

# Recensioni

## Storia della Meccanica dei Terreni in Francia fino al ventesimo secolo

J. KERISEL - *Historique de la Mécanique des sols en France jusqu'au 20<sup>e</sup> siècle* - Ann. d. Pont. et Ch. 128, pp. 505-531; 1958.

### 1 - Generalità

Il Prof. L. GRELOT, direttore dell'*École Nationale* e presidente della Commissione degli « *Annales des Ponts et Chaussées* », nel presentare l'articolo ringrazia KERISEL per il contributo apportato alla gloria degli ingegneri francesi in un campo in cui per mancanza di informazioni si poteva anche pensare che i tecnici francesi si fossero limitati ad aspettare le ricerche all'estero, mentre gli indirizzi erano stati, invece, proprio i francesi a tracciarli. GRELOT ricorda in proposito che quando gli « *Annales des Ponts et Chaussées* » pubblicarono nel 1956 su Alexandre COLLIN, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées, l'articolo di M. A. W. SKEMPTON, professore all'Imperial College dell'Università di Londra, molti ingegneri francesi rimasero sorpresi nell'udire il nome di COLLIN e nell'apprendere che parte dei suoi lavori originali investe la disciplina da molti creduta di creazione recente, chiamata « *Meccanica dei terreni* ». Non meno grande prevede la sorpresa dei tecnici nel leggere le pagine con le quali J. KERISEL, professore all'*École Nationale des Ponts et Chaussées*, riassume il contributo apportato dagli ingegneri francesi, a partire dal 1700, alla conoscenza delle proprietà delle « *terre* » e dei fenomeni che da tali proprietà derivano. Molti di questi numerosi scienziati francesi, celebri sotto questo o altro titolo, furono anche allievi della *Scuola di Ponti e Strade* di Parigi. Da notare anche come nel ricercare la soluzione dei difficili problemi osservatori e sperimentatori abbiano saputo svincolarsi da ogni preconcepito e come la storia di COLLIN insegni a non piegarsi, senz'altro, davanti alle dottrine ufficiali imperanti ché, anche

se tardi, giustizia è resa al carattere ed alla probità scientifica.

In questa rapida rassegna storica dello sviluppo della *Meccanica dei terreni* in Francia l'A. tratta i seguenti aspetti:

- 1) spinta e sostegno delle terre;
- 2) caratteristiche fisiche dei terreni;
- 3) stabilità dei pendii;
- 4) gallerie;
- 5) ripartizione delle sollecitazioni interne nei mezzi elastici;
- 6) silos;
- 7) pali di sabbia;
- 8) filtrazione.

Schematizziamo qui le notizie sui punti di cui ai n.ri 4, 5, 6, 7 e 8 per soffermarci poi più ampiamente sugli argomenti relativi ai numeri 1, 2 e 3.

A proposito delle *gallerie* l'A. ricorda le idee fondamentali di de VAUBAN (1706): salvo la convinzione neoacquisita sulle difficoltà di realizzare gallerie che resistano, come pensava invece il Maresciallo de VAUBAN, ad ogni tipo di bomba, da allora di poco è progredita la conoscenza teorica sugli spessori dei rivestimenti.

In quanto a *distribuzione delle sollecitazioni interne in un corpo a comportamento elastico*, l'A. ricorda come BOUSSINESQ (1885) abbia espresso le deformazioni in un punto generico in funzione del modulo di compressibilità,  $E$ , e dato modo, così, di calcolare i cedimenti verticali in un terreno omogeneo senza passare per i valori degli sforzi interni.

Per ciò che concerne i *silos*, l'A. ricorda la memoria del capitano del genio MOREAU (1827) premiata nel 1826 dal Comitato del Genio con 1500 franchi e la pubblicazione.

L'A. spiega che, dopo le guerre napoleoniche, si sentiva la necessità di sostituire il sistema di conservazione fino allora seguito, perché i solai crollavano sotto il peso del grano e della farina dell'Intendenza Militare. MOREAU segnalò il sistema delle

« *poires d'Ardres* » (1) descritto nell'Architettura Idraulica di BELIDOR, che corrispondono ai silos di oggi e ne propose il metodo di calcolo (per cui vedi appresso).

