

MACCAFERRI

**Geocompositi
bentonitici**



CGLs

Maccaferri

I geocompositi bentonitici (GCL)

I geocompositi bentonitici offerti sul mercato sebbene il numero dei produttori di tali geosintetici sia limitato, appaiono ben individuati nelle loro specificità, poiché presentano elementi ed aspetti peculiari atti a differenziarli in tipologie proprie:

- Tipologia della bentonite contenuta nel geocomposito;
- Tipologia dei geosintetici costituenti il supporto del geocomposito bentonitico stesso;
- Sistema e metodologia di assemblaggio delle diverse componenti del geocomposito.

Questi aspetti sono estremamente importanti in quanto hanno dei riflessi diretti sulle prestazioni del geocomposito stesso e sulle sue caratteristiche, anzitutto idrauliche, e poi fisico-meccaniche.

Presentiamo un quadro sintetico delle diverse bentoniti disponibili sul mercato:

bentonite di sodio naturale

ha un rigonfiamento pari a 30 volte il secco in volume e presenta uno stadio intermedio di gel; viene utilizzata per le impermeabilizzazioni civili ed industriali sotto forma di geocompositi, pannelli e cordoli idroespansivi.

bentonite di calcio

ha un rigonfiamento pari a 3-4 volte il secco in volume ed viene utilizzata esclusivamente per fanghi di scavi e per trattamenti di terreni in sito.

Bentonite di Calcio additivata soda (bentonite sodica)

arriva ad un rigonfiamento di circa 10 volte il secco in volume durante le prime idratazioni per poi eventualmente decadere quasi ai valori originali della bentonite di calcio (il legame risulta reversibile nel tempo). E' utilizzata in alternativa alla bentonite di sodio naturale data la limitata presenza delle cave di bentonite di sodio naturale

Tra le bentoniti trovate in natura la maggior capacità di rigonfiamento appartiene alla bentonite di sodio. Per tutti questi motivi le bentoniti di calcio, di cui esistono più ricchi e frequenti giacimenti, vengono trasformate in bentoniti eminentemente sodiche tramite lo scambio di ioni con carbonato di sodio (soda).

Il supporto del geocomposito bentonitico è costituito da geotessili, prevalentemente di tipo tessuto e talvolta di tipo nontessuto. La scelta tra le varie alternative è fondamentale ai fini delle prestazioni che il geocomposito stesso può fornire per cui risulta utile elencare i vantaggi e gli svantaggi che le diverse tipologie di supporto presentano:

Geotessili TESSUTI

Vengono solitamente utilizzati dei tessuti di modesta massa areica in quanto sufficientemente in grado di garantire adeguate prestazioni meccaniche. Questi sono caratterizzati da un valore nullo della trasmissività per cui il geocomposito bentonitico non necessita di alcuna lavorazione aggiuntiva nelle aree di sovrapposizione durante le fasi di posa.

Tali geotessili conferiscono al geocomposito buone proprietà meccaniche e costituiscono il migliore supporto nel caso di sistema di assemblaggio meccanico per cucitura. Nel caso invece di agugliatura presentano una accettabile ma non eccezionale interfaccia con il geotessile nontessuto di base; la resistenza allo spellamento è solitamente piuttosto bassa (se confrontata con un geotessile nontessuto).

**Geotessili
NON TESSUTI**

In questa applicazione, i nontessuti utilizzati hanno solitamente masse areiche (pesi) modeste (intorno ai 200 gr/mq) in modo da limitare al massimo i fenomeni di trasmissività nelle aree di giunzione (si consideri che in tali zone i geotessili, sovrapponendosi, possono dar luogo a dei “ponti idraulici” tra telo e telo con innalzamento localizzato del grado di permeabilità su tutte le aree interessate. Per superare questo limite la maggior parte dei produttori sostituisce uno dei due nontessuti con uno tessuto e prescrive di interporre della bentonite sfusa nelle aree di sovrapposizione dei teli - durante la fase di applicazione – allo scopo di limitare il flusso idraulico e ripristinare l’originale bassa permeabilità dei geosintetici anche lungo le giunzioni. L’utilizzo di almeno un geotessile nontessuto è comunque necessario quando il processo di assemblaggio è quello per agugliatura meccanica.

