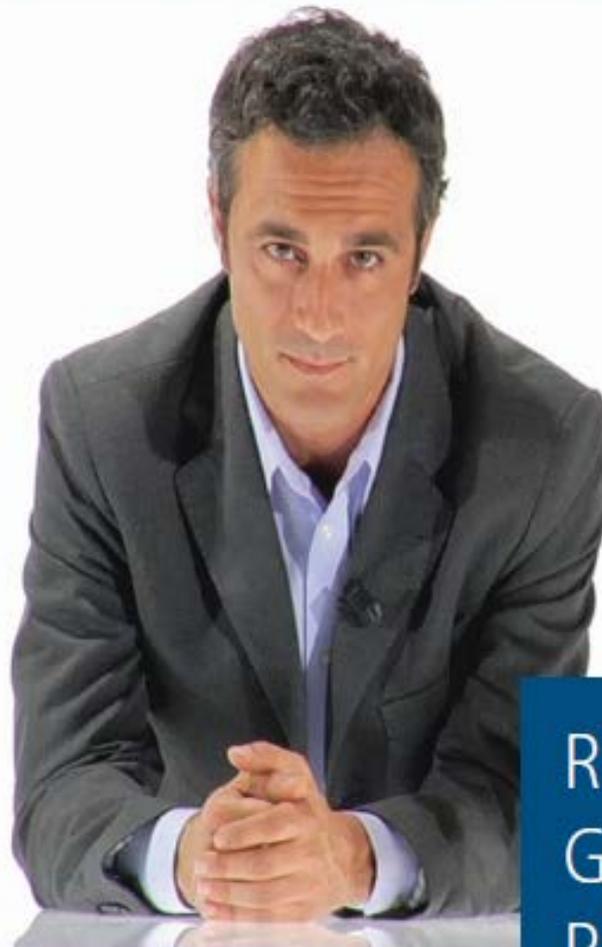


I quaderni del consolidamento del terreno con resine espandenti

GEOSEC



Eco Resina



RESINA
GEOSEC
PER IL
CONSOLIDAMENTO
DEI TERRENI
DI FONDAZIONE

GEOSEC

NUMERO

4

RESINA MAXIMA® PER IL CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI DI FONDAZIONE.

Marco OCCHI¹

1 GEOSEC group - Italy

Introduzione

In origine le prime esperienze applicative con iniezioni di consolidamento erano limitate a terreni permeabili quali ghiaie, sabbie e rocce fratturate. I materiali normalmente utilizzati erano prevalentemente costituiti da una miscela opportunamente dosata di acqua, cemento e additivi chimici dedicati.

Il problema principale di queste tecnologie infatti era nella difficoltosa capacità di penetrazione nel terreno, a tal punto che le iniezioni venivano eseguite grazie a potenti impianti di pompaggio con elevata pressione di spinta e attrezzi meccanici rotanti per la distribuzione radiale alla verticale d'iniezione.

Con il progredire della ricerca si sono sviluppate miscele con un *grouting* possibile molto performante e capacità di penetrazione nei terreni molto più elevata, anche ad esempio grazie al perfezionamento di microcementi e additivi chimici sempre più performanti. Ai metodi d'iniezione tradizionalmente più conosciuti, che perseguono la miscelazione del terreno con i prodotti forzatamente immessi - jet grouting -, si aggiungono nuove tecniche d'iniezione e nuove miscele consolidanti, grazie alle quali oggi è possibile trattare anche terreni di permeabilità più bassa. Si tratta infatti di nuove tecnologie che sfruttano l'iniziale fluidità e la successiva forza espandente del formulato chimico iniettato, definito commercialmente resina a diffusione libera nel terreno. Se nel caso dei jet grouting, la tecnica facilmente disgrega la struttura del terreno, favorendo una nuova mescola dei grani con il legante cementizio a tal punto da creare una nuova massa

tendenzialmente omogenea che nel tempo matura e solidifica, nel secondo caso invece l'iniezione di resina espandente polimerica sfrutta istintivamente i punti di minor energia già presenti del terreno occupando vuoti e porosità durante tutto il suo avanzamento allo stato fluido nella prima fase dell'iniezione e successivamente riducendo vuoti, spiazzando acqua interstiziale grazie alla fase di espansione meccanica del formulato nel terreno e al successivo indurimento in situ (polimerizzazione) che si completa, nel caso della resina GEOSEC, dopo circa 2 minuti dall'iniezione. La maggior parte dei terreni di fondazione risulta compatibile con questa metodologia, dalle torbe alle argille, dalle sabbie alle ghiaie, ben si addice anche nei casi frequenti in cui il costruttore dell'edificio ha riservato a sostegno della fondazione uno strato di riporto di detriti e macerie di demolizione. Conseguentemente l'efficienza di un intervento di consolidamento mediante iniezione di resina espandente dipende sia dalla conoscenza del terreno (classificazione e proprietà) che dalle caratteristiche prestazionali del prodotto da iniezione, fattori questi che condizionano tutto il processo di applicazione.

Se i requisiti principali delle miscele cementizie consolidanti sono la fluidità, necessaria a penetrare i vuoti interstiziali, l'attitudine a far presa, la lavorabilità e il relativo impatto ambientale, quelli delle resine polimeriche espandenti sono riconoscibili nella densità, la velocità di reazione, la forza espandente generata dalla reazione chimica, la compatibilità ambientale, la facoltà di conservare, allo stato indurito durante un periodo minimo legato al tempo di vita dell'opera, le proprietà specifiche volute dal progettista in condizioni ambientali di posa conosciute.

In generale una miscela iniettata ed indurita si trova infatti a condividere un certo ambiente e sopportando particolari azioni chimico - fisiche che possono alterarne la sua successiva capacità prestazionale e conseguente stabilità dimensionale.

Dal punto di vista fisico, le principali cause d'alterazione delle miscele sono riconducibili a:

- sollecitazioni meccaniche esterne;
- fenomeni d'erosione;
- calore;

Dal punto di vista chimico invece, le principali cause di una possibile alterazione della miscela sono:

- la presenza eccessiva di acqua (effetto di dissoluzione);
- la composizione chimica dell'acqua: pH, sali e gas disciolti, presenza di batteri e materiale organico (S. Delforno et All, 2005).

1. Il Poliuretano per il Consolidamento

Le più comuni resine espandenti per il consolidamento dei terreni a rapida reazione sono generalmente appartenenti alla famiglia dei poliuretani.