In quanto ai *pali di sabbia* (ed, in generale, in quanto a fenomeno di arco di scarico naturale, effetto arco, arc-boutement), è ricordato lo stesso MOREAU, che in un'altra memoria « *Notizia su un nuovo modo di costruire su cattivo terreno* » (1832), a proposito di un fabbricato militare da edificare su terreno melmoso, mostrò i vantaggi della fondazione su *pozzi verticali riempiti di sabbia*.

La situazione era la seguente: tutti i fabbricati militari da costruire a Bayonne su di un terreno melmoso cedevano ed i pali di legno imputrivivano.

MOREAU ricorse a pilastri di 1 m × 1 m, poggiati su sabbia che sostituiva la melma per un'altezza di 1 metro circa e constatò che, sotto un carico di 3,3 kg/cm<sup>2</sup>, la sabbia cedeva pochissimo. Tali incoraggianti risultati gli fecero concepire l'idea dei *pali di sabbia*.

Le esperienze rimontano al 1825 e sono fondamentali: in esse fu paragonato l'affondamento (68 millimetri dopo 8 giorni) di un dado in muratura di 1,20 m × 1,20 m caricato con 30 tonnellate ed appoggiato su terreno naturale soltanto pigiato, con gli abbassamenti ottenuti eseguendo 25 pali di sabbia di diametro 0,22 m e di 1,30 m di lunghezza su un quadrato di 1,82 m × 1,82 m; affondamento che sotto 30 tonnellate fu di soli 16 millimetri dopo un mese.

MOREAU intuì che i pali di sabbia trasmettono il loro carico ai terreni non esclusivamente o quasi con la punta, come fanno invece i pali di legno, ma anche per appoggio (scarico, butée) laterale.

Per verificare l'ipotesi adoperò una cassa di 4 metri di lunghezza, 1 metro di larghezza ed 1 metro di profondità nel fondo della quale praticò un'apertura di m 0,27 × 0,60 chiusa con una valvola « *a basculla* ». Egli misurò le pressioni su questa, sotto l'effetto della sola sabbia e sotto l'effetto della massa di sabbia caricata in superficie fino a 4 kg/cm<sup>2</sup>. Ecco le sue conclusioni, basilari per la teoria sia dei *silos*, che dei *pali a sabbia*: « *risulta da queste esperienze che, a parità di lunghezza e d'altezza d'un massivo di sabbia, la pressione su una data area del fondo, se questo cede, diventa costante, sia che la sabbia stia da sola, sia che essa venga caricata in superficie con pesi considerevoli...; d'onde risulta incontestabilmente che i granuli di sabbia formano arco (s'arc boutent) tra di loro, scaricando, così, in grande parte sulla porzione di fondo che non cede e sulle pareti laterali della cassa* ».

MOREAU è dunque uno dei primi, dopo de VAUBAN, ad aver rilevato l'effetto arco nella sabbia; egli rilevò anche come le pressioni trasmesse dalla sabbia al fango finiscano col diventare costanti in profondità: risultato classico per i silos.

Egli dedusse, inoltre, che base e superficie laterale reagiscono insieme e che i pali di sabbia non possono piegarsi di lato se non costipando il terreno che li contiene.

(1) Si tratta dei nove magazzini sotterranei destinati a conservare il grano della guarnigione in caso di assedio che esistevano nel terrapieno di un bastione della città d'Ardres.

In quanto alle leggi sulla *filtrazione nei terreni sciolti permeabili* (in piccolo) l'A. ricorda che, come hanno notato con spirito alcuni scienziati stranieri, è strano che una delle leggi fondamentali d'idraulica sia stata espressa a proposito dell'alimentazione di acqua della capitale della Borgogna, tanto celebre per i suoi vini. Questa legge fu espressa in una memoria del 1856 da Henri DARCY in occasione della conduzione a Digione delle acque della sorgente del Rosoir.

L'A. ricorda, poi, il contributo in materia apportato da DUPUIT (1863) che riprese la formula proposta da de PRONY (1804) per il moto in un tubo e l'adattò alla circolazione negli interstizi della sabbia addivenendo alla formula teorica (formula di DUPUIT) della portata d'acqua in un pozzo filtrante scavato nella falda idrica sotterranea.

## 2 - "Spinta" (poussée) e "sostegno" (butée) delle terre

In Francia la « *Meccanica dei Terreni* », che ai primordi non aveva un nome, nacque dalla « *politica* » di fortificazioni intrapresa da Luigi XIV ed era, perciò, quasi esclusivamente consacrata alle mura di difesa ed ai sotterranei.

