



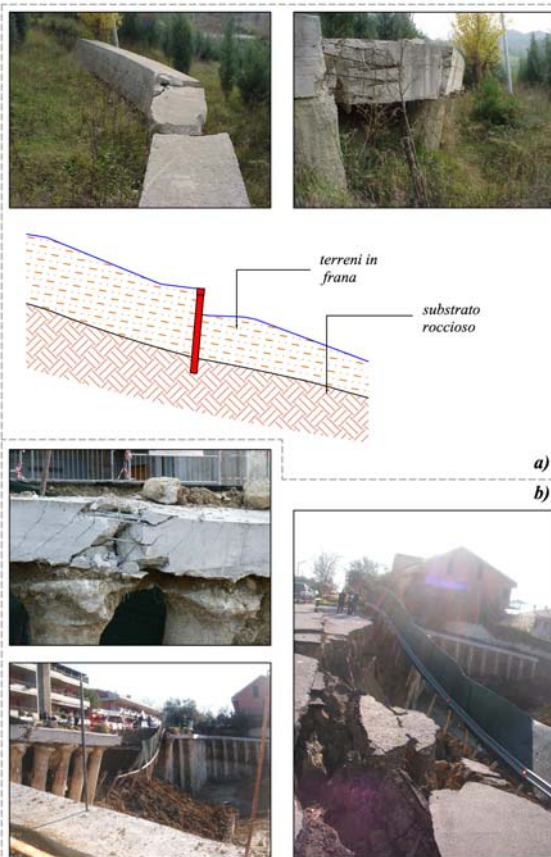
PROGETTAZIONE STRUTTURALE E GEOTECNICA DI FONDAZIONI E OPERE DI SOSTEGNO

13: PROBLEMATICHE CONNESSE CON LE PARATIE

Di Francesco Romolo

Prof. Gheresi Aurelio

PARATIE E DIAFRAMMI: un veloce ripasso



Le analisi agli SLU possono essere:

1) di tipo geotecnico ed idraulico (GEO + HYD), per:

- a) collasso per rotazione;
- b) collasso per carico limite verticale;
- c) sfilamento di uno o più ancoraggi;
- d) instabilità del fondo scavo in condizioni non drenate;
- e) instabilità del fondo scavo per sollevamento;
- f) sifonamento del fondo scavo.

2) di tipo strutturale (STR), per:

- g) raggiungimento della resistenza negli ancoraggi;
- h) Raggiungimento della resistenza nei puntoni;
- i) raggiungimento della resistenza strutturale paratia.

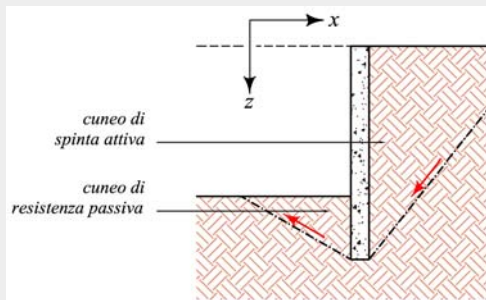
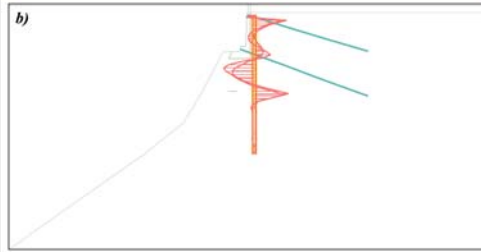
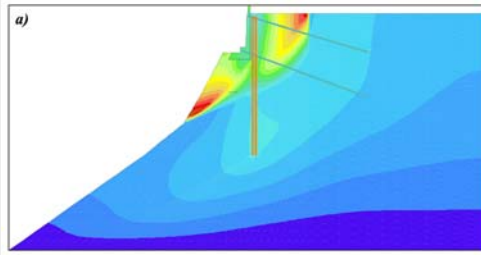
L'analisi di stabilità globale deve essere condotta con gli stessi metodi visti con i fronti di scavo, ovvero mediante:

Approccio 1 – combinazione 2 ($A_2 + M_2 + R_2$)
utilizzando le tabelle 2.6.I, 6.2.II e con $\gamma_R = 1.1$.

Le rimanenti verifiche GEO sono limitate all'Approccio 1 – combinazione 2 ($A_2 + M_2 + R_1$), utilizzando le tabelle 2.6.I, 6.2.II e 6.5.I.

La complessità delle analisi richiede il ricorso ai moderni software di calcolo!