Pertanto il vantaggio che deriva dall’utilizzo di geotessili nontessuti è solamente quello di avere un geocomposito che somma, alle caratteristiche idrauliche della bentonite, quelle meccaniche antipunzonanti di un geotessile. Ciò permette un uso polifunzionale del materassino bentonitico.

Ultimo aspetto importante da prendere in considerazione è quello relativo alla tipologia di assemblaggio delle diverse componenti il geocomposito e quindi le prestazioni in termini di stabilità del prodotto quando posato su superfici inclinate.

**AGUGLIATURA
(MECCANICA)**

Le componenti del geocomposito sono assemblate mediante il processo meccanico di agugliatura che consiste nell’ eseguire una “cardatura” in modo che le fibre del/dei geotessile nontessuto/i – sempre necessariamente presente almeno un nontessuto in questo tipo di geocomposito bentonitico – costituiscano l’intelaiatura del prodotto: per garantire la stabilità dello stesso si devono applicare molti punti (solitamente intorno a 50.000/mq = 5/cmq).

Tale sistema garantisce ottime prestazioni in termini di stabilità del manufatto anche su scarpate a forte inclinazione (angoli compresi tra i 30 ed i 35°) anche quando il geocomposito è idratato. La giunzione di tale famiglia di geocompositi risulta meno semplice rispetto alle altre in quanto, nell’area di sovrapposizione dei lembi, deve essere solitamente applicata una pasta bentonitica in grado di azzerare la trasmissività del geotessile nontessuto. L’efficacia delle giunzioni è funzione dello stato di intermiscelazione delle fibre del nontessuto; la connessione risulta pertanto migliore quando si utilizzano due nontessuti piuttosto che solo uno.

**CUCITURA
(MECCANICA)**

Le componenti del geocomposito sono assemblate mediante un processo meccanico di cucitura per cui longitudinalmente al telo o secondo geometrie diverse (simili ad un concetto di “trapuntatura”) - costituito da due geotessili tessuti e dalla bentonite - si avranno delle cuciture poste ad interasse o secondo una geometria costante.

Tale sistema garantisce buone prestazioni in termini di stabilità del manufatto anche su scarpate a forte inclinazione (angoli compresi tra i 30 ed i 35°) persino quando il geocomposito è idratato ma esperienze hanno dimostrato una modesta resistenza nel tempo delle cuciture ed una minore efficacia prestazionale di alcune tipologie di questi prodotti.

La giunzione di tali geosintetici risulta elementare in quanto viene eseguita per semplice sovrapposizione dei lembi.

Vediamo i vantaggi e gli svantaggi che i diversi sistemi di assemblaggio presentano:

**COLLA
IDROSOLUBILE**

Le componenti del geocomposito sono assemblate mediante una colla acrilica idrosolubile. Sino a che il geocomposito è allo stato secco non sussiste alcun problema in quanto il manufatto si presenta come monolitico invece, appena idratato, i due tessili di supporto e la bentonite che lo compongono non sono più tra loro incollati e la bentonite ormai rigonfiata diviene una superficie di scivolamento del geocomposito stesso e di quanto posto sopra di esso.

Se le applicazioni sono su superfici piane (o comunque inclinate di pochi gradi si da poter essere assimilate a superfici piane) le problematiche prima evidenziate non sono rilevanti ed il geocomposito fornisce prestazioni ottimali.

Bisogna prestare molta attenzione durante le operazioni di posa perché la bentonite non risulta in alcun modo confinata e può tendere ad insaccarsi anche per il semplice passaggio sul geocomposito.

La giunzione di tali geosintetici risulta elementare in quanto viene eseguita per semplice sovrapposizione dei lembi.

Da questa breve comparazione risulta evidente la differenza tra la terza famiglia di geocompositi e le prime due, mentre non appaiono altrettanto evidenziate le caratteristiche peculiari di queste in quanto entrambe svolgono in maniera soddisfacente il compito loro affidato.

