. Vittorio Bonade' Bottino**  
• del Direttore delle opere (3) **saranno indicati prima dell' inizio dei lavori**  
• dell' esecutore delle opere **idem**

(1) Dovrà essere un Ingegnere od un Architetto laureato in una delle Scuole del Regno od abilitato ad esercitare nel Regno la professione di Ingegnere od Architetto. Sarà ammessa la firma di progetti e la direzione delle opere da parte di Geometri con limitazioni risultanti dalle disposizioni vigenti. (Art. 2 Regolamento Edilizio).  
(2) Dovrà essere debitamente abilitato. (Art. 2 Regolamento Edilizio).  
(3) Quando non sia lo stesso progettista. (Art. 2 Regolamento Edilizio).

**COMUNE DI FIRENZE**  
REGISTRO

modulistica per la realizzazione dell'opera presentata al Comune di Firenze in data 25.02.1938

Le planimetrie reperite invece presso il Centro Storico Fiat di Torino sono dei rilievi dello stato di fatto successivi alla realizzazione delle opere e datati dicembre 1945.



**frontespizio della planimetria generale dello stabilimento Fiat aggiornata al dicembre 1945**

Dai dati disponibili si può quindi desumere che la progettazione sia avvenuta tra il 1938 ed il 1940 e la realizzazione sia iniziata nel 1939 ed ultimata prima del 1945.

Poiché non sono disponibili i disegni esecutivi del progetto originale delle strutture è stata eseguita un'estesa verifica in situ con rilievi delle sezioni resistenti e saggi mirati alla verifica delle armature metalliche. La tabella C8A.1.3a della Circolare 2/2/2009 n. 617 CSLLPP definisce delle verifiche estese quando viene rilevata l'armatura per almeno il 35% degli elementi strutturali.

## **7. Rilievi geometrici dell'opera attuale.**

### **7.1. Rilievo delle dimensioni generali della struttura**

Partendo dai disegni originali dell'edificio sono stati fatti dei rilievi con grado di approfondimento sempre maggiore fino ad arrivare a definire in modo esatto le carpenterie di tutti i piani e le sezioni generali dell'edificio.

Oltre alle metodologie classiche di rilievo sono state fatte delle scansioni 3D ad alta risoluzione con precisione dello 0,3% ( $\approx 1\text{mm}$ ) dei nodi principali della struttura.

### **7.2. Rilievo delle sezioni resistenti delle travi e dei pilastri**

Oltre ai rilievi generali sono stati eseguiti dei rilievi di dettaglio delle sezioni resistenti e delle armature metalliche in esse contenute.

I risultati di tali rilievi sono riportati nelle schede grafiche riportate in allegato alla presente relazione.

### **7.3. Rilievo delle murature della ciminiera e dei tamponamenti**

Oltre ai rilievi generali sono stati eseguiti dei rilievi di dettaglio sugli spessori e sulla tessitura delle murature dei tamponamenti e della ciminiera.

In particolare i tamponamenti sono costituiti da una parete esterna in mattoni pieni ad una testa e da una parete interna in foratoni. Le due pareti sono divise da una camera d'aria con spessore variabile da pochi centimetri ad alcune decine di centimetri.

Per quanto riguarda invece la muratura della ciminiera, questa è costituita da due paramenti murari in blocchi di cemento suddivisi da un'intercapedine d'aria. Le murature sono armate con una barra diametro 6mm posta in modo alternato sui ricorsi di malta.



## 8. Proprietà meccaniche dei materiali

Obiettivo della campagna di prove sui materiali è quello di eseguire delle *verifiche* estese in modo da ottenere un livello di “**Conoscenza Adeguata – LC2**”, in base a quanto già anticipato nel precedente paragrafo 2.22.2.

### 8.1. Prove sui calcestruzzi

Come anticipato al precedente paragrafo 2.2, per il calcestruzzo si è dovuto eseguire delle indagini in mancanza di dati del progetto originale e di risultati di prove sperimentali eseguite all’atto della costruzione dell’opera. Oltretutto le prove sono state necessari anche per determinare il degrado del calcestruzzo avvenuto negli anni.

Secondo il paragrafo C8A.1B della Circolare 2/2/2009 n. 617 CSLLPP, per ottenere una verifica estesa devono essere prelevati *2 provini di calcestruzzo per 300m<sup>2</sup> di piano dell’edificio*.

Poiché i piani terra, primo, secondo e copertura hanno una superficie di circa 400m<sup>2</sup> ed il piano terzo ha una superficie di circa 300 m<sup>2</sup> devono essere prelevati almeno 20 provini (4 per i piani terra, primo, secondo e copertura e 2 per il piano terzo).

In realtà sono state prelevate **26 carote da sottoporre a prove di schiacciamento**.

Oltre alle prove di schiacciamento sono state eseguite delle prove finalizzate allo studio del deterioramento del calcestruzzo, ovvero delle prove di profondità della carbonatazione.

#### Prova di rottura per compressione su cilindri in calcestruzzo

(rif. norme UNI EN 12390-1; UNI EN 12390-3; UNI EN 12504-1)

Sono stati prelevati dei campioni di calcestruzzo in punti meno sollecitati ed avendo cura di non danneggiare i ferri di armatura.

