



UNIVERSITA' DI FERRARA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA

INGEGNERIA CIVILE [1227] Classe LM23

CORSO DI
FONDAZIONI

[012388]

AA 2017-2018

PROF. ING. CLAUDIO COMASTRI

mail claudio.comastri@unife.it
ing.comastri@studiothesis.it

tel. 051 675 0312 Studio Thesisengineering

Ricevimento: il venerdì dalle 11,30 alle 13,00 in Dipartimento Ingegneria
1°Piano - Studio 127.



OBIETTIVI DEL CORSO

Il corso fornisce i principi ed i concetti fondamentali di «**Teoria e Tecnica delle Fondazioni**». Durante il corso si illustrano ed approfondiscono i criteri e le modalità con cui affrontare la **progettazione delle fondazioni** a partire dalla **analisi geologica** e **geotecnica dei terreni**, attraverso la scelta delle **tipologie di fondazioni** più adatte all'opera da costruire, fino alla **verifica della stabilità geotecnica e strutturale del sistema**, costituito da terreno – fondazione - sovrastruttura, in campo statico e dinamico (sismica). Si affrontano e si approfondiscono gli aspetti che riguardano **la direzione dei lavori** nelle fasi di costruzione, le prove ed i controlli, i **monitoraggi** delle opere e dell'ambiente in cui sono realizzate, **i collaudi**.



OBIETTIVI DEL CORSO - PREREQUISITI

Ai fini dell'apprendimento dei principi della materia, è indispensabile affrontare, durante lo svolgimento delle lezioni, gli aspetti riguardanti i requisiti generali di progetto, gli aspetti principali della geologia alla scala delle tematiche da studiare, le campagne geognostiche, il comportamento meccanico delle terre e l'analisi strutturale, cui seguiranno aspetti prettamente applicativi riguardanti la scelta del tipo di fondazione, i criteri di predimensionamento, l'analisi geotecnica e l'analisi strutturale. In ultimo si procederà all'esame di alcuni casi reali per permettere agli studenti di affinare la sensibilità progettuale

Per il corso di fondazioni si consiglia la conoscenza delle basi delle materie: Scienza delle Costruzioni, Idraulica e Geotecnica. Si devono inoltre conoscere le metodologie e le attrezzature per le indagini geotecniche e le prove di laboratorio con i criteri interpretativi per la stima dei valori caratteristici dei parametri geotecnici. E' fondamentale la conoscenza dei metodi di verifica della sicurezza strutturale, nonché delle norme tecniche per le costruzioni vigenti, compresi gli Eurocodici relativi alla progettazione delle fondazioni. Durante il corso saranno comunque fatti alcuni richiami alle materie di base per introdurre i concetti necessari alle analisi che saranno affrontate.



METODI DIDATTICI

Per sviluppare in maniera adeguata gli aspetti teorici e nel contempo applicativi della disciplina, il corso si articola in lezioni frontali ed esercitazioni sviluppate in aula dal docente.

Un progetto, che riguarderà fondazioni superficiali e fondazioni profonde, sarà sviluppato dagli Studenti durante il corso: revisioni dei progetti saranno condotte settimanalmente per verificarne la correttezza e lo stato di avanzamento. Il progetto sarà valutato dal docente durante le ore di lezione che saranno dedicate a tale verifica. Il progetto, completo, sarà portato dallo Studente all'esame di verifica e la sua valutazione maturata dal docente durante l'anno farà parte della valutazione finale complessiva. Il progetto potrà essere realizzato in gruppo: il numero dei componenti i gruppi sarà da 4 a 6 componenti.



CRITERI DI VERIFICA D'APPRENDIMENTO

Esame orale per Coloro che avranno completato il progetto durante il corso

Nel corso della verifica saranno poste tre domande all'esaminando:

- La prima domanda riguarderà il progetto realizzato durante il corso, che sarà presentato dal gruppo o parte di esso con una proiezione in .pptx della durata di 10 minuti. Durante la proiezione il Docente farà domande nel merito agli esaminandi. Il progetto dovrà essere completato prima di accedere all'esame stesso. Il voto di questa prima domanda conterrà la valutazione del progetto.
- La seconda domanda riguarderà uno tra tutti gli argomenti trattati durante il corso relativi alle fondazioni superficiali
- La terza domanda riguarderà uno tra tutti gli argomenti trattati durante il corso relativi alle fondazioni profonde.

Esame scritto ed orale per Coloro che non avranno completato o realizzato il progetto durante il corso .

Nel caso in cui lo Studente non abbia potuto realizzare il progetto durante il corso, l'esame sarà anche scritto. Sarà consegnato un tema da risolvere con la progettazione di una fondazione superficiale o profonda, anche in termini numerici. Superata la prova scritta lo Studente accederà alla prova orale costituita da 2 domande come per la tipologia precedente.



PROGRAMMA DEL CORSO

- Definizioni e significato di fondazione;
 - Tipologie ed esempi di fondazioni per qualunque tipo di opera;
 - Cenni su geologia, idrologia e caratteristiche ambientali del territorio;
 - Modellazione litostratigrafica, geomorfologica, propensione al dissesto, ecc.;
 - Richiami di meccanica delle terre;
 - Richiami di metodi di indagine dei terreni;
 - Misure e monitoraggi in sito;
 - Elaborazione dati e risultati per la determinazione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici;
 - Modellazione geotecnica;
-
- Fondazioni dirette: fondazioni su plinti, fondazioni continue, platee;
 - Carico limite delle fondazioni dirette: rottura generale, rottura locale e punzonamento, domini di interazione, influenza della falda e coefficiente di sicurezza;
 - Cedimenti delle fondazioni dirette: metodi e criteri di calcolo;
 - Interazione terreno-fondazione: metodi di analisi e modelli interpretativi;
 - Interazione terreno-fondazione-sovrastuttura: principi, influenza della sovrastruttura;
 - Criteri di dimensionamento delle strutture di fondazione: fondazioni dirette



PROGRAMMA DEL CORSO

- Fondazioni profonde: definizioni e tipologie
- Pali di fondazione: tipologie e caratteristiche tecniche
- Pali di fondazione: tecnologie esecutive;
- Carico limite dei pali di fondazione;
- Analisi delle fondazioni su pali sotto carichi di esercizio;
- Sperimentazione sui pali di fondazione;
- Stabilità dell'equilibrio;
- Normativa.



BIBLIOGRAFIA GENERALE

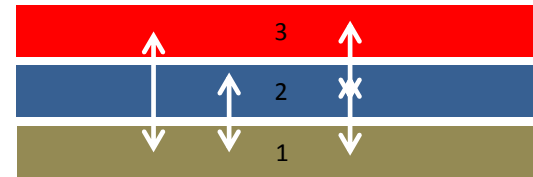
- 1) Berardi R. (2009) «Fondamenti di Geotecnica) Ed. Città Studi
- 2) Lancellotta R. (2004) «Geotecnica» Ed. Zanichelli
- 3) Bowles J.(2000) "Foundation analisys and design"- Ed.McGraw Hill;
- 4) Viggiani C. (2000) "Fondazioni"- Ed.Hevelius;
- 5) Cestari F. (2001) "Prove geotecniche in sito"-Ed. Acque Sotterranee;
- 6) Lancellotta R. e Calavera J.(2001) "Fondazioni"- Ed.McGraw Hill;
- 7) Pozzati P.(1979) "Tecnica e teoria delle strutture"- Ed. Utet
- 8) Atkinson J. (1997) «Geotecnica» Ed.McGraw Hill
- 9) Poulos H.G., Davis E.H. (1980) «Pile Foundation Analysis and Design» Ed. Wiley



DEFINIZIONI

La fondazione è l'elemento strutturale che trasferisce i carichi dalla struttura in elevazione al terreno; essa è parte del complesso composto da tre elementi che concorrono a formare un unico sistema strutturale complesso, il cui comportamento dipende dalle caratteristiche di ciascun elemento e dalla mutua interazione tra essi:

1. Terreno o roccia.
2. Fondazione propriamente detta.
3. Struttura in elevazione.



La struttura di fondazione costituisce il necessario elemento di raccordo tra sovrastruttura e terreno o roccia, concepita in modo da trasferire le sollecitazioni provenienti dall'elevazione al terreno, o roccia, assicurando il rispetto di requisiti di sicurezza per tutto il sistema e per ciascuna parte di esso.

Le fondazioni possono essere classificate in tre grandi categorie (Terzaghi):

- Fondazioni superficiali o “dirette”: esse trasmettono i carichi al terreno solo sul piano d'appoggio
- Fondazioni profonde o “indirette”: esse trasmettono i carichi lungo le superfici laterali all'interno del sottosuolo.
- Fondazioni “semi-profonde”: come le fondazioni indirette trasmettono i carichi lungo le superfici laterali e sul piano d'appoggio.



DEFINIZIONI

La distinzione tra fondazioni superficiali e fondazioni profonde è generalmente definita dal rapporto D/B , dove D è la profondità del piano di posa sul quale ha sede la fondazione e B è la larghezza minima della base d'appoggio della fondazione: la fondazione si dice diretta o superficiale se il Rapporto D/B è ≤ 4 . Le fondazioni si dicono profonde o indirette per un rapporto $D/B > 10$. Semi-profonde sono le fondazioni con rapporto $4 < D/B < 10$.

Il dimensionamento e la verifica delle fondazioni sono complessi perché occorre tenere presente sia le caratteristiche della sovrastruttura sia le caratteristiche del sottosuolo oltre alle caratteristiche della fondazione stessa. La rappresentazione della realtà fisica attraverso la modellazione del sistema che coinvolge il terreno, la fondazione, la sovrastruttura è assai complessa. Non è sufficiente implementare un modello matematico; occorre anche individuare e costruire un modello che rappresenti il più possibile la realtà fisica. Lo studio del sottosuolo è una fase imprescindibile della progettazione dell'intero sistema rappresentato da sottosuolo, fondazione, sovrastruttura; lo stesso studio geotecnico è indirizzato nella scelta dei parametri che rappresentano il sottosuolo, dalle caratteristiche architettoniche, strutturali e funzionali della sovrastruttura.



