

PROVE DI PERMEABILITA' SUI GIUNTI DI PALANCOLE

Q. NAPOLEONI*, F. GARBIN**, M. SCARAPAZZI** AND L. TRAMONTI***

* *D.I.C.E.A., Università "Sapienza" di Roma quintilio.napoleoni@uniroma1.it*

** *GEOPLANNING Servizi per il Territorio S.r.l. laboratorio@geoplanning.it*

*** *Ingegnere, luigitramonti@gmail.com*

SOMMARIO: La permeabilità è un parametro molto importante per le barriere idrauliche, specialmente se usate nella bonifica dei siti inquinati. I giunti delle barriere, in particolar modo, possono rappresentare delle vie preferenziali di filtrazione dall'area inquinata verso l'ambiente circostante (Pasqualini et al., 2014). La normativa italiana è però carente nell'indicare procedure e strumentazioni per la verifica della loro conducibilità idraulica. Per superare questa carenza, nel presente studio è stata sperimentata una nuova strumentazione per la verifica idraulica del sistema giunto - sigillante di palancole in acciaio utilizzabile sia per prove di laboratorio che in sito su palancole installate. L'elaborazione delle prove è stata condotta con la legge di Darcy adattata alla geometria del giunto. La qualità della barriera è così quantificabile attraverso un parametro di resistenza idraulica in regime stazionario. L'articolo è un sommario delle esperienze maturate durante lo sviluppo dell'attrezzatura e dell'iter di prova.

1. INTRODUZIONE

Le barriere di contenimento sono utilizzate fin dagli anni 70 e rappresentano una soluzione tecnica comunemente adottata nei casi in cui ci sia la necessità di isolare idraulicamente volumi di terreno (Beretta, 2003).

Strutturalmente una barriera è formata da un insieme di palancole affiancate (in metallo, PVC o Pultruso) tale da realizzare barriere continue interrotte verticalmente da linee di discontinuità rappresentate dai giunti. Attraverso tali discontinuità si verificano, in presenza di un mezzo fluido e da un gradiente idraulico, fenomeni di filtrazione che nel caso di terreni contaminati possono trasportare inquinanti (Napoleoni e D'Aprile, 2000; Napoleoni et al., 2000). In tale caso, per limitare questo fenomeno, i giunti possono essere riempiti con materiale sigillante che può essere di natura bituminosa, bentonitica o polimerica.

La permeabilità dei giunti dipende però da numerosi fattori quali: corretta infissione delle palancole, idoneo inserimento del sigillante, aggressività chimica degli inquinanti, ecc (Pasqualini et al., 2014). Si evince quindi l'importanza sia di prove di qualifica ante operam in laboratorio e sia di controlli/collaudi post operam in sito.

2. TEORIA

Il movimento di un fluido attraverso un giunto può essere descritto in prima approssimazione tramite la legge di Darcy:

$$v = k \times i \tag{1}$$

Dove “v” è la velocità di filtrazione, “k” indica il coefficiente di permeabilità ed “i” rappresenta il gradiente idraulico che dipende dal rapporto tra la variazione di carico idraulico tra i due lati della palancole e la lunghezza del percorso di filtrazione (Figura 1).

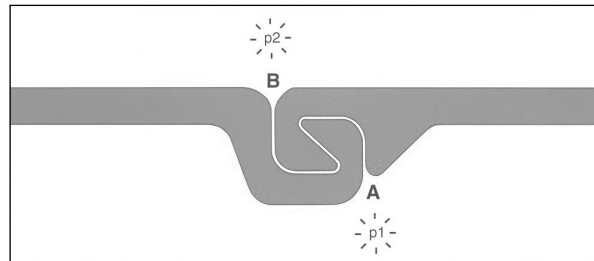


Figura 1. Schema del percorso idraulico di filtrazione attraverso il giunto lungo la linea che unisce il punto A a carico idraulico P1 e il punto B a carico idraulico P2.

Tuttavia l'applicabilità della legge di Darcy a questa geometria non è corretta. Alcuni autori (Sellmeijer J.B., 1993a e 1993b) hanno introdotto il concetto di resistenza del giunto.

Considerando una filtrazione orizzontale con quella verticale impedita, si può affermare che la portata specifica del giunto è proporzionale alla differenza di carico del carico idraulico:

$$q(z) = \rho \cdot \left(\frac{\Delta P(z)}{\gamma_w} \right) \quad (2)$$

Dove:

$q(z)$ è la portata specifica del giunto per metro alla profondità z ($m^3/s/m$);

$\Delta P(z)/\gamma_w$ è la differenza di carico idraulico alla profondità z (m);

ρ (m/s) indica la resistenza inversa del giunto.

