

ANALISI DINAMICA E PROGETTAZIONE DI EDIFICI IN CALCESTRUZZO ARMATO IN AMBITO NUCLEARE

INCIDE ENGINEERING – PROGETTO CEMEX (SALUGGIA)

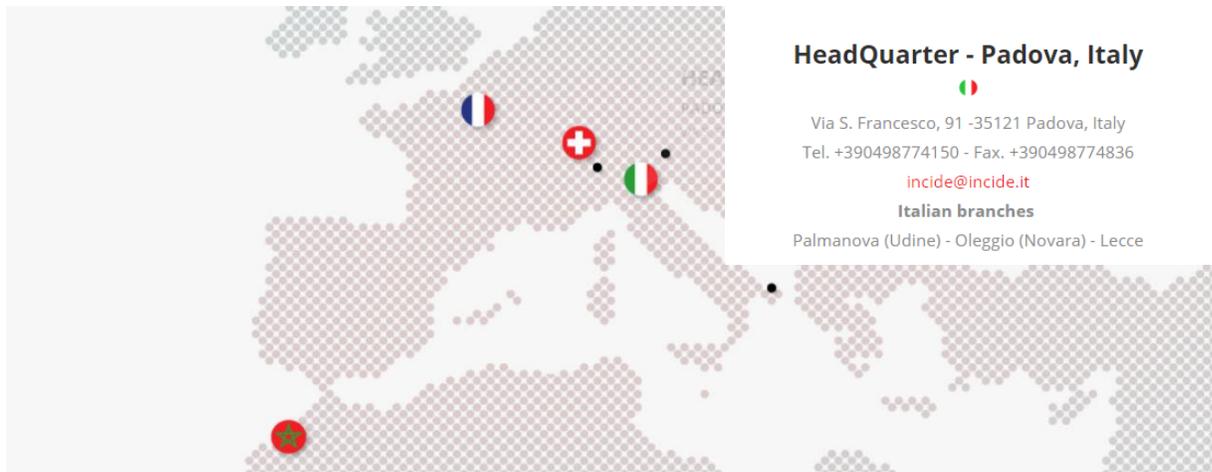


INCIDE ENGINEERING



industrial engineering
civil engineering
design
incide

1998-2022
24 years



HeadQuarter - Padova, Italy

Via S. Francesco, 91 -35121 Padova, Italy
Tel. +390498774150 - Fax. +390498774836

incide@incide.it

Italian branches

Palmanova (Udine) - Oleggio (Novara) - Lecce

Lugano, Suisse
Incide Engineering sàrl



Via S. Balestra, 27
6900 Lugano Svizzera
suisse@incideengineering.com

Paris, France
Incide Ingénierie sàrl



151 Allée de la Pièce du Lavoir
91190 Gif-sur-Yvette
france@incideengineering.com

Rabat, Maroc
Incide Maroc sàrl



--
Rabat Maroc
maroc@incideengineering.com

		ARCHITECTURE Landscaping Architectural design Facades BIM Modelling Interior Design
		STRUCTURE Concrete Structures Steel Structures Special Structures Bridges
		SYSTEMS HVAC & Plumbing Electrical Special Systems Process Engineering

SUMMARY

- INTRODUZIONE DEL PROGETTO
- REQUISITI STRUTTURALI DI PROGETTAZIONE
- TIPOLOGIE STRUTTURALI
- ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI DI STRUTTURE IN CA IN AMBITO NUCLEARE
- PROGETTAZIONE DI STRUTTURE IN CA NEI CONFRONTI DELL'EES
- SPETTRI DI PIANO

INTRODUZIONE DEL PROGETTO

Committente



Sogin è la società di Stato responsabile del decommissioning degli impianti nucleari italiani e della gestione dei rifiuti radioattivi

Progettista:

incide

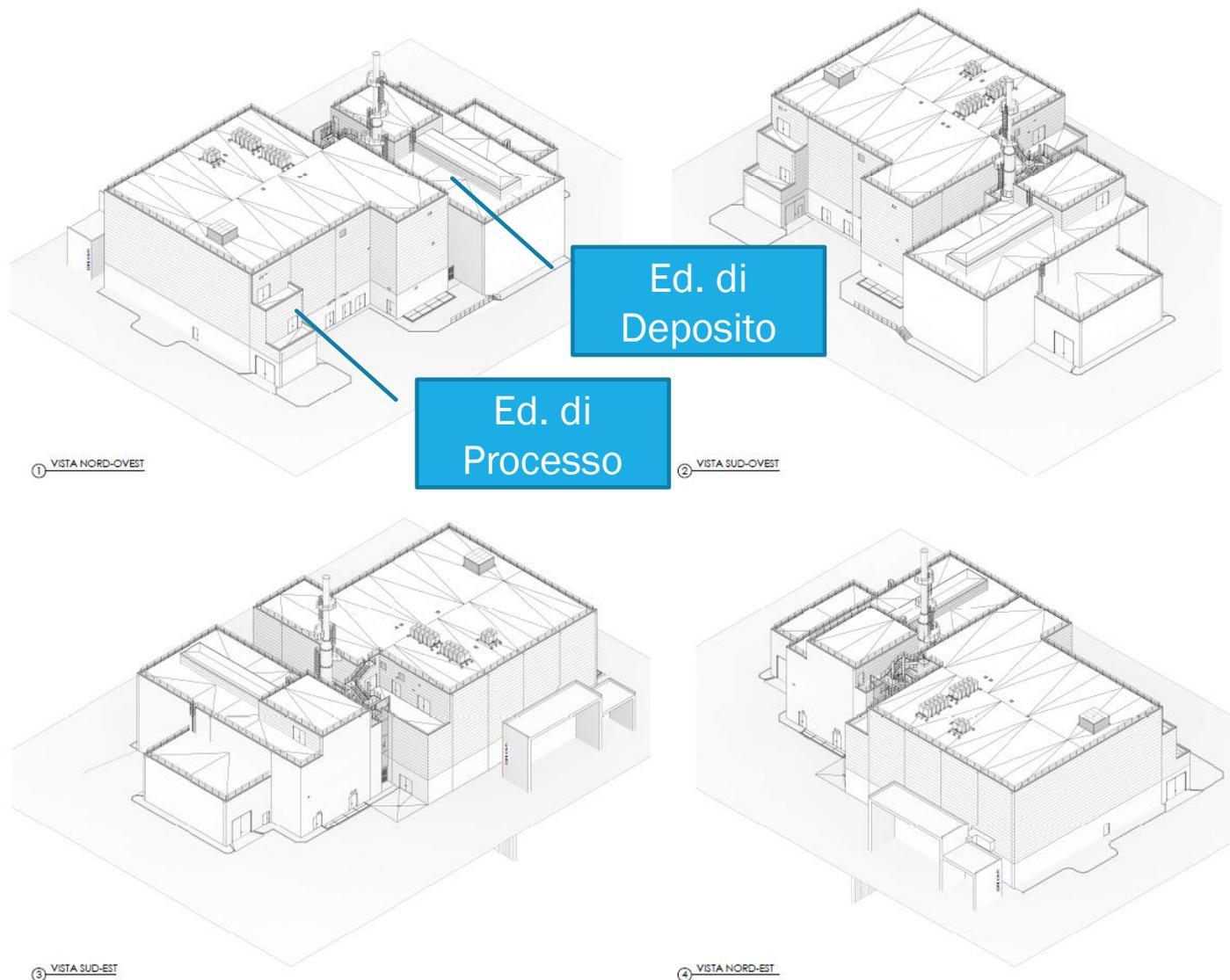
Società di progettazione
di strutture civili

CEMEX



Sito EUREX di
SALUGGIA (VC)

INTRODUZIONE DEL PROGETTO



L'installazione è costituita da un Edificio di Processo ed un Edificio di deposito temporaneo denominato D3

SCOPO:

L'impianto ha lo scopo di solidificare i rifiuti liquidi radioattivi stoccati in un edificio adiacente. Nel CEMEX si realizza l'operazione di cementazione del liquido all'interno di fusti stagni, e successivo stoccaggio all'interno del deposito D3

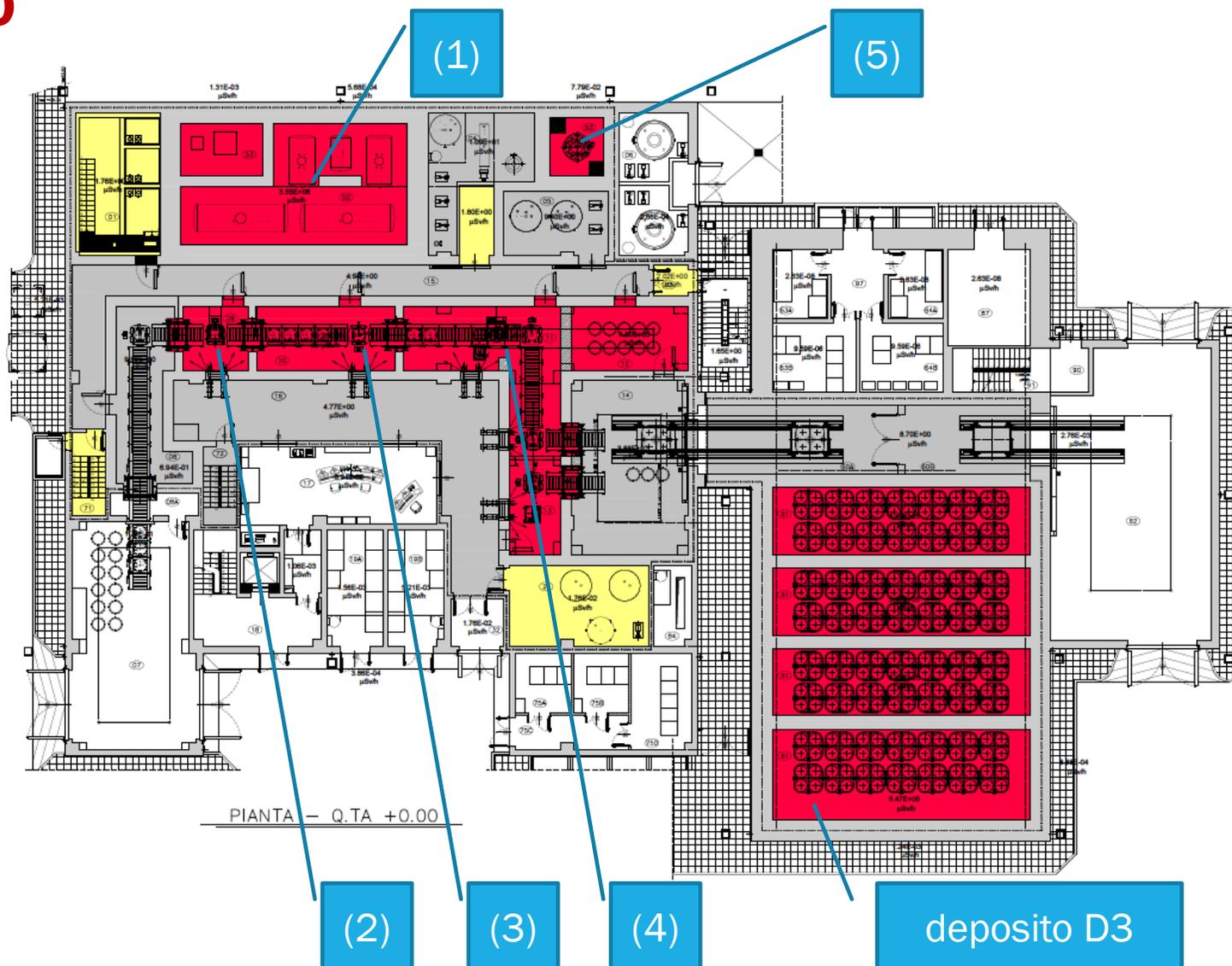
INTRODUZIONE DEL PROGETTO

L'impianto di processo è un edificio di tre piani fuori terra, costituito da un sistema di "stanze" successive in cui avvengono una serie di operazioni remotizzate, anche tramite telemanipolatori e/o carriponte.

