

					
RE_10_380_P					
Rev.	Versione	Redatto	Verificato	Approvato	Data
1	Bozza				
2	I emissione	Iacobini	Panchetti	Bardi	19/11/2010
3	II emissione				
4	Finale				

INDICE

1	Premessa	3
2	Normativa di riferimento	3
3	Metodo di Calcolo	4
3.1	Algoritmo di Calcolo	4
3.2	Metodo di Verifica agli Stati Limite	4
4	Dati Input	5
4.1	Geometrie e carichi unitari	5
4.2	Dati Solai	6
4.3	Dati Nodi Solai	6
4.4	Dati Campate Solai	7
5	Azioni	7
5.1	Condizioni Elementari e Combinazioni dei Carichi	7
6	Sollecitazioni	8
6.1.1	Sollecitazioni involuppo elementi	9
7	Verifiche di Resistenza	10

1 Premessa

Questa Relazione di Calcolo è stata redatta per descrivere il metodo di analisi e i criteri di verifica utilizzati per il calcolo del solaio di copertura del pozzo sito in località Ruinas.

La Relazione è suddivisa nei seguenti capitoli:

- Normativa di riferimento;
- Metodo di Calcolo;
- Dati Input;
- Azioni;
- Sollecitazioni;
- Verifiche Stato Limite Ultimo;
- Verifiche Stato Limite di Esercizio.

Preliminarmente vengono riportati tutti quei contenuti di carattere generale, utili per identificare la tipologia di approccio al calcolo delle strutture in esame, quali l'origine e le caratteristiche del codice di calcolo utilizzato, nonché le indicazioni sulle normative di riferimento e sulle unità di misura utilizzate.

Nel capitolo Metodo di calcolo vengono indicate le basi teoriche dei criteri di calcolo adottati per la risoluzione del problema strutturale e l'algoritmo e le metodologie seguite per la verifica ed il progetto delle sezioni.

I dati di input degli elementi strutturali ed i componenti di progetto in esame, vengono riportati in tabelle per consentire una sufficiente leggibilità di tutte le sezioni del progetto. Inoltre viene definita la geometria ed i carichi per la superficie unitaria del progetto utilizzata, al fine di poter effettuare l'analisi dei carichi gravanti su ciascun elemento.

Nei successivi capitoli, invece, vengono presentati i risultati del calcolo, riportando oltre alle azioni e alle sollecitazioni, anche l'esito del calcolo e delle verifiche di resistenza effettuate per ciascun elemento strutturale del progetto, sia allo Stato Limite Ultimo (SLU) che allo Stato Limite di Esercizio (SLE).

2 Normativa di riferimento

Le normative cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e di progettazione sono le seguenti:

- Legge 05/11/1971 n. 1086: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- D.M 16/01/1996: "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi";
- Eurocodice 2: "Progettazione delle strutture in calcestruzzo";
- Norme Tecniche CNR 10012/85: "Istruzioni per la valutazione delle azioni sulle costruzioni";
- Norme Tecniche CNR 10024/86: "Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazioni e redazione delle relazioni di calcolo";
- Legge 02/02/1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- DM 14/01/2008: "Norme tecniche per le costruzioni" e Circolare del 02/02/2009 n. 617: "Istruzioni per l'applicazione".

3 Metodo di Calcolo

Per la risoluzione del solaio, il modello di calcolo utilizzato, è quella della trave continua su due appoggi, con sbalzi alle estremità; gli appoggi, che rappresentano le travi portanti del solaio, vengono trattate come cerniere esterne, permettendo così alle campate della travata di mantenere la loro continuità strutturale, trasferendo all'appoggio esclusivamente i carichi verticali.

Il calcolo dei solai e degli sbalzi viene effettuato con riferimento ai carichi permanenti e variabili, gravanti su una striscia di larghezza unitaria, trascurando la rigidità torsionale e flessionale delle travi di appoggio e tenendo conto della dimensione "effettiva" dei nodi.

3.1 Algoritmo di Calcolo

Al fine di rappresentare convenientemente il comportamento del modello prescelto, si è utilizzato il "Metodo degli Elementi Finiti". In questo caso l'elemento finito utilizzato è monodimensionale di tipo BEAM, con due nodi e soli due gradi di libertà per nodo, ovvero spostamento verticale e rotazione attorno l'asse orizzontale e perpendicolare all'asse dell'elemento.

