

**VASCA IN CALCESTRUZZO IMPERMEABILE
LA CRISTALLIZZAZIONE PER LE “NUOVE COSTRUZIONI”**
[SISTEMA PENETRON ADMIX[®] e accessori complementari]

Protezione Totale del Calcestruzzo
Autocicatrizzazione della Matrice Strutturale nel tempo



- LA TECNOLOGIA DEL SISTEMA
- CAMPI DI IMPIEGO
- CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI
- ACCESSORI COMPLEMENTARI
- PARTICOLARI COSTRUTTIVI
- REFERENZE SIGNIFICATIVE





INDICE

La tecnologia del Sistema Penetron per le NUOVE COSTRUZIONI

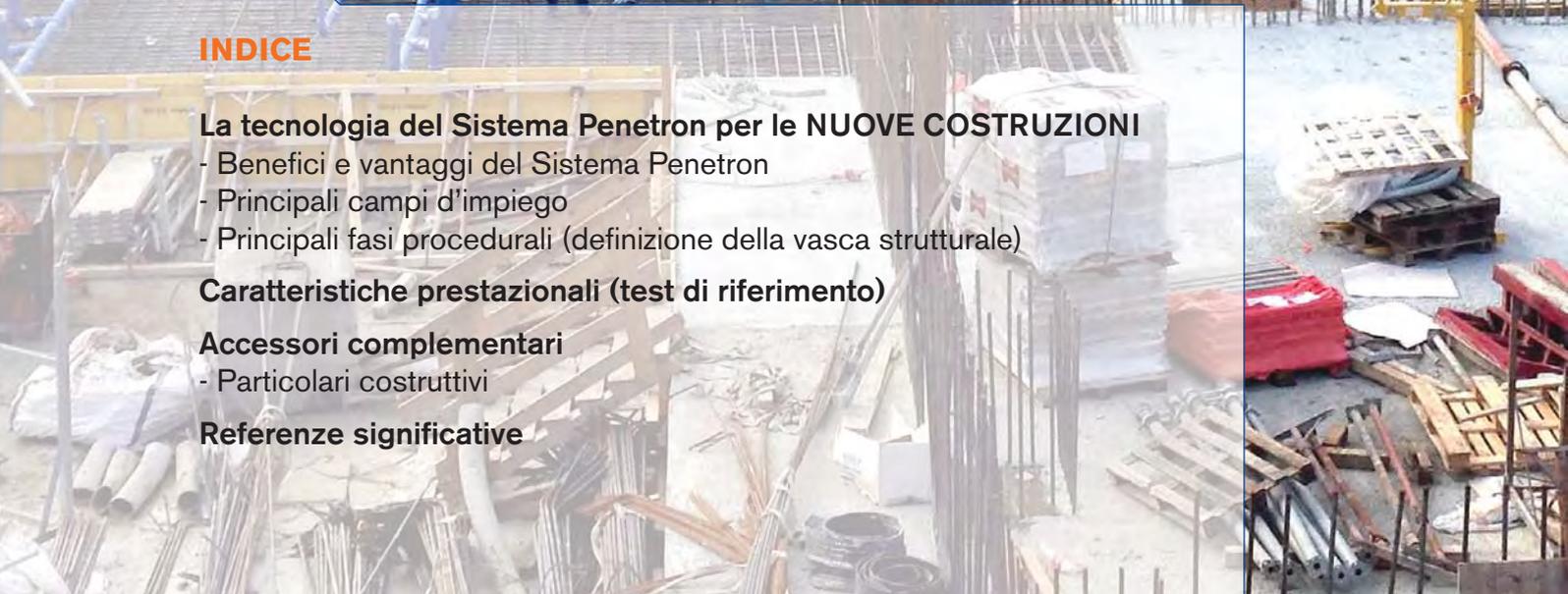
- Benefici e vantaggi del Sistema Penetron
- Principali campi d'impiego
- Principali fasi procedurali (definizione della vasca strutturale)

Caratteristiche prestazionali (test di riferimento)

Accessori complementari

- Particolari costruttivi

Referenze significative



LA TECNOLOGIA DEL SISTEMA

Il Sistema Penetron®, nella tipologia di prodotti evoluti per le "nuove costruzioni": **Penetron Admix e Accessori complementari**, consente di impermeabilizzare e proteggere le strutture interrate o idrauliche "fin dal principio", nella fase di esecuzione dei getti, mediante la realizzazione di una "**vasca in calcestruzzo a tenuta impermeabile**", eliminando le tradizionali impermeabilizzazioni esterne ed ottenendo molteplici benefici nella flessibilità e programmazione del cantiere.



Penetron® Admix è l'elemento più importante del Sistema: viene aggiunto come additivo al "mix design" del calcestruzzo in fase di confezionamento, per ottenere un'impermeabilizzazione **integrale e attiva nel tempo** della matrice strutturale. Questa tecnologia innovativa, grazie alla formulazione di componenti reattivi, riduce drasticamente la permeabilità del calcestruzzo e le fessurazioni per eccessivo gradiente termico o per ritiro igrometrico contrastato, aumentando le caratteristiche prestazionali della matrice e la durabilità dell'opera nella vita utile di esercizio. Il comportamento esclusivo dell'additivo di "**auto cicatrizzazione capillare**" del calcestruzzo rimane attivo nel tempo veicolo umidità-acqua e garantisce la tenuta impermeabile dei manufatti anche nelle più severe condizioni di classe ambientale.



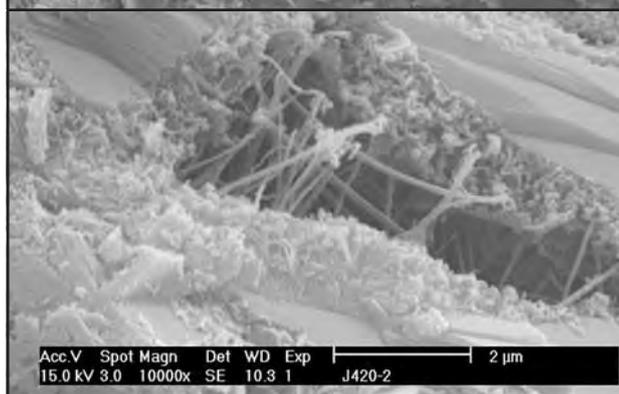
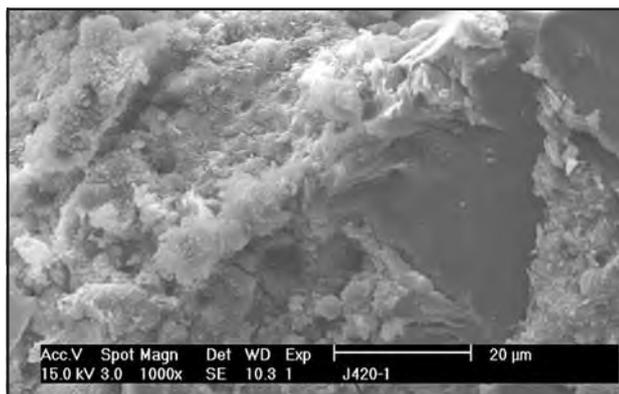


Foto al SEM (Scanning Electron Microscope) di un calcestruzzo non trattato con tipiche porosità aperte

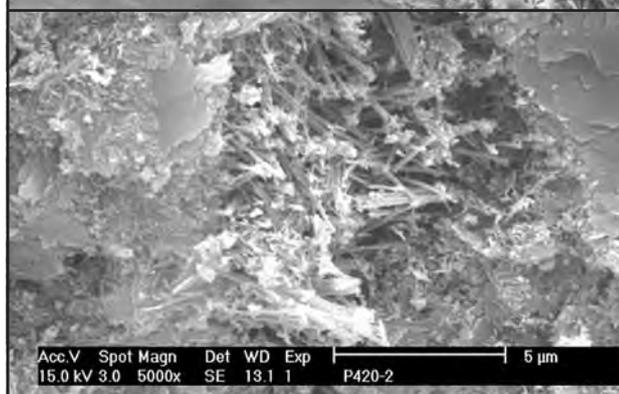
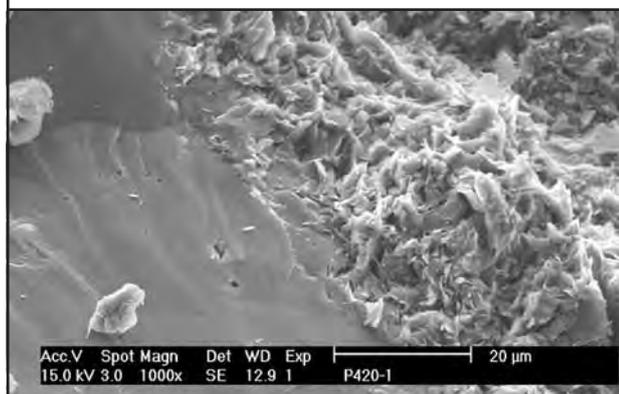


Foto al SEM di un calcestruzzo additivato con PENETRON ADMIX

Appare chiara la differenza di prestazione, nelle miscele di calcestruzzo, tra i tradizionali additivi “idrofobizzanti” o eventuali aggiunte di composti “fini idraulicizzanti” in mix design caratterizzati da bassi rapporti acqua/cemento (< 0,50), e gli additivi di natura cristallina come il Penetron® Admix che sono invece “**idrofillici**”, causano cioè, reagendo con l’acqua, un incremento di densità di cristalli C-S-H (Silicato di Calcio Idrato) che si depositano nella porosità del calcestruzzo e resistono alla penetrazione dell’acqua a forti pressioni idrostatiche (anche in mix design caratterizzati da alti rapporti acqua cemento 0,60-0,50).