Il *poliuretano* è un polimero chimico estremamente versatile ed efficiente, il cui impiego risulta assai ampio e variegato in molti settori contemporanei dell'industria ed in particolare nell'edilizia moderna. Molti oggetti di utilizzo quotidiano sono infatti costituiti proprio da poliuretano, quali ad esempio: sedili, soles per calzature, articoli sportivi, filati, piste di atletica, arredamento, componenti per autovetture, valvole cardiache, protesi, filtri, guanti per la chirurgia, sacche per il contenimento del sangue, giocattoli etc.

Come detto con il termine *poliuretano* si indica una vasta famiglia di polimeri in cui la catena polimerica è costituita da legami uretanici - N - (CO) - O - :

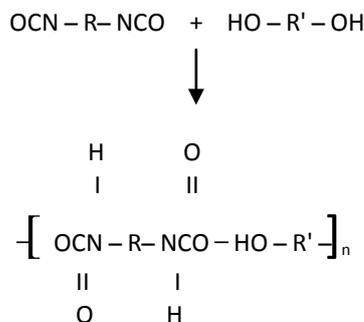


Figura 1.1 – la struttura chimica del poliuretano.

La reazione chimica per la sintesi dei poliuretani è stata scoperta da *Bayer* nel 1937.

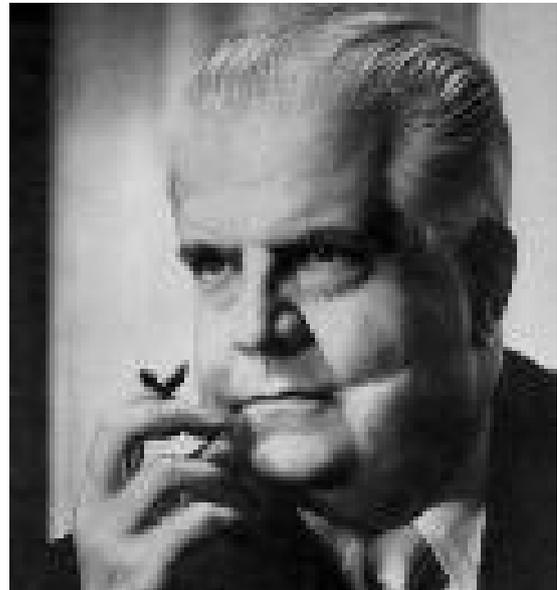


Figura 1.2 – Otto Bayer, Frankfurt 4 Novembre 1902.

Esistono ad oggi diversi tipi di poliuretani in commercio:

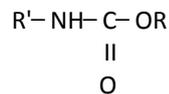
- *Espansi rigidi* (da isolamento nell'edilizia, refrigerazione, imballaggi, isolanti ignifughi).
- *Espansi semi-rigidi* (sicurezza automobilistica).
- *Espansi flessibili* (arredamento, abbigliamento, giocattoli).
- *Compatti ed elastometri* (calzature, piste di atletica, filati).
- *Vernici e collanti* (edilizia, automobili, industria in genere).
- *Speciali* (medicina, chirurgia).

I *poliuretani* sono ottenuti per reazione di un *di-isocianato* (aromatico o alifatico) e di un *poliolo* (tipicamente un glicole polietilenico o poliesteri),

di - isocianato + poliolo = poliuretani

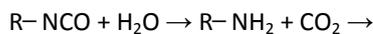
in aggiunta si considerano dei catalizzatori per migliorarne il rendimento della reazione così come altri additivi che conferiscono al sistema determinate caratteristiche prestazionali. In particolare si possono utilizzare *surfattanti* per modificarne l'aspetto

superficiale, ritardanti di fiamma, e/o agenti espandenti, nel caso in cui si vogliano produrre delle vere e proprie schiume. Dal punto di vista chimico si definisce *uretano* l'estere di un acido carbamico:



Schematicamente quindi un poliuretano è la ripetizione di questo gruppo in una catena molecolare articolata che come detto può essere ottenuto dalla reazione di polimerizzazione di un polialcool (poliolio) con un poli isocianato. Per produrre una schiuma di poliuretano, la reazione di polimerizzazione viene combinata con una reazione di espansione, ottenuta secondo due diversi approcci:

1) attraverso un *processo chimico*: alla miscela viene aggiunta dell'acqua che reagisce con l'isocianato e genera biossido di carbonio:



2) attraverso un *processo fisico*: mediante un rigonfiante a basso punto di ebollizione, che si trasforma in stato gassoso grazie all'aumento di temperatura che si sviluppa durante la reazione esotermica di polimerizzazione.

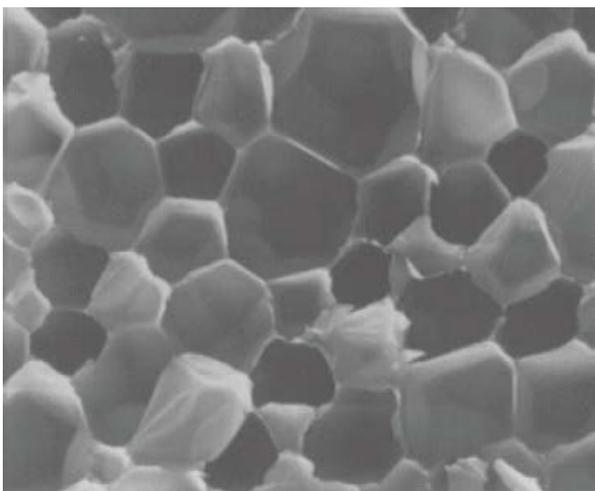


Figura 1.3 – vista microscopica della struttura cellulare di un poliuretano (AA.VV. Poliuretano, speciale applicazioni ANPE, studioemme srl 2001).

La principale caratteristica chimica delle schiume poliuretaniche è proprio l'alta reattività dell'isocianato esso infatti:

- può essere combinato con diversi tipi di polioli che partecipano alla formazione di schiume di differente durezza: elastica, molto soffice, rigida, semirigida.
- può anche essere combinato con una qualsiasi quantità di agente rigonfiante che porta ad una densità da 0,007 a 1 (da 7 a 1000 kg/m³).
- ha elevata velocità di produzione: tutti i componenti vengono miscelati insieme e formano un polimero e una schiuma in un'unica fase raggiungendo in tempi progettabili a seconda delle necessità lo stato inerte desiderato.

Ulteriori caratteristiche del poliuretano sono la leggerezza, l'effettiva durabilità nel tempo, la possibilità di riciclo.

2. Poliuretano: rispetta Ambiente e Salute

Il poliuretano è uno dei prodotti chimici industriali moderni più compatibili con l'uomo ed il suo eco sistema, grazie alla efficace inerzia fisico - chimica delle sue schiume. Nel campo dei consolidamenti del terreno con iniezioni espandenti a diffusione libera si utilizzano poliuretani a *celle chiuse*, per garantire la maggior resistenza meccanica e chimica una volta posati sotto alla fondazione di un edificio.