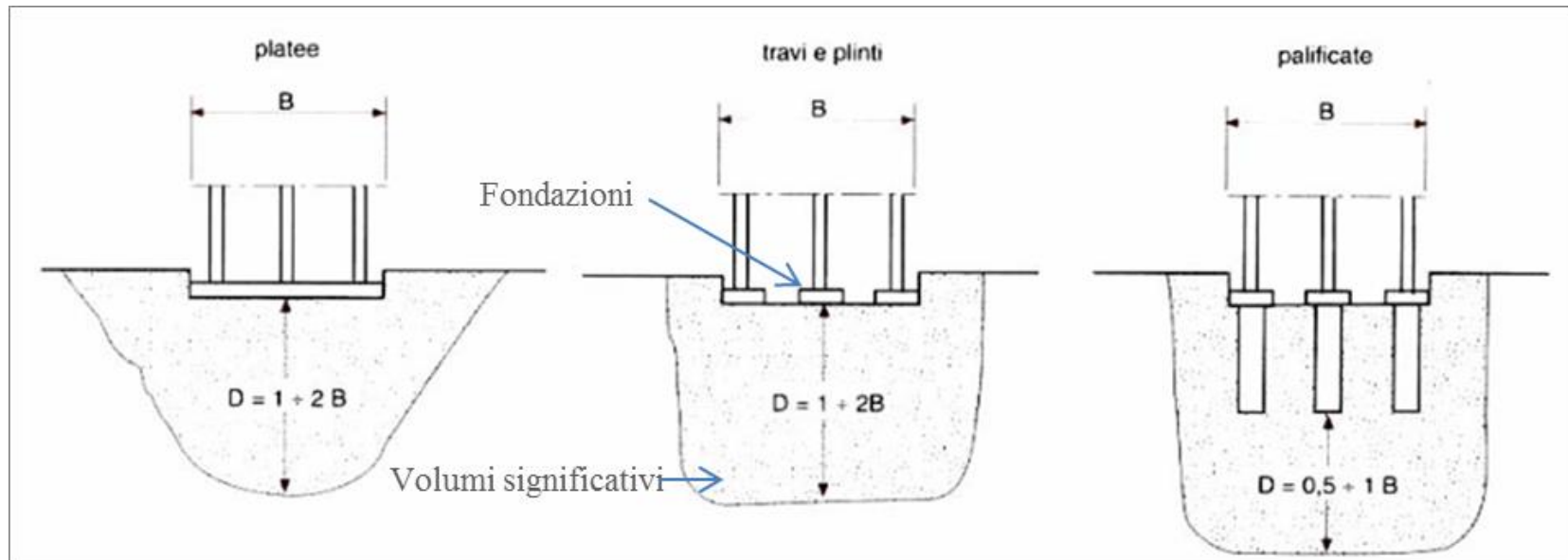
DEFINIZIONI

FONDAZIONE DIRETTA / SUPERFICIALE

FONDAZIONE SEMI-PROFONDA

FONDAZIONE PROFONDA

VOLUME SIGNIFICATIVO



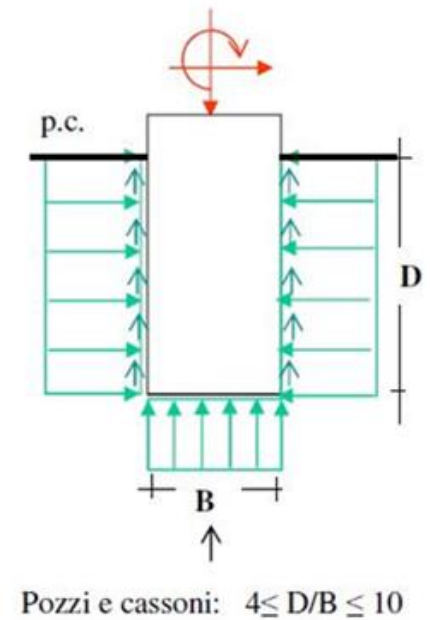
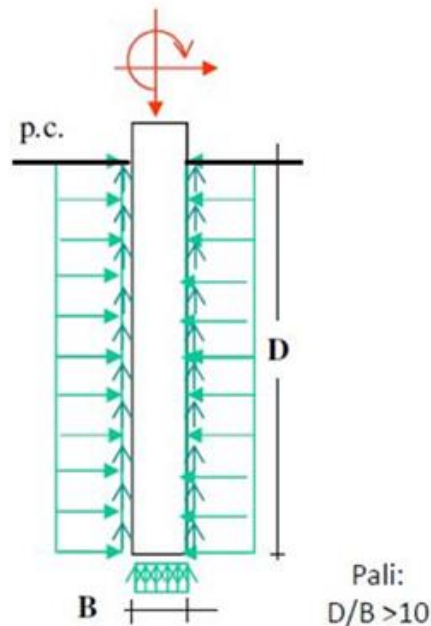
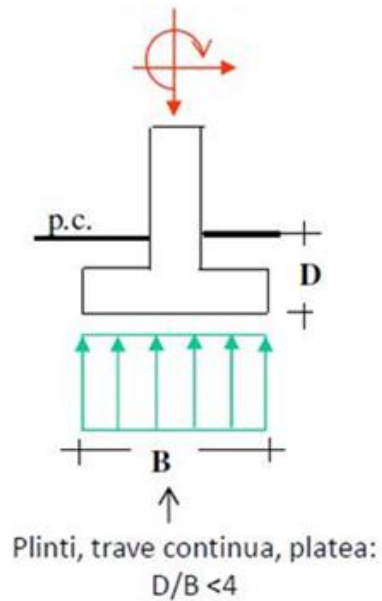
DEFINIZIONI

FONDAZIONE DIRETTA / SUPERFICIALE

FONDAZIONE SEMI-PROFONDA

FONDAZIONE PROFONDA

VOLUME SIGNIFICATIVO





FASI DI COSTRUZIONE DI UN RETICOLO DI TRAVI DI FONDAZIONE TIPO DIRETTO





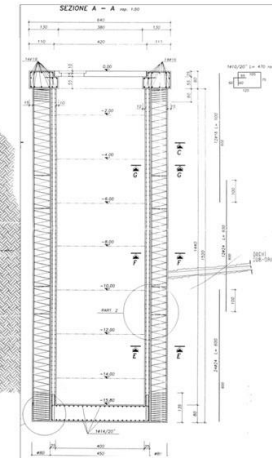
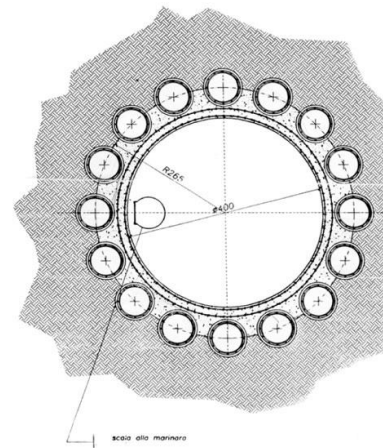
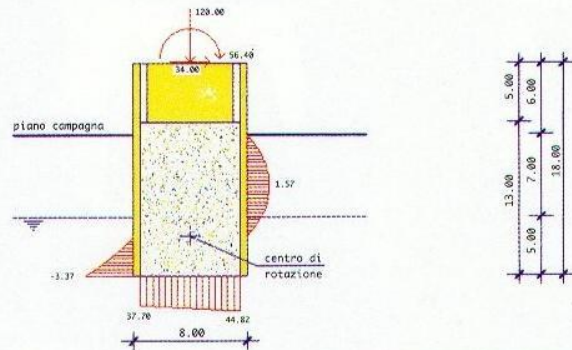
FASI DI COSTRUZIONE DI UNA PLATEA DI FONDAZIONE – FONDAZIONE DIRETTA





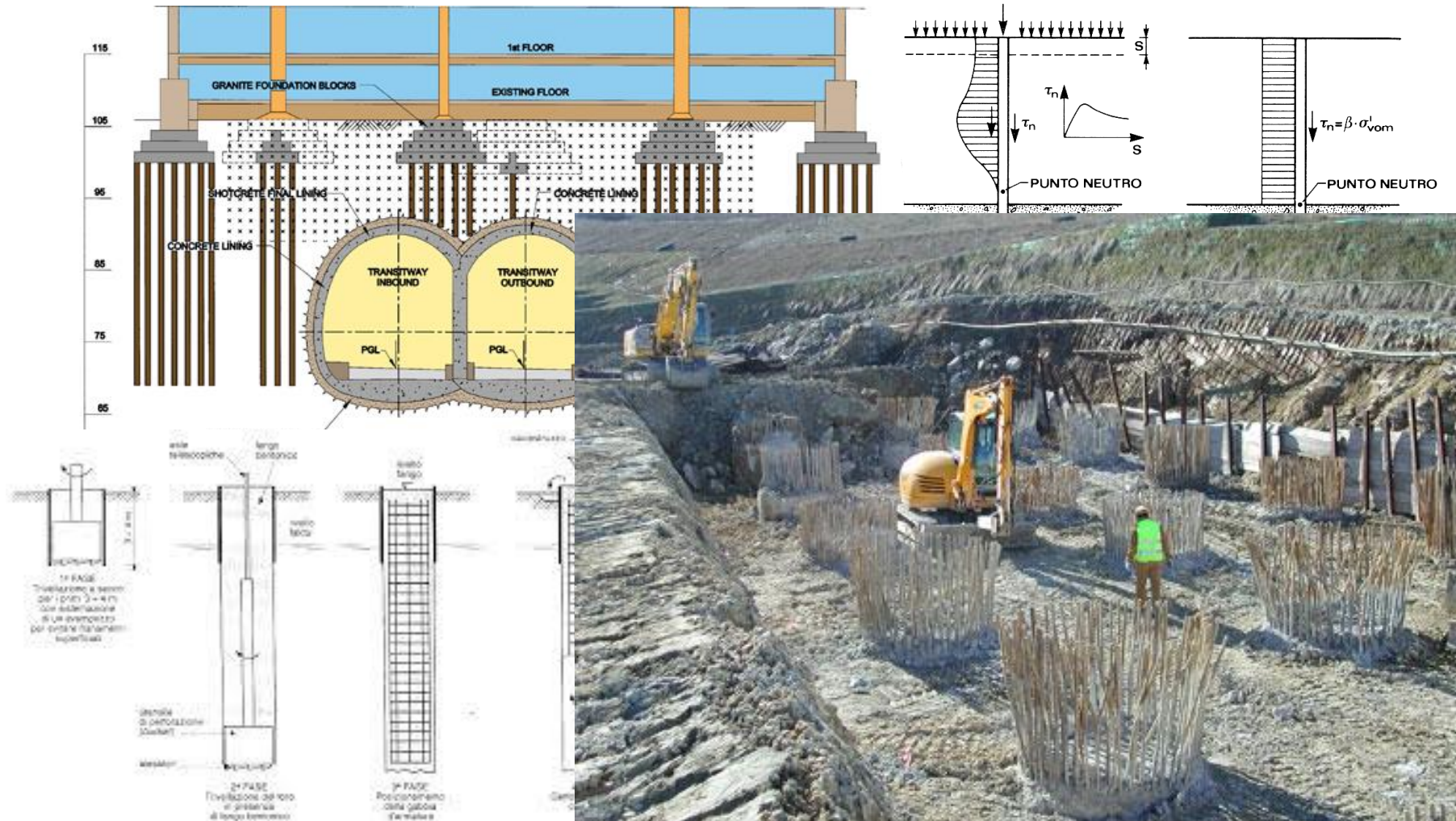
FONDAZIONE A POZZO – SEMIPROFONDA - PROFONDA

FONDAZIONE A POZZO Ht=18.00 M SEZIONE ORIZZONTALE CIRCOLARE
Condizione di carico n.ro 1
Scala 1:200 - Diagr. delle press. orizz. esaltato graficamente 15 volte



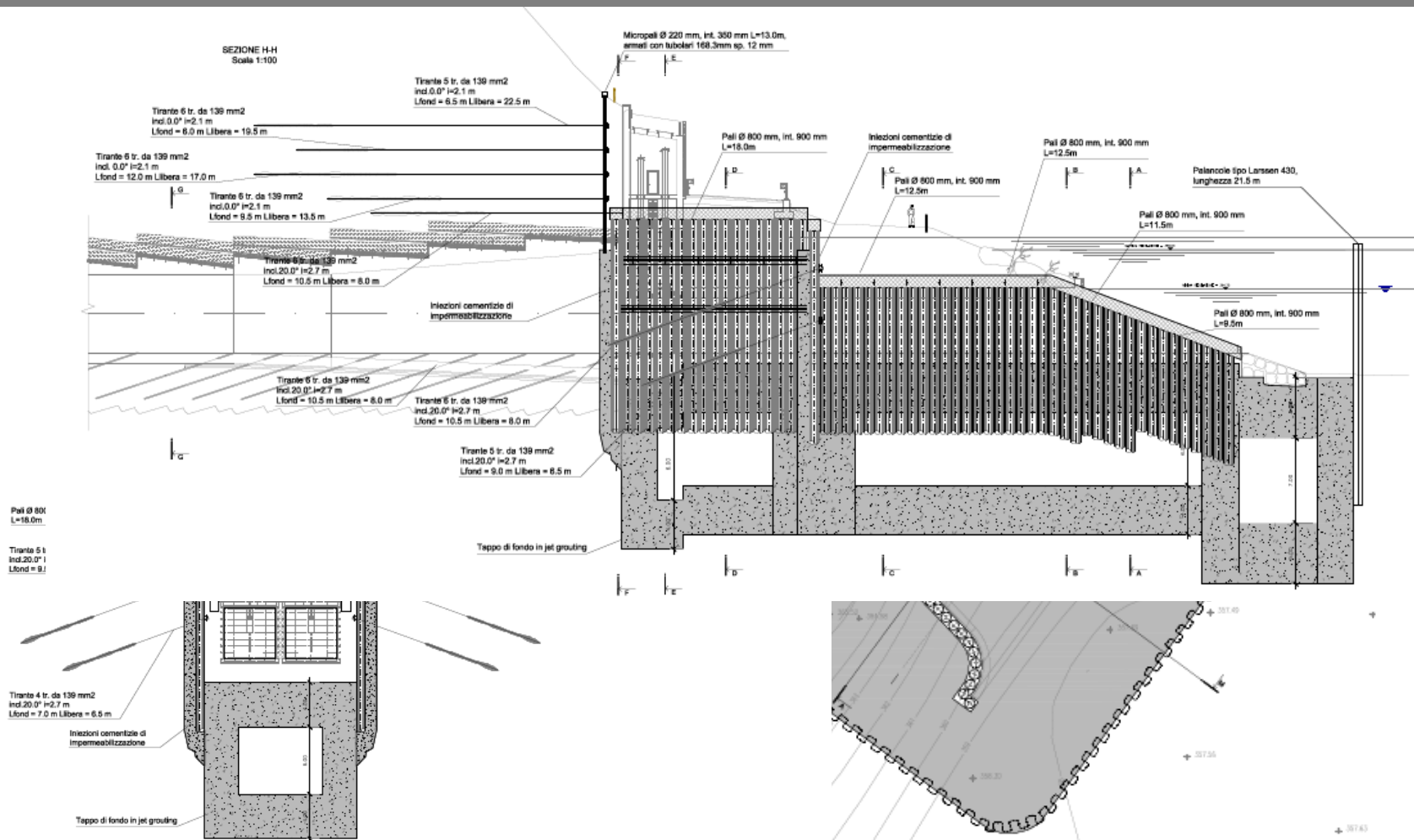


PALI DI FONDAZIONE: FONDAZIONI PROFONDE



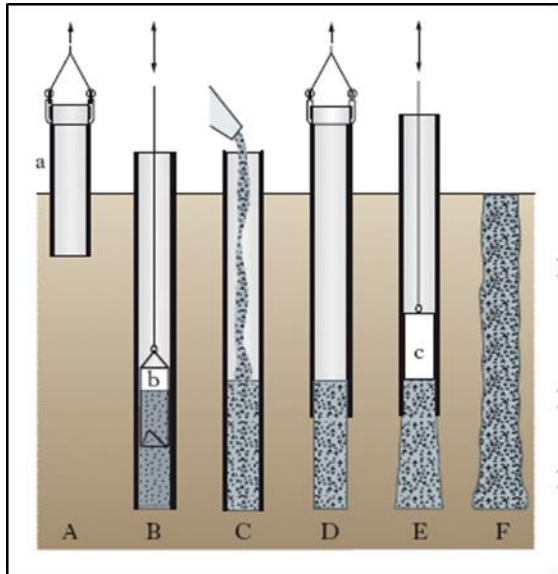


PALI DI FONDAZIONE: FONDAZIONI PROFONDE





PALI DI FONDAZIONE: FONDAZIONI PROFONDE





DEFINIZIONI





STRUTTURE DI GRANDI DIMENSIONI





STRUTTURE PARTICOLARI





EDIFICI STORICO CULTURALI





PONTI E VIADOTTI





PROBLEMI DI FONDAZIONE





VIABILITA' – PONTI E CAVALCAVIA





REQUISITI DI PROGETTO E CRITERI DI PROGETTAZIONE



REQUISITI DI PROGETTO

Il progetto di un'opera qualunque deve essere indirizzato all'ottenimento dei requisiti che quella determinata opera deve soddisfare nell'arco di tempo della propria vita nominale.