PARATIE E DIAFRAMMI: schema di analisi



Le paratie ed i diaframmi sono particolari tipi di opera costituite da:

- 1) una porzione fuori terra soggetta a condizioni di spinta attiva;
- 2) una porzione interrata, capace di contrastare le spinte attive opponendo la resistenza passiva del terreno.

Inoltre possono essere presenti anche tiranti in uno o più ordini.

Le variabili da introdurre nei modelli di analisi possono essere:

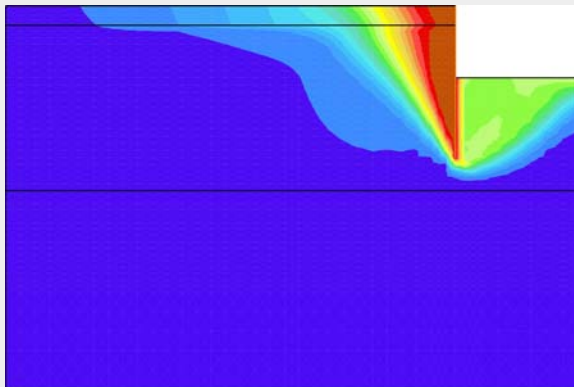
- A) La stratigrafia;
- B) l'idrodinamica delle acque di falda;
- C) la natura e la meccanica dei terreni;
- D) la geometria strutturale;
- E) i materiali da costruzione;
- F) le azioni, sia permanenti che transitorie.

Limitando l'attenzione alla sola verifica della stabilità globale, con la quale viene dimensionata la profondità di infissione, il punto di partenza è dato dal calcolo delle pressioni attive e passive agenti sulla paratia, da trasformare in spinte attive e passive.

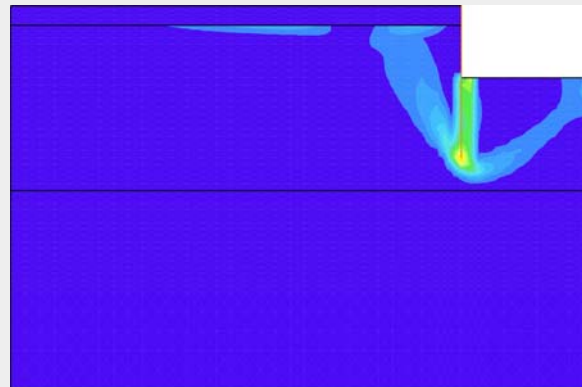
Il metodo più semplice, per casi semplici, consiste nell'utilizzo dell'equazione della statica di equilibrio dei momenti che fornisce un'equazione cubica da risolvere con metodi di iterazione matematica.

PARATIE E DIAFRAMMI: modelli di rottura

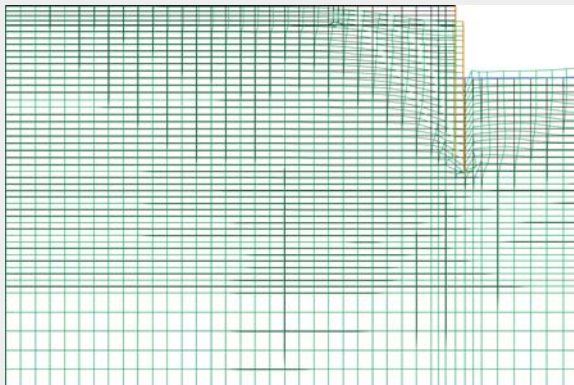
Spostamenti globali a rottura



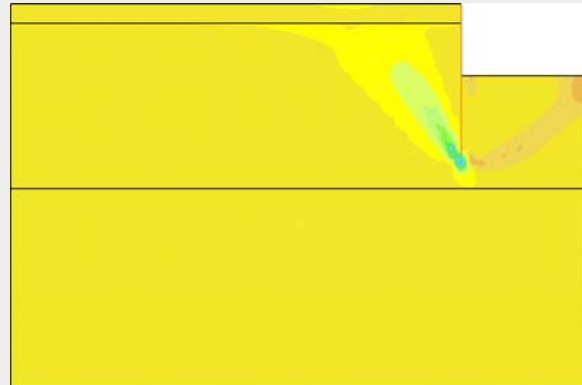
Andamento delle deformazioni deviatoriche a rottura