Questa tipologia innovativa di resine da iniezione non è quindi da considerarsi una struttura portante vera e propria nel terreno, così come non è da intendersi come un materiale sostitutivo del terreno stesso di fondazione. La resina poliuretanicca è prima di tutto un efficace strumento di consolidamento non invasivo ed utile per progettare e perseguire particolari effetti chimico fisici nel terreno di fondazione proprio grazie alle sue specifiche tecniche di reazione chimica.

E' bene chiarire infatti fin da subito che non tutti i poliuretani sono adeguati per questo tipo di applicazioni industriali nel terreno. Per questo occorre effettuare all'origine una attenta selezione nella scelta dei prodotti da iniettare. In particolare occorre selezionare sul mercato e con estrema attenzione tutti quei prodotti, che una volta introdotti nel terreno, non tendono a dilavarsi e a decomporsi nel tempo risultando idonei all'applicazione specifica.

Nel campo dei consolidamenti con iniezioni espandenti rimane infatti sempre significativo il rischio che sostanze costituenti il cosiddetto *grout* possano propagarsi in falda in modo anomalo e provocare alterazioni della qualità delle acque superficiali e sotterranee con conseguenze sull'ambiente e sull'uomo, per questo le resine poliuretatiche da iniezione sono sottoposte prima della loro posa a rigorosi test di cessione secondo i dettami delle norme Nazionali vigenti.

fermo restando l'ovvia segretezza industriale delle formule chimiche, le informazioni indispensabili per questo genere di valutazioni preliminari sono contenute in partenza nelle schede tecniche e di sicurezza dei prodotti per iniezione, predisposte per la pubblica divulgazione, laddove i dati raccolti sono quelli richieste dalle norme:

- nome del prodotto;
- n. CAS;
- solubilità in acqua;
- densità;
- viscosità dinamica;
- tensione di vapore;
- tossicità presunta per l'uomo;
- DL50;
- eco tossicità (CL50);
- KOW coefficiente di ripartizione ottano / acqua);
- comportamento nell'ambiente;
- riferimenti (origine dei dati);

E' sempre bene ricordare che le informazioni di cui sopra sono obbligatoriamente fornite dal produttore all'applicatore del prodotto chimico prima della sua immissione sul mercato e divengono la "carta d'identità" del materiale.

Ogni lotto di produzione deve poi essere obbligatoriamente etichettato e tracciato per consentire il necessario controllo qualità del formulato.

Di seguito approfondiremo dunque le caratteristiche prestazionali e di sicurezza del prodotto per iniezione consolidante di GEOSEC® commercialmente denominato MAXIMA®.

3. Il formulato MAXIMA® di GEOSEC

MAXIMA® è la denominazione commerciale del sistema resina poliuretanic bi-componente ed espandente a celle prevalentemente chiuse utilizzato da GEOSEC® per le sue applicazioni di consolidamento

dei terreni di fondazione con iniezioni a diffusione libera.

Trattasi di poliuretano espanso rigido a celle chiuse fini e prevalentemente omogenee, ove la schiuma è costituita da polimero solido per circa il 5% del volume e dalla restante parte di fase gassosa.

L'acqua è l'agente espandente utilizzato per la reazione chimica nel pieno rispetto delle direttive comunitarie contro ogni forma di inquinamento atmosferico. Il formulato chimico è caratterizzato da una reazione molto veloce che inizia già a partire da 40 secondi successivamente alla miscelazione dei due componenti principali (poliolo e isocianato) ed in condizioni di temperatura ambientale pari a 25°C.

Cream time: Fase in cui dopo il tempo di miscelazione la schiuma cambia colore e comincia l'espansione.

Gel Time: Tempo al quale la schiuma ha raggiunto un livello di legami tridimensionali i quali, toccando la schiuma in crescita con una bacchetta, danno origine a dei filamenti di materiale ancora in reazione.

Tack free time: Tempo al quale la schiuma toccata gentilmente con un bacchetta non ha più un tatto appiccicoso.

Specifiche tempi di reazione:

40 sec $\leq T_c (25^\circ\text{C}) \leq 60$ sec

80 sec $\leq T_g (25^\circ\text{C}) \leq 110$ sec

90 sec $\leq T_{ff} (25^\circ\text{C}) \leq 115$ sec

Terminata la reazione chimica, dopo circa qualche minuto, il sistema si stabilizza allo stato inerte rigido e si raffredda, racchiudendosi in una pellicola di protezione continua ed impermeabile all'esterno.

MAXIMA® non contiene agenti schiumogeni come CFC, HCFC, HFC o il cloruro di metilene nel pieno rispetto dell'ambiente e dell'uomo. Agenti complementari, quali il CFC ed il Cloruro di metilene, non appartengono al processo di produzione sia perché dannosi alla salvaguardia dell'ambiente, sia perché nocivi per la sicurezza e la salute degli utilizzatori finali (ex D.Lgs. 25/02).

Inoltre il sistema MAXIMA® risulta esente da cadmio, piombo, cromo VI, bifenili polibromurati (PBB) ed etere di difenile polibromurato (PBDE).

3. Test di Laboratorio

3.1 Massa volumica apparente o Densità

La densità delle resine consolidanti non è il solo parametro che partecipa al processo di lavorazione del formulato.

Spesso viene erroneamente considerata come fattore determinante ed indicativo delle prestazioni fisiche e meccaniche, in realtà il valore della densità fornisce solo indicazioni parziali. E' infatti risultante la valutazione d'insieme del prodotto, opportunamente calibrato per la massima efficienza nell'applicazione di cantiere.

Il test effettuato sui campioni di resina MAXIMA® ai sensi della norma tecnica UNI EN ISO 845 ha confermato una **densità compresa tra 50 e 60 g/l**.

Di analogia importanza sono invece l'omogeneità della schiuma, la percentuale di celle chiuse, la loro dimensione finale, il loro orientamento, la temperatura di esercizio.

Il test ai sensi della norma UNI EN ISO 4590 effettuato sui campioni di resina MAXIMA® per la determinazione della percentuale di celle aperte ha restituito i seguenti risultati:

Celle aperte (%) 10-20.

3.2. Resistenza meccanica alla compressione

La resina espandente MAXIMA®, alle densità normalmente utilizzate, offre una resistenza alla compressione notevole secondo valori superiori a quelli di una frequente portanza del terreno di fondazione per costruzioni edili che variano generalmente tre 0,5 Kg/cm² (argilla umida) e 5 Kg/cm² (ghiaia compatta).

I risultati ottenuti si riferiscono generalmente al carico rilevato in corrispondenza di uno schiacciamento del 10%, così come previsto dalle normative (EN, UNI, ISO, DIN, etc.).

