

Febbraio **2017**

v01 - **A 08 e**

RELAZIONE DI CALCOLO

CIMITERO DI BAGNORO: AMPLIAMENTO INTERNO PER LA REALIZZAZIONE DI UN COLOMBARIO - AREZZO



AREZZO MULTISERVIZI srl

Via Bruno Buozzi 1

52100 Arezzo

www.arezzomultiservizi.it

Responsabile del procedimento

Geom. Massimo Baldoni

Progetto:

ARCHITETTO ANTONIO MARINO

VIA VITTORIO VENETO 90/1

52100 AREZZO - I -

Tel./Fax: 0575 908362

a.marino.477@alice.it

Indice

1 TIPO DI ANALISI E MOTIVAZIONE.....	3
1.1 Metodo di risoluzione della struttura.....	3
1.2 Metodo di verifica sezionale.....	4
2 COMBINAZIONI DI CARICO ADOTTATE.....	5
2.1 Motivazione delle combinazioni e dei percorsi di carico.....	5
3 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO.....	6
3.1 Affidabilità dei codici utilizzati.....	6
3.2 Validazione dei codici.....	6
4 NOTE SULLA MODELLAZIONE.....	7
5 AZIONI SULLA COSTRUZIONE.....	8
5.1 Azione sismica.....	8
5.2 Fattore di struttura.....	9
5.3 Azione della neve.....	9
5.4 Azioni del vento.....	9
5.5 Azioni dovute alla temperatura.....	9
5.6 Azioni antropiche e pesi propri.....	10
5.6.1 Soletta di copertura.....	10
5.6.2 Loculi.....	10
5.6.3 Platea di fondazione.....	10
5.6.4 Tamponature	10
5.6.5 Tamponature	10
6 VERIFICHE STRUTTURALI.....	11
6.1 Presentazione sintetica dei risultati.....	11
6.1.1 Tabellina riassuntiva delle % massa eccitata.....	11
6.1.2 Tabellina riassuntiva delle verifiche di gerarchia delle resistenze.....	11
6.1.3 Tabellina riassuntiva degli spostamenti SLO/SLD.....	11
6.1.4 Tabellina riassuntiva delle verifiche SLU.....	11
6.1.5 Tabellina riassuntiva delle verifiche SLE.....	11
6.1.6 Tabellina riassuntiva della portanza.....	12
6.2 Informazioni sull'elaborazione.....	12
6.3 Giudizio motivato di accettabilità.....	13

6.4 Tabulati di calcolo.....13

1 TIPO DI ANALISI E MOTIVAZIONE

L'analisi per le combinazioni delle azioni permanenti e variabili è stata condotta in regime elastico lineare. Per quanto riguarda le azioni simiche, tenendo conto che per la tipologia strutturale in esame possono essere significativi i modi superiori, si è optato per l'analisi modale con spettro di risposta di progetto e fattore di struttura. La scelta è stata anche dettata dal fatto che tale tipo di analisi è nelle NTC2008 indicata come l'analisi di riferimento che può essere utilizzata senza limitazione di sorta. Nelle analisi sono state considerate le eccentricità accidentali pari al 5% della dimensione della struttura nella direzione trasversale al sisma.

1.1 Metodo di risoluzione della struttura

La struttura è stata modellata con il metodo degli elementi finiti utilizzando vari elementi di libreria specializzati per schematizzare i vari elementi strutturali. In particolare le travi ed i pilastri sono stati schematizzati con elementi asta a due nodi deformabili assialmente, a flessione e taglio, utilizzando funzioni di forma cubiche di Hermite. Tale modello finito ha la caratteristica di fornire la soluzione esatta in campo elastico lineare, per cui non necessita di ulteriori suddivisioni interne degli elementi strutturali.