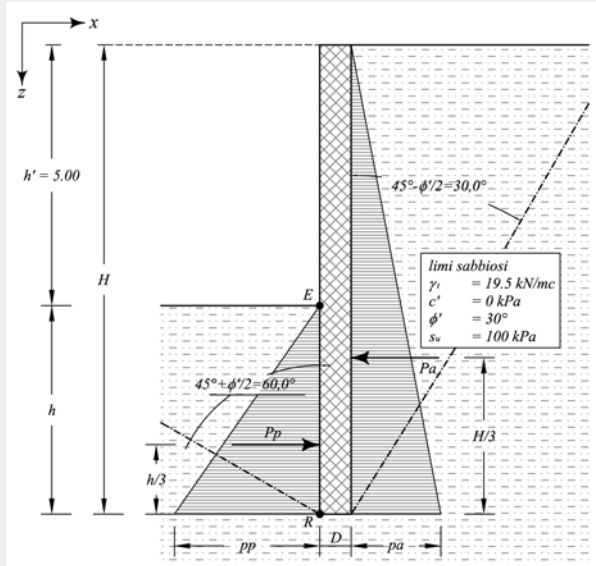
Deformation mesh a rottura



Andamento degli sforzi verticali a rottura



PARATIE: un esempio di calcolo



Passo 1: calcolo delle pressioni:

$$p_{a,car} = \gamma_t \times H \times K_{a,car}$$

$$p_{p,car} = \gamma_t \times h \times K_{p,car}$$

con:

$$K_{a,car} = \tan^2 [45^\circ - \phi' / (2\gamma_{\phi'})] = 0.421$$

$$K_{p,car} = \tan^2 [45^\circ + \phi' / (2\gamma_{\phi'})] = 2.375$$

Nota 1: $K_a = 0.3333$, $K_p = 3.000$

Nota 2: vale sempre $K_a \times K_p = 1$

Nota 3: vale anche $K_a < K_0 < K_p$

Risultato:

$$p_{a,car} = 8.21H$$

$$p_{p,car} = 46.31h_{car}$$

Passo 2: calcolo delle spinte:

$$P_{a,car} = (p_{a,car} \times H) / 2 = 4.11H^2$$

$$P_{p,car} = (p_{p,car} \times h_{car}) / 2 = 23.16h_{car}^2$$

Passo 3: equazione di equilibrio dei momenti:

$$P_{a,car} \times H/3 = P_{p,car} \times h_{car}/3$$

$$4.11H^3 = 23.16h_{car}^3$$

risolvendo la cubica con il solutore di Excel si ottiene:

$$H = 1.78h_{car}$$

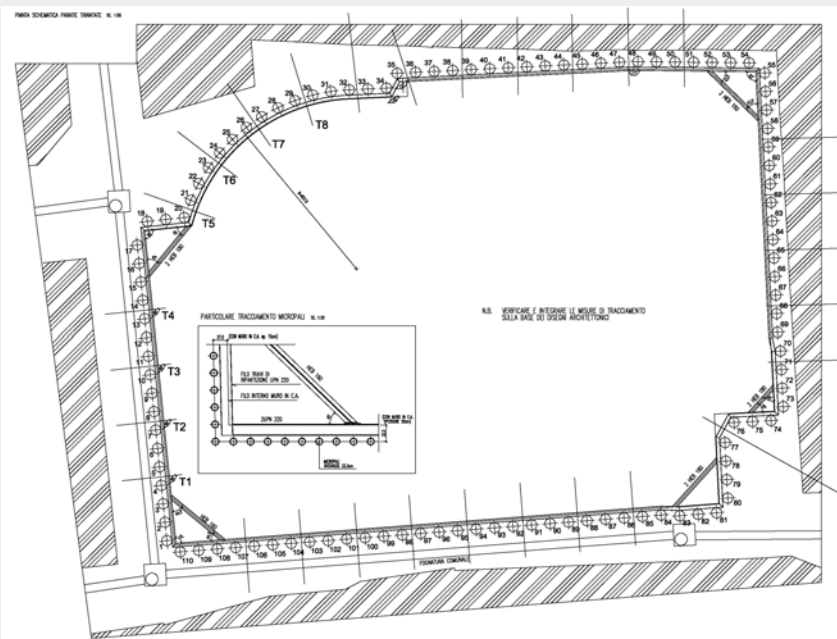
Passo 4: calcolo della profondità di infissione. Occorre sostituire nell'ultima equazione il valore $H = h_{car} + 5$ per ottenere: $h_{car} = 6.41$ metri.

Notare che in caso di calcolo con i parametri geotecnici invariati (non ridotti) il risultato sarebbe stato: $h = 4.63$, da incrementare del 20% ($h = 5.56$ m). La differenza tra i due metodi è del 13.3%.