I campioni di calcestruzzo prelevati sono stati sottoposti ad un’accurata preparazione, secondo la norma UNI EN 12390-1, dalla quale sono stati ricavati i provini di forma cilindrica aventi come rapporto tra le dimensioni il più vicino possibile ad un rapporto  $h/\phi = 1$ , secondo la norma UNI EN 12504-1 per le successive prove di compressione. Per uniformare i provini rispetto al rapporto  $\lambda = h/\phi = 1$  è stata operata una correzione con la formula  $R_{c1} = f_{c\lambda} \times 2.5/(1.5+1/\lambda)$  in modo da ottenere la resistenza a

compressione del corrispondente cilindro con snellezza  $\lambda=1$  assimilabile alla resistenza cubica.

La prova di compressione ha quindi consentito di determinare la loro resistenza a compressione cilindrica.

PROVA DI COMPRESSIONE SU PROVINI DI CALCESTRUZZO								
Parte d'opera	ID	Dimensioni Provino			Massa volumica	Carico di Rottura	f <sub>ck</sub>	R <sub>c1</sub>
		Diametro	Lunghezza	λ = L / D				
		[mm]	[mm]		[kg/mc]	[kN]	[MPa]	[MPa]
PILASTRO/piano terra	1	94	96	1.02	2206	117.30	16.9	17.0
PILASTRO/piano terra	2	94	100	1.06	2226	151.80	21.9	22.4
PILASTRO/piano terra	3	94	99	1.05	2256	235.80	34.0	34.7
PILASTRO/piano terra	4	94	97	1.03	2251	196.20	28.3	28.6
TRAVE/piano terra	5	94	83	0.88	2309	195.90	28.2	26.8
PILASTRO FOND	6	94	82	0.87	2311	246.00	35.4	33.5
PILASTRO FOND	7	94	95	1.01	2268	170.20	24.5	24.6
PILASTRO/1°piano	14	94	88	0.94	2211	136.40	19.7	19.1
SOLAIO	15	94	86	0.91	2279	160.30	23.1	22.3
PILASTRO/1°piano	16	94	67	0.71	2247	229.70	33.1	28.5
PILASTRO/1°piano	17	94	82	0.87	2302	204.20	29.4	27.8
PILASTRO/1°piano	18	94	94	1.00	2207	130.10	18.7	18.7
TRAVE / 3°piano	27	94	97	1.03	2213	149.80	21.6	21.9
TRAVE / 3°piano	28	94	97	1.03	2273	135.50	19.5	19.8
TRAVE / 3° piano	37	94	80	0.85	2333	246.20	35.5	33.2
TRAVE / 3° piano	38	94	90	0.96	2209	84.10	12.1	11.9
SOLAIO	40	94	70	0.74	2316	372.00	53.6	47.1

SOLAIO	20	94	87	0.93	2286	273.10	39.4	<b>38.1</b>
PILASTRO/2°piano	21	94	94	1.00	2215	95.80	13.8	<b>13.8</b>
PILASTRO/2°piano	22	94	94	1.00	2207	142.80	20.6	<b>20.6</b>
PILASTRO/2°piano	23	94	94	1.00	2276	143.30	20.6	<b>20.6</b>
PILASTRO/3°piano	24	94	93	0.99	2239	157.40	22.7	<b>22.6</b>
SOLAIO/3°piano	25	94	94	1.00	2223	162.60	23.4	<b>23.4</b>
PILASTRO/3° piano	26	94	96	1.02	2252	214.80	31.0	<b>31.2</b>
TRAVE / p copertura	29	94	94	1.00	2207	137.00	19.7	<b>19.7</b>
TRAVE / 2° p. ciminiera	42	94	97	1.03	2265	149.60	21.6	<b>21.8</b>
<b>Valori medi</b>								<b>25.0</b>

Seguendo le indicazioni riportate al paragrafo 3.2 delle “Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera” approvate con Decreto del Presidente CSLLPP n. 361 del 26 settembre 2017, viene operata una correzione ai valori sopra riportati per tener conto del fattore di disturbo  $F_d$  di prelievo della carota.

Applicando i valori di  $F_d$  suggeriti da tale norma si ottengono quindi i seguenti valori di resistenza strutturale di ciascuna carota.

<b>PROVA DI COMPRESSIONE SU PROVINI DI CALCESTRUZZO</b>				
Parte d'opera	ID	$R_{c1}$	$F_d$	$R_{c, is}$
		[MPa]		[MPa]
PILASTRO / piano terra	1	<b>17.0</b>	1.09	<b>18.6</b>
PILASTRO / piano terra	2	<b>22.4</b>	1.09	<b>24.3</b>
PILASTRO / piano terra	3	<b>34.7</b>	1.04	<b>36.1</b>
PILASTRO / piano terra	4	<b>28.6</b>	1.07	<b>30.5</b>
TRAVE / piano terra	5	26.8	1.07	28.8
PILASTRO fondazione	6	33.5	1.05	35.0

