

## 8 Opzione Arching in PARATIE PLUS

### 8.1 Premessa

I metodi convenzionali generalmente utilizzati nella progettazione di palancole ancorate fanno riferimento al cosiddetto free earth support o al fixed earth support method. Questi metodi ipotizzano distribuzioni di pressioni attive e passive lineari in base al criterio di rottura di Mohr-Coulomb, nonché movimenti della parete pensata come un corpo rigido. Tuttavia, già da alcuni decenni, gli ingegneri sono consapevoli del fatto che il comportamento effettivo delle pareti flessibili ancorate è molto diverso da tale idealizzazione. Concentrazioni di pressioni nel terreno in prossimità dell'ancoraggio e altri aspetti osservati, non sono considerati nei metodi convenzionali utilizzati per la progettazione. A questo riguardo, sono state avanzate diverse proposte per migliorare tali metodi senza richiedere modifiche drastiche alle procedure convenzionali. Ad esempio, pur mantenendo una distribuzione triangolare delle spinte attiva e passiva (la cosiddetta ipotesi del Fluido Equivalente), i momenti di calcolo sono spesso ridotti mediante curve di riduzione (note anche come curve di riduzione di Rowe) sviluppate sulla base di test di laboratorio su piccola scala (Rowe 1952). Raccomandazioni possono anche essere trovate, per esempio, in molti codici internazionali utilizzati in ingegneria marittima, nella progettazione di moli (vedere Tsinker (1997)).

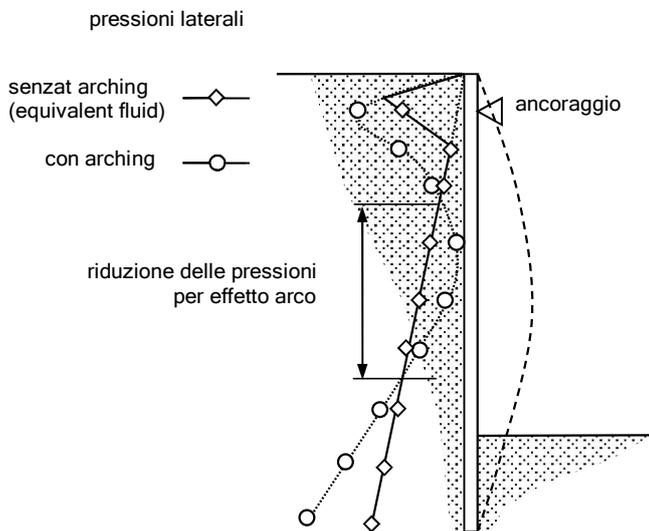
Con i progressi della tecnologia informatica, l'uso di metodi numerici facenti capo alla meccanica dei continui (metodi agli elementi finiti e alle differenze finite) è andato aumentando negli ultimi anni anche per lo studio di opere di sostegno flessibili. Tale tecnologia è stata utilizzata molto presto dai ricercatori per studiare il comportamento di pareti a mensola o palancole ancorate in condizioni di carico statiche e dinamiche. Strumenti numerici avanzati sono ora disponibili anche per i progettisti, permettendo così una accurata analisi di opere di sostegno in molte situazioni di progetto.

Tuttavia, la ricerca di proposte pratiche per migliorare metodi meno generali, ma più semplici che possono effettivamente aiutare i progettisti, almeno nella fase iniziale del loro progetto, è ancora un argomento rilevante per la ricerca applicata. A questo proposito, esamineremo qui la cosiddetta procedura di "arching" che può migliorare il semplice schema adottato sia in approcci convenzionali sia nei programmi a molle non lineari quali PARATIE PLUS nel calcolo della distribuzione di sollecitazioni laterali su un'opera di sostegno molto flessibile.

## 8.2 Una sintesi della procedura di arching

Secondo lo schema del Fluido Equivalente, in un terreno omogeneo, le pressioni attive e passive, lungo la parete, variano linearmente con la profondità. Tale distribuzione, determinata dai coefficienti di spinta KA e KP, viene utilizzata estesamente nella pratica ed è discussa in dettaglio nel manuale di Teoria. Tuttavia, è stato notato frequentemente che, dietro opere di sostegno molto flessibili, come le palancole, soggette a spostamenti laterali significativi per la loro limitata rigidità flessionale, si verificano spinte inferiori (Figura 8-1).

Tale comportamento, che non solo rappresenta un risultato numerico ma anche corrisponde a misure reali, è spesso indicato come effetto arco. Con riferimento ad uno schema di interazione semplice, in Pappin et al (1985), è discussa una proposta che può migliorare la distribuzione delle pressioni laterali dietro un muro, per tener conto di tale effetto.