Altro fattore essenziale della reazione chimica del Penetron® Admix con i composti minerali presenti nel calcestruzzo si evidenzia proprio nella **stabilizzazione dell’elemento solubile della matrice**, l’idrossido di calcio $Ca(OH)_2$ che viene trasformato in cristalli C-S-H non più solubili, con importanti conseguenze sull’ambiente alcalino che rimane costante e favorisce la conservazione dell’integrità delle armature. Il pH rimane costante su valori molto alti (12), il copriferro corticale ha caratteristiche di impermeabilità intrinseca elevatissime, e la formazione di eventuali fessurazioni da tensione di stress termico o esercizio sono sigillate dalla “crescita cristallina reattiva nel tempo” fino ad un’ampiezza di 0,4 mm.

Le armature non vengono a contatto con i contaminanti in veicolo acquoso e anche la carbonatazione viene estremamente rallentata dalla presenza di un **ambiente integro nelle sue prerogative alcaline**.

CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI DEL SISTEMA

- ◆ Una sola lavorazione: esecuzione dei getti in calcestruzzo + impermeabilizzazione strutturale Protezione totale "fin dal principio" nella fase di esecuzione dei getti.
- ◆ Velocità, contenimento dei costi e maggiore flessibilità nell'organizzazione del cantiere.
- ◆ Matrice strutturale impermeabile: le riparazioni di eventuali "non conformità" sono puntuali e avvengono dall'interno (controspinta), l'infiltrazione è facilmente identificabile e risanabile senza onerose operazioni di sbancamento.
- ◆ Riduzione del ritiro igrometrico (25 %) nella fase di maturazione del calcestruzzo con effetto curing e diminuzione delle fessurazioni.
- ◆ Capacità di autocicatrizzazione della struttura nel tempo veicolo umidità nella porosità residua e nelle microfessurazioni (ripristino della prestazione meccanica all'intorno delle stesse).
- ◆ Catalizzazione dell'elemento solubile residuo e mantenimento dell'ambiente alcalino ideale per i ferri di armatura (saggio di pozzolanicità)
- ◆ Nessuna aggiunta suppletiva di armatura antifessurativa rispetto a quella prevista dallo strutturista.
- ◆ Possibilità di adottare classi di esposizione con alti rapporti a/c (0,60-0,50) con notevoli vantaggi nell'esecuzione in opera delle miscele. Mantenimento della lavorabilità e nessun decremento della resistenza finale
- ◆ Possibilità di realizzare grandi campiture in platea (800-1000 mq.) senza bisogno di numerosi frazionamenti, riduzione dei giunti di fessurazione programmata nei muri di contenimento (ogni 8-10 ml., proprio in relazione ai benefici della cristallizzazione sul ritiro igrometrico).
- ◆ Altamente resistente alle concentrazioni chimiche, ai cicli di gelo-di-gelo, inibisce la carbonatazione.
- ◆ Resiste alle radiazioni gamma (test ASTM N69-1967, ISO 7031).

Scegliere la tecnologia del Sistema Penetron® per le "nuove costruzioni" comporta il sicuro vantaggio di coniugare l'impermeabilizzazione delle strutture ed il getto in opera del calcestruzzo:

Si accelerano notevolmente i tempi di attuazione e si elimina l'onere dei tradizionali sistemi a membrane sintetiche o pannelli bentonitici.

L'impermeabilizzazione è strutturale, interessa l'intero spessore della matrice in calcestruzzo, non può essere punzonata o distrutta se non compromettendo la struttura stessa, ci si accorge subito dell'assenza di sovrapposizioni, giunture, confinamenti e protezioni tipiche dei sistemi superficiali.

Importanti imprese di costruzione internazionali e nazionali hanno scelto questa tecnologia in un'ampia varietà di strutture in calcestruzzo interrate: nel getto

in opera di fondazioni, platee e muri di contenimento, parcheggi interrati, vasche di contenimento, impianti di depurazione, condotte idrauliche in pressione, opere sommerse marine, strutture esposte a significativo attacco di agenti atmosferici aggressivi, nel mix design di spritz beton-calcestruzzo proiettato in tunnel e gallerie, nella prefabbricazione di elementi speciali, etc..

Penetron® Admix è stato testato in numerosi laboratori indipendenti in tutto il mondo in accordo con gli standard internazionali (UNI EN 12390-8, DIN 1048, ASTM C39, CRC C48-92) ed analizzato sul campo in diverse realizzazioni prestigiose.



Getto tradizionale a doppio cassero



Getto contro pali-berlinesi con cassero controventato



PRINCIPALI AMBITI DI UTILIZZO DEL SISTEMA PENETRON PER LE NUOVE COSTRUZIONI

◆ STRUTTURE INTERRATE IN GENERE NELL'EDILIZIA CIVILE E INDUSTRIALE

Fondazioni isolate: plinti e travi, fondazioni continue: platee, muri di contenimento controterra, contro pali, diaframmi e parancole, fosse ascensori, vasche antincendio, Parcheggi interrati, Pavimentazioni industriali e basamenti speciali.

◆ IMPIANTI DI ACCUMULO E CONDUZIONE IDRAULICA, IMPIANTI IDROELETTRICI, TERMOELETTRICI E CANALI IRRIGUI

Dighe, vasche di accumulo, canali, gallerie e condotte

◆ IMPIANTI DI DEPURAZIONE E RETI FOGNARIE, IMPIANTI ACQUA POTABILE

Strutture di contenimento, sedimentazione e distribuzione liquami, vasche ad uso potabile

◆ IMPIANTI DI ACQUA POTABILE

Strutture di contenimento, trattamento e distribuzione acqua potabile

◆ OPERE MARINE

Porti e banchine, moli e cassoni
Opere sommerse

◆ SPRITZ BETON IMPERMEABILI

Calcestruzzi proiettati strutturali e di ripristino

Foto 1
Tunnel ZARA-EXPO, Milano

Foto 2
Nuova gestione corse FERRARI, Maranello (MO)

Foto 3
Centrale idroelettrica sul fiume Po, Casalgrasso (CN)

Foto 4
Ampliamento e parcheggio ospedale RCCS Candiolo, Torino

Foto 5
Spritz Beton impermeabile di ripristino calotta strutturale di galleria autostradale

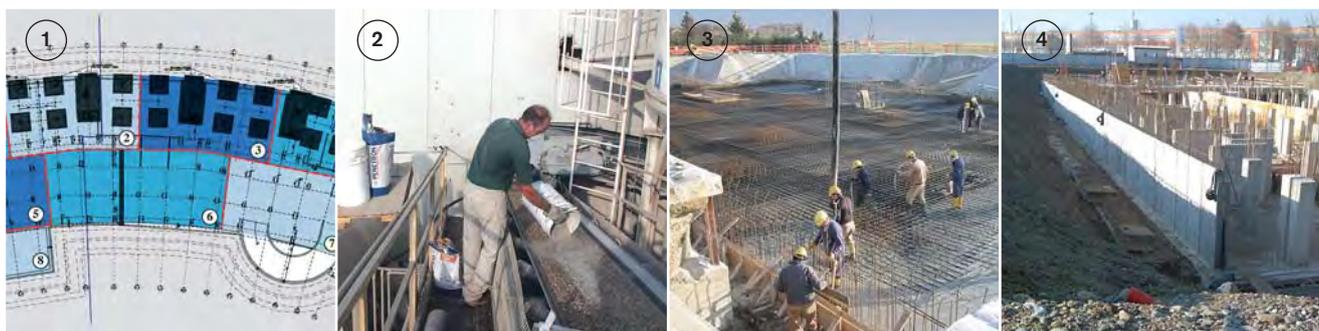
VASCA STRUTTURALE IN CALCESTRUZZO IMPERMEABILE: DEFINIZIONE DELLE FASI PROCEDURALI

Una volta definita la prestazione impermeabile della matrice in calcestruzzo si procede alla definizione della “vasca impermeabile” nella sua interezza, e quindi allo studio delle fasi realizzative e delle campiture strutturali.

Il personale tecnico specializzato della Penetron Italia s.r.l., distributore nazionale esclusivo del Sistema, analizzerà insieme al progettista strutturale le soluzioni ottimali per i particolari costruttivi di riferimento: giunti di costruzione-ripresa di getto, giunti di frazionamento-fessurazione programmata, giunti strutturali e di adeguamento antisismico, elementi passanti, distanziali-tiranti dei casseri, etc. adottando le migliori tecnologie disponibili sul mercato per la tenuta dei dettagli critici: Accessori complementari del Sistema Penetron® Admix.

L'assistenza tecnica coinvolgerà inevitabilmente tutto il corso dell'opera: dalle fasi di progettazione con la reda-

zione dei disegni esecutivi e delle prescrizioni operative, alla fase esecutiva con la qualifica della centrale di betonaggio di riferimento per la miscelazione, la supervisione e controllo nell'esecuzione dei getti in calcestruzzo (secondo la direttive vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni Testo Unico D.M. 14.01.2008 e la normativa UNI EN 206-1) e dei particolari di riferimento prescritti (installazione degli elementi accessori "a regola d'arte"). Si procederà infine alle operazioni di collaudo finale dell'opera a tenuta idraulica per la definizione delle garanzie (emissione di polizza decennale postuma di rimpiazzo e posa in opera specifica sul Sistema Penetron®).



1) Progettazione dei dettagli costruttivi idonei alla tenuta idraulica della vasca nella sua interezza

- Studio delle campiture realizzative in base alle tempistiche di approvvigionamento del calcestruzzo.
- Predisposizione delle tavole specifiche PENETRON® illustrative degli schemi di realizzazione.
- Studio dei giunti dei particolari tipologici significativi, conseguente scelta degli elementi accessori.

