

Un tentativo di determinazione empirica del Cv (coefficiente di consolidazione) da prove CPT (prova penetrometrica statica) e della permeabilità dai limiti di Atterberg

Gianluca Ferioli

Geologo, Dottore di Ricerca

1. PREMESSA

La Geotecnica in quanto scienza che necessita di tendere a fornire numeri il più possibile precisi ed affinati deve, naturalmente, cercare di avvalersi di strumentazioni sempre più sofisticate ed in grado di aumentare costantemente il numero di cifre significativamente realistiche “dopo la virgola”. Ovviamente questa filosofia generale ad un certo punto perde in parte di valore a fronte della precisione richiesta da un calcolo, che talora può necessitare di un range abbastanza largo.

Per questo motivo vengono ancora comunemente utilizzate prove come le CPT, prove penetrometriche statiche con punta meccanica, in cui la parte empirica in fase di elaborazione la fa da padrona, con delega alla coscienza del professionista di utilizzarle *cum grano salis*, affiancando ad esse un adeguato numero di sondaggi con campionature indisturbate per una taratura precisa della campagna d’indagine.

In questo contesto si inserisce lo studio statistico che da anni stiamo facendo per ottenere qualche ulteriore parametro preliminare che possa avere un po’ di utilità, oltre a quelli solitamente ricavati.

Abbiamo a tale proposito tentato di ottenere un valore empirico di due grandezze che necessitano, per essere determinate con precisione, di prove piuttosto lunghe e di campionature indisturbate, da prove semplici e sbrigative: il coefficiente di consolidazione primaria Cv dalla prova CPT e la permeabilità dai limiti di Atterberg, il tutto tarato sui terreni prevalentemente coesivi della fascia tra Venezia e Bologna.

2. DETERMINAZIONE EMPIRICA DEL CV

Capita che il professionista necessiti in una preliminare prima battuta di indagini di un’indicazione di massima

riguardante le caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione. In generale tali caratteristiche si ottengono da normalissime prove penetrometriche statiche CPT, dato il basso costo relativo e la rapidità di esecuzione. In fase definitiva, poi, sono solitamente necessarie verifiche più precise di laboratorio con campioni indisturbati prelevati nel corso di sondaggi a rotazione.

E’ in questo contesto noto a tutti che le prove CPT, partendo dagli unici due valori direttamente letti in campagna, permettono, attraverso una serie di formule empiriche, di ottenere in modo indicativo i parametri meccanici del terreno, che come tali (cioè indicativamente) vanno considerati ed utilizzati.

Negli ultimi anni abbiamo raccolto una serie abbastanza significativa (circa 300) di dati ottenuti da prove CPT affiancate a sondaggi geognostici in cui sono stati raccolti campioni indisturbati su cui sono state eseguite prove di consolidazione edometrica.

Una volta raccolti e confrontati tali dati abbiamo cercato una correlazione empirica tra il coefficiente di consolidazione e i valori Rp-RI (resistenza alla punta e resistenza laterale).

Il coefficiente di consolidazione primaria Cv si ricava con precisione da prove edometriche, attraverso il diagramma tempo-cedimenti che viene registrato durante un intervallo di carico. Esso viene utilizzato per una stima del tempo di esaurimento dei cedimenti di un’opera oltre che per la misura della permeabilità di terreni coesivi. Le prove in questione sono piuttosto lunghe e costose, necessitano di campionature indisturbate e vanno previste in modo “mirato”, solitamente dopo una campagna preliminare di prove CPT.

Una prima valutazione del Cv può essere utile già dalla succitata campagna preliminare di CPT per avere una idea dell’ordine di grandezza, oltre che dei tempi di cedimento, anche della permeabilità dei terreni, calcolabile dalla formula K (permeabilità) = $Cv \cdot mv \cdot \gamma_{H_2O}$ utilizzata

per le diffusissime prove di permeabilità indiretta eseguite sempre con edometro. Già il coefficiente di compressibilità di volume mv è normalmente ricavato per via empirica dalle prove CPT, con il calcolo empirico del Cv il cerchio si chiude, per quanto approssimato.

Sia comunque chiaro che dato che tutte le grandezze derivate dalle prove CPT sono ricavate in modo indiretto, si possono cambiare i coefficienti di calcolo da zona a zona dipendentemente dalle caratteristiche note dei terreni. Le nostre comparazioni sono risultate attendibili per la bassa padana, nella fascia tra Venezia-Padova-Ferrara e Bologna, in cui abbiamo eseguito CPT e sondaggi di taratura. Ad esempio il classico RP/20 per il calcolo della coesione non drenata può cambiare dipendentemente dalle aree.