L'avo di questa scienza fu il Maresciallo de VAUBAN che con una tavola da disegno nel suo calesse attraversava la Francia da Bayonne a Dunkerque, da Tolone a Cherbourg per costruirvi fortezze.

Il Maresciallo presentò, nel 1704, il « *trattato dell'attacco delle piazze* » e nel 1706 (un anno prima di morire) quello « *sulla difesa delle piazze* ».

In queste opere non si trova molto sulle regole costruttive dei muri di sostegno, perché le istruzioni di de VAUBAN erano per lo più verbali e dettate da una mente intuitiva di grande ingegnere.

Molto probabilmente è nel 1667 che furono inviate agli organi periferici del Genio Militare le istruzioni di de VAUBAN relative a muri di sostegno delle fortezze. Non s'è però conservata traccia di quel documento, fondamentale per numero e per importanza delle opere.

Sono note le tabelle relative al dimensionamento ed alle modalità di struttura di quei muri per lo più muniti di contrafforti (2). A proposito dei quali contrafforti, molto più tardi (1840) PONCELET osserva che, se essi fossero stati sostituiti da un uniforme soprassessore di muratura dello stesso volume o dello stesso momento, i muri non avrebbero offerto il medesimo grado di stabilità. Il « *profilo* » di de VAUBAN era il risultato di osservazioni effettuate durante una lunga pratica: risparmiava notevolmente la muratura, diminuendo la spinta con l'utilizzazione dell'« *effetto arco* » (arc-boutement) sui contrafforti. DE VAUBAN, perciò, è stato considerato anche uno dei primi che ha tratto profitto dall'« *effetto arco* » nelle terre.

Dopo de VAUBAN, numerosi ricercatori provarono

(2) Vedi la memoria di CHAUVELOT del 1783 e le relative discussioni alla Accademia delle Scienze ed anche *modo di fortificare secondo il metodo del Maresciallo VAUBAN* dell'abate du ROY, opera che fu approvata dal VAUBAN.

a giustificare sul piano teorico le dimensioni adoperate da lui. MAYNIEL (1808) nel suo « *Trattato sperimentale analitico e pratico della "spinta" delle terre e muri dei rivestimenti* » fece il punto di tutte le numerose ed ampie pubblicazioni di teorie ed esperimenti comparse durante il XVIII secolo.

BULLET (1691), BUCHOTTE (1716), CUOPLET (1726), BELIDOR (1729), LEMAIRE (1737), QUERLONDE (1743), GADROY (1745), CORMONTAIGNE (1749), SALLONYER (1767), BLAVEAU (1767), RONDELET (1767), TRINCANO (1768) hanno, a loro volta, pubblicato teorie, precedendo COULOMB nelle ricerche sul valore della « spinta » delle terre: si tratta però in generale di studi teorici basati su presupposti aprioristici, come, per es., quello di un piano di rottura costantemente inclinato a  $45^\circ$  sull'orizzonte (BULLET, COUPLET, BELIDOR, GADROY, CORMONTAIGNE, RONDELET, TRINCANO), o che trascurano la realtà dei fenomeni.

Particolare rilievo l'A. dà a BELIDOR (1729) che col suo trattato, « *La Scienza degli Ingegneri nella condotta dei lavori di fortificazione e d'architettura civile* » insegna « *come trovare lo spessore dei muri quando si vuol mettere in equilibrio la loro resistenza con le forze che tendono a rovesciarli* ».

Dopo BELIDOR, si hanno alcuni tentativi di verifica delle teorie e di spiegazione della proprietà dei terreni mediante gli esperimenti.

I principali sperimentatori del XVIII secolo furono GADROY, GAUTHEY, RONDELET i quali nelle esperienze per la verifica dei valori teorici delle spinte si servirono della cassa senza coperchio con un lato su perno che riceveva la spinta da misurare; era, per così dire, l'antenata della cassa adoperata, poi, da K. TERZAGHI nel 1936; ma un antenato atrofizzato per insufficiente larghezza. Tale vizio costituzionale conduce ad effetti d'arco e perciò a scarico degli sforzi sulle pareti laterali; l'effetto arco (arc-boutement), base del successo delle eleganti costruzioni di de VAUBAN, complica, invece, le esperienze di questi ricercatori, le quali perdono, così, ogni valore.