2) Prequalifica del mix design e miscelazione in centrale di betonaggio dell'additivo PENETRON ADMIX

- Analisi e prequalifica dei mix design di progetto.
- Analisi delle procedure per una corretta miscelazione dell'additivo Penetron Admix nell'impianto di betonaggio.
- Verifica della tipologia contenuto minimo di cemento, di eventuali aggiunte di fini pozzolanici e del fuso granulometrico.

3) Supervisione delle fasi di esecuzione dei getti in calcestruzzo

- Realizzazione dei particolari costruttivi di riferimento (elementi accessori di tenuta idraulica).
- Assistenza al collaudo di tenuta finale.
- Verifica delle “non conformità esecutive” ed eventuale ripristino delle stesse con le procedure di Sistema.

4) Emissione delle garanzie postume con assicurazione decennale

Rimpiazzo e posa in opera sul calcestruzzo impermeabile con il Sistema PENETRON®



CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI

TEST DI RIFERIMENTO

TEST 1

VALUTAZIONE DELL' EFFICACIA DELL' ADDITIVO **PENETRON ADMIX** IN CALCESTRUZZI CON VARIE CLASSI DI RESISTENZA E DURABILITA'

TEST 2

INDAGINE SUL CAMPO STRUTTURE INTERRATE
TERMINAL 3, AEREOPORTO DI SINGAPORE.
CALCESTRUZZI ADDITIVATI CON **PENETRON ADMIX**
ANALISI AL MICROSCOPIO ELETTRONICO: **PFM, SEM**
ANALISI CON LA TECNICA **EDX**

TEST 3

ADDITIVI "**CRISTALLIZZANTI**" NEL CALCESTRUZZO:
DALLA RIDUZIONE DELLA PERMEABILITÀ E DEL RITIRO
ALLA AUTORIPARAZIONE DELLE FESSURE
("**CRACK SELF HEALING**")

TEST 4

VALUTAZIONE DELLA EFFICACIA DELL' ADDITIVO
PENETRON ADMIX NELLA RIDUZIONE DEL RITIRO IN CALCESTRUZZI
CON VARIE STAGIONATURE



AUTORIZZATO dal Ministero dei Lavori Pubblici
(per prove secondo L 1086/71 DM 5609 del 07/11/2008)
RICONOSCIUTO dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica
e Tecnologica (art. 4 - Legge 297/99)
QUALIFICATO da ITALFERR - CEPAV UNO AV MI-BO

TEST 1

VALUTAZIONE DELLA EFFICACIA DEGLI ADDITIVI PENETRON ADMIX IN CALCESTRUZZI CON VARIE CLASSI DI RESISTENZA E DURABILITA'

Ing. Silvia COLLEPARDI

INTRODUZIONE E OBIETTIVI DELLA SPERIMENTAZIONE

Obiettivo della campagna di prove è stata la valutazione dell'efficacia dell'additivo Penetron Admix nel miglioramento dell'impermeabilità dei calcestruzzi caratterizzati da diverse classi di resistenza e di durabilità alle aggressioni ambientali. Sulla base di una precedente campagna di prove si era evidenziata la necessità di garantire una prolungata stagionatura umida dei calcestruzzi per l'attivazione

dell'additivo Penetron Admix utilizzato sia per ridurre la porosità del calcestruzzo sia per sigillare eventuali fessure. Per tale motivo l'utilizzo dell'additivo Penetron Admix risulta raccomandabile per strutture di tipo idraulico dove tale condizione di saturazione d'acqua è garantita dall'utilizzo stesso del manufatto. Per tale motivo la sperimentazione è stata condotta mantenendo i calcestruzzi i condizioni di UR>95% fino a 90gg.

<p>Durante la sperimentazione condotta sono state impiegate le seguenti materie prime:</p>	<p>MATERIE PRIME UTILIZZATE</p>
	CEM II/A-LL 42,5 R Buzzi
	CEM II/A-LL 42,5R Alta Resistenza Solfati (ARS) Tecnocem stab. Borgo (CN)
	Aggregati naturali cave Canzian: sabbia Canzian 0/4, Ghiaio Canzian 4/10, Ghiaia Canzian 4/16 caratterizzati
	Superfluidificante Acrilico Primium RM20 della General Admixtures;
Penetron Admix	
<p>Con suddette materie prime sono stati confezionati i seguenti 6 calcestruzzi tutti a pari classe di consistenza S4 (slump 20cm):</p>	<p>MISCELE CONFEZIONATE</p>
	Calcestruzzo per classe di esposizione XC2 ($a_{lc}=0.60$, 320 kg/m ³ di CEM II/A_LL 42.5R) senza o con l'impiego di Penetron Admix(1% sul cemento aggiunto in betoniera insieme alle altre materie prime secche prima dell'introduzione dell'acqua)
	Calcestruzzo per classe di esposizione XA2, XC4, XS1, XD2 ($a_{lc}=0.50$, 360 kg/m ³ di CEM II/A_LL 42.5R ARS) senza o con l'impiego di Penetron Admix (1% sul cemento aggiunto in betoniera insieme alle altre materie prime secche prima dell'introduzione dell'acqua)
Calcestruzzo per classe di esposizione XA3, XS2, XS3, XD3 ($a_{lc}=0.45$, 400 kg/m ³ di CEM II/A_LL 42.5R ARS) senza o con l'impiego di Penetron Admix (1% sul cemento aggiunto in betoniera insieme alle altre materie prime secche prima dell'introduzione dell'acqua)	
<p>Sui vari conglomerati sono state misurate le seguenti prestazioni:</p>	<p>MISURE ESEGUITE</p>
	Slump (UNI EN 12350/2) e massa volumica (UNI EN 12350/6) del calcestruzzo al termine della miscelazione
	Massa volumica (UNI EN 12390/7) e resistenza meccanica (UNI EN 12390/3) a 28-60-90 giorni di provini cubici 15x15x15 cm maturati a 20°C e UR>95%
	Prova di permeabilità all'acqua sotto pressione (UNI EN 12390/8) su una terna di provini cubici 15x15x15 cm stagionati per 60 giorni in acqua
Misure di penetrazione dello ione cloruro dopo 28-45-60-90gg su provini stagionati in camera umida (20°C e UR>95%) per 28gg giorni e poi immersi in soluzione acquosa di cloruro di sodio al 3.5%.	

CONCLUSIONI

Dai risultati ottenuti si deduce che l'aggiunta dell'additivo Penetron Admix non sembra modificare sostanzialmente le resistenze meccaniche a lungo termine del calcestruzzo.

Per quanto riguarda, invece, la permeabilità all'acqua, l'aggiunta di Penetron Admix produce una significativa riduzione di penetrazione d'acqua nei calcestruzzi caratterizzati da una maggiore porosità (rapporti a_{lc} 0.60 e 0.50). Nei calcestruzzi di maggiore densità ($a_{lc}=0.45$), il beneficio derivante dall'impiego del Penetron Admix appare poco significativo. Tuttavia, ciò

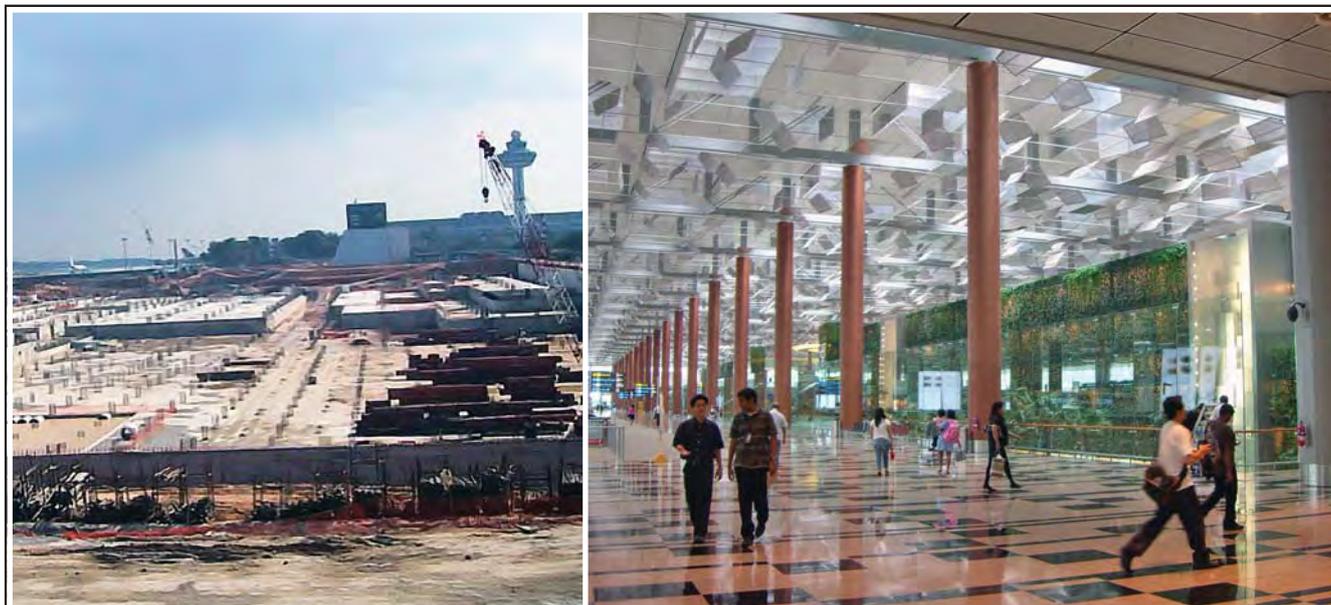
non esclude che anche nei calcestruzzi poco porosi l'impiego di Penetron Admix possa costituire un elemento di maggiore sicurezza alla durabilità della struttura. Infatti, nel caso di formazione di fessure di varia origine (ad. es per eccessivo gradiente termico o per ritiro igrometrico contrastato) esse possono essere ridotte o completamente sigillate riattivando la cristallizzazione del Penetron Admix mediante stagionatura umida del calcestruzzo.