Per gli elementi strutturali bidimensionali (pareti a taglio, setti, nuclei irrigidenti, piastre o superfici generiche) è stato utilizzato un modello finito a 3 o 4 nodi di tipo shell che modella sia il comportamento membranale (lastra) che flessionale (piastra). Tale elemento finito di tipo isoparametrico è stato modellato con funzioni di forma di tipo polinomiale che rappresentano una soluzione congruente, ma non esatta nello spirito del metodo FEM. Per questo tipo di elementi finiti la precisione dei risultati ottenuti dipende dalla forma e densità della MESH. Il metodo è efficiente per il calcolo degli spostamenti nodali ed è sempre rispettoso dell'equilibrio a livello nodale con le azioni esterne.

Nel modello sono stati tenuti in conto i disassamenti tra i vari elementi strutturali schematizzandoli come vincoli cinematici rigidi. La presenza di eventuali orizzontamenti è stata tenuta in conto o con vincoli cinematici rigidi o con modellazione della soletta con elementi SHELL. I vincoli tra i vari elementi strutturali e quelli con il terreno sono stati modellati in maniera congruente al reale comportamento strutturale.

In particolare, il modello di calcolo ha tenuto conto dell'interazione suolo-struttura schematizzando le fondazioni superficiali (con elementi plinto, trave o piastra) come elementi su suolo elastico alla Winkler. I legami costitutivi utilizzati nelle analisi globali finalizzate al calcolo delle sollecitazioni sono del tipo elastico lineare.

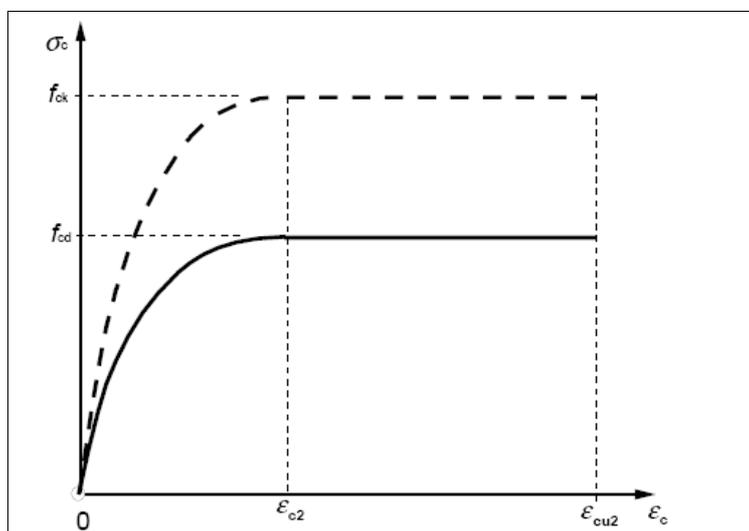
1.2 Metodo di verifica sezionale

Le verifiche sono state condotte con il metodo degli stati limite (SLU e SLE) utilizzando i coefficienti parziali della normativa di cui al DM 14.01.2008.

Le verifiche degli elementi bidimensionali sono state effettuate direttamente sullo stato tensionale ottenuto, per le azioni di tipo statico e di esercizio. Per le azioni dovute al sisma (ed in genere per le azioni che provocano elevata domanda di deformazione anelastica), le verifiche sono state effettuate sulle risultanti (forze e momenti) agenti globalmente su una sezione dell'oggetto strutturale (muro a taglio, trave accoppiamento, etc..)

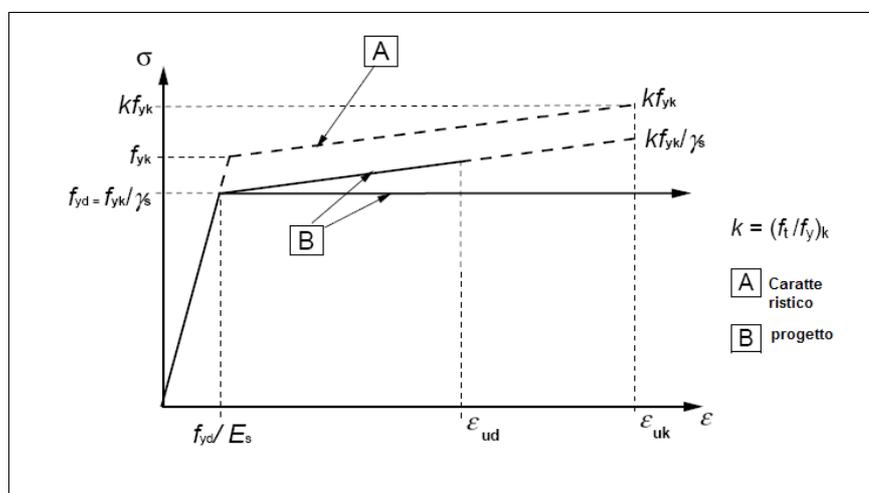
Per le verifiche sezionali degli elementi in c.a. ed acciaio sono stati utilizzati i seguenti legami:

- *Legame parabola rettangolo per il calcestruzzo*



Il valore ϵ_{cu2} nel caso di analisi non lineari sarà valutato in funzione dell'effettivo grado di confinamento esercitato dalle staffe sul nucleo di calcestruzzo.

Legame elastico perfettamente plastico o incrudente a duttilità limitata per l'acciaio



2 COMBINAZIONI DI CARICO ADOTTATE

Le combinazioni di calcolo considerate sono quelle previste dal D.M. 14.01.2008 per i vari stati limite e per le varie azioni e tipologie costruttive. In particolare, ai fini delle verifiche degli stati limite, sono state considerate le combinazioni delle azioni di cui al § 2.5.3 delle NTC 2008, per i seguenti casi di carico:

SLO	NO
SLD	SI
SLV	SI
SLC	NO
Combinazione rara	SI
Combinazione frequente	SI
Combinazione quasi permanente	SI
SLU terreno A1 – Approccio 1 / Approccio 2	SI
SLU terreno A2 – Approccio 1	NO

2.1 Motivazione delle combinazioni e dei percorsi di carico

Il sottoscritto progettista ha verificato che le combinazioni prese in considerazione per il calcolo sono sufficienti a garantire il soddisfacimento delle prestazioni sia per gli stati limite ultimi che per gli stati limite di esercizio.

Le combinazioni considerate ai fini del progetto tengono infatti in conto le azioni derivanti dai pesi propri, dai carichi permanenti, dalle azioni variabili, dalle azioni termiche e dalle azioni sismiche combinate utilizzando i coefficienti parziali previsti dal DM2008 per le prestazioni di SLU ed SLE.

In particolare per le azioni sismiche si sono considerate le azioni derivanti dallo spettro di progetto ridotto del fattore “q” e le eccentricità accidentali pari al 5%. Inoltre le azioni sismiche sono state combinate spazialmente sommando al sisma della direzione analizzata il 30% delle azioni derivanti dal sisma ortogonale.

3 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

Produttore	S.T.S. s.r.l.
Titolo	CDSWin
Versione	Rel. 2016
Nro Licenza	21298

Ragione sociale completa del produttore del software:

S.T.S. s.r.l. - Software Tecnico Scientifico S.r.l.

Via Tre Torri n°11 – Complesso Tre Torri

95030 Sant'Agata li Battiati (CT)

3.1 Affidabilità dei codici utilizzati

L'affidabilità del codice utilizzato e la sua idoneità al caso in esame, è stata attentamente verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

La S.T.S. s.r.l., a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti, fornisce direttamente on-line i test sui casi prova liberamente consultabili all'indirizzo:

<http://www.stsweb.it/STSWeb/ITA/homepage.htm>

3.2 Validazione dei codici

L'opera in esame non è di importanza tale da necessitare un calcolo indipendente eseguito con altro software da altro calcolista.