Di seguito è rappresentato l'andamento della resistenza alla compressione in funzione della densità (figura 3.2.1) e della temperatura di esercizio della resina:

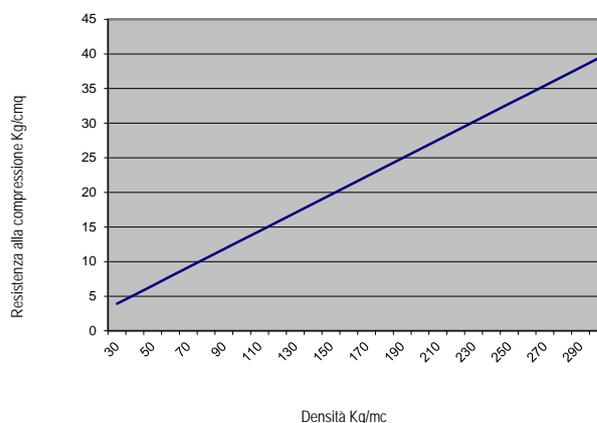


Figura 3.2.1. – Influenza della densità sulla resistenza alla compressione uniaassiale.

Le proprietà meccaniche della resina denominata MAXIMA® sono garantite dai nostri fornitori attraverso un attento controllo qualità interno per ogni lotto di produzione.

La resina possiede considerevoli proprietà di resistenza alla compressione. In particolare sono stati verificati i seguenti valori alla temperatura di reazione pari a 25°C.

Test di Compressione secondo la norma UNI EN ISO 844:

Resistenza compresa tra: 400 - 500 KPa
Deformazione ϵ (%) = ≤ 5

assolutamente superiori sono invece i risultati della resistenza a compressione dei filamenti di resina che rimangono nel terreno consolidato, proprio perché solidificati secondo reazione "non in libera" ovvero senza costrizioni di forza dall'ambiente circostante, raggiungendo uno stato cristallizzato e notevolmente compatto - (cfr. quaderno 5).

3.3. Resistenza a Flessione

Per quanto riguarda la resistenza a flessione i valori medi sono i seguenti:

Test a Flessione secondo la norma UNI EN ISO 1209-1:

Carico a flessione F(N): $30 \leq F \leq 40$
freccia f (mm): $7 \leq f \leq 15$

Per la resistenza meccanica a trazione invece i risultati sono stati ottenuti secondo il test disciplinato

dalla norma UNI EN ISO 527-97 per materie plastiche cellulari rigide il cui risultato è superiore ai 500 KPa.

3.4 Resistenza al Taglio

La resina MAXIMA[®], come mostra il grafico riportato in figura 3.4.1, denota una notevole resistenza al taglio, che, per valori ottenuti in laboratorio su provini di materiale di basso spessore (massimo 25 mm) secondo norme ASTM varia tra i 5 ed i 30 kg/cm² ed in funzione della densità del materiale:

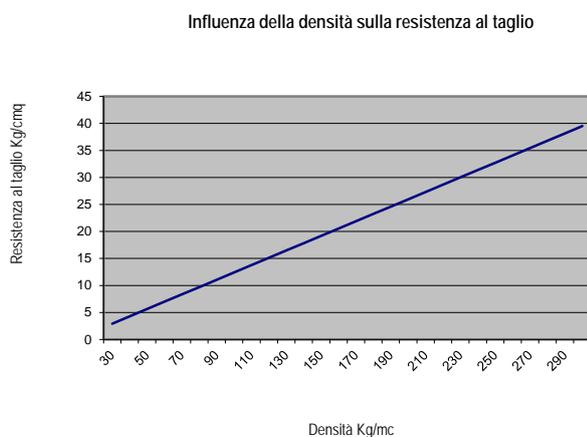


Figura 3.4.1 – Influenza della densità sulla resistenza al taglio.

3.5 Moduli elastici

Per ciascuna proprietà meccanica, oltre al carico e al carico massimo, possono essere individuati anche i relativi moduli elastici. Questi valori indicano le caratteristiche di elasticità e di resistenza di un materiale e si ottengono rilevando le deformazioni subite dalla resina MAXIMA[®] proprio in funzione del carico applicato.

3.6 Resistenza a trazione

il test è stato effettuato su campioni MAXIMA ai sensi della norma tecnica UNI EN ISO 527-2 e i risultati (25°C) restituiscono valori superiori ai 50 MPa.

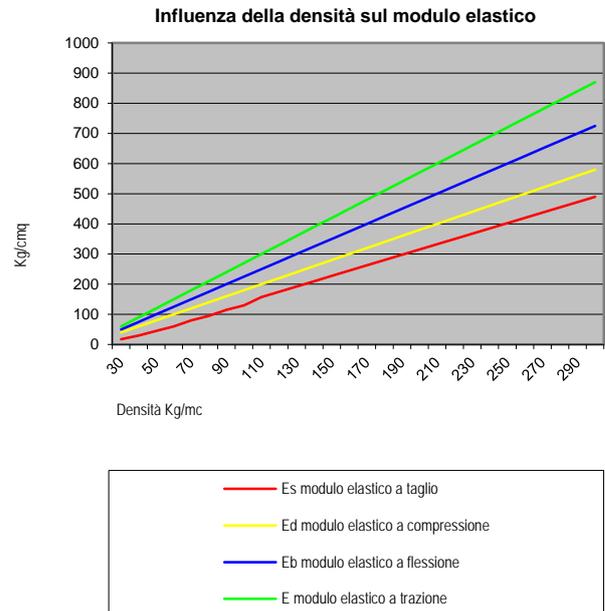


Figura 3.5.1 – Influenza della densità sul modulo elastico.

3.7 La Stabilità Dimensionale

Una delle proprietà fondamentali per la buona riuscita di qualsiasi applicazione è quella che in gergo viene definita *stabilità dimensionale*, ovvero la proprietà di un materiale di mantenere nel tempo e nelle diverse condizioni di esercizio le sue dimensioni originarie e la sua forma.

Questa prestazione dipende, da diverse caratteristiche che per i poliuretani in genere sono:

- la dilatazione termica
- incurvamento sul gradiente termico

in tutti i casi l'omogeneità della schiuma concorre a determinare la tipologia della prestazione.

I metodi di prova disponibili infatti suggeriscono varie condizioni di input in termini di: temperatura, umidità relativa e tempo. Per i diversi tipi di resina Geosec si utilizza il metodo di prova UNI EN ISO 8069-80 nelle condizioni di temperatura, umidità e durata ritenute più significative per l'applicazione finale a cui è destinato il prodotto.