I requisiti sono generalmente gli stessi per ciascuna opera.

Per le fondazioni, che costituiscono il necessario elemento di raccordo tra le sovrastrutture ed il terreno, i requisiti che devono soddisfare essenzialmente:

- ☐ Sicurezza rispetto alla rottura del terreno per carico limite SLU (GEO)
- ☐ Limitazione degli spostamenti assoluti e differenziali SLE (GEO, STR)
- ☐ Sicurezza rispetto alla rottura della struttura della fondazione SLU (STR)

I requisiti devono essere raggiunti realizzando opera di fondazioni che siano economicamente sostenibili e realizzabili nell'ambito del cantiere in cui sono previste.

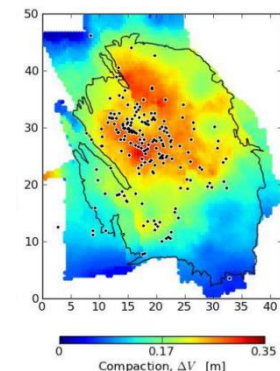
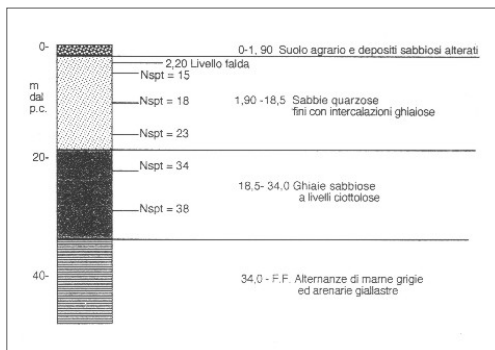
Il progetto delle fondazioni di un'opera è informato alle caratteristiche della sovrastruttura ed alle caratteristiche del terreno di fondazione; esso si sviluppa attraverso fasi di studio la normativa articola nei livelli dal preliminare al definitivo ed esecutivo.

REQUISITI DI PROGETTO: FATTORI DA CONSIDERARE

In linea generale i requisiti che devono essere soddisfatti per le opere di fondazione non sono diversi da quelli che riguardano le strutture in genere. In alcuni casi comunque essi acquisiscono per le fondazioni un peso maggiore di quello che può essere ascrivito a requisiti delle sovrastrutture (limitazione dei cedimenti, fattori tecnologici, costruttivi).

Per soddisfare i requisiti elencati il progetto della fondazione deve tenere conto dei seguenti fattori:

- Sottosuolo:** costituzione, natura e caratteristiche dei terreni, regime idraulico superficiale e del sottosuolo, condizioni di stabilità (frane, subsidenza, processi di alterazione, ecc) e modello geotecnico
- Opera da realizzare:** Architettura, forma e dimensioni dell'opera, caratteristiche ed entità dei carichi, materiali, tipologia strutturale, destinazione d'uso, fruibilità, impiantistica.
- Ambiente:** Morfologia superficiale del terreno regimazione acque superficiali, presenza di manufatti o impianti esistenti, fattori stagionali e climatici, azioni sismiche. .





FASI DI STUDIO E PROGETTAZIONE DELLE FONDAZIONI

Anche dal punto di vista del processo progettuale le fondazioni sono studiate seguendo un criterio simile a quelli per la progettazione di altre strutture anche se, comunque esse si distinguono per alcune particolarità.

1. Studio dell'opera da collegare al suolo con le fondazioni di cui si tratta. Individuazione di tutte le caratteristiche (cedimenti ammissibili, fruibilità, ecc.) atte ad identificare i criteri di studio delle sottosuolo (volume significativo ecc..)
2. Analisi del sito e studio delle relative caratteristiche geologiche generali e di dettaglio: GEOLOGIA
3. Pianificazione delle indagini geognostiche e delle attività di monitoraggio, controllo, rilievi topografici e quanto necessario per redigere il modello geotecnico del sottosuolo. GEOTECNICA
4. Proposta di possibili tipologie di fondazione in funzione dei requisiti da soddisfare.
5. Scelta del tipo di fondazione
6. Progetto e verifiche delle fondazioni
7. Analisi del regime di tensioni e deformazioni che consegue all'interazione terreno-fondazione-struttura
8. Studio delle modalità esecutive e cantierizzazione
9. Pianificazione dei monitoraggi dei controlli in fase di esercizio, sistemi di collaudo
10. Bilancio economico



FASI DI STUDIO E PROGETTAZIONE DELLE FONDAZIONI

1. Studio dell'opera da collegare al suolo con le fondazioni di cui si tratta. Individuazione di tutte le caratteristiche (cedimenti ammissibili, fruibilità, ecc.) atte ad identificare i criteri di studio delle sottosuolo (volume significativo ecc..)

ARCHITETTURA

Forme e Dimensioni planimetriche ed altimetriche con illustrazione delle singolarità e particolarità dell'opera , presenza di interrati o seminterrati



Materiali di costruzione (acciaio ,cemento armato, legno, vetro , altri materiali e loro combinazione all'interno del sistema)

Funzionalità , distribuzione interna degli spazi e rispettive destinazioni d'uso nel caso di fabbricati ad uso civile – residenziale, industriale.

Relazione dell'opera con opere adiacenti o presenti in prossimità

Vita nominale dell'opera





FASI DI STUDIO E PROGETTAZIONE DELLE FONDAZIONI

1. Studio dell'opera da collegare al suolo con le fondazioni di cui si tratta. Individuazione di tutte le caratteristiche (cedimenti ammissibili, fruibilità, ecc.) atte ad identificare i criteri di studio delle sottosuolo (volume significativo ecc..)

STRUTTURA

Tipo di impianto strutturale: Telaio in acciaio o cemento armato, legno,
Struttura a setti in c.a., Struttura in muratura, Struttura mista
Sistema di costruzione con elementi prefabbricati collegati in opera
Struttura in c.a. interamente o parzialmente realizzata in opera
Sistema iperstatico o isostatico della struttura

Carichi:

Carichi permanenti: peso proprio, permanenti portati,
Carichi di esercizio, Carichi variabili d'esercizio, Carichi accidentali





FASI DI STUDIO E PROGETTAZIONE DELLE FONDAZIONI

1. Studio dell'opera da collegare al suolo con le fondazioni di cui si tratta. Individuazione di tutte le caratteristiche (cedimenti ammissibili, fruibilità, ecc.) atte ad identificare i criteri di studio delle sottosuolo (volume significativo ecc..)

ESERCIZIO

Destinazione d'uso:
Funzionalità:
Impiantistica:
Valore strategico dell'opera:
Requisiti particolari





GEOLOGIA

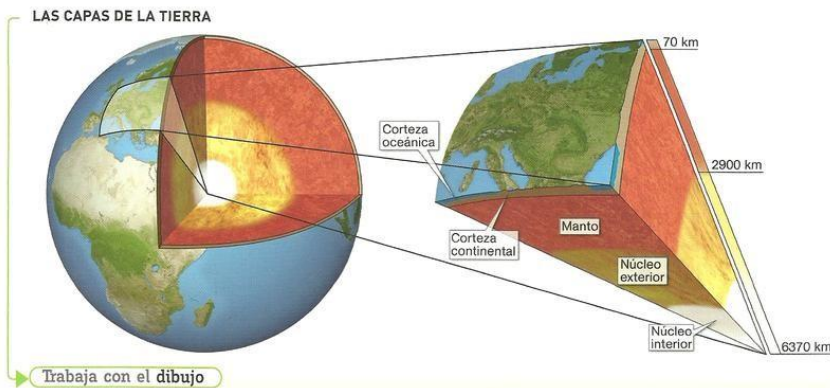


GEOLOGIA

?

Scienza che studia la costituzione, la struttura e l'evoluzione della crosta terrestre; si può suddividere in g. generale o geodinamica, g. strutturale o tettonica, g. stratigrafica o stratigrafia

Costituisce un punto di convergenza di numerose discipline (le scienze della Terra) che hanno appunto come scopo lo studio della Terra nei suoi molteplici aspetti; ha forti legami con la fisica (geofisica), la chimica (geochimica), la planetologia, nonché con tutte le discipline che afferiscono alle scienze naturali, come la geografia fisica e la biologia.



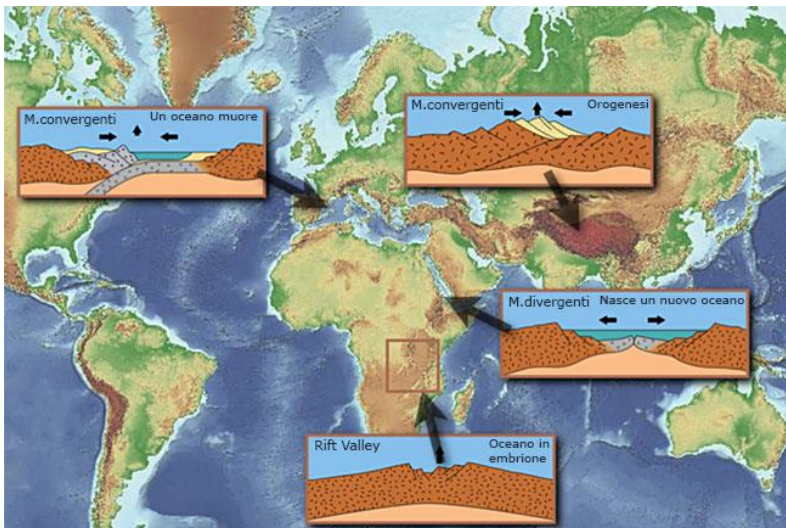


GEOLOGIA

?

Scienza che studia la costituzione, la struttura e l'evoluzione della crosta terrestre; si può suddividere in g. generale o geodinamica, g. strutturale o tettonica, g. stratigrafica o stratigrafia

Costituisce un punto di convergenza di numerose discipline (le scienze della Terra) che hanno appunto come scopo lo studio della Terra nei suoi molteplici aspetti; ha forti legami con la fisica (geofisica), la chimica (geochimica), la planetologia, nonché con tutte le discipline che afferiscono alle scienze naturali, come la geografia fisica e la biologia.



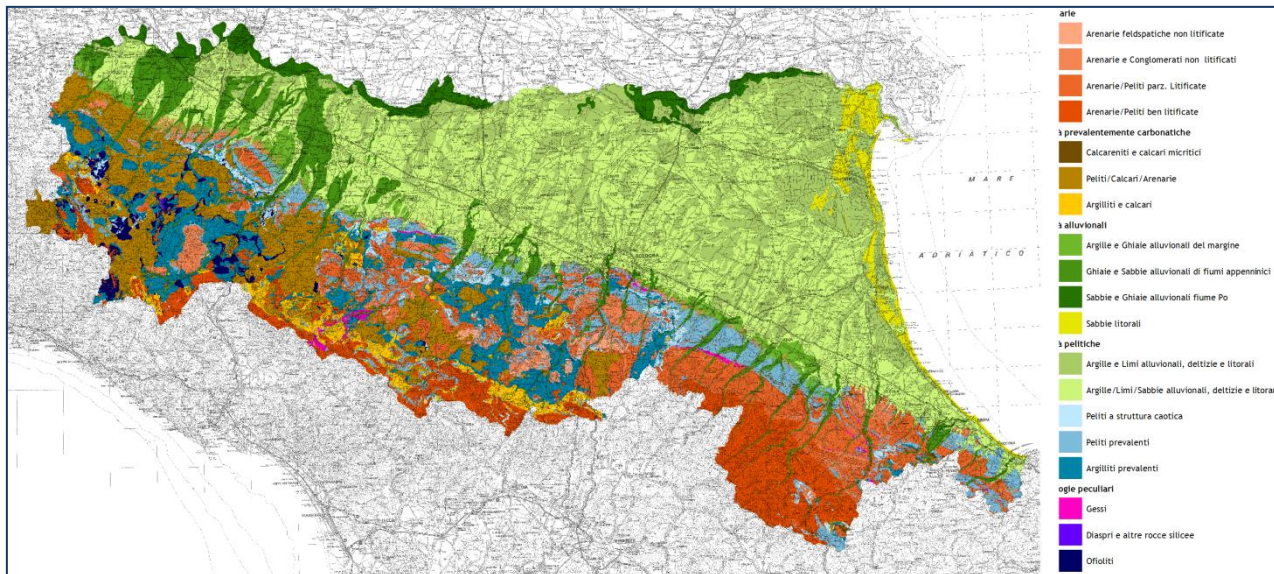


GEOLOGIA

?

Scienza che studia la costituzione, la struttura e l'evoluzione della crosta terrestre; si può suddividere in g. generale o geodinamica, g. strutturale o tettonica, g. stratigrafica o stratigrafia

Costituisce un punto di convergenza di numerose discipline (le scienze della Terra) che hanno appunto come scopo lo studio della Terra nei suoi molteplici aspetti; ha forti legami con la fisica (geofisica), la chimica (geochimica), la planetologia, nonché con tutte le discipline che afferiscono alle scienze naturali, come la geografia fisica e la biologia.