I due sistemi meccanici di assemblaggio presentano comunque alcune differenze che possono risultare rilevanti in certi tipi di applicazione:

- La tenuta delle aree di sovrapposizione, dal punto di vista idraulico, è più facilmente ottenibile con un prodotto cucito tra due tessuti risultando le operazioni di posa in opera più semplici in quanto non si ha la necessità di riportare uno strato di bentonite tra telo e telo. Tale limite è più imputabile ad un'eventuale poca attenzione delle maestranze durante le fasi di lavorazione che non ad un limite dei due diversi tipi di prodotto;
- La resistenza a rottura su scarpata dei due geocompositi è sostanzialmente simile in termini di massimo sforzo sopportabile ma differisce per l'allungamento in quanto i materiali assemblati meccanicamente tra due tessuti (solitamente quindi per agugliatura) un livello deformativo maggiore prima di arrivare a rottura;
- Le cuciture, stabilizzano il materiale in scarpate ma la tenuta delle stesse nel tempo è inferiore rispetto ad un geocomposito di tipo agugliato per cui test eseguiti su scarpate rivestite con GCL di tipo cucito sono andati a collasso in tempi molto celeri rispetto a GCL di tipo agugliato;
- Le cuciture non sono in grado di ingabbiare la bentonite all'interno di un reticolo stabile per cui c'è il rischio di una tendenza all'insaccamento della stessa ed una sua potenziale distribuzione disomogenea nel geocomposito.

- **La bentonite**

Le bentoniti sono argille che contengono secondo varie percentuali il materiale montmorillonite. Le eruzioni che hanno generato i giacimenti di bentonite attualmente sfruttati industrialmente risalgono al Cretaceo Superiore: 70 - 120 milioni di anni fa. La conseguente ricaduta e stratificazione delle ceneri (dimensione di pochi angstrom) ha comportato, essendo esse fortemente reattive, la loro combinazione elettrochimica con soluzioni di cationi presenti in natura. Quelle cadute sulla superficie emersa si sono diluite nelle acque dolci combinandosi con il calcio disciolto in queste e generando la bentonite di calcio. Le ceneri vulcaniche cadute in mare si sono invece combinate con il sale marino (NaCl) sedimentandosi poi sul fondo sotto forma di bentonite di sodio.

La reperibilità di sedimenti idonei all'escavazione è abbastanza difficile in quanto, per poterla

sfruttare, si è dovuto verificare un altro fenomeno di origine tettonica: il bradisismo negativo che ha portato il fondo marino ad emergere.

Mentre la bentonite di calcio ha la seguente composizione:



nella bentonite di sodio la cenere vulcanica ha fissato sulle proprie facce esterne gli ioni sodio presenti negli oceani sotto forma di sale marino con una percentuale di almeno tre volte superiore a quelli di calcio comunque presenti, arrivando alla composizione chimica di seguito sintetizzata:



La sostanziale differenza tra le due diverse bentoniti è il contenuto in montmorillonite. Il cristallo di montmorillonite (superiore al 90% in una bentonite di sodio naturale, intorno al 70% in una bentonite additivata con la soda) è composto da singoli "pacchetti" a forma di strati di spessore inferiore a 0.5 µm. Ogni pacco a strati è composto da tre singoli strati, cioè tra due strati di silice in forma di tetraedro che avvolgono uno strato di alluminio in forma di ottaedro. Il rigonfiamento intracristallino sarebbe dovuto alla distribuzione non equilibrata delle cariche elettriche all'interno dei pacchi a strato. L'eccesso di carica negativa del reticolo viene compensato dall'aderenza di cationi, per la maggior parte ioni di calcio e di sodio. Essi possono essere nuovamente scambiati, in presenza di un'alta concentrazione di altri ioni.

Nel caso montmorillonite, questi ioni intercambiabili si trovano fra i pacchi a strato e tendono ad idratarsi, in presenza di acqua. Tramite questo procedimento si verifica un deposito di acqua fra gli strati che aumenta così la distanza tra essi. Questo processo, chiamato rigonfiamento intracristallino, è reversibile; l'acqua può essere quindi ceduta e nuovamente immessa a piacere. Secondo questo processo la montmorillonite può legare dell'acqua pari a cinque volte il suo peso, il che permette un rigonfiamento di quindici-sedici volte il suo volume, rimanendo al disotto del suo limite liquido.

Tra le bentoniti trovate in natura la maggior capacità di rigonfiamento appartiene alla bentonite di sodio. Per tutti questi motivi le bentoniti di calcio, più frequenti in natura, vengono trasformate in bentoniti eminentemente sodiche tramite lo scambio di ioni con carbonato di sodio (soda).

Le bentoniti di sodio naturali sono correntemente ritenute più stabili nello scambio di ioni e sono solitamente caratterizzate da valori del rigonfiamento e dell'assorbimento d'acqua maggiori. Per quanto concerne i valori della permeabilità questi dipendono fondamentalmente dalle condizioni al contorno anche se, sostanzialmente, i valori non differiscono e vengono indifferentemente utilizzati per la realizzazione di geocompositi bentonitici.

