

Consolidamento di un versante franoso mediante opere in c.a. in terreni solfatici chimicamente aggressivi

Corcella Cataldo Matteo



Nell'aprile 2009 si sono verificati molteplici eventi calamitosi dovuti a piogge insistenti e di notevole intensità che hanno causato frane e smottamenti in diverse località del basso Piemonte. Nel Comune di Verduno in provincia di Cuneo a 6 km da Alba, il 26 aprile 2009 si è verificata una frana stimata in un movimento terra di circa 250 m³ in prossimità di alcune abitazioni. Questa frana, pur non avendo provocato danni immediati, ha creato una situazione di rischio che ha reso necessario un rapido intervento allo scopo di mettere in sicurezza i fabbricati circostanti. Gli interventi, perlopiù costituiti da opere di contenimento realizzate in calcestruzzo, sono stati progettati ed eseguiti in accordo alla normativa tecnica per le costruzioni (NTC - d.m. 14.01.2008), con particolare riferimento al rispetto dei requisiti imposti dai criteri di durabilità, espressi dalle classi di esposizione ambientale. L'opera di consolidamento è consistita nella realizzazione di un muro di

contenimento in c.a. vincolato ad un sistema di pali verticali e tiranti in acciaio annegati in calcestruzzo. Secondo quanto stabilito dalle NTC (d.m. 14.01.2008) le strutture, ricadenti in classe 1 di vita utile (50 anni), sono state realizzate valutando preliminarmente le condizioni di aggressività ambientale del sito (classe di esposizione) al fine di adottare tutti i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado delle strutture in c.a., sia per quanto attiene le parti in elevazione che le parti interrato. Nel caso specifico, le indagini geotecniche evidenziavano un'abbondante presenza di solfati solubili nei terreni, testimoniata dalla presenza di corpi gessosi cristallini soggetti a pseudo carsismo (formazione gessoso-solfifera), tali da far ritenere i suddetti terreni fortemente aggressivi da un punto di vista chimico (classe di esposizione XA rispetto 1 e 2 UNI EN 206-1). Il carattere litologico unitamente agli aspetti idrogeologici, ha così imposto l'adozione di una classe di espo-

sizione ambientale particolarmente severa sia per le strutture interrato (XC2+XA3), a diretto contatto con il terreno solfatico, sia per le strutture di contenimento in elevazione, soggette al contatto diretto con acque solfatiche di ruscellamento che permeano il terreno (XC4+XA3). In base alla norma UNI 11104:2004 i requisiti composizionali per il calcestruzzo quindi sono stati quelli indicati in Tabella 1. Il processo degradante del calcestruzzo in presenza di solfati, può essere ricondotto ad una serie di reazioni chimiche che avvengono tra i componenti del cemento idratato e i solfati presenti nelle acque o nel terreno che riescono a penetrare all'interno della matrice cementizia.

Reazione 1: Idrossido di calcio (nella pasta)+solfati+acqua → gesso (espansione nel cls)

Reazione 2: Alluminati idrati (nella pasta)+gesso → ettringite (espansione nel cls)

Queste reazioni portano alla formazione di composti (gesso ed ettringite) assai più voluminosi dei componenti originari, causando fessurazioni, espulsioni di parti di calcestruzzo, ecc..

In base alla vigente normativa, la salvaguardia delle strutture in c.a. da questo tipo di degrado, si consegue principalmente in due modi:

- impiego di leganti chimicamente meno vulnerabili;

- adozione di un basso rapporto acqua/legante, al fine di ottenere una matrice il meno permeabile possibile.

La resistenza al solfato del cemento Portland è inversamente proporzionale al suo contenuto di alluminato tricalcico (C_3A). Tale componente è uno dei quattro principali costituenti del clinker di cemento. La gran parte degli alluminati idrati che si formano a seguito dell'idratazione del cemento, hanno origine proprio dall'idratazione del C_3A . Riducendo quindi la percentuale di questo costituente mineralogico nel cemento, diminuiscono gli alluminati idrati che possono essere coinvolti nella reazione deleteria con il solfato che porta alla formazione di ettringite.