PILASTRO fondazione	7	24.6	1.08	26.6
PILASTRO / 1°piano	14	19.1	1.09	20.8
SOLAIO	15	<b>22.3</b>	1.09	<b>24.2</b>
PILASTRO / 1°piano	16	<b>28.5</b>	1.07	<b>30.4</b>
PILASTRO / 1°piano	17	<b>27.8</b>	1.07	<b>29.7</b>
PILASTRO / 1°piano	18	<b>18.7</b>	1.09	<b>20.4</b>
TRAVE / 3°piano	27	<b>21.9</b>	1.09	<b>23.8</b>
TRAVE / 3°piano	28	<b>19.8</b>	1.09	<b>21.6</b>
TRAVE / 3° piano	37	<b>33.2</b>	1.05	<b>34.8</b>
TRAVE / 3° piano	38	<b>11.9</b>	1.10	<b>13.1</b>
SOLAIO	40	<b>47.1</b>	1.00	<b>47.1</b>
SOLAIO	20	<b>38.1</b>	1.02	<b>38.7</b>
PILASTRO / 2°piano	21	<b>13.8</b>	1.10	<b>15.1</b>
PILASTRO / 2°piano	22	<b>20.6</b>	1.09	<b>22.4</b>
PILASTRO / 2°piano	23	<b>20.6</b>	1.09	<b>22.4</b>
PILASTRO / 3°piano	24	<b>22.6</b>	1.08	<b>24.5</b>
SOLAIO / 3°piano	25	<b>23.4</b>	1.08	<b>25.3</b>
PILASTRO / 3° piano	26	<b>31.2</b>	1.06	<b>32.9</b>
TRAVE / copertura	29	<b>19.7</b>	1.09	<b>21.5</b>
TRAVE / 2° piano (ciminiera)	42	<b>21.8</b>	1.09	<b>23.7</b>
<b>Valore medio</b>				<b>26.6</b>
deviazione standard				7,6

In realtà in base a quanto riportato al paragrafo C8.7.2 della Circolare 2/2/2009 n. 617 CSLLPP, per le costruzioni in cemento armato esistenti, i *valori delle caratteristiche dei materiali da utilizzare nel modello strutturale* sono i **valori medi** derivanti dalle *indagini effettuate*. Tuttavia nella presente trattazione si è preferito fornire un quadro completo anche della determinazione della classe resistente del calcestruzzo secondo



il metodo proposto dalle “Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera” approvate con Decreto del Presidente CSLLPP n. 361 del 26 settembre 2017.

Seguendo tale approccio si ottiene la seguente resistenza caratteristica in sito  $R_{ck, is}$  è uguale al minore tra i seguenti valori

$$f_{ck, is} = f_{m, is} - 1.48 * s = 26,6 - 1,48 * 7,6 = 15.4 \text{ MPa}$$

$$f_{ck, is} = f_{minore, is} + 4 = 17,1 \text{ MPa}$$

Viene quindi considerato il seguente valore.

$$\mathbf{R_{ck, is} = 15.4 \text{ MPa}}$$

Pur non avendo a disposizione il progetto originale dell’edificio si può fare riferimento ai valori minimi per i calcestruzzi imposti dal Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 10 gennaio 1907, per il quale la resistenza alla compressione (la norma parla di *schacciamento*) da valutare su cubi di 10-15 cm di lato è prescritta non inferiore a 150 Kg/cm<sup>2</sup>. Quindi si avrebbe  $R_{c28} = 150 \text{ kg/cm}^2 = 15 \text{ MPa}$  ovvero una classe del calcestruzzo minima pari a C12/15.

Seguendo quanto indicato nelle già citate “Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera”, *in termini concettuali, il confronto fra resistenza strutturale e resistenza potenziale risulta positivo se:*

$$R_{c, is} > 0,85 R_{ck}$$

ovvero si può considerare:

$$R_{c, is} / 0,85 > R_{ck}$$

Quindi nel nostro caso avremmo

$$\mathbf{R_{c, is} / 0,85 = 18,1 \text{ MPa} > R_c = 15,0 \text{ MPa}}$$

Quindi il confronto tra il valore ottenuto con le prove conoscitive e il minimo valore normativo dell’epoca per il calcestruzzo, risulta, in termini concettuali, soddisfatto.

Come già anticipato in base a quanto riportato al paragrafo C8.7.2 della Circolare 2/2/2009 n. 617 CSLLPP, per le costruzioni in cemento armato esistenti, i *valori delle caratteristiche dei materiali da utilizzare nel modello strutturale sono i valori medi derivanti dalle indagini effettuate*, considerando il fattore di confidenza  $FC=1,2$  e i coefficienti parziali quando applicabili.

Sebbene sia possibile fare una media dei valori della resistenza a compressione delle 26 carote e sebbene i valori medi ottenuti siano in linea con le prescrizioni del progetto originale, appare evidente come alcune carote abbiano dato dei valori molto bassi rispetto alle altre. È quindi fondamentale indagare in modo più approfondito con un approccio che suddivide le carote a seconda degli elementi strutturali che formano l'edificio.

I campioni vengono quindi suddivisi secondo i seguenti elementi strutturali.

