

OGGETTO DELLO STUDIO

Il tema proposto tratta della progettazione esecutiva di un manufatto edilizio da adibire a mattatoio pubblico consortile.

La scelta è motivata dal fatto che tale studio, oltre a trattare più tematiche proprie del corso di laurea in G.d.P.E, approfondisce alcuni aspetti particolari quali:

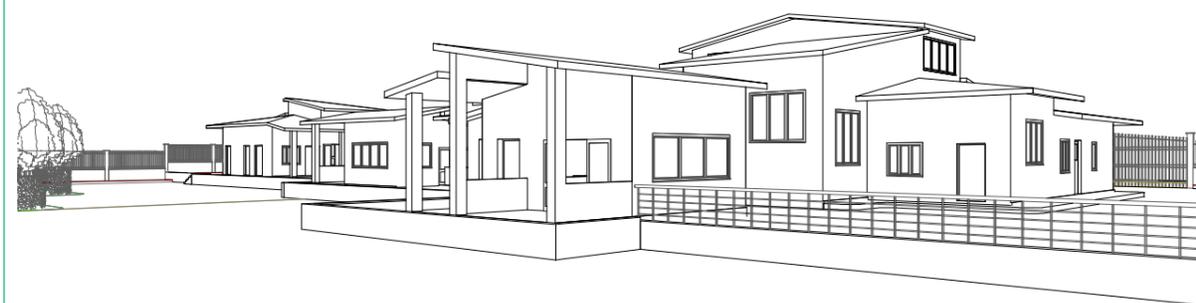
- le tecniche di rappresentazione del progetto con animazioni, viste 3d, fotorendering;
- studio sui prevedibili effetti dell'intervento sulle componenti ambientali e alternative tecnologiche per ridurre le emissioni inquinanti;
- gestione della sicurezza e manutenzione dell'opera;
- definizione della pericolosità sismica dell'area;
- calcolo strutturale con il metodo agli stati limite, valutazione dei costi e confronto con il metodo di analisi alle tensioni ammissibili;

Rendering della struttura progettata



Rendering della struttura progettata

Vista Prospettica



Vista Prospettica



INDIVIDUAZIONE DEL QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

La normativa a cui si è fatto riferimento nella progettazione è la seguente:

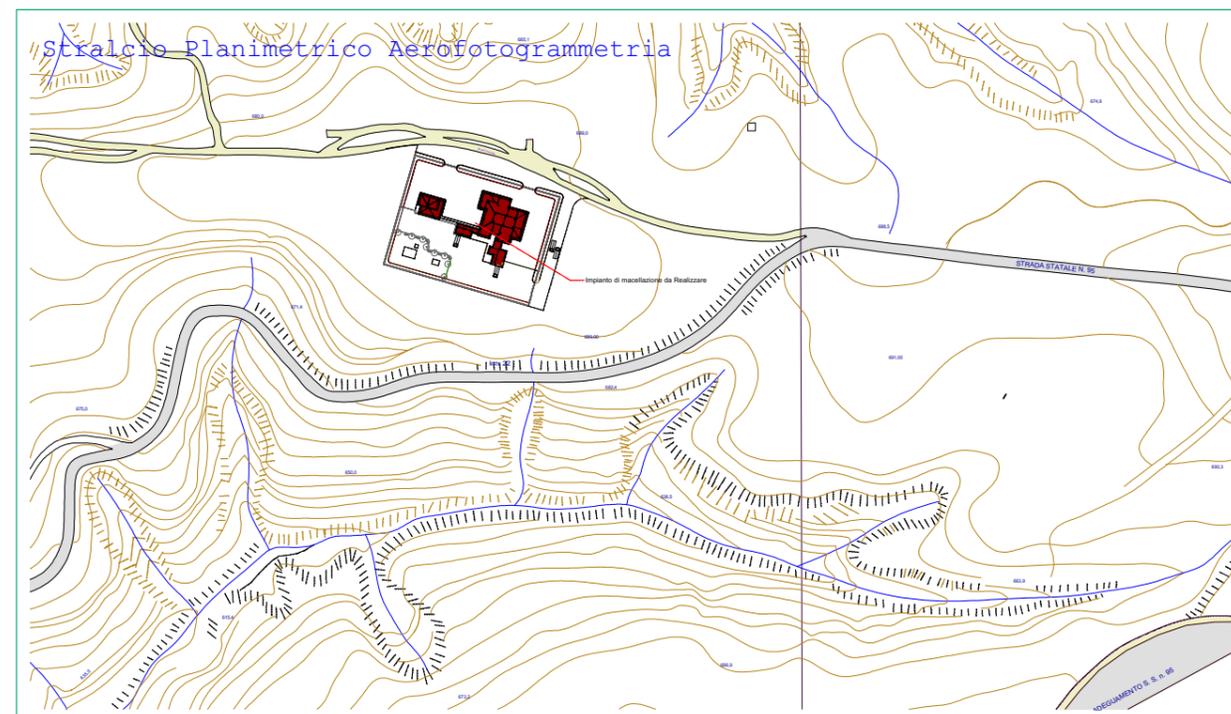
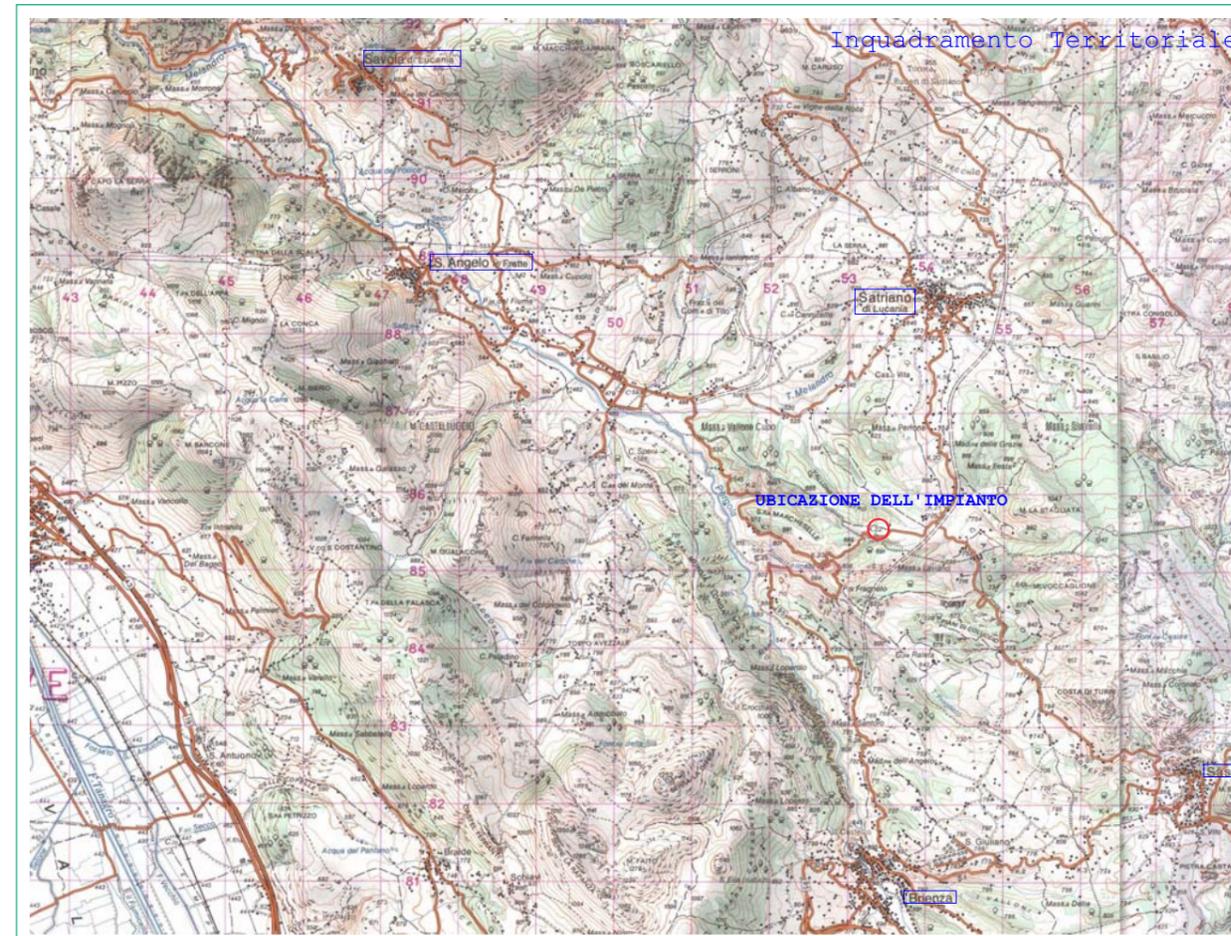
- 1 Norme sulla protezione degli animali da macello
- 2 Norme sugli impianti di macellazione e sezionamento
- 3 Normativa Ambientale
 - Smaltimento rifiuti di origine animale
 - Scarichi acque reflue
 - Emissioni in atmosfera
 - Emissioni sonore
 - Valutazione di impatto ambientale
- 4 Norme sulla sicurezza e la salute dei lavoratori
- 5 Norme sui lavori pubblici
- 6 Normativa speciale (Rischio Idrogeologico e Sismico)
- 7 Normativa Regionale (Urbanistica e Ambiente)

SCELTA DEL SITO

La scelta del sito ove ubicare il manufatto scaturisce principalmente dalla necessità di individuare un'area baricentrica e con un buon sistema viario rispetto al comprensorio di comuni interessati alla realizzazione dell'intervento.

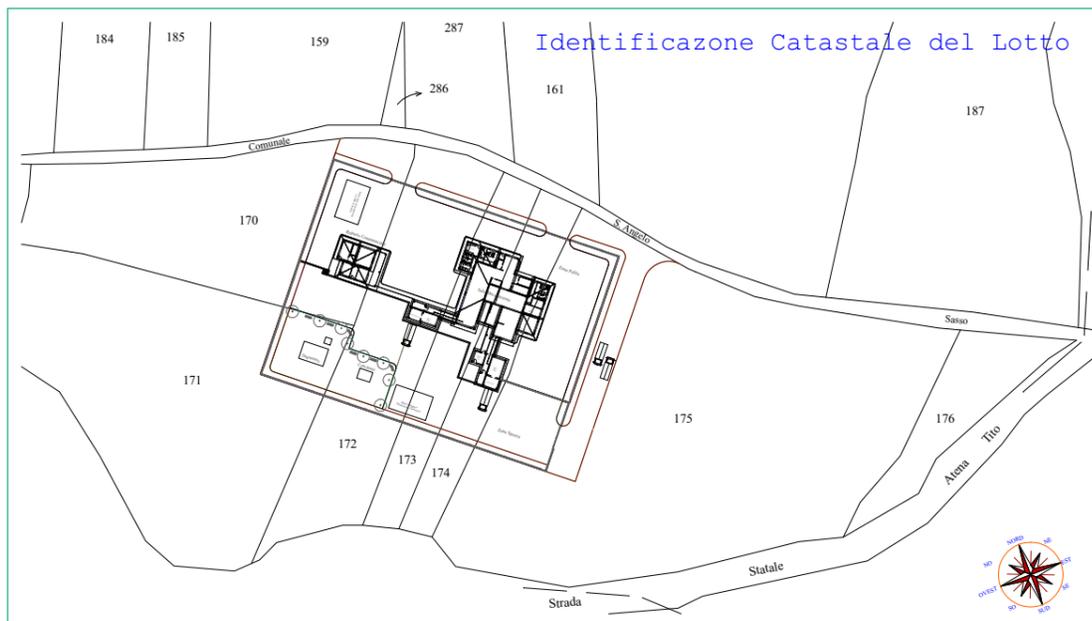
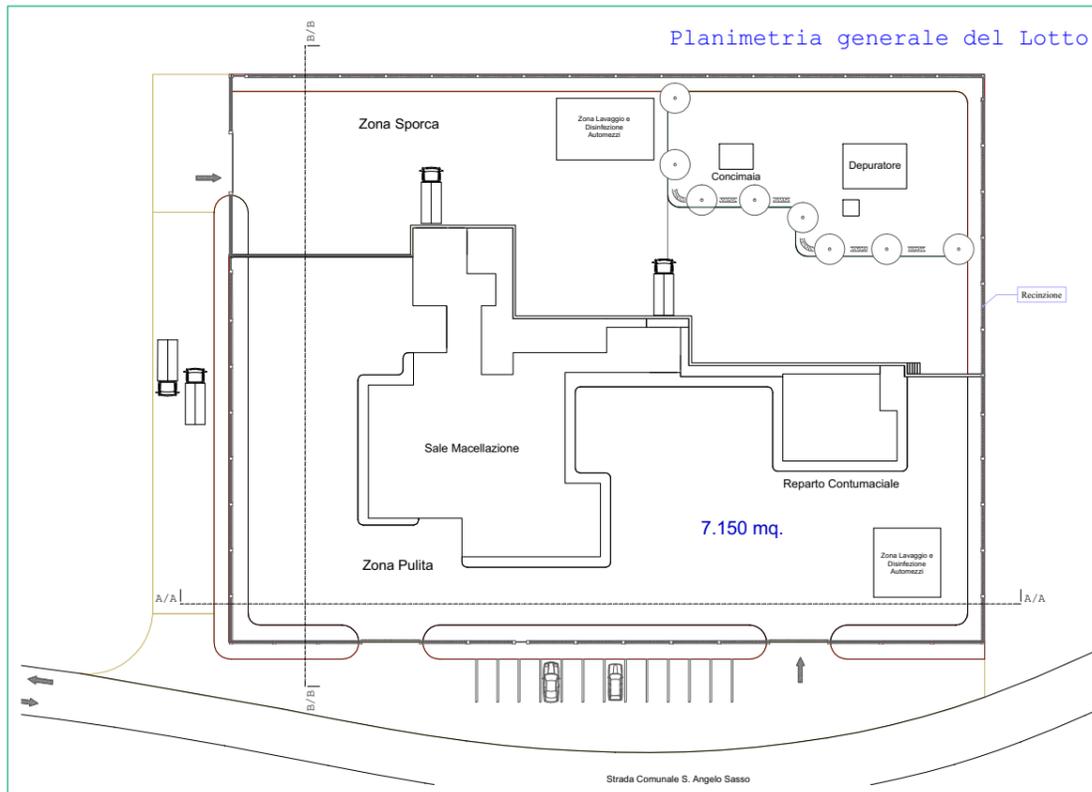
Individuato l'ambito ottimale con tali caratteristiche gli aspetti che si sono analizzati che hanno comportato la scelta e la localizzazione dell'opera sono i seguenti:

- La presenza di altre attività produttive nell'area di riferimento;
- Località ben ventilata con giacitura orizzontale;
- Distante da insediamenti abitativi;
- Ubicazione in prossimità di strade Statali e provinciali;
- Posizione idonea per un razionale smaltimento dei rifiuti liquidi da immettere previo pretrattamento nel torrente Fragneto.
- Presenza dell'acquedotto comunale con sufficiente pressione e portata;
- Assenza di vincoli paesaggistico, archeologico, idrogeologico e forestale e zone di rispetto a tutela di beni pubblici di interesse nazionali o regionali.
- Conformità dell'opera agli strumenti urbanistici Comunali
- Buone caratteristiche geologiche e geotecniche del suolo, ai fini di una migliore risposta sismica dell'edificio;



DIMENSIONAMENTO DEL LOTTO

Dai manuali del settore risulta che per un numero di Abitanti compreso tra 10.000 e 20.000 l'area da destinare all'impianto di macellazione è di 0,55 mq/abit. Essendo gli abitanti del comprensorio dei comuni interessati alla realizzazione del macello pari a circa 13.000 l'area da destinare al mattatoio dovrà essere di circa **mq. 7.150**.



ANALISI DEI BISOGNI E IPOTESI DI PROGETTO

L'obiettivo del progetto è quello di dotare un'area con peculiarità agro-zootecnica di un'opera che inserendosi nel contesto territoriale soddisfi le esigenze degli utenti, aziende zootecniche e consumatori.

Il consumo di carne nell'ambito in esame è riassunto come segue:

Capi per anno macellati

Bovini	Suini	Agnelli/capretti
572	676	936

Corrispondenza con capi bovini equivalenti (UGB)

Art. 5 D.Lgs 18-04-1994 n. 286

	Bovini	Suini	Agnelli/capretti	Totale
UGB	572	135,2	46,8	754

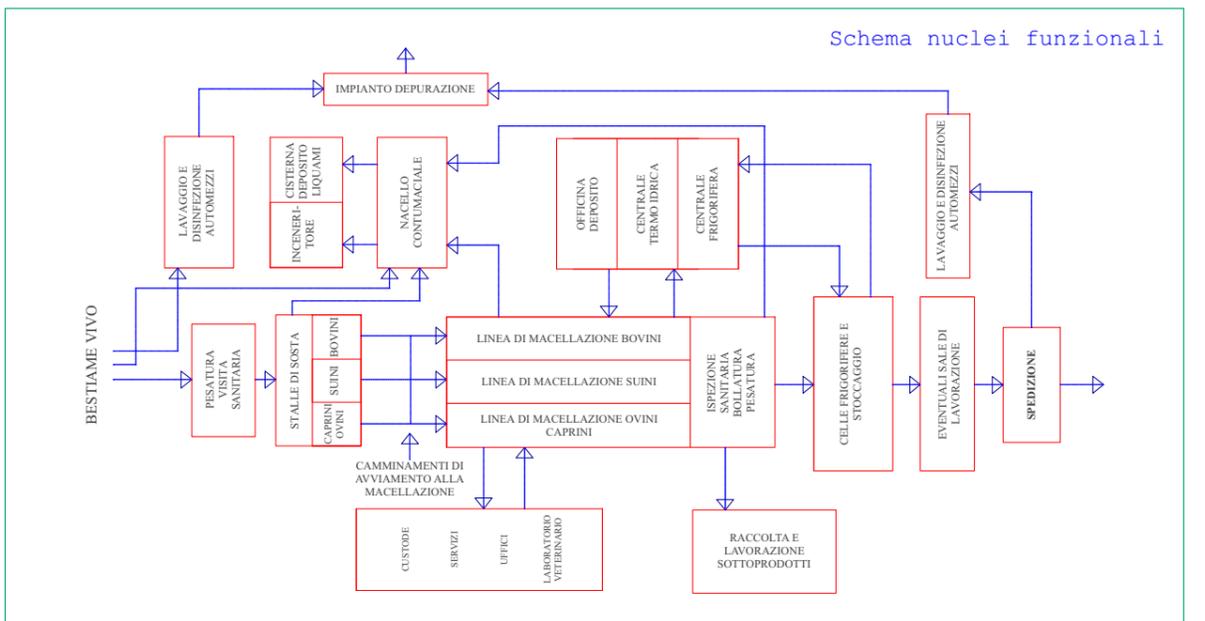
Definizione del tipo

In rapporto al consumo di carne emerge la necessità di realizzazione un mattatoio polifunzionale con **tre linee di produzione, bovina, suina ed ovicaprina**, con la possibilità di macellare il quantitativo di carne necessaria stimato in **200 tonnellate** di carne netta per anno. In questo ambito il riferimento normativo principale è dato dalla direttiva 91/497 recepita nel D.L. 286/94 che estende anche al mercato nazionale le norme igienico-sanitarie precedentemente previste solo per gli scambi comunitari. Tale decreto, ha introdotto norme igienico-funzionali per garantire la sicurezza del prodotto, distingue le tipologie di impianto in due grosse categorie:

- impianti a capacità limitata i cui limiti di lavorazione sono attualmente di 1000 UGB/anno e 5 ton./settimana e per i quali vi è una restrizione della commercializzazione al territorio nazionale;
- impianti con capacità di lavorazione superiori e che per operare la commercializzazione devono munirsi di un apposito bollo CEE.

Possibile soluzione di aggregazione di nuclei funzionali

I nuclei funzionali di un moderno macello sono schematizzati nella figura che segue. La possibilità di realizzare in tutto o in parte i nuclei funzionali indicati va adeguata alle singole esigenze.



DISTRIBUZIONE FUNZIONALE

La soluzione progettuale prescelta si è orientata per la realizzazione di un manufatto da realizzare in loco preferendolo ad una struttura prefabbricata di tipo industriale sia per il migliore effetto estetico che per una più puntuale suddivisione degli spazi ed ingombri planivolumetrici in rapporto alle reali necessità.

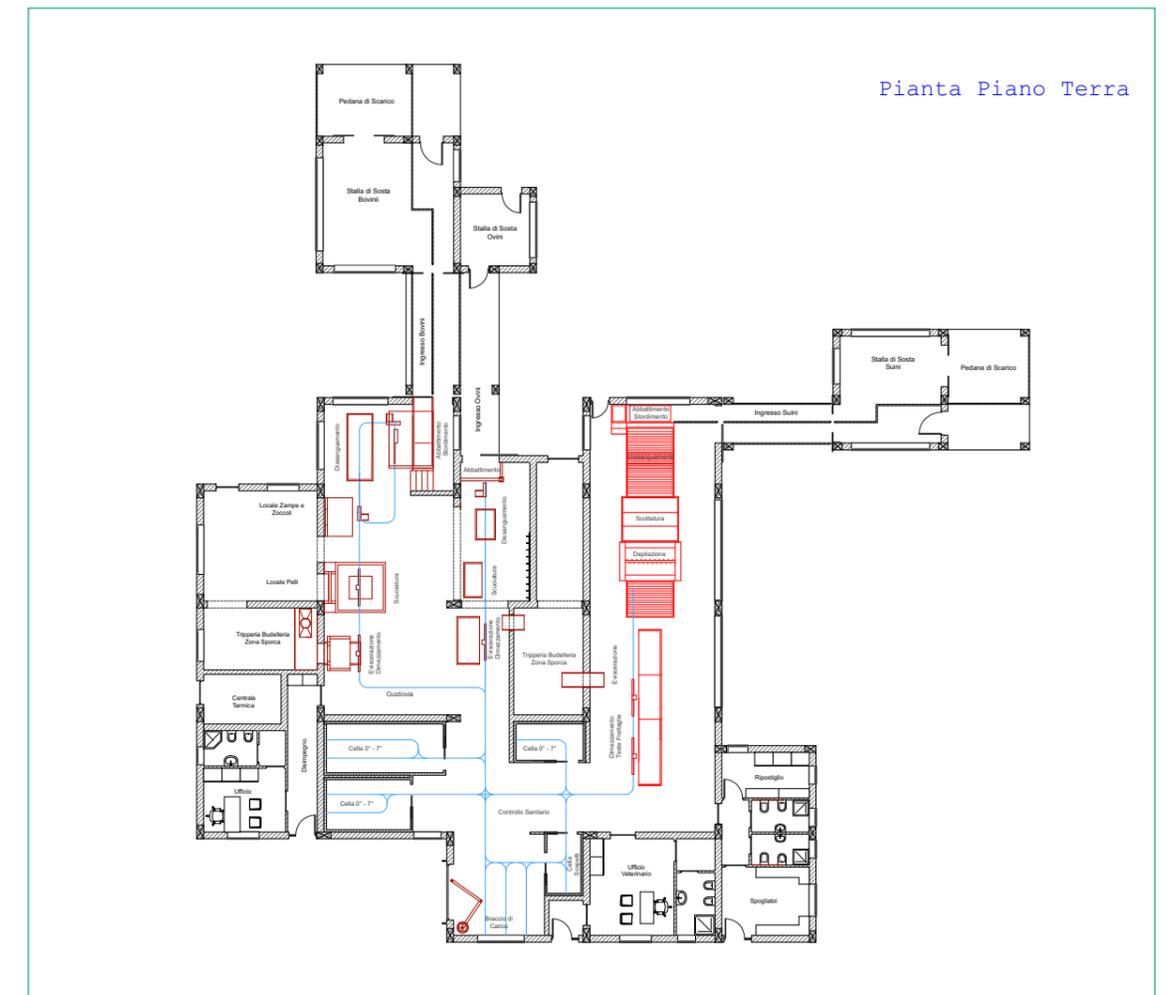
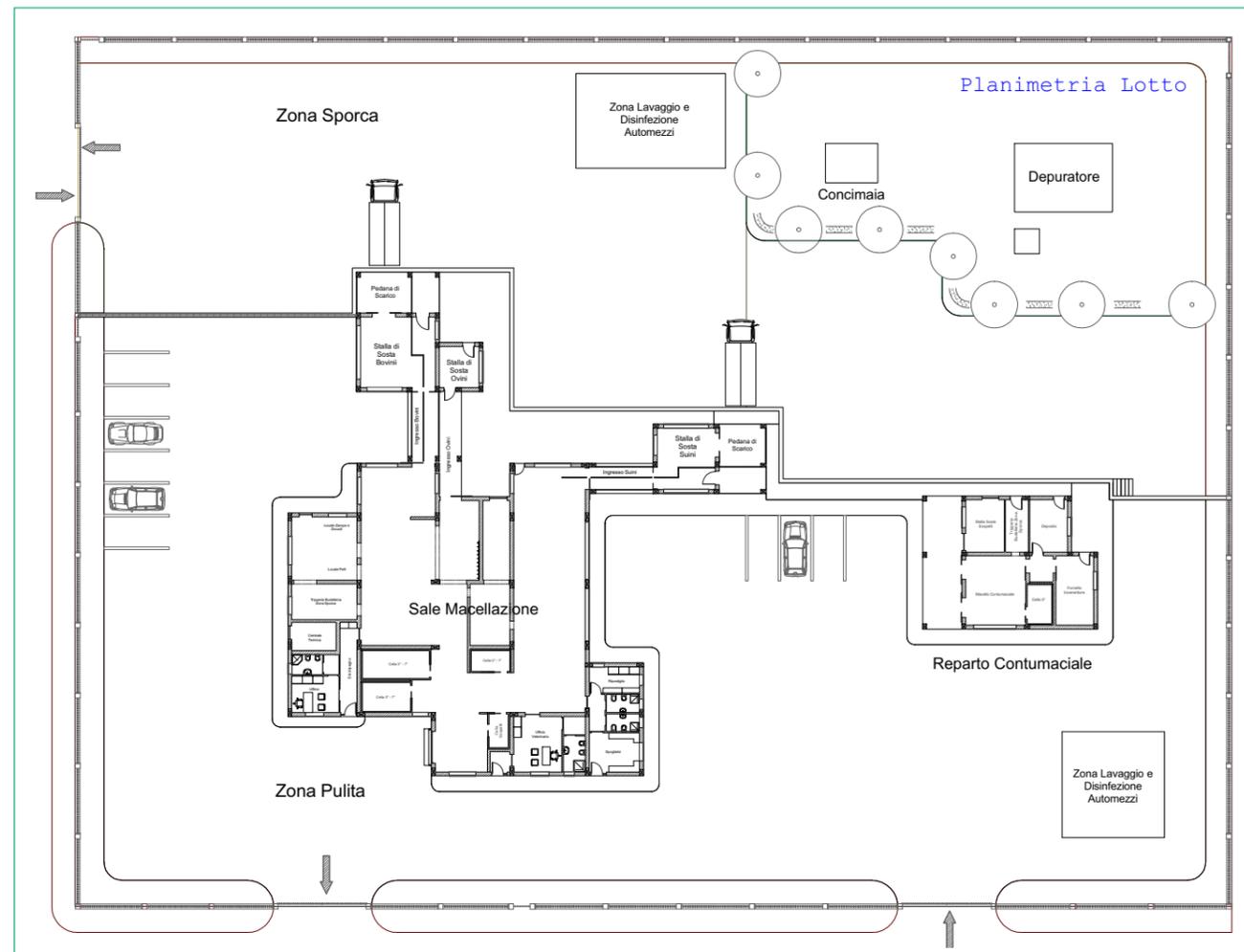
Le esigenze emerse hanno portato al dimensionamento dell'impianto che risulta costituito da:

- spazio relativo all'accoglimento e alla sosta pre-macellazione degli animali;
- spazio di macellazione, comprensivo del "campo di morte" ove avviene l'abbattimento/stordimento dell'animale e il conseguente avvio del processo di smontaggio delle varie parti (dissanguamento, taglio delle zampe e della testa, scuoiatura, eviscerazione ecc.), con separazione delle parti "sporche" e avvio delle carni verso la zona di raffreddamento; il processo di macellazione comprendere l'effettuazione dell'ispezione sanitaria, pratica fondamentale per consentire l'avvio al consumo delle carni;
- spazio per il reparto sanitario-contumaciale ove effettuare la macellazione di urgenza o inviare le carni sospette o da distruggere;

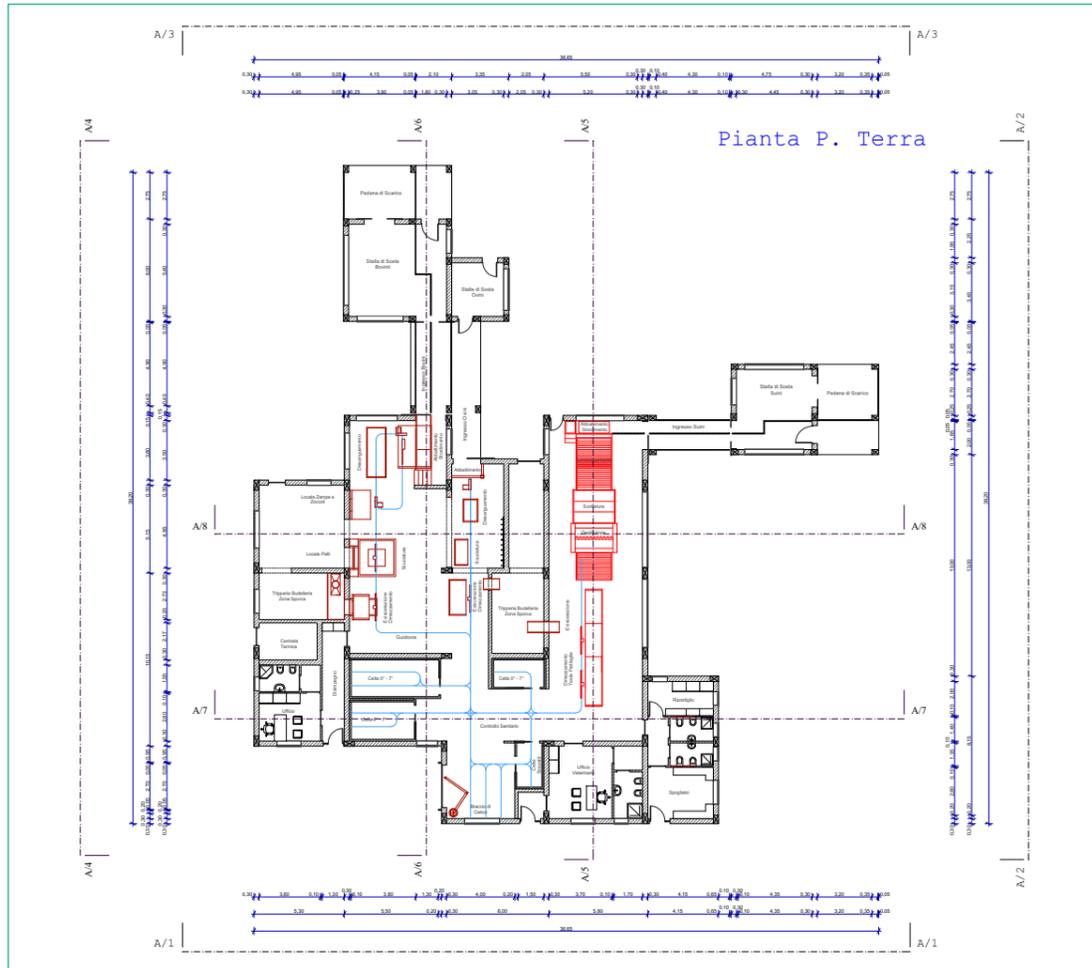
- spazio riservato alla raccolta ed eventuale prima lavorazione dei sottoprodotti (sangue, zampe, pelli, setole, teste, visceri ecc.);
- spazio relativo al raffreddamento e alla conservazione delle carni in attesa dell'avvio alla rete distributiva;
- spazio per la spedizione delle carni;
- spazi amministrativi: per la direzione, l'amministrazione, l'espletamento del servizio sanitario;
- spazi per i servizi del personale (servizi igienici, spogliatoi, docce);
- spazi per le centrali tecnologiche.

Questi spazi, sono stati aggregati in modo organico, in modo da consentire corretto funzionamento dell'impianto di macellazione, e precisamente:

- ingresso e uscita separati, rispettivamente per il bestiame e per le carni macellate;
- aree per la movimentazione interna e per la sosta degli automezzi di trasporto (del bestiame e delle carni) e dei veicoli del personale addetto;
- Impianti di lavaggio e detersione degli automezzi adibiti al trasporto delle carni;
- Area attrezzata per la raccolta del letame e del contenuto ruminale;
- Impianti per il trattamento delle acque di scarico;



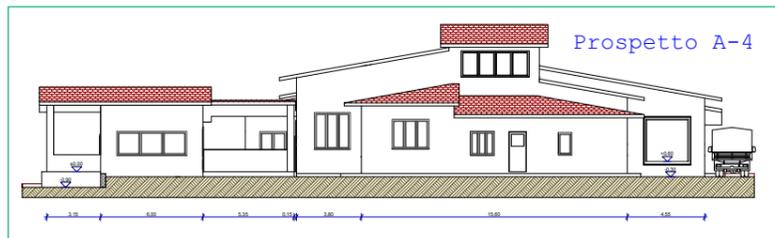
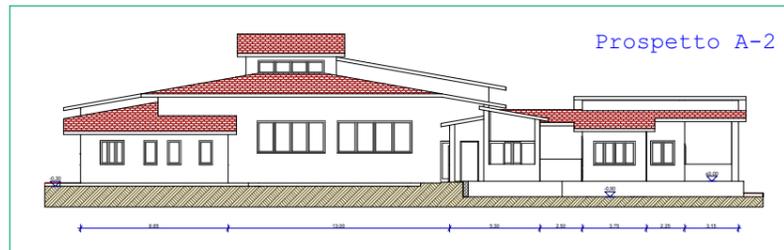
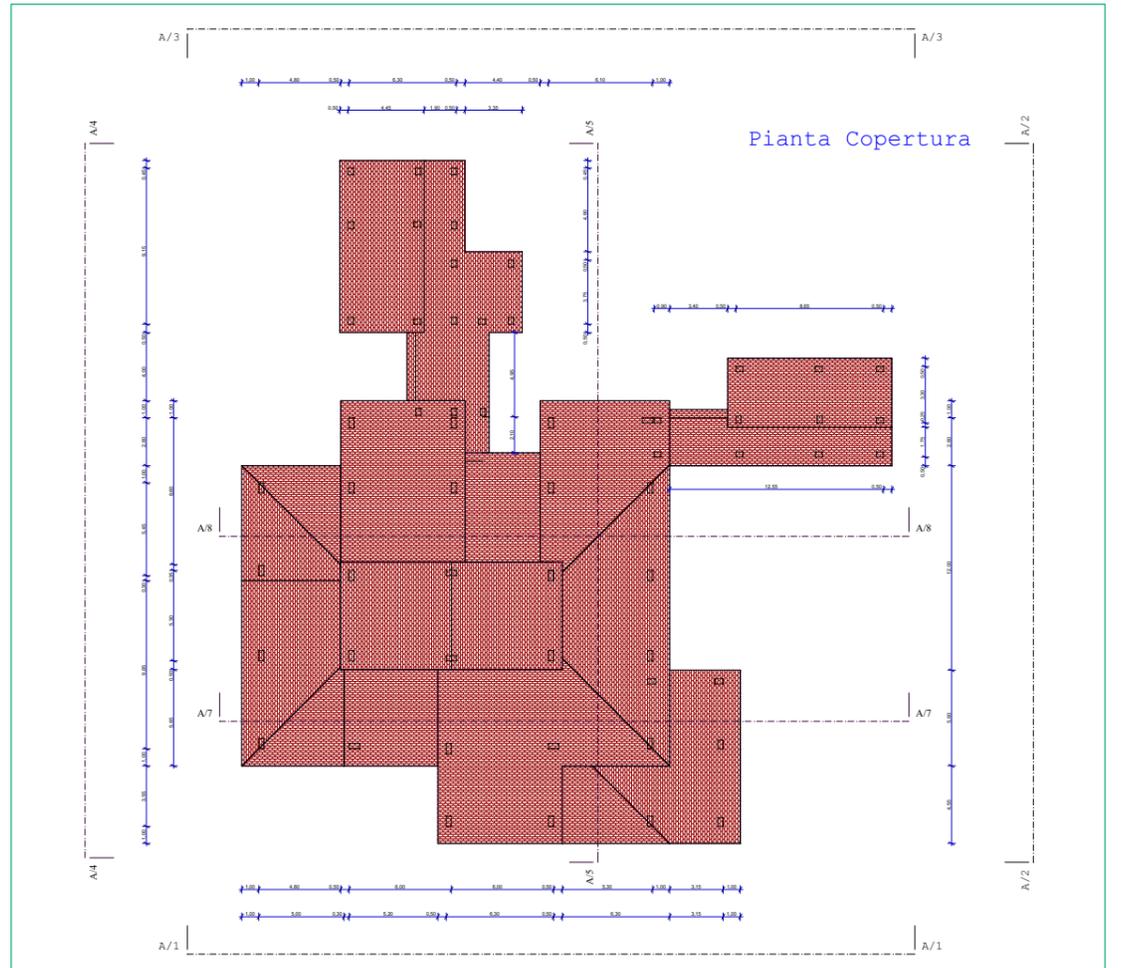
Architettura e Valle Tivolia



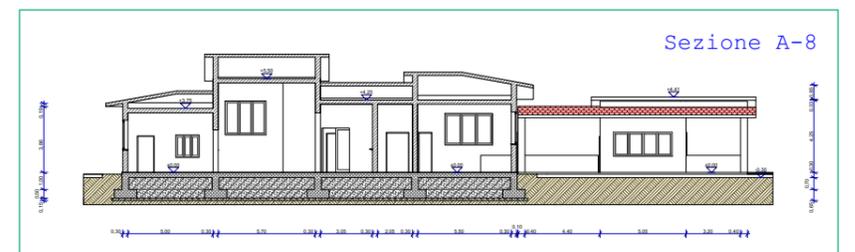
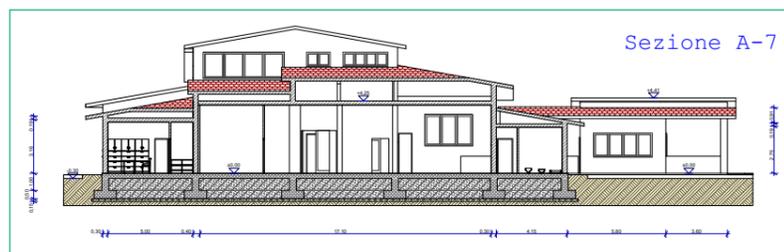
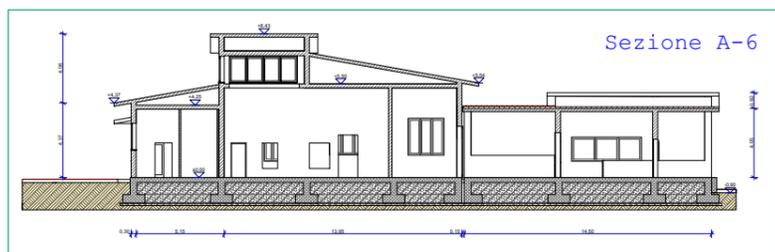
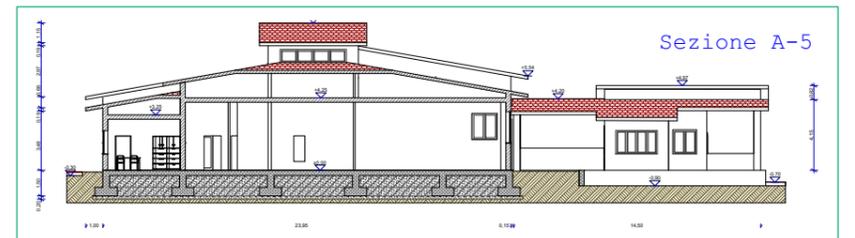
GRAFICI

STALLE DI SOSTA
SALE DI
MACELLAZIONE
E
SERVIZI

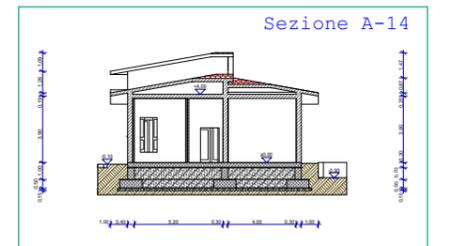
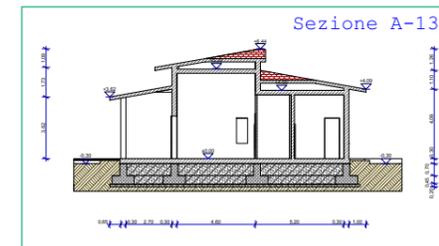
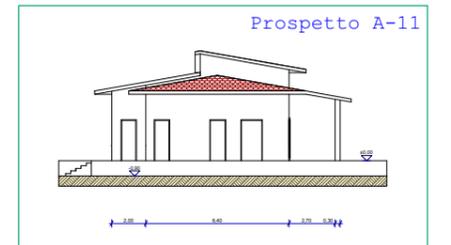
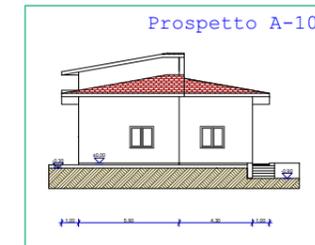
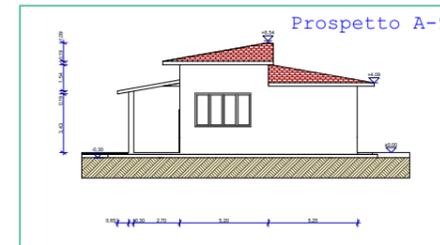
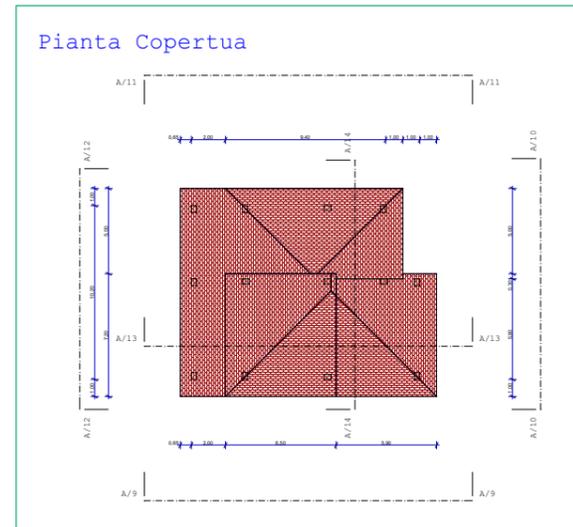
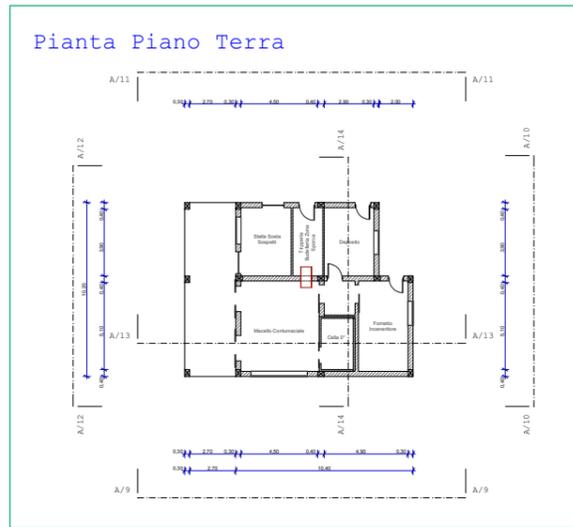
PIANTA
PIANO TERRA
E
COPERTURA



PROSPETTI E SEZIONI



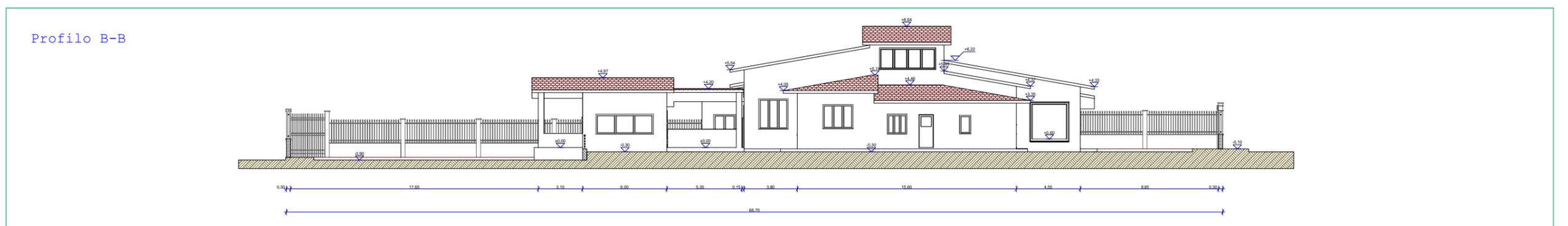
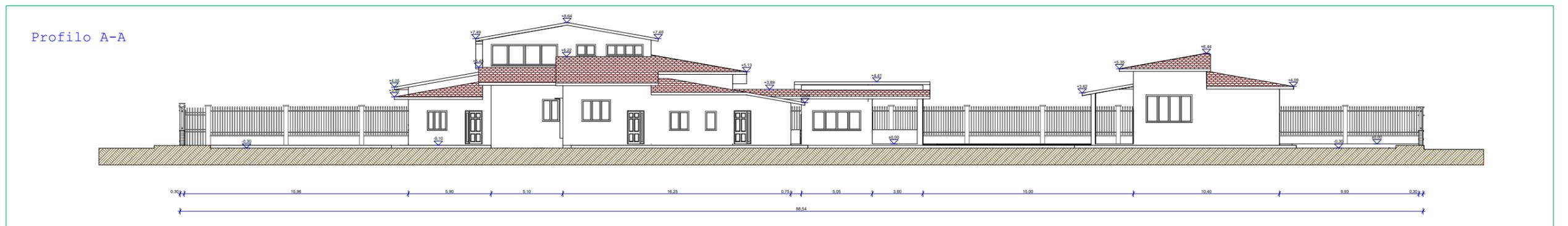
GRAFICI REPARTO CONTUMACIALE



Il reparto contumaciale, è destinato alla raccolta e osservazione del materiale infetto o sospetto e all'eventuale distruzione, risulta essere un macello di dimensioni ridotte.

Questo comprende: box per animali vivi, una sala per la macellazione con annessa tripperia e locali per la raccolta dei sottoprodotti, cella frigorifera e di un inceneritore per la distruzione delle carni.

PROFILI DEL TERRENO



EFFETTI DELLA REALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO SULL'EQUILIBRIO LOCALE

La normativa nazionale e regionale in materia prevede che l'opera in esame per la sua capacità di produzione non deve essere sottoposta alla procedura di V.I.A. pertanto ai sensi dell'art. 21 del DPR 554/99 si è valutata la fattibilità e l'incidenza che ha la realizzazione dell'opera sull'equilibrio locale, l'ambiente il paesaggio, la salute dei cittadini al fine di identificarne le misure prescrittive tali da mitigarne gli impatti.

Le verifiche effettuate riguardano:

- La compatibilità con le prescrizioni del piano Territoriale, Paesaggistico ed **Urbanistici**.
- Effetti della realizzazione dell'intervento e del suo esercizio sulle componenti **ambientali**.
- Effetti della realizzazione dell'intervento e del suo esercizio sui **lavoratori** interessati alla **costruzione** e gestione **dell'impianto**.
- Procedure di autocontrollo dirette a prevenire **l'igiene** degli **alimenti** prodotti.

Le azioni umane che modificano l'ambiente hanno degli effetti che possono incidere sulla qualità dell'aria, dell'acqua, del suolo, dei cibi, la qualità dell'abitato e dell'ambiente di lavoro. Questo significa che per non incidere sull'ambiente è necessario verificare gli effetti delle attività che si intendono intraprendere al fine di valutarne la fattibilità e controllarne eventuali emissioni inquinanti.