La scelta dei gradi di libertà è direttamente legata all'ipotesi di indeformabilità del solaio nel proprio piano. Ogni campata è definita tramite la matrice di rigidità del relativo elemento finito. Dall'assemblaggio delle matrici elementari di ogni campata si ricava la matrice di rigidità dell'intero solaio.

Collocando nel vettore f le azioni della struttura, si ottiene la legge fondamentale che sintetizza il metodo degli Elementi Finiti $f = Ku$. Il vettore u rappresenta gli spostamenti incogniti dei nodi. Dalla risoluzione del sistema, si calcolano gli spostamenti nodali, e da questi, si risale, successivamente, alle sollecitazioni che agiscono internamente ad ogni elemento tramite la propria matrice di rigidità e specifiche funzioni di forma. L'analisi è condotta in regime elastico - lineare con linearità geometrica del legame carichi-spostamenti.

3.2 Metodo di Verifica agli Stati Limite

Le azioni ed il relativo dimensionamento e verifica delle armature dei vari elementi strutturali sono stati eseguiti nel pieno rispetto delle ultime norme utilizzando il **Metodo degli Stati Limite**. Tale metodo di verifica rappresenta la formulazione completa del criterio di verifica, che integra l'approccio semiprobabilistico verificando gli effetti delle azioni di calcolo non superino quelli compatibili con lo stato limite considerato.

In generale, si definisce con "stato limite" lo stato al di là del quale l'opera, o parte di essa, non soddisfa più le esigenze di comportamento per le quali è stato progettato.

Si distinguono varie situazioni limite, completamente differenti, denominate **Stato Limite di Esercizio (SLE)** e **Stato Limite Ultimo (SLU)**.

Lo Stato Limite Ultimo (SLU) corrisponde al valore estremo della capacità portante oltre il quale, la struttura cede.

Il valore di calcolo della generica azione F è ottenuto moltiplicando il valore caratteristico F_k per il coefficiente parziale γ_f ($F_d = F_k \gamma_f$), mentre il valore di calcolo della generica proprietà f del materiale è ottenuta, dividendo il valore caratteristico f_k per il coefficiente parziale del materiale γ_M ($f_d = f_k / \gamma_M$).

Per il calcolo delle sollecitazioni limite nelle sezioni di verifica vengono utilizzati legami costitutivi σ - ϵ dei materiali di tipo non lineare.

Lo Stato Limite di Esercizio è lo stato al di là del quale non risultano più soddisfatti i requisiti di esercizio prescritti e comprende tutte le situazioni che comportano un rapido deterioramento della struttura, (tensioni di compressione eccessive o fessurazione del calcestruzzo) o la perdita

di funzionalità (deformazioni o vibrazioni eccessive).

Per la verifica viene effettuata un'analisi strutturale di tipo elastica-lineare. Si definiscono tre diverse combinazioni di carico (Rara, Frequente e Quasi permanente), corrispondenti a probabilità di superamento crescenti e valori del carico progressivamente decrescenti.

Per il calcolo delle azioni e delle proprietà dei materiali si utilizzano sempre i valori caratteristici.

Per il calcolo delle tensioni nelle sezioni di verifica degli elementi, considerato che lo stato tensionale è lontano dai valori di rottura, vengono utilizzati legami costitutivi $s-E$ dei materiali di tipo *elastico* lineare.

4 Dati Input

4.1 Geometrie e carichi unitari

Definite le caratteristiche geometriche degli elementi, si valutano le entità dei Carichi che agiscono su di essi, considerati uniformemente ripartiti e agenti staticamente. I carichi vanno determinati sulle sezioni unitarie ovvero sezioni di larghezza pari ad un metro. Ad ognuna delle sezioni viene associato un codice, che ne permette l'identificazione durante tutto il corso del progetto. I carichi unitari utilizzati sono riportati in tabella.

Materiale	Peso SP. [da N/mq]
Calcestruzzo Ordinario	2400
Calcestruzzo Armato	2500
Acciaio	7850
Malta di cemento	2100
Guaina Impermeabilizzante	2000

Il Peso Proprio di una sezione, viene calcolato come somma dei pesi di tutti gli elementi che lo compongono. Nel calcolo della sezione in esame si è tenuto conto non solo dei pesi della soletta, ma anche di quello dei travetti prefabbricati e dei laterizi.