Le operazioni sono:

- ricezione delle soluzioni liquide radioattive (1)
- neutralizzazione/alcalinizzazione delle soluzioni da cementare (2)
- Cementazione (3)
- chiusura del fusto e trasferimento al deposito (4)

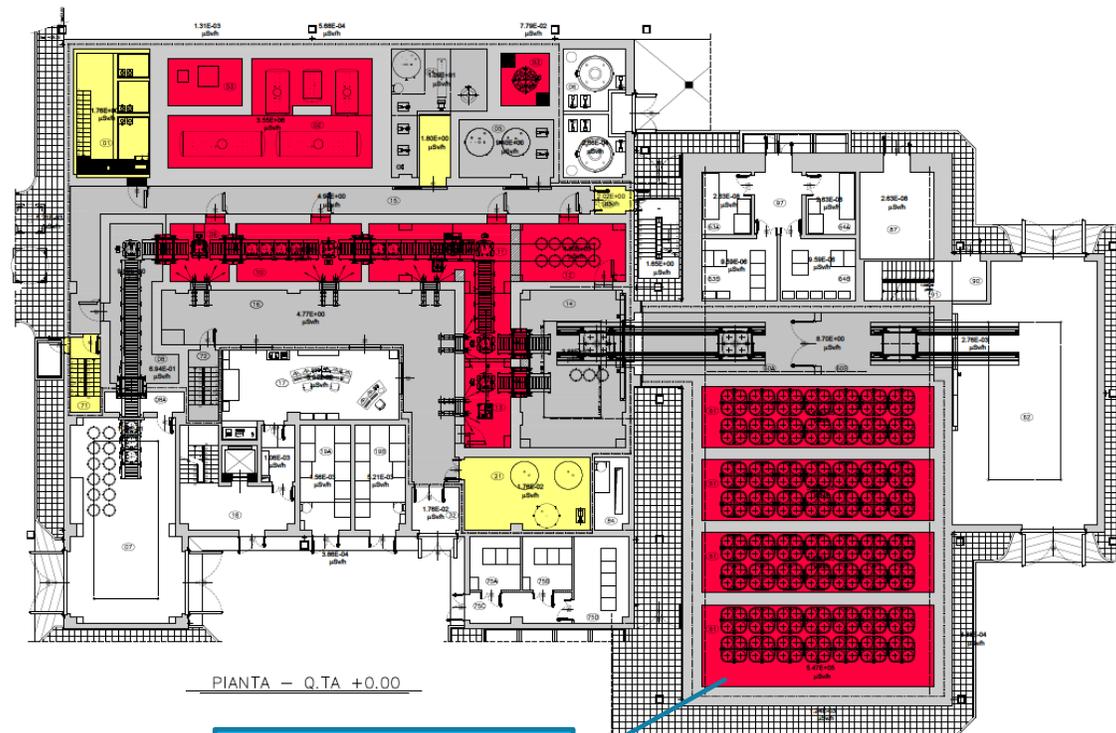
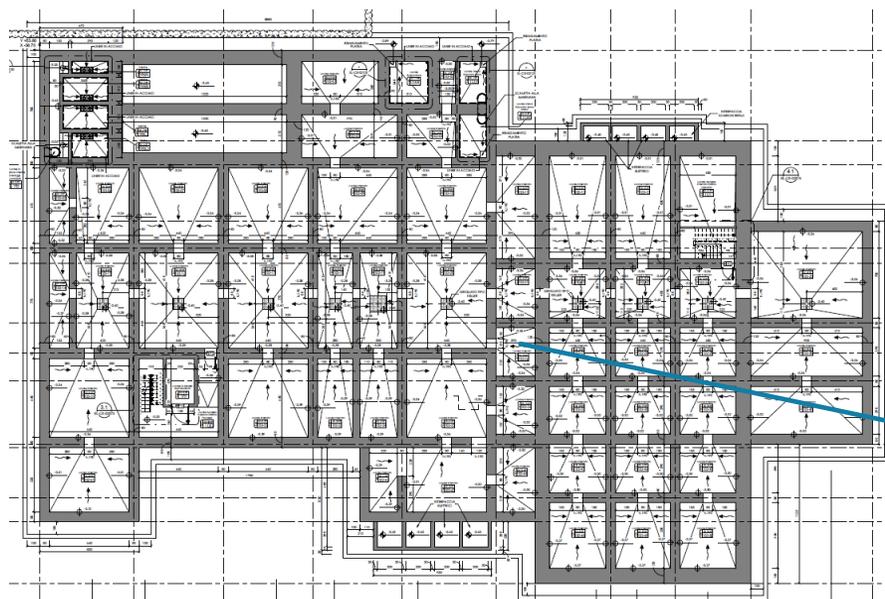
L'impianto è anche dotato di una sezione di evaporazione/concentrazione con lo scopo di concentrare i rifiuti liquidi radioattivi (5).



INTRODUZIONE DEL PROGETTO

L'edificio di Deposito D-3 sostanzialmente è un magazzino per lo stoccaggio dei fusti di scoria cementata (per almeno 50 anni), raggruppati per quattro all'interno di cesti, e successivamente impilati.

I due edifici sono collegati da una **fondazione comune**, realizzata da due solettoni ed estremamente irrigiditi tramite setti in entrambe le direzioni



deposito D3

fondazione
comune

REQUISITI STRUTTURALI DI PROGETTAZIONE

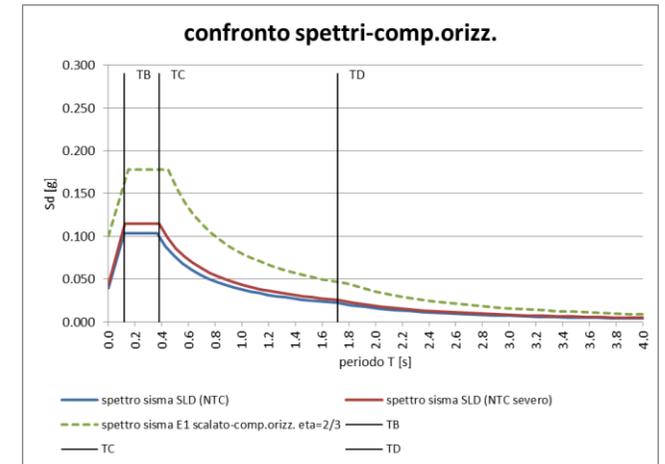
Le opere civili-strutturali dell'impianto CEMEX devono assolvere le seguenti funzioni di carattere generale:

- **Contenere i materiali radioattivi ed i manufatti confinando, staticamente e dinamicamente, la radioattività** in tutte le possibili condizioni di esercizio dell'impianto;
- Garantire lo **schermaggio delle radiazioni** emesse dai vari manufatti al fine di minimizzare, in qualunque condizione, l'esposizione dei lavoratori e della popolazione;
- Garantire condizioni ottimali di stoccaggio per i vari manufatti;
- **Proteggere i manufatti** dal contesto ambientale esterno e dagli **eventi esterni** di progetto, naturali (sisma / vento di tornado) e speciali (EES).

REQUISITI STRUTTURALI DI PROGETTAZIONE

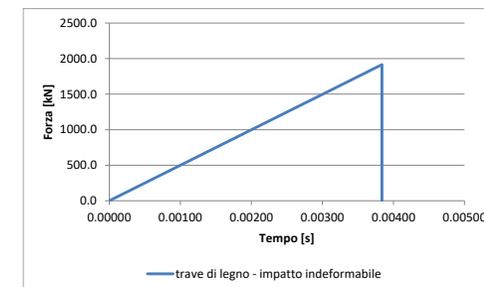
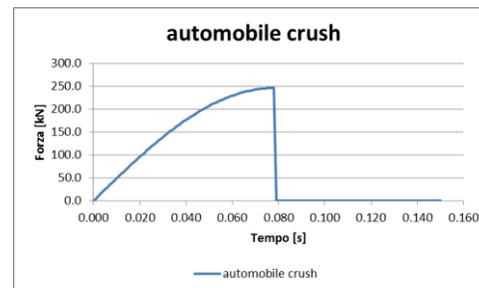
Oltre ai sovraccarichi permanenti dovuti agli impianti meccanici installati, e ai sovraccarichi accidentali, l'edificio CEMEX deve essere dimensionato nei confronti degli **EVENTI ESTERNI NATURALI** quali:

- **sisma** di livello E1 con $T_r=1000$ anni per verifiche SLD (verifica di resistenza tramite controllo delle tensioni, verifiche di fessurazione, e deformazione) e di livello E2 con $T_r=2500$ anni per verifiche allo SLV (E1 più penalizzante di E2)



- **vento di tornado** 600-700kg/mq – pressione/depressione locale;
- **missili associati al tornado** (automobile peso 1000 kg - tubo in acciaio $\varnothing 3''$ - trave in legno);

- **allagamento** per cause esterne;

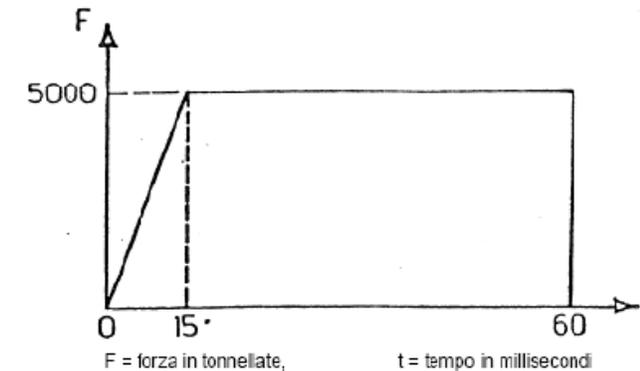


REQUISITI STRUTTURALI DI PROGETTAZIONE

L'edificio CEMEX deve essere dimensionato nei confronti degli **EVENTI ESTERNI SPECIALI** quali:

- Onda piana di pressione
- **Impatto di riferimento** : massa: 20000 kg - velocità di impatto 215 m/sec - angolo di impatto 45° - area di impatto 7 mq

Tali dati si sintetizzano in una forzante di 50MN che agisce in 60ms



L'impatto è assimilabile alla caduta del velivolo Phantom RF-4E



REQUISITI STRUTTURALI DI PROGETTAZIONE

L'edificio CEMEX deve essere dimensionato nei confronti degli **EVENTI ESTERNI SPECIALI (EES)**

In generale:

La **resistenza di una parete** ad un impatto viene ad essere definita dallo **spessore** e dalla sua **percentuale di armatura**:

- Considerando il tempo molto rapido di applicazione del carico (forzante impulsiva) è importante che **l'inerzia della parete colpita sia elevata** (ovvero lo spessore sia elevato). L'aumento dell'armatura in una parete con piccolo spessore, in genere non evita la perforazione.
- Il rinforzo longitudinale riduce le dimensioni della zona danneggiata e lo scabbing mentre il contributo dell'armatura a taglio è efficace per ridurre il distacco "cono punzonato" a cui i ferri longitudinali danno un limitato contributo

REQUISITI STRUTTURALI DI PROGETTAZIONE

L'edificio CEMEX deve essere dimensionato nei confronti degli **EVENTI ESTERNI NATURALI E SPECIALI**

Il progetto preliminare definiva degli spessori di calcestruzzo per le strutture civili; questo perché lo spessore di pareti e solai deve essere proporzionale al potere schermante calcolato per l'irraggiamento di radiazione del materiale radioattivo trattato.

L'idea di usare il **calcestruzzo baritico** (a maggior densità del calcestruzzo classico grazie all'introduzione del solfato di bario come aggregato) per contenere lo spessore delle pareti non è quindi compatibile con le richieste di duttilità necessarie alla resistenza all'Eventi Esterni Speciali (EES).

Siccome è sempre necessario garantire l'impedimento del passaggio del radionuclide verso l'esterno, particolare **attenzione va posta nelle riprese di getto**, che costituiscono effettivamente **una discontinuità al potere schermante** dato dalle pareti in calcestruzzo. Questo requisito può venire soddisfatto generalmente in modo oneroso tramite la realizzazione di uno sfalsamento delle riprese di getto sullo spessore della parete.

Il requisito di schermatura dato dallo spessore dei getti si riflette direttamente anche nel requisito di **non fessurazione del calcestruzzo** sotto le azioni sismiche con il sisma di ambito nucleare previsto per il sito.

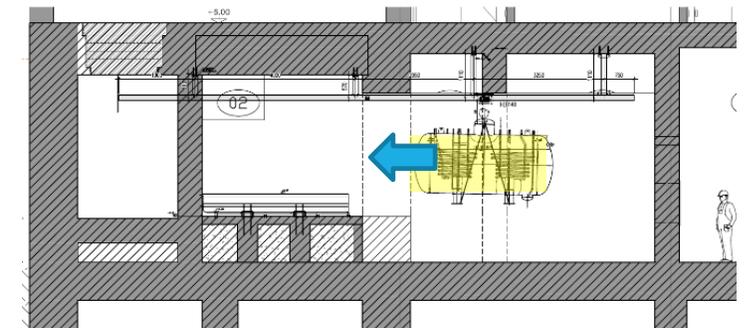
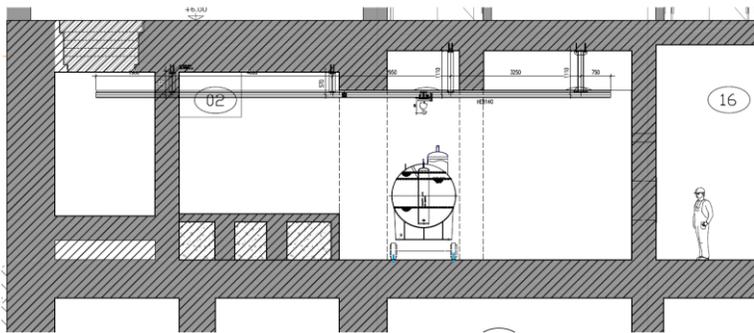
REQUISITI STRUTTURALI DI PROGETTAZIONE

L'edificio CEMEX in fase di progettazione è stato pensato nei confronti dei requisiti derivanti dalle **problematiche di costruzione** e anche di **smantellamento**.