- Pilastrì
- Travi
- Solette

Per ciascuna categoria di elementi strutturali viene quindi fatto uno studio delle caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi.

Pilastrì								
Parte d'opera	ID	Dimensioni Provino			Massa volumica	Carico di Rottura	f <sub>ck</sub>	R <sub>ck</sub>
		Diametro	Lunghezza	λ = L / D				
		[mm]	[mm]		[kg/mc]	[kN]	[MPa]	[MPa]
PILASTRO/piano terra	1	94	96	1.02	2206	117.30	16.9	17.0
PILASTRO/piano terra	2	94	100	1.06	2226	151.80	21.9	22.4
PILASTRO/piano terra	3	94	99	1.05	2256	235.80	34.0	34.7
PILASTRO/piano terra	4	94	97	1.03	2251	196.20	28.3	28.6
PILASTRO FOND	6	94	82	0.87	2311	246.00	35.4	33.5
PILASTRO FOND	7	94	95	1.01	2268	170.20	24.5	24.6
PILASTRO/1°piano	14	94	88	0.94	2211	136.40	19.7	19.1
PILASTRO/1°piano	16	94	67	0.71	2247	229.70	33.1	28.5
PILASTRO/1°piano	17	94	82	0.87	2302	204.20	29.4	27.8
PILASTRO/1°piano	18	94	94	1.00	2207	130.10	18.7	18.7
PILASTRO/2°piano	21	94	94	1.00	2215	95.80	13.8	13.8
PILASTRO/2°piano	22	94	94	1.00	2207	142.80	20.6	20.6

PILASTRO/2°piano	23	94	94	1.00	2276	143.30	20.6	<b>20.6</b>
PILASTRO/3°piano	24	94	93	0.99	2239	157.40	22.7	<b>22.6</b>
PILASTRO/3° piano	26	94	96	1.02	2252	214.80	31.0	<b>31.2</b>
<b>Valori medi</b>								<b>24.0</b>

Applicando i valori di  $F_d$  suggeriti delle linee guida si ottengono quindi i seguenti valori di resistenza strutturale di ciascuna carota.

<b>Pilastri - valori corretti con fattore disturbo</b>				
Parte d'opera	ID	$R_{c1}$	$F_d$	$R_{c, is}$
		[MPa]		[MPa]
PILASTRO / piano terra	1	<b>17.0</b>	1.09	<b>18.6</b>
PILASTRO / piano terra	2	<b>22.4</b>	1.09	<b>24.3</b>
PILASTRO / piano terra	3	<b>34.7</b>	1.04	<b>36.1</b>
PILASTRO / piano terra	4	<b>28.6</b>	1.07	<b>30.5</b>
PILASTRO fondazione	6	<b>33.5</b>	1.05	<b>35.0</b>
PILASTRO fondazione	7	<b>24.6</b>	1.08	<b>26.6</b>
PILASTRO/1°piano	14	<b>19.1</b>	1.09	<b>20.8</b>
PILASTRO/1°piano	16	<b>28.5</b>	1.07	<b>30.4</b>
PILASTRO / 1°piano	17	<b>27.8</b>	1.07	<b>29.7</b>
PILASTRO / 1°piano	18	<b>18.7</b>	1.09	<b>20.4</b>
PILASTRO / 2°piano	21	<b>13.8</b>	1.10	<b>15.1</b>
PILASTRO / 2°piano	22	<b>20.6</b>	1.09	<b>22.4</b>
PILASTRO / 2°piano	23	<b>20.6</b>	1.09	<b>22.4</b>
PILASTRO / 3°piano	24	<b>22.6</b>	1.08	<b>24.5</b>
PILASTRO / 3°piano	26	<b>31.2</b>	1.06	<b>32.9</b>
<b>Valori medi</b>				<b>26.0</b>
deviazione standard				6.3

Di seguito vengono riportati i risultati per le travi.

Travi								
Parte d'opera	ID	Dimensioni Provino			Massa volumica	Carico di Rottura	f <sub>ck</sub>	R <sub>c1</sub>
		Diametro	Lunghezza	λ = L / D				
		[mm]	[mm]		[kg/mc]	[kN]	[MPa]	[MPa]
TRAVE/piano terra	5	94	83	0.88	2309	195.90	28.2	26.8
TRAVE / 3°piano	27	94	97	1.03	2213	149.80	21.6	21.9
TRAVE / 3°piano	28	94	97	1.03	2273	135.50	19.5	19.8
TRAVE / 3° piano	37	94	80	0.85	2333	246.20	35.5	33.2
TRAVE / 3° piano	38	94	90	0.96	2209	84.10	12.1	11.9
TRAVE / p copertura	29	94	94	1.00	2207	137.00	19.7	19.7
TRAVE / 2° p. ciminiera	42	94	97	1.03	2265	149.60	21.6	21.8
Valori medi								22.2

Applicando i valori di  $F_d$  suggeriti delle linee guida si ottengono quindi i seguenti valori di resistenza strutturale di ciascuna carota.