La normativa italiana (UNI 9156) distingue tre differenti classi di cementi resistenti ai solfati denominate MRS, ARS e AARS rispettivamente a media, alta e altissima resistenza ai solfati. La resistenza ai solfati del calcestruzzo può essere ulteriormente migliorata introducendo nella miscela una particolare tipologia di aggiunta pozzolanica denominata *fumo di silice* (**Addiment Starkzement 1/D**).

Esso si presenta in forma di particelle sferiche circa 100 volte più piccole di quelle del cemento costituite quasi esclusivamente da silice amorfa. Il fumo di silice, aggiunto agli impasti in ragione del 3-11%, permette il raggiungimento di prestazioni del calcestruzzo allo stato indurito di gran lunga superiori rispetto quelle ottenibili con altre aggiunte. Grazie alle ridottissime dimensioni, le particelle di fumo di silice vanno ad occupare gli spazi liberi tra i granuli di cemento in corso di idratazione (azione fisica) creando una struttura estremamente compatta e poco permeabile. L'elevata pozzolanicità, e cioè la capacità di reagire con l'idrossido di calcio a formare il C-S-H (il medesimo prodotto che si forma per reazione del cemento con l'acqua, che causa l'indurimento del sistema) contribuisce ulteriormente alla riduzione della porosità con il procedere del tempo (azione chimica). La sottrazione dell'idrossido di calcio proveniente dall'idratazione del cemento inoltre, ne riduce la sensibilità verso i solfati (vedi reazione 1). Il risultato è un calcestruzzo praticamente impermeabile capace di resistere ai più severi attacchi chimici.

Sulla base di tali considerazioni, data

la ridotta disponibilità nell'area in questione di un cemento speciale quale è il tipo AARS, è stato deciso dal progettista e dalla D.L. di optare per l'impiego di fumo di silice (**Addiment Starkzement 1/D**) unitamente ad un cemento ARS, di più facile reperibilità. Tale scelta trova ampia giustificazione in base al principio di prestazione equivalente richiamato anche dalle normative europee e da una vasta letteratura che attesta come l'aggiunta di fumo di silice unitamente all'adozione di un basso rapporto a/c riduce drasticamente la permeabilità del calcestruzzo e di conseguenza la sua vulnerabilità nei confronti degli agenti aggressivi esogeni.

Le prescrizioni hanno interessato due differenti tipologie di calcestruzzo. Un calcestruzzo a consistenza S4 per le strutture in elevazione (N-CA1) e un calcestruzzo a consistenza auto-compattante per i pali di fondazione e i tiranti (SCC-CA2). Per entrambi i calcestruzzi è stato prescritto un rapporto a/c_{eq} , pari o inferiore a 0,35 e un tempo di lavorabilità di un'ora in condizioni estive. Al fine di soddisfare tali richieste, usualmente in contrasto tra di loro, si è fatto ricorso ad uno speciale additivo superfluidificante ad alta efficacia a base di polycarbossilati di ultima generazione (**Addiment Compactcrete 39/T75**), che è stato in grado conservare la lavorabilità iniziale ben oltre i 60 minuti richiesti anche in presenza di temperature superiori a 30 C°.

A seguito delle prove di prequalifica sono stati così definiti i mix-design dei calcestruzzi (Tabella 2).

Questa memoria costituisce un'utile ed interessante esempio di integrazione tra moderne tecnologie applicate alla produzione del calcestruzzo e recenti norme tecniche, in tema di qualità e durabilità ambientale. ⇐



Addiment Italia Srl

info-vendite@addimentitalia.it
www.addimentitalia.it

Tabella 1 – Requisiti composizionali.

a/c _{max}	C(x/y) _{min}	Cemento _{min} (kg/m ³)	Copriferro _{min} (mm)	Tipo di cemento
0.45	C35/45	360	40	AARS

Tabella 2 – Mix-design e prestazioni dei calcestruzzi impiegati.

	N-CA1	SCC-CA2
COMPONENTI	kg/m ³	kg/m ³
Cemento II/A-LL ARS 42.5 R	360	500
Addiment Starkzement 1/D	36	65
Agregato 0/25 – 0/15 mm	1880	1610
Addiment Compactcrete 39/T75	2.3	8.0
Rapporto (a/c) _{eq} con K=2 (UNI 11104)	0.35	0.32
R _{cm} 28gg	60 MPa	75 MPa
Consistenza in cantiere: Slump - Slump flow	20±2 cm	65÷70 cm