Particolare attenzione è stata posta nei confronti delle apparecchiature da installarsi all'interno e dei tempi di approvvigionamento e arrivo in cantiere delle stesse.

Quest'ultimo aspetto ha comportato la costruzione - in particolare dell'edificio di processo - con **svariate aperture su pareti esterne (non soggette direttamente ad EES) e interne** per permettere l'introduzione dei sistemi meccanici (serbatoi, carriponte, ecc) direttamente da fuori, tramite l'impiego di **gru, carrelli a pavimento** oppure **monorotaie a soffitto**.

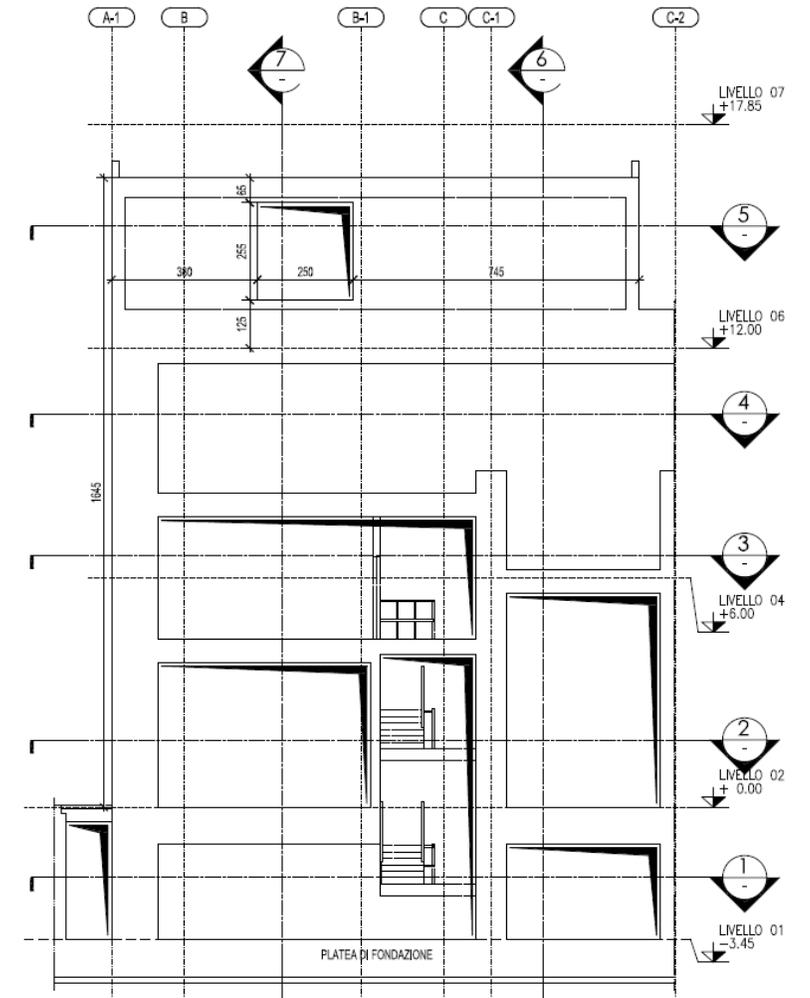
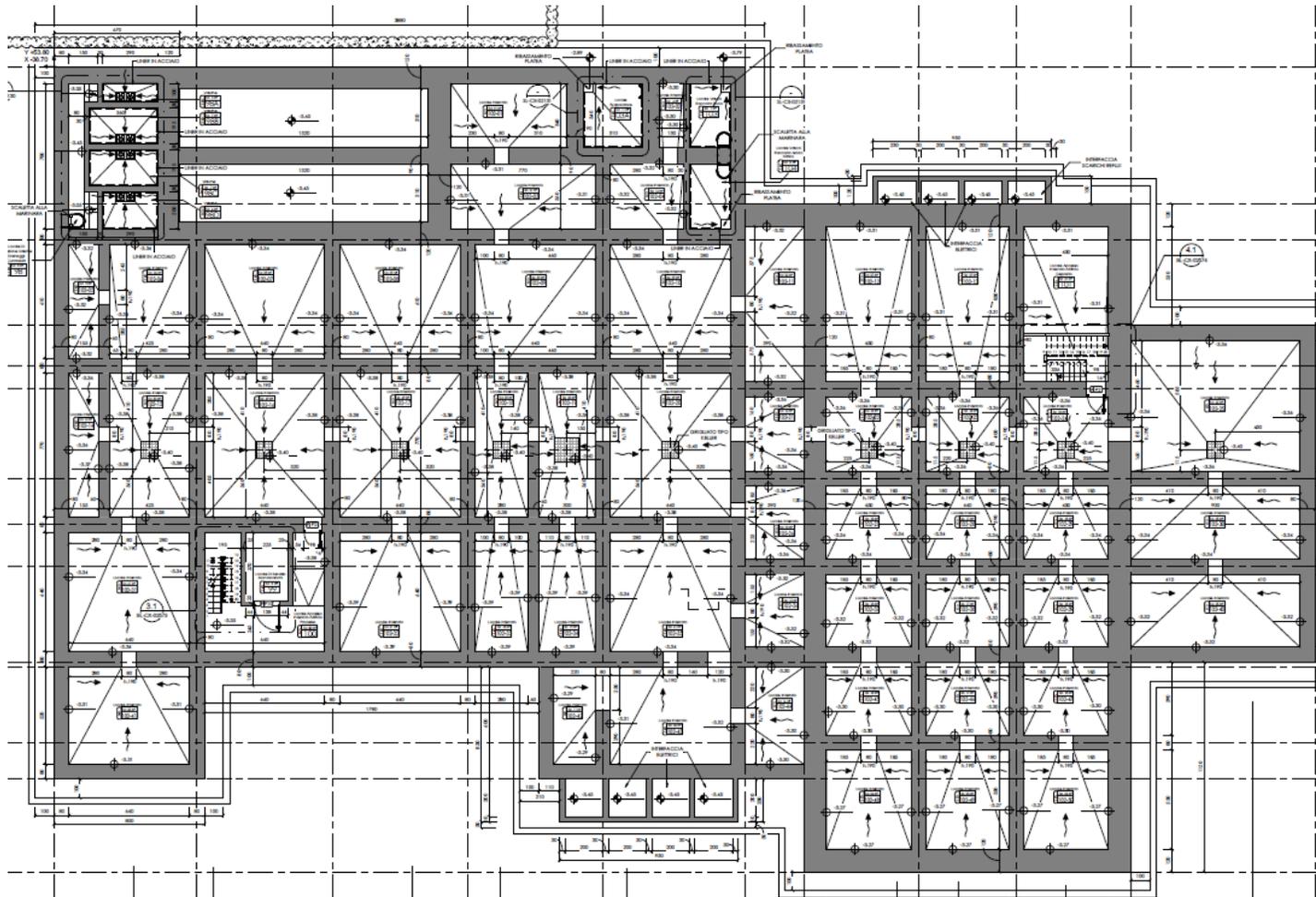
I varchi così previsti in fase di costruzione, saranno chiusi solo alla conclusione della costruzione (**getti di seconda fase**). Queste aperture hanno anche lo scopo di permettere l'**aerazione interna** dei locali fintanto che il sistema di aerazione forzata non sia stato completato.



TIPOLOGIE STRUTTURALI

L'edificio è costruito mediante le seguenti tipologie strutturali:

- 1) Muri e solette in calcestruzzo armato gettato in opera

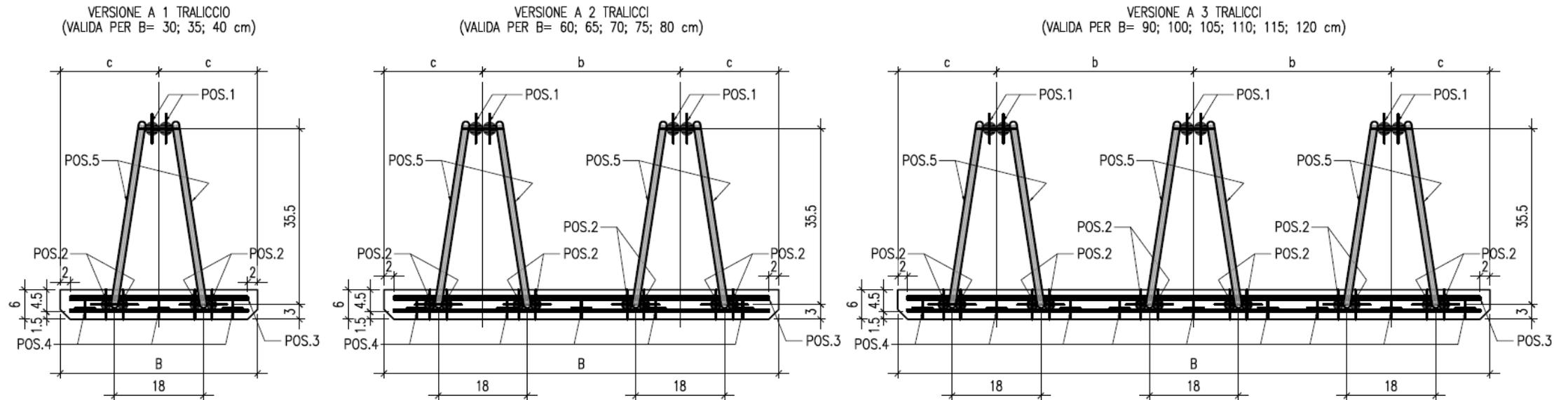


TIPOLOGIE STRUTTURALI - SOLAI

L'edificio è costruito mediante le seguenti tipologie strutturali:

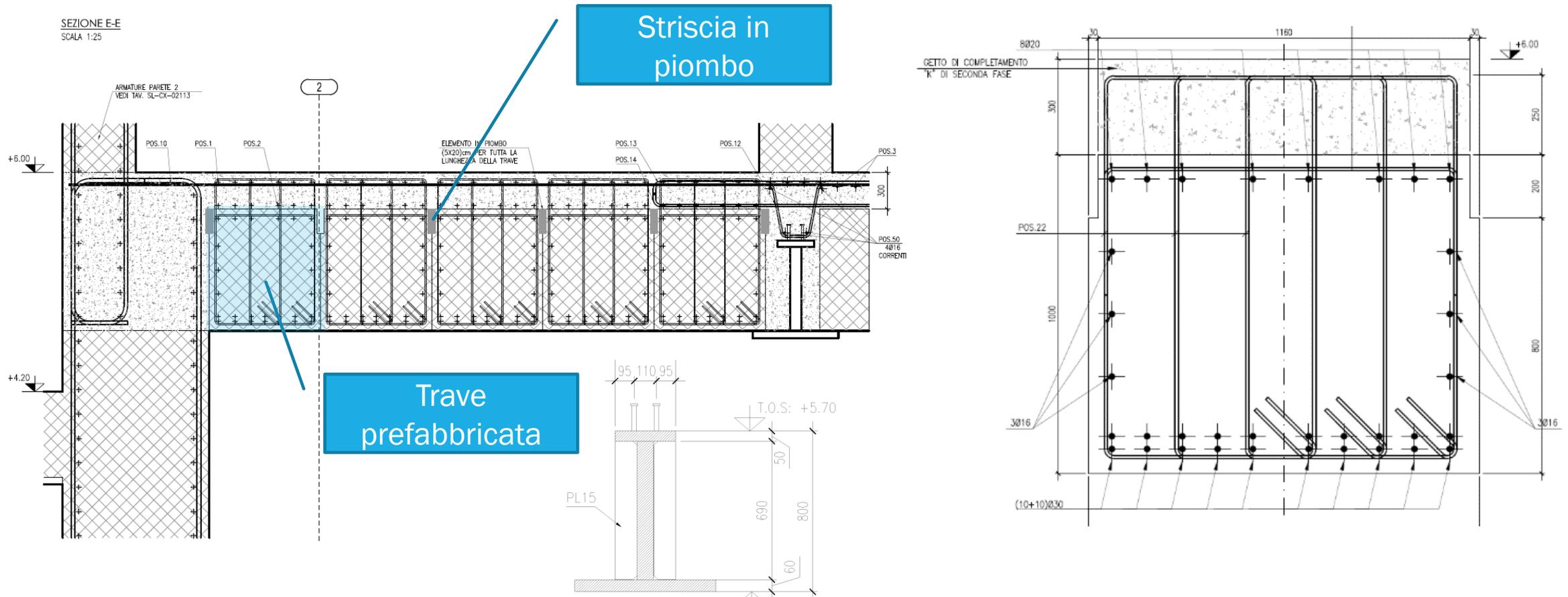
2) Solai interni ed esterni realizzati con elementi prefabbricati, secondo svariate tipologie