Travi- valori corretti con fattore disturbo				
Parte d'opera	ID	$R_{c1}$	$F_d$	$R_{c, is}$
		[MPa]		[MPa]
TRAVE / piano terra	5	<b>26.8</b>	1.07	<b>28.8</b>
TRAVE / 3° piano	27	<b>21.9</b>	1.09	<b>23.8</b>
TRAVE / 3° piano	28	<b>19.8</b>	1.09	<b>21.6</b>
TRAVE / 3° piano	37	<b>33.2</b>	1.05	<b>34.8</b>
TRAVE / 3° piano	38	<b>11.9</b>	1.10	<b>13.1</b>
TRAVE / copertura	29	<b>19.7</b>	1.09	<b>21.5</b>
TRAVE / 2° piano (ciminiera)	42	<b>21.8</b>	1.09	<b>23.7</b>
<b>Valori medi</b>				<b>23.9</b>
deviazione standard				6.7



Di seguito vengono riportati i risultati per le solette dei solai.

Solette								
Parte d'opera	ID	Dimensioni Provino			Massa volumica	Carico di Rottura	f <sub>ck</sub>	R <sub>c1</sub>
		Diametro	Lunghezza	λ = L / D				
		[mm]	[mm]		[kg/mc]	[kN]	[MPa]	[MPa]
SOLAIO	15	94	86	0.91	2279	160.30	23.1	22.3
SOLAIO	40	94	70	0.74	2316	372.00	53.6	47.1
SOLAIO	20	94	87	0.93	2286	273.10	39.4	38.1
SOLAIO/3°piano	25	94	94	1.00	2223	162.60	23.4	23.4
Valori medi								32.7

Applicando i valori di  $F_d$  suggeriti delle linee guida si ottengono quindi i seguenti valori di resistenza strutturale di ciascuna carota.

Solette - valori corretti con fattore disturbo				
Parte d'opera	ID	$R_{c1}$	$F_d$	$R_{c, is}$
		[MPa]		[MPa]
SOLAIO	15	<b>22.3</b>	1.09	<b>24.2</b>
SOLAIO	40	<b>47.1</b>	1.00	<b>47.1</b>
SOLAIO	20	<b>38.1</b>	1.02	<b>38.7</b>
SOLAIO/3° piano	25	<b>23.4</b>	1.08	<b>25.3</b>
Valori medi				<b>33.8</b>
deviazione standard				11.0

Confrontando le deviazioni standard delle analisi ottenute con la suddivisione tra pilastri e travi rispetto all'analisi globale si nota come la deviazione standard si riduca ad indicare una più accurata analisi. Unica eccezione è l'analisi delle solette dei solai per le quali il basso numero delle prove e la variazione dei risultati rende più alta la deviazione standard.

Nella seguente tabella vengono quindi riassunti i risultati delle analisi.

Parti d'opera	Resistenza strutturale media $R_{c, is}$
<b>Pilastrì</b>	<b>26,0 MPa</b>
<b>Travi</b>	<b>23,9 MPa</b>
<b>Solette</b>	<b>33,8 MPa</b>
<b>Opera intera</b>	<b>26,6 MPa</b>

L'analisi puntuale dei dati ha quindi evidenziato una carenza del calcestruzzo delle travi rispetto a pilastrì e solette.

#### Prove di profondità della carbonatazione

(rif. norma UNI 9944:1992)

I 26 prelievi di carote di calcestruzzo, dopo la rottura, sono stati altresì sottoposti in laboratorio a prova di carbonatazione.

La prova consente di rilevare lo stato di conservazione di elementi strutturali in calcestruzzo attraverso il processo chimico della carbonatazione, il quale prevede che per azione dell'anidride carbonica che è presente nell'aria si venga a neutralizzare la calce presente nel calcestruzzo.

Il valore medio della profondità della carbonatazione sulle 26 carote è pari a circa 35mm. Questo è sinonimo di una limitata carbonatazione che ha interessato quasi solo il copriferro.

## **8.2. Prove sull'acciaio in barre**

Come anticipato al precedente paragrafo 2.2, non avendo a disposizione il progetto originale dell'opera, per l'acciaio in barre si è fatto riferimento alle caratteristiche del materiale previsto dalle normative dell'epoca e ai risultati delle prove di trazione sui campioni di barra prelevati in sito.

In particolare sono stati prelevati 20 campioni di barre ottenendo i risultati riassunti nella seguente tabella e riportati per esteso nella certificazione della prova eseguita da laboratorio ufficiale.