Nel nostro caso gli effetti sull'ambiente dell'impianto da realizzare sono dovuti:

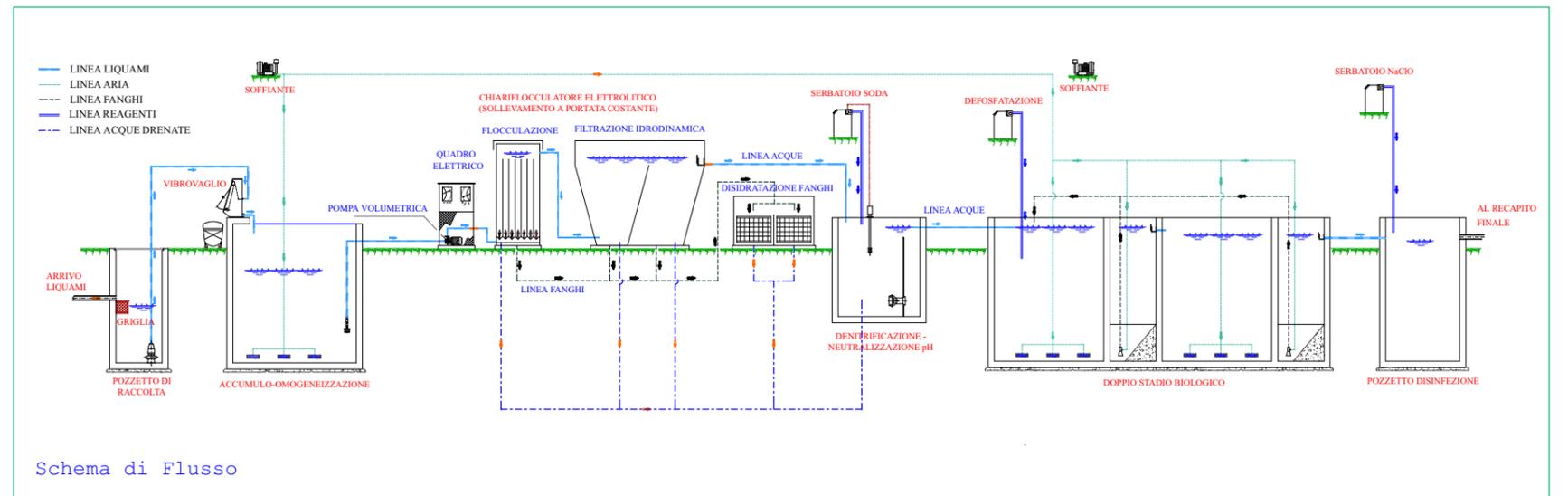
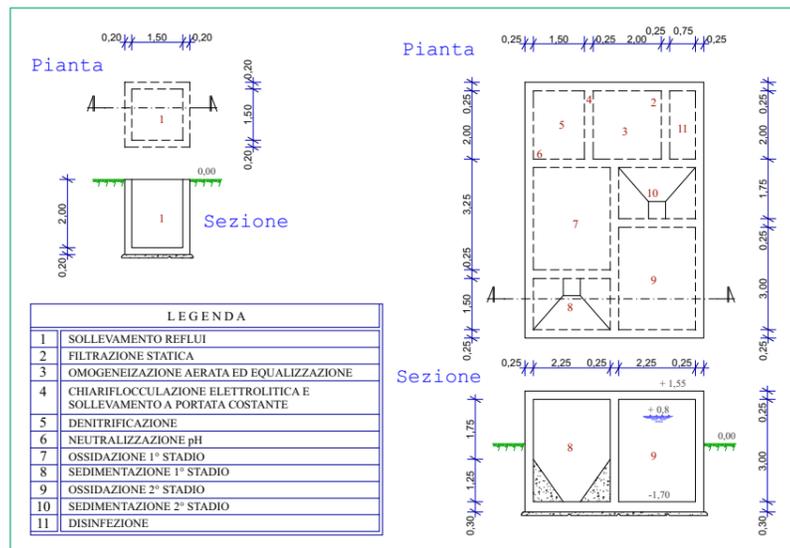
- A) Rifiuti di origine animale
- B) Scarichi acque reflue da mattatoi
- C) Inceneritore
- D) Deiezioni e rumine
- E) Rumore
- F) Fughe di ammoniaca
- G) Olio esausto
- H) Rifiuti vari

L'analisi degli aspetti su riportati e gli investimenti e sovvenzioni in tecnologie "pulite" dimostrano che l'incidenza maggiore sull'ambiente è data dallo scarico delle acque reflue, e il loro trattamento teso a ridurre il carico inquinante è diretto alla costruzione di impianti di depurazione (78% degli investimenti ecologici globali), dimostrano il ruolo predominante delle acque reflue rispetto alle altre emissioni inquinanti.

Per un corretto approccio bisogna attuare tutta una serie di accorgimenti interni, sia da un punto di vista strutturale che di metodo di lavorazione, per minimizzare l'inquinamento residuo presente nelle acque di scarico.

Nei mattatoi si dovrà pertanto prestare estrema attenzione a separare il sangue dalle acque di lavaggio realizzando delle apposite vasche separate, oppure evitando lo sversamento del contenuto stomacale sui pavimenti.

IMPIANTO DI DEPURAZIONE A "FANGHI ATTIVI"



Architettura e Valle Giulia

SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE E ESERCIZIO DELL'IMPIANTO

Effetti della realizzazione dell'intervento sulla SICUREZZA

Una delle esigenze più caratterizzanti degli ultimi anni è senza alcun dubbio quella della sicurezza, ossia la certezza che tutto quanto serve per vivere, dagli alimenti al posto di lavoro e alle infrastrutture, sia realizzato e utilizzato in modo da non comportare alcun rischio per la nostra salute e la integrità fisica degli utenti.

E' evidente che l'obiettivo della sicurezza "totale" è un standard irraggiungibile, in quanto si sposta continuamente in avanti, ma è altrettanto vero che questo obiettivo ha trovato validi motivi di concretizzazione e di applicazione negli altissimi costi economici e sociali della non-sicurezza a tutti i livelli della vita civile e produttiva.

Questo stato di cose, almeno nei Paesi più avanzati, ha fatto spostare il rapporto costi/benefici proprio a vantaggio della prevenzione del rischio piuttosto che verso l'attivazione di meccanismi, anche di grande efficacia, per la cura, il recupero e il risarcimento dei danni dovuti ad un rischio non prevenuto in modo adeguato.

Da questa realtà è scaturita una vera e propria "filosofia" della prevenzione che, soprattutto nei settori produttivi della società, ha rivoluzionato l'approccio a molti aspetti della vita quotidiana, da quelli più ovvi della progettazione e realizzazione degli impianti e degli ambienti di lavoro a quelli, in apparenza secondari, che attengono ad oggetti e funzioni della vita quotidiana.

Questa nuova filosofia del rischio è stata recepita da tempo nei Paesi del Nord-Europa, che hanno modificato in questo stesso senso anche lo spirito delle normative sovranazionali sull'argomento, influenzando già fino dal loro primo ingresso la stessa UE, in cui è stato trasferito in forma di direttive comunitarie questo nuovo modo di concepire la prevenzione dei pericoli che incombono su di noi, non solo sul posto di lavoro, ma in tutte le manifestazioni della vita quotidiana. Del resto, gli infortuni e le patologie legate in particolare a mancanza di sicurezza nel lavoro ed igiene degli alimenti hanno raggiunto costi sociali ed economici tanto rilevanti da rendere sempre più vantaggiosi gli investimenti nella prevenzione dei rischi derivanti da incidenti o malattie contratte sul posto di lavoro o da contaminazione degli alimenti durante il ciclo produttivo.

Questa moderna e ormai dilagante concezione del rischio inteso come una sorta di malattia grave, da prevenire a qualunque costo con lo studio e l'applicazione di norme sempre più rigide, ha dunque comportato l'emanazione di numerose direttive UE che, nel nostro Paese, sono state recepite con il D. Lgs. 626/1994, ripetutamente aggiornato e modificato negli anni successivi per quanto attiene la sicurezza sui luoghi di lavoro e dal D.Lgs. 26-05-1997, n. 155 di attuazione delle direttive 93/43/CEE e 96/3/CE concernenti l'igiene dei prodotti alimentari.

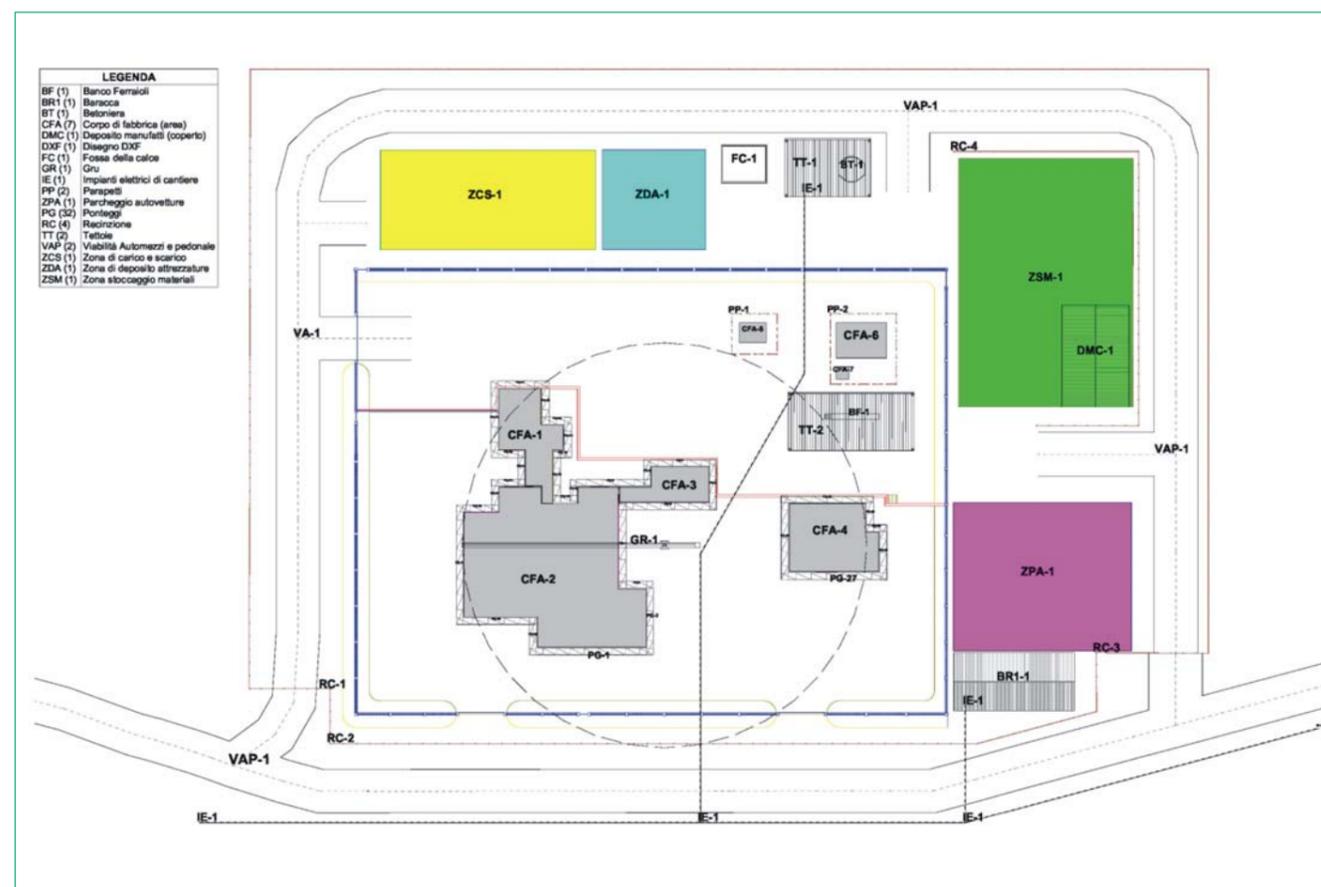
Gli aspetti di rilievo relativi alla sicurezza sia in fase di realizzazione dell'impianto che in fase di utilizzo attengono a:

- Misure per la tutela della salute e sicurezza dei lavoratori nei cantieri temporanei o mobili
- Misure per la tutela della salute e la sicurezza dei lavoratori nei mattatoi
- Misure per la tutela della salute e la sicurezza dei lavoratori addetti alla gestione del depuratore
- Procedure di autocontrollo dirette a prevenire l'igiene degli alimenti

A ciò fa seguito la corretta manutenzione degli impianti sia ai fini della sicurezza in fase manutentiva che per l'efficienza economica di gestione.

Difatti l'art. 40 del regolamento sui lavori pubblici prevede che i progetti di opere pubbliche siano corredati per una corretta gestione del piano di manutenzione dell'opera composto dei seguenti documenti operativi:

- A) Manuale D'Uso
- B) Manuale di Manutenzione
- C) Programma di Manutenzione
 - a) Sottoprogramma delle Prestazioni
 - b) Sottoprogramma dei Controlli
 - c) Sottoprogramma degli Interventi



DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DELL'AREA

La pericolosità sismica è qualunque effetto fisico diretto (ad es. movimento rapido del suolo) o indotto (ad es. instabilità dei versanti), capace di causare perdite sulle attività umane. Le zolle in continuo e lento movimento, provocano notevoli deformazioni negli strati più esterni della terra, scontrandosi, sommontandosi e deformandosi. Questa serie di lenti movimenti generano l'accumulo di energia elastica che si trasforma in onde al verificarsi di fratture, spostandosi poi sulla superficie terrestre e allontanandosi rapidamente in ogni direzione dalla zona di emissione.

La progettazione di strutture in zona sismica, a parità di criteri progettuali e metodi di verifica, assume, per una stessa costruzione, una forte differenziazione a seconda del sito dove viene edificata. Appare evidente infatti che **la progettazione sia influenzata in maniera determinante dalla probabilità che ha il sito, in un determinato periodo di tempo, di essere soggetto ad eventi sismici di una certa magnitudo.** Per poter eseguire una corretta progettazione strutturale è allora necessario conoscere questo **livello di pericolosità sismica** della zona dove si andrà ad edificare la struttura. Operativamente le informazioni che quantificano le probabilità che i terremoti di una certa magnitudo, con specifico periodo di ritorno, colpiscano le varie zone di un territorio, costituiscono **la classificazione sismica di quel territorio.** Per classificazione sismica si intende appunto una suddivisione del territorio nazionale in zone alle quali vengono attribuiti valori differenziali del grado di sismicità, atti a definire il livello di rischio sismico per le costruzioni che in esse sono edificate.

La normativa precedente all'Ordinanza 3274 suddivideva il territorio nazionale, dal punto di vista sismico, in "zone classificate" (da prima a terza categoria) e in "zone non classificate", dando l'impressione (erronea) che esistessero "zone sismiche" e "zone non sismiche".

Nella realtà questa classificazione non coglieva l'aspetto fisico del fenomeno perché quando si verifica un terremoto la sua influenza non è limitata a una zona ben definita. Il sisma infatti è un fenomeno di propagazione ondosa, che ha una distribuzione sul territorio molto vasta e diffusa.

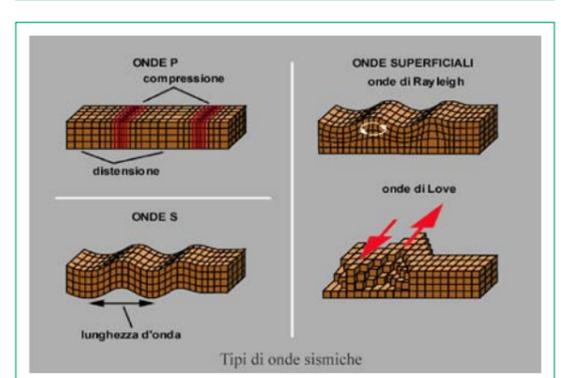
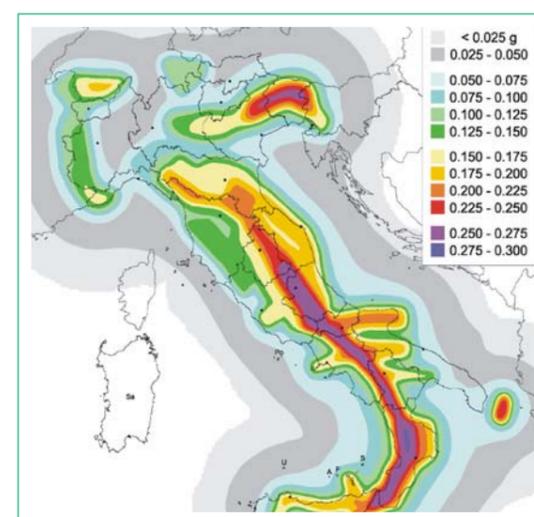
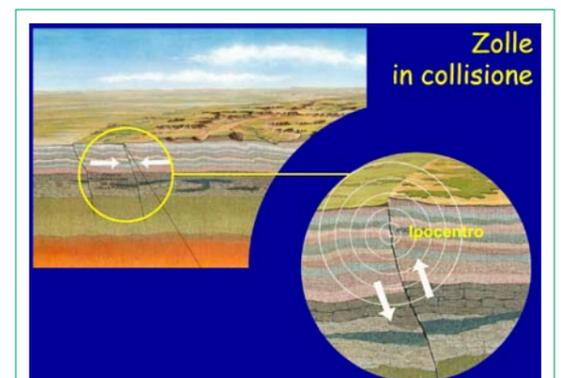
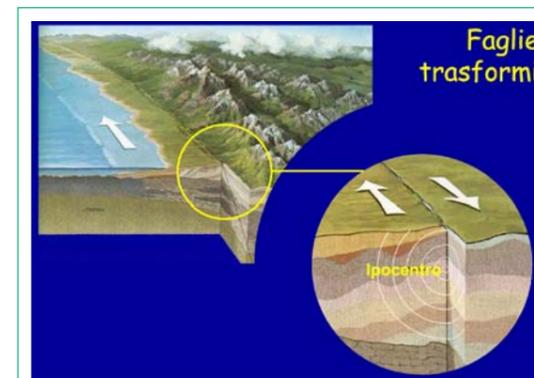
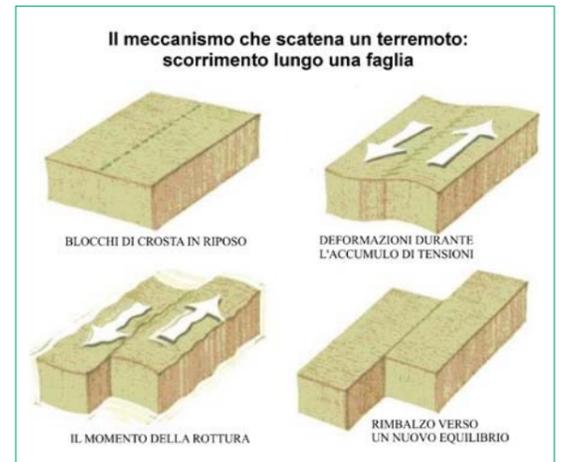
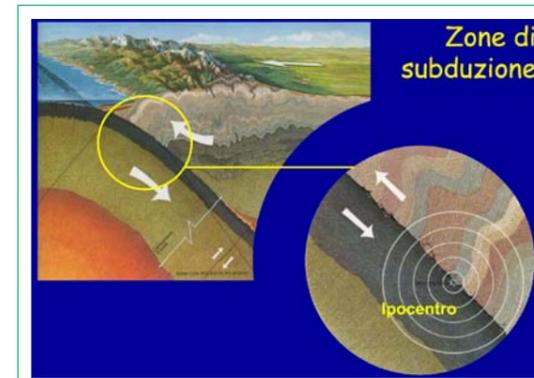
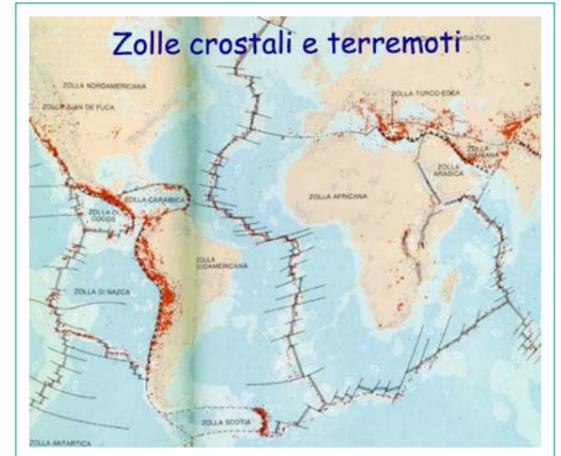
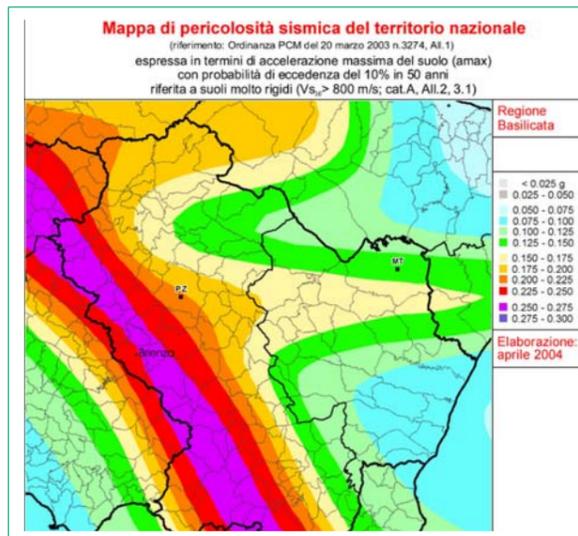
L'aspetto di maggiore rilievo introdotto dall'Ordinanza 3274 è costituito senza dubbio dai nuovi criteri di classificazione sismica del territorio nazionale, necessari proprio per coprire questa grave lacuna lasciata irrisolta dalla normativa precedente. **L'Ordinanza suddivide a tal fine l'intero territorio nazionale in quattro zone di sismicità, individuate in base a valori decrescenti di "accelerazioni massime" al suolo.**

Per queste zone le norme indicano quattro **valori di accelerazioni orizzontali (ag/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico.** In particolare ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo la tabella seguente:

Zona sismica	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (A _g /g) (Normativa Tecnica)
1	0,35
2	0,25
3	0,15
4	0,05

L'assegnazione di un territorio ad una delle quattro zone avviene mediante valutazioni di a_g (con tolleranza 0,025g) rappresentate in termini di curve di livello con passo 0,025g

Soglie di ingresso nelle categorie sismiche	PGA (g)
Soglia di ingresso in 1a categ.	0.23
Soglia di ingresso in 2a categ.	0.14
Soglia di ingresso in 3a categ.	0.08
Soglia di ingresso in 4a categ.	0.00



Scale di misura del sisma

I due indicatori della pericolosità sismica sono la "Magnitudo" e "l'Intensità Macrosismica" si ricavano a mezzo di scale *strumentali* e *scale macrosismiche* che rappresentano la severità di un terremoto. Le più comunemente usate sono la scala Richter (oggettiva) e la scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) (Soggettiva).

La scala Richter, è stata introdotta nel 1935 dal sismologo C. F. Richter e serve a definire la "Magnitudo" come parametro legato all'energia liberata da un terremoto.

(La Magnitudo di un terremoto è una grandezza che si rapporta con la quantità di energia trasportata da un'onda sismica e viene calcolata sulla base di misure effettuate sul sismogramma (massima ampiezza di oscillazione e stima della distanza dall'epicentro della stazione sismica). Le scale di magnitudo sono basate su due semplici assunzioni:

- 1) Data la stessa geometria sorgente-ricevitore, un evento più "grande" produrrà in media più grandi arrivi (con ampiezza più grande).
- 2) L'ampiezza degli arrivi si comporta in modo "prevedibile", cioè man a mano che l'onda si propaga, il fronte aumenta la sua superficie e la densità di energia deve diminuire, tale effetto (*spreading geometrico*) associato all'*attenuazione* (assorbimento di energia da parte del mezzo non perfettamente elastico) sono noti in modo statistico.

La magnitudo locale di un terremoto è definita da:

$$M_L = \log A - \log A_0$$

in cui A è il valore massimo della traccia (misurata in mm) sul sismografo Wood-Anderson e il termine $-\log A_0$ tiene conto dell'attenuazione della traccia con la distanza dell'epicentro. Lo zero della scala è arbitrario. Per non dover considerare la magnitudo con valori negativi, si scelse il valore di $-\log A_0=3$ per una traccia di 1 mm di un terremoto ad una distanza epicentrale di 100 Km. Quindi, i terremoti registrati da una rete di sismografi Wood-Anderson a distanza dall'epicentro superiore a 100 Km hanno generalmente magnitudo maggiore di 3.

Le scale di intensità macrosismica classificano in modo empirico la severità di un sisma secondo una scala ordinata in gradi degli effetti prodotti sui manufatti in base alla *percezione umana*.

La prima di queste scale, proposta da Rossi e Forel e rivista da **Mercalli** agli inizi del '900 (scala Mercalli), comprendeva 10 gradi. Tale classificazione è stata poi ampliata a 12 gradi da Cancani a seguito del disastroso terremoto di Messina del 1908, e perfezionata da Sieberg con la scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) del 1923.

Il rilievo macrosismico a seguito di un terremoto è schematicamente condotto eseguendo valutazioni sul terreno, rappresentando i risultati degli effetti prodotti dal sisma su una mappa, sotto forma di curve dette isosisme (isosiste) tracciate attorno all'epicentro. Le isosisme delimitano zone, una per ciascun grado di intensità, entro le quali il terremoto ha provocato effetti comparabili.

La possibilità di questa scala di essere associata ai terremoti del passato è di grande importanza ai fini della determinazione della pericolosità sismica di un territorio.

Difatti la pericolosità sismica del territorio nazionale è conosciuta in termini di intensità macrosismica costituita dai cataloghi dei terremoti passati in quanto i primi sismografi in senso moderno si affermarono con l'introduzione della scala delle magnitudo da parte di C. F. Richter, nei primi anni '30.

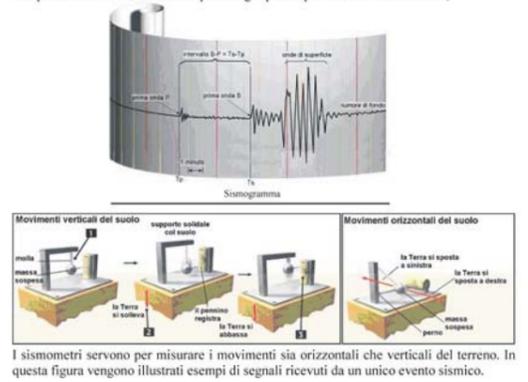
Catalogo Storico

I cataloghi dei terremoti sono prevalentemente di tipo storico. Per l'Italia, paese di antica civilizzazione e tradizione scritta, si dispone di cataloghi di buona qualità che si estendono in pure con ovvie lacune su un arco temporale di molti secoli.