2.A) solai di piano: realizzati in lastre predalles



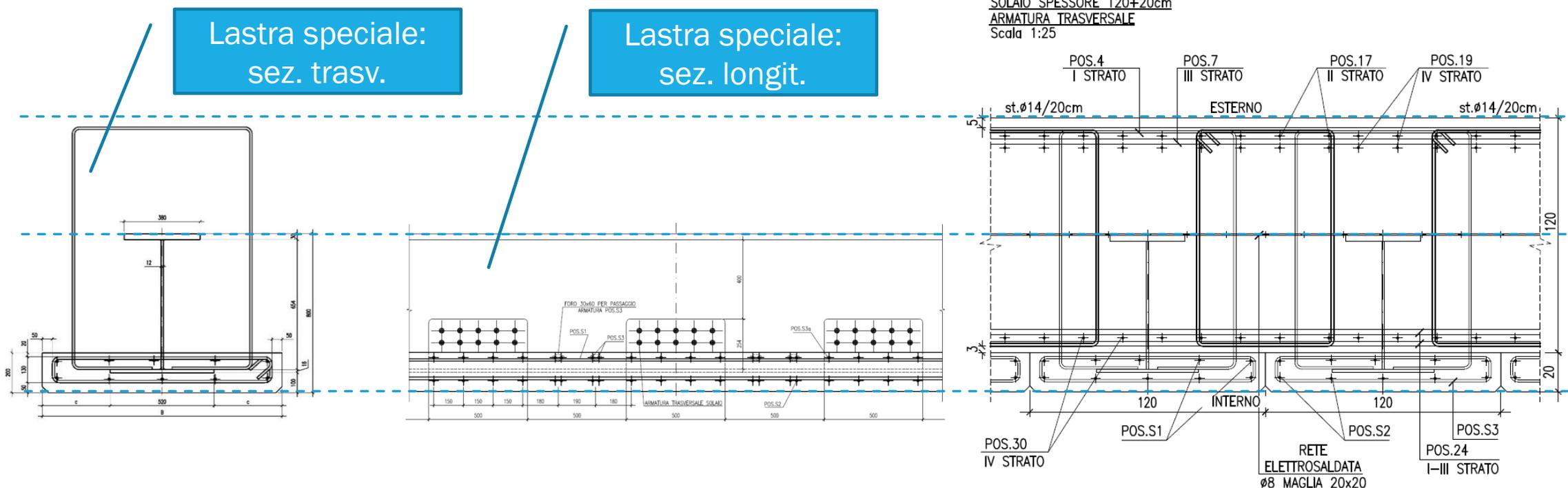
TIPOLOGIE STRUTTURALI- COPERTURA DEL LOCALE BUNKER

2.B) Copertura del locale bunker dell'ed. di processo contenente i serbatoi: realizzato con travi prefabbricate accostate appoggiate sui muri perimetrali o trave metallica, solidarizzate con cappa



TIPOLOGIE STRUTTURALI - COPERTURA DELL'ED. DI DEPOSITO

2.C) Copertura dell'ed. di deposito (resistente ad EES): realizzata con lastre «Speciali» autoportanti per sostenere il getto di 120cm di spessore. La particolarità di tali lastre consiste nell'essere composte da un **fondello in calcestruzzo armato di spessore 20cm** in cui sono annegate parte delle armature portanti della soletta, staffe per la resistenza a taglio e un **profilato doppio T in acciaio** di grado S355. Tale profilato, utilizzato per **resistere principalmente al peso del calcestruzzo fresco**, dotato di «finestre» in anima per permettere il passaggio di armatura trasversale necessaria alla resistenza per i carichi da EES.



ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI DI STRUTTURE IN CA IN AMBITO NUCLEARE

La progettazione della struttura in CA ha tenuto conto dei seguenti aspetti:

1) GIUNTI BARRE DI ARMATURA

La giunzione delle barre è stata effettuata principalmente per **sovrapposizione**, e le giunzioni sono state previste esclusivamente in taluni posizioni indicate a progetto. E' anche stato previsto l'impiego di **giunzioni mediante giunti a manicotto**.

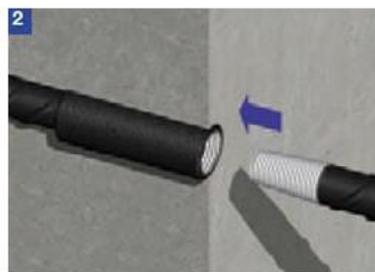


Le giunzioni a manicotto sono state previste prevalentemente **per i getti di seconda fase dei varchi lasciati in fase di costruzione**, dove la giunzione delle barre per sovrapposizione sarebbe stata tecnicamente infattibile.

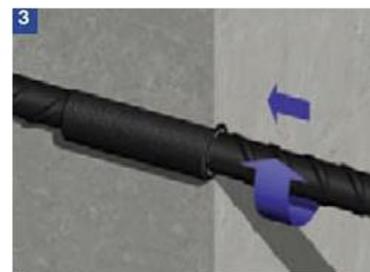
SEQUENZA TIPICA INSTALLAZIONE BOCCOLE



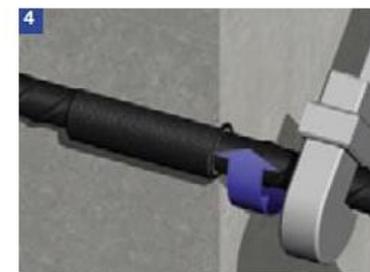
1 LE BOCCOLE (MANICOTTI) VENGONO INSTALLATI SULLE BARRE DI ARMATURA E ADEGUATAMENTE TAPPATE, PRONTE PER LA SUCCESSIVA FASE DI GETTO



2 TOGLIERE IL TAPPO DI PROTEZIONE E POSIZIONARE LA BARRA DI RIPRESA E COMINCIARE A RUOTARLA



3 CONTINUARE AD AVVITARE LA BARRA FINO ALLA FINE DEL FILETTO



4 SERRARE IL GIUNTO CON CHIAVE DINAMOMETRICA FINO A RAGGIUNGERE IL CORRETTO SERRAGGIO

ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI DI STRUTTURE IN CA IN AMBITO NUCLEARE

2) POSA DELLE ARMATURE

Nella posa in opera delle armature metalliche entro i casseri è stato prescritto **tassativamente l'impiego di opportuni distanziatori prefabbricati in conglomerato cementizio** avente resistenza caratteristica non inferiore a 45 MPa.

Lungo le pareti verticali al fine di garantire il necessario copriferro, è stato prescritto **esclusivamente l'impiego di distanziatori ad anello.**

Sul fondo dei casseri che essi siano lastre predalles, oppure per le strutture di fondazione, sono stati impiegati distanziatori in CA.

3) GIUNTI PER RIPRESE DI GETTO

Per l'esecuzione di getti in adiacenza su **superfici verticali** è stato previsto **l'impiego di reti metalliche tipo pernervometal** in modo da:

- consentire il passaggio delle armature
- realizzare una superficie di contatto "ruvida" che favorisca il collegamento tra i getti e sopperisca alla necessità dello sfalsamento per impedire il passaggio del radionuclide.

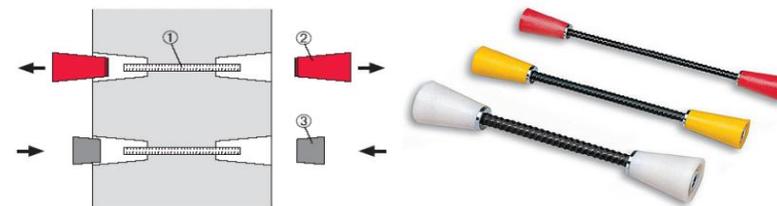
Sulle **superfici piane orizzontali** è stata prevista l'adozione di **malte di attacco, adesive a base resinosa**, in modo da favorire l'aderenza.

Tra un getto ed il successivo adiacente deve intercorrere un periodo di tempo non inferiore a 3 gg

ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI DI STRUTTURE IN CA IN AMBITO NUCLEARE

4) CASSEFORME

I casseri sono stati provvisti di un **sistema di tirantaggio parzialmente a perdere** (specificamente studiato per le pareti schermanti le radiazioni). Questo sistema prevede l'utilizzo di una **barra da CA passante, a perdere** e annegata nel getto, dotata di appositi **tappi conici rimovibili alle due estremità per l'appoggio del pannello**. I due tappi conici permettono l'avvitamento delle ghiera di fissaggio del cassero.



Allo smontaggio del cassero, con idoneo strumento si provvede allo smontaggio dei tappi conici



Infine è previsto il ripristino dello spessore del muro con un idoneo cono di calcestruzzo per il rispetto del requisito in ambito nucleare.



ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI DI STRUTTURE IN CA IN AMBITO NUCLEARE

5) ADDITIVI PER GETTI MASSIVI

Il problema dei getti massivi è la differenza di temperatura che si viene a creare tra il nucleo interno del getto e la superficie esterna dello stesso. Per non avere fenomeni di fessurazione (vietati nel caso in oggetto) il gradiente termico tra nucleo e superficie esterna consentito deve essere max di 20°C.

Data la necessità di impiegare un calcestruzzo SCC per le strutture in elevazione dato l'elevato grado di armatura, per raggiungere l'obiettivo di mantenere basso il gradiente termico è stato prescritto l'uso di agenti ritardanti della presa.

ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI DI STRUTTURE IN CA IN AMBITO NUCLEARE

6) STAGIONATURA E DISARMO

Per consentire una corretta stagionatura è **necessario mantenere costantemente umida la struttura** realizzata. Tale requisito è stato ottenuto tramite:

- **la permanenza entro casseri del conglomerato (minimo 7 giorni);**
- **l'applicazione, sulle superfici libere, di specifici film di protezione** mediante la distribuzione nebulizzata di additivi stagionanti (agenti di curing);
- **l'irrorazione continua del getto con acqua nebulizzata;**
- **la copertura delle superfici del getto** con tessuto non tessuto mantenuto umido;

Stagionatura delle solette

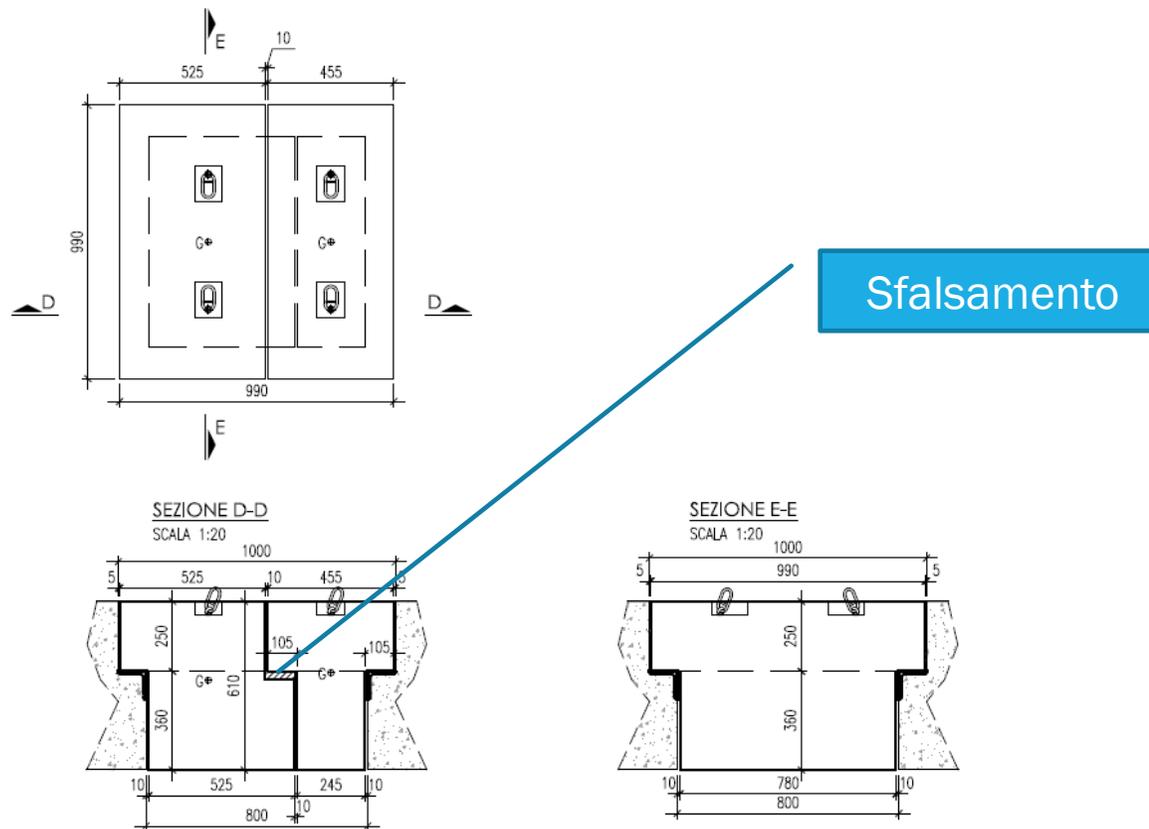
Dopo il getto, **le superfici superiori delle solette dovranno essere mantenute umide tramite la bagnatura continua**, la protezione con teli umidi o l'applicazione di prodotti antievaporanti (agenti di curing), da applicare a spruzzo subito dopo il getto.

ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI DI STRUTTURE IN CA IN AMBITO NUCLEARE

7) APERTURE SUI SOLAI

L'impianto necessita del transito di materiale in senso verticale attraverso i piani. In ragione di questa necessità, sono praticate delle aperture richiudibili su taluni solai.

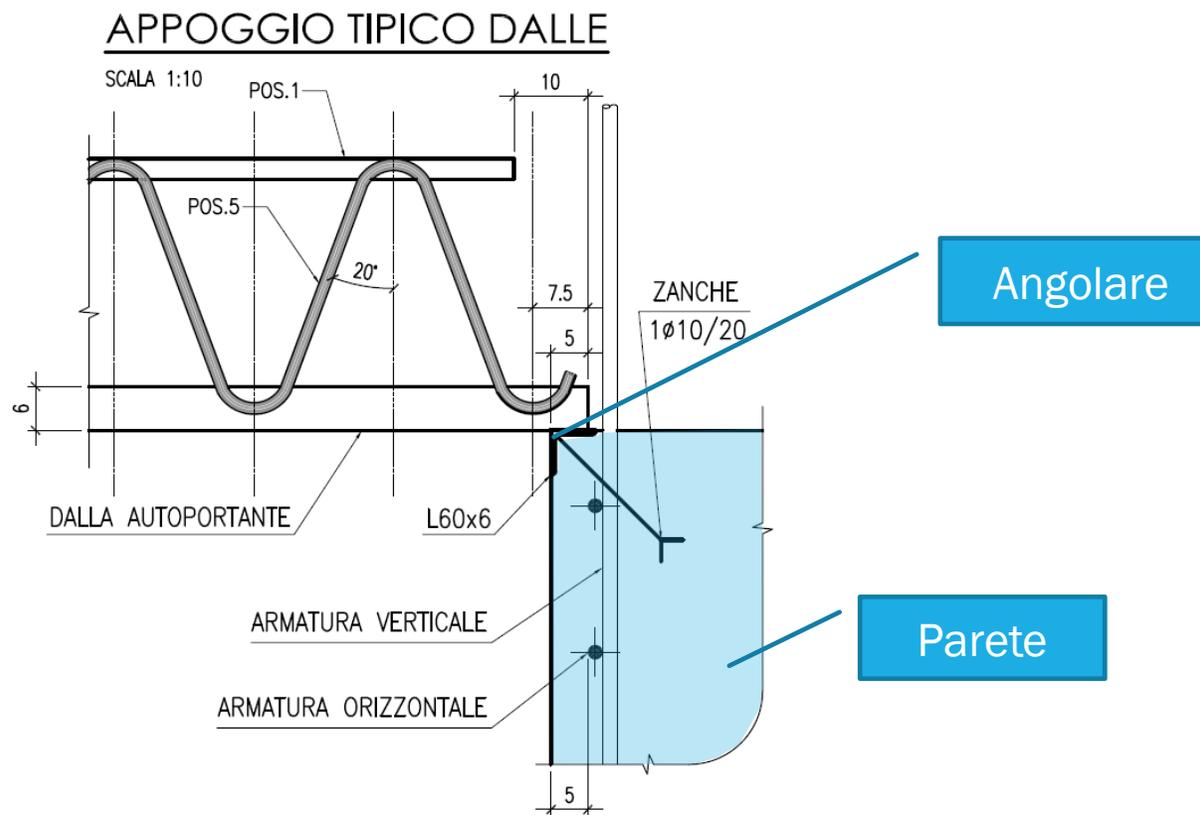
Gli elementi di chiusura sono opportunamente realizzati in modo da impedire il passaggio diretto del radionuclide nella superficie di discontinuità tra gli elementi prefabbricati.



ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI DI STRUTTURE IN CA IN AMBITO NUCLEARE

8) CARPENTERIA METALLICA SECONDARIA

Al fine di garantire il corretto appoggio plano-altimetrico delle lastre predalles dei solai, ed evitare l'insorgere di problemi locali sulle zone di appoggio sulla parete (soprattutto durante le fasi di getto dei solai di notevole spessore) viene prevista la posa di angolari inghisati sui bordi dei muri a contatto.

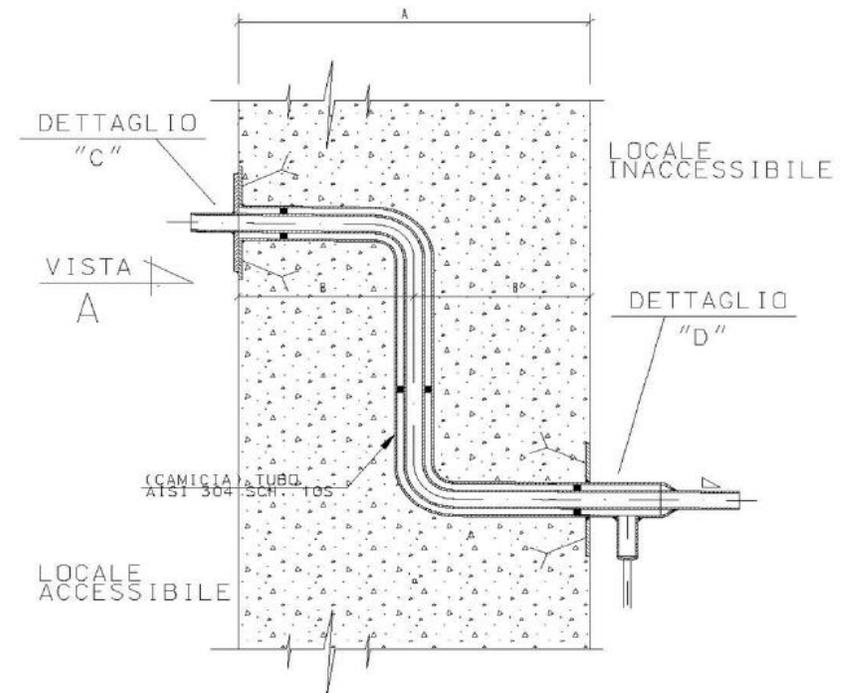
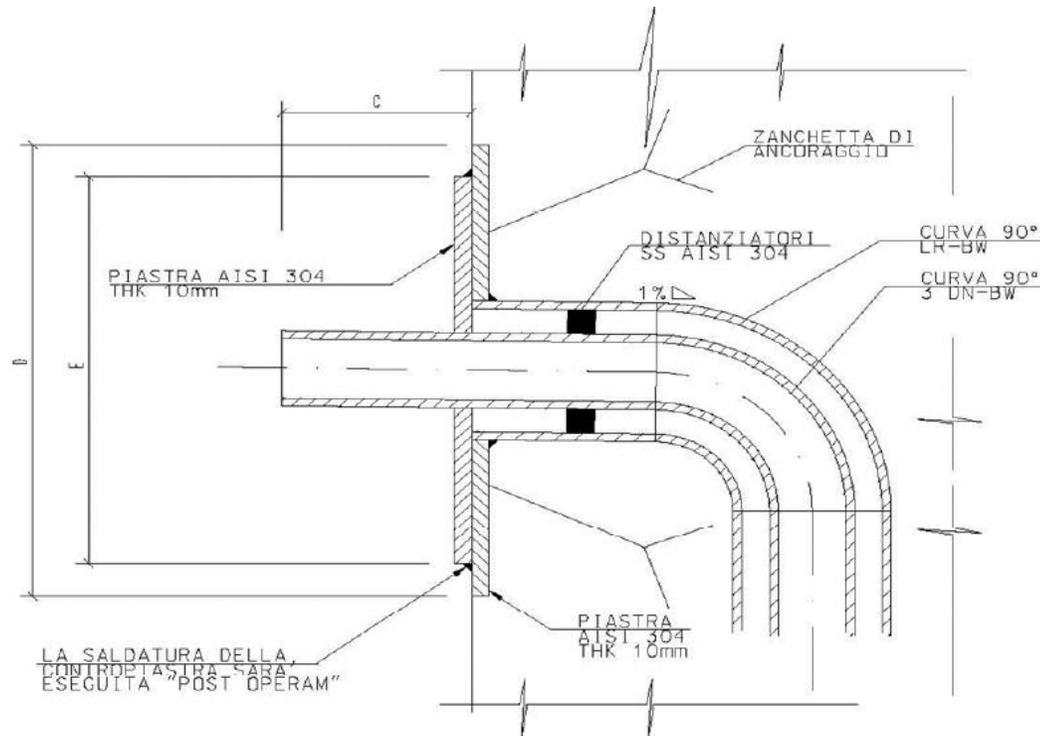


ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI DI STRUTTURE IN CA IN AMBITO NUCLEARE

9) PASSAGGI TUBAZIONI IMPIANTISTICHE

L'attraversamento delle pareti in calcestruzzo dei locali più sensibili da parte di qualsiasi tipo di tubazioni deve mantenere inalterate le caratteristiche di schermaggio della parete.

Ogni tubazione deve essere incamiciata in un tubo metallico, finalizzato con piastra metallica da entrambe le superfici della parete attraversata, e relativa contropiastra saldata in opera. L'attraversamento non può mai essere rettilineo, onde pregiudicare il potere schermante della parete.



ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI DI STRUTTURE IN CA IN AMBITO NUCLEARE

10) PROTEZIONE ARMATURE

Generalmente la garanzia della protezione delle armature viene offerta dal calcestruzzo per mezzo del **copriferro**.

Per questo progetto per le armature dei muri a confine con l'ambiente esterno - solo per lo strato più esterno di barre - è stato prescritto **l'utilizzo di barre zincate a caldo per immersione**.

Questa soluzione è stata preferita all'adozione di barre in acciaio inox, o all'adozione di sistemi alternativi presenti sul mercato, che garantiscono la protezione delle armature per mezzo della generazione di una cella galvanica (protezione catodica).



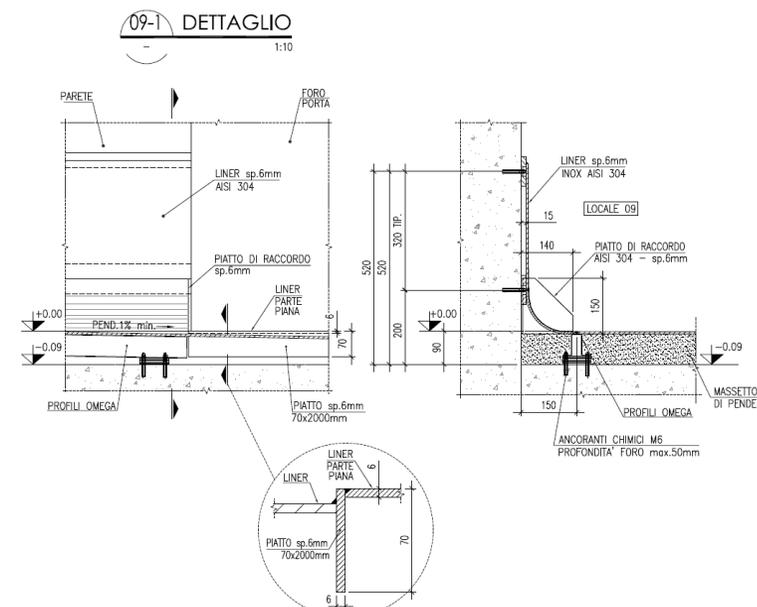
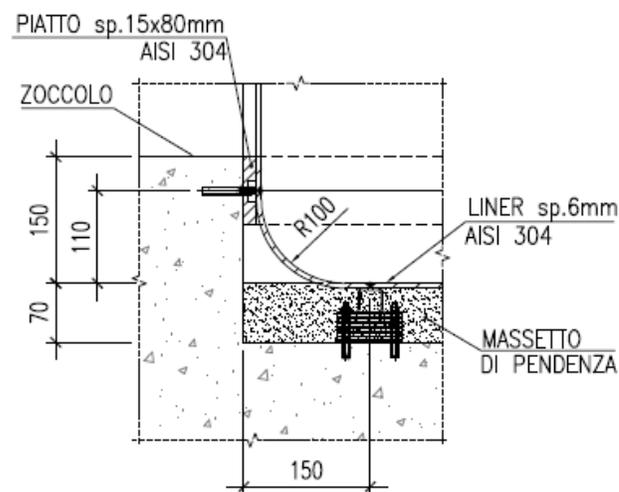
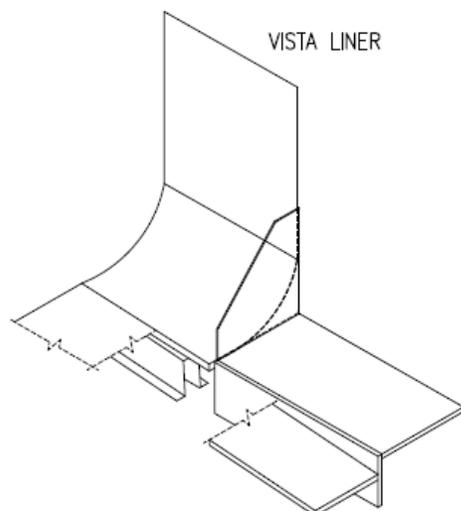
ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI DI STRUTTURE IN CA IN AMBITO NUCLEARE

11) IMPIEGO DI LINER METALLICI

Al fine di garantire la sicurezza in caso di sversamenti di liquido radioattivo all'interno dei locali a maggiore rischio, parte delle pareti e tutto il pavimento di questi locali è rivestito con un liner metallico di acciaio inox di spessore 6mm.