Riassumendo esistono, sostanzialmente, tre diversi tipi di bentonite:

Bentonite di sodio naturale	ha un rigonfiamento totale di 30 volte il secco in volume e presenta uno stadio intermedio di gel; viene utilizzato per le impermeabilizzazioni civili ed industriali sotto forma di geocompositi, pannelli e cordoli idroespansivi.
Bentonite di calcio	ha un rigonfiamento di 3-4 volte il secco in volume ed ha utilizzi esclusivamente per fanghi di scavi e per trattamenti di terreni in situ.
Bentonite di calcio additivata soda (bentonite sodica)	arriva ad un rigonfiamento di circa 10 volte il secco in volume durante le prime idratazioni (il legame attivato chimicamente può essere rotto in maniera analoga ripristinando le condizioni iniziali). E' utilizzata alternativamente alla bentonite di sodio naturale prevalentemente nella produzione di geocompositi bentonitici.

A causa della forte igroscopicità ed elettropositività della bentonite di sodio, si osserva un range di idratazione (da 0 a 30 volte) che consente di individuare ed utilizzare anche uno stato intermedio tra il secco (solido) ed il soluto (SOL) denominato GEL, che corrisponde ad un aumento in volume fino a 10-16 volte rispetto al secco.

La bentonite allo stato di GEL ha una forte coesività interna ed adesività esteriore a causa dell'energia residua non ancora sfruttata per l'espansione ed in questo stadio si presenta come una gelatina coesiva e resistente che blocca qualsiasi soluzione acquosa nel tentativo di assorbire altra acqua per completare la sua espansione; è proprio questo il fenomeno che viene sfruttato per il suo utilizzo nel campo delle impermeabilizzazioni.

Ovviamente, all'aumento dei dipoli di acqua, i cristalli di bentonite si allontanano e si stratifica l'acqua su quella preesistente, diminuendo però l'energia di coesione. Procedendo nel tempo, si ottiene un gel sempre meno denso fino ad arrivare al soluto, ovvero al fango. Poiché questo stadio finale non è interessante ai fini dell'impermeabilizzazione, non potendo limitare l'afflusso d'acqua, si dovrà provvedere a limitare l'espansione volumetrica onde impedire alla bentonite di oltrepassare lo stadio di gel. Ciò si ottiene confinando la bentonite, ovvero interponendola tra strutture in cls o cemento armato e terreno, o tra due diverse strutture.

La bentonite viene scavata, macinata e successivamente essiccata in forno onde abbattere la sua umidità naturale del 30% circa. All'uscita dai forni, a causa della sua forte igroscopicità, la bentonite riacquista e mantiene circa il 10-12 % di umidità assorbendola dall'atmosfera e, mediante il fenomeno di pellettizzazione (che crea granuli fittizi di materiale inglobando i singoli cristalli in una pellicola d'acqua) si porta a livello di pezzatura di una comune sabbia silicea pura. Il prodotto base per le impermeabilizzazioni ha quindi un peso specifico di 2.6 gr/cm³; in sospensione acquosa si ottengono valori di ph da 8.5 a 10, mentre la dimensione delle particelle pellettizzate genera un 20% di materiale trattenuto dal vaglio a 20 mesh ed un 10% di passante al vaglio a 70 mesh.

Per la bentonite di sodio naturale, l'analisi chimica tipica sul prodotto secco è la seguente:

Silice	(Si O ₂)	%	63.02
Allumina	(Al ₂ O ₃)	%	21.08
Ossido ferrico	(Fe ₂ O ₃)	%	3.25
Magnesio	(Mg O)	%	2.67
Calce	(Ca O)	%	0.65
Sodio	(Na ₂ O)	%	2.57
Ossido ferroso	(Fe O)	%	0.35
Altri costituenti minori		%	0.72
Acqua legata chimicamente in modo stabile	(H ₂ O)	%	5.64

Maccaferri GCLs

I geocompositi bentonitici distribuiti dalla Soc. Officine Maccaferri SpA costituiscono una gamma di impermeabilizzanti naturali a base di bentonite sodica di sintesi chimica con la possibilità, su specifica richiesta, di utilizzare per specifiche applicazioni bentonite sodica naturale.