PROVA DI TRAZIONE DIRETTA [UNI EN ISO 6892-1:2009]					
ID	<b>D</b> [mm]	tensione di snervamento	tensione di rottura	rapporto tensioni	allungamento a rottura
		<b><i>f<sub>y</sub></i></b>	<b><i>f<sub>t</sub></i></b>	<b><i>f<sub>t</sub> / f<sub>y</sub></i></b>	<b><i>ε</i></b>
		[MPa]	[MPa]	[--]	[%]
1 - L	18	369.25	590.50	1.60	12.90
2 - L	16	297.47	518.00	1.74	7.42
5 A - L	20	373.84	569.20	1.52	30.83
5 B - L	6	383.82	533.90	1.39	32.03
20 A - L	20	385.69	580.10	1.50	30.90
20 B - L	20	385.65	585.10	1.52	27.62
20 C - L	6	401.16	551.10	1.37	7.93
20 D - L	6	235.91	242.10	1.03	3.47
27/1 - L	10	433.42	666.50	1.54	17.64
27/2 - L	10	445.53	673.20	1.51	27.76
28/F16 - L	6	408.53	553.60	1.36	39.20
28/F17 - L	6	424.10	613.10	1.45	25.57
32/F6 - L	12	394.46	634.40	1.61	9.88
32/F7 - L	12	388.55	612.90	1.58	28.92
32/F8 - L	20	367.33	576.00	1.57	19.65
32/F9 - L	20	487.49	710.90	1.46	0.00
34/F10 - L	8	373.75	527.50	1.41	28.50
34/F11 - L	6	346.17	463.00	1.34	33.33
37 - L	6	269.98	380.90	1.41	0.00
38 - L	8	425.54	609.60	1.43	19.13
<b>Valori medi</b>		<b>379.88</b>	<b>559.58</b>	<b>1.47</b>	<b>20.13</b>

**Il valore medio della tensione di snervamento risulta pari a circa 380 MPa e della tensione di rottura risulta pari a circa 560 MPa.**

Nonostante tali valori siano molto alti dalla lettura dei dati risultano evidenti due risultati anomali relativi a due barre con diametro 6mm. Volendo ipotizzare di isolare tali dati

vengono calcolati i valori medi per le sole barre da 6mm e per le barre con diametri compresi tra 8 e 20mm.

- **Barre  $\phi$  6mm:**  $f_{y,medio} = 352.81 \text{ MPa}$ ;  $f_{t,medio} = 476.81 \text{ MPa}$
- **Barre  $\phi$  8-20mm:**  $f_{y,medio} = 394.46 \text{ MPa}$ ;  $f_{t,medio} = 604.15 \text{ MPa}$

Tale analisi conferma quindi la qualità leggermente inferiore per le barre con diametro 6mm rispetto alle altre barre.

Pur non avendo a disposizione il progetto originale dell'edificio si può fare riferimento ai valori minimi per le caratteristiche meccaniche gli acciai previsti dalle normative vigenti all'epoca della progettazione dell'edificio.

- Qualità dei materiali secondo il **Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 10 gennaio 1907**
  - Armatura in ferro colato o ferro omogeneo con resistenza a rottura compresa tra **36 e 45 kg/mm<sup>2</sup>**.
  - Massima tensione ammissibile per trazione **1000 kg/cm<sup>2</sup>** e **800 kg/cm<sup>2</sup>** per taglio.
- Qualità dei materiali secondo il **Regio Decreto Legge n. 1981 del 4/9/1927**
  - Armatura in ferro omogeneo con resistenza a rottura compresa tra **38 e 50 kg/mm<sup>2</sup>**.
  - Massima tensione ammissibile per trazione **1200 kg/cm<sup>2</sup>** e **960 kg/cm<sup>2</sup>** per taglio.
- Qualità dei materiali secondo il **Regio Decreto Legge n.2229 del 16 novembre 1939**

*« Per tutte le armature delle strutture in cemento armato possono essere impiegati soltanto acciai Aq. 42, Aq. 50, Aq. 60 (UNI T. 743) sia in tondo, sia di forma speciale. « Per gli acciai in tondo, la tensione non deve superare il 50% del carico di snervamento e, in ogni caso, i valori indicati nella tabella III.*

*Tabella III*

<i>Aq. 42</i>	<i>1400 Kg/cm<sup>2</sup></i>
<i>Aq. 50</i>	<i>1600 Kg/cm<sup>2</sup> (1)</i>
<i>Aq. 60</i>	<i>1800 Kg/cm<sup>2</sup> (1)</i>

Interpretando quanto sopra riportato si ottengono le seguenti caratteristiche minime per i 3 tipi di acciaio previsti dal R.D. Legge n.2229 del 16.11.1939.



- Acciaio tipo Aq42:  $f_y = 280 \text{ MPa}$ ;  $f_t = 420 \text{ MPa}$ ;  $\sigma_{adm} = 140 \text{ Mpa}$
- Acciaio tipo Aq50:  $f_y = 320 \text{ MPa}$ ;  $f_t = 500 \text{ MPa}$ ;  $\sigma_{adm} = 160 \text{ Mpa}$
- Acciaio tipo Aq60:  $f_y = 360 \text{ MPa}$ ;  $f_t = 600 \text{ MPa}$ ;  $\sigma_{adm} = 180 \text{ Mpa}$

Poiché già la normativa dell'epoca prevedeva dei valori di tensione ammissibile ridotti per le armature resistenti a taglio vengono diversificati i valori resistenti assunti rispettivamente per le staffe con diametro 6mm e per i ferri longitudinali con diametri compresi tra 8 e 20mm.

I valori sopra riportati confermano quindi i valori medi in precedenza indicati ed quindi risulta lecito considerare i seguenti valori per le future verifiche sull'edificio.

Le caratteristiche delle barre utili per le verifiche risultano quindi le seguenti.