GEOLOGIA

?

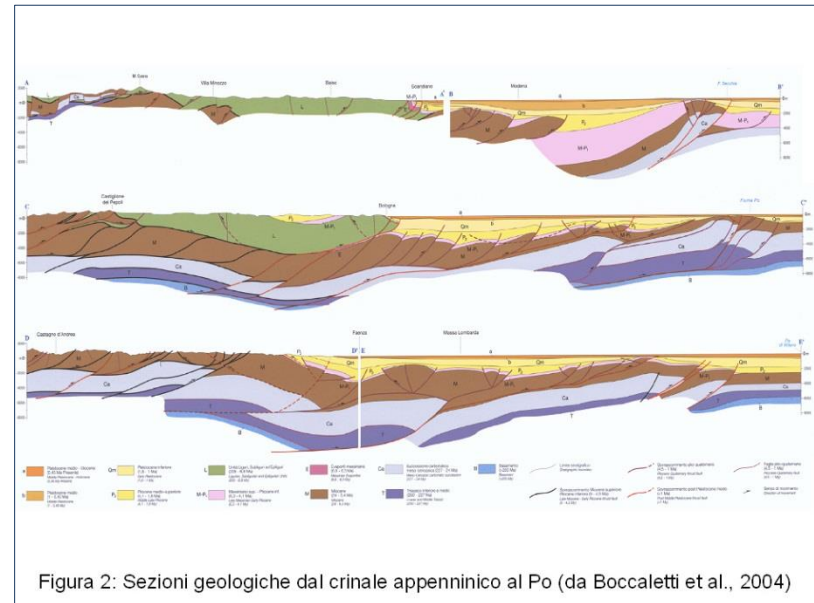
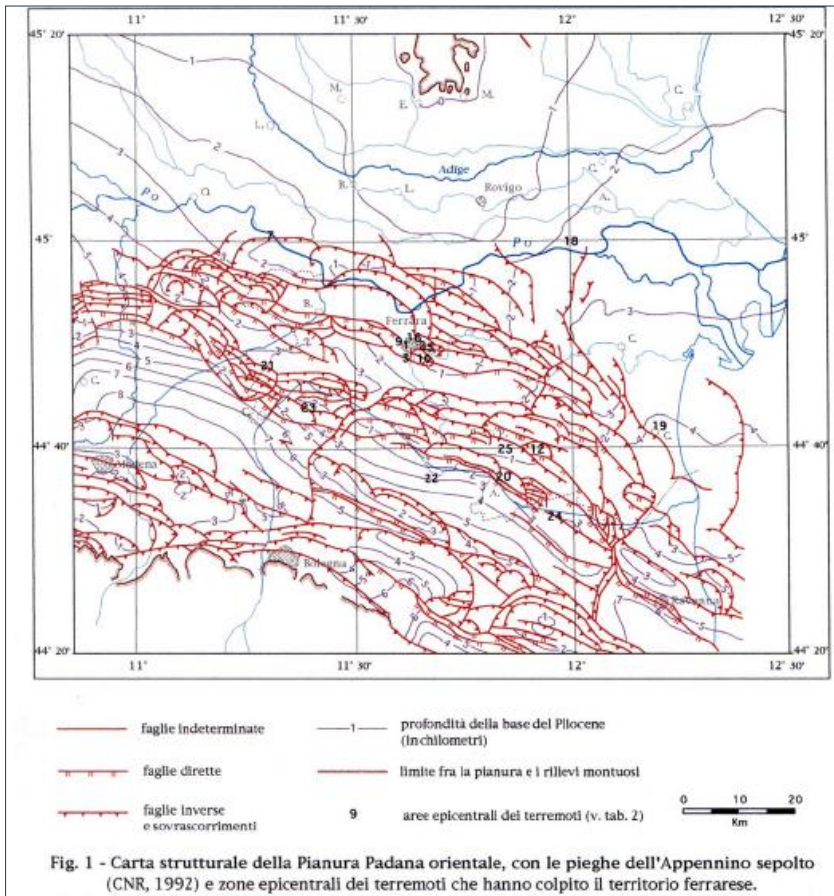
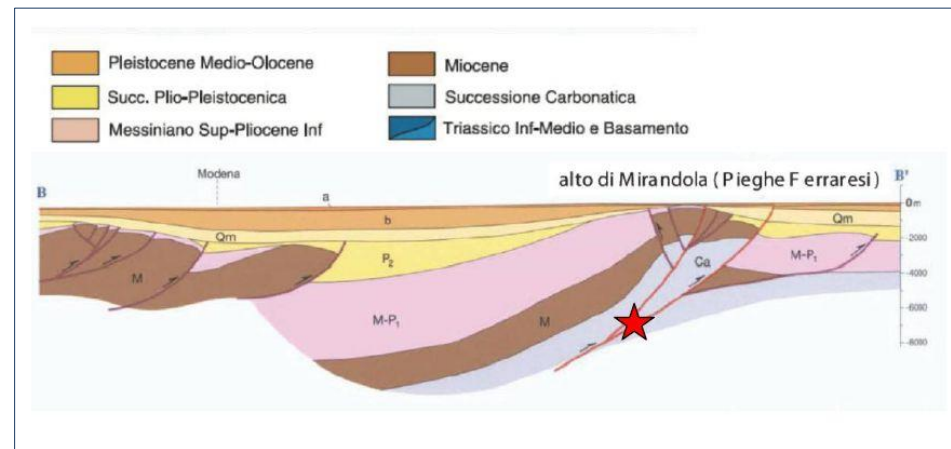


Figura 2: Sezioni geologiche dal crinale appenninico al Po (da Boccaletti et al., 2004)





GEOLOGIA

?



ROCCE

% SiO ₂ (acidità)	Rocce intrusive (plutoniche)	Rocce effusive (vulcaniche)
>65% Acide o sialiche	GRANITI 	RIOLITI 
65-52% Intermedie	DIORITI 	ANDESITI 
52-40% Basiche o femiche	GABBRI 	BASALTI 
<40% ultrabasiche	PERIDOTITI 	

Rocce magmatiche
effusive
40%



riolite



andesite



basalto



pomice

Rocce magmatiche
intrusive
25%



granito



diorite



gabbro

Rocce
metamorfiche
27%



scisto



gneiss



marmo

Rocce
sedimentarie
8%



arenaria



breccia



argilla



calcare

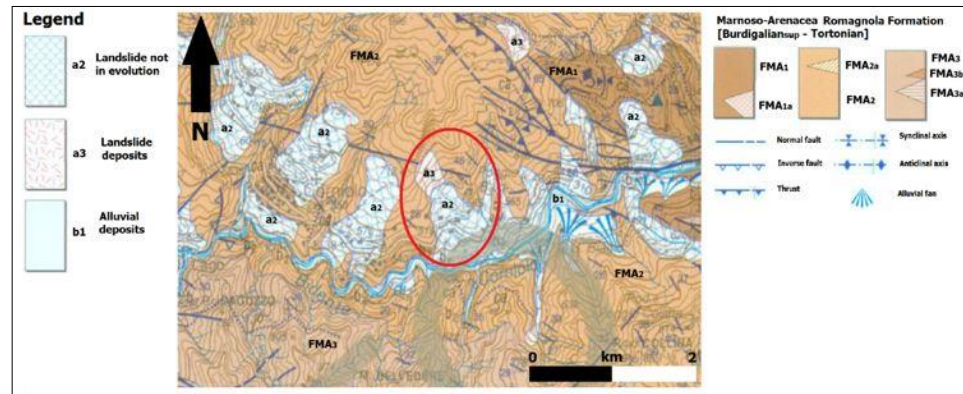
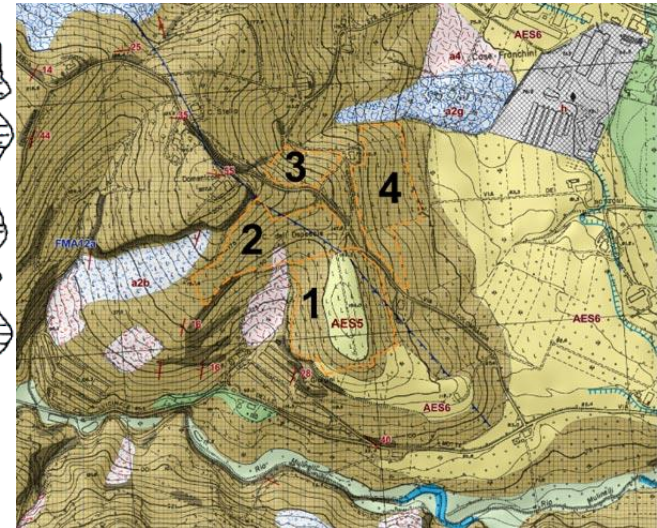
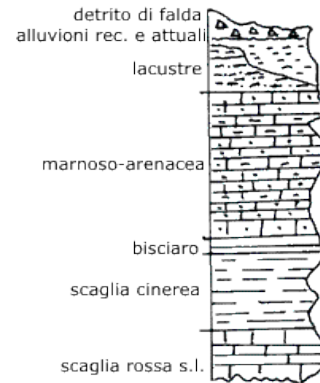


GEOLOGIA

?



FORMAZIONI



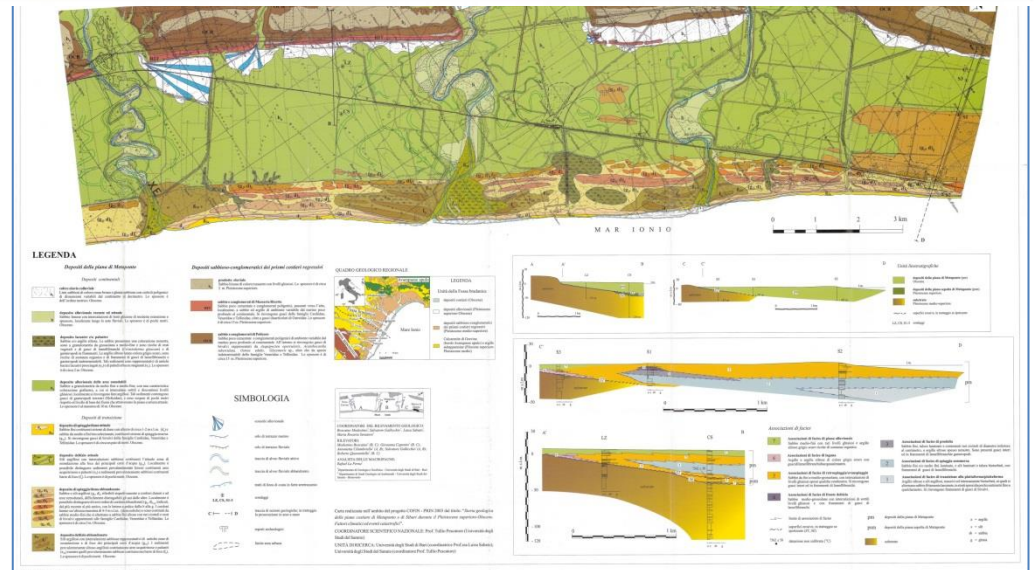
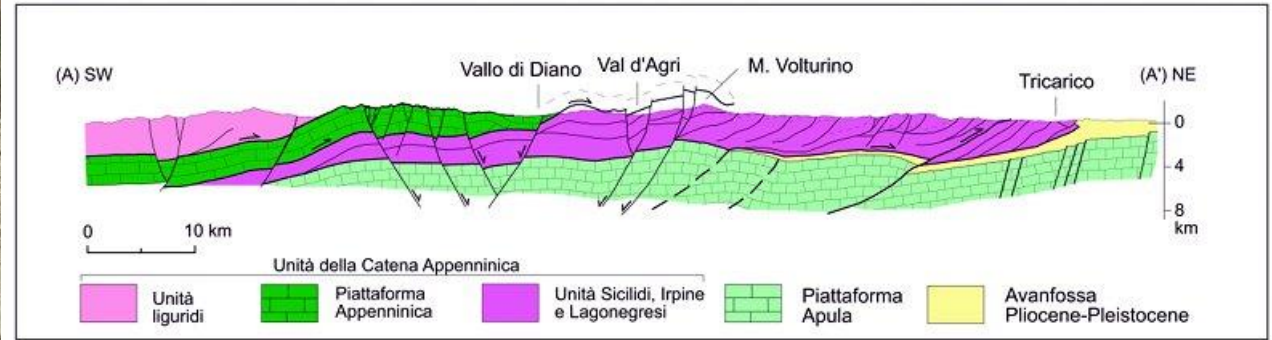


GEOLOGIA

?



FORMAZIONI





GEOLOGIA

?