Questa relazione si basa su un approccio empirico in cui le caratteristiche del giunto sono rappresentate nel parametro ρ .

Integrando l'equazione sull'altezza di filtrazione di un giunto e dividendo per l'interasse dei giunti si ottiene la portata per metro di larghezza di paratia ($m^3/s/m$):

$$Q(m^3/s/m) = \frac{1}{b} \frac{\rho}{\gamma_w} \cdot \int \Delta P(z) dz \quad (3)$$

Questa equazione consente di ricavare la portata complessiva filtrata per metro lineare.

Raffrontando le prestazioni di una barriera con palancole (SD) e di un diaframma plastico (ACB), ad esempio, si può porre la condizione che la portata filtrata per unità di area di diaframma sia la stessa (equivalenza idraulica) (Arcelor Group RPS, 2008).

Nel caso del diaframma Acqua-Cemento-Bentonite (ACB) soggetto ad una differenza di carico idraulico ($\Delta p/\gamma$) si ha:

$$Q_{ACB} = k \left(\frac{\Delta P(z)}{\gamma_w} \right) / d \quad (4)$$

Dove “k” è il coefficiente di permeabilità (m/s) e “d” è lo spessore del diaframma (m).

La portata attraverso la barriera di palancole con giunti ad interasse b e per larghezza di 1.0 m si ottiene con:

$$Q_{SD} = \frac{1}{b} \cdot \rho \left(\frac{\Delta P(z)}{\gamma_w} \right) \quad (5)$$

L'ipotesi di uguaglianza dei flussi porta a scrivere:

$$Q_{ACB} = Q_{SD} \rightarrow \frac{k}{d} \frac{\Delta P}{\gamma_w} = \frac{\rho}{b} \frac{\Delta P}{\gamma_w} \quad (6)$$

Da cui si ricava:

$$\frac{k}{d} = \frac{\rho}{b} \quad (7)$$

Con b distanza tra un giunto e l'altro.

Si ottiene la resistenza inversa del giunto:

$$\rho = \frac{q \cdot \gamma_w}{\Delta P \cdot b} \quad (8)$$

3. TIPOLOGIA DI PALANCOLE E DI GIUNTO SOTTOPOSTE A PROVA

La progettazione di una strumentazione versatile ha preso in considerazione le differenti geometrie che esistono in commercio (Arcelor Mittal Italia, 2008). I giunti (Figura 2) permettono la realizzazione di curve o la connessione di elementi di diversa forma. È così possibile creare barriere con diverse geometrie (Napoleoni et al., 2000).

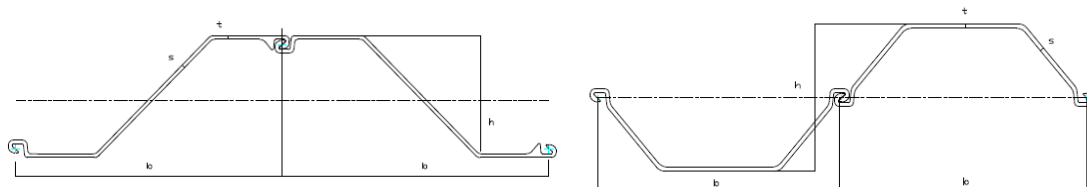


Figura 2. Esempio di profili tipo Z e U.

La sperimentazione eseguita ha consentito di testare diversi giunti ottenuti accoppiando spezzoni di palancole tipo Larssen con profilo Z ed aventi lunghezza pari a 1 m e larghezza di 0.23 m. La sigillatura del giunto è avvenuta presso l'impianto di produzione. Le coppie di palancole sono state rese solidali mediante saldatura, eseguita in posizione posteriore al giunto,

al fine di non alterare la complanarità durante il trasporto in laboratorio. All'interno dei giunti è stato inserito un sigillante idrorigonfiante resistente fino ad una pressione applicata di 100 kPa e con un tempo di polimerizzazione di 24 ore.

4. STRUMENTAZIONE

La strumentazione di prova è composta da una cella scatolare in acciaio che copre la totalità del giunto. Il contatto palancola - cella è a tenuta stagna per favorire il mantenimento della pressione di prova.

La cella ha una lunghezza di 1 m, larghezza di 0.11 m e profondità di 0.18 m. Lo spessore delle pareti è di circa 0.004 m per offrire sufficiente rigidezza quando si applicano i carichi di prova.

