

CHIMICA EDILE DO BRASIL

ADITIVO DE CONTROLE VOLUMÉTRICO DRY D1 COMPACT

Pesquisa em convênio com a Universidade
Federico II “Departamento de Ciências da Terra” &
Isim

[Junho de 2011 – Agosto de 2012]

**PRODUÇÃO DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO E COM ESTABILIDADE
VOLUMÉTRICA CONTROLADA:
AÇÕES SINÉRGICAS DE ADITIVOS MICRO EXPANSORES / COMPACTANTE
E ADIÇÕES MINERAIS PARA FINS DE ATIVIDADE POZOLÂNICA
(PARA A INDÚSTRIA DE PRÉ-FABRICAÇÃO E DE C.A.D.)**

ABSTRACT: PROJETO DE PESQUISA DO DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA TERRA E OUTROS LABORATÓRIOS PARCEIROS NO TEMA DE AÇÃO COMBINADA DE DISTINTOS COMPLEMENTOS DE AÇÃO MICRO EXPANSORA E COMPACTANTES ALÉM DE PÓS FINOS DE ATIVIDADE POZOLÂNICA, FILERIZANTE com ADITIVOS DE AÇÃO SUPER FLUIDIFICANTE PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETOS ESTRUTURAIIS de ALTO DESEMPENHO (MECÂNICO E DURABILIDADE), de ESTABILIDADE VOLUMÉTRICA CONTROLADA COM MODULADA MICRO EXPANSÃO INICIAL e de BAIXO CUSTO PARA UMA MAIOR COMPETITIVIDADE DA INDÚSTRIA DE PRÉ FABRICADOS E DO C.A.D. O CIMENTO UTILIZADO NA PRIMEIRA FASE DA PESQUISA FOI O CIM I 52,5 R E SE PREVÊ NOS PRÓXIMOS MESES A APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA TAMBÉM PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO COM CIM II 42,5 R.

M. de Gennaro (*), P. Cappelletti (*), M. D'Amore (*), M. Felitti (**), P. Marone (**), F. Gagliardini (**)

(*) DOCENTES E PESQUISADORES DO DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA TERRA

(**) PROFISSIONAIS CONSULTORES DE ISIM E CHIMICA EDILE GROUP



Premissa

Em 2011 a sociedade Chimica Edile estipulou com o Departamento de Ciência da Terra da Universidade dos Estudos de Nápoles Federico II um convênio para a realização de uma pesquisa técnico-científica cujos objetivos consistem no estudo de aditivos com ação micro expansora do setor de concretos de cimento. As atividades de pesquisa por parte do Departamento foram realizadas em colaboração também com especialistas e pesquisadores externos (D'Amore, Felitti, Marone, Alfano, Gagliardini, etc.).

Objetivo principal do projeto é o estudo específico de uma linha de aditivos com propriedades micro expansoras produzida pela Chimica Edile com o fim de verificar sua ação nas fases de pega e endurecimento dos concretos.

Durante as atividades foi experimentada também a possibilidade de utilizar este aditivo em misturas com outros materiais de atividade pozzolânica. Tudo com o objetivo de produzir concretos com determinadas características de desempenho (“alto” de acordo com os requisitos projetuais) ainda que a baixo custo e concorrenciais (proposta de desempenho **técnico-econômico** do projeto de pesquisa para formular um concreto moderno, inovador e competitivo, de alta resistência químico-mecânica e com estabilidade volumétrica controlada).

O projeto de pesquisa envolveu recentemente também outros tecnólogos especialistas, produtores e empresas privadas do setor para se chegar a outros aprofundamentos científicos neste campo.

O presente relatório ilustra e discute os primeiros resultados da pesquisa relativamente às suas fases iniciais e será, de qualquer maneira, objeto de atualização e acompanhamento com o fim de (1) ampliar a gama de testes e (2) otimizar posteriormente a performance do “MIX DESIGN do concreto com estabilidade volumétrica controlada e alto desempenho”.