DEPOSITI FRANOSI

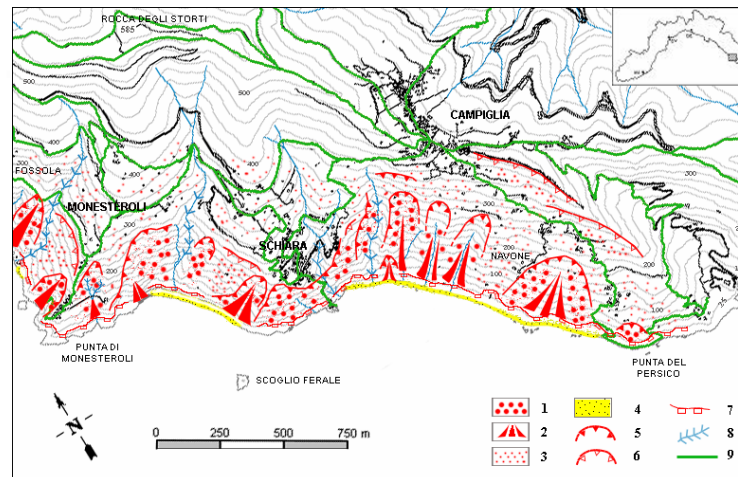
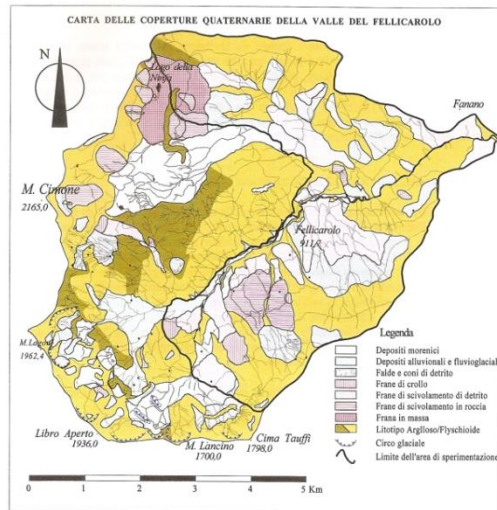
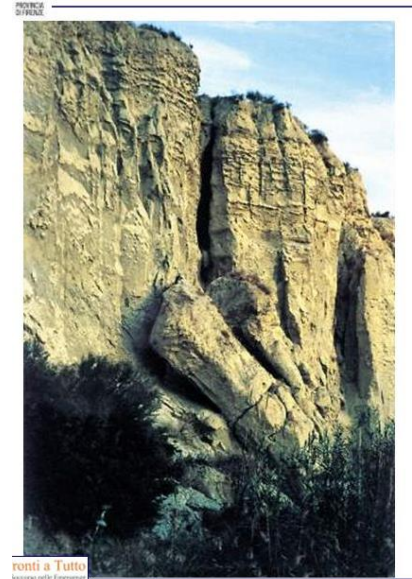


Figura 45 - Carta delle coperture quaternarie della valle del Fellicarolo



GEOLOGIA

?



SEZIONI GEOLOGICHE

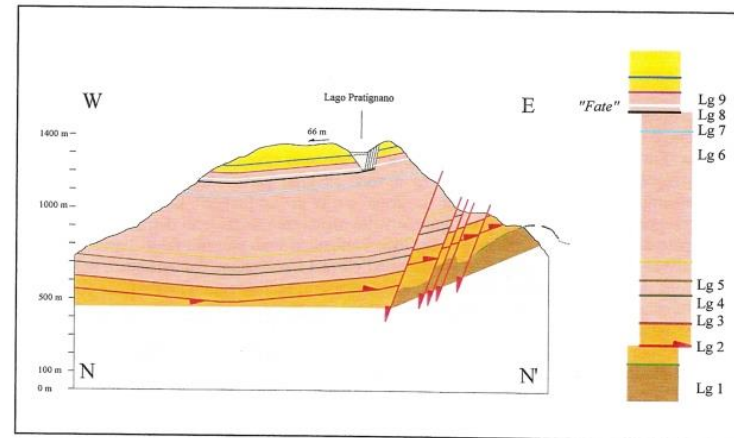
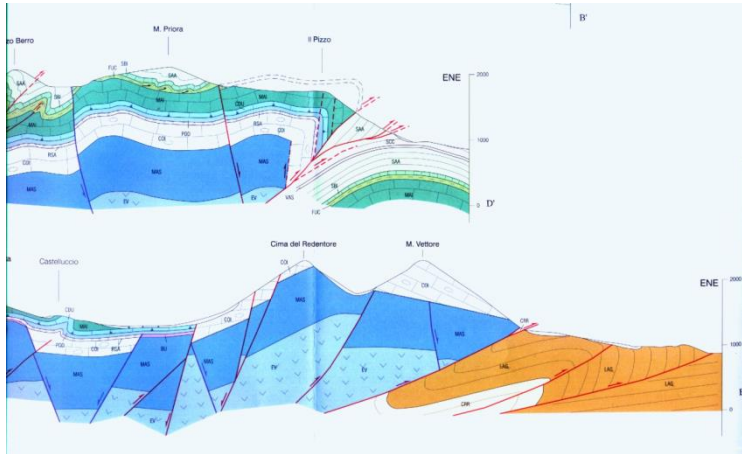
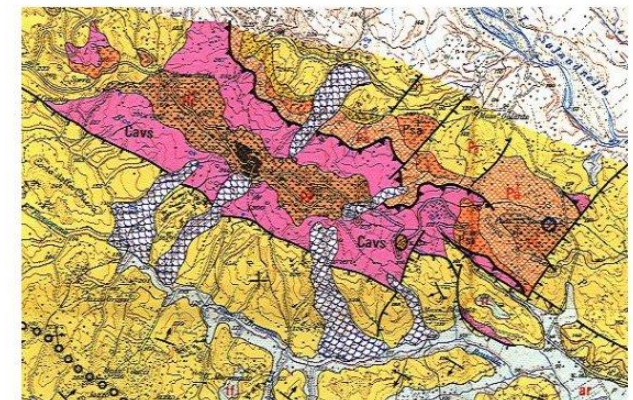
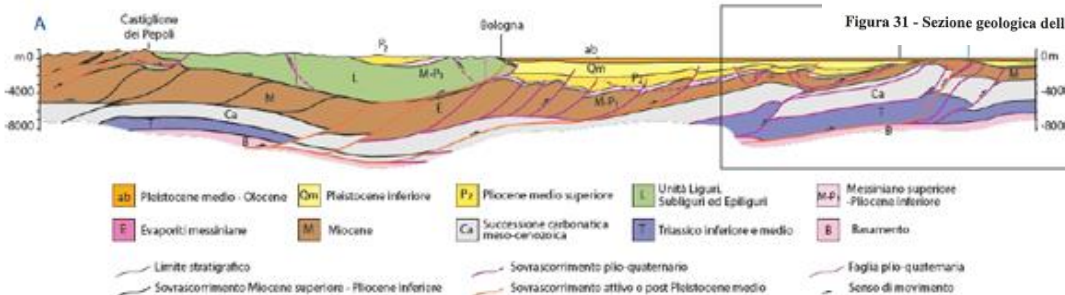


Figura 31 - Sezione geologica dell'area del lago Pratignano



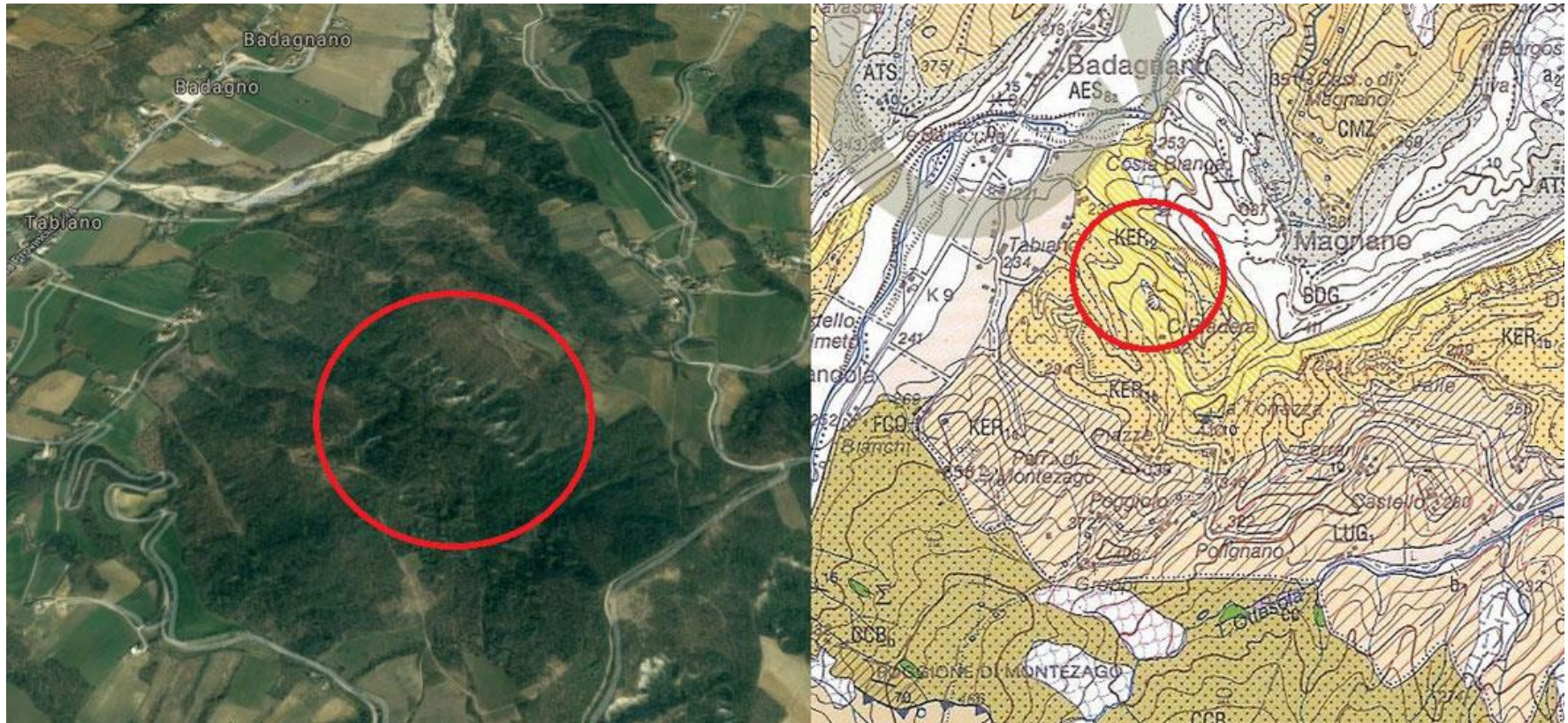


GEOLOGIA

?



SEZIONI GEOLOGICHE





GEOLOGIA

?



SEZIONI GEOLOGICHE





GEOLOGIA

?

SIMBOLOGIA TIPO FRANE

Importante riconoscere i simboli delle carte geologiche, morfologiche, idrologiche

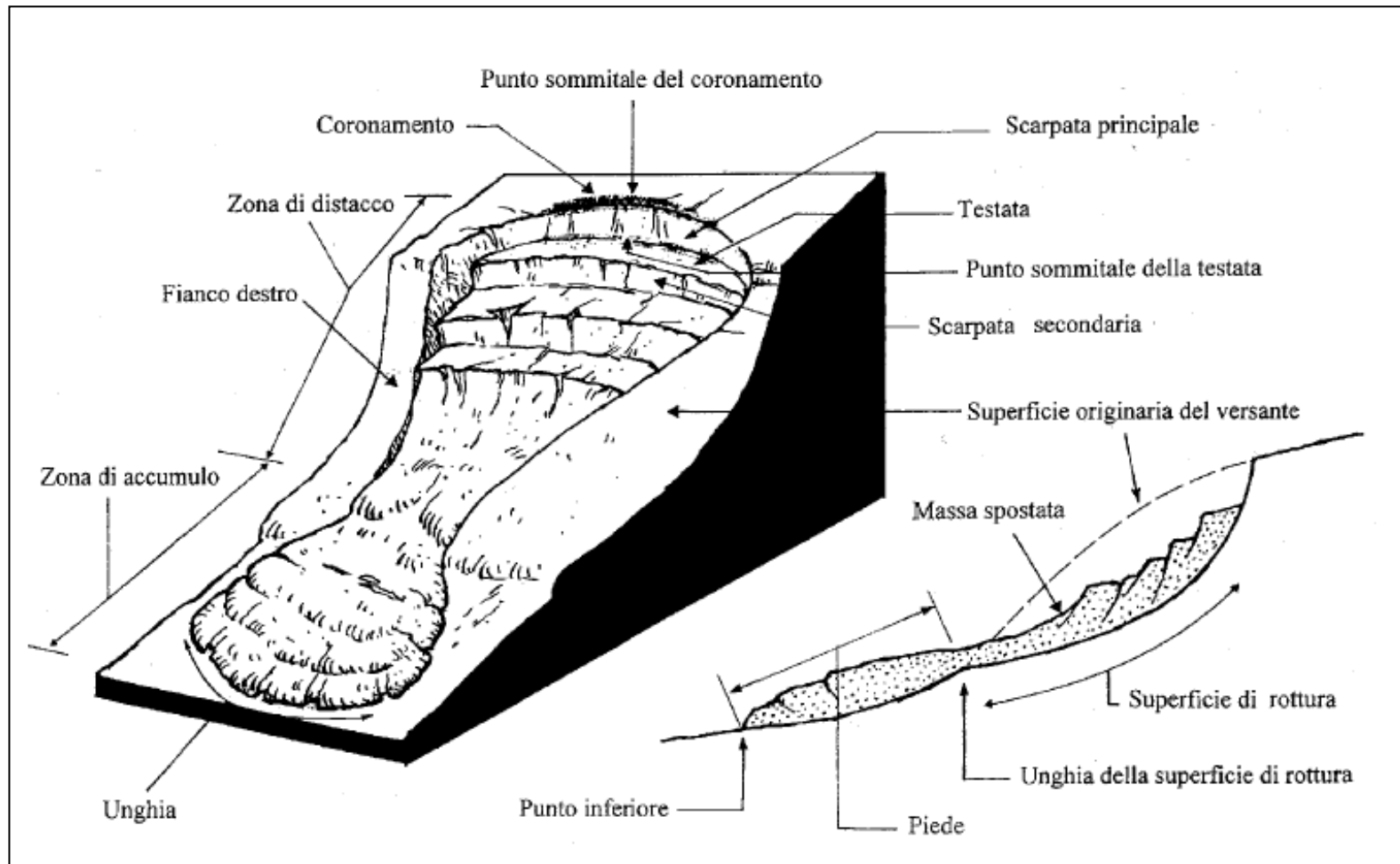
Vedere le legende pubblicate come quella a lato che riposta le tipologie e caratteristiche dei movimenti – frane – nei pendii. La tipologia di cinematisma è funzione anche delle caratteristiche geostutturali del sistema.