Due alette laterali in acciaio della stessa lunghezza della cella con 0.05 m di larghezza e 0.005 m di spessore permettono un miglior adattamento alle diverse geometrie delle palancole. Le alette sono rese solidali alle palancole per mezzo di bulloni e sono anch'esse a tenuta stagna per evitare la fuoriuscita dell'acqua durante la prova (Figura 3).

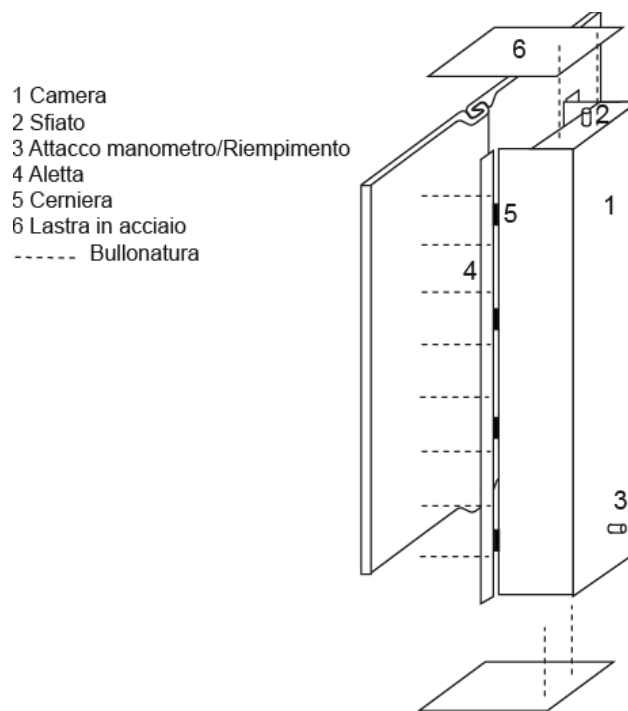


Figura 3. Elementi della camera.

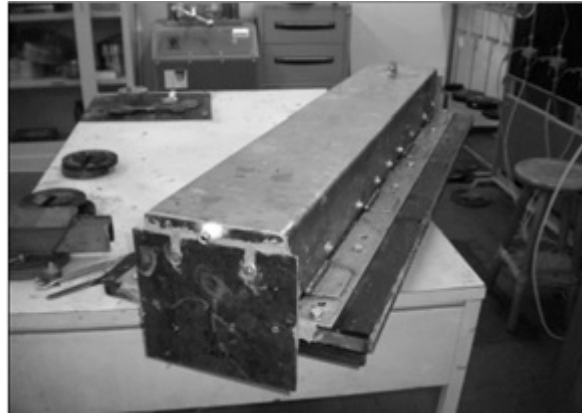


Figura 4. Camera montata.

La parte superiore della cella è dotata di un attacco per l'alimentazione e la misura delle pressioni tramite manometro affiancato da una valvola per lo spurgo dell'aria durante il riempimento della strumentazione.

5. ANALISI E INTERPRETAZIONE DELLE PROVE

Tutte le prove sono state realizzate a carico costante ed ogni intervallo di pressione è stato mantenuto fino al raggiungimento delle condizioni stazionarie.

La sperimentazione è stata condotta mediante l'utilizzo di un serbatoio di 10 l di capacità; variandone la quota geometrica è stato possibile applicare carichi di 20, 50 e 95 kPa.

Le pressioni applicate sono state controllate per mezzo di un manometro connesso ad un pannello triassiale. Il calcolo dei volumi filtrati attraverso il giunto è stato effettuato tramite i volumi d'acqua utilizzati per il refill del serbatoio a tempi determinati per ripristinare le condizioni di carico costante. Gli effetti termici di evaporazione e dilatazione dell'acqua sono stati tenuti in conto con un serbatoio supplementare di taratura.

La variazione della resistenza inversa del giunto rispetto al tempo di prova è rappresentato in Figura 5.

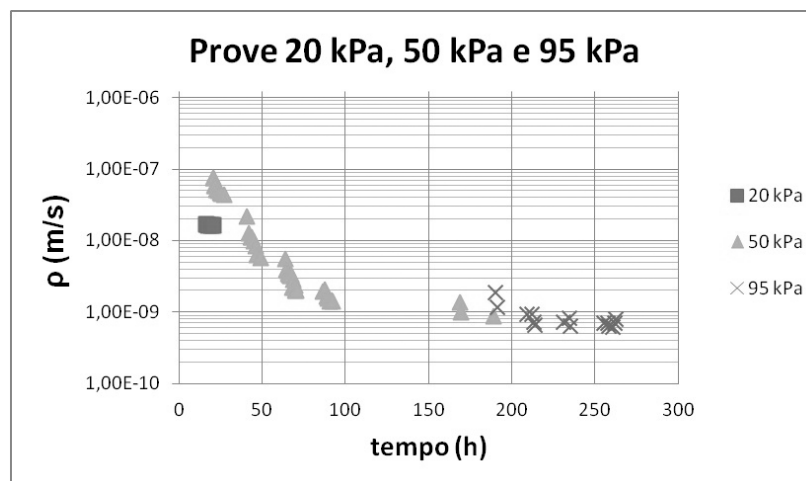


Figura 5. Step di pressioni a confronto.