Tali bentonite sono state accuratamente selezionate in modo da poter assorbire una gran quantità d'acqua raggiungendo un'espansione volumetrica di circa 15 volte. Affinché tale materiale raggiunga lo stato di gel e quindi una caratteristica di bassa permeabilità è però fondamentale regolare tale rigonfiamento; ecco quindi la necessità di confinare tale particolare tipo di bentonite e l'idea di realizzare un geocomposito che abbia tutti i pregi della bentonite e possa essere utilizzato nelle più svariate applicazioni nel campo dell'ingegneria civile.

Questa famiglia di geocompositi, per le particolari proprietà della bentonite con cui sono realizzati ed in virtù dell'altissima concentrazione di biossido di silicio presente, hanno bassissime caratteri-

stiche di permeabilità ed una unica capacità di autosigillazione. I sormonti, eventuali piccoli elementi di fissaggio artificiali o naturali passanti e anche, eventuali fori o corpi estranei intrusivi, vengono naturalmente occlusi senza inficiare le caratteristiche di "impermeabilità" del prodotto.

La gamma dei prodotti proposta relativamente ampia ed è costituita da diverse tipologie di prodotto ciascuna studiata per diverse applicazioni e con diverse caratteristiche sia meccaniche che idrauliche.

I prodotti caratterizzati da due superfici di contatto nontessute sono caratterizzate da uguali angoli di interfaccia mentre nel caso di presenza di una superficie di contatto in nontessuto ed una in tessuto si avranno due diversi angoli di interfaccia e quindi un diverso comportamento attritivo e quindi pensionale sui due lati. Tale aspetto - puramente meccanico - gioca talvolta un importante ruolo nella verifica del pacchetto di geosintetici e guida la scelta tra le due diverse famiglie di geocompositi bentonitici che - in termini idraulici - hanno prestazioni sostanzialmente identiche.

Macline GCL N10 la bentonite (4.200 gr/mq) è racchiusa tra due geotessili nontessuti di massa areica pari a 150 gr/mq; il geocomposito è fissato mediante un sistema continuo di agugliatura.

Il prodotto è idoneo per applicazioni su superfici anche a forte inclinazione

Macline GCL NL10 la bentonite è racchiusa tra due geotessili nontessuti secondo le caratteristiche descritte per la tipologia N10 ma, al fine di diminuire la permeabilità del composito ed eliminare potenziali "ponti idraulici", uno dei geotessili risulta laminato con una membrana in polietilene.

Il prodotto è idoneo per applicazioni su superfici anche a forte inclinazione

Macline GCL N20 la bentonite (4.700 gr/mq) è racchiusa tra due geotessili nontessuti di massa areica pari a 200 gr/mq; il geocomposito è fissato mediante un sistema continuo di agugliatura.

Il prodotto è idoneo per applicazioni su superfici anche a forte inclinazione

Macline GCL NL20 la bentonite è racchiusa tra due geotessili nontessuti secondo le caratteristiche descritte per la tipologia N20 ma, al fine di diminuire la permeabilità del composito ed eliminare potenziali "ponti idraulici", uno dei geotessili risulta laminato con una membrana in polietilene.

Il prodotto è idoneo per applicazioni su superfici anche a forte inclinazione

Macline GCL W la bentonite è racchiusa tra un geotessile nontessuto aventi le caratteristiche di quelli del geocomposito N20 ed un geotessile tessuto in polipropilene di massa areica compresa tra i 110 ed i 140 gr/mq.

Tipo W10 La bentonite contenuta è pari a circa 4000 gr/mq e fittamente agugliata tra i due geotessili

Tipo W15 La bentonite contenuta è pari a circa 4500 gr/mq e fittamente agugliata tra i due geotessili

Tipo W20 La bentonite contenuta è pari a circa 5000 gr/mq e fittamente agugliata tra i due geotessili

Il prodotto è idoneo per applicazioni su superfici anche a forte inclinazione

Le schede tecniche, le voci di capitolato, le voci di elenco prezzo e le analisi prezzo sono riportate su diversa specifica documentazione tecnica disponibile su richiesta qualora non alla presente nota generale informativa.