Per quanto riguarda la penetrazione dei cloruri valgono le stesse considerazioni fatte per la permeabilità all'acqua.

TEST 2

INDAGINE SUL CAMPO STRUTTURE INTERRATE TERMINAL 3, AEREOPORTO DI SINGAPORE. CALCESTRUZZI ADDITIVATI CON PENETRON ADMIX ANALISI AL MICROSCOPIO ELETTRONICO: PFM, SEM ANALISI CON LA TECNICA EDX

(7 livelli, di cui 3 interrati, 28 gates e 1800 posti auto) per un totale di 150.000 metri cubi di calcestruzzo trattato.



1	Specification 1.1 Specific Characteristic Strength 1.2 Designed Standard Deviation 1.3 Design Margin 1.4 Target Mean Strength 1.5 Free Water/Cement Ratio 1.6 Type of Concrete 1.7 Concrete slump	40N/mm ² at 28 days in accordance with BS 5328 4.6 N/mm ² 7.5 N/mm ² 47.5 N/mm ² 0.46 Pump Concrete 100±25mm							
2	Cement 2.1 Cement Type 2.2 Cement Content	Ordinary Portland Cement 398kg/m ³							
3	Aggregates 3.1 Aggregate Type: Coarse Fine 3.2 Relative Density of Aggregates 3.3 Normal Aggregate Size 3.4 Grading of Fine Aggregate 3.5 Coarse Aggregate Content: SSD 3.6 Fine Aggregate Content: SSD	Crushed Granite Natural Sand/ Manufactured Sand 2.60-2.65 20mm BS 882 Table 5 1000 Kg/m ³ 695 Kg/m ³							
4	Water 4.1 Free Water Content	185 Kg/m ³							
5	Admixtures 5.1 Admixture Type 1 Dosage 5.2 Admixture Type 2 Dosage	Penetron (mix design) Admixture 0.8 kg per 100 kg of cement Daratarad 88: Water reducing, plasticizing and set retarding 550 ml per 100kg cement							
6	Summary (Batch weights (SSD) Per Cubic Metre of Concrete)	Kg/m ³							
Grade	Slump	Cement	Coarse Agg	Fine Agg	Water	Admix Penetron	A/C	W/C	Density
40	100±25mm	398	1000	695	185	3.18	4.26	0.46	2281.18

Mix design del calcestruzzo

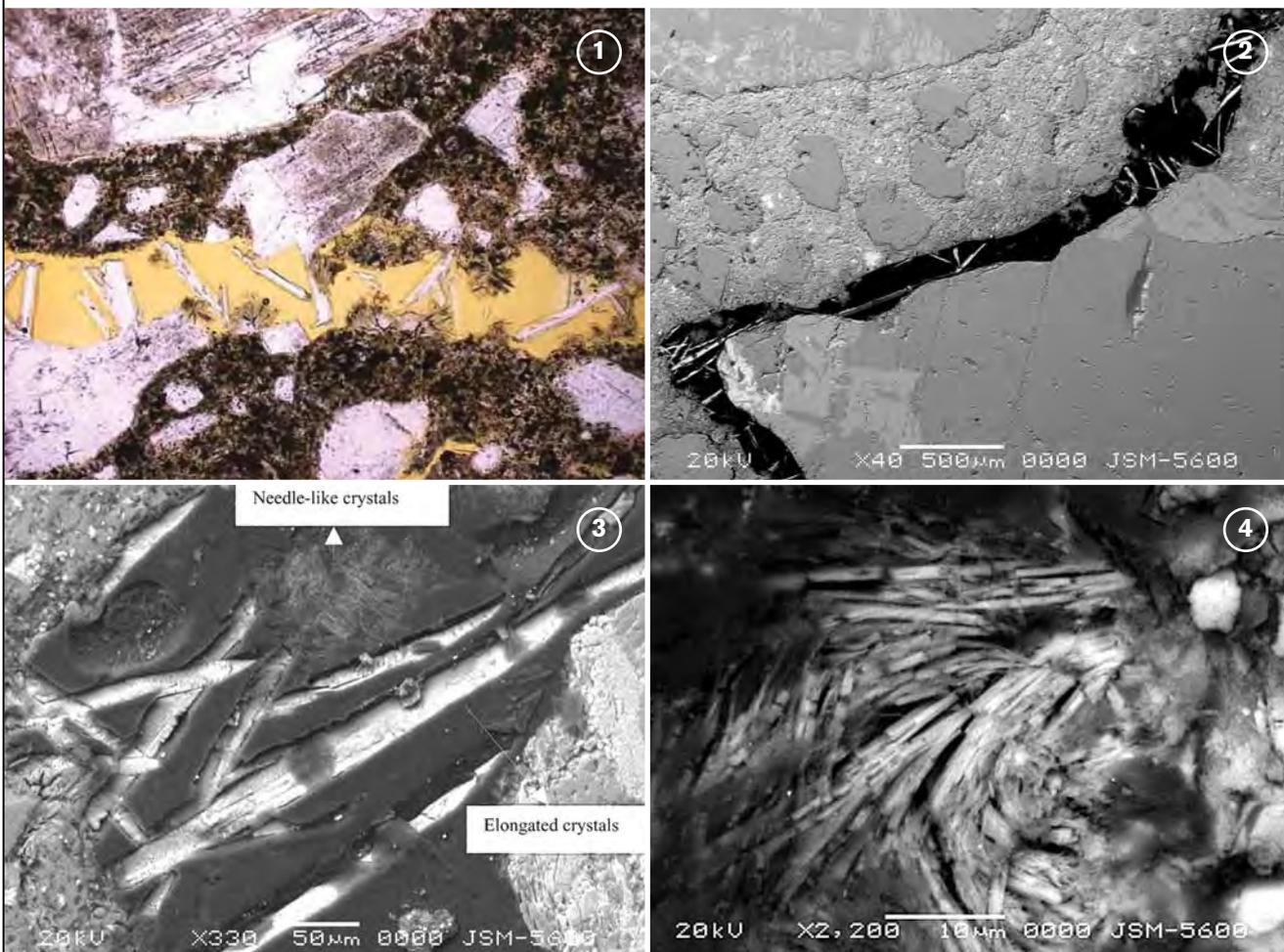
Project: Pile Foundation & Basement Construction for Terminal 3 Singapore Changi Airport Contractor: Sato Kogyo., Ltd
8 March 2001
Ref: RE/SK/PU/40P/01
Concrete Grade 40 Pump



Controllo delle fessurazioni, efflorescenze e percolazioni ormai asciutte (ampiezza delle fessurazioni, natura e crescita dei cristalli nelle carote prelevate sulle pareti del diaframma al Changi Airport Terminal 3)



ANALISI AL MICROSCOPIO ELETTRONICO (PFM, SEM) e ANALISI CON LA TECNICA EDX della natura e crescita dei cristalli nelle fessurazioni delle carote prelevate.



- 1 Cristalli allungati di struttura grossa e cristalli aghiformi di struttura fine hanno riempito la crepa
- 2 La Backscattered electron image (BEI) mostra la presenza di cristalli nella fessurazione
- 3 La Backscattered electron image (BEI) mostra cristalli allungati e cristalli aghiformi di struttura finissima nella fessurazione
- 4 Alto ingrandimento della vista dei cristalli aghiformi nella fessurazione

TEST 3

ADDITIVI “CRISTALLIZZANTI” NEL CALCESTRUZZO: DALLA RIDUZIONE DELLA PERMEABILITÀ E DEL RITIRO ALLA AUTORIPARAZIONE DELLE FESSURE (“CRACK SELF HEALING”)

Prof. Ing. L. Ferrara, Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano
Arch. Enricomaria Gastaldo Brac, Penetron Italia s.r.l., Torino

INTRODUZIONE

La capacità di autoriparazione dei compositi cementizi apre nuove prospettive con riferimento sia alle nuove costruzioni sia alla riparazione di quelle esistenti, grazie all'utilizzo di un materiale intrinsecamente abile di recuperare le sue proprietà durabilistiche originarie, assicurando vita utile più lunga e nel complesso garantendo una minore sensibilità al degrado in diverse condizioni ambientali. Una delle possibilità di conseguire la suddetta capacità di “auto-ripararsi” consiste nell'uso di additivi “cristallizzanti”, che, a contatto con l'acqua ovvero con l'umidità dell'atmosfera, innescano meccanismi chimici capaci di richiudere le fessure assicurando il recupero delle caratteristiche meccaniche.

Per quantificare l'auto-riparazione e il suo effetto sul recupero delle caratteristiche meccaniche è stata sviluppata una metodologia sperimentale, oggetto del presente lavoro. **Questa metodologia consiste nel “pre-fessurare” fino a diversi livelli di apertura di fessura (con la tecnica di flessione su tre punti) provini prismatici, realizzati con due calcestruzzi, contenenti o no il suddetto additivo.** I provini sono stati quindi esposti a diverse condizioni climatiche (esposizione naturale invernale o estiva, immersione in acqua, cicli di temperatura ed umidità in camera climatica a simulare in maniera accelerata le condizioni di esposizione naturale) per diversi tempi di esposizione. Alla fine sono state ri-ese-guite le prove di flessione su tre punti sia dei provini “non-fessurati”

sia di quelli “pre-fessurati”. Sono stati quindi confrontati i risultati delle prove prima del “trattamento termoidrometrico” dei provini vergini con quelli dopo “trattamento” in termini di carico - apertura di fessura. Questo ha permesso di valutare gli effetti della suddetta capacità di autoriparazione in termini di recupero di rigidità, carico massimo, danno accumulato, apertura di fessura effettiva e di definire degli indici di “auto-riparazione”, utili per una progettazione basata sulla durabilità.