I risultati mostrano un miglioramento della resistenza inversa all'aumentare del tempo di prova. Questo andamento denota che il sigillante a contatto continuo con l'acqua subisce un rigonfiamento oltre 48-72 ore. I valori di resistenza inversa ottenuti sono più alti rispetto a quelli attesi, ma comunque dello stesso ordine di grandezza.

6. CONCLUSIONI

Tutte le prove sono state realizzate a carico costante e sul medesimo giunto di prova riempito preventivamente con un sigillante idrorigonfiante. Sono stati utilizzati differenti carichi idraulici compresi tra 20 e 95 kPa. I risultati sperimentali hanno mostrato in generale una similitudine di comportamento con quanto evidenziato dalla bibliografia (Sellmeijer et al., 1993b).

In particolare è stato osservato che la permeabilità del giunto decresce in funzione del tempo per ogni step di pressione applicata e dipende essenzialmente dal raggiungimento delle condizioni stazionarie del flusso. Il fenomeno può essere anche in parte associato al relativamente piccolo riassetto volumetrico del materiale riempitivo nel giunto che tende a riassorbire nel tempo vuoti dipendenti da bolle d'aria e/o dalla non perfetta continuità tra palanca e sigillante all'interno del giunto.

La permeabilità del giunto non è aumentata con l'incremento della pressione applicata; quest'ultima, seppur potenzialmente responsabile della redistribuzione del materiale e quindi della potenziale apertura di alcuni pori e/o difetti di riempimento, non sembrerebbe tuttavia avere effetti particolari al di sotto della pressione di riferimento del sigillante utilizzato che, in questo caso, da scheda tecnica, risulta di 100 kPa.

Il sigillante rigonfiante ha mostrato una tendenza graduale al miglioramento delle proprie caratteristiche impermeabilizzanti in tempi più lunghi rispetto a quelli di polimerizzazione previsti (circa 24 ore).

Inoltre si vuole sottolineare che la camera di prova utilizzata, a geometria regolabile, si è effettivamente dimostrata molto flessibile, e quindi adattabile, ai diversi tipi di giunto; ciò ne mette in risalto la potenzialità nelle applicazioni in sito in cui la variabilità delle condizioni geometriche è notevolmente maggiore a quanto normalmente sperimentabile in laboratorio. La strumentazione sviluppata è stata anche utilizzata, previo alcune modifiche, su palancole di altri materiali.

REFERENCES

- Arcelor Group RPS, (2008). "The impervious Steel Sheet Pile Wall: Part 1 Design", Cap. 2 "The concept of joint resistance".
- Arcelor Mittal Italia (2008). "Palancole in Acciaio", Catalogo Generale 2008, Sezione U e Z
- Beretta G. (2003). "Linee guida per la verifica e il collaudo delle barriere impermeabili per la messa in sicurezza di siti contaminati", Cap. 3 "Barriere fisiche verticali", § 3.2.4.2 Dimensionamento del sistema.
- Napoleoni Q., D'Amico L. D'Aprile L., S. Tunesi (2000). "Procedure e metodi per il monitoraggio delle barriere verticali per il contenimento dei siti contaminati".
- Napoleoni Q., D'Aprile L. (2000). "Tecnologie di bonifica di siti inquinati", Cap. 10 "Barriere verticali".
- Pasqualini E. Cianca C. Fratolocchi E. (2014). Fanghi di dragaggio e casse di colmata. Report

della Giornata di Studio. Il contributo della geotecnica alla protezione del sottosuolo dagli inquinanti". AGI, Napoli, 18 luglio 2014.

Sellmeijer J.B., Cools J. P. A. E., Decker J., Post W. J. (1993a). "The Hydraulic Resistance of Steel Sheet Pile Joints", Experimental work.

Sellmeijer J.B., Cools J. P. A. E., Decker J., Post W. J. (1993b). "The Hydraulic Resistance of Steel Sheet Pile Joints", Experimental results.