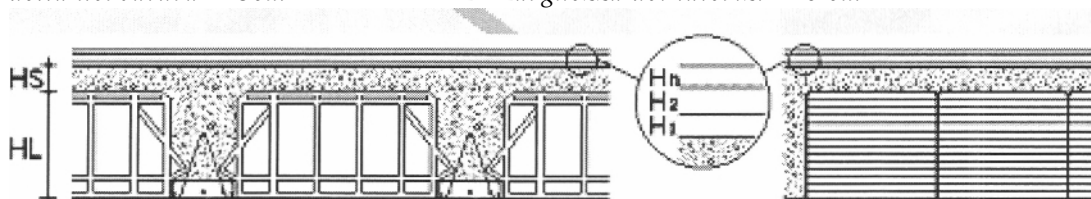
Le quantità utilizzate per il calcolo sono le seguenti:

HS= Altezza della soletta= 4 cm

BT= Larghezza della nervatura= 15cm

HL= Altezza dei laterizi =12 cm

BL= Larghezza dei laterizi =40 cm



I Carichi Permanenti vengono calcolati come somma dei pesi di tutti gli strati che risultano sovrapposti sulla soletta. Sono considerati carichi permanenti quelli non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione. Essi sono valutati sulla base delle dimensioni e dei pesi specifici dei materiali

Le quantità utilizzate per il calcolo sono le seguenti:

Peso soletta c.a. = $4 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 2500 \text{ daN/mq} = 100 \text{ daN/mq}$

Peso travetti c.a. = $1.8 \times 12 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 2500 \text{ daN/mq} = 81 \text{ daN/mq}$

Peso laterizi = $1.8 \times 12 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 800 \text{ daN/mq} = 69 \text{ daN/mq}$

Tot. Peso proprio 250 daN/mq

Peso Malta di cemento = 5 cm x 2100 daN/mq = 105 daN/mq
 Peso Guaina impermeabilizzante 1 cm x 2000 daN/mq = 20 daN/mq
 Peso tegole in laterizio = 43 daN/mq

Tot peso Permanente= 168 daN/mq

Tot carico solaio = 250 daN/mq + 168 daN/mq = 418 daN/mq

I Carichi Variabili sono definiti in ambito normativo, in base alla destinazione d'uso del solaio, per la loro individuazione, occorre quindi fare riferimento alle tabelle dei carichi variabili delle Norme vigenti.

Le intensità minime assunte per i sovraccarichi variabili verticali ed orizzontali sono definite, per i vari tipi di ambiente, come dal prospetto seguente.

Inoltre vengono indicati i coefficienti di combinazione y_0, y_1, y_2 necessari per ottenere rispettivamente i valori dell'azione rara, frequente e quasi permanente dell'azione variabile corrispondente.

Codice Carico	Vert.Distrib [daN/mq]	Vert.Concent [daN]	Oriz.Lineare [daN/m]	Descrizione Carico	y_0	y_1	y_2
A	200	200	100	Ambienti ad uso residenziale	0.0	0.0	0.0
B1	200	200	100	Uffici non aperti al pubblico	0.7	0.5	0.3
B 2	300	200	100	Uffici aperti al pubblico	0.7	0.5	0.3
C1	300	200	100	Ospedali, Ristoranti, Caffè, Banche, Scuole	0.7	0.7	0.6
C2	400	400	200	Balconi, Ballatoi, Scale comuni, Cinema	0.7	0.7	0.6
C3	500	500	300	Sale da ballo, Palestre, Tribune	0.7	0.7	0.6
D1	400	400	200	Negozi	0.7	0.7	0.6
D2	500	500	200	Centri commerciali, Mercati	0.7	0.7	0.6
E	600	600	100	Biblioteche, Archivi, Magazzini. Depositi	1.0	0.9	0.8
F	250	1000	100	Rimesse e Parcheggi fino a 30KN	0.7	0.7	0.6
H1	50	120	100	Sottotetti accessibili per manutenzione	0.0	0.0	0.0
H2a	200	200	100	Coperture accessibili categoria A	0.0	0.0	0.0
H2b	200	200	100	Coperture accessibili categoria B1	0.0	0.0	0.0
H2c	300	200	100	Coperture accessibili categoria B2	0.0	0.0	0.0
H2d	300	200	100	Coperture accessibili categoria C1	0.0	0.0	0.0
H2e	600	500	300	Coperture accessibili categoria C3	0.0	0.0	0.0

Nel caso in esame è stato considerato il codice di carico H2a.