Movement type	Material		
	ROCK	DEBRIS	EARTH
FALLS	 Scar Rock fall Debris	 Scar Debris fall Scree Debris cone	 Scar Earth fall Colluvium Debris cone
TOPPLES	 Rock topple	 Debris topple Debris cone	 Cracks Earth topple Debris cone
SLIDES	 Single rotational slide (slump) Failure surface	 Crown Head Scarp Minor Scarp Failure surface Multiple rotational slide	 Successive rotational slides
	 Rock slide	 Debris slide	 Earth slide
SPREADS	 Normal sub-horizontal structure Cap rock Clay shale Thinning of beds Competent substratum Gully Camber slope Dip and fault structure Valley bulge Plane of decollement e.g. cambering and valley bulging		 Earth spread
FLOWS	 Solifluction flows (Periglacial debris flows)	 Debris flow	 Earth flow (mud flow)
COMPLEX	 e.g. Slump-earthflow with rockfall debris		 e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe

GEOLOGIA

?

NOMENCLATURA DI UNA FRANA





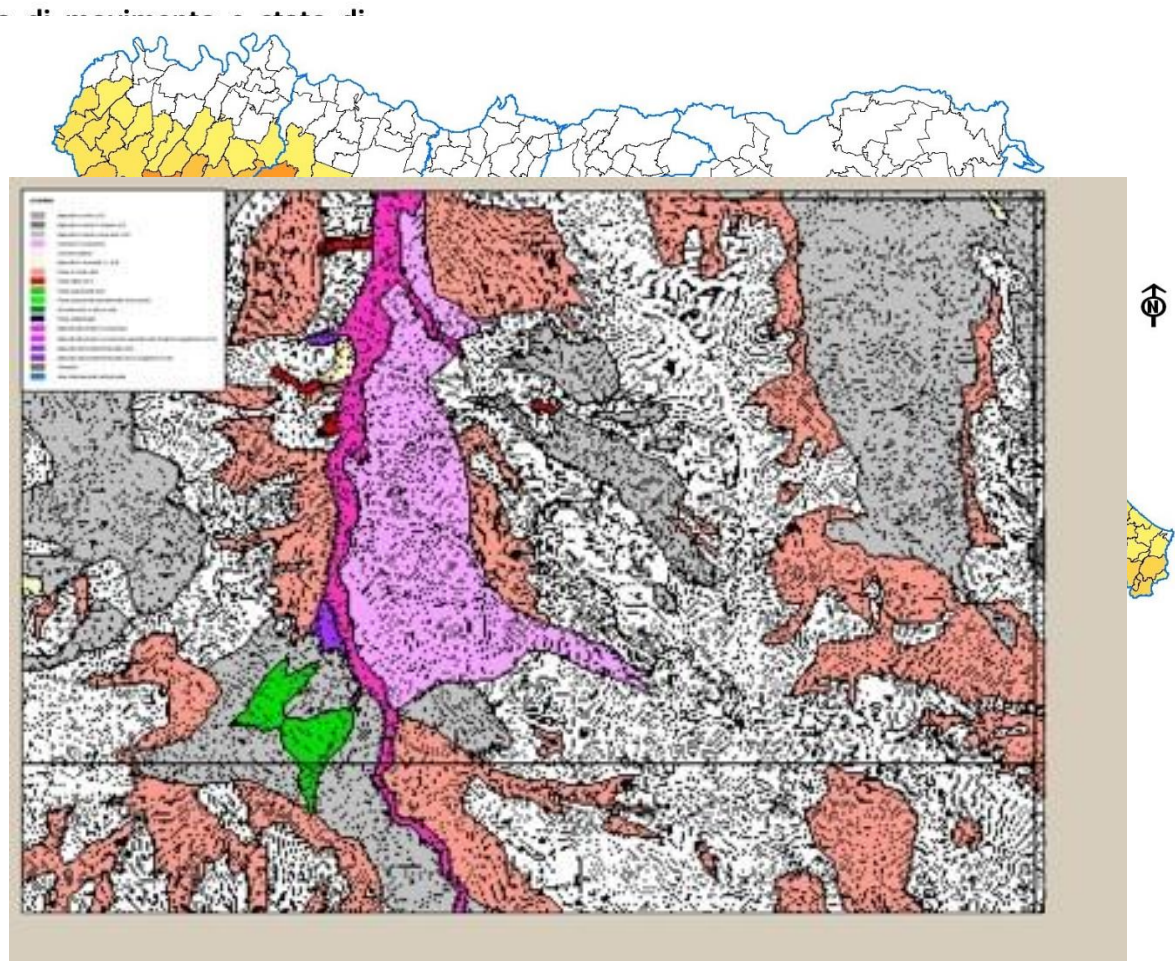
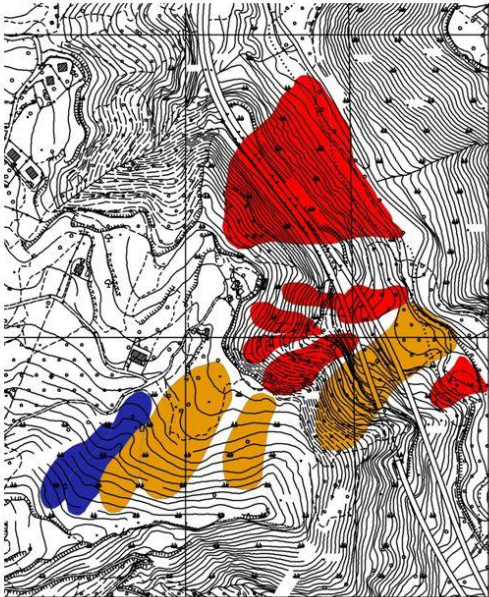
GEOLOGIA

?



FRANE

Delimitazione aree in frana, tipologia attività.





GEOLOGIA

?



RELAZIONE GEOLOGICA



Analisi e studio geologico del territorio

Indispensabile per qualunque progetto che riguardi direttamente o indirettamente la stabilità di un'opera collegata al terreno e del sistema di cui è parte.

- Litologia e carte litologiche di superficie
- Morfologia e carte morfologiche
- Idrologia – Clima e sistemi atmosferici
- Idrogeologia e chimismi delle acque
- Propensione al dissesto
- Subsidenza
- Carte geostrutturali (faglie e giunti)
- Geologia e sistemi formazionali: movimenti
- Analisi e descrizione delle formazioni
- Disposizione degli strati di terreni sovrapposti
- Processi di degrado occorsi e/o in corso
- Movimenti occorsi e o in atto
- Carta dei dissesti e delle frane
- Tipologia delle frane (stabili, quiescenti, attive)
- Paleo-suoli e paleo – alvei e loro stabilità
- Paleofrane
- Sismicità (faglie sismogenetiche)
- Cartografia della storia geologica del territorio



GEOLOGIA

?



NTC 2008

6.2.1. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici.

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento.

In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico.

Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito devono essere esaurientemente esposte e commentate in una relazione geologica, che è parte integrante del progetto. Tale relazione comprende, sulla base di specifici rilievi ed indagini, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche.



GEOLOGIA

?



NTC 2017

6.2.1. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici.

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento.

In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico.

Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito devono essere esaurientemente esposte e commentate in una relazione geologica, che è parte integrante del progetto. Tale relazione comprende, sulla base di specifici rilievi ed indagini, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche.



GEOTECNICA
MECCANICA DELLE TERRE
ALCUNI RICHIAMI DI BASE



TERRENO

MATERIALE GRANULARE COMPOSTO DA TRE O ALMENO DUE FASI,
CHE TRA LORO INTERAGISCONO
RAGGIUNGENDO LE CONDIZIONI PROVOCATE DAI SISTEMI DI SOLLECITAZIONI
CUI SONO SOTTOPOSTI

COSTITUZIONE DEL MATERIALE TERRENO

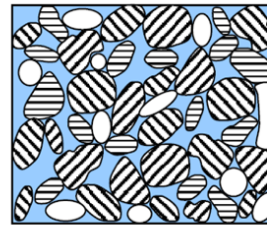
Fase solida
Fase liquida
Fase gassosa



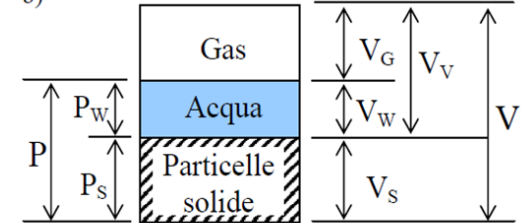
RELAZIONE TRA LE FASI E PROPRIETA' INDICE

- Volume totale: V_t [kN/m³] = $V_s + V_w + V_g = V_g + V_v$
- Volume dei vuoti: V_v [kN/m³]
- Volume del solido: V_s [kN/m³]
- Volume occupato dall'acqua: V_w [kN/m³]
- Porosità: $n = (V_v/V_t) \cdot 100$ [%] = $e/(1+e)$
- Indice dei pori: $e = (V_v/V_s) \cdot 100$ [%] = $n/(1-n)$
- Peso di volume della componente solida: $\gamma_s = W_s/V_s$ [kN/m³]
- Peso di volume dell'acqua libera: $\gamma_w = W_w/V_w$ [kN/m³]
- Umidità o contenuto d'acqua: $w = (W_w/W_s) \cdot 100$ [%]
- Peso di volume totale: $\gamma_t = W_t/V_t$ [kN/m³]
- Peso di volume secco: $\gamma_d = W_s/V_t$ [kN/m³]
- Grado di saturazione: $S_r = (V_w/V_v) \cdot 100$ [%]
- Peso di volume del terreno immerso: $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ [kN/m³]
- Peso specifico totale: $G_t = \gamma_t/\gamma_w$
- Peso specifico dei grani: $G_s = \gamma_s/\gamma_w$
- Volume specifico: $v = V_t/V_s$; $v = 1+e$

a)



b)



	VOLUMI	PESI
TOTALE	$V = V_s + V_v$	$P = P_s + P_w$
VUOTI	$V_v = V_w + V_g$	-
SOLIDI	V_s	P_s
ACQUA	V_w	P_w
GAS	V_g	-

Ciascuna grandezza è determinabile in laboratorio su campioni di terreno:
Per alcune grandezze campioni indisturbati
Per altre grandezze su campioni semi-disturbati o anche sciolti



RELAZIONE TRA LE FASI E PROPRIETA' INDICE

	n (%)	e	γ_d (kN/m ³)	γ (kN/m ³)
GHIAIA	25-40	0.3-0.7	14-21	18-23
SABBIA	25-50	0.3-1.0	13-18	16-21
LIMO	35-50	0.5-1.0	13-19	16-21
ARGILLA	30-70	0.4-2.3	7-18	14-21
TORBA	75-95	3.0-19.0	1-5	10-13

	γ_s (kN/m ³)
SABBIA QUARZOSA	26
LIMI	26.3-26.7
ARGILLE	23.9-28.6
BENTONITE	23

RELAZIONE TRA LE FASI E PROPRIETA' INDICE

Tabella 1: valori orientativi delle caratteristiche fisiche di alcuni terreni in sede (Viggiani C., 2000)

Terreno	γ_s [kN/m ³]	γ [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	n	w	G_s [kN/m ³]
Argille estremamente dure	27	21 ÷ 23	19 ÷ 21	0,20÷0,30	0,1÷0,2	Bentonite 23,0
Argille molto dure	27	18 ÷ 21	14 ÷ 18	0,30÷0,50	0,2÷0,4	
Argille molli e molto molli	26÷27	14 ÷ 17	7 ÷ 11	0,55÷0,75	0,5÷1,0	23,90÷28,6
Terre torbose	18÷22	9 ÷ 12	1 ÷ 4	0,80÷0,95	2,0÷6,0	
Limi	27	16 ÷ 21	13 ÷ 19	0,30÷0,50		26,30÷27,0
Sabbia fine uniforme	27	15 ÷ 21	14 ÷ 18	0,30÷0,50		
Sabbia	26÷27	16 ÷ 21	13 ÷ 18	0,25÷0,45		26,0
Ghiaia sabbiosa	26÷27	18 ÷ 23	14 ÷ 21	0,20÷0,40		
Terreni piroclastici	22÷25	9 ÷ 17	7 ÷ 13	0,50÷0,65	0,1÷0,4	



STATI DI ADDENSAMENTO E DI CONSISTENZA

L'indice dei vuoti rappresenta il grado di addensamento del terreno è quindi è un parametro molto importante, proprio della struttura. Esso deve essere determinato su campioni indisturbati del terreno; su campioni la cui struttura non è modificata o alterata rispetto alle condizioni indisturbate, in sito.