Altri ricercatori tentano di analizzare le proprietà fisiche di diversi terreni. BELIDOR (1729) e LEMAIRE (1737) eseguono anche timidi tentativi di sistemare la terminologia e propongono, per es., di chiamare *tenacità* la peculiare proprietà delle terre sciolte a comportamento argilloso.

QUERLONDE (1743) distingue tre tipi di terreni: la terra vegetale con scarpata naturale di 1 su 1, l'argilla « *dura* » di scarpata 3 su 2 e la sabbia di scarpata 2 su 1. RONDELET riduce troppo sommariamente questa classifica, limitandola a « *terre* » e « *sabbie* ». L'influenza nociva di tale autorevole intervento sulla questione si esercita per lungo tempo.

All'antivigilia della rivoluzione, COULOMB (1773) depositò la sua classica Memoria alla Reale Accademia.

Con questa memoria egli fissò il concetto di *coesione*, distinse nettamente la *spinta* delle terre dall'azione dei muri di sostegno e introdusse il concetto del « *triangolo* » (cuneo triangolare) di massima spinta che superava il preconcetto di una superficie di distacco preordinata e di inclinazione fissa. COULOMB che compare, intanto, anche come il primo dei « *plasticisti* », si limitò a risolvere il problema della spinta

(che suppone orizzontale) su un muro a paramento verticale e mise bene in chiaro che la superficie di distacco e scorrimento da lui assunta era soltanto una comoda semplificazione approssimativamente valida in alcuni casi.

Nel 1802 ancora non si notavano ulteriori progressi (v. per es. de PRONY).

Nel 1808 MAYNIEL riprese gli esperimenti con le casse di sabbie: le casse sono meglio proporzionate, tuttavia le deduzioni restano in gran parte offuscate dai soliti preconcetti.

Una impostazione generale più corretta la dette FRANÇAIS (1820). Posteriormente (1840) il generale PONCELET tradusse in una costruzione geometrica assai abile la teoria del prisma di COULOMB almeno per ciò che riguarda la spinta; ma la sua costruzione astrae dalla coesione. Il generale PONCELET credeva, infatti, all'angolo di riposo delle argille. Andò incontro, perciò, alle critiche di Alessandro COLLIN (1846) di cui si parlerà appresso a proposito della stabilità dei pendii. Ma la scuola ufficiale era potente e, poiché le tesi di COLLIN contrastavano con quelle degli scienziati dell'epoca, i suoi articoli furono rifiutati dall'Accademia delle Scienze in seguito a relazione contraria di una commissione di cui faceva parte il generale PONCELET.

Comunque, più tardi, indipendentemente dallo scienziato inglese RANKINE (1857) ma dopo di lui Maurice LÉVY (1867) e CONSIDERE (1870) trattano dell'equilibrio in generale; dal loro lavoro risulta, in particolare, che la spinta di un massivo (piano) su un muro verticale è parallela alla superficie libera del massivo stesso.

Finalmente BOUSSINESQ (1882) mette un punto finale alle teorie di spinta e di sostegno delle terre, scrivendo le equazioni differenziali di tutti gli equilibri di spinta su una « *faccia* » qualsiasi e con qualsiasi obliquità intermedia tra  $+\emptyset$  e  $-\emptyset$ , dando così la soluzione del problema nella sua generalità, ma senza integrare le equazioni stesse. RÉSAL sviluppò alcuni casi.

Il metodo per l'integrazione completa delle equazioni di BOUSSINESQ, espresse in coordinate polari, è stato dato nel 1934 da CAQUOT; le corrispondenti tabelle sono state calcolate, nel 1948, da CAQUOT e KERISEL.

Dopo COULOMB, nel campo degli equilibri « *plastici* » BOUSSINESQ occupa, dunque, un posto particolare nella Meccanica dei terreni anche se egli è molto più noto per i lavori sulla distribuzione delle sollecitazioni (dovute ad un carico puntiforme) entro un mezzo elastico semilimitato.