4.2 Dati Solai

I solai vengono definiti mediante le caratteristiche geometriche di Nodi e Campate, di seguito riportate:

4.3 Dati Nodi Solai

I nodi del solaio, identificano il punto medio superiore delle travi in cui poggiano le campate. Ogni nodo viene identificato attraverso una coppia di coordinate cartesiane (XN, YN) rispetto al quadrante positivo di un sistema di riferimento assoluto. Oltre le coordinate, vengono riportate la Larghezza e l'Altezza della Trave inferiore, che risultano essere nulli nel caso di estremità a sbalzo. Nella tabella seguente vengono, dunque, riportati per il solaio:

XN, YN = Ascissa ed Ordinata del nodo

BTr; HTr = Larghezza ed Altezza Trave inferiore

Nodo	XN (cm)	YN (cm)	BTr (cm)	HTr (cm)
1	0	0	0	0
2	60	7	40	20
3	400	43	40	20
4	460	50	0	0

4.4 Dati Campate Solai

Le campate di un Solaio sono elementi compresi tra due nodi, generalmente orizzontali, su cui gravano carichi e sovraccarichi, uniformemente distribuiti e con direzione normale alla campata stessa. Ogni campata è individuata da un nodo iniziale e da un nodo finale ed è caratterizzata da una propria altezza, ottenuta sommando all'altezza del laterizio e lo spessore della soletta.

Nella tabella seguente vengono, riportati, per ciascuna campata:

- *Camp.* = Indice del Nodo Iniziale e Finale
- *Lung* = Lunghezza di calcolo
- *H T* = Altezza Totale
- *HL* = Altezza Laterizi
- *PProS* = Carico dovuto al peso proprio della soletta in cls
- *PProp* = Carico dovuto al peso dei travetti
- *PPropL* = Carico dovuto al peso dei laterizi
- *PPro* = Carico totale dovuto al peso proprio
- *SPer* = Sovraccarico Permanente
- *SVar* = Sovraccarico Variabile

Camp	Lung (cm)	HT (cm)	HL (cm)	PPropS [daN/m ²]	PPropT [daN/m ²]	PPropL [daN/m ²]	PPro [daN/m ²]	SPer [daN/m ²]	SVar [daN/m ²]
1-2	60	16	12	100	81	69	250	200	200
2-3	341	16	12	100	81	69	250	200	200
3-4	60	16	12	100	81	69	250	200	200

5 Azioni

Ai fini del calcolo delle sollecitazioni degli elementi vengono considerati esclusivamente le azioni dovute ai carichi verticali, Peso Proprio, Carico Permanente e Sovraccarico Variabile.

5.1 Condizioni Elementari e Combinazioni dei Carichi

Secondo il metodo degli Stati Limite, nella fase di definizione del valore di calcolo, ai carichi vengono applicati dei coefficienti detti "coefficienti parziali di sicurezza" che tengono conto di una sfavorevole deviazione del carico dal suo valore nominale e della ridotta probabilità che tutti i carichi agenti raggiungono il loro valore massimo simultaneamente,

Noti i valori dei carichi e sovraccarichi, per ogni campata del generico solaio, occorre determinare i valori dei massimi momenti positivi in campata e negativi agli appoggi. Quindi risulta necessario generare varie Condizioni Elementari di Carico e precisamente:

- Condizione per Carichi Fissi (Peso proprio + Carico Permanente);
- Condizione per sovraccarichi variabili

I Carichi Fissi agiscono permanentemente sul solaio, mentre i variabili si disporranno in modo tale da ottenere i valori massimi delle caratteristiche della sollecitazione flessionale sia in campata che agli appoggi.

Nel calcolo, sono state considerate le quattro combinazioni di carico più sfavorevoli ai fini della delle singole verifiche tenendo conto della durata prevista per ciascuna azione, della sua frequenza di verifica e della probabilità ridotta d'intervento simultaneo di tutte le azioni sfavorevoli.

Le combinazioni allo Stato Limite ultimo corrispondono a condizioni con carichi opportunamente amplificati, con verifiche di resistenza rispetto al collasso strutturale.