Applicazioni

Gli utilizzi di tali geosintetici sono molteplici per cui andremo a riportare solamente i più comuni in modo da dare un'indicazione sulle molteplici applicazioni in cui tale famiglia di prodotti trova normale

impiego:

- realizzazione di bacini di invaso a scopo irriguo, antincendio od anche semplicemente paesaggistico;
- utilizzo in discariche sia nel sistema barriera di fondo che nei sistemi di capping in congiunzione con tutta la famiglia dei geosintetici;
- impermeabilizzazione di aree di trasferimento e conferimento;
- protezione di terreni e falde poste al di sotto di manufatti che potrebbero costituire un potenziale pericolo inquinante (vasche di depuratori, bacini di decantazione, serbatoi di idrocarburi, stazioni di servizio, strade e piazzali);
- impermeabilizzazione di manufatti in terra quali dighe o argini;
- impermeabilizzazione di platee di fondazione in cls o cemento armato.

Questi geosintetici vengono utilizzati per le loro proprietà idrauliche per cui è interessante confrontare le varie tipologie di **GCLs Maccaferri** ed un metro di argilla con permeabilità $k = 1 \times 10^{-9}$ m/sec come previsto dalle normative; questo semplice esercizio permette di mettere in luce il maggior grado di sicurezza che questo nuovo gruppo di geocompositi offre.

Assumendo che in un anno vi sono 31.536.000 secondi abbiamo che un liquido attraversa il metro di argilla con il coefficiente prima indicato in circa 32 mesi (2,6 anni).

Rifacendo lo stesso calcolo ed assumendo uno spessore del **GCLs Maccaferri** in condizioni idratate pari a circa 6 mm = 0.006 m con un coefficiente di permeabilità pari a 5×10^{-11} m/sec (valore

	spessore dello strato o del GCL idratato (m)	permeabilità (m/sec)	tempo di percolazione (anni)	Spessore equivalente di strato di argilla con $k=1 \times 10^{-9}$ m/sec (m)
Strato di argilla	1	1×10^{-8}	3,16	0,10
Strato di argilla	1	5×10^{-9}	6,32	0,20
Strato di argilla	1	1×10^{-9}	31,6	1
Macline GCL N, W	0.006	5×10^{-11}	minimo 3,8	0,12
		2×10^{-11}	medio 9,5	0,30
Macline GCL-FL Macline GCL-SL	0.006	5×10^{-13}	da test 380	12,0
		2×10^{-12}	di calcolo 95	3,00

minimo) e 2×10^{-11} m/sec (valore medio) per il **Macline GCL serie N ed W** e 5×10^{-13} m/sec (valore da test) e 2×10^{-12} m/sec (valore di calcolo) per i **Macline GCL serie NL** otteniamo i tempi di percolazione riportati nella seguente tabella. La stessa riporta nell'ultima colonna i dati relativi parametrizzati con secondo il concetto di "strato di argilla equivalente" introdotto dalle norme in vigore:

Questi dati sono da interpretarsi qualitativamente - infatti il valore della permeabilità non è costante ma dipende da diversi fattori quali l'entità del sovraccarico applicato al geocomposito ed il battente idraulico (vedere nota tecnica sull'interpretazioni dei risultati di laboratorio) - ma rendono comunque un'idea chiara ed efficace delle superiori prestazioni di tali prodotti rispetto ad uno strato di argilla.

Macline GCL tipologia NL per la progettazione di un invaso

Introduzione

Nella progettazione di un bacino di invaso o di un canale si deve tenere conto di due diversi fenomeni per la determinazione della variazione del livello di pelo liquido:

- la quantità di acqua che viene lasciata passare dal sistema di impermeabilizzazione;
- il volume d'acqua perso per evaporazione.

I metodi tradizionali di realizzazione del sistema di impermeabilizzazione (strato di argilla compatto CCL – geomembrane GM) presentano una serie di inconvenienti seppur tra loro diversi.

Una strato di argilla compattata risulta difficile da eseguire, costoso e comunque necessita di tempi di esecuzione lunghi; tali strutture inoltre, seppur eseguite in modo proprio, spesso non garantiscono le prestazioni di permeabilità richieste a causa di problematiche legate a fenomeni di tipo ambientale quali i cicli di gelo-disgelo ed l'essiccamento dell'argilla stessa.

Le membrane sintetiche possono essere installate con estrema velocità in confronto ad uno strato minerale ma richiedono l'impiego di maestranze specializzate e di speciali apparecchiature di saldatura. Le geomembrane sono inoltre molto sensibili a fenomeni di punzonamento che, seppur piccoli e localizzati, possono ridurre drasticamente la loro efficacia.