- **Staffe a taglio  $\phi$  6mm:**  $f_{y,medio} = 352.81 \text{ MPa}$ ;  $f_{t,medio} = 476.81 \text{ MPa}$
- **Barre longitudinali  $\phi$  8-20mm:**  $f_{y,medio} = 394.46 \text{ MPa}$ ;  $f_{t,medio} = 604.15 \text{ MPa}$

Come già anticipato in base a quanto riportato al paragrafo C8.7.2 della Circolare 2/2/2009 n. 617 CSLLPP, per le costruzioni in cemento armato esistenti, i *valori delle caratteristiche dei materiali da utilizzare nel modello strutturale sono i **valori medi** derivanti dalle indagini effettuate*, considerando il fattore di confidenza  $FC=1,2$  e i coefficienti parziali quando applicabili.

### 8.3. Prove sulle murature

Sulle murature della ciminiera e dei tamponamenti sono state eseguite delle prove in sito con martinetti piatti ed in laboratorio su campioni prelevati in sito.

In particolare vengono di seguito riportati i risultati delle prove con martinetto piatto doppio per le murature rispettivamente della ciminiera e dei tamponamenti.

parte d'opera:	CIMINIERA	
spessore muratura:		cm
tipologia muratura:	blocco cls alleggerito	
tensione di esercizio misurata con martinetto singolo:	0,24	MPa
tensione di uscita dal campo elastico lineare:	0,73	MPa
tensione di rottura:	2,03	MPa
modulo Young verticale:	1087	MPa
modulo di Poisson:	0,27	-
modulo di elasticità tangenziale:	428	MPa

parte d'opera:	muratura	
spessore muratura:	10	cm
tipologia muratura:	mattoni pieni e blocchi lapidei	
tensione di esercizio misurata con martinetto singolo:	0,24	MPa
tensione di uscita dal campo elastico lineare:	0,73	MPa
tensione di rottura:	2,43	MPa
modulo Young verticale:	1412	MPa
modulo di Poisson:	0,16	-
modulo di elasticità tangenziale:	609	MPa

Dai risultati sopra riportati si evidenziano le tensioni di rottura misurate.

- Ciminiera: 2.03 MPa
- Tamponamenti: 2.43 MPa

## 9. Fenomeni di degrado

Nonostante i risultati delle prove sui materiali, durante i rilievi sono apparsi evidenti dei fenomeni di degrado su alcuni elementi strutturali.

Infatti, al di là dei risultati delle prove sui materiali e di quelle che saranno le analisi della struttura finalizzate a definire il livello di sicurezza, è possibile anticipare l'identificazione di evidenti criticità emerse durante i sopralluoghi.

Tali criticità sono le seguenti.

- Avanzato degrado di solette e travi in corrispondenza dei lucernari del piano copertura, a causa di infiltrazioni d'acqua che hanno fatto saltare i copriferri e corroso in modo significativo le armature.
- Avanzato degrado delle facciate con particolare riferimento alle parti alte dei tamponamenti.



## 10. Caratterizzazione dinamica dell'edificio

Sono state eseguite delle misure di identificazione delle caratteristiche dinamiche della struttura in esame.

In particolare è stato utilizzato un sensore interferometrico per misurare le frequenze di oscillazione dell'edificio e della ciminiera.

Il vantaggio delle misure interferometriche è quello di poter cogliere le frequenze naturali di vibrazione della struttura nella sua interezza.

In particolare sono state identificate le seguenti frequenze.

- **Edificio direzione NE-SO**  **$0.443 \pm 0.097$  Hz**
- **Ciminiera direzione NE-SO**  **$1.619 \pm 0.055$  Hz;  $1.811 \pm 0.085$  Hz**
- **Ciminiera direzione NO-SE**  **$1.809 \pm 0.080$  Hz**

Parallelamente alle misure interferometriche sono state eseguite delle misure locali con tomografo digitale per la registrazione di microtremiti, al fine di calcolare i modi vibrazionali locali della struttura.

Tra le misure locali si evidenziano le misure effettuate nei piani più alti in prossimità della base della ciminiera dove sono state rilevate delle frequenze comprese tra 1,46 Hz e 1,59 Hz, ovvero corrispondenti alla frequenza di 1,619 Hz rilevata per la ciminiera con l'interferometro.

Inoltre sono state misurate le frequenze proprie per le strutture delle caldaie:

- caldaia di destra 4,28 Hz; 3,44 Hz
- caldaia di sinistra 4,39 Hz; 3,44 Hz

Tali valori confermano una frequenza propria delle caldaie indipendente da quella dell'edificio e quindi confermano l'efficacia del giunto tra caldaie e struttura principale dell'edificio.