4 NOTE SULLA MODELLAZIONE

- **Modello con paretine:**

- il modello ha lo scopo di individuare il comportamento della struttura nell'ipotesi di perfetta aderenza della struttura agli elementi prefabbricati (i setti dei prefabbricati influenzano il comportamento sismico della struttura alterandone la rigidezza e la ripartizione delle azioni);
- le solette orizzontali degli elementi prefabbricati (loculi) non sono state modellate, al loro posto è introdotto un carico “solaio”;
- la verifica delle paretine da 10cm degli elementi prefabbricati non è riportata poiché tali elementi sono stati introdotti solo per tenere conto delle loro rigidezze; per le verifiche di tali elementi si rimanda alla documentazione ed ai certificati dei loculi prefabbricati;
- il sovraccarico applicato ai loculi è stato associato ad archivio-magazzini.

- **Modello senza paretine:**

- il modello ha lo scopo di individuare il comportamento della struttura nell'ipotesi di assenza totale di aderenza della struttura agli elementi prefabbricati (i setti dei prefabbricati non influenzano il comportamento sismico della struttura senza alterare la rigidezza e la ripartizione delle azioni);
- i carichi ed i sovraccarichi statici dei loculi sono stati assegnati direttamente alla platea di fondazione mentre in corrispondenza dei piani orizzontali di ogni fila di loculi è stato introdotto un carico permanente equivalente a quello del piano stesso ripartito su tutta la lunghezza delle pareti strutturali; a tale carico è associato un coefficiente di partecipazione sismica del 100% e nelle combinazioni di calcolo un fattore di combinazione pari a zero (annulla il contributo ai carichi verticali) ottenendo di fatto in analisi una semplice massa sismica priva di peso (stessa cosa vale per il rivestimento in pietra);
- il sovraccarico applicato ai loculi è stato associato ad archivio-magazzini.

Sono state effettuate due tipologie di verifica, una per la verifica della struttura in calcestruzzo armato, in modo da considerare la sola struttura effettivamente reagente in caso di sisma, mentre per la verifica della fondazione è stata utilizzata una verifica considerando la parzializzazione del terreno.

5 AZIONI SULLA COSTRUZIONE

5.1 Azione sismica

Ai fini delle NTC 2008 l'azione sismica è caratterizzata da 2 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y, da considerare tra di loro indipendenti.

Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima attesa in superficie;
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- accelerogramma.

L'azione in superficie è stata assunta come agente su tali piani.

Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta. L'accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie sono determinati sulla base dell'accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali.

In allegato alle NTC, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori dei precedenti parametri di pericolosità sismica necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Nel presente caso si è scelto di adottare un'analisi:

ANALISI DINAMICA NODALE (per fondazioni)

ANALISI DINAMICA (per struttura)

L'entità e le caratteristiche che hanno condotto alla determinazione dell'azione sismica sono tutte riportate all'interno del fascicolo di calcolo (A09).

5.2 Fattore di struttura

L'edificio verrà calcolato in campo elastico, pertanto non si adoterà alcun fattore di struttura.

classe di duttilità	elastica
fattore di struttura	q = 1,00

5.3 Azione della neve

L'azione della neve viene determinata tramite le espressioni empiriche riportate dal D.M. 14/01/2008 al cap.3.4..

Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t = 0,93 \text{ kN/m}^2 \quad [3.3.7]$$

dove:

q_s è il carico neve sulla copertura;

μ_i è il coefficiente di forma della copertura, fornito al § 3.4.5: = 0,80 [tab. 3.4.II]

q_{sk} periodo di ritorno di 50 anni; $q_{sk} = 0,85 [1 + (a_s/481)^2] = 1,16 \text{ kN/m}^2$ [3.3.10]

con $a_s = 290 \text{ m}$

C_E è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.4.3: *Normale* = 1,00 [tab.3.4.I]

C_t è il coefficiente termico di cui al § 3.4.4.: = 1,00

Il carico della neve è stato poi approssimato a $q_s = 1,00 \text{ kN/m}^2$.

5.4 Azioni del vento

L'azione orizzontale del vento risulta essere trascurabile rispetto al tipo di intervento e al tipo di struttura.

5.5 Azioni dovute alla temperatura

Viste le ridotte dimensioni della struttura gli effetti dovuti alle variazioni termiche sono irrilevanti e non riportati nei calcoli.