PARATIE: un esempio realizzato in provincia di Bergamo

L'esempio è relativo alla costruzione di un parcheggio interrato in una piazza del centro storico del comune di Zanica (BG) che ha richiesto la realizzazione di una paratia quale opera provvisoria di sicurezza.

Nel progetto originario quest'ultima era stata pensata come una berlinese a doppio ordine di tiranti ... ma l'appalto era stato affidato, dopo gara pubblica, "a corpo"! Di conseguenza l'impresa affidataria dei lavori ha chiesto di minimizzare il costo dell'opera.



La paratia, e quindi lo scavo, è prevista ad una distanza dagli edifici variabile da 1.5 a 2.5 metri; la profondità di scavo è di 7.5 metri.

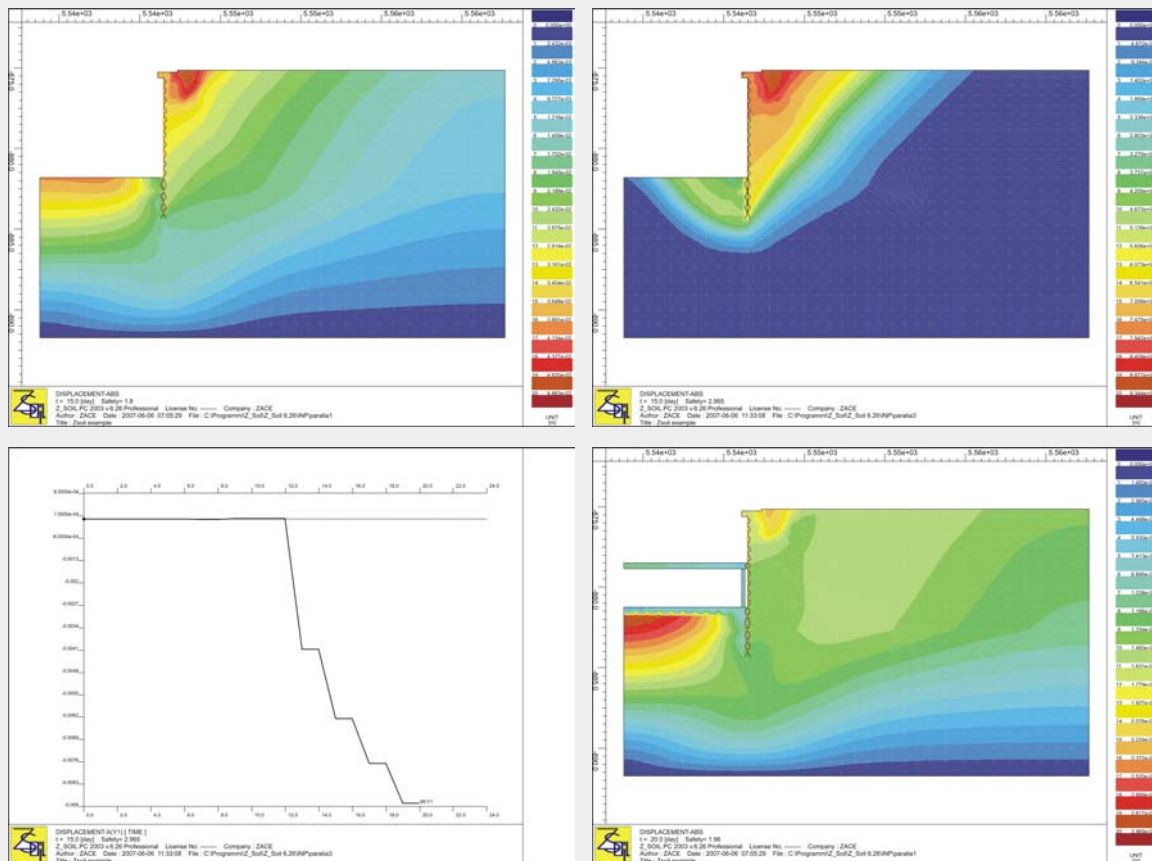
Una ri-analisi, ad elementi finiti, della paratia appaltata ha dimostrato che gli spostamenti di progetto non erano compatibili con l'integrità strutturale degli edifici limitrofi.

Di conseguenza è stata chiesta la riprogettazione dell'opera a spese dell'impresa e con propri tecnici.

Le indagini, nel contempo, avevano evidenziato una resistenza dei terreni molto superiore a quella di progetto!