I materiali GEOSEC[®] presentano una forte resistenza agli stress termici e i test effettuati dai produttori mostrano i seguenti risultati:

tabella riepilogativa	
Preparazione provini	Del produttore 100x100x20 mm
Condizioni	Aria secca
Ambiente di prova	25° C
Dimensioni provini (mm)	100 x 100 x 25
Trattamento termico	20 ore a 70°C Successivamente 48 ore a 70°C

Risultati finali delle prove		
Trattamento termico	Dimensione esaminata	Var (%) delle dimensioni Valor medio
20 ore a 70°C	Larghezza	< 1
	Ampiezza	< 1
	Spessore	< 1
Successive 48 ore a 70°C	Larghezza	< 1
	Ampiezza	< 1
	Spessore	< 1

tabella 3.7.1 - esito test di stabilità dimensionale secondo norma UNI EN ISO 8069 - 80.

3.8 Resistenza agli agenti chimici

La resistenza del materiale espanso e reagito all'agente chimico è stata valutata in funzione della perdita di volume subita in seguito ad esposizione prolungata, prendendo a riferimento le seguenti categorie:

- E** = Resistenza eccellente (perdita volume < 3%)
- B** = Resistenza buona (tra il 3% ed il 6%)
- D** = Resistenza discreta (tra il 6% ed il 15%)
- S** = Resistenza scarsa (tra il 15% ed il 25%)
- N** = Non mettere in contatto: forte azione solvente o di aggressione chimica (materiale distrutto).

Nessuna resistenza; soltanto in due casi precisi (con presenza di acido nitrico concentrato ed acido solforico concentrato) non si può parlare di resistenza, in quanto il materiale al semplice contatto si distrugge completamente.

E' bene però osservare che questo specifico contesto estremamente aggressivo è riferito ad agenti chimici attivi e capaci di distruggere anche quasi tutti i metalli e che molto di rado sono presenti nei terreni oggetto del trattamento di consolidamento.

B Acetato di Anile	E Esano
B Acetato di Butile	B Formaldeide
D Acetato di Etile	E Gasolio

B Acetone	D Glicoletilene 100%
B Acido Acetico al 2%	B Idrossido di Ammonio conc.
E Acido Butirrico	B Idrossido di Ammonio 10%
D Acido Cloridrico concentrato	E Idrossido di Potassio 1%
E Acido Cloridrico al 25%	E Idrossido di Sodio concentrato
E Acido Cloridrico al 10%	E Isopropanolo
N Acido Nitrico concentrato	S Metilchetone
B Acido Nitrico al 10%	E Olio di lino
N Acido Solforico concentrato	E Olio lubrificante
E Acido Solforico 10%	E Oli minerali
E Acqua	B Ortoclorobenzene
E Acqua di mare	E Ortodichlorobenzene
B Alcool Butilico	E Soda caustica concentrata
D Alcool Etilico	E Soda caustica 25%
D Alcool Metilico	E Solfato di Ammonio 2%
E Benzina	E Solfuro di Idrogeno saturo
E Benzina/Benzolo 60/40	E Solfuro di Idrogeno 80%
E Benzolo	E Soluzione NaCl 10%
E Cherosene	E Soluzione NaCl 10%
E Clorato di Potassio 5%	B Solvente per vernici
E Cloruro di Benzolo	E Stirene
D Cloruro di Metilene	E Tetracloruro di Carbonio
E Combustibile JD 4	E Toluolo
E Combustibile JD	S E Trementina
E Diisobutilene	D Tricloroetilene
E Diisobutilchetone	E Xilolo

tabella 3.8.1 - Test eseguiti sulla resistenza agli agenti chimici della resina poliuretanica.

3.9 la compatibilità ambientale

Per poter garantire la massima compatibilità ambientale, dovendosi iniettare nel terreno, talvolta anche in presenza di acqua e al di sotto di fabbricati civili, il produttore ha incaricato l'Istituto Giordano s.p.a. di Rimini (laboratorio di prove autorizzato secondo la direttiva 89/106/CEE) ad operare alcuni test

specifici per la valutazione della compatibilità ambientale del sistema resina utilizzato da GEOSEC.

Anche in questo caso non essendo disponibile una norma specifica di riferimento per test sulla resina da iniezione, gli ingegneri dell'Istituto Giordano s.p.a. hanno esaminato attentamente tutte le possibili opzioni dell'approccio di valutazione, e che di seguito si riassumono:

approccio 1) considerare il prodotto resina un rifiuto, alla stregua di un materiale da Costruzione / Demolizione (C&D), terre da scavo o rifiuto similare, ed operare nella valutazione secondo il D. Lgs. 152/06 e il D.M. 186/2006 (modifica del D.M. 5/02/98) eseguendo il test di cessione in acqua deionizzata come da norma UNI EN 12457-2. Quest'ultima infatti è conosciuta e condivisa come la procedura classica che si utilizza normalmente per recuperare i rifiuti inerti nelle opere di ingegneria civile.

approccio 2) Non considerare la resina MAXIMA® un rifiuto, e dunque focalizzarsi solo sulle tematiche relative ai siti contaminati. In questo caso, non avendo a riferimento delle specifiche precise, ci si può riferire al criterio di maggiore ponderazione basato sul concetto "che cosa dobbiamo concretamente temere" a proposito del comportamento, per esempio, di un materiale di escavazione sul quale pendono delle incertezze per quanto riguarda la sua salubrità.

Questo presupposto appare molto vicino all'approccio 1 precedente, con l'aggravante di adottare un test di cessione più rigoroso. Sarà possibile allora effettuare il test in acido acetico 0,5 M, analizzando sull'eluato tutti gli elementi (circa un centinaio) relativi alla tabella 2 titolo V parte IV del D. Lgs. 152/06, elenco di gran lunga superiore alla normativa rifiuti (D.M. 186/2006, che prevede solo 20 elementi).

Approccio 3) analizzare il contenuto totale di eventuali contaminanti sulla resina, e confrontare il contenuto in mg/kg di resina, con gli elementi di tabella 1 Titolo V parte IV D. Lgs. 152/2006. Questo approccio non sarebbe esaustivo, perché non darebbe indicazioni in merito alla possibilità che un bersaglio (pozzo, falda) venga raggiunto da questa sorgente (resina). Un'altra criticità potrebbe essere legata al parametro idrocarburi C > 12, che nasce come indicazione della contaminazione di un suolo da petrolio e derivati (benzine, diesel, etc.) In questo caso, lo strumento analitico indicherebbe semplicemente e indifferentemente quanti legami C - H siamo presenti dopo aver estratto con solvente l'analita dal suolo. Nel caso di resina a base idrocarburica (C-H), si potrebbe

quindi andare incontro a dati "falsati" dalla natura stessa del prodotto.