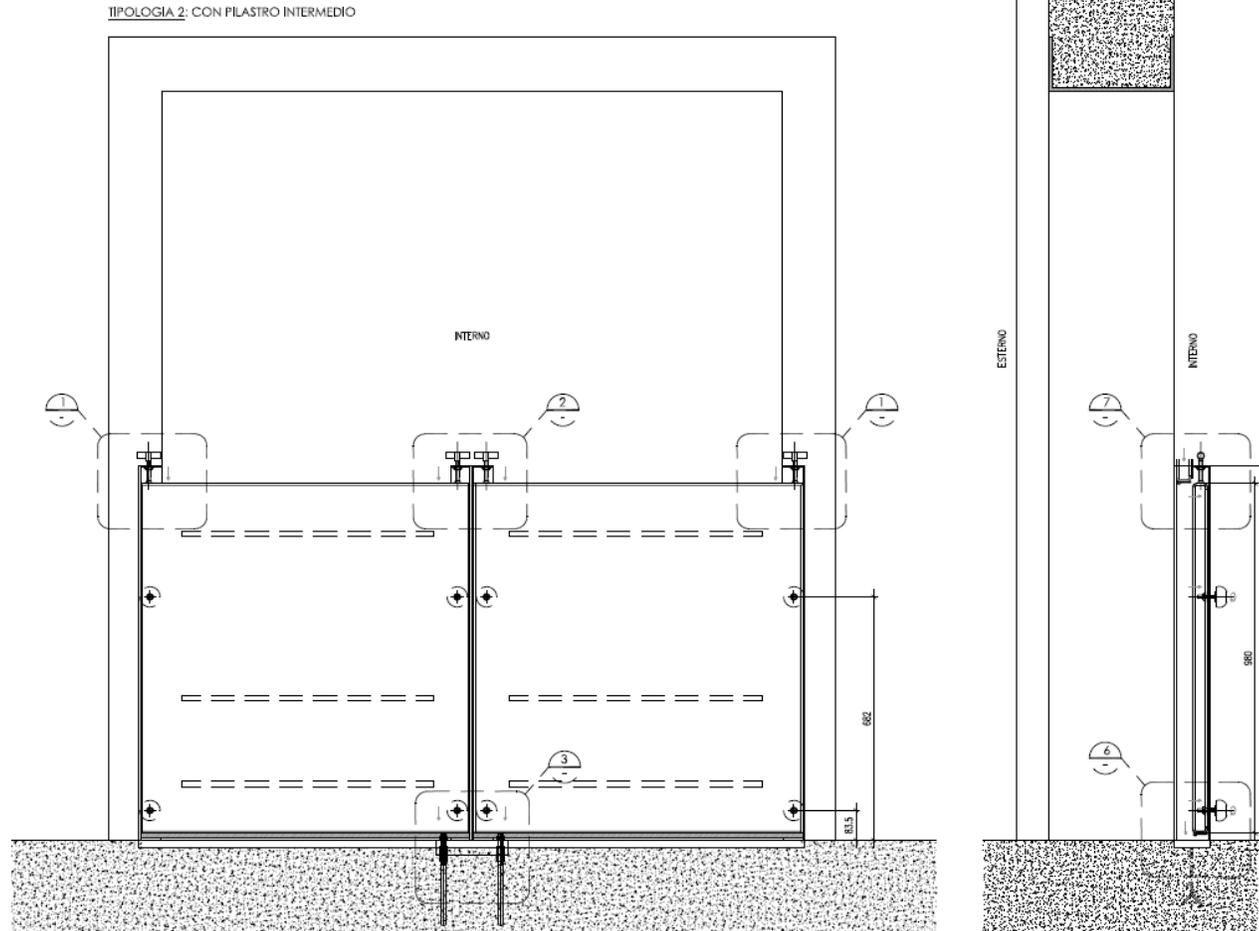
Questo provvedimento è assolutamente necessario al fine di prevenire la contaminazione delle strutture in CA dall'essere impregnate di liquidi radioattivi. Il liner è realizzato tramite pannelli metallici saldati e sigillati in opera tra loro - specie nei raccordi curvi tra superficie orizzontale e verticale.

Tale rivestimento è disposto in pendenza verso un pozzetto di raccolta, che nel caso di evento ha il compito di raccogliere il liquido radioattivo sversato e convogliarlo in un locale idoneo.



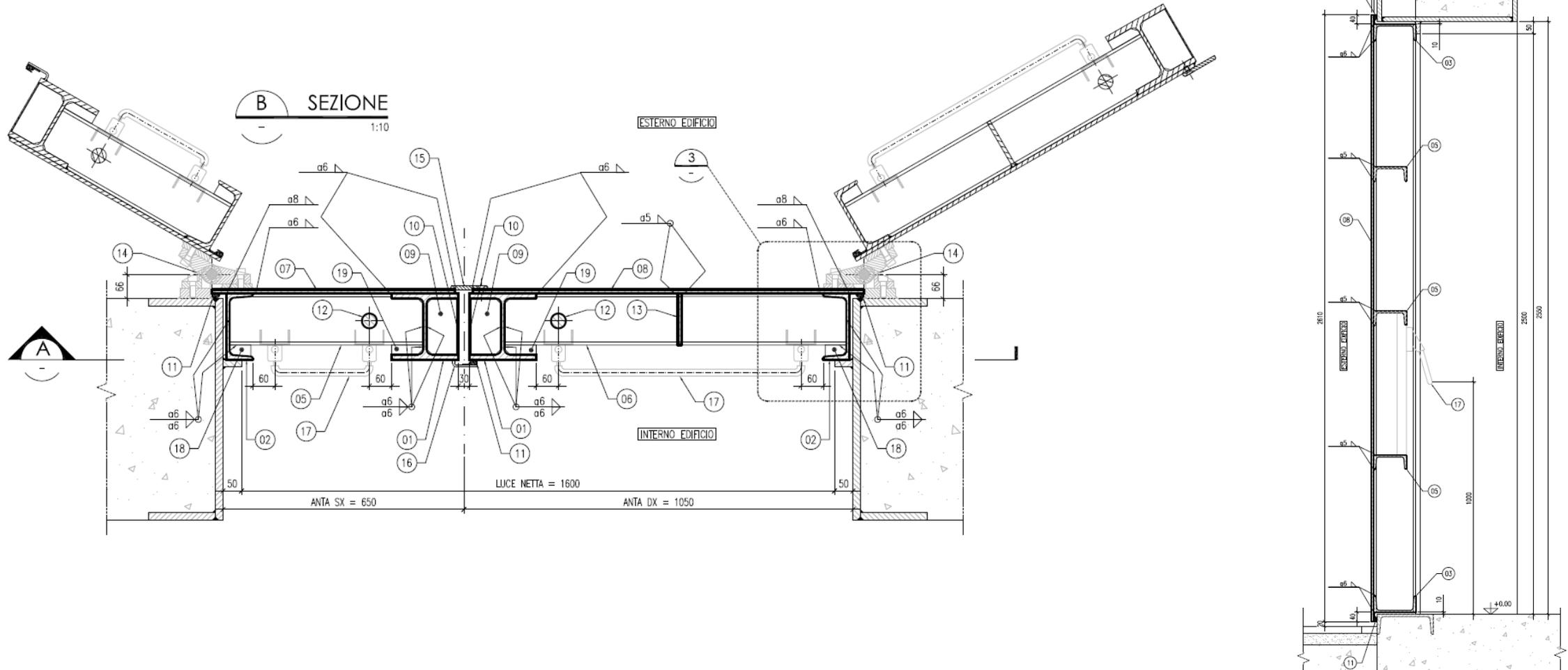
ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI DI STRUTTURE IN CA IN AMBITO NUCLEARE

12) PORTE A TENUTA E PARATIE



ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI DI STRUTTURE IN CA IN AMBITO NUCLEARE

13) PORTE ANTI MISSILI DA TORNADO



ACCORGIMENTI COSTRUTTIVI DI STRUTTURE IN CA IN AMBITO NUCLEARE

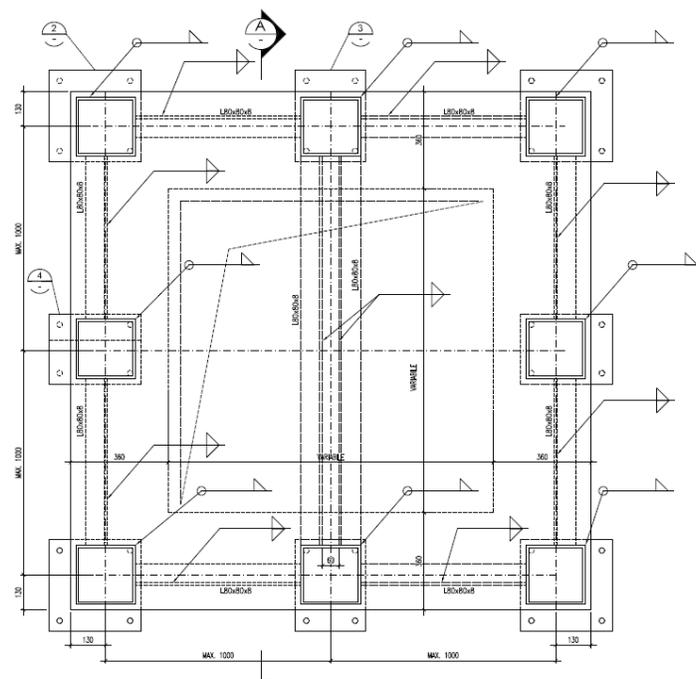
14) GRIGLIE DI ASPIRAZIONE/ESPULSIONE RESISTENTE AI MISSILI DA TORNADO

Il sistema di aerazione dell'edificio non può per nessun motivo smettere di funzionare in quanto non vi sono finestre o aperture sulle pareti dell'edificio per aerazione.

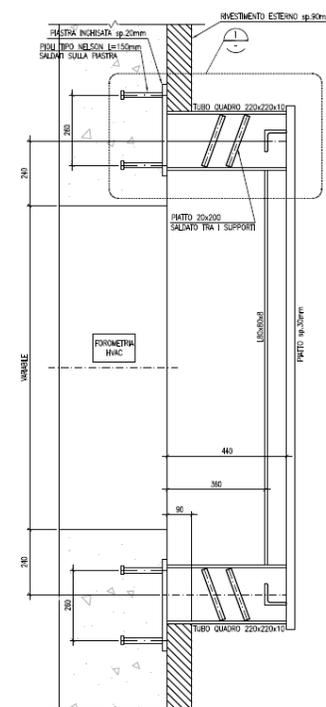
Tantomeno in caso di eventi come il tornado non possono accadere danni all'impianto: quindi a protezione delle aperture per l'aspirazione o l'espulsione d'aria sono previste lamiere e griglie anti intrusione di oggetti esterni.

1 GRIGLIA ANTI MISSILE
SCALA 1:10

GRIGLIA ANTIMISSILE TIPICA SU PARETE



A SEZIONE
1:10



PROGETTAZIONE DI STRUTTURE IN CA NEI CONFRONTI DELL'EES

L'aspetto più severo della progettazione dell'edificio riguarda la sua **resistenza al cosiddetto impatto di riferimento**.

Per eseguire analisi **elastiche di impatti all'interno del modello globale** (per le verifiche di resistenza degli elementi non direttamente impattati), **viene definito coefficiente di amplificazione dinamica (DLF – dynamic load factor) della forza impulsiva** con diagramma di carico rettangolare o triangolare, in funzione della durata dell'impulso e del periodo di vibrazione della struttura (nel nostro caso parete o solaio) impattata. Si riporta di seguito il grafico dell'andamento del DLF.