Il modello geotecnico fu costruito tramite la combinazione di prove di laboratorio e di indagini geofisiche.

PARATIE: un esempio realizzato in provincia di Bergamo

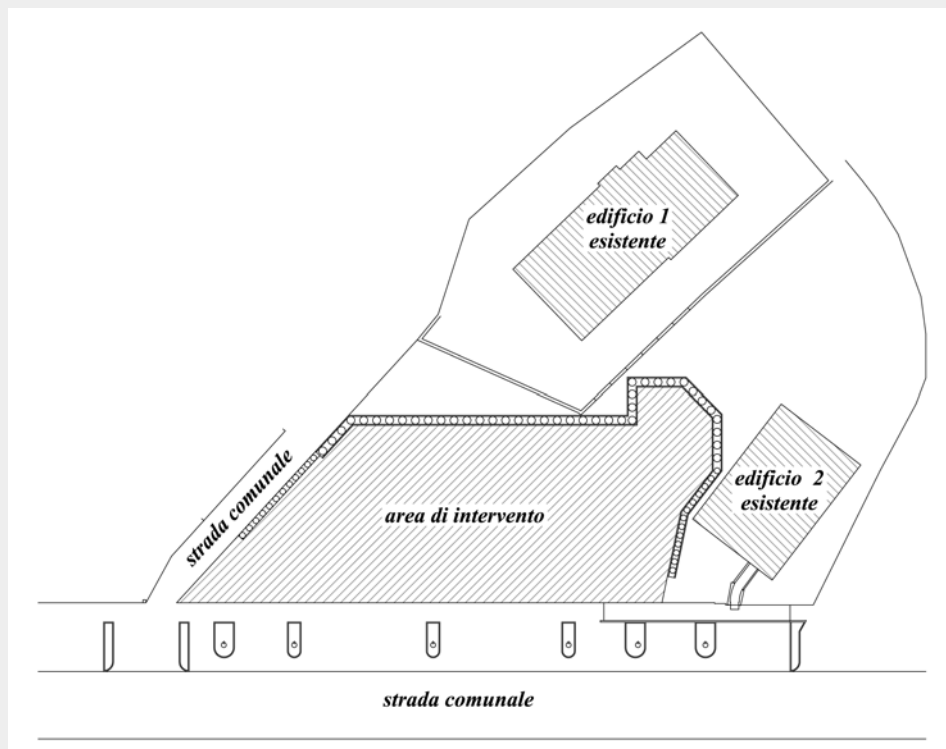


PARATIE: un esempio realizzato in provincia di Bergamo



PARATIE: un esempio realizzato nel tessuto urbano di Teramo

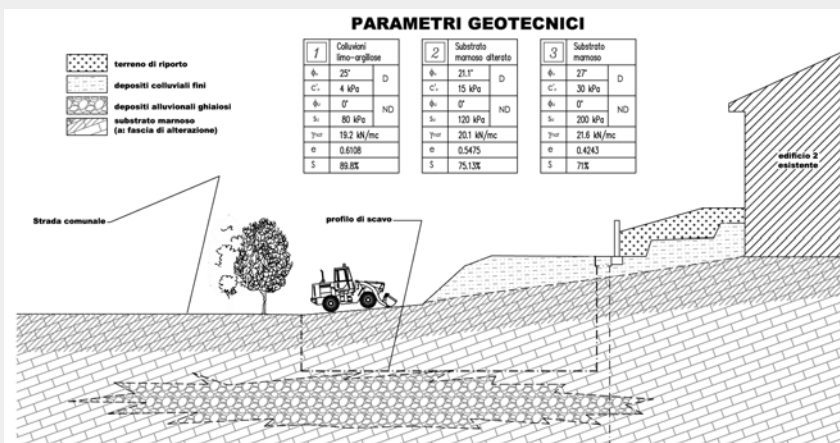
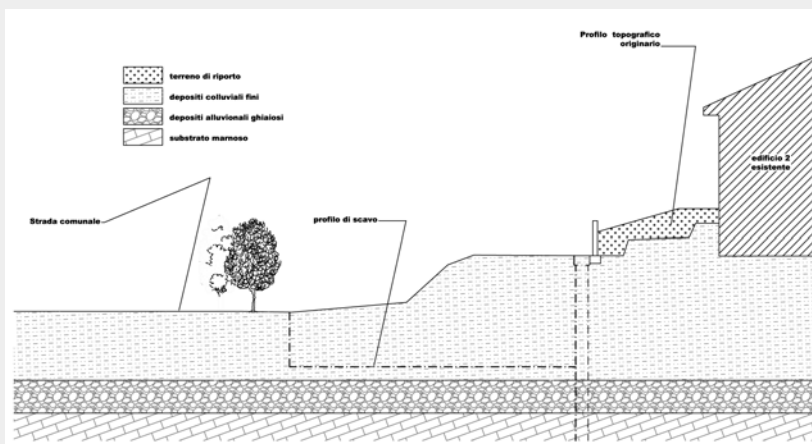
La costruzione di un palazzo, con due piani interrati, richiede la realizzazione di una paratia a protezione delle strutture pre-esistenti e della limitrofa strada provinciale. Il progetto iniziale prevedeva pali di 80/100 cm di diametro, lunghezza di 12 metri, oltre a pali di fondazione, per un **costo complessivo di 250.000 € per le sole opere di protezione e fondazioni**.