## 11. Modello strutturale

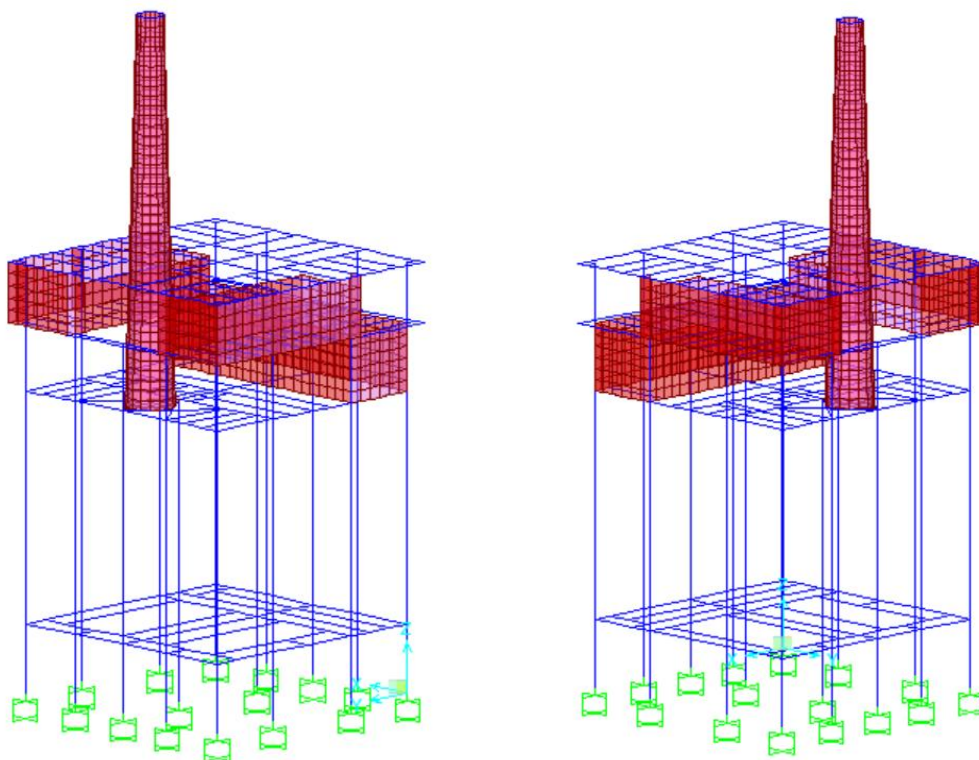
Utilizzando i dati derivanti dai rilievi e dalle prove conoscitive è stato elaborato un modello agli elementi finiti dell'edificio.

Il modello è stato elaborato mediante il software agli elementi finiti SAP2000 Plus Ver. 19.1.1 della Computers and Structures Inc.



Il modello in oggetto riguarda l'intera struttura, modellata con elementi di tipo “frame” per pilastri e travi in cemento armato e con elementi di tipo “shell” per le pareti in cemento armato delle vasche e delle tramogge.

Inoltre è stata modellata la struttura della ciminiera in muratura armata mediante elementi di tipo “shell”.



Il modello recepisce le caratteristiche dei materiali rilevate in sito con particolare riferimento a calcestruzzi, armature e murature.

Il modello è stato geolocalizzato con le seguenti coordinate, utili alla definizione dello spettro di risposta previsto dal D.M. Infrastrutture del 14 gennaio 2008.

Site Longitude (degree)	<input type="text" value="11.2273"/>
Site Latitude (degree)	<input type="text" value="43.7907"/>

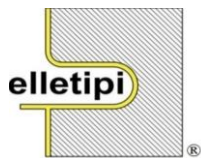
Le informazioni necessarie per la definizione dello spettro di risposta sono state completate considerando un suolo di **categoria C**.

Pur non essendo state effettuate delle prove dedicate all'edificio in esame, sono state eseguite delle prove di prospezione di sismica in foro tipo "Down Hole" in aree vicine (relazione dell'agosto 2010 a firma dei geologi Benedetto Burchini e Andrea Mencetti) rilevando un suolo di Categoria C secondo la classificazione del D.M. 14/01/2008.

Al fine di valutare la bontà del modello agli elementi finiti viene fatto un confronto tra le frequenze proprie risultanti dal calcolo computazionale e le frequenze misurate sperimentalmente in sito.

1° modo edificio	0,468 Hz	(misura sperimentale 0.433 Hz)
1° modo ciminiera	1.570 Hz	(misura sperimentale 1.619 Hz)
2° modo ciminiera	1.737 Hz	(misura sperimentale 1.809 Hz)

Come si vede c'è una buona corrispondenza tra le frequenze del modello agli elementi finiti e le frequenze misurate sperimentalmente in sito.



Via Annibale Zucchini, 69 – Ferrara  
e-mail: info@elletipi.it

**Michelangelo Micheloni**

Via A. Gramsci, 20 – Lastra a Signa (FI)  
e-mail: michelangelo@micheloni.pro

---

## 12. Allegati

Parte integrante della presente relazione sono i rapporti dei rilievi in sito ed i certificati delle prove sui materiali eseguiti dal laboratorio Elletipi Srl.

In particolare si elencano i seguenti documenti

- Estratti documenti del Centro Storico Fiat di Torino e dell'Archivio Storico del Comune di Firenze.
- Certificati di prova dei materiali (calcestruzzi, barre in acciaio e murature).
- Report indagini e rilievi eseguiti in sito
- Report indagini georadar
- Report indagini dinamiche con interferometro e con tomografo

Infine i files editabili del modello agli elementi finiti vengono allegati in forma digitale.