L'aggiunta dell'additivo cristallizzante aumenta la suddetta capacità di auto-riparazione, che inoltre risulta chiaramente crescente all'aumentare della durata della esposizione ad elevati tassi di umidità ambientale, e, soprattutto, risulta essere non trascurabile anche per aperture di fessura significative, che possono, verosimilmente, esporre all'umidità atmosferica maggiori superficie di materiale anidro.

La consistenza e il significato dell' indice di recupero definito precedentemente sono chiaramente testimoniati dalla correlazione con altri parametri che possono rappresentativi del recupero delle caratteristiche meccaniche del materiale. Nella Figura 5 l'indice di recupero, ovvero di autoriparazione delle fessure, è stato assunto come variabile che governa il fenomeno di recupero della capacità portante, riferito alla resistenza residua sia del materiale vergine sia di quello pre-fessurato, e quantificato attraverso la definizione dei seguenti “Indici di recupero della capacità portante” (Indices of Load Recovery – ILR):



Fig. 1 - Setup prova di flessione su tre punti

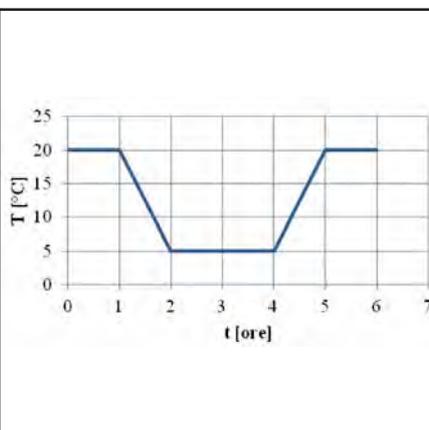
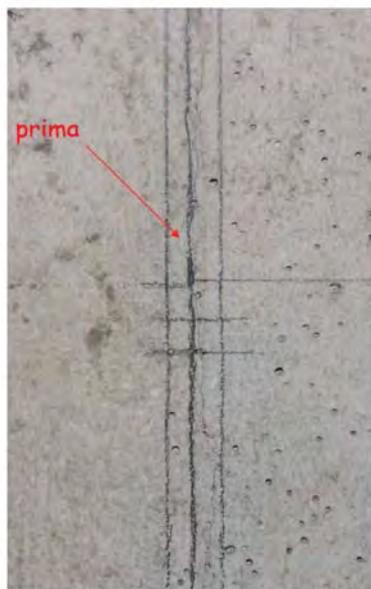


Fig. 2/3 - Ciclo termo-idrometrico in camera climatica.



Self healing



In entrambi i casi si osserva un significativo miglioramento nel recupero della capacità portante post-fessurativa grazie all'aggiunta dell'additivo; ciò è chiaramente attribuibile alla capacità dell'additivo di reagire con l'umidità atmosferica e con i prodotti di idratazione del cemento, formando quei prodotti di reazione in grado appunto di risigillare le fessure.

POLITECNICO DI MILANO

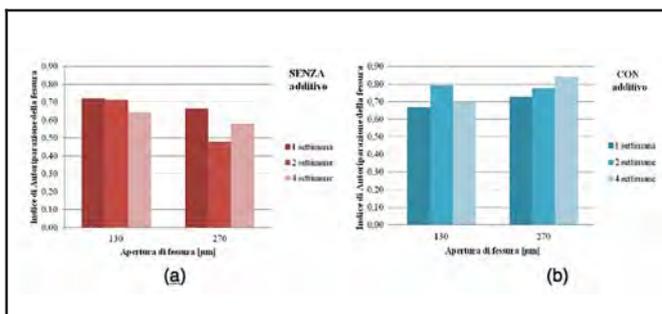


Fig. 4 - Indice di autoriparazione delle fessure per caecestro con e senza(a-b) l'additivo cristallizzante, in funzione dell'apertura della fessura e durata dell'esposizione.

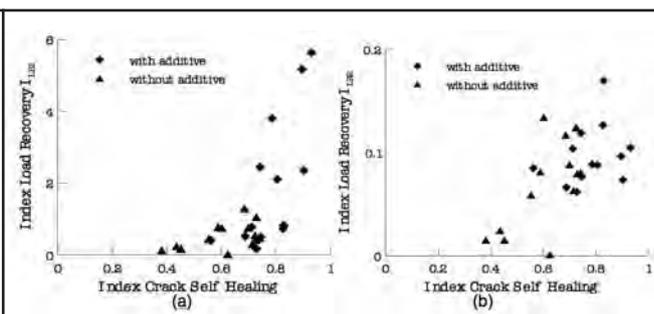


Fig. 5 - Indici di recupero del Carico ILR1 (a) e ILR2(b), definiti in eq.(1), in funzione dell'indice di Autoriparazione delle fessure.

CONCLUSIONI

La capacità di auto-riparazione è stata valutata ricercando l'adeguata intersezione delle curve carico-apertura di fessura ottenute dai provini vergini e da quelli esposti alle diverse condizioni ambientali. In quest'articolo sono stati presentati i risultati riferiti ad una esposizione corrispondente alle condizioni climatiche autunnali del nord dell'Italia, quale inizio di un più ampio programma di ricerca, tuttora in corso. E' stato mostrato che i compositi cementizi possiedono una intrinseca, se pur casuale, capacità di auto-ripararsi, entro certi limiti, dovuta principalmente alla continuazione del processo di idratazione di materiale anidro, favorita dalle giuste condizioni ambientali.

L'aggiunta di additivi cristallizzanti nel mix design del composito cementizio, migliora la suddetta capacità di auto-ripararsi, rendendola più affidabile e sistematica, fino a recuperare anche più dell'80% dell'apertura di fessura, grazie all'attivarsi, anche a seguito del completamento dell'idratazione del cemento, delle reazioni di cristallizzazione dei componenti dell'additivo stesso.



AUTORIZZATO dal Ministero dei Lavori Pubblici
(per prove secondo L 1086/71 DM 5609 del 07/11/2008)
RICONOSCIUTO dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica
e Tecnologica (art. 4 - Legge 297/99)
QUALIFICATO da ITALFERR - CEPV UNO AV MI-BO

TEST 4

VALUTAZIONE DELLA EFFICACIA DEGLI ADDITIVI PENETRON ADMIX NELLA RIDUZIONE DEL RITIRO IN CALCESTRUZZI CON VARIE STAGIONATURE

Ing. Silvia COLLEPARDI - Prof. Mario Collepari

INTRODUZIONE

Il calcestruzzo è il materiale più impiegato e versatile nelle strutture dell'Ingegneria Civile e nelle costruzioni architettoniche. Due sono i punti deboli di questo materiale: la scarsa resistenza a trazione e il ritiro igrometrico che subisce il materiale dopo la scasseratura. La conseguenza del ritiro igrometrico è la formazione di fessure, la fessurazione può pregiudicare seriamente la durabilità delle strutture ar-

mate a seguito della diretta esposizione, attraverso le fessure, agli agenti aggressivi ambientali.

Il lavoro di ricerca, oggetto di questo articolo, è stato realizzato con lo scopo di esaminare l'influenza dell'additivo Penetron Admix sul ritiro igrometrico del calcestruzzo quando, dopo la scasseratura, è esposto ad asciugamento in ambiente insaturo di vapore.

<p>Durante la sperimentazione condotta sono state impiegate le seguenti materie prime:</p>	<p>MATERIE PRIME UTILIZZATE</p>
	<p>Cemento: CEM II/A-LL 42,5 R;</p>
	<p>Aggregati naturali: sabbia 0-4 mm e ghiaia 4-16 mm;</p>
	<p>Superfluidificante Acrilico;</p>
<p>Con ciascuno dei due calcestruzzi sono stati preparati:</p>	<p>Penetron Admix da introdurre nell'impasto di calcestruzzo per ridurre la permeabilità e quindi la fuoriuscita del vapore;</p>
	<p>PREPARAZIONE DEI MANUFATTI ED ESECUZIONE DELLE PROVE</p>
	<p>6 provini cubici (15 cm) per la misura della resistenza a compressione a 1-7-28 giorni</p>
	<p>16 prismi 10x10x50 cm per la misura del ritiro igrometrico;</p>
	<p>16 lastre 100x20x5 cm vincolate alle estremità per la verifica della fessurazione indotta dal ritiro igrometrico impedito.</p>