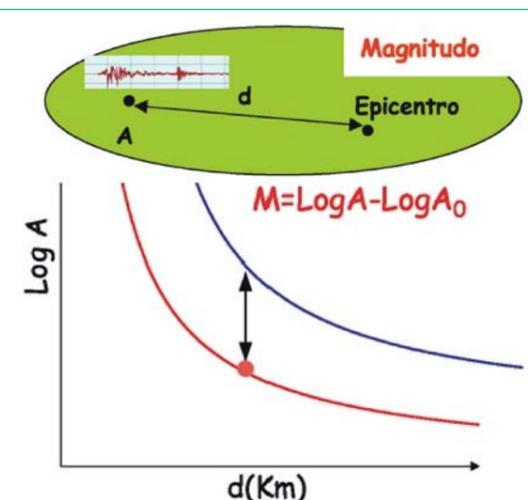
I cataloghi dei terremoti italiani a cui si fa generalmente riferimento sono: il Catalogo NT, prodotto dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT), e il Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (CFT), commissionato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

In entrambi i cataloghi viene assegnata anche ai terremoti pre-strumentali una magnitudo "macrosismica", indicata con M_m , che in NT viene stimata mediante la correlazione $M_m = 0.56 I_0 + 1.08$ dove I_0 è l'intensità stimata all'epicentro.

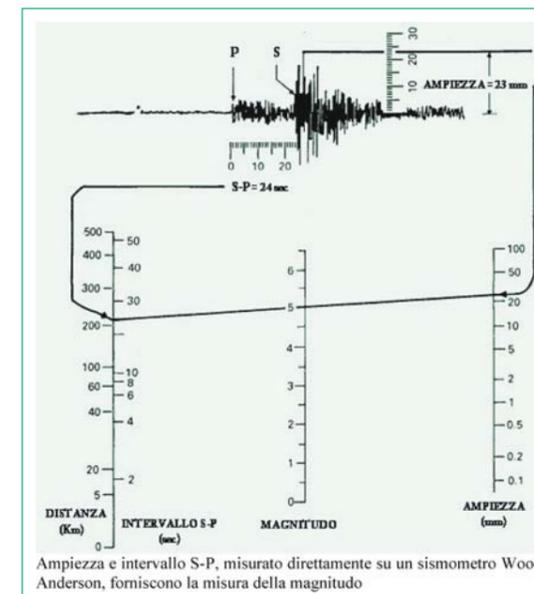
La registrazione di un terremoto, su un sismogramma, mostra l'andamento della vibrazione del suolo in funzione del tempo di arrivo delle onde sismiche. L'intervallo di tempo tra le onde P e S è "tanto più" lungo quanto più "lontano" è il terremoto.



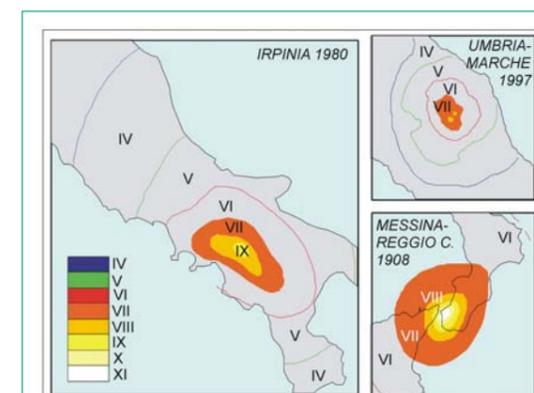
I sismometri servono per misurare i movimenti sia orizzontali che verticali del terreno. In questa figura vengono illustrati esempi di segnali ricevuti da un unico evento sismico.



Richter definì con magnitudo $M=0$ un terremoto che, a una distanza dall'epicentro di 100 Km della stazione di riferimento, genera una traccia sul sismogramma dell'ampiezza di 1 micron. Stabili poi di attribuire la magnitudo $M=1, M=2$, ecc. a quel terremoto che, alla stessa distanza, causa un'ampiezza di oscillazione 10, 100, ecc. volte superiore a quella del terremoto di magnitudo $M=0$.



Ampiezza e intervallo S-P, misurato direttamente su un sismometro Wood-Anderson, forniscono la misura della magnitudo



Carta delle isosisme di tre grandi terremoti che hanno colpito l'Italia nel secolo scorso. La scala cromatica mostra le intensità dedotte dagli effetti dei Sismi.

La scala Mercalli di intensità dei terremoti			
GRADO	ML corr.	SCOSSA	EFFETTI
1° - I	< 3.4	Strumentale	Avvertita solo dagli strumenti sismici
2° - II	< 3.4	Leggerissima	Avvertita solo da qualche persona ipersensibile o in particolari condizioni
3° - III	4.02	Leggera	Avvertita da poche persone
4° - IV	4,03 - 4,08	Mediocre	Avvertita da molte persone nelle abitazioni; oscillazioni di oggetti sospesi
5° - V	4,09 - 5,05	Forte	Avvertita da persone ferme o in moto e anche addormentate; caduta di oggetti
6° - VI	5,05 - 6,01	Molto forte	Avvertita da tutti; leggere lesioni in alcuni edifici
7° - VII	5,05 - 6,01	Fortissima	Caduta di fumaioles, lesioni negli edifici, suono di campane
8° - VIII	6,02 - 6,09	Rovinoso	Distruzione parziale di qualche edificio; qualche vittima
9° - IX	6,02 - 6,09	Disastrosa	Distruzione totale di alcuni edifici, gravi lesioni in altri; vittime non numerose
10° - X	7,00 - 7,03	Distruttrice	Distruzione di molti edifici; molte vittime umane; spaccature nel suolo
11° - XI	7,04 - 7,09	Catastrofica	Distruzione di centri abitati; moltissime vittime; crepacci e frane nel suolo
12° - XII	> 8.0	Ultracatastrofica	Distruzione di ogni manufatto; pochi superstiti; sconvolgimento del suolo

Corrispondenza proposta tra Intensità massima e Magnitudo Richter (ML) e applicabile solo all'area epicentrale

MACROZONAZIONE E MICROZONAZIONE

Lo studio della pericolosità si sviluppa in due fasi:

A) Nella prima fase si perviene alla definizione della pericolosità di base, che in altri termini significa caratterizzare gli eventi per quel sito considerandolo costituito idealmente da terreni rigidi e consistenti, in assenza di discontinuità stratigrafiche e/o morfologiche. **(Macrozonazione - pericolosità di base)**

B) Ad una seconda fase è riservata l'analisi della pericolosità locale **(Microzonazione - Risposta sismica locale - pericolosità locale)** che implica:

- L'analisi della modificazione locale dello scuotimento sismico prodotto dalle reali caratteristiche del terreno, dalla successione litostratigrafica locale, dalle condizioni morfometriche;
- L'analisi della possibilità di effetti quali: fagliazione superficiale, fenomeni di densificazione, fenomeni di liquefazione, cedimenti differenziati e instabilità dei pendii e frane indotte dal sisma.

A) Macrozonazione - pericolosità di base

La quantificazione della scuotibilità (pericolosità di Base) è basata sui seguenti passi fondamentali:

- 1) Individuazione delle zone sorgenti;
- 2) Parametrizzazione delle leggi di occorrenza dei terremoti per ciascuna zona sorgente;
- 3) Parametrizzazione empirica della propagazione attraverso l'uso di opportune leggi di attenuazione.
- 4) Calcolo probabilistico del rischio.

Le carte di pericolosità sismica risultanti da tali studi mostrano la distribuzione areale dei livelli di scuotimento del suolo che è probabile siano superati entro uno specifico intervallo di tempo.

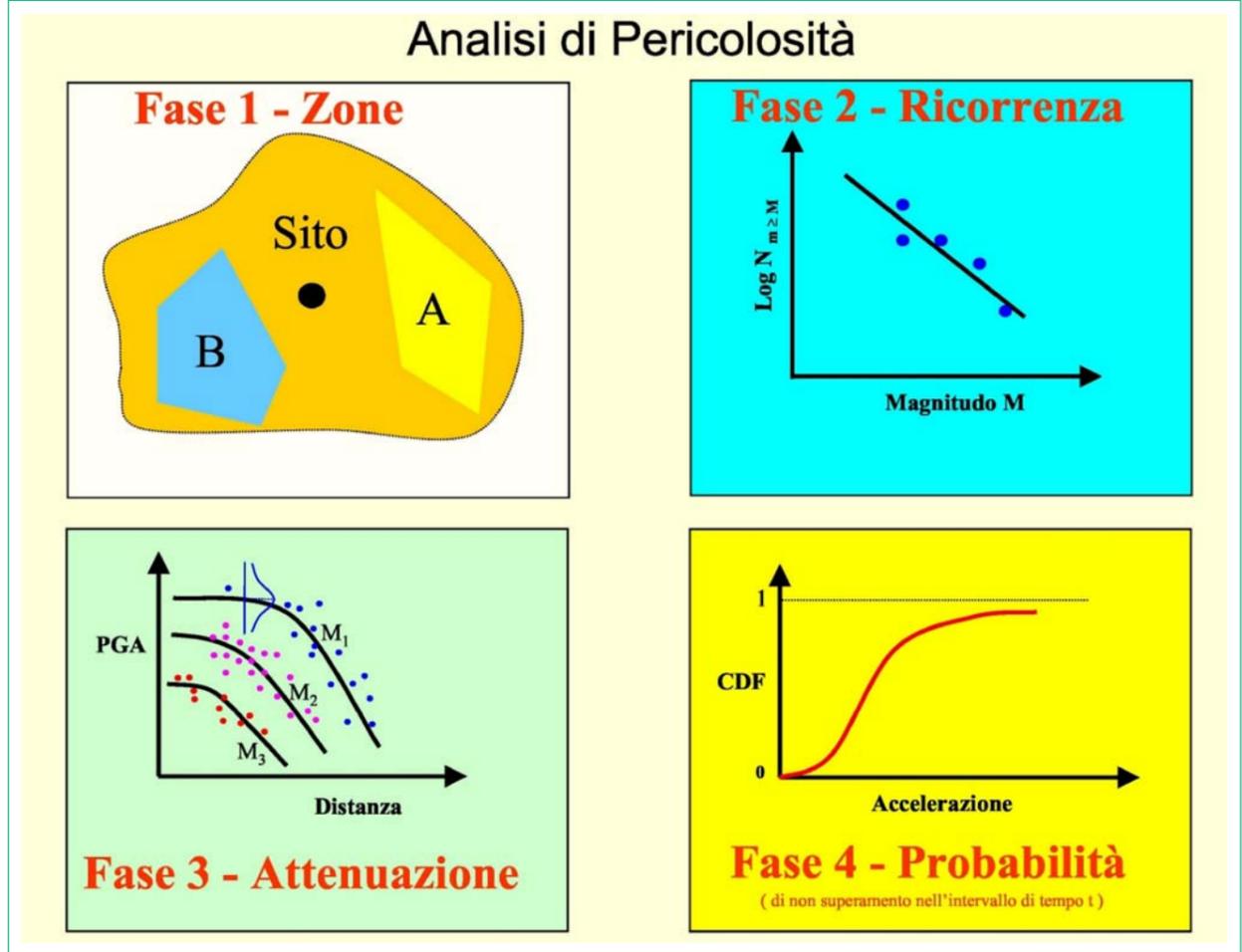
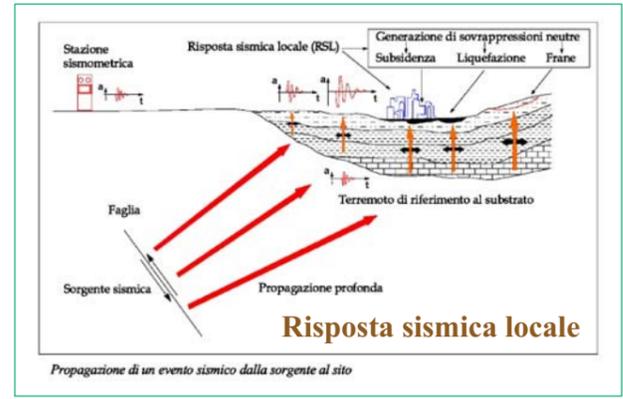
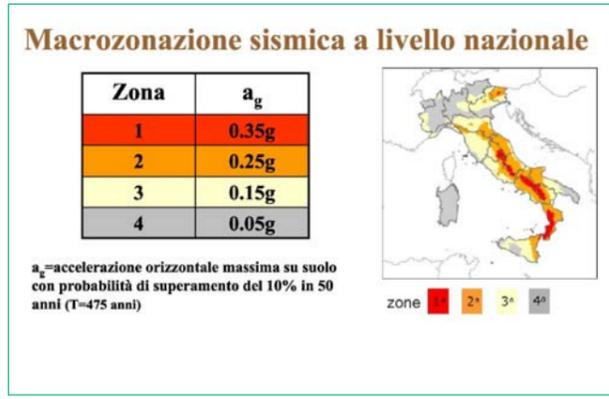
Il parametro che illustra il movimento del suolo più comunemente usato nelle carte è l'Accelerazione Massima del Suolo (PGA = "Peak Ground Acceleration") in quanto i manuali di ingegneria sismica fanno riferimento alla **forza orizzontale che un edificio deve sopportare durante un terremoto**. L'accelerazione è misurata relativamente all'accelerazione di gravità ($g = 9,80 \text{ m/sec}^2$).

Le carte di pericolosità sismica sono i documenti di sintesi per la classificazione del territorio in base alla intensità del terremoto atteso e alle normative di costruzione relative. Esse come detto tengono conto della zonazione sismogenetica dell'Italia, dei cataloghi dei terremoti, delle modalità di attenuazione dell'**accelerazione massima al suolo** (PGA, detta anche accelerazione orizzontale di picco) e della **intensità macrosismica** sviluppate a partire dai dati osservati in occasione di diversi terremoti significativi.

Le carte illustrano il valore di **PGA** o di **intensità** che si prevede non venga superato nel 90% dei casi in 50 anni (oppure, che è lo stesso, il valore di scuotimento che nel 10% dei casi si prevede verrà superato in 50 anni, oppure ancora lo scuotimento che mediamente si verifica ogni 475 anni, il cosiddetto periodo di ritorno). Si tratta di una scelta convenzionale utilizzata nel mondo ed in particolare in campo europeo.

I due indicatori di pericolosità utilizzati rappresentano due aspetti diversi dello stesso fenomeno:

- la **PGA** è una grandezza oggettiva che viene utilizzata nella progettazione in quanto definisce le caratteristiche costruttive richieste agli edifici in zona sismica;
- l'**Intensità Macrosismica** descrive invece il grado di danneggiamento causato dai terremoti.



1 - Scelta di un catalogo sismico, Identificazione delle zone sismogenetiche - La sismicità all'interno di ogni zona è uniforme: i terremoti hanno la stessa probabilità di comparsa su tutta la zona e seguono la stessa legge di ricorrenza. La sismicità dell'area, la geologia e la geofisica forniscono, generalmente la base per l'identificazione delle zone

2 - Relazioni di ricorrenza
Per ogni zona va definita una relazione di ricorrenza tra il numero di eventi osservati e la Magnitudo (o Intensità) che consente di attribuire a ciascuna Magnitudo la sua frequenza annua di osservazione o il suo inverso (periodo di ritorno),

3 - Relazioni di attenuazione
Servono per determinare il contributo attenuato al sito (in termini di intensità, picco di accelerazione, ecc.) di tutte le zone sismogenetiche. Tali relazioni vengono generalmente stimate con analisi di regressione sui dati raccolti nella regione di interesse.

4- Valutazione della pericolosità
Calcolo della frequenza con cui il valore del parametro scelto viene superato nel sito in esame. Calcolo (attraverso la distribuzione di Poisson) della probabilità di eccedenza per diversi valori del parametro e dei tempi di esposizione.

DETERMINAZIONE DEL RISCHIO GLOBALE DEL TERRITORIO DI BRIENZA, DERIVANTE DAL CONTRIBUTO OFFERTO DA TUTTE LE SORGENTI SISMICHE PRESENTI IN REGIONE

Lo sviluppo dei dati del catalogo storico del Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti (GNDT) sviluppato in funzione delle coordinate geografiche (ufficiali, dell'ISTAT) del comune di Brienza fornisce il tabulato seguente:

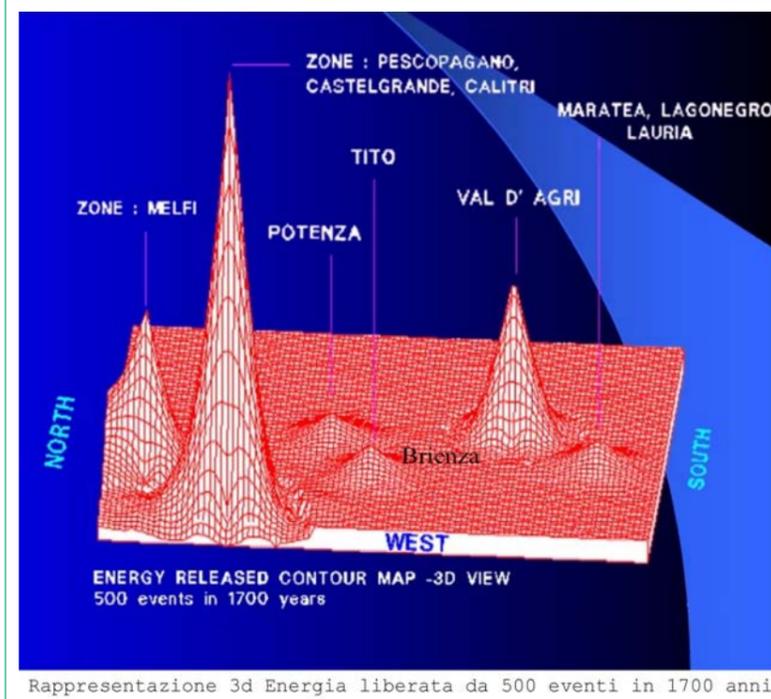
Data	Latit.	Longit.	MCS epicent	Km	Decay	MCSloc locale	PGA %g	Erg (:1E15)
15500825	40.600	15.400	9.000	24.080	1.853	7.147	0.117	192015
15610731	40.600	15.400	9.000	24.080	1.853	7.147	0.117	192015
15610819	40.600	15.400	10.000	24.080	1.364	8.636	0.217	1252282
16270730	41.800	15.280	10.000	150.290	4.308	5.692	0.064	30709
16880605	41.120	14.770	10.000	102.168	3.688	6.312	0.083	67096
16940908	40.840	15.390	10.500	45.530	2.143	8.357	0.193	880411
17310320	41.460	15.550	10.000	109.784	3.803	6.197	0.079	58005
17321129	40.920	15.160	10.000	63.597	2.925	7.075	0.113	175225
18050726	41.517	14.567	10.000	146.396	4.266	5.734	0.065	32386
18260201	40.583	15.667	9.000	12.040	0.738	8.262	0.186	781494
18361120	40.000	15.750	9.000	53.576	3.139	5.861	0.069	38022
18510814	41.000	15.667	10.000	58.491	2.791	7.209	0.120	207587
18530491	40.833	15.167	8.500	56.044	3.456	5.044	0.049	13590
18571216	40.283	15.917	10.000	32.007	1.821	8.179	0.180	703810
18580806	40.617	15.283	9.000	33.626	2.390	6.610	0.094	97650
18701004	39.283	16.283	10.000	143.444	4.233	5.767	0.066	33750
19050629	40.500	15.600	6.000	3.109	0.028	5.972	0.072	43714
19100607	40.900	15.450	9.500	49.789	2.776	6.724	0.098	112638
19300723	41.050	15.417	10.000	66.604	3.000	7.000	0.110	159579
19571019	40.500	15.700	6.000	5.384	0.911	5.089	0.050	14373
19620821	41.133	15.117	9.000	85.139	3.883	5.117	0.050	14883
19630213	40.500	15.583	7.000	3.109	0.000	7.000	0.110	159500
19640604	40.500	15.667	6.000	3.109	0.028	5.972	0.072	43714
19771230	39.980	15.450	9.000	57.027	3.239	5.761	0.066	33506
19801123	40.760	15.309	11.000	41.997	1.769	9.231	0.278	2647964
1990505	40.678	15.847	8.000	28.913	2.636	5.364	0.056	20329

LOCALITA' CONSIDERATA :BRIENZA
 LATITUDINE = 40.474
 LONGITUDINE= 15.634

SOMMAT. ENERGIA NELLA LOCALITA' CONSIDERATA (/1E15)= 8006249.98203026
 SOMMAT. ACCELERAZIONI NELLA LOCALITA' CONSIDERATA = 2.772032082080841
 ACCELERAZIONE MASSIMA NELLA LOCALITA' CONSIDERATA = **0.2780897617340088**
 INTENSITA' MCS CORRISPONDENTE = 9.230896949768067
 PGA(500) CON REGRESSIONE LINEARE FUNZ. DI ACCMAX = **0.246458007993084**
 INTENSITA' MCS CORRISPONDENTE = 8.940359115600586
 GRADO DI SISMICITA' S CORRISPONDENTE = 9.701812635017925

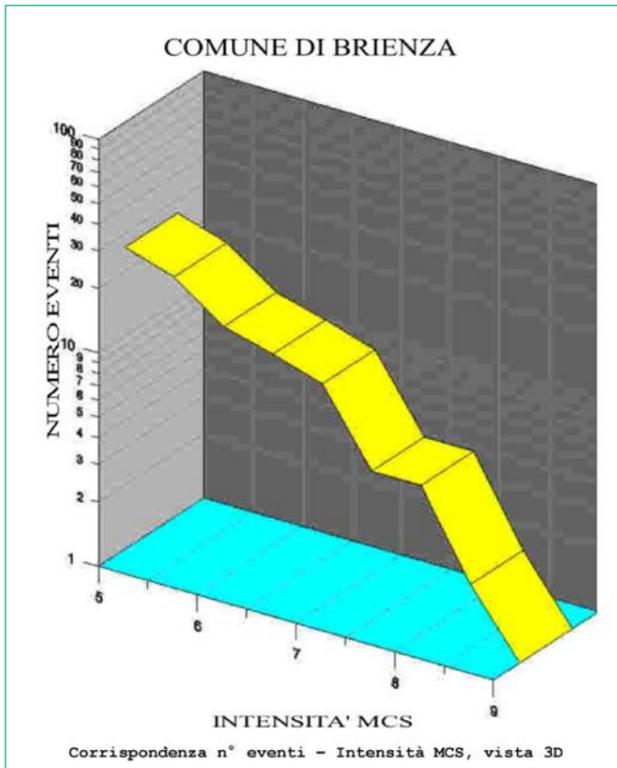
SOGLIA MCS= 5	N.EVENTI >= 26
SOGLIA MCS= 5.5	N.EVENTI >= 22
SOGLIA MCS= 6	N.EVENTI >= 15
SOGLIA MCS= 6.5	N.EVENTI >= 13
SOGLIA MCS= 7	N.EVENTI >= 11
SOGLIA MCS= 7.5	N.EVENTI >= 5
SOGLIA MCS= 8	N.EVENTI >= 5
SOGLIA MCS= 8.5	N.EVENTI >= 2
SOGLIA MCS= 9	N.EVENTI >= 1

mod. lineare $y=a+b*x$ coeff. regr. = 0.980606936416185
 mod. esponenz. $y=a*exp(b*x)$ coeff. regr. = 0.9838035894087965
 mod. potenza $y=a*x^b$ coeff. regr. = 0.9742444647466987
 mod. logaritm. $y=a+b*ln(x)$ coeff. regr. = 0.9898767329872956
 $a= 94.67250267837651$
 $b=-43.33270944124267$
 MCS(500) = 8.685928344726563
 PGA(500) = .2217227071523666

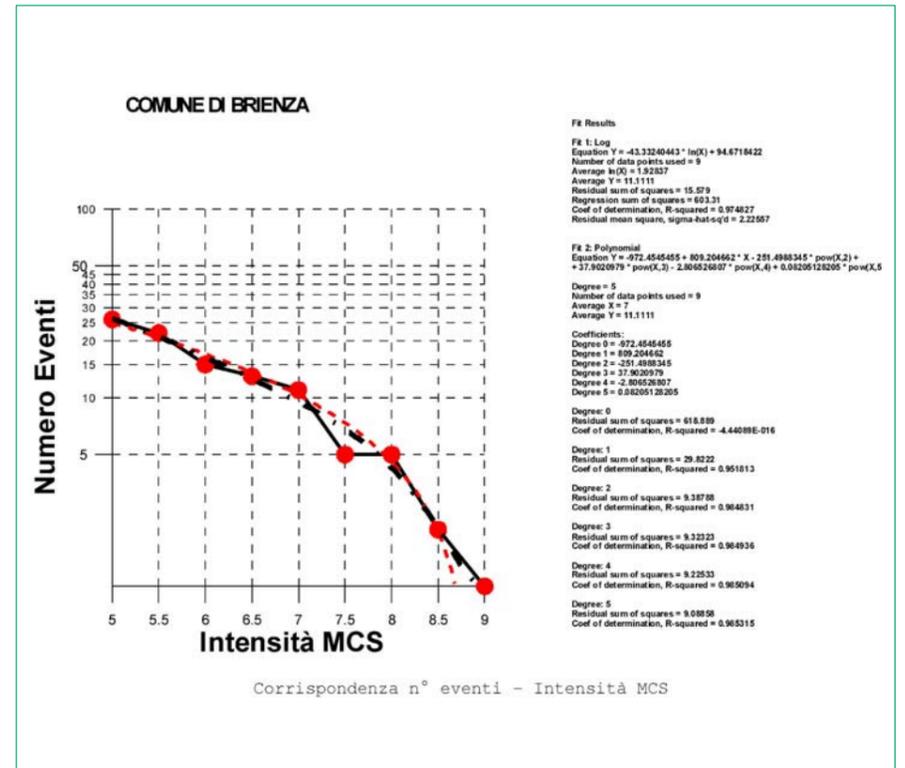


Rappresentazione 3d Energia liberata da 500 eventi in 1700 anni

Rappresentazione 3D N° eventi intensità MCS



N° Eventi intensità MCS - Curva logaritmica di Regressione



Architetture e Valle Giulia

PERICOLO OFFERTO DA UNA SINGOLA FAGLIA

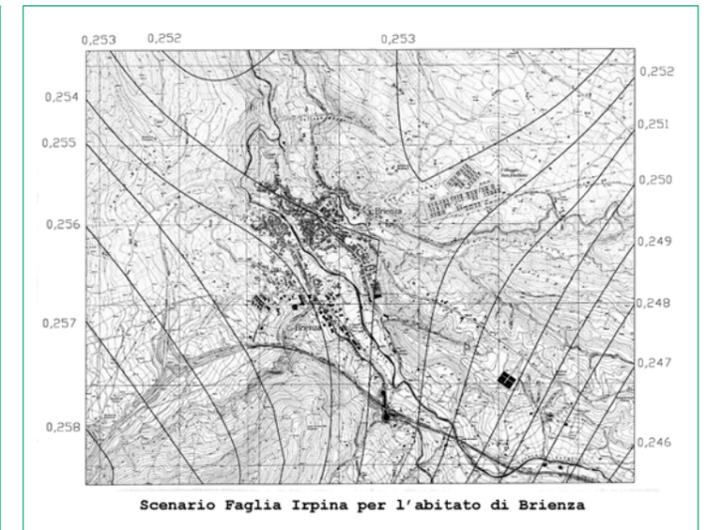
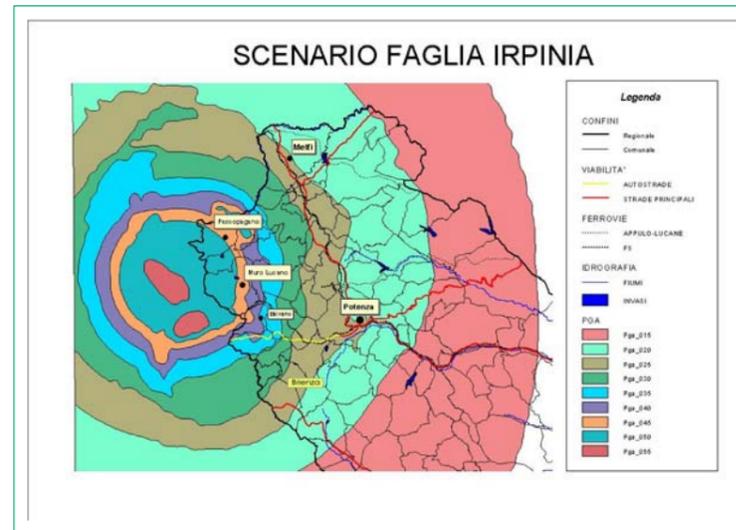
la Faglia Irpina, che ha provocato il terremoto del 23-11-80 come risulta dal tabulato, rappresenta (storicamente) la sorgente più pericolosa per questo Comune.