Le combinazioni allo Stato Limite di Esercizio corrispondono alle possibili combinazioni: raro, frequente e quasi-permanente. Le combinazioni rara, frequente e quasi-permanente corrispondono a possibili condizioni d'esercizio con verifiche tensionali, verifiche alla fessurazione svolta in funzione dell'aggressività ambientale e della sensibilità delle armature e verifiche di deformazione per garantire la funzionalità della struttura o l'aspetto estetico.

Per lo Stato Limite Ultimo si adottano le combinazioni del tipo:

$$F_d = \gamma_{g1} \times G_1 + \gamma_{g2} \times G_2 + \gamma_q \times Q_{k1} + \sum_{i=2} \gamma_q (\Psi_{0i} \times Q_{ik})$$

Con:

γ_{g1} = Coeff. di Sicurezza azione permanente pari a 1,3 (1,0 se il suo contributo aumenta la sicurezza)

γ_{g2} = Coeff. di Sicurezza azione permanente pari a 1,5 (1,0 se il suo contributo aumenta la sicurezza)

G_1 = Valore caratteristico azioni permanenti strutturali

G_2 = Valore caratteristico azioni permanenti non strutturali

γ_q = Coeff. di sicurezza azione variabile pari a 1,5 (0 se il suo contributo aumenta la sicurezza)

Q_{k1} = azione di base di ogni combinazione

Q_{kj} = Valore caratteristico azioni variabili

Ψ_{0i} = coefficiente di combinazione azioni variabili

Per lo Stato Limite di Esercizio sono state prese le seguenti combinazioni di carico:

Combinazione rara: $F_d = G_k + Q_{k1} + \sum_{i=2,N} (\Psi_{0i} \times Q_{ki})$

Combinazione frequente: $F_d = G_k + \Psi_{11} + Q_{k1} + \sum_{i=2,N} (\Psi_{2i} \times Q_{ki})$

Combinazione quasi-permanente: $F_d = G_k + \sum_{i=1,N} (\Psi_{2i} \times Q_{ki})$

6 Sollecitazioni

Nelle tabelle successive vengono riportate le sollecitazioni nodali di ogni campata per le varie Combinazioni di Carico, relativamente allo Stato Limite Ultimo.

Per il calcolo dei solai le sollecitazioni sono state calcolate facendo riferimento ad una striscia di solaio avente larghezza pari a 1 metro.

Nelle tabelle seguenti vengono riportati, per ogni campata, indicata con l'indice del nodo iniziale e finale:

Comb.Carico = Numero Combinazione di Carico

M1 = Momento Flettente Nodo Iniziale

TI = Sforzo Tagliante Nodo Iniziale

M2 = Momento Flettente Nodo Finale

T2 = Sforzo Tagliante Nodo Finale

Camp.	Comb. Carico	Estremo Iniziale		Estremo Finale	
		M 1 [daNm]	T1 [daNm]	M 2 [daNm]	T2 [daNm]
1-2	Co mb.1	0	0	-169	-559
	Comb.2	0	0	-114	-378
	Co mb.3	0	0	-169	-559
	Comb.4	0	0	-114	-378
2-3	Comb.1	-169	1068	-169	-1069
	Co mb.2	-114	1581	-114	-1581
	Comb.3	-169	1597	-114	-1565
	Comb.4	-114	1565	-169	-1597
3-4	Comb.1	-169	559	0	0
	Comb.2	-114	378	0	0
	Comb.3	-114	378	0	0
	Comb.4	-169	559	0	0

6.1.1 Sollecitazioni inviluppo elementi

I valori delle Caratteristiche nella Sollecitazione, che si ottengono dalle varie combinazioni, vengono sovrapposti creando un diagramma "inviluppo", che comprende tutte le minime e massime sollecitazioni in cinque sezioni di verifica, ognuna identificata con un'ascissa z avente origine nel nodo iniziale dei ogni campata.