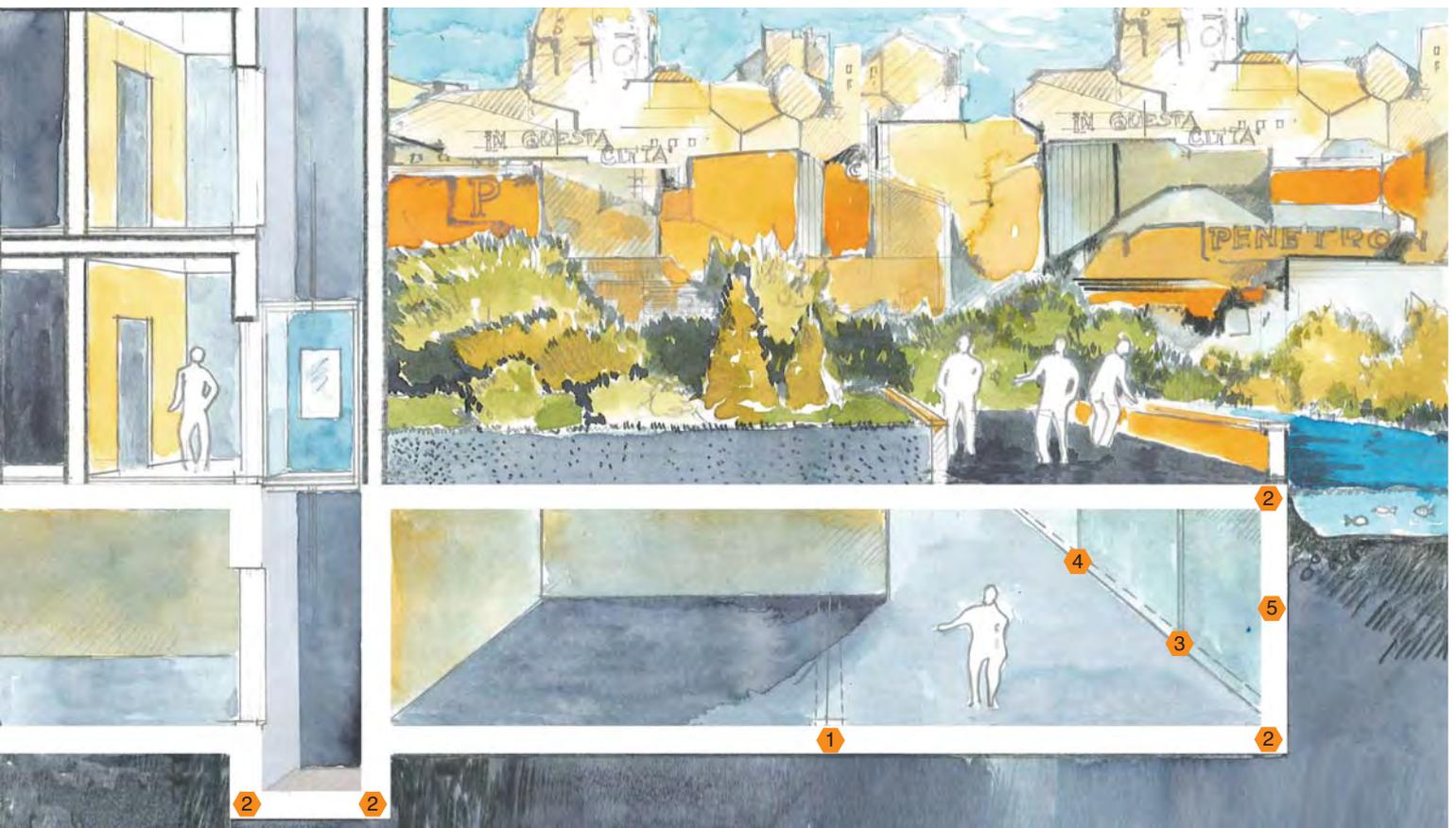
I provini prismatici sono stati scasserati a 1 giorno oppure a 7 giorni e quindi esposti all'aria con UR del 55 % per determinare il ritiro igrometrico secondo UNI 6555. Le lastre sono state sformate a 1 giorno oppure a 7 giorni; esse sono state quindi bloccate alle due estremità con fissaggi meccanici (Fig. 1 e 2) ed infine sono state esposte all'aria ventilata di laboratorio per simulare condizioni ambientali esterne e favorire la fessurazione a seguito del ritiro vincolato.

RITIRO IGROMETRICO: RISULTATI

I risultati del ritiro igrometrico in funzione del tempo sono rispettivamente per i provini prismatici scasserati a 1 e 7 giorni prima di essere esposti in una camera climatica all'aria insatura di vapore, con umidità relativa (UR) del 55 %, che provoca l'essiccazione e quindi il ritiro dei provini prismatici. Nei provini Control, confezionati con il calcestruzzo non trattato, il ritiro raggiunge il valore di 300 m/m a 30 giorni e di 400 m/m a 90 giorni. **Nei provini Admix confezionati con l'additivo Penetron Admix il ritiro è circa 250 m/m a 30 giorni e 300 m/m a 90 giorni con una significativa riduzione del 25% rispetto al calcestruzzo Control non additivato.**

L'impiego dell'additivo impermeabilizzante nell'impasto cementizio, che rallenta l'evaporazione del manufatto, consente di evitare la fessurazione superficiale indipendentemente dalla durata della stagionatura umida (1 o 7 giorni) prima dell'esposizione all'aria ventilata.

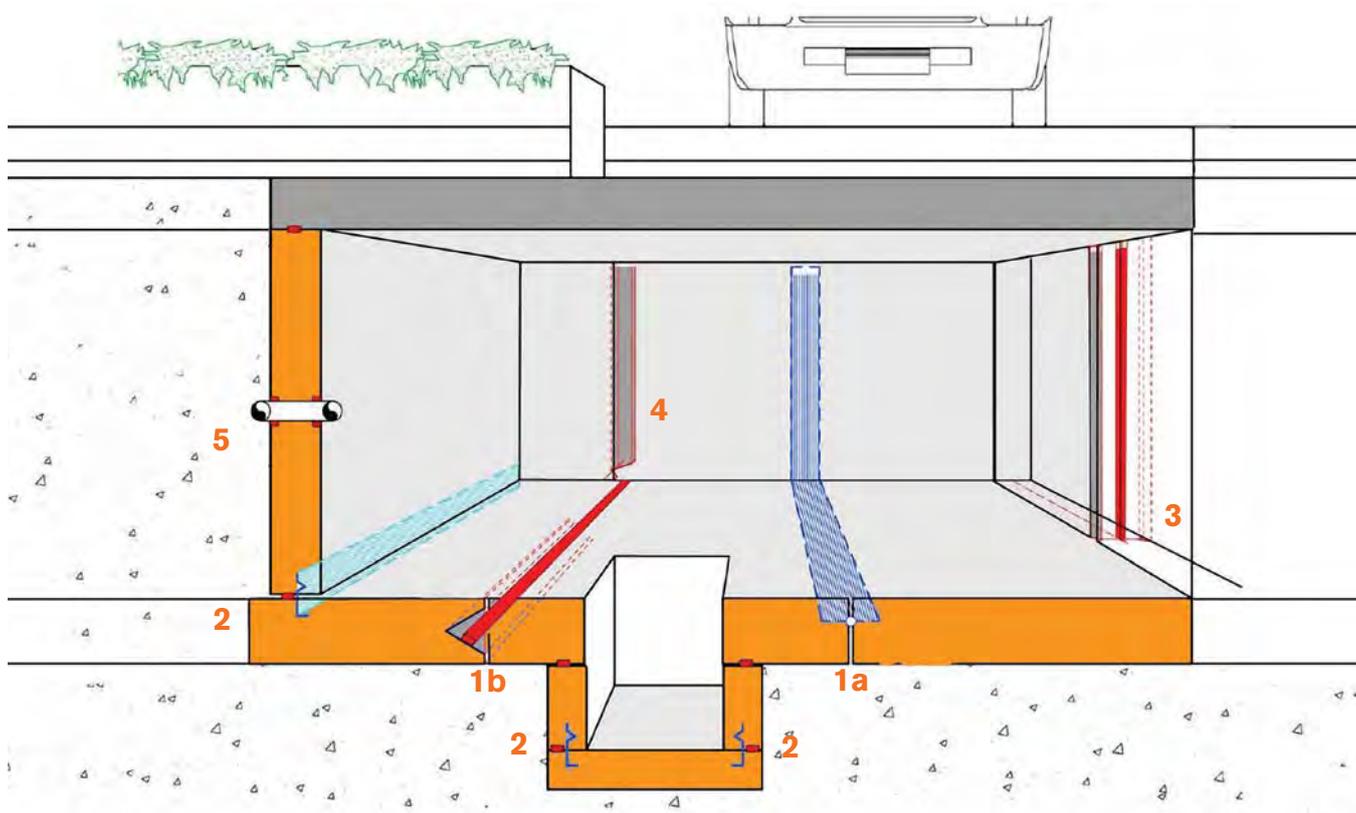
Se non si può garantire una prolungata scasseratura delle strutture in calcestruzzo, diventa importante che il calcestruzzo sia reso di per sé meno permeabile al vapore.



ACCESSORI COMPLEMENTARI

“**Tecnologie ausiliarie**” per la definizione della vasca in calcestruzzo impermeabile (vasca bianca) e per la “**risoluzione dei particolari costruttivi di riferimento**”: giunti di costruzione-ripresa di getto, giunti di fessurazione programmata (frazionamento, break-joint), giunti strutturali e di movimento, elementi passanti la matrice strutturale.