Valutato con Magnitudo Richter 6.8 (MCS=11) con epicentro a 41,997 Km da Brienza per la legge di attenuazione per l'Appennino meridionale, congiuntamente alla correlazione tra l'intensità MCS e la PGA per il Sud Italia Risulta per Brienza: MCS loc = -1.338+1.489 MCSepi - 1,608*LOGe(Distanza)

LOG10 PGA = 0.1805 * MCS - 2.222

Stimato PGA = 0.278

In entrambi i casi esaminati, (con tutte le sorgenti sismiche o per la singola faglia Irpina) i calcoli dell'accelerazione al suolo, si attestano sul valore PGA = 0.25, sia pur inferiore alla 1^ categoria sismica (PGA=0.32), ma superiore alla 2^, in cui è stata classificata Brienza dopo l'evento del novembre 1980. Difatti la recentissima normativa, colloca l'area di Brienza in 1^ categoria essendo superata la soglia di ingresso pari 0.23.



B) Microzonazione - Risposta sismica locale - pericolosità locale

B) Microzonazione - Risposta sismica locale - pericolosità locale

Definito il terremoto (o i terremoti con Intensità sismica e magnitudo probabili) di progetto come precedentemente descritto il successivo passaggio è la valutazione dell'amplificazione sismica locale del sito.

Si adotta normalmente un modello numerico a strati continui, dove con tale analisi si valuta l'insieme delle modifiche che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base posta ad una certa profondità nel sottosuolo subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie. Valutazione che diviene necessaria quando, sono presenti strati superficiali sovrastanti materiali ad alta rigidità.

La risposta sismica locale è da ritenersi pertanto l'insieme delle modifiche che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base posta ad una certa profondità nel sottosuolo subisce attraversando gli strati del terreno sovrastanti fino alla superficie.

Per giungere alla determinazione della risposta sismica locale un sito deve essere sottoposto a specifiche indagini di dettaglio finalizzate alla definizione di tutte le proprietà puntuali che la caratterizzano. Tali indagini riguardano la definizione dei seguenti aspetti:

- 1.Stratigrafia delle formazioni superficiali con dettagliata definizione dell'andamento dei contatti tra di esse;
- 2.Profili di velocità delle onde sismiche trasversali e longitudinali dentro le formazioni superficiali;

- 3.Caratteristiche meccaniche dei terreni delle formazioni superficiali con particolare riferimento al loro comportamento sotto l'azione di carichi ciclici e dinamici;
- 4.Morfologia di dettaglio dell'area.

La caratterizzazione del comportamento meccanico del terreno avviene mediante la determinazione di una serie di parametri quali:

- Velocità delle onde di taglio (Vs).
- Velocità delle onde longitudinali (Vp).
- Modulo di taglio a piccole deformazioni $G_0 = \gamma t / g * (Vs)^2$ dove:
 γt = peso di volume naturale;
 g = accelerazione di gravità (9,81 m/s²).
- Modulo di elasticità dinamico $E_d = Vp^2 \rho * (1 + \nu) / (1 - 2\nu) / 1 - \nu$ dove:
 Vp è la velocità delle onde longitudinali;
 ρ è la densità del terreno;
 ν è il modulo di Poisson.
- Rigidità sismica $R = \gamma t * Vs$ definito come il prodotto della velocità per il peso su unità di volume del mezzo in cui l'onda si propaga, è un parametro strettamente legato all'amplificazione sismica locale infatti l'incidenza dei danni tende a diminuire all'aumentare della rigidità sismica.
- Frequenza e Periodo fondamentale dello strato
 $f = Vs / 4 * H$;
 $T = 4 * H / Vs$ dove:
H è lo spessore dello strato
Vs è la velocità delle onde di taglio.

Questi due parametri forniscono una prima indicazione dei campi di frequenza in cui attendersi fenomeni di amplificazione locale.

Microzonazione sismica

DETERMINA LE MODIFICAZIONI DELLO SCUOTIMENTO DEL SUOLO DOVUTE A:

- Vicinanza di faglie attive
- Amplificazione locale stratigrafica
- amplificazione locale morfologica

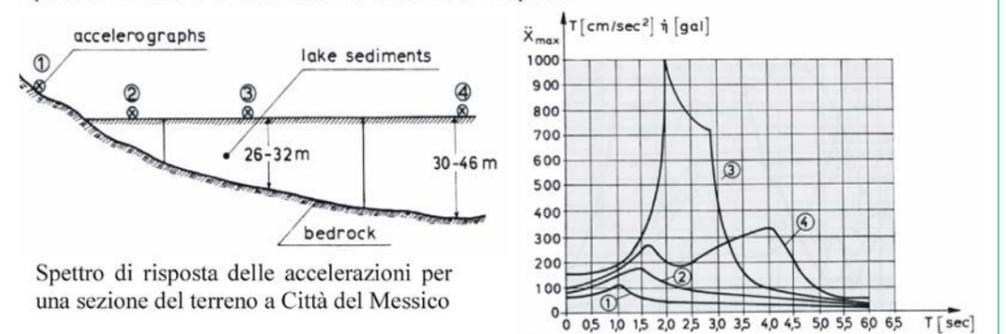


Una faglia è la materializzazione della superficie lungo cui avviene la rottura della roccia.

Influenza delle caratteristiche del terreno.

Edifici molto flessibili, caratterizzati da periodi fondamentali elevati sono particolarmente vulnerabili ai terremoti se fondate su terreni soffici, poiché questo tipo di terreno sposta le massime accelerazioni dello spettro verso destra.

Al contrario, edifici molto rigidi (o bassi) sono più facilmente vulnerabili se fondati su terreni più duri, che spostano le massime accelerazioni verso la sinistra dello spettro.



Spettro di risposta delle accelerazioni per una sezione del terreno a Città del Messico

Definite le caratteristiche e altezza media degli strati di Terreno indagati tramite i parametri prima riportati, si effettua l'analisi dell'amplificazione locale per effetti stratigrafici tramite uno dei programmi numerici disponibili (tipo SHAKE).

Il modello di rappresentazione del sottosuolo è supposto a strati continui schematizzando il terreno come un mezzo continuo multistrato, in cui ogni strato è assunto omogeneo con comportamento viscoso lineare. I risultati dell'analisi lineare equivalente così ottenuti forniscono i parametri caratteristici del moto del suolo di seguito riportati:

- PGA massima accelerazione del suolo (g)
- PGV massima velocità del suolo (m/s)
- PGD massimo spostamento del suolo (m)
- De durata efficace (s)
- PSV massima accelerazione spettrale (g)
- Periodo Max. acc. Spettrale (s)
- Frequenza Max. acc. Spettrale (Hz)
- Freq. dominante seg. Sismico (Hz)
- Fa fattore di amplificazione Max.
- Frequenza Max. amplificazione (Hz)
- Fa (nell' intervallo di frequenza 2-10 Hz tipica della maggior parte degli edifici)
- Max. strain (%)
- Max. stress (kPa)
- **Appartenenza ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto, ad una delle 5 categorie di profili stratigrafici del suolo di fondazione di cui all'Ordinanza n. 3274/2003.**

La definizione del profilo stratigrafico del sito si ottiene sulla base del valore di Vs30 (velocità media di propagazione entro 30 m di profondità) data dalla nota espressione riportata nell'Ordinanza 3274: dove hi e vi indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo (in m/sec), per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri superiori.

Dal confronto tra le analisi effettuate e i dati ricavati dall'Ordinanza n° 3274 si verifica se i risultati ottenuti dall'elaborazione numerica ricadono all'interno del range di valori richiesto dalla legge, confrontando lo spettro di risposta elastico ricavato dall'analisi numerica e quello fornito dall'ord. 3274 per il terreno in esame.

Particolare significato sotto l'aspetto fisico e ingegneristico, è il valore del periodo fondamentale dello strato, espresso dalla formula $T1 = 4H/Vs$ In cui H è l'altezza dello strato di terreno, Vs rappresenta la velocità di propagazione delle onde di taglio nello strato ed è fornito dall'equazione:

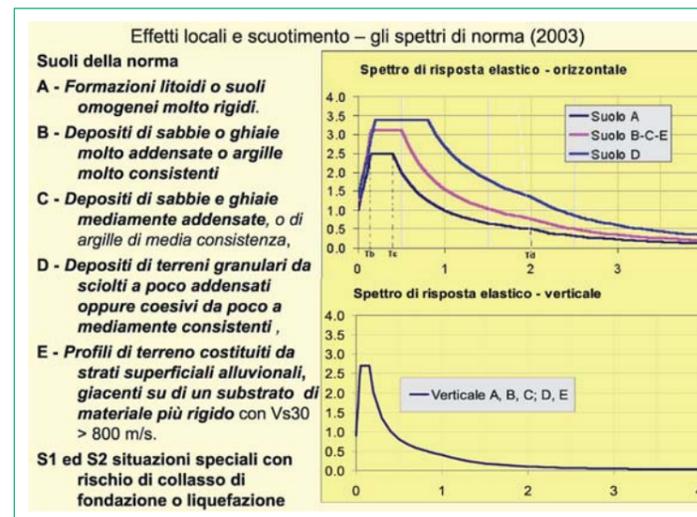
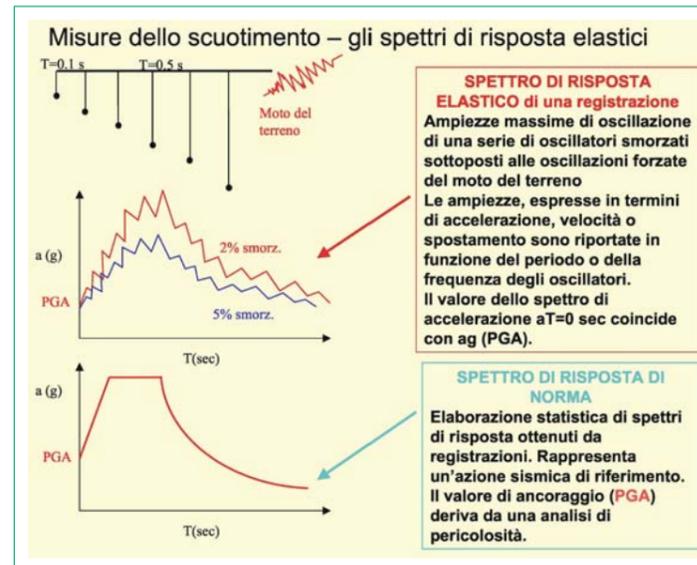
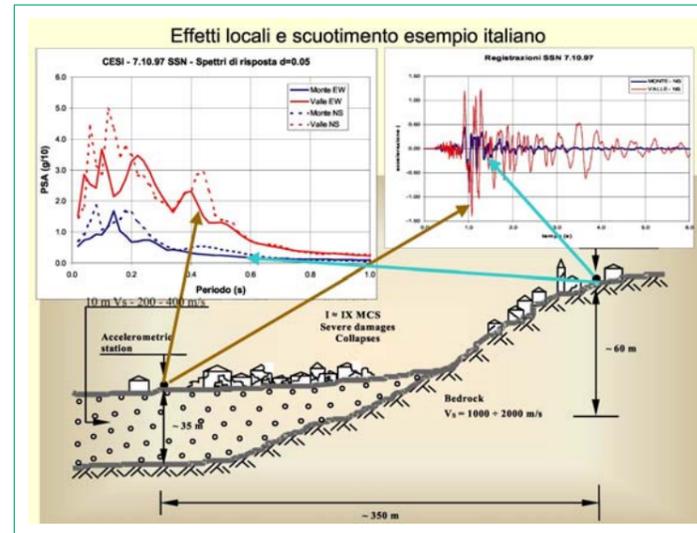
$$Vs = \sqrt{G/\rho}$$

I valori assunti da Vs variano in un dominio compreso tra 10^2 m/s e 10^4 m/s, corrispondenti rispettivamente a terreni molto soffici e a roccia.

Da ciò dipende il comportamento dello strato di terreno come un **filtro** che modifica le caratteristiche del sisma, **amplificandone le armoniche** vicine alla sua **pulsazione fondamentale**.

Dal punto di vista strutturale è interessante analizzare l'effetto di filtro del terreno nei confronti della risposta delle strutture edificate sulla superficie. **Le situazioni più critiche** si verificano quando la **struttura** ha **periodo fondamentale vicino a quello dello strato di terreno** su cui è fondata.

In questo caso la risposta strutturale è in **risonanza** con la risposta del terreno, e il risultato finale è un'amplificazione notevole della risposta. La situazione più conveniente corrisponde invece al caso di strutture flessibili su strato di terreno rigido, il cui risultato finale è un'attenuazione della risposta complessiva.



Effetti morfologici

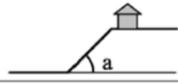
Quando la superficie del terreno non è piana, si possono avere degli effetti di amplificazione locale legati alla morfologia del suolo. Si identificano in particolare tre conformazioni tipiche:

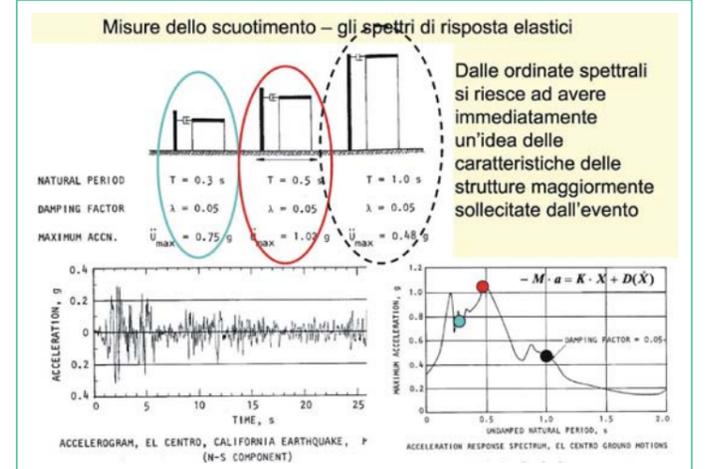
- 1 - conca: si ha una conformazione rocciosa a conca con un riempimento di terreno soffice. Si realizzano fenomeni di rifrazione delle onde sismiche, che risultano concentrate in una zona localizzata al centro della conca (a).
- 2 - pendio: si dimostra che le accelerazioni lungo il pendio sono maggiori rispetto a quelle su suolo pianeggiante (b).
- 3 - vetta: rappresenta il caso più pericoloso. Le azioni sismiche si focalizzano sul punto sommitale, in cui le azioni risultano notevolmente incrementate (c).



Effetti morfologici per la conformazione a conca (a), a pendio (b) e a vetta (c).

L'OPCM 3274 al punto 2.2 Allegato 4 tiene conto per strutture importanti degli effetti morfologici incrementando lo spettro di un fattore ulteriore, detto fattore di amplificazione topografica come risulta dal prospetto che segue:

Fattore di amplificazione topografica (S _T)		
Morfologia	Pendenza media a	S _T
Pendii scoscesi isolati	 >15°	<1.2
Larghezza in cresta molto inferiore alla larghezza di base	 15° ÷ 30°	<1.4
	>30°	<1.2



Spettri orizzontali				
Categoria suolo	S	TB	TC	TD
A	1,0	0,15	0,40	2,0
B, C, E	1,25	0,15	0,50	2,0
D	1,35	0,20	0,80	2,0

Spettri verticali				
Categoria suolo	S	TB	TC	TD
A, B, C, D, E	1,0	0,05	0,15	1,0

NOVITÀ INTRODOTTE DALL'ORDINANZA 3274/2003

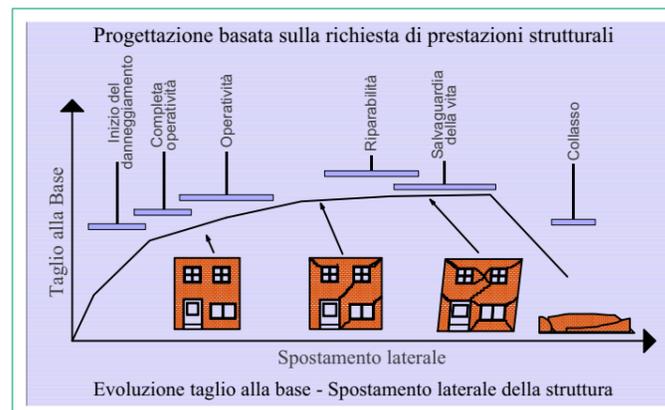
Ad oggi tale Ordinanza è la Normativa di riferimento per le costruzioni in zona sismica, sia pure coesistendo con la precedente normativa (D.M. 16/01/1996 e Circ. Min. LL.PP. 10/04/1997 n.65/AA.GG.).

I punti qualificanti possono riassumersi come segue:

- Le nuove norme tecniche sono **prestazionali**, cioè stabiliscono principi inderogabili per gli obiettivi da perseguire, lasciando al progettista la libertà di definire i mezzi con i quali raggiungere tali obiettivi.
- Si riconosce che in un territorio come l'Italia non esistono zone indenni dal **rischio sismico** introducendo la zona 4 a bassa sismicità, che abbraccia **tutto il territorio** nazionale;
- La determinazione delle **azioni sismiche** è fortemente condizionata dal **tipo di terreno** su cui si trova la struttura. Passando dalla migliore alla peggiore categoria del terreno, è prevista la maggiorazione dell'azione sismica del 35%.
- La **zonizzazione territoriale** è fornita con la classificazione per accelerazione ag (PGA) orizzontale massima su suolo di categoria A (migliori caratteristiche);
- Viene fornito uno **spettro di "risposta elastico"** per le accelerazioni orizzontali ed uno per quelle verticali. Le caratteristiche di **duttilità** (capacità di mantenere una buona resistenza anche al superamento del limite elastico) della struttura "modificano" lo spettro elastico e lo trasformano in uno spettro di progetto anelastico, tramite il coefficiente di struttura "q";
- Le strutture in c.a. sono suddivise in due **classi di duttilità Bassa ed Alta**:
 - Per strutture in bassa duttilità, il livello delle azioni sismiche è più alto, le prescrizioni sui dettagli meno severe;
 - Per le strutture in alta duttilità, il livello delle azioni sismiche è più basso, le prescrizioni sui dettagli più severe;

La progettazione di strutture in cui è favorito il comportamento duttile ha i seguenti Vantaggi:

 - Si evitano rotture di tipo fragile.
 - Tramite i cicli d'isteresi si ottiene dissipazione d'energia;
 - Si ottiene un risparmio economico;
 - Aumenta il periodo proprio poiché lo smorzamento indotto dalla dissipazione allontana ulteriormente la struttura dalla risonanza con il movimento del terreno, riducendo l'azione sismica.
- Si introduce il criterio della **gerarchia delle resistenze** che consiste nel progettare la struttura in modo da avere un preciso ordine di plasticizzazione delle membrature. Ciò si ottiene utilizzando sia elementi dissipativi (con resistenza inferiore alla domanda) che non dissipativi (con resistenza superiore alla domanda). Risulta chiaro che i mezzi per ottenere il comportamento voluto sono l'adeguato proporzionamento degli elementi e la realizzazione dei dettagli costruttivi, in quanto le risorse a cui si attinge sono la duttilità intesa come comportamento globale della struttura e locale in termini di prestazione di singola sezione. Sottinteso, in un edificio a telaio la gerarchia delle resistenze si traduce nelle seguenti prescrizioni:
 - Nodi (trave-pilastro) più resistenti di travi e pilastri.
 - Resistenza a taglio maggiore della resistenza flessionale: la rottura per taglio è meno duttile rispetto alla rottura per flessione.
 - Resistenza dei diaframmi di piano (solai) maggiore di quella offerta dagli elementi (travi, pilastri) collegati.
 - Nel dimensionamento delle armature delle travi, la sollecitazione a flessione utilizzata sarà quella derivante dal calcolo mentre la sollecitazione a taglio verrà opportunamente maggiorata rispetto a quanto calcolato.
 - Le armature dei pilastri verranno dimensionate incrementando le sollecitazioni derivanti dal calcolo, in particolare utilizzando momenti convenientemente superiori ai momenti ultimi delle travi che vi convergono.
 - Le strutture di fondazione verranno dimensionate con resistenza maggiore di quella della sovrastruttura sovrastimando le sollecitazioni utilizzando i momenti resistenti alla base dei pilastri.



Evoluzione del concetto di protezione sismica

Performance based design

Tendenza della normativa:

Più livelli di prestazione

- Evitare il crollo
- Evitare perdite di vite umane
- Consentire un rapido ripristino dell'operatività
- Mantenere l'operatività associati a diversi livelli di intensità sismica

A cosa servono gli spettri?

Conoscendo massa e rigidità possiamo determinare il periodo proprio

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2 \times 3.14 \times \sqrt{\frac{4000 \times 10^3}{630 \times 10^6}} = 0.5 \text{ s}$$

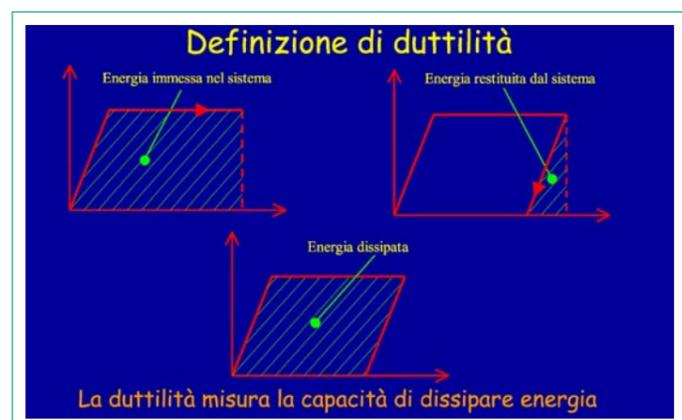

A cosa servono gli spettri?