### 3 - Caratteristiche meccaniche dei terreni

Dopo i tentativi di definizione dei terreni di QUERLONDE, RONDELET, MAYNIEL compaiono le ricerche di Alessandro COLLIN (1848), il primo vero sperimentatore di laboratorio in materia, i cui scritti, però, furono a lungo ignorati. Le sue esperienze sono

(3) Vedi A. W. SKEMPTON, 1946 e traduzione in inglese di W. R. SCHRIER, 1956.

menzionate nel suo libro intitolato: « *Ricerche sperimentali sugli scivolamenti (glissements) spontanei dei terreni argillosi* » (3). Qui egli scrive: « *La forza di coesione dell'argilla ha efficacia incontestabile nell'equilibrio delle terre, benché sinora i geometri che hanno stabilito formule per determinare le condizioni dell'equilibrio delle terre argillose ne abbiano fatto astrazione: il che equivale ad astrarre dalla gravità o dall'attrito* ».

COLLIN ricorda dapprima che VICAT (1833) (4) aveva già rilevato il carattere delle forze che nei solidi s'oppongono ai movimenti tangenziali e le aveva chiamate « *forze trasversali* » (transverses).

Con un idoneo apparecchio di prova per il taglio da lui concepito (5), COLLIN eseguì due serie di esperienze sulla coesione: una prima serie riguarda la misura della « *coesione istantanea* », quella che, secondo COLLIN, è distrutta dopo meno di 30 secondi; una seconda serie riguarda la *coesione permanente*.

Per la prima serie, COLLIN eseguì trenta misure su sei campioni d'argilla presi con diversi gradi di consistenza: da quello della terra quasi fluente sino a quello della terra disseccata per esposizione all'aria, misurando il grado di consistenza con l'« *ago* » di VICAT (con misura della penetrazione istantanea di un'asta graduata di peso 1 chilogrammo, a base conica e di un millimetro di diametro).

COLLIN rilevò la forte variabilità della coesione in funzione del grado di consistenza. Per deboli consistenze, trovò una media di 193 g/cm<sup>2</sup>; per consistenze di riempimenti pistonati, come quelli usati nelle dighe, riscontrò una media di 500 g/cm<sup>2</sup>.

In vista del fatto che la consistenza dell'argilla può estendersi anche al di fuori dei limiti sperimentati e che le stesse argille secondo il loro tenore in acqua possono offrire tutte le consistenze, concluse che *le argille hanno proprietà così variabili e fuggitive che non si può contare su di esse per la stabilità perpetua delle costruzioni che ne richiedono l'impiego*. Poiché l'argilla offre una resistenza tanto più lunga quanto più il carico è basso e viceversa, la resistenza permanente resta la sola importante a conoscere. Ma, quanto tempo, si chiede COLLIN, deve passare prima che il materiale, sottoposto ad una pressione, possa essere considerato capace di resistere indefinitamente? Sarà un giorno, un anno, un secolo? Problema capitale, che domina ancora oggi nella *Meccanica dei terreni*.

Pur convinto dell'insufficienza dei suoi esperimenti, sotto questo rapporto, COLLIN propone una riduzione (abatement) del 90% da praticare sul valore della coesione istantanea per risalire alla coesione permanente.

E' evidente che la funzione svolta dalla pressione (idrica) interstiziale sfuggì a COLLIN, ma, comunque, probabilmente egli è uno dei primissimi ad avere messo in rilievo la variazione della coesione in funzione del tenore in acqua e l'influenza del tempo nelle

determinazioni delle proprietà meccaniche delle argille.

Le misure dell'angolo di attrito delle argille, eseguite dallo stesso COLLIN, non dettero risultati paragonabili a quelle della coesione.

L'A. ricorda, infine, le misure di  $C$  e  $\varphi$  compiute, sotto la direzione di J. RÉVAL nel 1909 alla diga di Charmes, da JACQUINOT e FRONTARD.

#### 4 - Stabilità dei pendii

Secondo l'A., PERRONET, primo ingegnere delle « *turcies et levées* » (6) e grande costruttore di ponti del XVIII secolo, pubblicò (1769) il primo articolo (7) sulla *stabilità dei pendii* (pentes). Nella breve memoria che descrive importanti franamenti di pendii (talus) è messa in evidenza la curvatura delle scarpate di vecchi rinterri. Mancano però notizie sulle caratteristiche fisiche dei terreni e specie sull'angolo di attrito.