PARATIE: un esempio realizzato nel tessuto urbano di Teramo

Gli studi iniziali avevano erano consistiti in perforazioni di sondaggio senza prelievo di campioni e prove in sito tipo SPT.

La presenza di ghiaia sovrastante il substrato roccioso aveva indotto ad attribuire i terreni sovrastanti a depositi colluviali fini con un ovvio comportamento NC; il substrato era invece costituito da marne del Messiniano (5.5 – 5 MA) molto sovraconsolidate e fessurate.



Da un riesame delle carote è emerso un quadro differente, con parte dei terreni sovrastanti le ghiaie appartenenti al substrato roccioso!

Infine sono state eseguite nuove prove SPT e sono stati prelevati campioni indisturbati, in trincee esplorative, sottoposti a prove EDO e TRX-CIU.

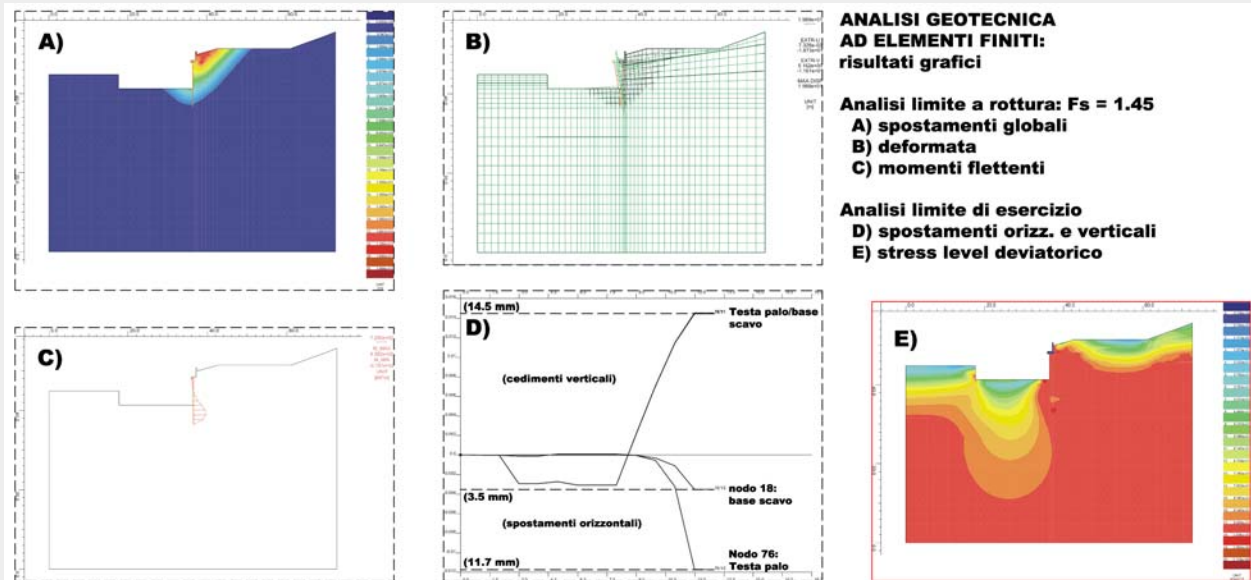
Sono stati eliminati i pali di fondazione mentre il costo della paratia è sceso a 120.000,00 €.

PARATIE: un esempio realizzato nel tessuto urbano di Teramo

Le nuove prove penetrometriche SPT sono state eseguite con lo scopo di valutare la variazione di resistenza con la profondità; quindi i campioni sono stati prelevati a profondità stimate sulla scorta delle SPT.