Ma dall'accelerazione possiamo ricavare anche la massima forza d'inerzia

$$F_{max} = m a_{max} = 4000 \times 7.27 = 2900 \text{ kN}$$

e quindi le massime sollecitazioni nella struttura

Nota il periodo proprio, possiamo leggere dallo spettro l'accelerazione assoluta massima $a_{max} = 7.27 \text{ m/s}^2 = 0.74 \text{ g}$ o lo spostamento relativo massimo $u_{max} = 4.58 \text{ cm}$



Verifica in termini di duttilità

Per sistemi lineari la verifica è fatta sulle forze

$$F_R \geq F_S$$

F_R = forza resistente
 F_S = forza sollecitante

Per sistemi non lineari la verifica è fatta sugli spostamenti

$$u_e \geq u_{max}$$

u_e = spostamento ultimo
 u_{max} = spostamento impresso

$$\mu_d \geq \mu_r$$

μ_d = duttilità disponibile
 μ_r = duttilità richiesta

Richiesta di duttilità

Il rapporto tra lo spostamento massimo u_{max} ottenuto come risposta al sisma e lo spostamento u_y di plasticizzazione è la duttilità necessaria al sistema per non collassare (richiesta di duttilità)

In genere, abbassando la resistenza aumenta la richiesta di duttilità

Risposta elasto-plastica

8. Vengono introdotti alcuni criteri fondamentali e, per così dire, "moderni".

- Anzitutto, una struttura deve essere progettata non solo nei riguardi della resistenza, ma anche della durabilità coinvolgendo parti non strutturali (pavimenti, tamponature, tramezzi), e strutturali relativamente alle fessurazioni.

- Nell'Ordinanza viene introdotto, il concetto che una struttura non deve resistere necessariamente ad un terremoto comportandosi elasticamente (tornando cioè perfettamente nella sua configurazione indeformata una volta terminato l'evento sismico - cosa che si tradurrebbe in strutture estremamente dispendiose), ma potrà subire danni anche rilevanti, purché questi ultimi non comportino il crollo dell'edificio.

- Viene infine stabilito un principio indiscutibile "la regolarità" quale indice di buon comportamento strutturale. Le strutture regolari vengono progettate con azioni sismiche inferiori a quelle per strutture non regolari.

9. Viene sancito il principio che le forze da utilizzare per dimensionare un edificio dipendono anche dalle caratteristiche dell'edificio stesso. Noto che le forze, in un evento caratterizzato da un'accelerazione, sono legate alla massa dalla nota formula $F = M * A$ dove M è la massa, A è l'accelerazione e F la forza statica equivalente, la normativa introduce la seguente relazione: $F = M * A / q$ dove q è chiamato **fattore di struttura** (si noti che è al denominatore).

Tramite il fattore di struttura, quindi, è stabilito che le forze con cui deve essere proporzionato l'edificio sono tanto minori quanto più l'edificio ha un comportamento intrinsecamente antisismico: quindi c.a. meglio della muratura perché è un materiale più duttile, così come l'acciaio è ancora più premiato. Gli edifici a telaio avranno un comportamento migliore di quelli a nucleo. Tutto ciò viene espresso assegnando un valore a q tanto più alto, quanto più la struttura che si va a progettare rispetta alcune condizioni e ha certe caratteristiche.

10. Viene completamente abbandonato, per quanto concerne la progettazione degli elementi in cemento armato, il metodo prescrittivo delle Tensioni Ammissibili. L'obbligatorietà del metodo probabilistico agli Stati Limite è accompagnato dalla puntuale definizione delle due situazioni in cui verificare un edificio:

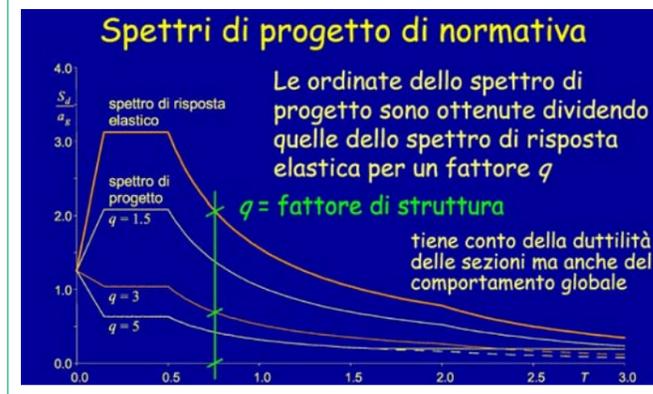
- Per eventi che abbiano un'alta probabilità (50% in 50 anni P.R. 95 anni) di verificarsi in zona sismica, la struttura non dovrà subire danni e addirittura dovrebbe rimanere in campo elastico. Ciò dovrà essere valido ad esempio con un terremoto di lieve entità che durante la vita utile della struttura, misurabile in decenni, può capitare più di una volta. Per una struttura sottoposta all'azione del complesso di forze stabilite dalla normativa relativamente a tale stato limite, dovrà verificarsi che gli spostamenti tra una coppia di punti su una stessa verticale appartenenti ad impalcati adiacenti siano inferiori a un valore massimo ammissibile, così come specificato al punto 4.11.2 dell'Ordinanza. **Tale Stato Limite viene definito Stato Limite di Danno.**

- Per un evento che abbia una bassa probabilità (10% 50 anni P.R. 475 anni) di accadimento la Normativa ammette che si verifichino danni tali da rendere, alla fine dell'evento stesso, inagibile la struttura purché venga garantita la vita umana e quindi l'edificio o una sua parte non crolli.

Anche in zona sismica, eventi disastrosi come quelli dell'Irpinia dell'80 o del Friuli del '76 non hanno per fortuna una frequenza elevata. Questo stato limite viene definito **Stato Limite Ultimo** e le sollecitazioni calcolate con tali condizioni saranno quelle utilizzate per il dimensionamento delle membrature.

- In aggiunta alle verifiche allo SLU e SLD devono effettuarsi anche quelle allo SLE (**Stato limite di Esercizio**) prescritte per le zone non sismiche.

11. In alternativa ai metodi di analisi già noti "Statica lineare" e "Dinamica modale", vengono consentiti altri metodi di verifica e progetto "Statica non lineare" e "Dinamica non lineare".



Fattore di struttura (edifici in cemento armato)

$$q = q_0 K_D K_R$$

Dipende da:

- Tipologia strutturale
- Duttilità locale
- Regolarità in altezza

REGOLARITÀ IN PIANTA

- Configurazione in pianta compatta e simmetrica in due direzioni ortogonali (in relazione alla distribuzione delle masse e delle rigidità)
- - Pianta dell'edificio inscritta in un rettangolo con rapporto tra i lati inferiore a 4
- Rientranze e sporgenze non superiori al 25% della dimensione totale dell'edificio nella direzione del rientro o della sporgenza
- - Solai considerabili infinitamente rigidi nel piano rispetto agli elementi verticali

REGOLARITÀ IN ELEVAZIONE

- Sistemi resistenti verticali (telai e pareti) estesi a tutta l'altezza dell'edificio
- Massa e rigidità costanti o ridotte gradualmente dalla base alla cima dell'edificio (variazioni tra due piani adiacenti inferiori al 20%)
- Rapporto tra resistenza effettiva e resistenza richiesta dal calcolo simile per piani diversi (differenze tra i rapporti di piani diversi inferiori al 20%)
- Restringimenti graduali della sezione verticale dell'edificio secondo i seguenti limiti:
 - rientro inferiore al 30% della dimensione corrispondente al primo piano.
 - rientro inferiore al 10% della dimensione corrispondente al piano immediatamente sottostante

Gerarchia delle resistenze

Il meccanismo "b", chiamato "meccanismo di piano", risulta sfavorevole rispetto allo schema (a)

(a) $\Phi_1 = \frac{\delta}{H_1}$

(b) $\Phi_2 = \frac{\delta}{H_2}$

REGOLARITÀ IN ELEVAZIONE

Modello con irregolarità nella distribuzione di masse e rigidità

Modello trave debole-colonna forte e regolarità

Modello solo parzialmente trave debole-colonna forte e regolarità

CALCOLO EDIFICIO CON STRUTTURA IN C.A. IN ZONA SISMICA DI PRIMA CATEGORIA

Descrizione generale dell'opera.

L'edificio oggetto della relazione di calcolo, illustrato dai grafici a lato è da considerarsi irregolare sia in pianta che in altezza.

I pilastri sono orientati ove è possibile in una direzione e nell'altra ortogonale in modo da ripartire più uniformemente possibile le rigidità per sopportare il sisma nelle due direzioni principali.

La struttura portante è organizzata con otto telai trasversali e sei telai longitudinali le sue caratteristiche gli conferiscono una bassa capacità dissipativa e quindi di rientrare nella classe di duttilità bassa CD "B".

Ai fini del calcolo il lato lungo coincide con l'asse orizzontale X del riferimento globale, il lato corto con l'asse Y, l'asse Z è verticale. L'edificio è previsto sorgere in zona sismica di tipo 1. a una quota di 690 m.s.m.,.

Lo studio si sviluppa nelle seguenti fasi:

- Criteri di Calcolo.

- 1) L'adozione di un modello meccanico della struttura (Elementi Finiti).
- 2) Scelta dell'azione sismica di progetto in relazione alla zona sismica, alle categorie di suolo di fondazione ed all'importanza dell'edificio.
- 3) Scelta di un metodo di analisi in relazione alla tipologia della struttura.
- 4) L'esecuzione con esito positivo delle verifiche di resistenza e di compatibilità degli spostamenti;
- 5) Disegno armature e particolari costruttivi
- 6) Confronto dei costi di costruzione rispetto alla vecchia classificazione sismica e al metodo di calcolo in base alle Tensioni Ammissibili.

- CRITERI DI CALCOLO

I calcoli e le verifiche sono condotti con il criterio **semiprobabilistico degli stati limite**.

Il metodo "semiprobabilistico agli stati limite" si basa su criteri di aleatorietà delle grandezze in gioco.

Uno "stato limite" è un stato raggiunto il quale la struttura o una parte di essa non può più svolgere le funzioni assegnate.

Il raggiungimento di uno stato limite viene espresso analiticamente attraverso il mancato soddisfacimento della "condizione di affidabilità".

Indicando con **S** le sollecitazioni prodotte dalle azioni agenti sulla struttura e con **R** la capacità della struttura di fare fronte ad una determinata sollecitazione, il metodo permette di valutare se e con quale probabilità, in tutte le situazioni che possono manifestarsi nei vari stati limite considerati, risulta: **S < R**.

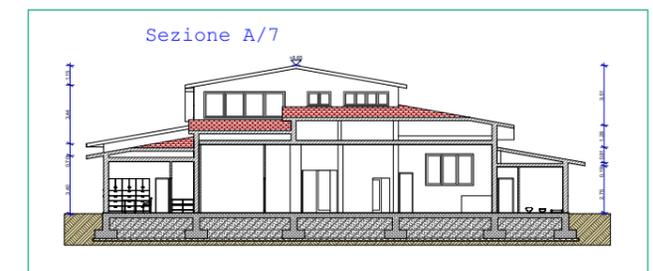
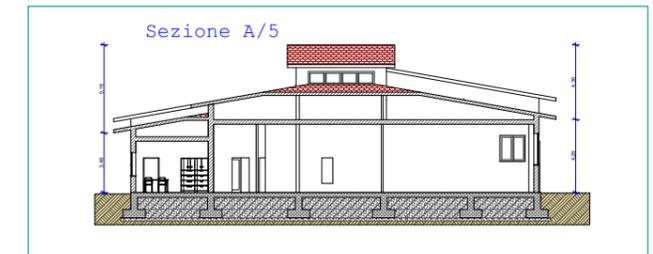
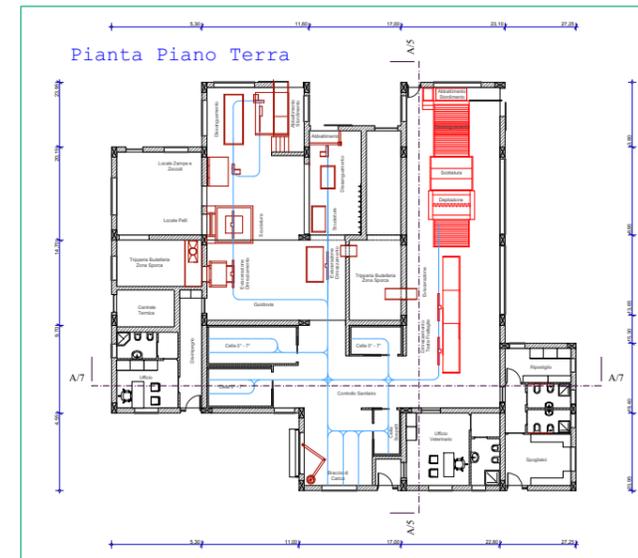
Entrambe le grandezze **R** ed **S** sono variabili aleatorie: sono calcolate in modo semiprobabilistico a causa dell'incertezza insita nelle misure svolte in laboratorio sulla resistenza dei materiali, e dall'altra dell'incertezza sulle azioni e sulla loro variazione durante la vita della struttura.

In quest'ottica possiamo definire **stato limite ultimo (SLU)** quello in corrispondenza del quale si verifica la rovina della struttura e la possibilità di perdita di vite umane. In tutto ciò rientrano la perdita di equilibrio, la rottura. È da aggiungere che il metodo semiprobabilistico degli stati limite ultimi è strettamente legato al "calcolo a rottura".

Per garantire i requisiti relativi alla condizione di normale utilizzo della struttura si definisce **lo stato limite d'esercizio (SLE)** quello in cui si verifica la perdita di funzionalità della struttura in relazione alle esigenze di impiego e di durata, ciò a prescindere dall'evento sismico, per il verificarsi di condizioni di deformazioni eccessive, prematura o eccessiva fessurazione, degradazione o corrosione dei materiali ecc;

Nella recente normativa è stato introdotto uno stato ulteriore chiamato **stato limite di danno (SLD)**, in cui si fa presente l'esigenza che le strutture non subiscano danni gravi ed interruzioni d'uso in conseguenza di eventi sismici con elevata probabilità di occorrenza rispetto all'azione sismica di progetto.

Schema architettonico e strutturale

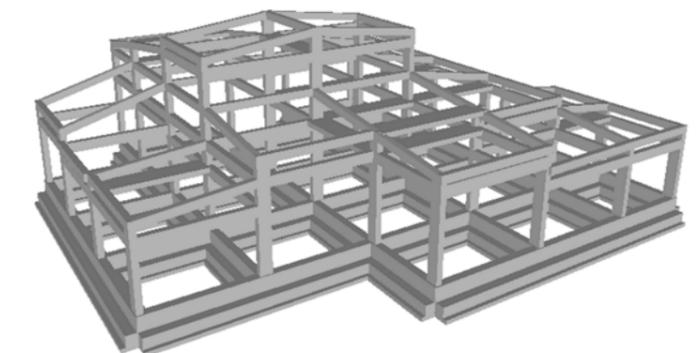


Dati Generali

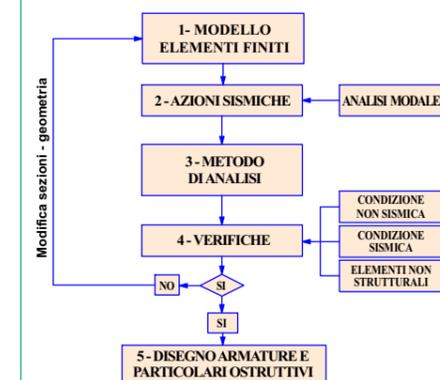
Numero Impalcati : 6
 Numero delle tipologie di sezioni trasversali usate : 9
 Numero delle tipologie di soletto utilizzate : 6

Impalcato	Quota assoluta min [cm]	Quota assoluta max [cm]	Numero Colonne	Numero Travi
Fondazione	0.00	0.00	0	48
1	0.00	325.00	31	17
2	325.00	425.00	31	15
3	375.00	495.00	27	37
4	425.00	785.00	25	37
5	525.00	1085.00	10	13
6	676.00	1385.00	6	7

Modello della struttura vista 3/d

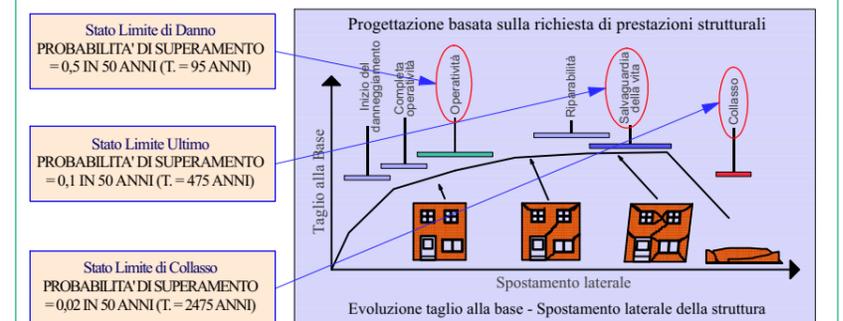


SCHEMA GENERALE



PGA del territorio italiano

Zona	2% SLC	10% SLU	50% SLD
1	0.525 g	0.350 g	0.140 g
2	0.375 g	0.250 g	0.100 g
3	0.225 g	0.150 g	0.060 g
4	0.075 g	0.050 g	0.020 g



1) Adozione di un modello meccanico (Elementi Finiti) della struttura in grado di descrivere con accuratezza la risposta sotto azione dinamica, secondo quanto indicato al punto 4.4 nell'Opc.

Operazione manuale.

Il primo passaggio è la creazione del modello di calcolo utilizzando la teoria degli Elementi finiti. Se per le strutture molto semplici e regolari è ancora possibile compiere il calcolo in modo manuale, per le strutture ordinarie è indispensabile avvalersi di strumenti per il calcolo automatico. A partire quindi dal progetto architettonico sono definiti gli elementi strutturali (travi, pilastri, solai, muri, ecc.) con i relativi materiali che costituiscono la parte resistente dell'edificio. Per completare questa fase s'introducono anche i carichi verticali ed i vincoli. È importante sottolineare che questa è l'unica fase in cui prevalgono operazioni manuali di caricamento dei dati. Le fasi successive sono quasi completamente automatizzate da programmi di calcolo automatico.

Per modello meccanico s'intende una forma idealizzata della struttura, dove sono presenti tutti gli elementi che contribuiscono in modo significativo alla resistenza. Per esempio, per un edificio in c.a. il modello può essere composto da:

- elementi lineari (pilastri, travi, cordoli, elementi rigidi) collegati a nodi (punti di intersezione degli assi longitudinali) di cui si conoscono le caratteristiche di: materiale (peso proprio, modulo elastico, fattore n), geometria della sezione (area, momenti d'inerzia, area di taglio, ecc.), modalità di comportamento (lineare, non lineare)
- elementi di superficie (muri, solai a piastra, platee di fondazione, setti verticali per vani ascensore, ecc.)
- vincoli che impediscono il movimento della struttura ancorandola al terreno (rigidi, elastici, non lineari)
- scenari di carico in cui sono distinte le tipologie di carico (permanente, variabile, neve, vento, sismico).

2) Scelta dell'azione sismica di progetto in relazione alla zona sismica, alle categorie di suolo di fondazione ed all'importanza dell'edificio. Operazione automatica.

Il calcolo delle azioni sismiche costituisce il secondo blocco di operazioni. Le forze sono funzione del tipo di struttura, della sua rigidità che deriva dal materiale, dalle sezioni degli elementi e dalla loro disposizione in piante, dai carichi applicati. L'analisi dinamica modale, per la maggior parte delle strutture, è lo strumento usato per il calcolo delle forze che simulano il terremoto. È importante sottolineare che le azioni sismiche sono conseguenti alle scelte progettuali e possono essere condizionate dal progettista.

La scelta dell'azione, sismica, si realizza con la definizione degli spettri di progetto, rispettivamente per lo SLU e lo SLD, da cui si ricavano le azioni sismiche.

Nel nostro caso essendo la zona sismica in cui sorge l'edificio caratterizzata da una accelerazione orizzontale massima $a_g = 0,35$.

Le indagini conoscitive sul terreno, effettuate con misurazioni di velocità delle onde di taglio hanno definito l'appartenenza del suolo di sedime alla categoria tipo C, cui compete un parametro $S = 1,25$

Si assume, in funzione della tipologia strutturale, un fattore relativo al coefficiente di smorzamento $\eta = 1,00$ (Coefficiente smorzamento viscoso: 0.05)

Nota la categoria del suolo di sedime e il coefficiente di smorzamento η è possibile tracciare lo Spettro di risposta elastico $S_e(T)$ caratterizzato dai seguenti parametri:

Spettro di risposta verticale:

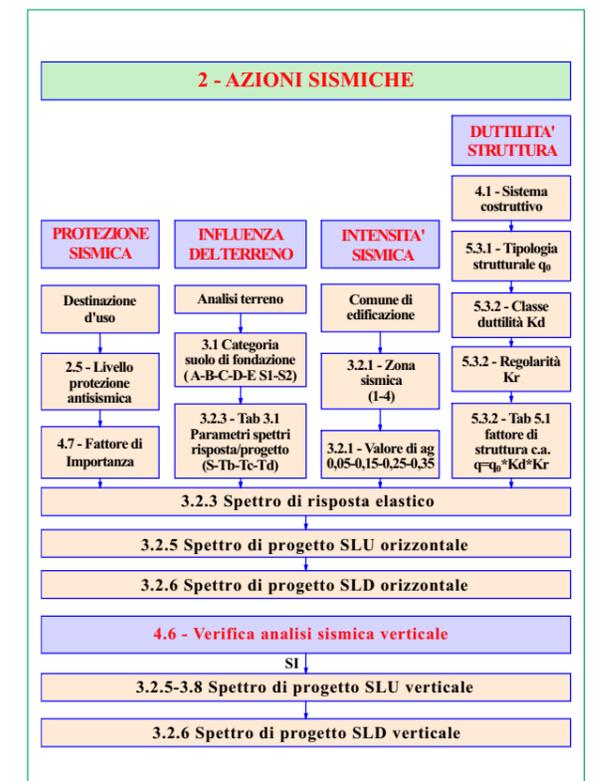
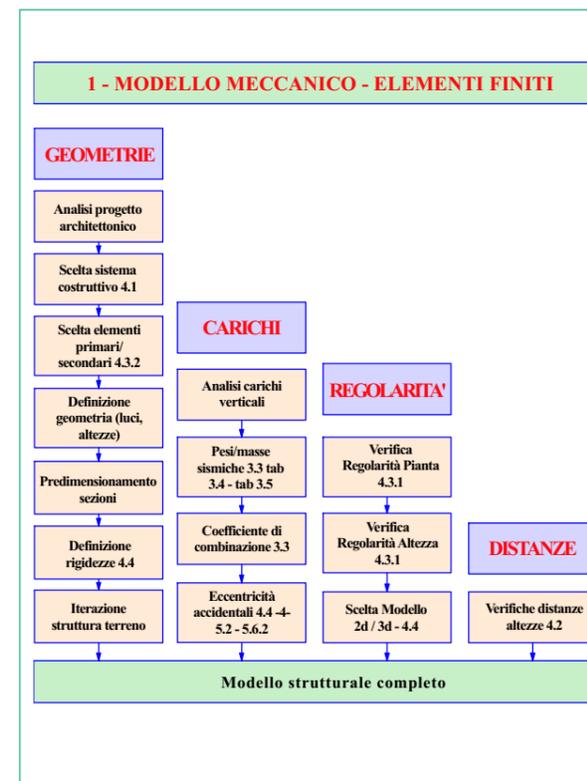
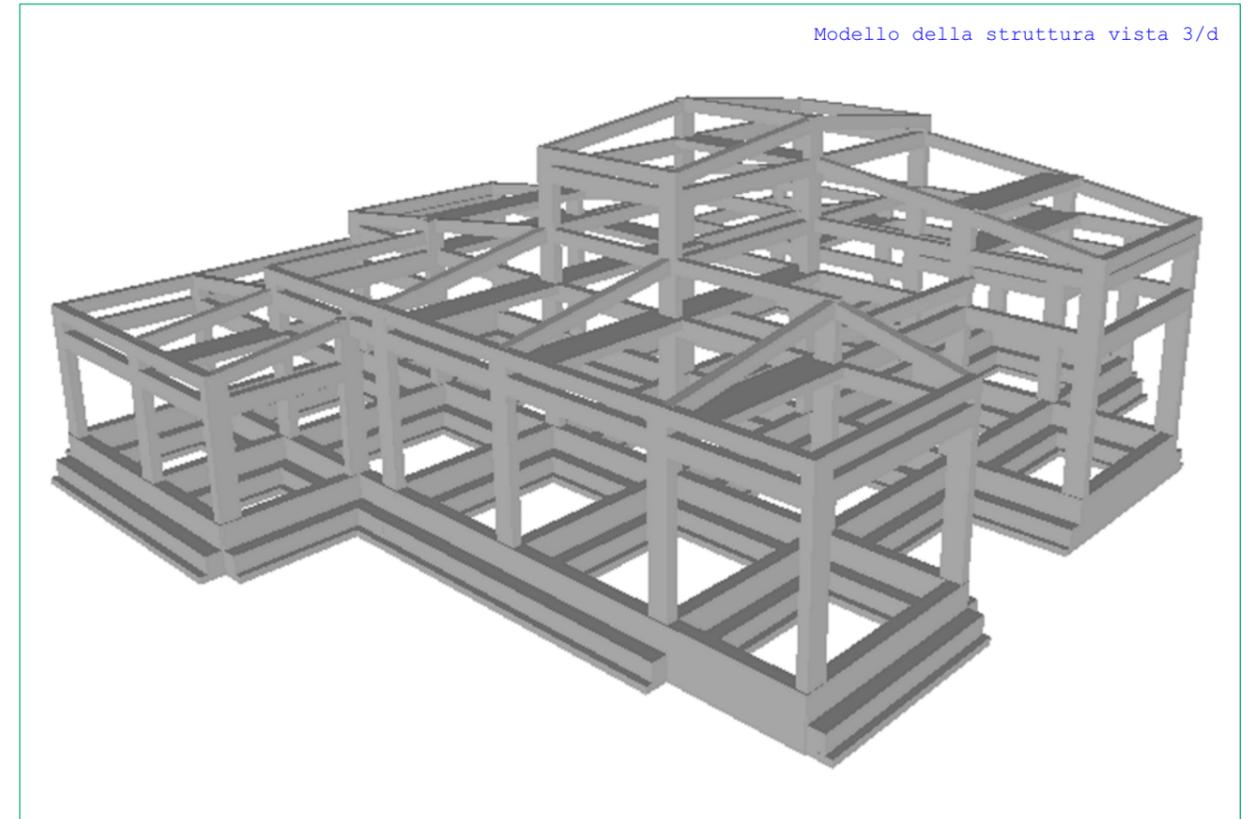
Accelerazione sismica : 0.35g
 Coefficiente S_z : 1.00
 Coefficiente T_{Bz} : 0.05
 Coefficiente T_{Cz} : 0.15
 Coefficiente T_{Bz} : 1.00
 Coefficiente η : 1.00

rappresentato dal diagramma che segue

Spettro di risposta orizzontale:

Accelerazione sismica : 0.35g
 Coefficiente S : 1.25
 Coefficiente T_B : 0.15
 Coefficiente T_C : 0.50
 Coefficiente T_D : 2.00
 Coefficiente η : 1.00

rappresentato dal diagramma che segue



La classe di duttilità è rappresentativa della capacità dell'edificio in cemento armato di dissipare energia in campo inelastico per azioni cicliche ripetute.