**Figura 8-1: riduzione delle pressioni per effetto arco in un'opera di sostegno flessibile**

Questi Autori partono dall'osservare che la distribuzione di pressioni secondo l'ipotesi del fluido equivalente, benché sufficiente a soddisfare le condizioni sia di equilibrio sia di resistenza, non è strettamente una condizione necessaria, in generale. In altre parole, sono accettabili diverse distribuzioni di pressione, che possono violare localmente i limiti attivi o passivi.

In particolare, sul lato di monte, si può determinare una significativa riduzione di spinta in corrispondenza con le zone lontano dai supporti laterali e, allo stesso tempo, un aumento di spinte in prossimità dei punti di ancoraggio (come indicato nella Figura 8-1).

La proposta di Pappin et al (1985) è anche alla base dell'opzione di arching inclusa in PARATIE PLUS, come illustrato con maggior dettaglio nel manuale di teoria.

Si noti che tale opzione di fatto fornisce una distribuzione modificata delle spinte (e quindi diversi momenti flettenti e differenti forze nei supporti) solo per pareti di sostegno molto flessibili con terreno in condizioni attive in una parte rilevante della loro altezza.

Vale la pena notare che tali algoritmi sono utili solo nell'ambito dei metodi di interazione semplificata come quello di PARATIE PLUS. Quando si utilizza una modellazione del continuo, invece, tali effetti, se presenti, sono impliciti nella formulazione degli elementi finiti o dello schema alle differenze finite adottato (vedi ad esempio Gazetas et al. (2015) per un'ulteriore discussione su questo argomento).

### 8.3 Descrizione del problema

Si prendono in esame due palancole mono-ancorate studiate da Bilgin (2012) tramite modelli 2D ad elementi finiti con il codice commerciale PLAXIS.

Benché lo scopo di quello studio sia diverso dal nostro, alcuni dei risultati ottenuti da Bilgin (2012) possono essere utilizzati per valutare gli eventuali miglioramenti nella capacità di previsione apportata dall'opzione arching in PARATIE PLUS. I dati salienti del problema sono riassunti nella figura seguente.

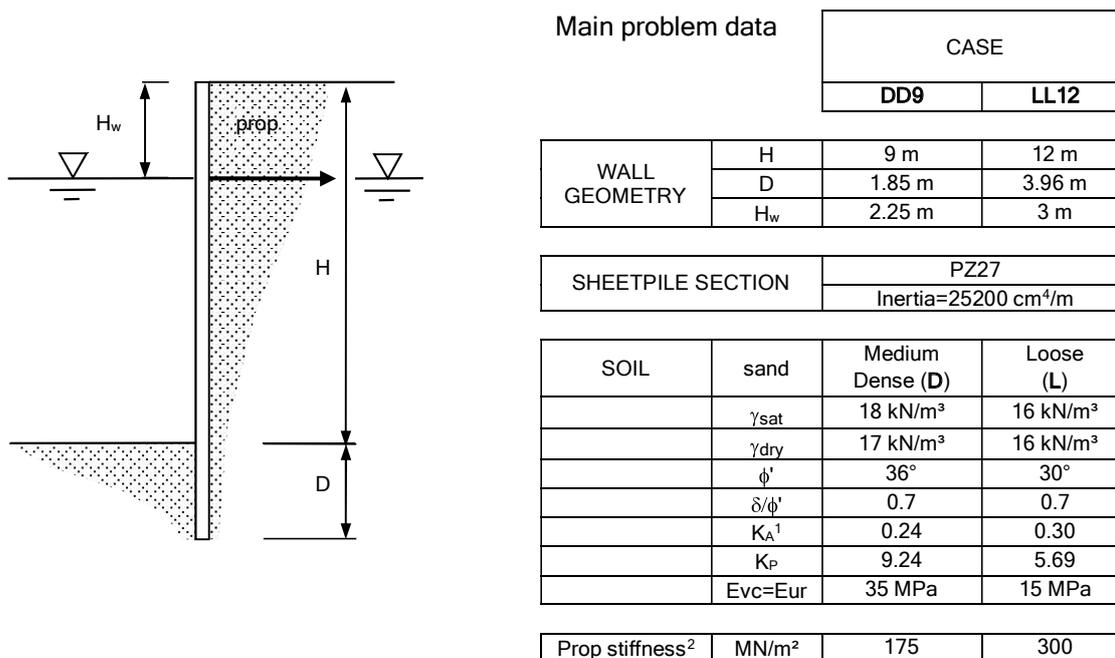


Figura 8-2 : sheetpile problem (Bilgin (2012))

### 8.4 Costruzione dei modelli

Per ognuna delle due casistiche di parete (DD9 e LL12), sono analizzati quattro modelli, precisamente:

MODELLO NA1:	no arching	{	K <sub>A</sub> - K <sub>P</sub> in accordo con Bilgin (2012)
MODELLO NA2:			K <sub>A</sub> - K <sub>P</sub> secondo procedura PARATIE PLUS
MODELLO AR1:	arching option	{	K <sub>A</sub> - K <sub>P</sub> in accordo con (2012)
MODELLO AR2:			K <sub>A</sub> - K <sub>P</sub> secondo procedura PARATIE PLUS

Per ogni modello viene adottata la classica modellazione per fasi successive, come segue.