Questa nota vuole quindi essere unicamente un'invito alla ricerca verso quei colleghi che si trovano ad elaborare dati da sondaggi e penetrometrie per un affinamento

sempre migliore dei parametri ricavabili da prove economiche ma spesso incerte, come le CPT, senza dimenticare che il modo migliore di calcolare queste grandezze è con campioni indisturbati ed in laboratorio.

La formula per il calcolo del Cv è:

$$Cv = (RP/RL * (RP/10000)) / (RLm)$$

in cui:

RP = 1° LETTURA AL MANOMETRO DEL PENETROMETRO (infissione punta)

RLm = 2° LETTURA AL MANOMETRO DEL PENETROMETRO (infissione punta + manicotto)

RL = RESISTENZA LATERALE

Costante del Penetrometro: 10

Riportiamo in figura 1-2-3 a titolo di esempio i grafici Cv-RP/RL per RP= 5,10,20 daN/cm².

In fig. 4 un penetrometro su autocarro posizionato per la prova.

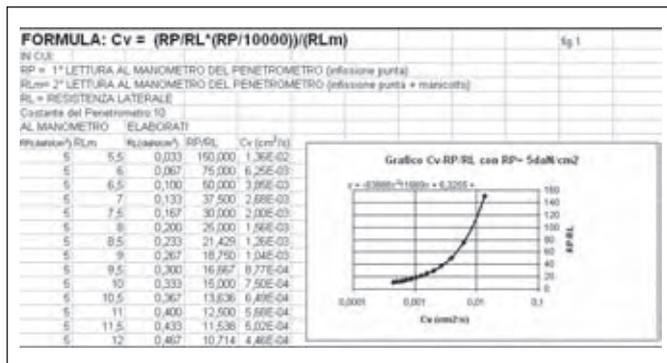


Figura 1 - Nel grafico si osservano in ascissa il coefficiente di consolidazione primaria ed in ordinata il rapporto tra resistenza alla punta e resistenza laterale, con resistenza alla punta di 5 daN/cm²

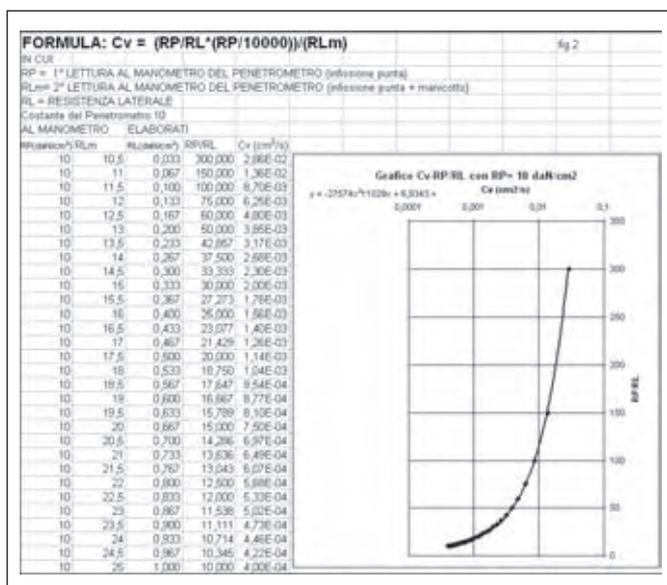


Figura 2 - Nel grafico si osservano in ascissa il coefficiente di consolidazione primaria ed in ordinata il rapporto tra resistenza alla punta e resistenza laterale, con resistenza alla punta di 10 daN/cm²

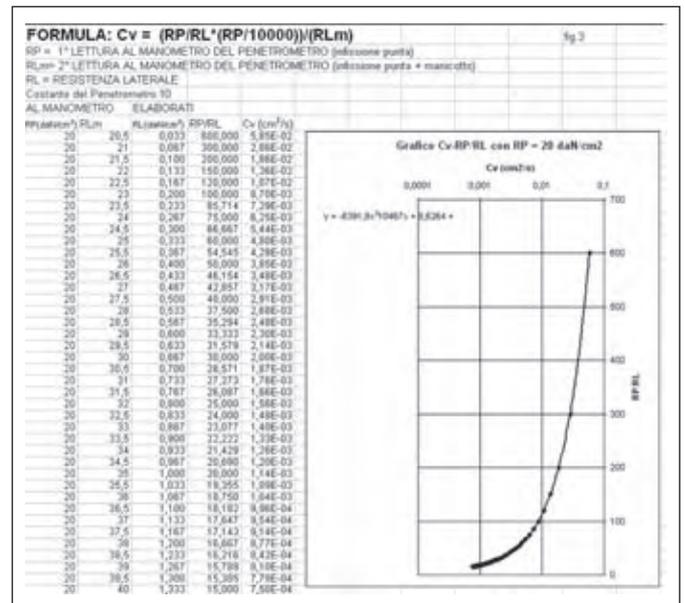


Figura 3 - Nel grafico si osservano in ascissa il coefficiente di consolidazione primaria ed in ordinata il rapporto tra resistenza alla punta e resistenza laterale, con resistenza alla punta di 20 daN/cm²