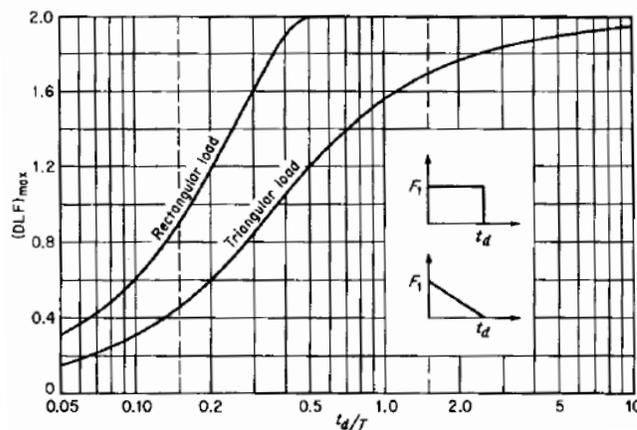


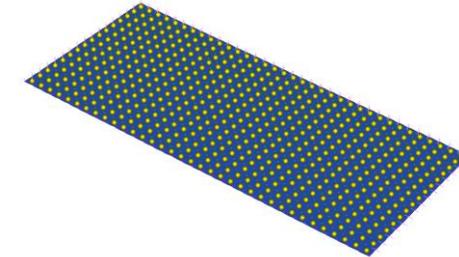
Grafico di
BIGGS

A favore di sicurezza si assume che il **periodo di vibrazione di tutte le strutture impattate** sia tale per cui il t_d/T sia **sempre maggiore di 0.5**, pertanto è stato assunto un DLF massimo pari a 2.

PROGETTAZIONE DI STRUTTURE IN CA NEI CONFRONTI DELL'EES

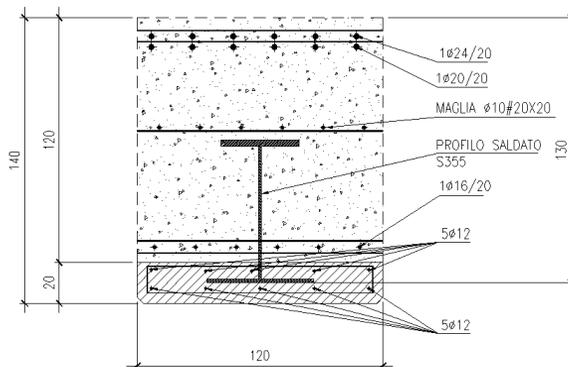
Per eseguire analisi locali occorre obbligatoriamente passare al campo plastico di resistenza. Si analizza in particolare la copertura dell'ed. di deposito D3.

- Si **calcola la massa della copertura** su un modello semplificato, incastrato sul perimetro, suddivisa tra carichi permanenti e permanenti portati

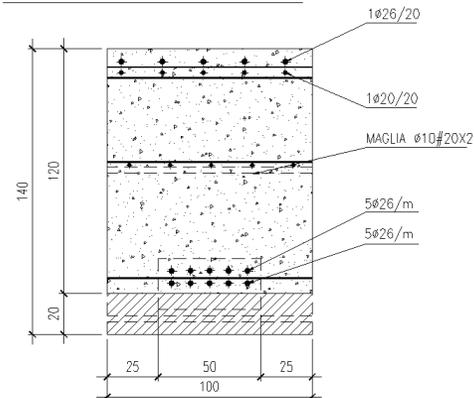


- Si **calcolano i momenti resistenti** della sezione nelle due direzioni, tenendo conto della **sovraresistenza dei materiali** ammessa dall' **ACI349-01** per i carichi impulsivi :

SEZIONE LONGITUDINALE



SEZIONE TRASVERSALE



Acciaio da CA: +10%

Calcestruzzo : flessione +25%

Calcestruzzo : taglio +10%

Material	DIF
Reinforcing steel	
$f_y = 40$ ksi.....	1.20
$f_y = 50$ ksi.....	1.15
$f_y = 60$ ksi.....	1.10
Prestressing steel.....	1.00
Concrete	
Axial and flexural compression	1.25
Shear	1.10

PROGETTAZIONE DI STRUTTURE IN CA NEI CONFRONTI DELL'EES

- Calcolo rigidezza della soletta in campo fessurato: (contributo del cls + contributo dell'acciaio)

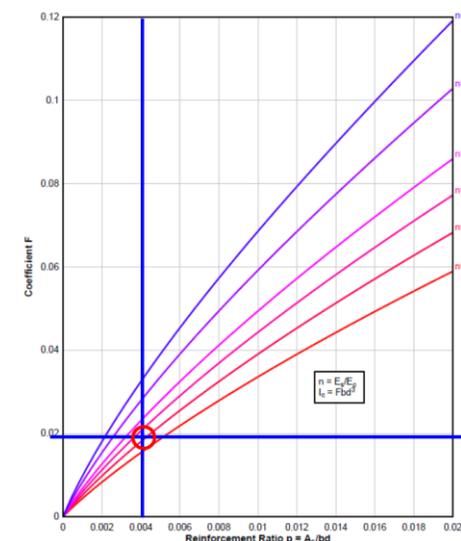
$$I = \frac{(I_g + I_{cr})}{2}$$

Dove:

- I_g è la resistenza della sezione lorda di calcestruzzo;
- I_{cr} è il contributo fornito dall'armatura in condizioni plastiche;

Il contributo alla rigidezza apportato dall'acciaio dipende dalla percentuale di armatura, ed è ottenibile da un grafico di letteratura:

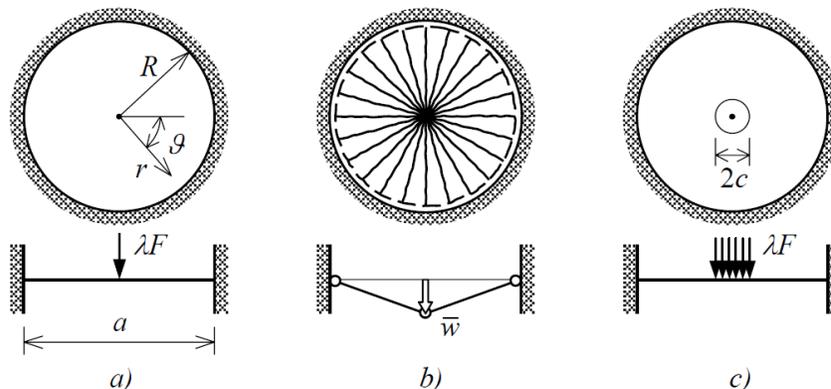
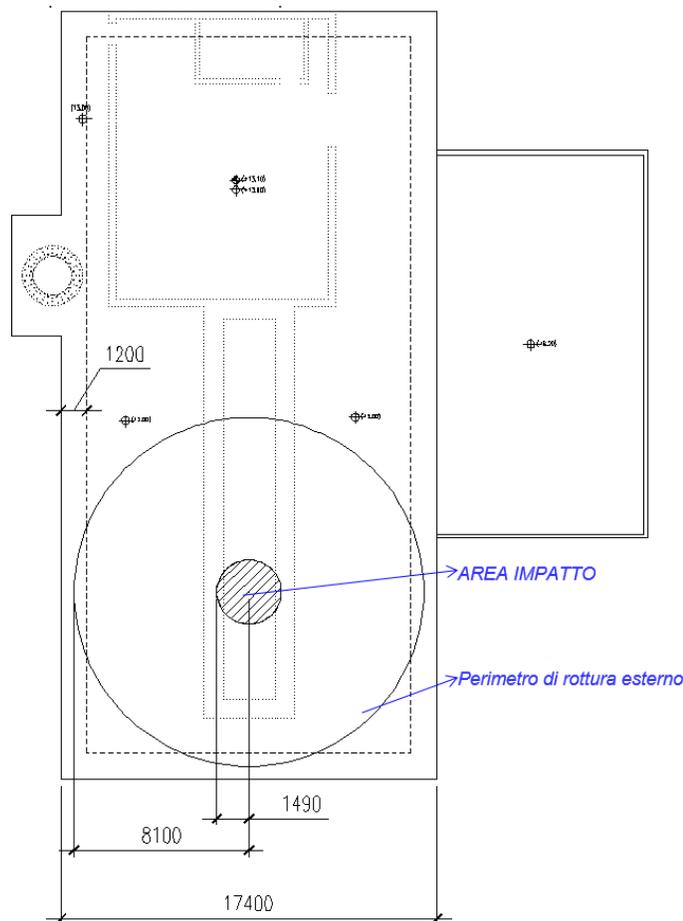
Tabella ricavata da UFC 3-340-02:
Figure 4-12 Coefficient for Moment of Inertia of Cracked Sections with Equal Reinforcement on Opposite Faces



- Si calcola uno **spessore equivalente** della soletta di copertura, medio per le due direzioni, considerando l'inerzia fessurata.

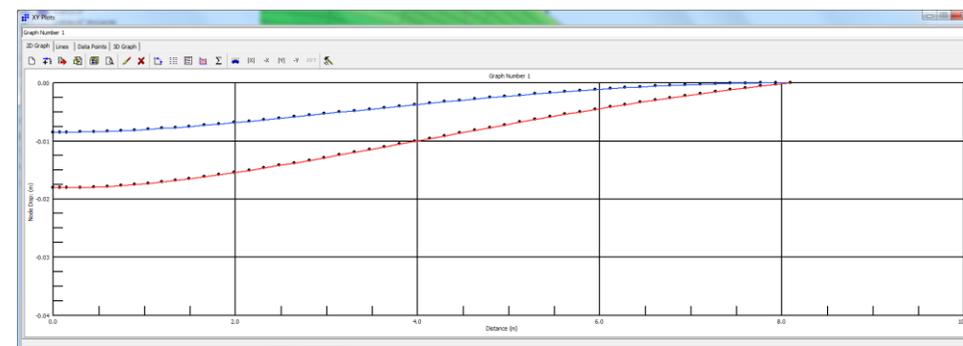
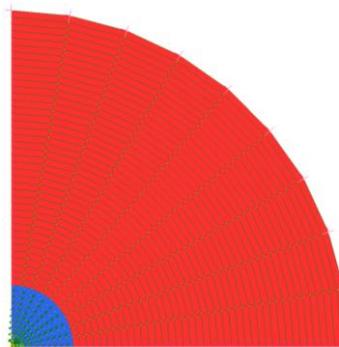
PROGETTAZIONE DI STRUTTURE IN CA NEI CONFRONTI DELL'EES

- Si calcola la capacità resistente ultima (in termini di carico applicato) della soletta sfruttando il criterio di rottura seguente:



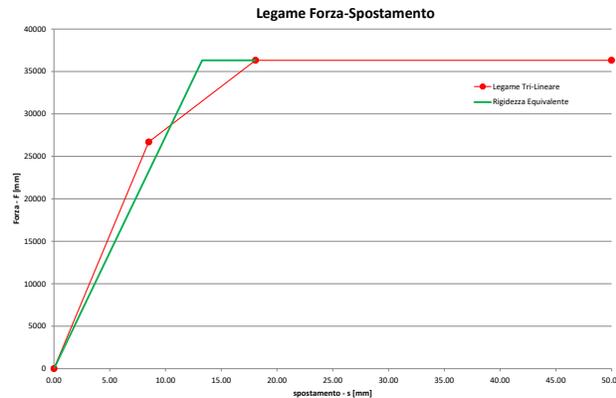
$$P_u = \frac{2\pi}{1 - \frac{2c}{3r}} \cdot (M_{pl,+} + |M_{pl,-}|)$$

- Attraverso un modello FEM applicando il carico di input, si ottengono gli spostamenti del punto di applicazione del carico in condizione elastica e con plasticizzazione del bordo vincolato

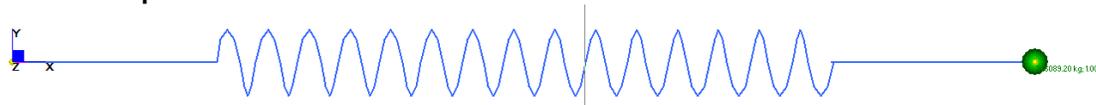


PROGETTAZIONE DI STRUTTURE IN CA NEI CONFRONTI DELL'EES

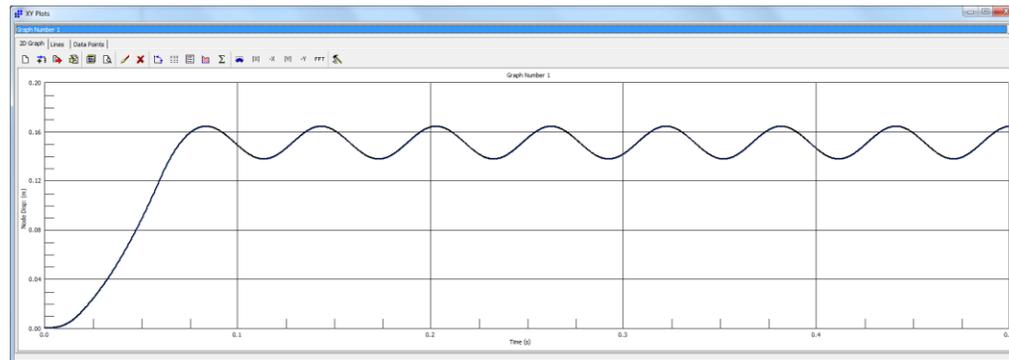
- Si costruisce una curva forza-spostamento che identifica la **rigidezza della molla del sistema 1gld non smorzato**