5.6 Azioni antropiche e pesi propri

5.6.1 Soletta di copertura

G₁ (propri strutturali)	Soletta in CA sp.15cm	$0,15m \cdot 25kN/m^3$	3,75	q [kN/m ²]
Totale G₁			3,75	q [kN/m²]
G₂ (permanenti portati)	Manto copertura	A corpo	0,45	q [kN/m ²]
	Impermeabilizzazione	A corpo	0,05	q [kN/m ²]
Totale G₂			0,50	q [kN/m²]
Q_{k1} (carichi accidentali)	Copertura - neve	1,00 kN/m ²	1,00	q [kN/m ²]
Totale Q_{k1}			1,00	q [kN/m²]

5.6.2 Loculi

G₁ (propri strutturali)	Soletta in CA sp.10cm	$0,10m \cdot 25kN/m^3$	2,50	q [kN/m ²]
Totale G₁			2,50	q [kN/m²]
G₂ (permanenti portati)	Permanenti	A corpo	5,00	q [kN/m ²]
Totale G₂			5,00	q [kN/m²]
Q_{k1} (carichi accidentali)	(Cat.E)	2,50 kN/m ²	2,50	q [kN/m ²]
Totale Q_{k1}			2,50	q [kN/m²]

5.6.3 Platea di fondazione

G₁ (propri strutturali)	Soletta sp.30cm	$0,30m \cdot 25kN/m^3$	7,50	q [kN/m ²]
Totale G₁			7,50	q [kN/m²]
G₂ (permanenti portati)	Permanenti	A corpo	5,00	q [kN/m ²]
Totale G₂			5,00	q [kN/m²]
Q_{k1} (carichi accidentali)	Calpestio (Cat.E)	2,50 kN/m ²	2,50	q [kN/m ²]
Totale Q_{k1}			2,50	q [kN/m²]

5.6.4 Tamponature

G₂ (permanenti portati)	Rivestimenti in marmo	A corpo	8,00	q [kN/m]
---	-----------------------	---------	-------------	-----------------

5.6.5 Tamponature

G₂ (permanenti portati)	Rivestimenti in pietra	A corpo	4,50	q [kN/m]
---	------------------------	---------	-------------	-----------------

6 VERIFICHE STRUTTURALI

Come già anticipato le verifiche sono state condotte mediante l'utilizzo di apposito software di calcolo agli elementi finiti a cui si fa riferimento (vedi allegati A09).

6.1 Presentazione sintetica dei risultati

Una sintesi del comportamento della struttura è consegnata nelle tabelle di sintesi dei risultati, riportate in appresso.

6.1.1 Tabellina riassuntiva delle % massa eccitata

Il numero dei modi di vibrare considerato (3) ha permesso di mobilitare le seguenti percentuali delle masse della struttura, per le varie direzioni:

DIREZIONE	% MASSA
X	100
Y	100
Z	0

6.1.2 Tabellina riassuntiva delle verifiche di gerarchia delle resistenze

	Non Verif/Totale	STATUS
Gerarchia Trave Colonna	0 su 0	NON PRESENTI

6.1.3 Tabellina riassuntiva degli spostamenti SLO/SLD

Stato limite	Status Verifica
SLO	NON CALCOLATO
SLD	VERIFICATO

6.1.4 Tabellina riassuntiva delle verifiche SLU

Tipo di Elemento	Non Verif/Totale	STATUS
Travi c.a. Fondazione	0 su 0	NON PRESENTI
Travi c.a. Elevazione	0 su 32	VERIFICATO
Pilastrini in c.a.	0 su 0	NON PRESENTI
Shell in c.a.	0 su 12	VERIFICATO
Piastre in c.a.	0 su 2	VERIFICATO
Aste in Acciaio	0 su 0	NON PRESENTI
Aste in Legno	0 su 0	NON PRESENTI
Zattera Plinti	0 su 0	NON PRESENTI
Pali	0 su 0	NON PRESENTI

6.1.5 Tabellina riassuntiva delle verifiche SLE

Tipo di Elemento	Non Verif/Totale	STATUS
------------------	------------------	--------