Figura 4 - Penetrometro su autocarro

3. DETERMINAZIONE EMPIRICA DELLA PERMEABILITÀ DAI LIMITI DI ATTERBERG

Anche in questo caso la formula in primissima approssimazione, può fornire utili indicazioni relativamente alla permeabilità dei terreni attraverso l'esecuzione dei limiti di Atterberg. Ovviamente il risultato è puramente indicativo, pur se compatibile con gli ordini di grandezza ricavati da verifiche di laboratorio e letteratura. Ricordiamo che i limiti di Atterberg (liquido e plastico) sono grandezze ricavabili da prove di laboratorio economiche, semplici e rapide, e si riferiscono all'umidità, caratteristica per ogni tipologia di terreno, per la quale il terreno stesso si comporta in modo fluido o plastico. Dai limiti di Atterberg si ricava la nota carta di plasticità di Casagrande, utilizzata per varie classificazioni dei terreni. La permeabilità, invece, è la velocità con cui l'acqua può "attraversare" il terreno, che sarà tanto più alta quanto più il terreno è granulare (sabbioso ghiaioso) e più bassa con terreni limoso-argillosi.

Le prove di permeabilità sono, specialmente nei secondi, lunghe e complesse, quindi una primissima e pur approssimativa indicazione della permeabilità ricavata dai limiti può in certi casi essere utile. La formula proposta è la seguente, con K espressa in centimetri al secondo:

$$K \text{ (permeabilità)} = 1 / (\text{Limite liquido} \cdot \text{Indice plastico}^4)$$

In figura 5 sono riportati alcuni valori esemplificativi ricavi-

vati dai calcoli, in linea con i noti ordini di grandezza dei materiali della nostra area di lavoro, in fig. 6 un cucchiaino di Casagrande per la determinazione del limite liquido dei terreni.



Figura 6 - Cucchiaino di Casagrande per determinare il Limite Liquido delle terre.

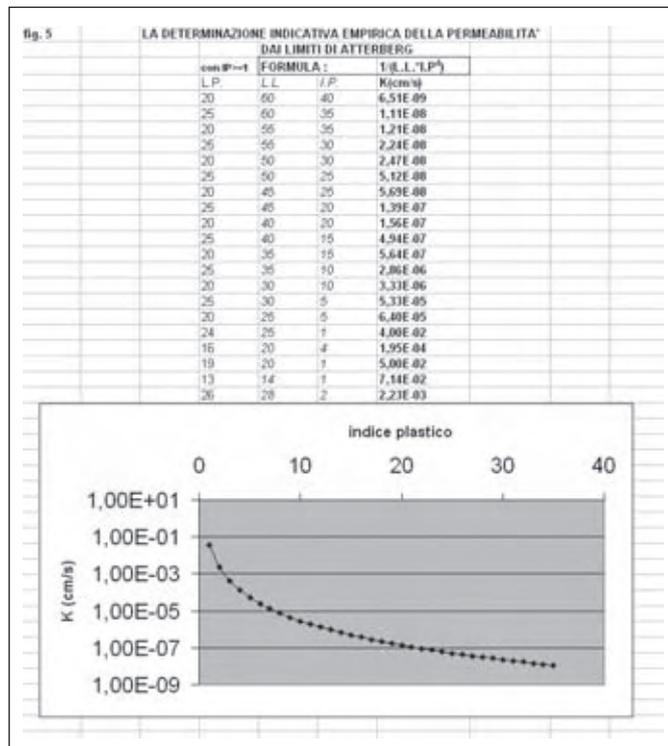


Figura 5 - Valori di permeabilità (cm/S) per terreno con Indice Plastico fino a 40.

4. CONCLUSIONE

Lo spirito del breve articolo dovrebbe essere, spero, sufficientemente chiaro. Un invito ai colleghi a sperimentare tutto questo per arrivare ad avere un piccolo strumento senza particolari pretese in più, da usare con tutte le cautele che si convengono ad un qualunque "RP/20". Un buon lavoro a tutti.

5. BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils

ASTM D2435 - 04 Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading

ASTM D3441 - 05 Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soil

UNI CEN ISO/TS 17892 - 12:2005: Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 12: Determinazione dei limiti di Atterberg

UNI CEN ISO/TS 17892 - 5:2005: Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 5: Prova edometrica ad incrementi di carico