I risultati hanno consentito di eseguire un'analisi accurata in ambiente ad elementi finiti. Terminata l'analisi, e con lo scopo di minimizzare i costi, è stato imposto uno spostamento ammissibile sulla testa della paratia di circa 1 cm, che avrebbe causato lesioni sul muro di recinzione esistente a monte ma non sugli edifici.

Il **costo finale della paratia e della platea**, avendo potuto escludere anche i pali di fondazione, è stato di **56.000 €!**



PARATIE: un esempio realizzato nel tessuto urbano di Teramo



PARATIE: il fallimento della teoria classica



Una paratia è collassata poco dopo la costruzione, nonostante i calcoli geotecnici e strutturali siano risultati a posteriore corretti.

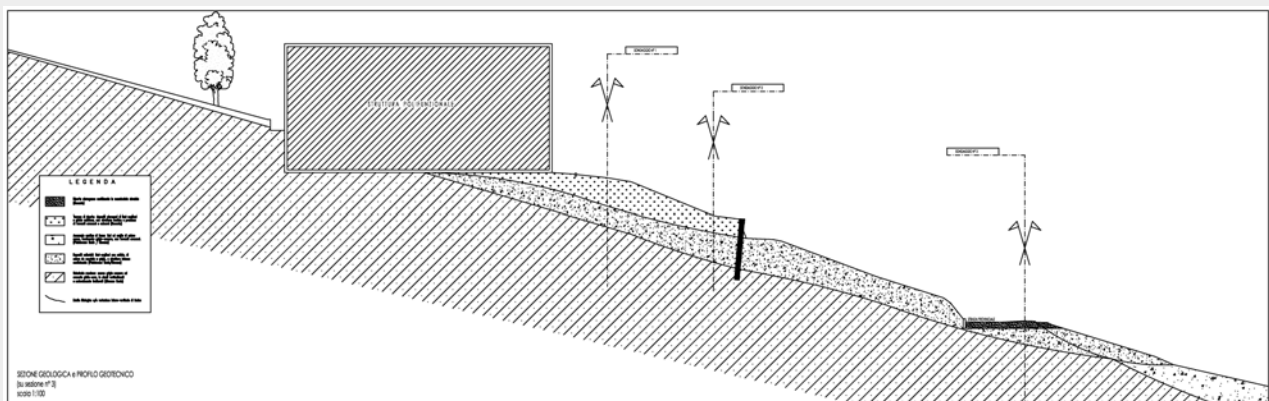
Contestualmente sono comparse lesioni su un edificio polifunzionale presente molto a monte della stessa, in assenza di un nesso causa giustificato.



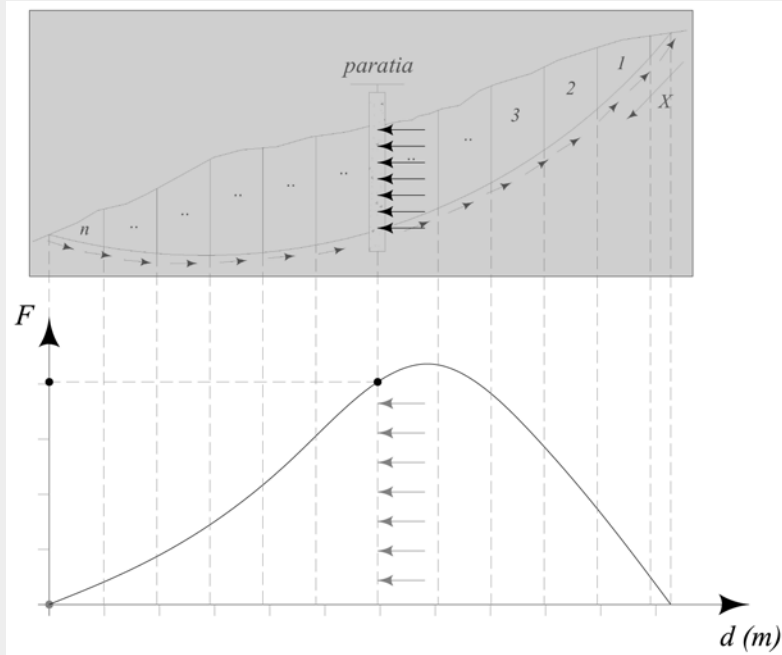
PARATIE: il fallimento della teoria classica



Studi successivi, necessari per il consolidamento del settore, hanno dimostrato che il versante sul quale è stata realizzata la paratia manifesta un dissesto idrogeologico imputabile ad una frana complessa di modesto spessore. Le indagini sono consistite in una prospezione sismica di tipo a rifrazione integrata da tre sondaggi con prelievo di campioni sottoposti a prove di taglio diretto e residuo.