PERRONET constata che in questo campo l'ingegneria è ancora nell'infanzia e riconosce che le scarpate modificano spontaneamente le proprie inclinazioni, da rettilinee diventando curvilinee.

GIRARD, ingegnere di « *Ponts et Chaussées* », incaricato della costruzione del canale dell'Ourcq, nel riferire (1831) in dettaglio sul grande franamento (glissement) della trincea di quell'opera nei boschi di Saint-Denis nel 1804 continua a credere nella necessaria preesistenza della superficie di scivolamento.

Sul piano teorico, COULOMB (1773) dette la formula corretta dell'altezza limite di un pendio (o scarpata) nel caso di cui esso è verticale, partendo dall'espressione della spinta ( $A$ ) su un muro verticale di data altezza ( $a$ ) in funzione della coesione (« *aderenza* »  $C$ ) angolo d'attrito ( $\varphi$ ) e peso specifico ( $\gamma$ ) della terra e ponendo poi eguale a zero il valore

della spinta. Ricava la  $a = \frac{C}{\gamma} \cdot f(\varphi)$ .

FRANÇAIS (1820) dà una relazione più generale tra la profondità di un'escavazione e la scarpa con la quale bisognerebbe tagliare le terre di modo che esse si sostengano con la sola propria coesione.

Le sue espressioni, formalmente corrette, fisicamente non rispondono, perché è supposto che su di un muro inclinato la spinta sia perpendicolare alla faccia e perché il valore dell'angolo dell'attrito interno di un corpo coerente è confuso ancora con quello del pendio naturale.

COLLIN (1846) protesta vigorosamente contro l'ipotesi di una superficie di scoscendimento preesistente e contro l'applicazione del metodo del prisma triangolare di COULOMB ai terreni coerenti. Egli dice: vero è che COULOMB ammise per le terre che nel

(6) Nome dato allora agli ingegneri di « *Ponts et Chaussées* ».

(7) Secondo COLLIN, in una memoria del 1699, de VAUBAN aveva già riferito su diversi franamenti (glissements) di terreni argillosi lungo superficie di rottura che chiamava *glissants*.

(4) Celebre nel campo dei cementi.

(5) Vedi la chiara descrizione con relativo disegno nella nota originale di KERISEL.

prisma di massima spinta la « *linea di rottura fosse l'ipotenusa di un triangolo rettangolo* ». Ma i suoi successori hanno generalizzato questa idea e preteso così di dominare tutti i fenomeni della Meccanica delle terre. Or bene! quell'ipotesi, applicata alle terre argillose è soltanto una finzione.

Lo stesso COLLIN nella memoria già ricordata dimostra che, nelle terre argillose, la superficie di scivolamento non preesiste e non è retta, ma è curva e precisamente la direttrice del cilindro (cui può ridursi la superficie) deve riportarsi ad un'arco di cicloide piana o di una curva della sua famiglia e che, di conseguenza, non è ammissibile l'applicazione della trattazione di COULOMB a quella natura di terre.

In sostegno della sua tesi, COLLIN riunì molte osservazioni sugli scoscendimenti di pendii accaduti per la maggior parte durante la costruzione di canali e strade ferrate.

Egli mostrò che la sommità della « *curva* » di scivolamento (orlo o ciglio superiore della superficie di scoscendimento) può trovarsi da una parte o dall'altra della cresta (variazioni di pendenza) del pendio e riferisce che l'esperienza insegna che esiste una relazione tra la posizione di questa sommità e l'inclinazione del pendio. Per i pendii a 1,5 di base per 1 di altezza, la sommità è a monte della cresta; con l'inclinazione di 2 di base per 1 di altezza essa coincide approssimativamente con la cresta; con inclinazioni minori la sommità ricade entro la scarpata (o pendio).

Dalle deformazioni e dagli spostamenti della superficie egli traeva deduzioni sullo stato di consolidamento del terreno. COLLIN descrisse anche uno scoscendimento particolare che chiamò *multiplo* e che corrisponde agli scoscendimenti che oggi vengono chiamati *retrogressivi*.

Nello scoscendimento del paramento a monte della diga di Cercey in seguito ad uno svaso, egli riconobbe il rapporto di causa ad effetto tra lo svuotamento ed il franamento.

COLLIN notò che certi scoscendimenti avvengono d'inverno dopo lunghi periodi di pioggia, altri d'estate dopo un fortissimo caldo e che, perciò, le precipitazioni esterne non bastano a spiegare gli scoscendimenti le cui cause, in generale, sono multiple.