Travi c.a. Fondazione	0 su 0	NON PRESENTI
Travi c.a. Elevazione	0 su 32	VERIFICATO
Pilastrini in c.a.	0 su 0	NON PRESENTI
Shell in c.a.	0 su 12	VERIFICATO
Piastre in c.a.	0 su 2	VERIFICATO
Aste in Acciaio	0 su 0	NON PRESENTI
Aste in Legno	0 su 0	NON PRESENTI
Zattera Plinti	0 su 0	NON PRESENTI
Pali	0 su 0	NON PRESENTI

6.1.6 Tabellina riassuntiva della portanza

	VALORE	STATUS
Sigma Terreno Massima (kg/cm ²)	2,12	
Coeff. di Sicurezza Portanza Globale	1,00	VERIFICATO
Coeff. di Sicurezza Scorrimento	-	VERIFICATO
Cedimento Elastico Massimo (cm)	3,60	
Cedimento Edometrico Massimo (cm)	3,60	
Cedimento Residuo Massimo (cm)	-	NON CALCOLATO

6.2 Informazioni sull'elaborazione

Il software è dotato di propri filtri e controlli di autodiagnostica che intervengono sia durante la fase di definizione del modello sia durante la fase di calcolo vero e proprio.

In particolare il software è dotato dei seguenti filtri e controlli:

- Filtri per la congruenza geometrica del modello generato
- Controlli a priori sulla presenza di elementi non connessi, interferenze, mesh non congruenti o non adeguate.
- Filtri sulla precisione numerica ottenuta, controlli su labilità o eventuali mal condizionamenti delle matrici, con verifica dell'indice di condizionamento.
- Controlli sulla verifiche sezionali e sui limiti dimensionali per i vari elementi strutturali in funzione della normativa utilizzata.
- Controlli e verifiche sugli esecutivi prodotti.
- Rappresentazioni grafiche di post-processo che consentono di evidenziare eventuali anomalie sfuggite all'autodiagnostica automatica.

In aggiunta ai controlli presenti nel software si sono svolti appositi calcoli su schemi semplificati, che si riportano nel seguito, che hanno consentito di riscontrare la correttezza della modellazione effettuata per la struttura in esame.

6.3 Giudizio motivato di accettabilità

Il software utilizzato ha permesso di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura utilizzando la libreria disponibile di elementi finiti.

Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello hanno consentito di controllare sia la coerenza geometrica che la adeguatezza delle azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali: sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti e reazioni vincolari, hanno permesso un immediato controllo di tali valori con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati della struttura stessa.

Si è inoltre riscontrato che le reazioni vincolari sono in equilibrio con i carichi applicati, e che i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche sono confrontabili con gli omologhi valori ottenuti da modelli SDOF semplificati.

Sono state inoltre individuate un numero di travi ritenute significative e, per tali elementi, è stata effettuata una apposita verifica a flessione e taglio.

Le sollecitazioni fornite dal solutore per tali travi, per le combinazioni di carico indicate nel tabulato di verifica del CDSWin, sono state validate effettuando gli equilibri alla rotazione e traslazione delle dette travi, secondo quanto meglio descritto nel calcolo semplificato, allegato alla presente relazione.

Si sono infine eseguite le verifiche di tali travi con metodologie semplificate e, confrontandole con le analoghe verifiche prodotte in automatico dal programma, si è potuto riscontrare la congruenza di tali risultati con i valori riportati dal software.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato tutte esito positivo.

Da quanto sopra esposto si può quindi affermare che il calcolo è andato a buon fine e che il modello di calcolo utilizzato è risultato essere rappresentativo della realtà fisica, anche in funzione delle modalità e sequenze costruttive.

6.4 Tabulati di calcolo

Per quanto non espressamente sopra riportato, ed in particolar modo per ciò che concerne i dati numerici di calcolo, si rimanda agli allegati "Fascicolo dei calcoli" costituente parte integrante della presente relazione (A09).