- 1 GIUNTO DI COSTRUZIONE-RIPRESA DI GETTO TRA LE VARIE FASI DI PLATEA.
- 2 GIUNTO DI COSTRUZIONE-RIPRESA DI GETTO TRA LA PLATEA E I MURI DI CONTENIMENTO
- 3 GIUNTO DI COSTRUZIONE-RIPRESA DI GETTO TRA LE VARIE FASI DEI MURI DI CONTENIMENTO
- 4 GIUNTO DI FESSURAZIONE PROGRAMMATA (BREAK JOINT) NEI MURI DI CONTENIMENTO
- 5 ELEMENTI PASSANTI IN MATRICE STRUTTURALE



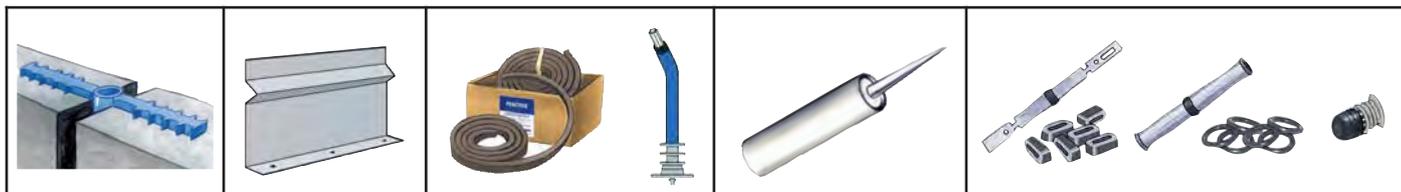
Giunto di costruzione/ ripresa di getto tra le varie fasi di platea
 Profilato waterstop in PVC
 WS PVC RGF

Giunto di costruzione/ ripresa di getto tra la platea e i muri di contenimento
 Lamierino sagomato WS
 BLADE legato ai ferri di
 fondazione - Giunto idroe-
 espansivo WATERJOINT B
 25.20 chiodato in battuta
 sul lamierino

Giunto di costruzione/ ripresa di getto tra le varie fasi dei muri di contenimento
 Incastro maschio-femmina
 a coda di rondine, stesura
 di PENETRON STANDARD
 "in boiacca" sulla ripresa -
 Lamerino WS VERTICAL
 JOINT con doppio giunto
 idroespansivo WATER-
 JOINT B 25.20

Giunto di fessurazione programmata (break joint) nei muri di contenimento
 Elemento di invito alla fes-
 surazione, Lamerino WS
 BRACK JOINT con giunto
 idroespansivo WATER-
 JOINT B 25.20 central-
 mente in sezione del
 muro, e stuccatura del
 cuneo esterno con PENE-
 CRETE MALTA

Elementi passanti la matrice strutturale
 Lamelle ritorte con guarni-
 zione idroespansiva cen-
 trale WS BLADE TWISTED
 (casseri in tavole di legno);
 Anelli e tappi a tenuta per i
 tiranti tubolari in PVC WS
 TUBE R-C (casseri in pan-
 nelloni); Sigillatura dei tubi e
 degli scarichi con mastice
 poliuretano idroespansivo
 estrudibile WS FLEX 300



WS RGF PVC 250
 WS RGF PVC 320
 WS WT PVC 320
 WS DIA PVC 160

WATER BLADE
 WATER BLADE-S
 WATER BLADE-L
 WS BREAK JOINT
 WS VERTICAL JOINT

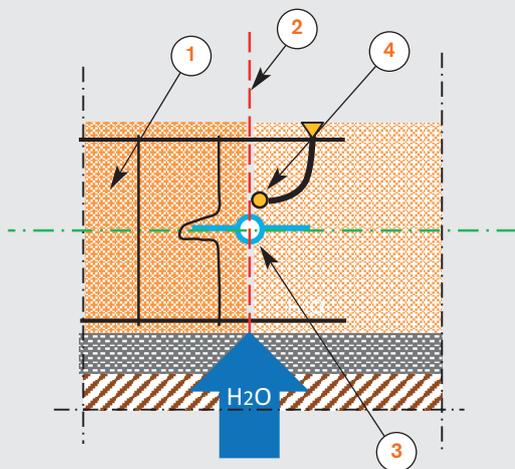
WATERJOINT B 25.20
 WATERJOINT G 20.20
 WS VALVE INJECTION

WS FLEX 300

WS BLADE/R - WS TUBE/R - WS TUBE/C
 WS BLADE TWISTED
 WS BLADE TWISTED/R

1a

PLATEA - GIUNTO DI RIPRESA (A) (ogni 800 - 1000 mq)

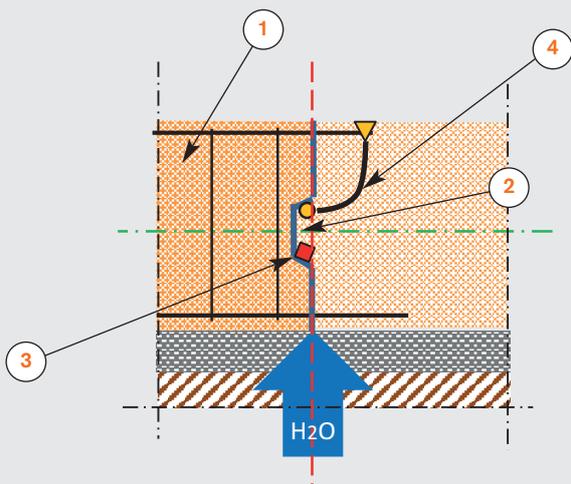


1. Calcestruzzo additivato con Penetron Admix.
2. Asse di frazionamento ripresa.
3. Profilato impermeabile Waterstop in PVC WS PVC RGF 250
4. Cannette di iniezione di resine idroattive WS VALVE INJECTION (opzionale)



1b

PLATEA - GIUNTO DI RIPRESA (B)

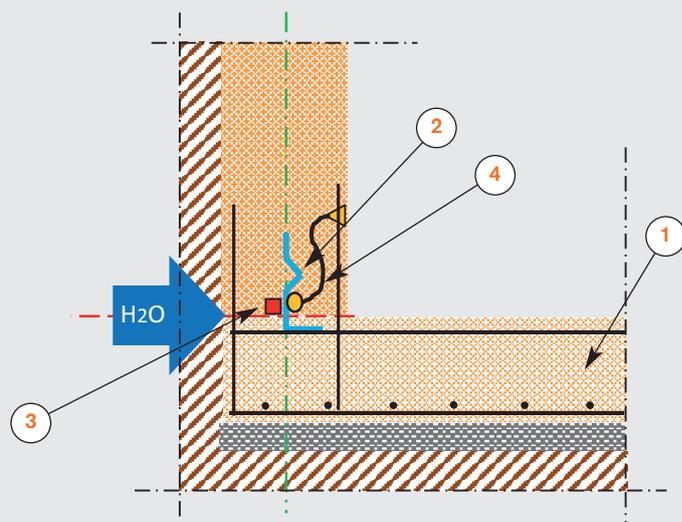


1. Calcestruzzo additivato con Penetron Admix.
2. Incastro maschio-femmina e stesura di PENETRON STANDARD in boiacca sulla ripresa.
3. Giunto Waterstop idroespansivo in miscela di bentonite sodica e speciali polimeri aggreganti WATERJOINT B 25.20
4. Cannette di iniezione di resine idroattive WS VALVE INJECTION (opzionale)



2

MURI DI CONTENIMENTO/PLATEA GIUNTO DI RIPRESA

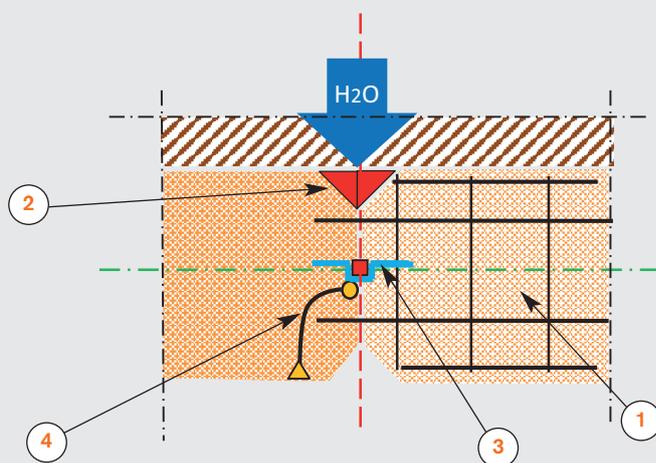


1. Calcestruzzo additivato con Penetron Admix
2. Profili metallico con tenuta impermeabile - WS BLADE
3. Giunto waterstop idroespansivo in miscela di bentonite sodica e speciali WATERJOINT B25.20
4. Cannette di iniezione di resine idroattive WS VALVE INJECTION (opzionale)



3

MURI DI CONTENIMENTO

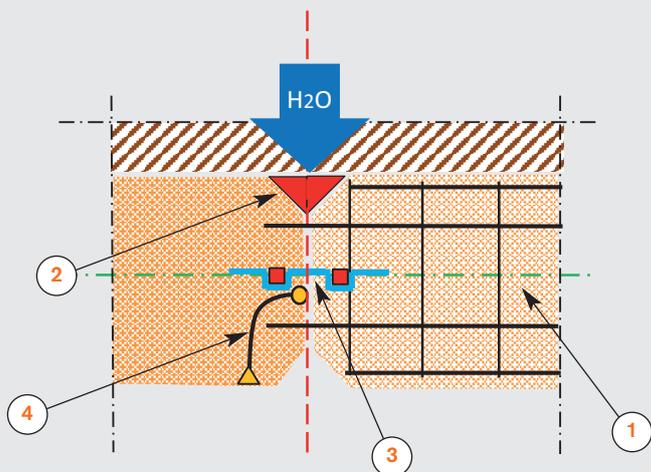


1. Calcestruzzo additivato con Penetron Admix
2. Profili a cuneo ancorati al cassero di invito alla fessurazione 3x3 cm e successiva stuccatura in fase positiva con Mortar Tix Crystal e Penetron Standard in Boiacca.
3. Profilo WS BREAK JOINT con inserito giunto idroespansivo WATERJOINT B 25.20
4. Cannette di iniezione di resine idroattive WS VALVE INJECTION (opzionale)