1. si ristabiliscono le condizioni iniziali in situ ponendo  $K_0=0.5$
2. si scava alla profondità dell'ancoraggio (e della freatica)
3. si aggiunge il vincolo
4. si completa lo scavo per fasi successive fino al raggiungimento della profondità finale.

<sup>1</sup> in questa tabella  $K_A$  e  $K_P$  coincidono con quelli indicati da Bilgin (2012). Si presenteranno anche i risultati ottenuti calcolando tali coefficienti secondo lo schema di default previsto da PARATIE PLUS.

<sup>2</sup> Il supporto (prop) è pensato come un ancoraggio passivo, vale a dire un semplice vincolo elastico la cui rigidezza indicata in tabella è in accordo con Bilgin (2014).

## 8.5 Sintesi dei risultati

Nella seguente tabella, si riassumono i principali risultati delle analisi PARATIE PLUS confrontandoli con quelli riportati da Bilgin (2012).

Va osservato che i risultati di Bilgin (2012) nella colonna "p.m." sono quelli calcolati dall'Autore attraverso il metodo proposto in quell'articolo, metodo che include una modifica al coefficiente di spinta attiva ordinaria per tener conto di redistribuzione della pressione dietro la parete e un fattore di riduzione del momento secondo la proposta di Rowe (1952). Tale metodo non fornisce una stima diretta della deformabilità della parete. I risultati FEA, invece, sono quelli calcolati dall'Autore utilizzando modelli PLAXIS.

		DD9						LL12					
		Bilgin (2012)		PARATIE PLUS				Bilgin (2012)		PARATIE PLUS			
		FEA	p.m.	NA1	NA2	AR1	AR2	FEA	p.m.	NA1	NA2	AR1	AR2
Reaz. vincolo	kN/m	102.8	97.0	121.4	109.2	92.4	82.2	227.2	206.3	270	253	200.7	186
Momento max.	kNm/m	72.9	68.5	91.4	82.8	81.2	71.5	203.7	214.7	276	266	237	225
Max. spost.	mm	-18	n.a	13.5	12.5	11.7	10.5	-76	n.a	87	86	72	69

Si può osservare che, attivando l'opzione arching, PARATIE PLUS fornisce risultati in miglior accordo con quelli di Bilgin (2012). In particolare, il miglioramento è più evidente per il caso LL12, poiché la maggiore flessibilità della parete amplifica gli effetti di redistribuzione legato alla formazione di archi nel terreno.

D'altra parte, notiamo che, con la procedura PARATIE PLUS ordinaria (analisi NA1 e NA2), si ottengono sempre previsioni conservative per quel che riguarda i parametri rilevanti ai fini del progetto dell'opera.

Per quanto riguarda il caso DD9, le deformazioni laterali massime previste da PARATIE PLUS sono inferiori a quelle calcolate da PLAXIS: questo risultato è piuttosto insolito perché, nella maggior parte dei casi, si osserva un comportamento opposto. In questo caso, tale comportamento può essere spiegato con una probabile sovrastima della rigidezza del vincolo elastico introdotto in PARATIE PLUS.

## 8.6 Conclusione

L'opzione arching è un valido strumento per misurare la sicurezza di un progetto reale. È comunque una questione di giudizio ingegneristico personale se adottare o meno i risultati forniti da questa opzione, nelle reali situazioni progettuali.

Grazie all'efficienza di PARATIE PLUS nello svolgimento delle diverse analisi in un tempo molto breve, si consiglia pertanto di valutare attentamente i risultati forniti da diverse ipotesi di calcolo.

## 8.7 Ringraziamenti

È dovuto un sincero e caloroso ringraziamento al Professor Ömer Bilgin, University of Dayton, OH (USA) per la Sua gentile collaborazione.

## 8.8 Riferimenti

Bilgin Ö. (2012), "Lateral Earth Pressure Coefficients for Anchored Sheet Pile Walls", *International Journal of Geomechanics*, ASCE, Vol. 12, No. 5, October 1, 2012, pp 584-595.

Bilgin Ö. (2014), Personal communications.

Gazetas G., Garini E. and Zafeirakos A., (2015) "Seismic Analysis of Anchored Sheet-Pile Walls: Are we Over-designing?", Proc. Conf. *6ICEGE- 6th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, 1-4 November, Christchurch, New Zealand.

Pappin J W, Simpson B, Felton P J, And Raison C (1985). "Numerical analysis of flexible retaining walls". Proc. *NUMETA '85*, University College, Swansea, pp 789-802.