Comunicò anche le sue osservazioni sulle velocità massime di scivolamento molto variabili da 0,35 a 0,01 metro per ora.

Egli concluse la sua celebre memoria, dichiarando inammissibile l'opinione di PONCELET: la coesione ha gran parte nella stabilità dei terreni; la gravità causa scoscendimenti solo quando la propria azione diventa predominante sia per l'effetto dell'inclinazione del pendio, sia per diminuzione della coesione; nota che tale è, appunto, il processo di modifica dei rilievi montuosi: il fiume che scava la sponda sopprime certi sostegni e determina, così uno scoscendimento trasversale secondo una cicloide; l'erosione trasforma, poi, in convessità la parte superiore della concavità della superficie curva.

COLLIN, inoltre, per primo ha provato il metodo  $\varphi = 0$ : allegato al suo libro v'è, infatti, il calcolo

della spinta esercitata dal prisma cicloidale, in cui si considerano le due ipotesi: la prima è  $C = 0$   $\varphi \neq 0$  e la seconda da  $C \neq 0$   $\varphi = 0$ . Per un pendio di 10 metri e per  $\gamma = 1,725$ , COLLIN trova che la spinta è nulla, sia per  $\tan \varphi = 0,58$  (ossia  $\varphi = 30^\circ$ ) e  $C = 0$ , sia per  $\varphi = 0$  e  $C = 0,170$  chilogrammi per  $\text{cm}^2$ . Il metodo non è perfetto, ma apre la via all'utilizzazione del metodo « ai limiti » impiegato (*méthodes extrêmes*) ancora oggi in mancanza di meglio.

## 5 - Conclusioni

L'A. chiude la sua rassegna notando che in materia di Meccanica dei Terreni le teorie dei secoli XVII, XVIII e XIX sono state dominate da due errori: la pretesa rettilinearità delle « *curve di scivolamento* » nei pendii e la confusione dell'angolo di naturale declivio con l'angolo di attrito interno nei mezzi coerenti di tipo argilloso.

COULOMB introdusse la coesione nella legge che porta il suo nome ed indicò che un corpo coerente si può reggere da sé anche con fronte verticale. Ma solo dopo 70 anni la base sperimentale alla teoria di COULOMB fu fornita da COLLIN il quale al metodo antico (con cui, partendo da  $\varphi \neq 0$  e  $C = 0$  si assimila l'angolo di naturale declivio con l'angolo di attrito) oppose il nuovo con  $\varphi = 0$ ,  $C \neq 0$  ed aprì il processo ancora non chiuso.

Ambedue le attitudini, estreme, costituiscono posizioni comode; ma semplificare non è risolvere tanto più che la difficoltà della Meccanica dei terreni, più che nel modo di misurare  $C$  e  $\varphi$  « *in vitro* » ed in situ e di far comparire queste due grandezze nei calcoli, sta nella scelta della coppia dei loro valori possibili che meglio rispecchi le reali condizioni in posto (a « *breve* » o a « *lungo* » termine). Da questo punto di vista, la Meccanica dei terreni ha progredito di più nelle ricerche di laboratorio.

COLLIN, nel combattere l'eresia geologica di GIRARD della *preesistenza* di una superficie di scivolamento in un'argilla, prevedeva che un giorno si sarebbero determinate preventivamente le dimensioni della massa che si muove e la superficie sulla quale essa deve scivolare; ma questo giorno, in verità, non è ancora giunto. Nè molti altri interrogativi che hanno preoccupato gli scienziati francesi hanno ancora ricevuto la risposta definitiva.

Tuttavia, anche se lenti, i progressi della Meccanica dei terreni sono sicuri, una brillante rinascita, rivelata dai tre ultimi congressi internazionali, ha seguito il periodo « *medioevale* » che si estende dall'ultima memoria di COLLIN (1846) sino alle opere di J. RÉSAL, pubblicate nel 1903 e nel 1910 e, poi, al primo trattato di TERZAGHI.

In tutto ciò si è molto colpiti dalla intuizione di COULOMB relativa alla coesione e all'attrito e dalla tenacia con cui COLLIN insistette sulla necessità di sperimentare anche in questa materia.

19 settembre 1958

F. Penta