Concludendo dunque per valutare il reale rischio ambientale derivante dall'applicazione della resina suddetta in opere geotecniche e di ingegneria civile, è sembrato più corretto ai tecnici dell'istituto giordano, seguire le indicazioni evidenziate nei primi due punti, considerando lo scenario ipotizzabile peggiore e come meglio descritto al punto 2. Lo stesso utilizzato in opere di confinamento e stabilizzazione fisica o chimica di siti contaminati (specie da metalli pesanti) per i quali resta identico il contenuto totale (mg/kg), ma diminuendo entro i limiti di tabella 2 titolo V parte IV D. Lgs. 152/06 - la lisciviazione ed il possibile rischio ambientale. (G. TRAINA, Istituto Giordano S.p.a., 2008).

Infine sempre con riferimento alla resina MAXIMA® di GEOSEC è bene ricordare che essa è formulata da sempre in assenza totale di acetonitrile, acrilonitrile, acido acrilico, butadiene, fluoruro d'idrogeno, perossido d'idrogeno, acido metacrilico, metacrilato di metile, toluene, triclorobenzene così come da prescrizione dell'Unione Europea (2004/394/CE) che ha recentemente limitato l'immissione sul mercato e l'uso di questi componenti nelle malte da iniezione e in tutte le applicazioni di consolidamento del suolo in quanto valutate pericolose per la salute umana e per l'ambiente. In particolare sempre secondo queste disposizioni comunitarie l'acrilamide non può essere né immessa né utilizzata come sostanza o componente di miscele in concentrazione pari o superiore allo 0,1 % in peso per applicazioni di consolidamento del suolo dopo il 5 novembre 2012. L'acrilamide è infatti classificata come sostanza cancerogena di categoria 1B e mutagena di categoria 1B, (E. SANTUCCI, 2011).

Analisi di compatibilità ambientale secondo il decreto legislativo n. 152/2006 e successiva modificazione con Decreto Legislativo n. 4/2008. la prova è stata eseguita analizzando il contenuto totale di contaminanti nel polimero:

parametri richiesti	u.m.	valori individuali	L.Q.*	metodo di prova	Limiti	
					siti ad uso verde pubblico, privato e residenziali**	siti ad uso commerciale e industriale**
cianuri totali (ione cianuro)	mg/k g s.s. ***	< L.Q.	0.2	EPA 9010C 2002 + EPA 9014 1996	1	100
Idrocarburi leggeri C < 12	mg/k g s.s. ***	< L.Q.	5	EPA 5021 A 2003 + EPA 8260 B 1996	10	250
Alifatici clorurati non cancerogeni						
1,2,3-tricloroprop	mg/k g s.s.	< L.Q.	0,00 5	EPA 5021 A 2003 + EPA	1	10

ano	***			8260 B 1996		
Ammine aromatiche						
Difenilamina	mg/k g s.s. ***	< L.Q.	5	EPA 3550C 2000 + EPA 8270D 1998	0,1	10
Sommatoria ammine aromatiche	mg/k g s.s. ***	< L.Q.	0.01	EPA 3550C 2000 + EPA 8270D 1998	0,5	25

(*) L.R.: Limite di rilevabilità.

(**) Limiti riferiti al D.Lgs. 152/2006 allegato 5 parte quarta tabella 2.

(***) ss: sostanza secca.

Parametri richiesti	u.m.	Valori individuati	L. R. *	Limiti D.Lgs 152/06 **	Metodi di analisi
Alluminio	µg/l	1,8	0,1	200	EPA 6020 A 2007
Antimonio	µg/l	< 0,1	0,1	5	
Argento	µg/l	< 0,1	0,1	10	
Arsenico	µg/l	< 0,1	0,1	10	
Berillio	µg/l	< 0,1	0,1	4	
Cadmio	µg/l	< 0,1	0,1	5	
Cobalto	µg/l	0,1	0,1	50	
Cromo totale	µg/l	0,2	0,1	50	
Cromo VI	µg/l	< 0,5	0,5	5	EPA 7199 1996
Ferro	µg/l	24	5	200	EPA 6020 A 2007
Mercurio	µg/l	< 0,1	0,1	1	
Nichel	µg/l	0,3	0,1	20	
Piombo	µg/l	0,8	0,1	10	
Rame	µg/l	0,9	0,1	1000	
Selenio	µg/l	< 0,1	0,1	10	EPA 6020 A 2007
Manganese	µg/l	0,5	0,1	50	
Tallio	µg/l	< 0,1	0,1	2	
Zinco	µg/l	27,5	0,1	3000	
Boro	µg/l	149	0,1	1000	
Cianuri liberi	µg/l	< 5	5	50	
Fluoruri	mg/l	< 50	50	1,5	
Nitriti	µg/l	< 20	20	500	
Solfati	mg/l	0,3	0,1	250	
Composti Organici Aromatici:					
Benzene	µg/l	< 0,1	0,1	1	EPA 5030C 2003 + EPA 8260 C 2006
Étilbenzene	µg/l	< 1	1	50	
Stirene	µg/l	< 1	1	25	
Toluene	µg/l	< 1	1	15	
Para - xilene	µg/l	< 1	1	10	

Parametri richiesti	u.m.	Valori individuati	L. R. *	Limiti D.Lgs 152/06 **	Metodi di analisi
Composti Aromatici Policiclici:					
Naftalene	µg/l	< 0,1	0,1	/	EPA 3510 1996 + EPA8270D 2007
Acenaftilene	µg/l	< 0,1	0,1	/	
Fluorene	µg/l	< 0,1	0,1	/	
Fenantrene	µg/l	< 0,1	0,1	/	
Antracene		< 0,1	0,1	/	
Fluorantene		< 0,1	0,1	/	
Pirene		< 0,1	0,1	50	
Benzo (a) antracene	µg/l	< 0,01	0,01	0,1	
Crisene	µg/l	< 0,1	0,1	5	
Benzo (b) fluorantene(A)	µg/l	< 0,01	0,01	0,1	
Benzo(k)fluorantene(B)		< 0,005	0,005	0,05	
Benzo (g,h,i) perilene (C)	µg/l	< 0,001	0,001	0,01	
Benzo (a) pirene	µg/l	< 0,001	0,01	0,01	
Indeno(1,2,3-cd)pirene(D)	µg/l	< 0,01	0,01	0,1	
Dibenzo(a,h) antracene	µg/l	< 0,001	0,001	0,01	
Somm, policiclici aromatici (A,B,C,D)	µg/l	< 0,01	0,01	0,1	
Alifatici clorurati cancerogeni:					
Clorometano	µg/l	1,2	0,1	1,5	EPA 5030C 2003 + EPA8260C 2006
Triclorometano	µg/l	0,04	0,01	0,15	
Cloruro di vinile	µg/l	< 0,05	0,05	0,5	
1,2 - Diclorometano	µg/l	< 0,1	0,1	3	
1,1 - Dicloroetilene	µg/l	< 0,005	0,005	0,05	
Tricloroetilene	µg/l	< 0,1	0,1	1,5	
Tetracloroetilene	µg/l	< 0,1	0,1	1,1	
Esaclorobutadiene	µg/l	< 0,01	0,01	0,15	
Sommatoria organoalogen	µg/l	1,2	0,1	10	