Nel caso di terre a grana grossa (sabbie, ghiaie) è possibile determinare, con prove di laboratorio, i valori massimo e minimo dell'indice dei vuoti per una terra composta dalle particelle solide (e_{max} , e_{min}). Si definisce densità relativa per una terra a grana grossa il valore:

$$D_r = \frac{(e_{max} - e_o)}{(e_{max} - e_{min})} \cdot 100 [\%]$$

" e_o " indice dei vuoti del terreno in esame.

D_r (%)	stato di addensamento
0 – 15	molto sciolto
15 – 35	sciolto
35 – 65	medio
65 – 85	denso
85 – 100	molto denso



a)



b)



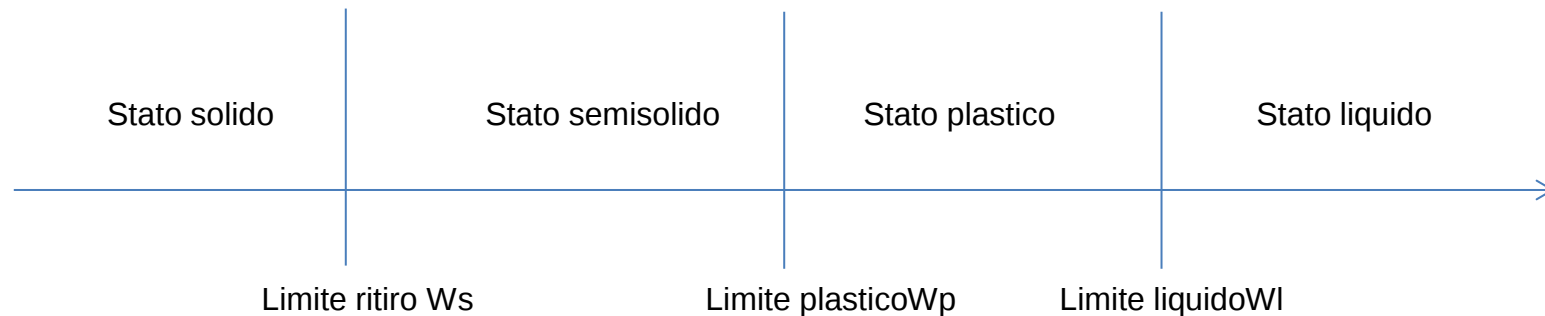
STATI DI ADDENSAMENTO E DI CONSISTENZA

Per i terreni a grana fine si definiscono i **limiti di consistenza**:

Limite liquido: valore del contenuto d'acqua per cui il terreno può convenzionalmente essere ritenuto un fluido

Limite plastico: valore del contenuto d'acqua per il cui il terreno cessa di avere consistenza plastica

Limite di ritiro: valore del contenuto d'acqua al di sotto del quale una perdita di acqua non comporta più alcuna variazione di volume





STATI DI ADDENSAMENTO E DI CONSISTENZA

Per i terreni a grana fine si definiscono i **limiti di consistenza**:

Indice plastico: $PI = w_l - w_p$

Indice di attività: $A = PI/CF$

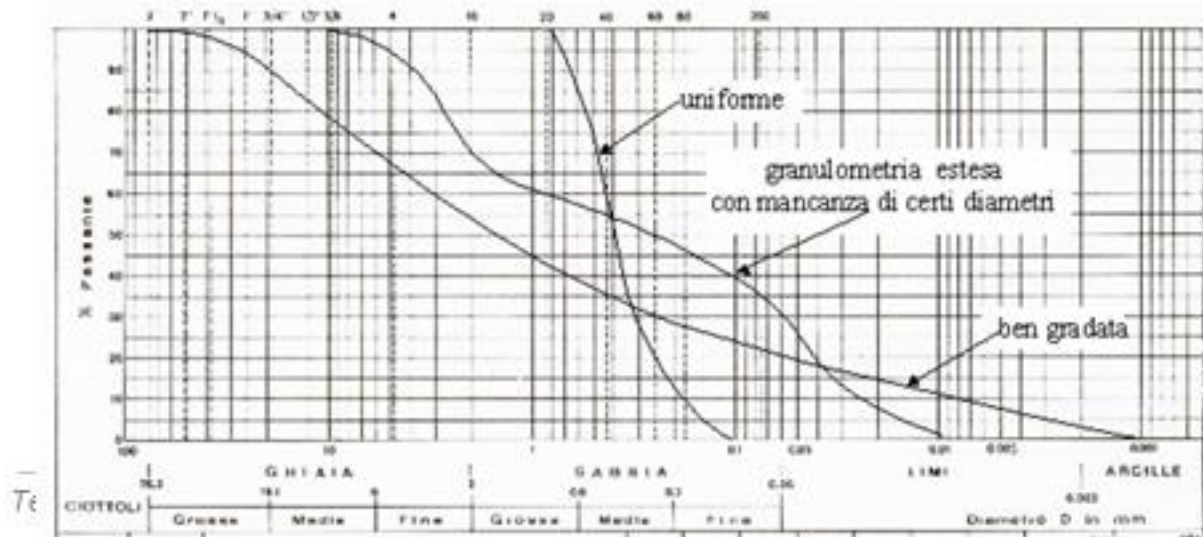
CF: Frazione argillosa del campione (percentuale in peso con diametro $< 0,002\text{mm}$)

Indice di consistenza: $IC = (w_l - w) / (w_l - w_p) = (w_l - w)/PI$

Indice di liquidità: $LI = (w - w_p) / (w_l - w_p) = 1 - IC$

GRANULOMETRIA E DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA

Lo scheletro solido del terreno è composto da frammenti di roccia e minerali in grani di forme e dimensioni diverse, ciascuno dei quali ha superficie che può essere liscia o con scabrezza di diverse intensità. Nei terreni a grana grossa la granulometria riveste un ruolo molto importante per il comportamento meccanico e deformativo dei terreni medesimi. Il comportamento dei terreni a grana fine (limi e argille) dipende dal tipo di minerale della struttura interna della particella e dalla storia geologica che ha condotto alla formazione dei depositi di terreno, alle loro condizioni strutturali attuali.



$$D_{60} / D_{10} = U_c$$

Coefficiente di uniformità
Valori piccoli: uniforme
Valori maggiori: gradata



SUPERFICIE SPECIFICA – ARGILLE - SABBIE

Si definisce superficie specifica Sp il rapporto tra la superficie bagnata del grano e la sua massa:

$$Sp = S/M = S/\rho \cdot V \quad [m^2/g]$$

Dove:

Sp : Superficie specifica $[m^2/g]$

S : superficie bagnata del grano $[m^2]$

$M = \rho \cdot V$: Massa del grano $[g]$

ρ : Densità $[g/m^3]$

I grani di ghiaia e sabbia hanno una superficie specifica relativamente piccola: ma massa è elevata; i grani di argilla, al contrario, hanno una massa piccola ed una superficie elevata e la superficie specifica è elevata.

	<i>Dimensione media</i> <i>[mm]</i>	<i>Superficie specifica</i> <i>[m²/g]</i>
SABBIE (forma sub-sferica)	2 mm	$2 \cdot 10^{-4}$
MINERALI ARGILLOSI (forma lamellare):		
MONTMORILLONITE	10^{-6}	fino a 840
ILLITE	$(0.03 \div 0.1) \times 10^{-3}$	$65 \div 200$
CAOLINITE	$(0.1 \div 4) \times 10^{-3}$	$10 \div 20$



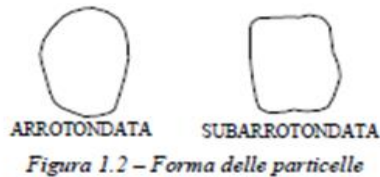
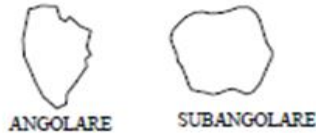
RELAZIONE TRA LE FASI E PROPRIETA' INDICE

SABBIE → INTERAZIONE INTERPARTICELLARE DI TIPO MECCANICO DOVUTE ALLE
FORZE DI MASSA O DI VOLUME (**GRANULI INERTI**)
SUPERFICIE SPECIFICA BASSA

ARGILLE → INTERAZIONE INTERPARTICELLARE DI TIPO CHIMICO DOVUTE A
FORZE DI SUPERFICIE (**GRANULI ATTIVI**)
SUPERFICIE SPECIFICA ALTA

RELAZIONE TRA LE FASI E PROPRIETA' INDICE

I TERRENI A GRANA GROSSA → SONO GENERALMENTE COSTITUITI DA FRAMMENTI DI ROCCIA E, NEL CASO DELLE PARTICELLE PIU' FINI POSSONO ESSERE COSTITUITI DA FRAMMENTI DI MINERALE (Quarzi, Feldspati, Mica ecc.)



→ I FRAMMENTI POSSONO ESSERE ARROTONDATI O SPIGOLOSI A SECONDA DELLA RESISTENZA DEL MATERIALE CHE LI COMPONGONO

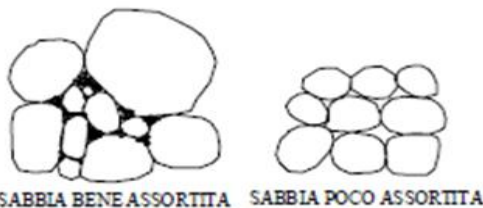
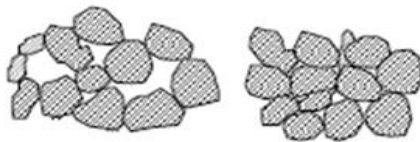


Figura 1.3 – Tipo di assortimento di una sabbia

→ IL COMPORTAMENTO DEI TERRENI A GRANA GROSSA DIPENDE SOPRATTUTTO:

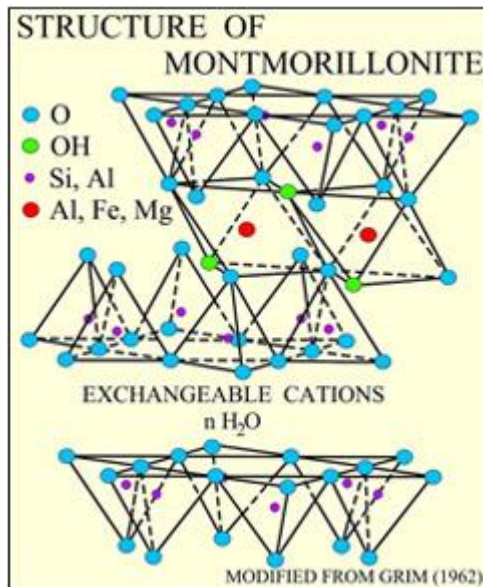
- DALLE DIMENSIONI DEI GRANI
- DALLA FORMA DEI GRANI (angolare, arrotondata, sub-angolare)
- DALLA DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA DEI GRANI
- DALLO STATO DI ADDENSAMENTO DEI GRANI
- DALLA MINERALOGIA



RELAZIONE TRA LE FASI E PROPRIETA' INDICE

I TERRENI A GRANA FINE

→ SONO AGGREGATI DI PARTICELLE COLLOIDALI DI FORMA LAMELLARE CHE RISULTANO DA COMBINAZIONI MOLECOLARI ELEMENTARI



→ LE UNITA' ELEMENTARI SONO RAPPRESENTATE DA TETRAEDRI CON ATOMO DI SILICIO AL CENTRO E OSSIGENO AI VERTICI OPPURE OTTAEDRI CON ATOMO DI ALLUMINIO O MAGNESIO AL CENTRO ED OSSIDRILI AI VERTICI CHE SI COMBINANO TRA LORO A FORMARE RETICOLI PIANI (**PACCHETTI ELEMENTARI**). I PACCHETTI DANNO ORIGINE ALLE **PARTICELLE DI ARGILLA**

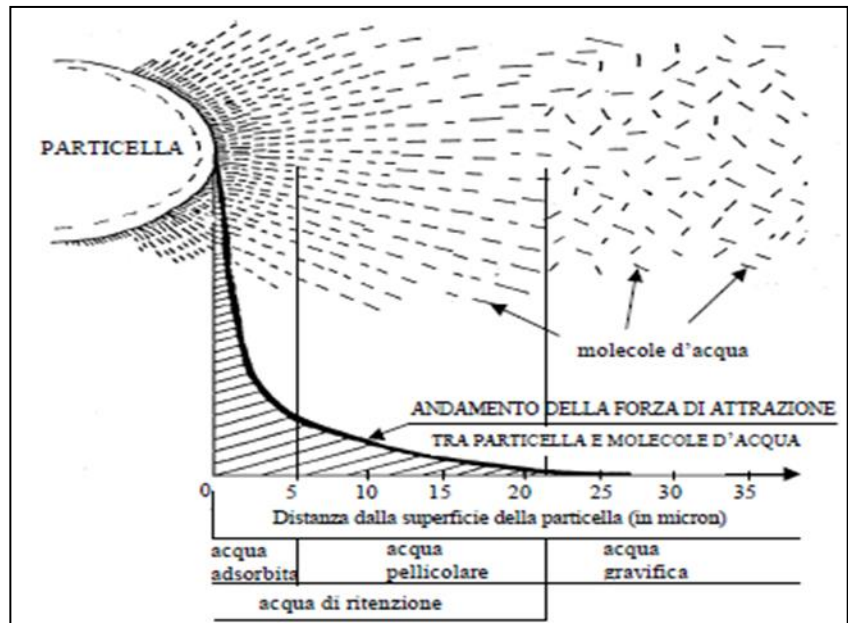
→ A SECONDA DELLA LORO COMPOSIZIONE I PACCHETTI POSSONO STABILIRE LEGAMI PIU' O MENO FORTI TRA LORO ED IN RELAZIONE A QUESTO LE PARTICELLE DI ARGILLA POSSONO AVERE SPESSORI PIU' O MENO ELEVATI E IL TERRENO AVERE COMPORTAMENTI DIVERSI.