Per ciascuna campata, nella sezione ad ascissa z, vengono riportati solo due valori delle sollecitazioni; massime e minime, flessionali e taglienti; riferiti a un metro di larghezza di solaio:

Camp.	Comb.	Z [cm]	M Max [daNrn]	M Min [daNm]	T Max [daN]	T Min [daN]
1-2	SLII	0	0	0	0	0
		15	0	-11	0	-140
		30	A	-42	0	-279
		45	0	-95	0	-419
		40	0	-75	0	-373
1-2	Rara	0	0	0	0	0
		15	0	-7	0	-98
		30	0	-30	0	-196
		45	0	-67	0	-294
		40	0	-53	0	-262
1-2	Freq.	0	0	0	0	0
		15	0	-7	0	-98
		30	0	-30	0	-196
		45	0	-67	0	-294
		40	0	-53	0	-262
1-2	Q.P erm	0	0	0	0	0
		15	0	-7	0	-98
		30	0	-30	0	-196
		45	0	-67	0	-294
		40	0	-53	0	-262
2-3	SLU	20	185	0	1411	0
		46	515	0	1172	0
		171	1238	0	16	-16

		256	900	0	0	-807
		322	185	0	0	-1411
2-3	Rara	20	128	0	991	0
		40	360	0	823	0
		171	868	0	11	-11
		256	630	0	0	-566
		322	128	0	0	-991
2-3	Freq.	20	128	0	991	0
		46	360	0	823	0
		1 71	868	0	11	-11
		256	630	0	0	-566
		322	128	0	0	-991
2-3	Q.Perm	20	128	0	991	0
		6	360	0	823	0
		71	868	0	11	-11
		256	630	0	0	-566
		322	128	0	0	-991
3-4	SLU	2	0	-75	373	0
		15	0	-95	419	0
		30	0	-42	279	0
		45	0	-11	140	0
		60	0	0	0	0
3	Rara	20	0	-53	262	0
		15	0	-67	294	0
		30	0	-30	196	0
		45	0	-7	98	a
		60	0	0	0	0
3-4	Freq.	20	0	-53	262	0
		15	0	-67	294	0
		30	0	-30	196	0
		45	0	-7	98	0
		60	0	0	0	0
3-4	Q.Perm	20	0	-53	262	0
		15	0	-67	294	0
		30	0	-30	196	0
		45	0	-7	98	0
		60	0	0	0	0

7 Verifiche di Resistenza

Per ogni elemento del progetto, per le sezioni di verifica più significative di ciascuna campata, riferite ad un metro di larghezza di solaio, vengono riportati in tabella i seguenti valori:

z= ascissa sezione considerata

Afs Afi= area effettiva armatura ferri superiori e inferiori per travetto

Mrs Mri = Momento flettente resistente superiore ed inferiore

Ms, Mi= Momento flettente massimo superiore ed inferiore

Tr= Taglio Resistente

T= Taglio massimo

IMs, IMi, IT= Coefficienti di sicurezza

V= Struttura Verificata

Camp.	z [cm]	Afs [cmq]	Afi [cmq]	Mrs [daNm]	Ms [daNm]	lMs	Mri [daNm]	Mi [daNm]	lMi	Tr [daN]	T [daN]	IT	V
1-2	0	1.6	1.6	---	0	---	---	0		6855	0	---	V
	15	1.6	1.6	-1 454	-11	99.9	---	0		6855	-140	49.1	V
	30	1.6	1.6	-1 454	-42	34.5	---	0		6855	-279	24.5	V
	45	3.1	3.1	-2832	-95	29.8	---	0		8637	-419	20.6	V
	40	1.6	1.6	-1454	-75	19.4	---		---	6855	-373	18.4	V
2-3	20	3.1	0.5	---	0	---	1962	185	10.6	4617	1411	3.3	V
	46	1.6	0.5	---	0	---	1962	515	3.8	2478	1172	2.1	V
	171	1.6	0.5	---	0	---	1962	1238	1.6	2478	-16	99.9	V
	256	1.6	0.5	---	0	---	1962	900	2.2	2478	-807	3.1	V
	322	3.1	0.5	---	0	---	1962	185	1 0.6	4617	-1411	3.3	V
3-4	20	1.6	1.6	-1 454	-75	19.4	---	0	---	6855	373	18.4	V
	1 5	3.1	3.1	-2832	-95	29.8	---	0	---	8637	419	20.6	V
	30	1.6	1.6	-1 454	-42	34.5	---	0	---	6855	279	24.5	V
	45	1.6	1.6	-1454	-11	99.9	---	0	---	6855	140	49.1	V
	60	1.6	1.6	---		---	---	0	---	6855	0	---	V

Il solaio è verificato.