Parametri richiesti	u.m.	Valori individuati	L. R. *	Limiti D.Lgs 152/06 **	Metodi di analisi
eti					
Alifatici clorurati non cancerogeni:					EPA 5030C 2003 + EPA8260C 2006
1,1-Dicloroetano	µg/l	<1	1	810	
1,2-Dicloroetilene	µg/l	<1	1	60	
1,2-Dicloropropano	µg/l	0,05	0,01	0,15	
1,1,2-Tricloroetano	µg/l	<0,02	0,02	0,2	
1,2,3-Tricloropropano	µg/l	<0,0001	0,0001	0,001	
1,1,2,2-Tetracloroetano	µg/l	<0,005	0,005	0,05	
Alifatici alogenati cancerogeni:					EPA 5030C 2003 + EPA8260C 2006
Tribromometano (bromoformio)	µg/l	<0,01	0,3	0,3	
1,2-Dibromoetano	µg/l	<0,0001	0,001	0,001	
Dibromoclorometano	µg/l	<0,01	0,01	0,13	
Bromodichlorometano	µg/l	<0,01	0,01	0,17	
Nitrobenzeni:					EPA3510 1996 + EPA8270D 2007
Nitrobenzene	µg/l	<0,1	0,1	3,5	
1,2-Dinitrobenzene	µg/l	<0,5	0,5	15	
1,3-Dinitrobenzene	µg/l	<0,1	0,1	3,7	
Cloronitrobenzeni (ognuno)	µg/l	<0,05	0,05	0,5	EPA3510 1996 + EPA8270D 2007
Clorobenzeni:					EPA5030C 2003 + EPA8260C 2006
Monoclorobenzene	µg/l	<1	1	40	
1,2-Diclorobenzene	µg/l	<10	10	270	
1,4-Diclorobenzene	µg/l	<0,05	0,05	0,5	
1,2,4-Triclorobenzene	µg/l	<10	10	190	EPA5030C 1996 + EPA8270D

Parametri richiesti	u.m.	Valori individuati	L. R. *	Limiti D.Lgs 152/06 **	Metodi di analisi
ne					2007
1,2,4,5-Tetraclorobenzene	µg/l	<0,1	0,1	1,8	EPA5030C 1996 + EPA8270D 2007
Pentaclorobenzene	µg/l	<0,5	0,5	5	
Esaclorobenzene	µg/l	<0,001	0,001	0,01	
Fenoli e clorofenoli:					EPA5030C 1996 + EPA8270D 2007
2-Clorofenolo	µg/l	<10	10	180	
2,4-Diclorofenolo	µg/l	<10	10	110	
2,4,6-Triclorofenolo	µg/l	<0,5	0,5	5	
Pentaclorofenolo	µg/l	<0,05	0,05	0,5	
Ammine aromatiche:					EPA5030C 1996 + EPA8270D 2007
Anilina	µg/l	<1	1	10	
Difenilamina	µg/l	<10	10	910	
p - toluidina	µg/l	<0,01	0,01	0,35	EPA5030C 1996 + EPA8270D 2007
Fitofarmaci:					
Alaclor	µg/l	<0,01	0,1	0,1	
Aldrin	µg/l	<0,001	0,03	0,03	
Atrazina	µg/l	<0,01	0,3	0,3	
α - esacloroesano	µg/l	<0,01	0,1	0,1	
β - esacloroesano	µg/l	<0,01	0,1	0,1	
γ - esacloroesano (Lindano)	µg/l	<0,01	0,1	0,1	
Clordano	µg/l	<0,01	0,1	0,1	
DDD, DDT, DDE	µg/l	<0,01	0,1	0,1	
Dieldrin	µg/l	<0,001	0,03	0,03	
Endrin	µg/l	<0,01	0,1	0,1	
Sommatoria fitofarmaci	µg/l	<0,01	0,5	0,5	
DIOSSINE E FURANI					
Sommatoria PCDD, PCDF (conversioni I-TEQ/L)	µg/l	<0,000005	5,00E-07	4,00E-06	EPA1613B 1994 + CE76/200 4/12/2000 GU CEL332 28/12/200 ALL. I
ALTRE SOSTANZE					

Parametri richiesti	u.m.	Valori individuati	L. R. *	Limiti D.Lgs 152/06 **	Metodi di analisi
Policlorobifenili	µg/l	< 0,001	0,001	0,01	EPA3510C 1996 + EPA8082A 2007 + EPA 8270D 2007
Acrilamide	µg/l	<0,01	0,01	0,1	EPA 8032A 1996
Idrocarburi totali (n-esano)	µg/l	< 10	10	350	EPA5021A 2003 + EPA3510C 1996 + EPA 8015D 2003
Acido p-ftalico	µg/l	< 100	100	3700	Metodo interno
Amianto (fibre A>10mm)	µg/l	assenti	/	/	Metdo interno

(*) L.R.: Limite Rilevabilità.

(**) Limiti riferiti al D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 GU n. 88 14/04/2006 - Allegato 5 alla parte quarta: Tabella 2.

Da ultimo i produttori / fornitori di fiducia selezionati da GEOSEC certificano che i prodotti poliuretanic per il consolidamento dei terreni utilizzati dal nostro gruppo non contengono sostanze pericolose indicate nelle principali liste:

European Directives 2011/65/EU and 2002/96/EC on the Restriction of the Use of Hazardous Substances (RoHS) in Electrical and Electronic Equipment;

EU. REACH: Candidate List of Substances of Very High Concern for Authorization (SVHC) (ECHA, date of last inclusion: 19 December 2012);

EU. Regulation 1005/2009/EC on substances that deplete the ozone layer

3.9 Resistenza all'invecchiamento

Premesso che i test di invecchiamento sul poliuretano da edilizia sono generalmente utilizzati per studiare le problematiche prestazionali legate alle proprietà isolanti del materiale, la tabella che segue invece riporta i primi risultati di un esperimento tuttora in corso nel Delaware (U.S.A.) per valutare gli effetti del tempo su lastre di resina di composizione chimica analoga quella del formulato MAXIMA® di Geosec®.