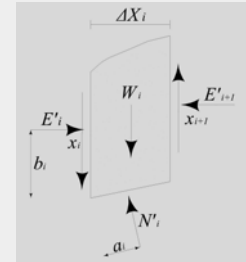
PARATIE: il fallimento della teoria classica



In tutti i casi per i quali esistono campi di sforzo orientati, come nel caso delle frane, la teoria classica basata sulle leggi di equilibrio tra spinta attiva e resistenza passiva falliscono.

Una soluzione semplice consiste nell'eseguire l'analisi di stabilità del pendio e di graficizzare le forze mutue orizzontali scambiate tra i conci.

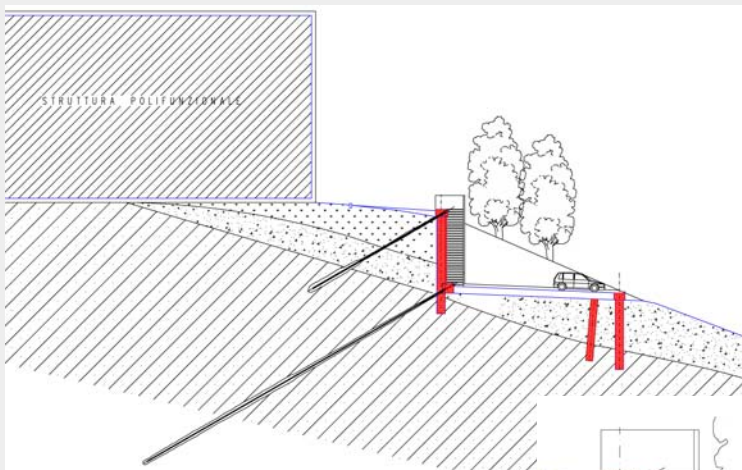
Quindi, individuando la posizione della paratia è possibile determinare il corretto valore della spinta orizzontale.



Infine, inserendo quest'ultima nella teoria classica facendone variare il punto di applicazione tra $1/3$ ed $1/2$ dalla base della paratia si perviene ad una lunghezza di ammassamento più corretta.

Nel caso specifico la paratia risultava incernierata alla base.

PARATIE: il fallimento della teoria classica

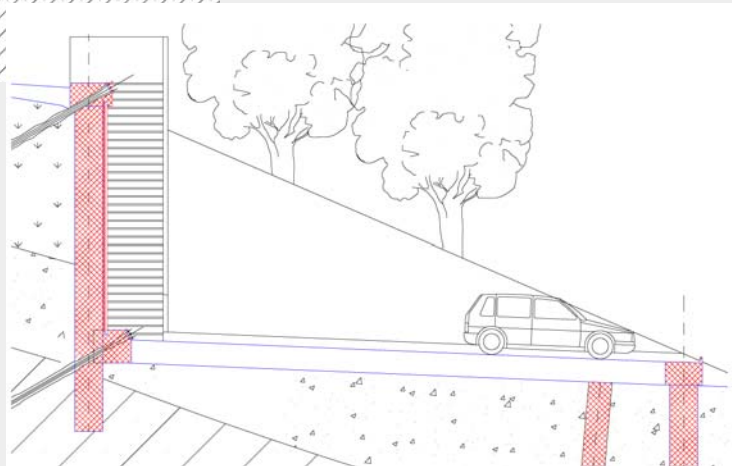


L'intervento di consolidamento ha dovuto tenere conto anche delle necessità dell'amministrazione comunale di dotare la struttura polifunzionale di un parcheggio pubblico.

Ciò ha comportato la progettazione di una doppia paratia multiancorata, affidando al tirante inferiore anche il campo di sforzi dettato dalla struttura di valle.

Le due paratie sono state collegate da travi-tiranti in cemento armato.

Notare che con tale soluzione è stata ridotta di molto la lunghezza di ancoraggio nel sottostante substrato delle due paratie!



PARATIE: un collasso annunciato



Breve storia di una paratia collassata e di un fronte di scavo messo in sicurezza ad un ventesimo del suo costo!

FINE

*Tutte le figure sono protette dai diritti di copyright;
contattare gli autori per l'autorizzazione all'uso.*