Le deformazioni inelastiche devono essere distribuite nel maggior numero di elementi duttili, in particolare le travi, salvaguardando i pilastri e soprattutto i nodi travi pilastro che sono gli elementi più fragili.

La norma definisce due classi di duttilità:

- **CD "A" alta**, sotto l'azione sismica di progetto la struttura si trasforma in un meccanismo dissipativo a elevata capacità

- **CD "B" bassa** tutti gli elementi strutturali devono avere una soglia minima di duttilità.

In termini di azioni sismiche la scelta di CD "A" comporta una riduzione del 30% e della forza sismica attraverso il coefficiente di struttura q . La presenza di un solo telaio resistente a travi in spessore determina l'appartenenza alla classe CD "B" come nel nostro caso.

La capacità dissipativa della struttura è messa in conto attraverso il fattore di struttura q riduttivo delle forze elastiche nel nostro caso:

La struttura dell'edificio è una struttura a telaio, che non rispetta i requisiti di regolarità in elevazione e in pianta, progettata con i criteri specifici della classe di duttilità bassa CD "B", pertanto si può accreditare di un fattore di struttura

$$q = q_0 \cdot K_d \cdot K_r = 4,5 \cdot 1,3 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 3,28$$

essendo

- $q_0 = 4,5 \cdot \alpha_u / \alpha_1$ per strutture intelaiate
- $\alpha_u / \alpha_1 = 1,3$ per analisi lineare su struttura a più piani e più campate
- $K_d = 0,7$ per struttura con classe di duttilità CD "B"
- $K_r = 0,8$ per struttura non regolare

3) Scelta di un metodo di analisi per il calcolo delle sollecitazioni (analisi dinamica modale).

Aspetti generali

Nelle norme sono ammessi quattro metodi di analisi caratterizzati da complessità e precisione crescenti essi sono:

- a) statica lineare (Analisi tramite la forza laterale equivalente)
- b) dinamica modale (Metodo di sovrapposizione modale)
- c) statica non lineare (Analisi tipo "Push-over")
- d) dinamica non lineare (Analisi dinamica non-lineare)

La scelta tra un metodo e l'altro dipende dalle caratteristiche (regolarità, periodi propri caratteristici) e dall'importanza della struttura che si sta studiando.

In particolare, le norme definiscono "metodo normale", per la definizione delle sollecitazioni di progetto, l'analisi modale associata allo spettro di progetto.

Considerazioni sulla regolarità in pianta ed in altezza della struttura permettono di considerare al posto di un modello tridimensionale due modelli piani separati e al posto dell'analisi modale una semplice analisi statica lineare.

Nella progettazione di edifici nuovi l'utilizzo di metodi di analisi più sofisticati, come l'analisi statica non lineare e quella dinamica non lineare, è, a discrezione del progettista, al quale è lasciato il compito di valutare quale tipo di analisi, in relazione al tipo di progetto affrontato, dà informazioni sufficienti per realizzare un'opera che abbia il carattere prestazionale richiesto dalle norme.

Come già precedentemente ricordato, infatti, le norme richiedono di progettare avendo come obiettivo non solo la salvaguardia della vita umana, ma anche il controllo del danno.

Il calcolo viene eseguito con analisi dinamica modale che la normativa considera come il metodo standard per il calcolo sismico.

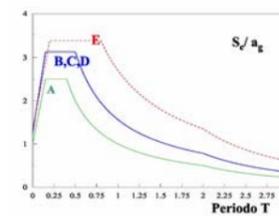
Dopo aver definito il modello di calcolo, si devono realizzare tre analisi distinte (SLU, SLD e carichi verticali) che derivano da condizioni di carico diverse.

Ogni condizione di carico deriva da un modo di vibrare e viene analizzata in modo automatico dal programma di calcolo.

Si tratta di un'analisi che ancora considera la struttura in fase elastica lineare, prende in conto quanto riportato nel capitolo relativo alla duttilità strutturale. attraverso il fattore di struttura q che riduce le azioni sismiche e attraverso la progettazione dei singoli elementi (travi, pilastri, nodi, fondazioni) dove si applicano le regole relative alla gerarchia delle resistenze.

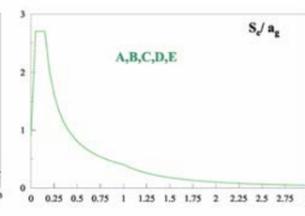
Lo spettro di risposta elastico per la componente orizzontale

Categoria suolo	S	T _B	T _C	T _D
A	1,0	0,15	0,40	2,0
B, C, E	1,25	0,15	0,50	2,0
D	1,35	0,20	0,80	2,0



Lo spettro di risposta elastico per la componente verticale

Categoria suolo	S	T _B	T _C	T _D
A, B, C, D, E	1,0	0,05	0,15	1,0



Azione sismica Spettro di progetto per lo stato limite ultimo (SLU)

Al fini del progetto, le capacità dissipative delle strutture possono essere messe in conto attraverso un fattore riduttivo delle forze elastiche, denominato **fattore di struttura q**. L'azione sismica di progetto $S_d(T)$ è in tal caso data dallo spettro di risposta elastico con le ordinate ridotte utilizzando il fattore q (punto 3.2.5):

$$q = q_0 K_D K_R$$

q_0 è legato alla tipologia strutturale

K_D è un fattore che dipende dalla classe di duttilità

K_R è un fattore che dipende dalle caratteristiche di regolarità dell'edificio

Classe di duttilità "A" $\Rightarrow K_D = 1,0$

Edificio regolare $\Rightarrow K_R = 1,0$

Strutture a telaio $\Rightarrow q_0 = 4,5 \alpha_u / \alpha_1$

Edificio a telaio a più piani e più campate $\Rightarrow \alpha_u / \alpha_1 = 1,3$

Fattore di struttura $q = (4,5 \times 1,3) \times 0,7 \times 0,8 = 3,28$

$q = 4,5 \cdot \alpha_u / \alpha_1 \cdot K_D \cdot K_R$

$q_0 = 4,5 \cdot \alpha_u / \alpha_1$

$K_D = 1,0$

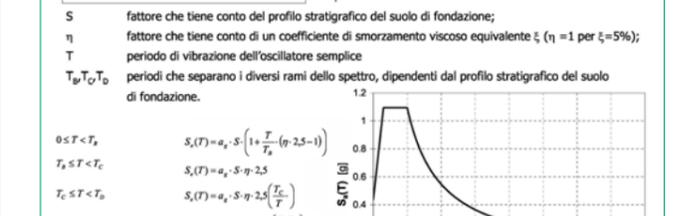
$K_R = 1,0$

$\alpha_u / \alpha_1 = 1,3$

$q = 3,28$

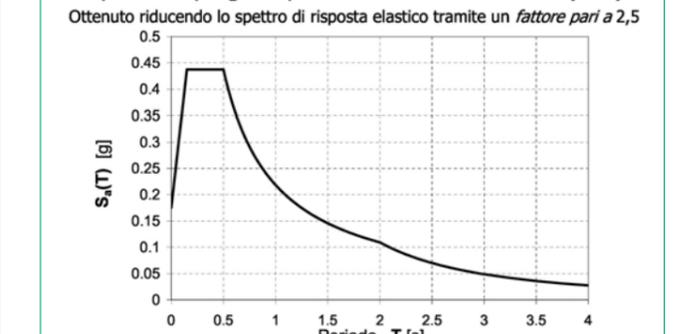
Azione sismica Spettro elastico Punto (3.2.3)

Categoria suolo	S	T _B	T _C	T _D
A	1,0	0,15	0,40	2,0
B, C, E	1,25	0,15	0,50	2,0
D	1,35	0,20	0,80	2,0

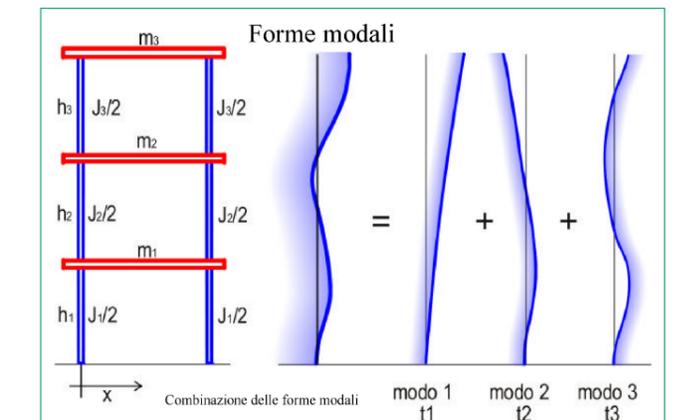
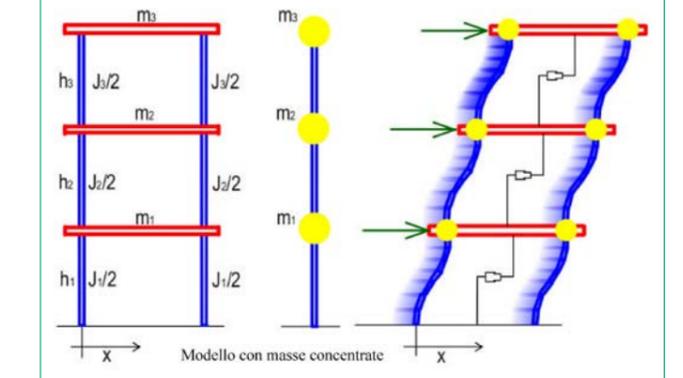
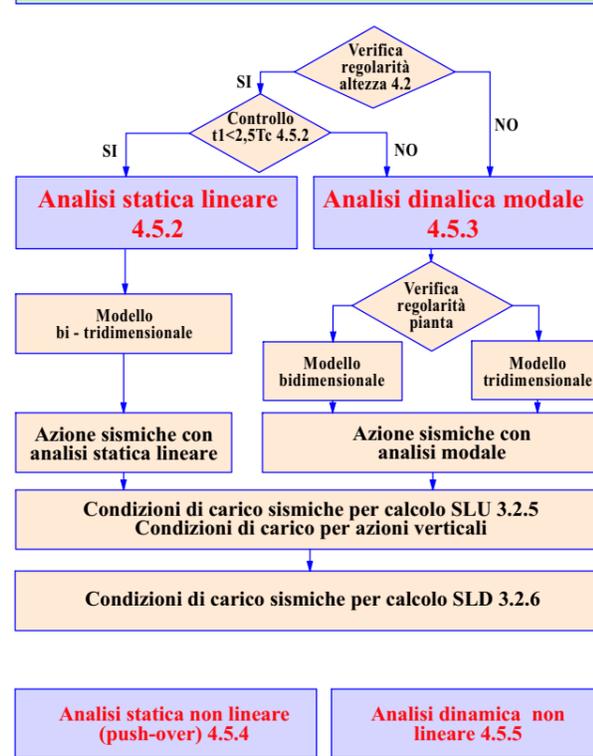


Azione sismica Spettro di progetto per lo stato limite di danno (SLD)

Ottenuto riducendo lo spettro di risposta elastico tramite un **fattore pari a 2,5**



3 - METODI DI ANALISI



La combinazione dei modi

Nella risposta sismica sono presenti i contributi di tutti i modi, (tre per ogni massa e direzione) ma lo spettro di risposta non fornisce nessuna indicazione riguardo al peso con cui ciascun modo entra in combinazione con gli altri. Non è corretto sommare semplicemente gli effetti di ciascun modo, poiché i modi non raggiungono il loro massimo contemporaneamente e quindi non collaborano alla risposta strutturale con la loro ampiezza massima. I criteri con cui i contributi dei diversi modi si possono ragionevolmente combinare insieme sono definiti con il metodo:

- "SRSS" (radice quadrata della somma dei quadrati) che consiste nell'estrarre la radice quadrata della somma dei quadrati di tutti i contributi modali. Questo criterio, è considerato insicuro quando le frequenze modali sono strettamente accoppiate.
 - Si ritiene quindi raccomandabile il ricorso al criterio "CQC" (combinazione quadratica completa) che tiene conto degli effetti di amplificazione per correlazione dei modi con frequenze vicine.
- I due criteri forniscono risposte analoghe se le frequenze modali sono tutte sufficientemente distanziate.

La norma suggerisce che il totale dei modi di vibrazione deve attivare almeno l'85% delle masse presenti nella struttura oppure devono essere presi in considerazione tutti i modi con massa partecipante superiore al 5%.

Nel caso in esame, in conseguenza alla tipologia strutturale di telaio spaziale a sei piani con orizzontamenti infinitamente rigidi, per ogni situazione di carico, i gradi di libertà sono 3 per ogni piano - due traslazioni e una rotazione - per un totale di 18 gradi di libertà, di cui 6 torsionali, 6 traslatori lungo l'asse X e 6 traslatori lungo l'asse y.

Il calcolo viene effettuato in modo automatico e sono considerati tutti i modi con massa partecipante superiore al 5%.

Nel caso in esame, la combinazione dei modi per il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti è effettuata mediante la combinazione quadratica completa.

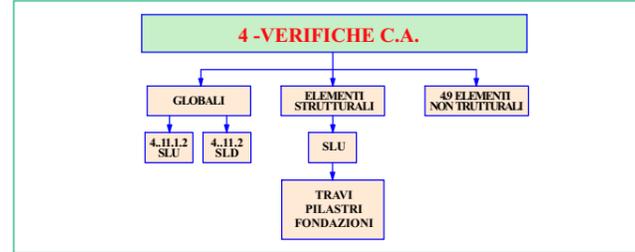
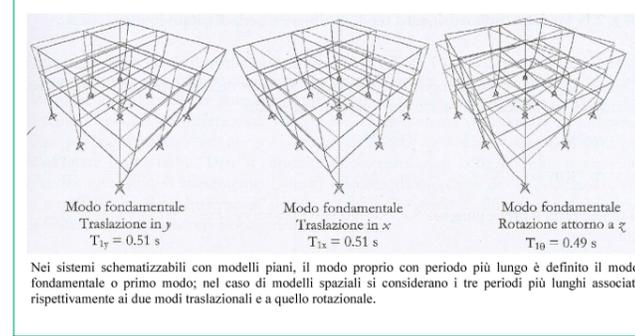
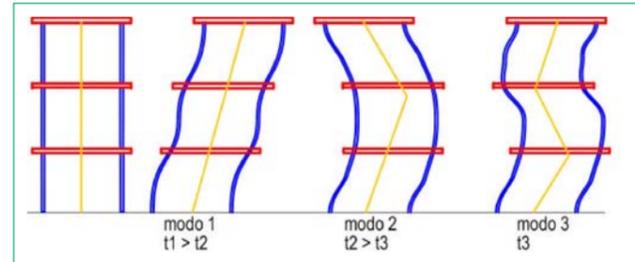
L'analisi modale viene effettuata automaticamente dal programma di calcolo che fornisce in output i valori dei periodi propri T_i e le deformate modali per tutte le condizioni di carico.

4) Esecuzione con esito positivo delle verifiche di resistenza e di compatibilità degli spostamenti;

Operazione automatica

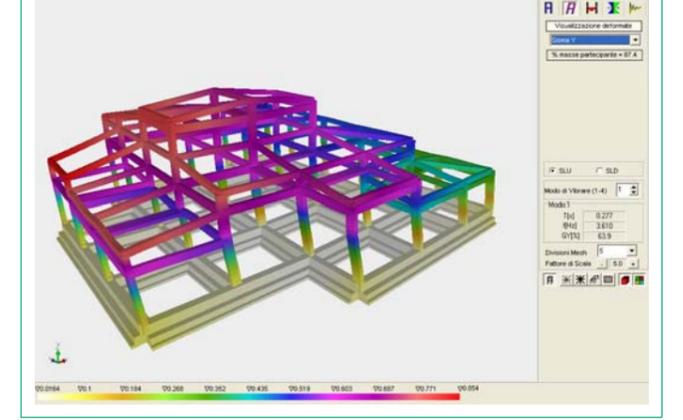
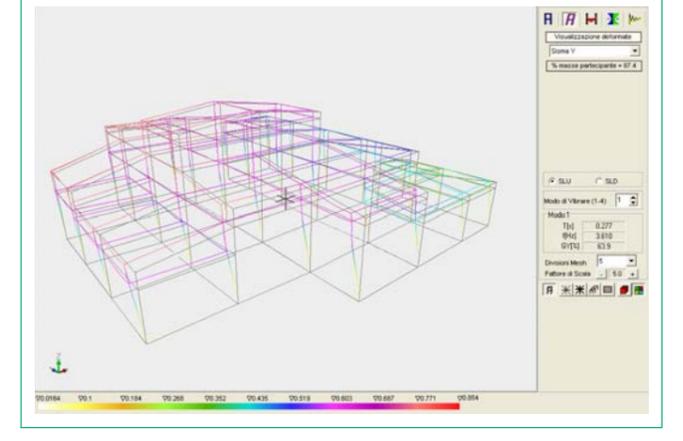
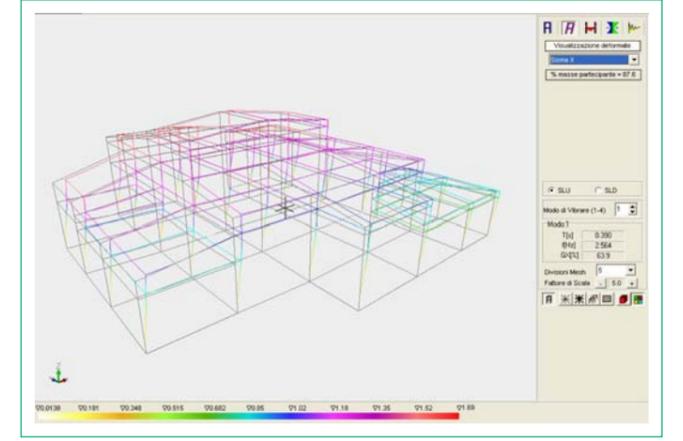
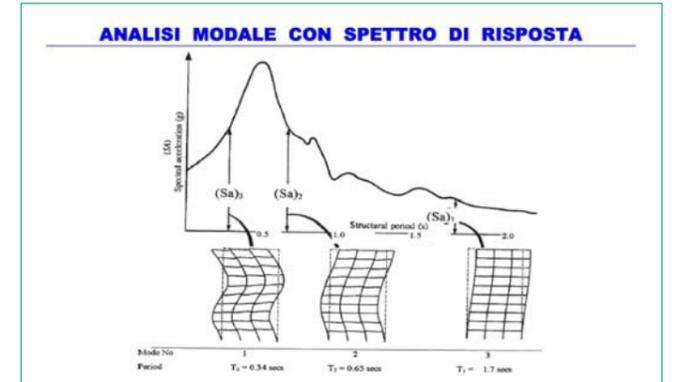
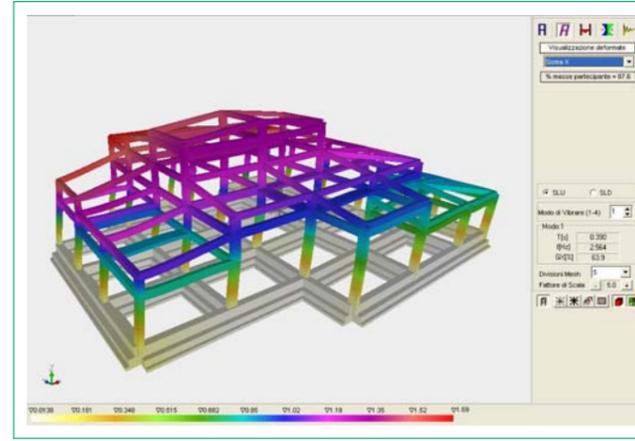
Le verifiche sono suddivise tra globali se interessano l'intera struttura o locali se interessano singoli elementi. Appartengono alla prima categoria le verifiche per SLU riguardo gli effetti del secondo ordine (punto 4.11.1.2) e per SLD (punto 4.11.2). Nel secondo caso occorre verificare che le dimensioni ipotizzate in fase iniziale siano sufficienti a sopportare le sollecitazioni calcolate. Sono previste anche verifiche su elementi non resistenti (per esempio murature di tamponamento, punto 4.9). La verifica degli elementi strutturali (travi, pilastri, muri, opere di fondazione) segue al calcolo delle sollecitazioni.

Le verifiche prevedono le combinazioni dovute ai soli carichi statici ed ai carichi statici e sismici agenti contemporaneamente; si opera quindi sull'involucro che comprende entrambi gli scenari di carico. Si sottolinea che date le numerose analisi da realizzare, è difficile ottenere la soluzione ottimale al primo tentativo. Se le verifiche non sono soddisfacenti, dopo aver modificato il modello, è necessario riprendere il ciclo dall'inizio. Si tratta quindi di un processo iterativo in cui è importante valutare l'influenza di ogni componente (rigidezza degli elementi, distribuzione plano-altimetriche, sistema costruttivo) al fine di ottimizzare la prestazione strutturale ed il relativo costo economico.