Queste lastre (delle dimensioni di 305x305x51 mm) sono conservate parte in magazzino e parte in ambiente confinato, quindi interrate nel sottosuolo a 2,5 metri di profondità.

Le proprietà prese in esame sono: densità, resistenza a trazione, allungamento, resistenza a compressione,

conducibilità termica (fattore K) e volume, esse sono state misurate all'inizio della prova e successivamente dopo 10 anni dal trattamento.

Come si può osservare dai risultati riportati in tabella 3.9.1, dopo 10 anni di invecchiamento, sia in magazzino che nel sottosuolo, il materiale ha sostanzialmente conservato intatte le sue proprietà iniziali.

Il test è tuttora in corso e i ricercatori prevedono di proseguirlo fino allo scadere del ventesimo anno di invecchiamento della resina. Del resto il poliuretano è stato utilizzato in passato proprio per gli isolamenti delle condutture interrate durante i lavori di posa delle linee pubbliche e ancora oggi durante gli scavi per la manutenzione è possibile osservare in molti cantieri aperti il perfetto stato di conservazione di molti poliuretani.

Proprietà	Controllo Prova		
	Resina conservata in magazzino	Resina interrata nel sottosuolo	
Densità (Kg/m ³)	Iniziale:	33,6	33,6
	Dopo 10 anni:	33,6	33,6
Resistenza a trazione* (Kg/cm ²)	Iniziale:	3,8	3,8
	Dopo 10 anni:	4,1	4,1
Allungamento (%)	Iniziale:	5,1	5,1
	Dopo 10 anni:	6,0	6,0
Resistenza a compressione** (Kg/cm ²)	Iniziale:	3,3	3,3
	Dopo 10 anni:	3,5	3,2
Fattore "K" di conducibilità termica (W/m ² K)	Iniziale:	0,177	0,177
	Dopo 10 anni:	0,183	0,242
Variazione di volume (in % del volume iniziale)	Iniziale:	-	-
	Dopo 10 anni:	0	4,2

tabella 3.9.1 - Test di invecchiamento sul poliuretano(Freon - product information - BA-13).

*(misurata su campioni cilindrici appositamente prelevati)

** (al limite di snervamento)

Il poliuretano infatti fonda il suo successo "anti età" proprio sulla struttura a celle chiuse, per questo alle origini fu denominato simpaticamente "formaggio svizzero" dai suoi stessi inventori (O. Bayer, 1937). Infatti grazie a questa sua particolare caratteristica, il poliuretano a celle chiuse fornisce una elevata protezione impermeabile all'acqua e all'umidità, ecco perché il poliuretano non marcisce.

Inoltre questo prodotto non fornisce valore nutrizionale per entità biologiche e come tale resiste efficacemente all'attacco di muffe, funghi e parassiti. Se iniettato nel terreno, il poliuretano non è ovviamente attaccabile dai raggi ultravioletti e ben si pone nel contrasto a molti attacchi chimici tipici degli agenti atmosferici.

In particolare poi abbiamo provveduto grazie alla collaborazione con uno dei nostri fornitori di fiducia ad eseguire un test di invecchiamento della resina a 70h e 70°C. Il test è stato effettuato subito dopo l'invecchiamento a 48h 70°C con umidità al 95%.

tabella riepilogativa	
Preparazione provini	Del produttore 100x100x20 mm
Dimensioni provini (mm)	100 x 100 x 25
Tattamento termico	48 ore a 70°C 95% umidità Successivamente 70 ore a 70°C

Risultati finali delle prove		
Tattamento termico	Dimensione esaminata	Var (%) delle dimensioni Valor medio
48 ore a 70°C	Larghezza	< 1
	Ampiezza	< 1
	Spessore	< 1
Successive 70 ore a 70°C	Larghezza	< 1
	Ampiezza	< 1
	Spessore	< 1
Successive 70 ore a 70°C misure su campione già invecchiato stabilizzato e sottoposto ad ulteriore invecchiamento	Larghezza	< 1
	Ampiezza	0,14
	Spessore	0,18

tabella 3.9.1 - esito test invecchiamento.

4. Controllo Qualità

Tutto il processo produttivo del gruppo GEOSEC®, già disciplinato dalla norma UNI EN ISO 9001:2008, attua da diversi anni un rigoroso protocollo di controllo qualità del sistema poliuretano MAXIMA®.

I risultati di prova effettuati dal produttore/fornitore sono raccolti in un certificato di analisi di laboratorio che deve necessariamente accompagnare il provino fino allo stabilimento dell'applicatore a dimostrazione della conformità alla scheda tecnica del prodotto. In

esso sono indicati i valori di viscosità, il numero di ossidrilici, il titolo NCO, il peso specifico.

Il lotto viene poi ulteriormente controllato a campione dall'applicatore in stabilimento prima dell'utilizzo in cantiere e il certificato di analisi accompagna sempre il formulato con la rispettiva etichettatura di legge e le schede di sicurezza fino al luogo della posa presso il cantiere.

La presente procedura di controllo qualità è inserita nel manuale di qualità UNI EN ISO 9001:2008 del gruppo GEOSEC e costituisce fondamento del parere tecnico positivo ottenuto dall'azienda sulle procedure di applicazione del procedimento SEE&SHOOT® reso da ICMQ - il più autorevole istituto in Italiano di controllo, ispezione e certificazione di terza parte indipendente del settore dell'edilizia - ai sensi della norma UNI CEI EN ISO/IEC 17020.

Bibliografia

(E. SANTUCCI: Limitato l'uso nelle malte dell'acrilammide: è cancerogeno. 2011, www.greenreport.it - quotidiano per l'economia ecologica).

(G. TRAINA: approccio utilizzato nella valutazione della compatibilità ambientale del prodotto MAXIMA di Geosec, Istituto Giordano s.p.a., 2008).

(S. DEL FORNO, A. FIORUCCI, M. CIVITA: Impatto ambientale delle iniezioni sull'ambiente sotterraneo. Aquifer Vulnerability and Risk, 2nd International Worksho Groundwater degradation risk, 4th Congress on the Protection and Management of Parma, 21-22-23 Settembre 2005).

AA.VV. Poliuretano, speciale applicazioni, ANPE - Studioemmesrl 2001).

immagini nel quaderno:

Figura 1.2 – Otto Bayer Francoforte 1937 (<http://schulen.eduhi.at/chemie/bayer.htm>).

Figura 1.3 – vista microscopica della struttura cellulare di un poliuretano (AA.VV. Poliuretano, speciale applicazioni ANPE, studioemme srl 2001).



SEDE: Via Giuseppe Di Vittorio 41/B
Lemignano di Collecchio 43044 (Parma)

Tel: 0521 339323 - Fax: 0521 804772
info@geosec.it



www.geosec.it