RELAZIONE TRA LE FASI E PROPRIETA' INDICE

I TERRENI A GRANA FINE → LA CAOLINITE PER ESEMPIO HA DELLE PARTICELLE PIU' SPESSIE E RESISTENTI RISPETTO ALLA MONTMORILLONITE

→ UN ASPETTO IMPORTANTE E' L'AMBIENTE DI DEPOSIZIONE: ACQUA DOLCE – ACQUA SALMASTRA: RISPETTIVAMENTE STRUTTURA DISPERSA, STRUTTURA FLOCCULATA.

UNA PARTICOLARITA' CHE CARATTERIZZA LE TERRE A GRANA FINE E' CHE A DIFFERENZA DELLE TERRE A GRANA GROSSA PER LE QUALI I GRANI DEVONO NECESSARIAMENTE ESSERE A CONTATTO TRA LORO, NELLE TERRE A GRANA FINE LE PARTICELLE POSSONO ANCHE NON TOCCARSI PUR MANTENENDO, IL MATERIALE, CARATTERISTICHE DI CONTINUITA'





SISTEMI DI CLASSIFICAZIONE

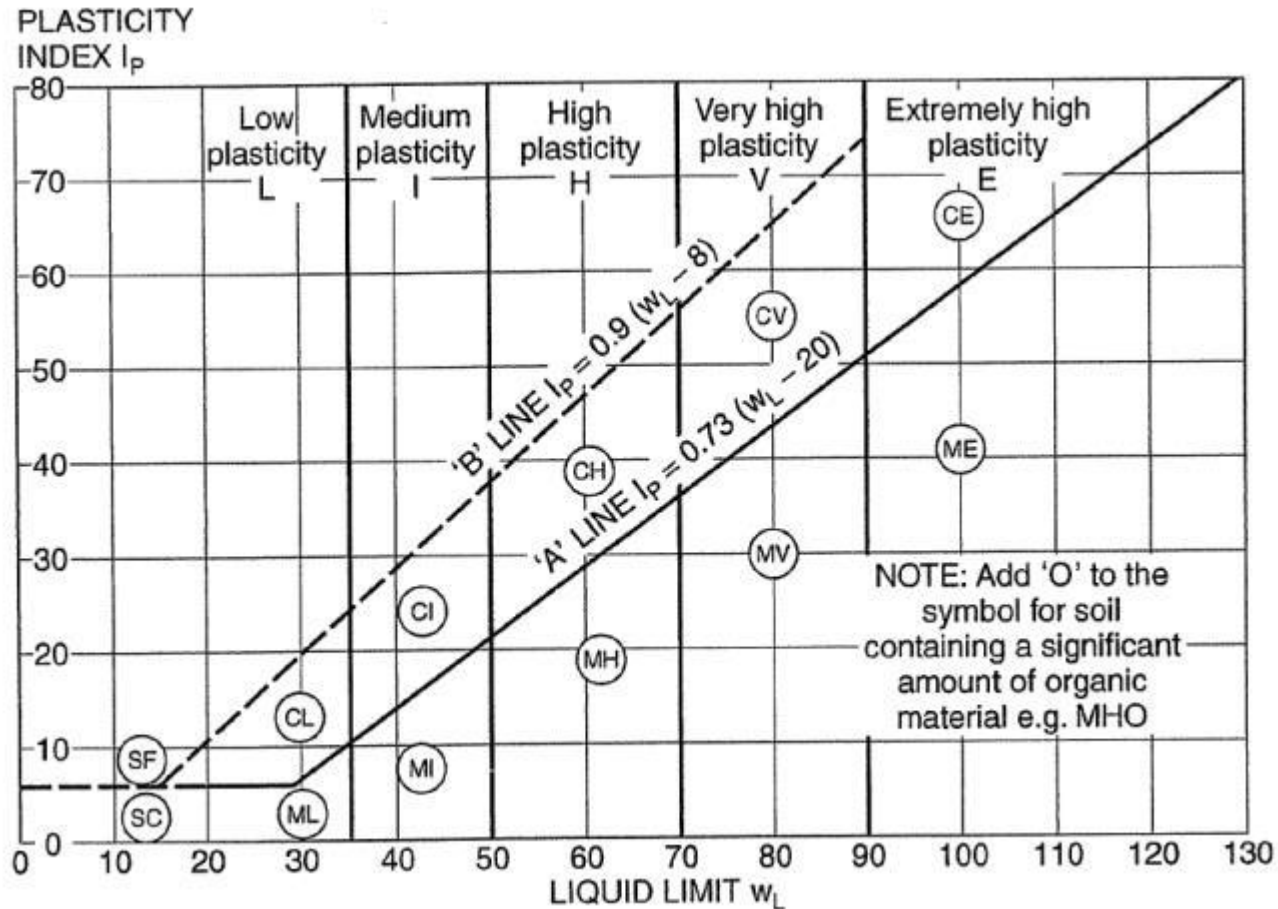
CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE

SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE USCS

SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE AASHTO – CNR10006



SISTEMI DI CLASSIFICAZIONE: CARTA DI PLASTICITA' CASAGRANDE





SISTEMI DI CLASSIFICAZIONE: CLASSIFICAZIONE USCS

TERRENI A GRANA GROSSA	Trattenuto al setaccio n. 200 > 50%	% Ghiaia > % Sabbia Trattenuto al setaccio n. 4 > 50%	pass. 200 < 5%	$Cu \geq 4$ e $1 < Cc < 3$	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita miscele di ghiaia e sabbia
				$Cu \geq 4$ e/o $Cc > 3$	GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita miscele di ghiaia e sabbia
TERRENI A GRANA GROSSA	Trattenuto al setaccio n. 200 > 50%	% Ghiaia > % Sabbia Trattenuto al setaccio n. 4 > 50%	5% < pass. 200 < 12%	$Cu \geq 4$ e/o $1 < Cc < 3$	% fine ML o MI GW-GM	Ghiaia limosa ben assortita
				% fine CL o CH GW-GC		Ghiaia argillosa ben assortita
			pass. 200 > 12%	$Cu < 4$ e/o $Cc > 3$	% fine ML o MH GP-GM	Ghiaia limosa poco assortita
				% fine CL o CH GP-GC		Ghiaia argillosa poco assortita
				% fine ML o MH GM		Ghiaia limosa, miscele di ghiaia sabbia e limo
				% fine M e C GC-GM		Ghiaia limosa e argillosa
		% Sabbia > % Ghiaia Passante al setaccio n. 4 > 50%	pass. 200 < 5%	$Cu \geq 6$ e $1 < Cc < 3$	SW	Sabbie pulite con granulometria ben assortita sabbie ghiaiose
				$Cu < 6$ e/o $Cc > 3$	SP	Sabbie pulite con granulometria poco assortita miscele di ghiaia e sabbia
			5% < pass. 200 < 12%	$Cu \geq 6$ e $1 < Cc < 3$	% fine ML o MH SW-SM	Sabbia limosa ben assortita
				% fine CL o CH SW-SC		Sabbia argillosa ben assortita
			pass. 200 > 12%	$Cu < 6$ e/o $Cc > 3$	% fine ML o WI SP-SM	Sabbia limosa poco assortita
				% fine CL o CH SP-SC		Sabbia argillosa poco assortita
TERRENI A GRANA FINE	Passante al setaccio n. 200 > 50 %	$w_1 < 50$ %	Inorganico	$Ip > 7$ sopra Linea A	CL	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità
				$4 < Ip < 7$ sopra Linea A	CL-ML	Argilla limosa o limo argilloso di bassa plasticità
				$Ip < 4$ sotto Linea A	ML	Limi inorganici, limi argillosi di bassa plasticità
					OH	Argille organiche di medio alta plasticità, limi organici
		$w_1 \geq 50$ %	Inorganico	sopra Linea A	CH	Argille inorganiche di elevata plasticità
				sotto Linea A	MH	Limi inorganici
			Organico w_1 (essiccato)/ w_1 (naturale)		OL	Limi organici argille limose organiche di bassa plasticità



SISTEMI DI CLASSIFICAZIONE: AASTO – CNR UNI 10006

Classificazione generale	Terre ghiaia - sabbiosa							Terre limo - argillose					Torbe e terre organiche palustri
	Frazione passante al setaccio 0,075 UNI 2332 ≤ 35%							Frazione passante al setaccio 0,075 UNI 2332 >35%					
Gruppo	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		A8
Sottogruppo	A1 a	A1 b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7						
Analisi granulometrica - Frazione passante al setaccio													
2 UNI 2332 %	≤ 80												
0,4 UNI 2332 %	≤ 30	≤ 80	≥ 80										
0,075 UNI 2332 %	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	
Caratteristiche della frazione passante al setaccio 0,4 UNI 2332													
Limite liquido	0			≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	
Indice di plasticità	≤ 6		N.P.	≤ 10	≤ 10max	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10 (IP>LL30)	> 10 (IP>LL30)	
Indice di gruppo	0		0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 18	≤ 20		
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	ghiaie e breccie, sabbione, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fine	ghiaia e sabbia limosa e argillosa				Limi poco compressibili	Limi fort. compressibili	Argille poco compressibili	Argille fort. compressibili med. plastiche	Argille fort. compressibili fort. plastiche	Torbe di recente o remota formazione e, detriti organici di origine palustre
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	da eccellenti a buone							Da mediocre a scadente					Da scartare come sottofondo
Azione del gelo sulla qualità portanti del terreno di sottofondo	Nessuna o lieve			Media				media	elevata	Media	elevata	Media	
Ritiro o rigonfiamento	Nullo			Nullo o lieve				Lieve o media		elevato	elevato	molto elevato	
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa					Scarsa o nulla				
Identificazione dei territori in sito	Facilmente individuabili a vista		Aspri al tatto (incrinati allo stato asciutto)	La maggior parte dei granuli sono individuabili ad occhio nudo - Aspri al tatto - Una tenacità media e elevata allo stato asciutto indica la presenza di argilla				Reagiscono alle prove di scuotimento - Polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto - Non facilmente modellabili allo stato umido		Non reagiscono alla prova di scuotimento - Tenaci allo stato asciutto - Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido			Fibrosi di colore bruno a nero - facilmente individuabili a vista

N. ASTM	Apertura delle maglie, D [mm]
4	4.76
6	3.36
8	2.38
10	2.00
12	1.68
16	1.19
20	0.840
30	0.590
40	0.420
50	0.297
60	0.250
70	0.210
100	0.149
140	0.105
200	0.074

● Sigle ASTM (American Society Standard Material): sigla dei setacci e diametri equivalenti dei setacci impiegati per l'analisi granulometrica. Il setaccio più piccolo utilizzato è il setaccio n°200 corrispondente ad un'apertura delle maglie di 0,074 mm.



Esercizio n.1

Dalle analisi di laboratorio di un terreno si è ottenuto:

$W = 35,5\%$

$LL = 85,5\%$

$LP = 32,1\%$

$PI = 53,4\%$

Passante al 200: 30%

1. Indicare quali prove sono state necessarie per ottenere i dati
2. Definire la classificazione AGI 1977 e quella CNRUNI 10006
3. Calcolare l'attività colloidale, l'indice di liquidità e l'indice di consistenza
4. Prevedere l'angolo di attrito interno residuo
5. Formulare un giudizio su pericolo di rigonfiamento che tale terreno potrebbe manifestare in uno scavo di fondazione

Bibliografia

Lancellotta R. «Geotecnica»

Raccomandazioni AGI: Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio (1990)



Esercizio n.2

Un campione di sabbia uniforme ha porosità $n=43\%$ e contenuto d'acqua $w=12\%$
Da prove di laboratorio si è trovato $e_{max}=0,85$ e $G=2,65\text{g/cm}^3$.

1. Calcolare l'indice dei vuoti «e»
2. Densità Relativa $D_r\%$
3. Il grado di saturazione S
4. Il peso di volume secco γ_d
5. Formulare un giudizio sul pericolo di liquefazione.

Bibliografia

Lancellotta R. «Geotecnica»

Raccomandazioni AGI: Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio (1990)



Esercizio n.3

Un campione di terreno sabbioso ha volume unitario di $1,0\text{m}^3$. Il suo peso è 20kN . Il peso specifico del materiale è stato determinato e vale $G_s = 26,8 \text{ kN/m}^3$. L'umidità è stata determinata. $W = 22\%$

Calcolare:

1. Porosità
2. Indice dei pori
3. Grado di saturazione
4. Peso di volume totale
5. Peso di volume saturo
6. Pesì di volume secco
7. Densità relativa

Bibliografia

Lancellotta R. «Geotecnica»

Raccomandazioni AGI: Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio (1990)