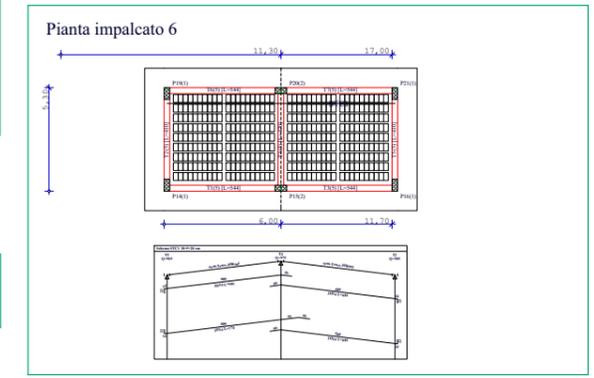
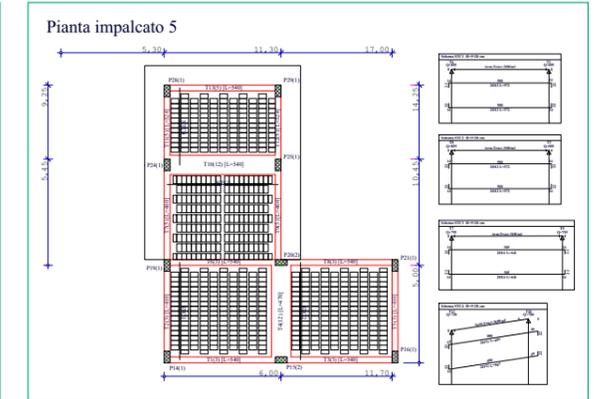
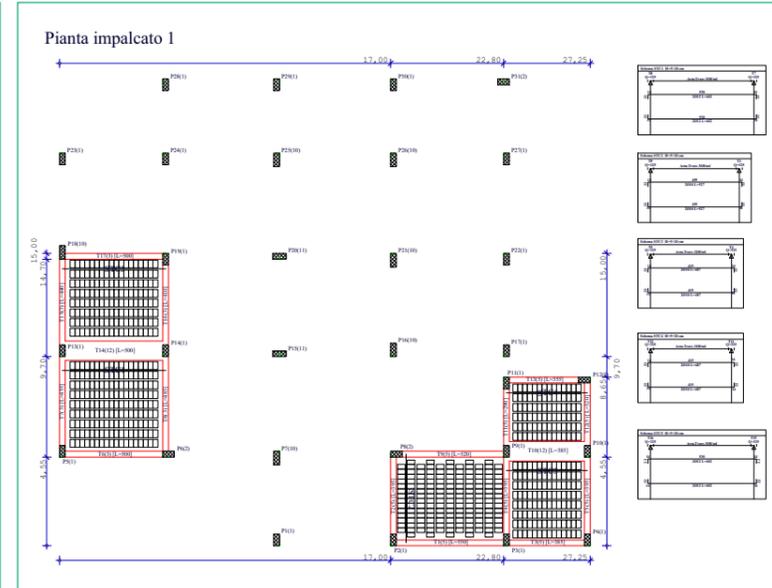
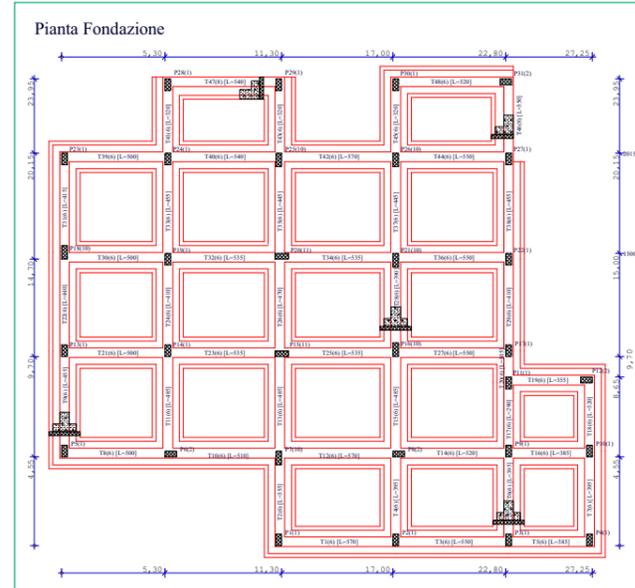
Risultati Condizioni Sisma.
 Modo:
 f: valore della frequenza del modo i-esimo;
 T: valore del periodo del modo i-esimo;
 G_x: valore del coefficiente di partecipazione del modo i-esimo;
 Tali risultati sono relativi alla combinazione quadratica completa (CQC) riportata in 4.5.3 dell'ordinanza 3274:

Direzione X				Direzione Y			
Modo	f [Hz]	T [s]	G _x %	Modo	f [Hz]	T [s]	G _x %
1	2.564	0.390	63.9	1	3.610	0.277	63.9
2	27.196	0.037	11.0	2	26.627	0.038	11.4
3	26.402	0.038	9.9	3	26.785	0.037	8.0
4	4.016	0.249	2.8	4	4.016	0.249	4.2
Totale G_x (>=85%)			87.6	Totale G_x (>=85%)			87.4

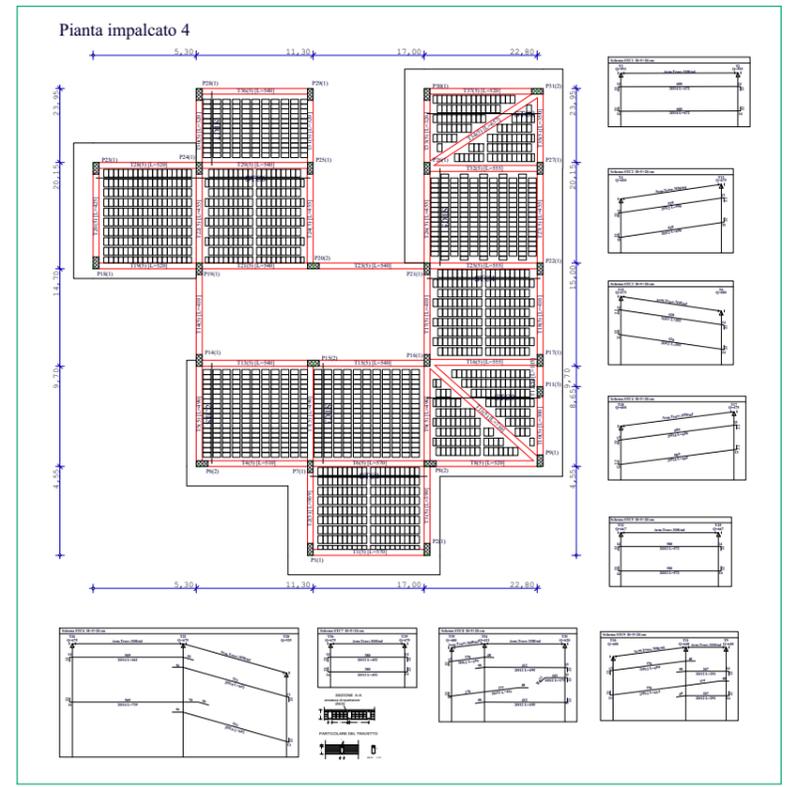
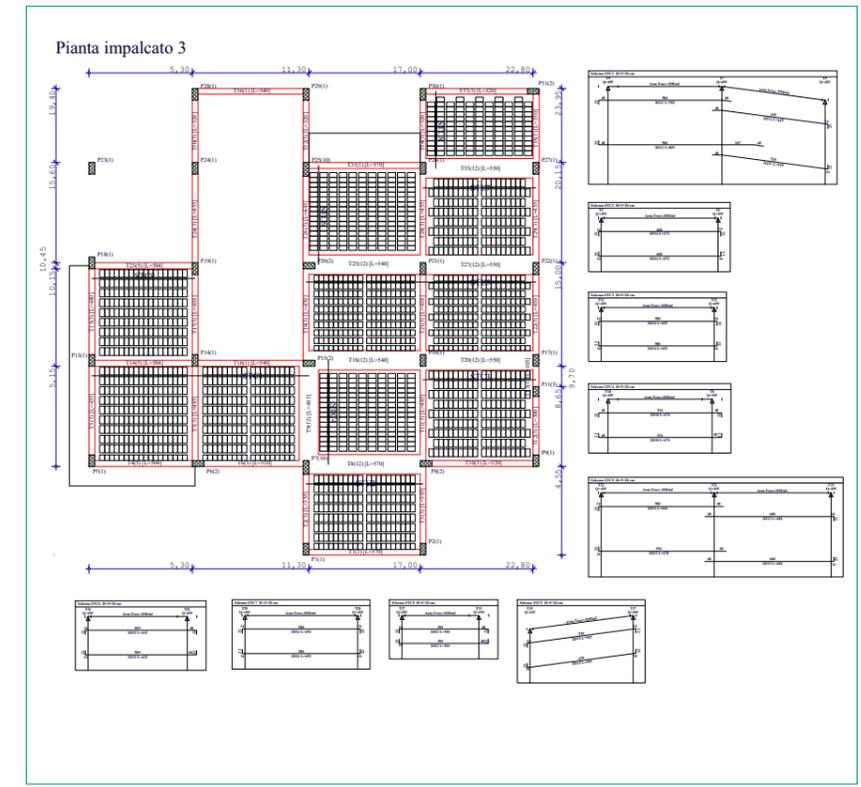
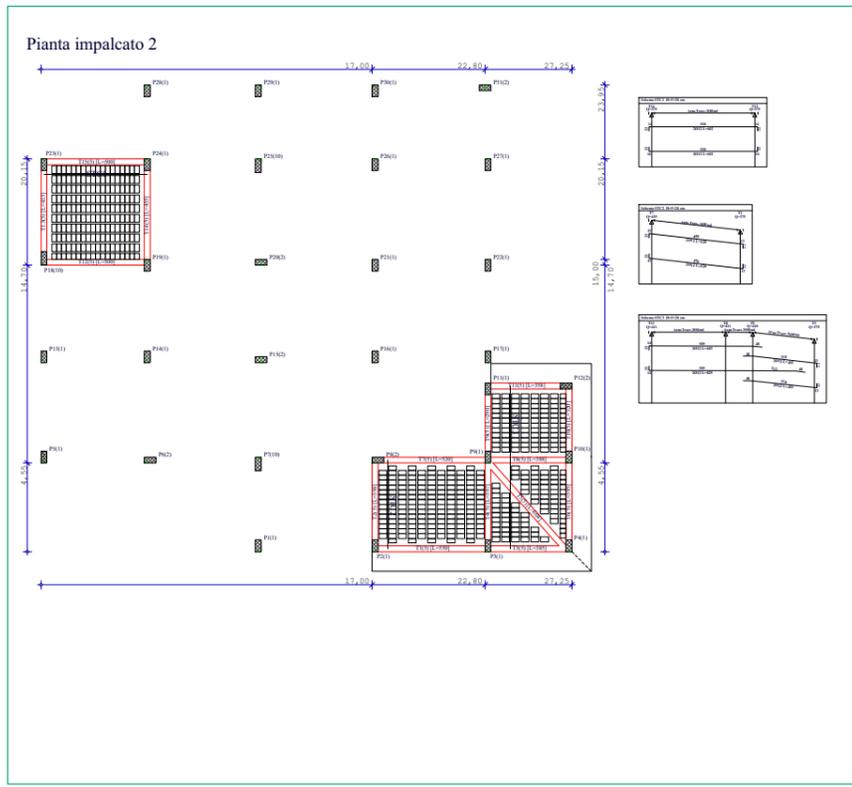


5) Disegno armature e particolari costruttivi

Operazione automatica
 Completate le fasi precedenti è necessario produrre tutto gli elaborati grafici che riportano le indicazioni costruttive. Questa è una fase pressoché automatica, poiché i software disponibili consentono di realizzare le tavole esecutive con tutti i particolari richiesti. Si tratta comunque di una fase importante, poiché la norma prevede indicazioni precise sulla distribuzione di armature, sui minimi di area necessaria di ferro.

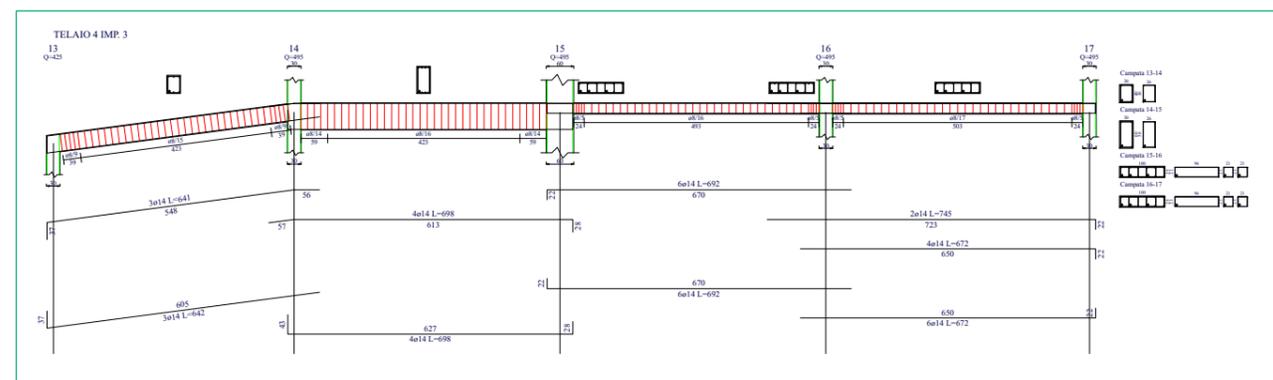
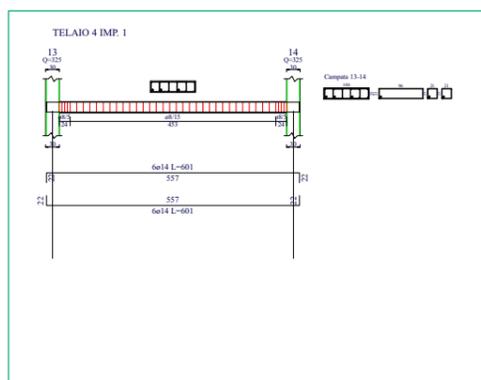
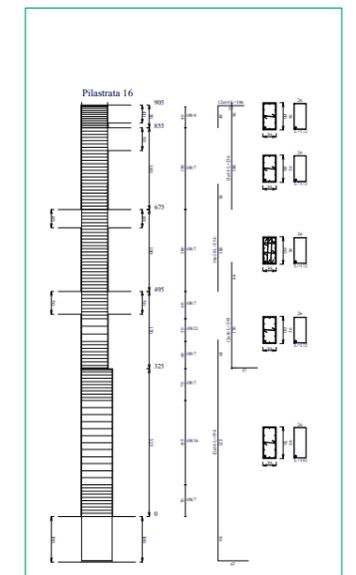
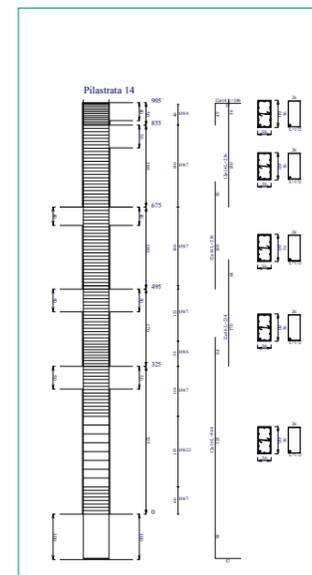
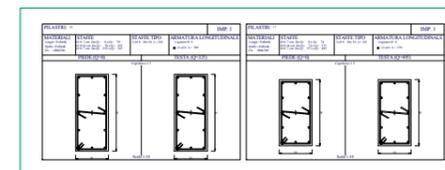
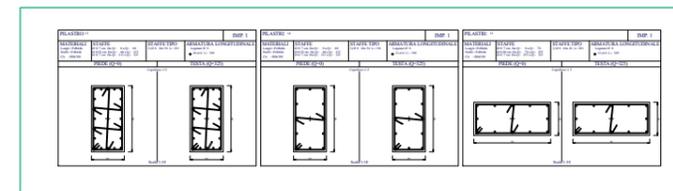
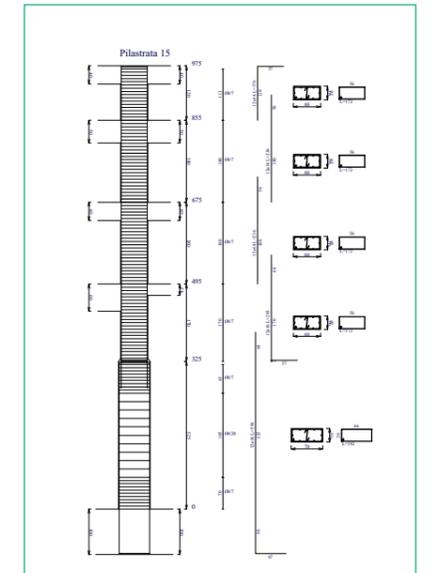
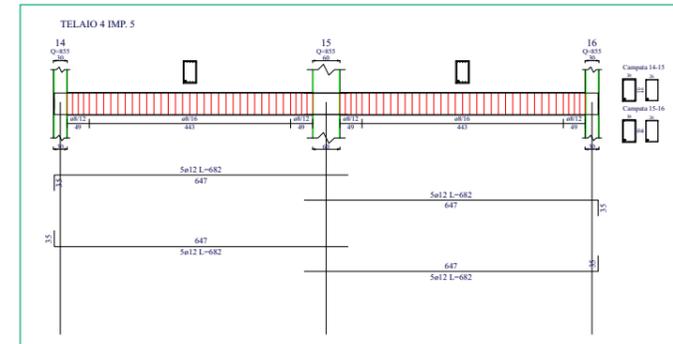
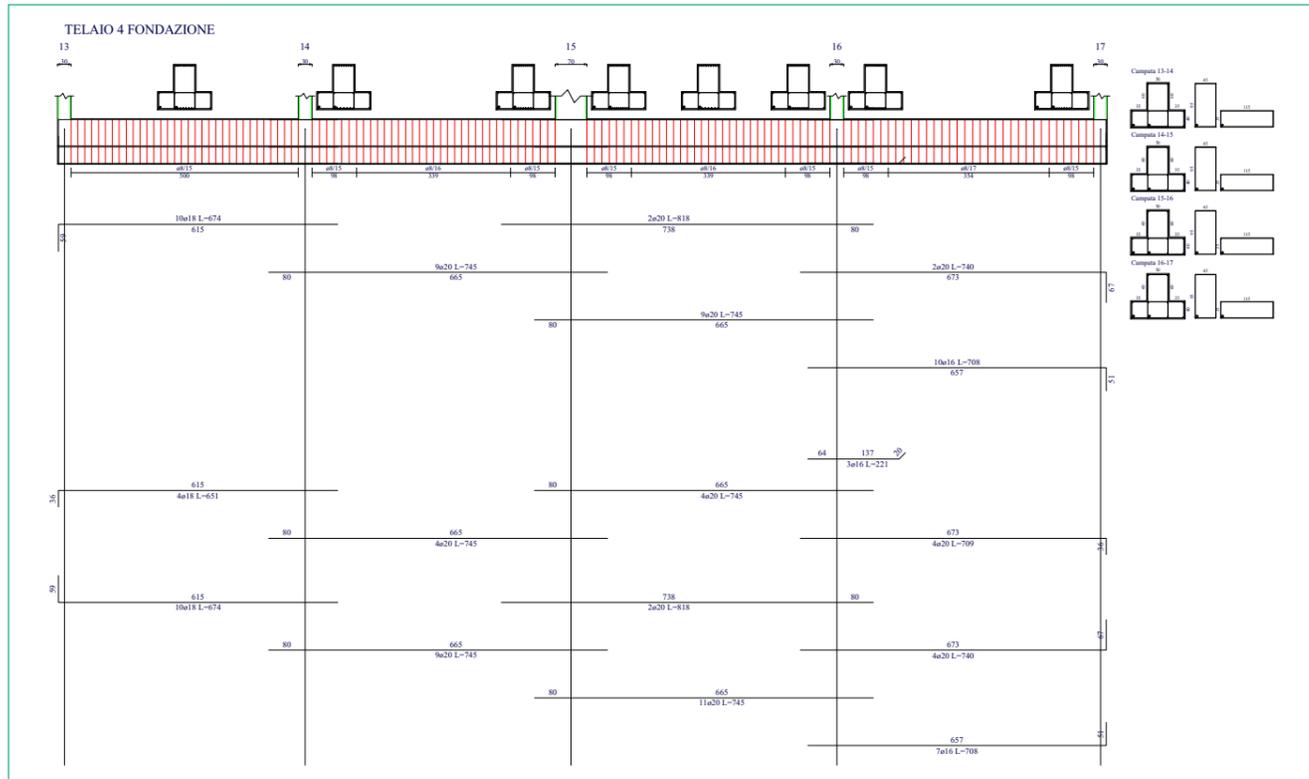
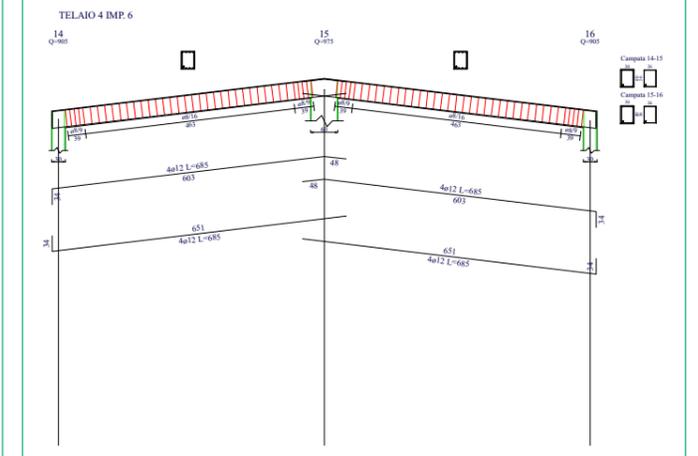
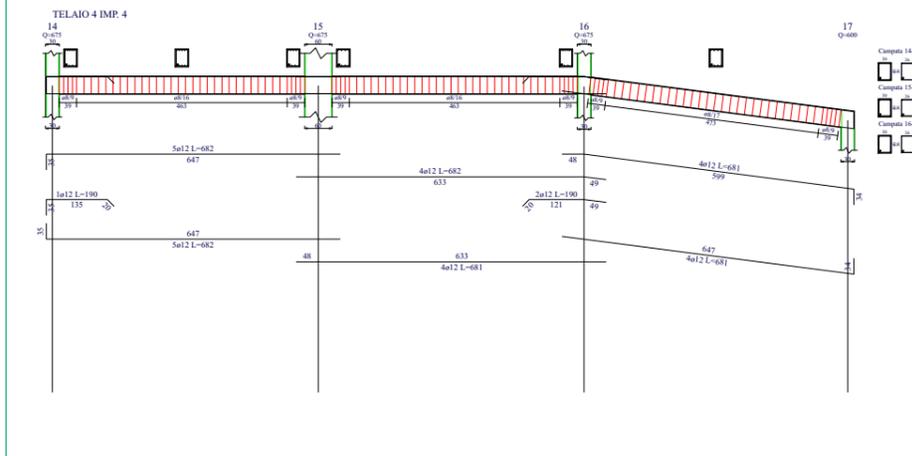
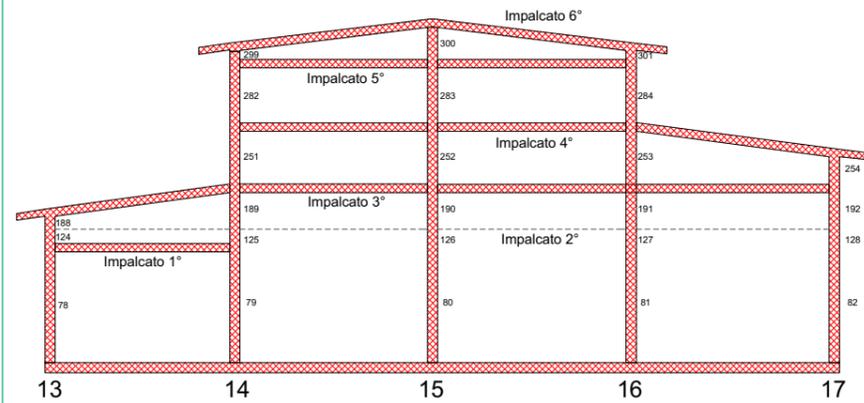


CARPENTERIE FONDAZIONI E IMPALCATO 1-2-3-4-5 e 6



ARMATURE TRAVATE E PILASTRATE TELAIO 4

Schema Telaio 4 - Pilatri 13-14-15-16-17



Architettura e Valle Giulia

6) Valutazione economica

L'applicazione delle prescrizioni dell'ordinanza 3274, confrontata con il D.M. 96 comporta un innalzamento dei costi di costruzione, derivante dalla maggiore quantità di calcestruzzo e di acciaio richiesto per la realizzazione dei nuovi edifici.

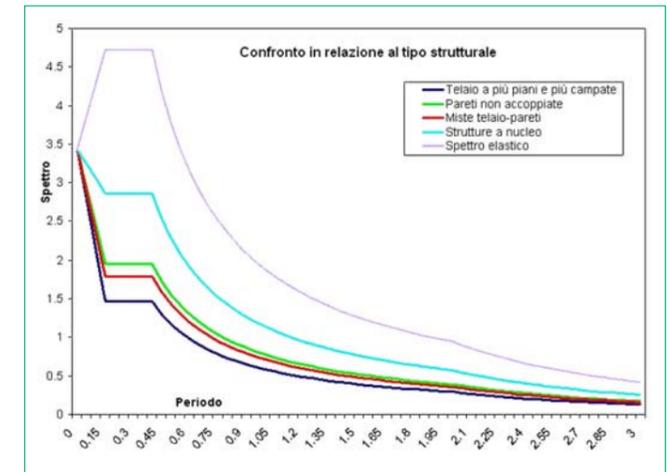
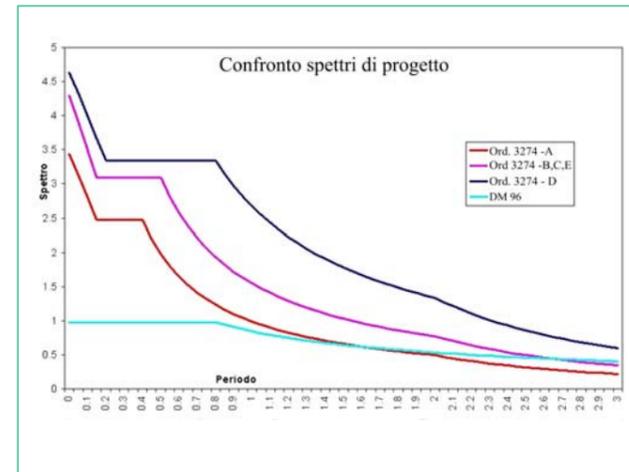
Ciò costituisce il prezzo della accresciuta sicurezza conferita alle strutture in zona sismica.

L'incidenza del dimensionamento delle strutture sul costo della realizzazione delle stesse, seppure limitato a travi e pilastri, è stato stimato comparativamente prendendo a base il dimensionamento ottenuto con il decreto ministeriale 16 gennaio 1996.

I maggiori costi dipendono dall'azione sismica di progetto più elevata e dal rispetto della gerarchia delle resistenze prevista dall'Opc che porta ad un dimensionamento in cui l'incidenza dell'acciaio è maggiore specie nei punti non dissipativi con resistenza superiore alla domanda.

Pertanto l'applicazione delle nuove norme per l'edificio in esame porta ad un incremento di costi rispetto a quanto ottenuto dall'applicazione del D.M. 96 del 23%.

CONFRONTO SPETTRI



RENDERING STRUTTURA