- Si risolve il **sistema 1gdl nel dominio del tempo** con la forza relativa alla plasticizzazione del bordo, agente con durata pari alla durata dell'impulso



- Si ottiene il grafico dello spostamento:

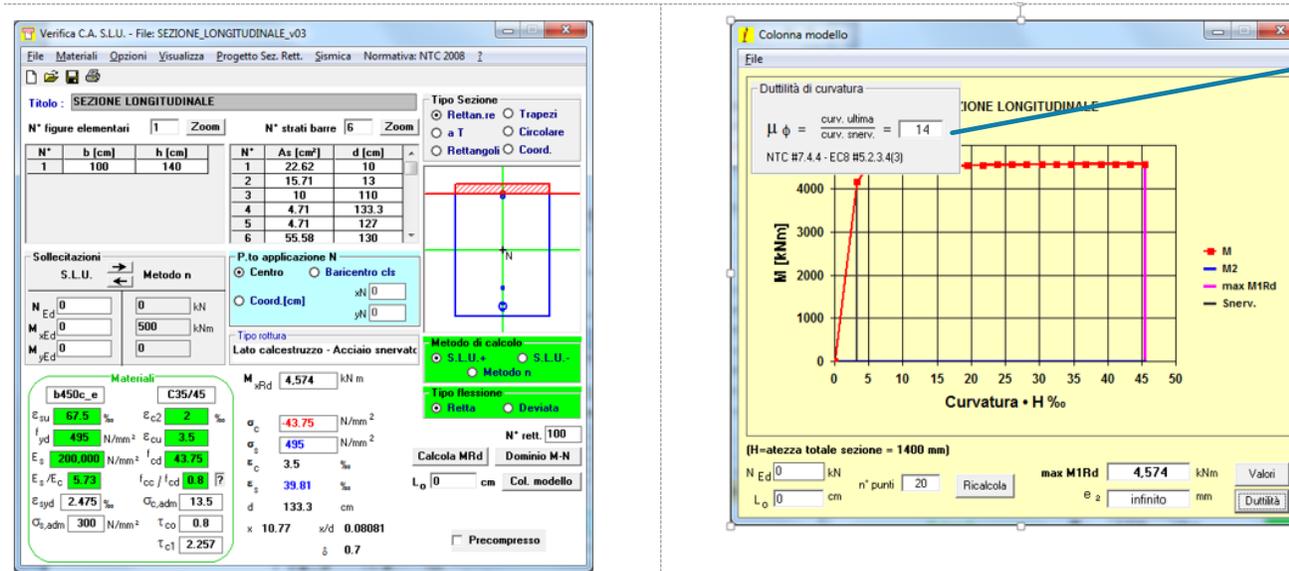


PROGETTAZIONE DI STRUTTURE IN CA NEI CONFRONTI DELL'EES

- La duttilità richiesta è calcolata come rapporto tra spostamenti

$$\mu = \frac{s_{pl}}{s_{el}} = \frac{164,20mm}{18,29mm} = 9,00$$

- Si confronta il valore di duttilità così ottenuto con le duttilità della sezione armata nei due versi, ed in entrambe le direzioni



$\mu = 14 > \mu_{richiesta} = 9$

SPETTRI DI PIANO

Una richiesta onerosa per le strutture in ambito nucleare è rappresentata dagli spettri di piano, ovvero l'ottenimento degli **spettri di risposta per il dimensionamento delle strutture secondarie**, gli impianti meccanici, ecc.

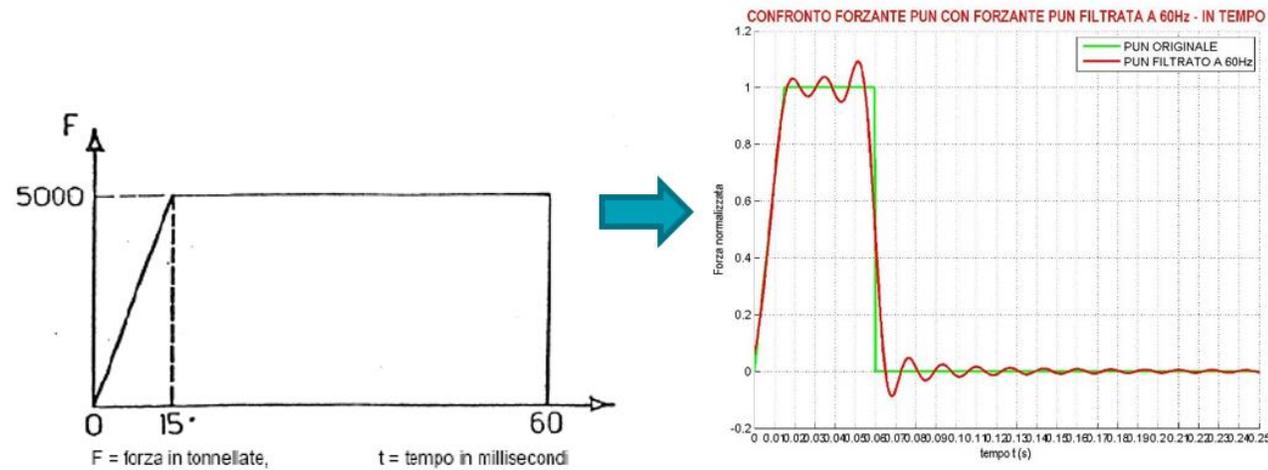
Tali **spettri di risposta** rappresentano l'accelerazione subita dall'edificio in un certo punto **plano-altimetrico per effetto della risposta dinamica della struttura sotto l'azione degli eventi esterni di progetto** (onda piana di pressione, impatto di riferimento o sisma).

In generale la risposta agli eventi EES è dipende da due componenti :

- prima frequenza di vibrazione della struttura (oscillatore smorzato)
- andamento temporale dell'impulso impresso perché la durata dell'impatto è confrontabile con il periodo di vibrazione della struttura

SPETTRI DI PIANO

Per eseguire l'analisi, tramite la serie di Fourier si trasforma la forzante di input in una sovrapposizione di armoniche semplici:



Il valore di carico di 50MN applicato alla struttura dell'edificio viene modulato nel tempo con la legge appena ricavata, su diverse posizioni di impatto.

Di seguito i passi principali della procedura:

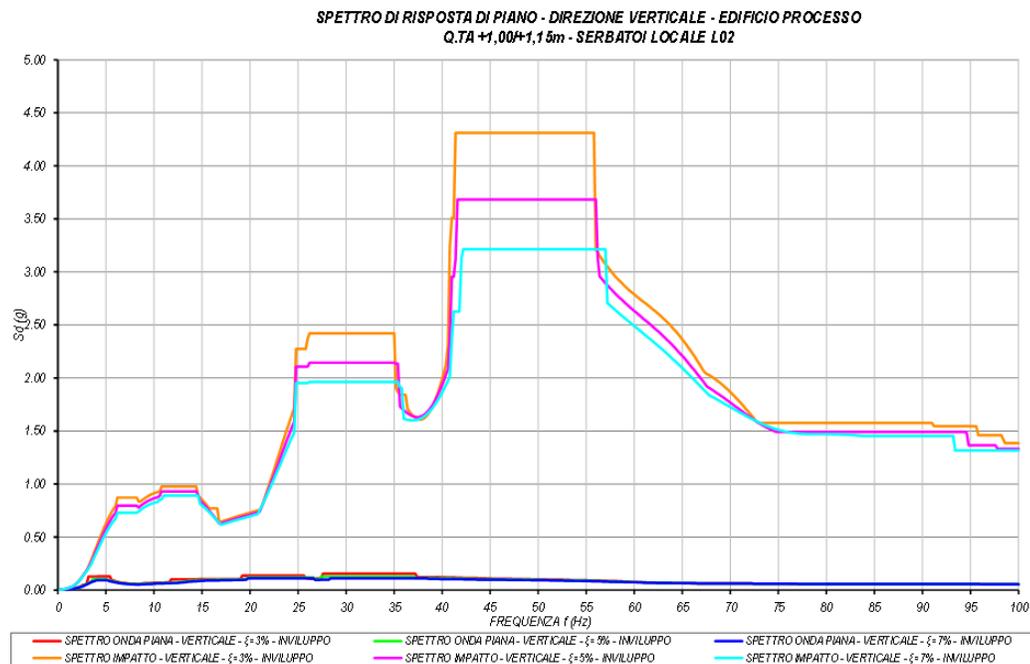
SPETTRI DI PIANO

- Si esegue un'analisi **TIME HISTORY** per integrazione numerica delle equazioni del moto per la forzante definita (molta importanza ha il valore del passo di integrazione).
- Si estraggono i risultati in termini di accelerazione in corrispondenza delle zone interessate. Da notare che i valori di accelerazione in corrispondenza dei nodi dove è direttamente applicata la forzante non sono significativi.
- Calcolo dello spettro di piano. È stata calcolata la risposta di un oscillatore semplice nel range di frequenze di interesse (0,20 – 100Hz) a passo 0,20Hz;
- Smoothing. Si applica la procedura che permette modificati i risultati in modo da ottenere una risposta più uniforme;
- Envelope. Involuppo degli spettri per ciascuna posizione di impatto considerata;
- Spettro Orizzontale Unificato. Si è proceduto a calcolare l'involuppo tra gli spettri nelle due direzioni orizzontali ottenuti con tutte le posizioni di impatto considerate.

NOTA: per l'ottenimento degli spettri di piano, particolare attenzione è posta ai valori di smorzamento considerato. Esso si compone dello smorzamento strutturale (proprio del materiale costituente la struttura – calcestruzzo 7%), e smorzamento offerto del terreno.

SPETTRI DI PIANO

Per un locale sensibile dell'edificio, il risultato ottenuto è il seguente:



**SPETTRO DI RISPOSTA DI PIANO - DIREZIONE ORIZZONTALE - EDIFICIO D3 –
AREE STOCCAGGIO FUSTI - LOCALE L61**

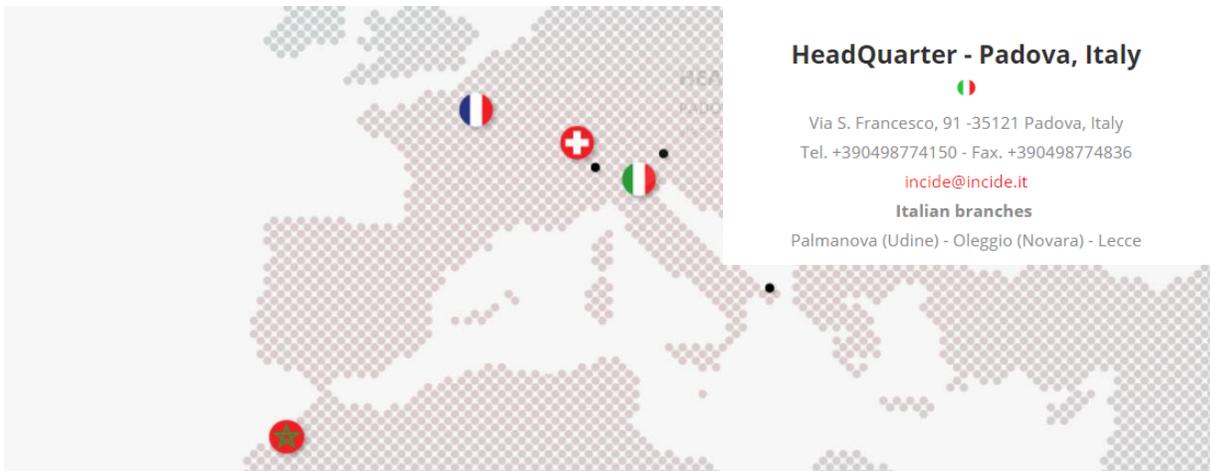
In corrispondenza del range di frequenza interessante per le componenti impiantistiche (0.2-100Hz) è possibile ricavare il valore di accelerazione spettrale per dimensionare per esempio lo staffaggio dell'apparecchiatura.

INCIDE ENGINEERING PRESENTATION



industrial engineering
civil engineering
design
incide

1998-2022
24 years



HeadQuarter - Padova, Italy

Via S. Francesco, 91 -35121 Padova, Italy
Tel. +390498774150 - Fax. +390498774836

incide@incide.it

Italian branches

Palmanova (Udine) - Oleggio (Novara) - Lecce

Lugano, Suisse Incide Engineering sàrl



Via S. Balestra, 27
6900 Lugano Svizzera
suisse@incideengineering.com

Paris, France Incide Ingénierie sàrl



151 Allée de la Pièce du Lavoir
91190 Gif-sur-Yvette
france@incideengineering.com

Rabat, Maroc Incide Maroc sàrl



--
Rabat Maroc
maroc@incideengineering.com