4

MURI DI CONTENIMENTO GIUNTO DI RIPRESA

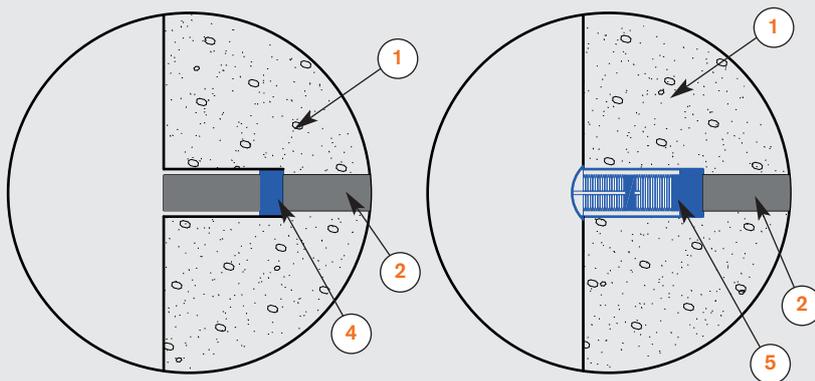


1. Calcestruzzo additivato con Penetron Admix
2. Profili a cuneo ancorati al cassero di invito alla fessurazione 3x3 cm e successiva stuccatura in fase positiva con Mortar Tix Crystal e Penetron Standard in boiacca
3. Profilo WS VERTICAL JOINT con inserito doppio giunto idroespansivo WATERJOINT B 25.20
4. Cannette di iniezione di resine idroattive WS VALVE INJECTION (opzionale)

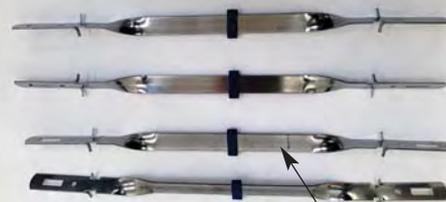


5

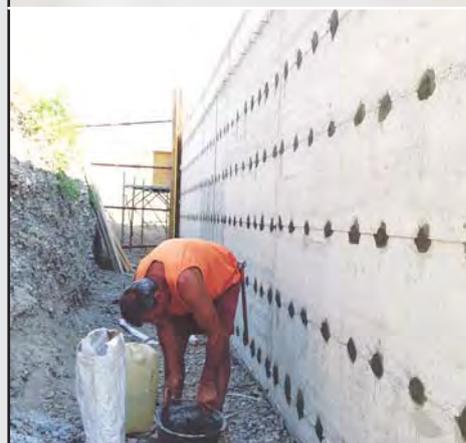
SIGILLATURA DEI TIRANTIDEI CASSERI (Casseri evoluti con tubi passanti in PVC)



1. Calcestruzzo additivato con Penetron Admix
2. Elemento passante
3. Stagnazione dei tiranti dei casseri in lamella ritorta WS BLADE/R
4. Anello idroespansivo esterno WS TUBE R per distanziato a tubo
5. Tappo idroespansivo interno WS TUBE C per distanziatori a tubo



(Pannelli in legno con lamelle metalliche)





REFERENZE SIGNIFICATIVE

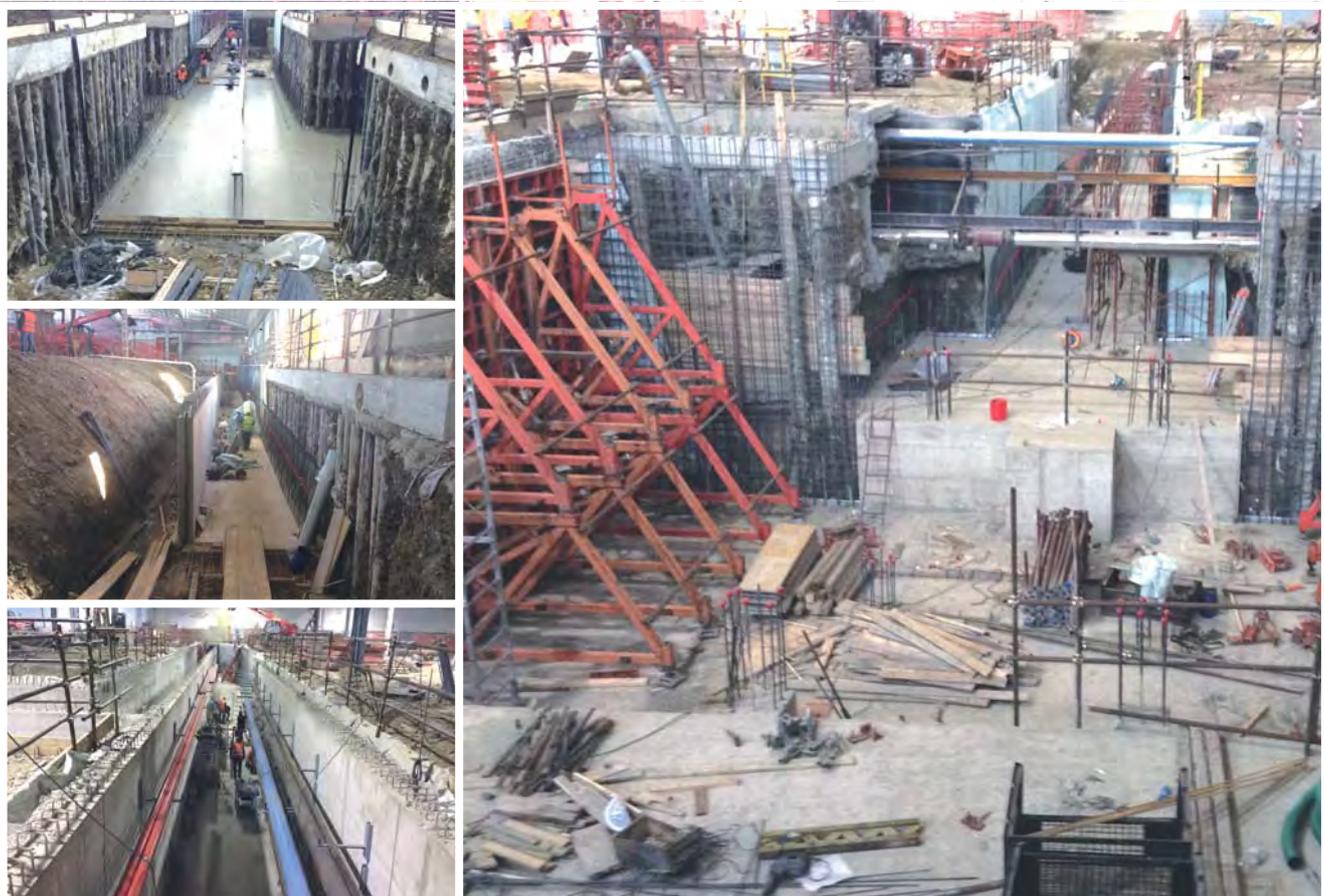
Il Sistema PENETRON® in Italia è presente dal 2000 con più di 2 milioni di m. cubi di strutture nuove realizzate. Vi mostriamo alcune recenti referenze significative:

- Tunnel "Zara-Expo 2015", Milano
- Tunnel "Truck" stabilimento PIRELLI, Settimo Torinese (TO)
- Ampliamento Interrati e parcheggio interrato Ospedale IRCC Candiolo, Torino
- Centro Commerciale "Mondo Juve", Vinovo (TO)
- Interrati Biblioteca "Marianum", Roma
- Sottopasso Ferroviario a San Zeno, Brescia
- Interrati Residenziali a Courmayeur (AO)
- Nuova Gestione Sportiva Centro Corse FERRARI, Maranello
- Strutture interrate Golf Club CHERVO' San Vigilio, Pozzolengo (BS)
- Piscina Olimpionica Circolo Canottieri Baldesio, Cremona
- Doppia Lastra Impermeabile con Sistema BILBOT PROOF® (Botta Prefabbricati s.r.l.), Torino

Tunnel "Zara-Expo 2015", Milano



Tunnel "Truck" stabilimento PIRELLI, Settimo Torinese (TO)



Ampliamento Interrati e parcheggio interrato Ospedale IRCC Candiolo, Torino



Centro Commerciale "Mondo Juve", Vinovo (TO)



Interrati Biblioteca "Marianum", Roma



Sottopasso Ferroviario a San Zeno, Brescia



Interrati Residenziali a Courmayeur (AO)



Nuova Gestione Sportiva Centro Corse FERRARI, Maranello



Strutture interrante Golf Club CHERVO' San Vigilio, Pozzolengo (BS)



Piscina Olimpionica Circolo Canottieri Baldesio, Cremona



Doppia Lastra Impermeabile con Sistema BILBOT PROOF® (Botta Prefabbricati s.r.l.), Torino





Arch. Enricomaria Gastaldo Brac
Amministratore delegato
Penetron Italia srl

Grazie al proprio personale tecnico specializzato ed insieme ai distributori, promotori e supervisori presenti in tutto il territorio nazionale, **PENETRON ITALIA srl** garantisce, a supporto della tecnologia Penetron®, un accurato servizio di consulenza durante le diverse fasi di realizzazione delle strutture in calcestruzzo "underground":

- assistenza tecnica in fase di "progettazione" dell'opera (definizione delle criticità, delle campiture realizzative e dei particolari costruttivi di riferimento);
- controllo del mix design prescelto: "qualifica delle centrali di betonaggio" e supervisione in fase di miscelazione;
- verifica della "corretta esecuzione dei getti in opera" di calcestruzzo e della realizzazione a regola d'arte dei particolari complementari a corredo (giunti di costruzione, frazionamento, strutturali, etc.);
- assistenza al "collaudo" finale dell'opera per la definizione delle competenze-garanzie.

La stretta collaborazione instaurata con gli impianti di confezionamento (calcestruzzo a prestazione impermeabile garantita), con le imprese esecutrici delle opere interrato e con gli applicatori fiduciari degli elementi accessori, è una garanzia di successo al servizio della committenza, dei progettisti e della direzione dei lavori.

PENETRON ITALIA srl
... é il "know how" su cui poter contare !



Distributore esclusivo del sistema Penetron®

Penetron Italia srl - Via Italia 2/B - 10093 Collegno (TO) - Tel. 011.7740744 - Fax 011.7504341
info@penetron.it - www.penetron.it