Macline GCL serie L

I geocompositi bentonitici **Macline GCL della serie NL** sono costituiti da due strati di geotessile nontessuto, uno dei quali laminato con una membrana in polietilene, al cui interno si trova uno strato di bentonite sodica attivata.

Tale tipo di geocomposito combina le caratteristiche di un tipico GCL e di una geomembrana e rappresenta una scelta eccellente per realizzare l'impermeabilizzazione di bacini o di altri sistemi di contenimento acque. Il valore della permeabilità risulta molto più basso rispetto a quello di uno strato di argilla naturale compattata e ciò garantisce un volume di acqua "perduta" molto ridotto.

Anche rispetto ad una geomembrana la scelta di uno dei prodotti **Macline GCL della serie NL** risulta vincente in quanto presenta alcuni vantaggi quali:

- una maggiore semplicità di installazione;
- non sono richieste particolari apparecchiature per la saldatura dei teli;
- capacità di autosigillare piccoli aree in cui si sia verificato un fenomeno di danneggiamento per punzonamento.

Flusso idraulico attraverso il GCL

Un importante aspetto da prendere in considerazione sono le eventuali perdite nelle aree di giunzione di due teli; i prodotti **Macline GCL** i teli vengono semplicemente sovrapposti interponendo bentonite sodica tra i due teli contigui; test di laboratorio hanno dimostrato l'efficacia del semplice sistema utilizzato.

Il flusso attraverso le giunzioni può essere calcolato con riferimento a diversi valori del battente

idraulico mediante la formula di seguito riportata:

$$q_{in\ sito} = q_{test} \times (h_{in\ sito} / h_{test})$$

dove - $q_{in\ sito}$ = il flusso attraverso le giunzioni nel caso in studio;
- q_{test} = il flusso attraverso le giunzioni ottenuto in laboratorio;
- $h_{in\ sito}$ = battente idraulico nel caso in studio;
- h_{test} = battente idraulico del test eseguito in laboratorio.

L' aliquota di volume così calcolata deve essere sommata alla perdita di flusso per mq in modo da ottenere il totale volume che verrà lasciato permeare attraverso il GCL.

Perdite in volume dovute all'evaporazione

L'evaporazione varia da area ad area e può essere calcolata facendo riferimento ad abachi, formule o eseguendo delle prove in sito mediante idonee apparecchiature. Le perdite per evaporazione possono essere stimate in un range oscillante tra i 6 ed i 18 mm in funzione delle peculiarità del sito.

Stabilità meccanica delle scarpate

Un altro importante aspetto da analizzare è quello relativo alla stabilità della scarpata. Per fare ciò si dovranno prendere in considerazione due diverse problematiche:

- la stabilità del sistema barriera posto sulla scarpata;
- la stabilità generale dell'argine.

In questa sede focalizzeremo la nostra attenzione sulla sola stabilità del GCL rimandando ad altri testi per quanto attiene sia la stabilità del materiale posto al di sopra del GCL che la stabilità geotecnica dell'argine (tutti questi aspetti dovranno comunque essere verificati per ciascun progetto). La stabilità di ciascun componente il sistema di impermeabilizzazione può essere calcolata mediante la seguente equazione:

$$FS = \frac{(T/L + S)}{Z \gamma \sin\beta}$$

Dove - FS = fattore di sicurezza;
- T = resistenza meccanica a lungo termine del geosintetico posto al di sopra della superficie critica analizzata;
- L = lunghezza della scarpata;
- S = resistenza al taglio lungo la superficie analizzata e pari a $\gamma z \cos\beta \tan\phi + c$ essendo γ il peso specifico del terreno di copertura, z lo spessore di tale strato, β l'inclinazione della scarpata, ϕ l'angolo di interfaccia sulla superficie analizzata e c la coesione apparente lungo la stessa superficie.

E' possibile posizionare il **Macline GCL NL20** su scarpate di inclinazione pari a 2H:1V per lunghezze notevoli ma, si consigliano in ogni caso, specifiche verifiche in sito sulle condizioni di utilizzo. In tali situazioni si prega di contattare l'ufficio tecnico della Maccaferri.

Per informazioni sulle metodologie di messa in opera fare riferimento al manuale dedicato a tale argomento.