Materiais

Os aditivos e os complementos ativos minerais estudados e utilizados para a obtenção do *Mix Design Optimization* foram:

- a) Aditivo (em pó) de rápida e imediata ação micro expansora e compactante DRY D1® Rapido (UNI EN 206, UNI EN 196-2, UNI EN 196-3, UNI 196-6, UNI EN 197-1, UNI 8146, UNI 8147, UNI 8148, UNI 6555, UNI 7086), ou seja, adição de óxido não-metálico de dupla ação: (1) imediata e breve ação micro expansora “inicial” (1 hora÷48 horas) e (2) consequente ação compactante para incrementar a resistência à compressão “fck/Rck.1 dia” e “fck/Rck.3 dias”, ou seja, em tempos breves, diminuindo a porosidade do concreto fresco/plástico (*self compressing -> self compacting*). Tal produto deriva de processos especiais de cozimento de grânulos de carbonato de cálcio em fornos de particulares temperaturas, isso é totalmente isento de cloretos, e obtido mediante processos de micronização e peneiração. Foi utilizado com dosagem inferior a 1% em relação ao cimento (nota: uma dosagem ~1% é definível “baixa” se comparada com uma dosagem de cerca 4÷8% utilizada em outros projetos de pesquisa cfr. notas bibliográficas).
- b) Aditivo (em pó) de amplo espectro antirretração, compactante e acelerador da atividade pozzolânica DRY D1® Normal (UNI EN 206, UNI EN 196-2, UNI EN 196-3, UNI 196-6, UNI EN 197-1, UNI 8146, UNI 8147, UNI 8148, UNI 6555, UNI 7086), ou seja, adição de óxido não metálico de modulada ação micro expansora para contrastar a retração higrométrica dos primeiros sete dias (aproximadamente). Outras ações são: sensível incremento da resistência à compressão “fck/Rck.3 dias” e “fck/Rck.14 dias”, diminuição da porosidade do concreto em fase de primeiro endurecimento (*self compressing->self compacting*), prevenindo fenômenos de fissuração por retração higrométrica, sensível redução da retração autógena (cfr em notas bibliográficas – Argos – Teste de expansão/retração de pastas de cimento Colombia) e enfim, em presença de complementos de atividade pozzolânica, favorecer e acelerar a atividade pozzolânica antes de 28 dias. Tal adição deriva de especiais processos de cozimento prolongado em alta temperatura, de calcários extraídos dos Andes argentinos. Foi utilizado na presente pesquisa com dosagem, também neste caso, definível “baixa” (aproximadamente 1%).
- c) Aditivo (em pó) antirretração de lenta reação DRY D1® Lento (UNI EN 206, UNI EN 196-2, UNI EN 196-3, UNI 196-6, UNI EN 197-1, UNI 8146, UNI 8147, UNI 8148, UNI 6555, UNI 7086), ou seja, óxido não metálico de

ação micro expansora para contrastar a retração higrométrica a longo prazo (até 28 dias) e eventualmente para reduzir sensivelmente o coeficiente de viscosidade do concreto endurecido e sob carga (pesquisas em fase de desenvolvimento e verificação). Tal complemento deriva de especiais processos de cozimento em fornos especiais a altas e prolongadas temperaturas de grânulos selecionados de rocha calcária extraída nos Andes argentinos e adições de materiais silícicos como os coadjuvantes ativos, isso é totalmente isento de cloretos, e é sujeito a processos de mistura, trituração e peneiração com o fim de obter uma curva granulométrica ideal e baixa reatividade. Foi utilizado na segunda fase da presente pesquisa com dosagem “baixa”, ou seja, próxima a 1÷1,4% em relação ao cimento (nota: trata-se de aditivo de nova geração formulado apropriadamente por Chimica Edile em 2011 para o projeto de pesquisa e atualmente produzido nas instalações da empresa).

- d) Adição de materiais de atividade pozolânica como cinzas volantes, metacaulim, sílica ativa e tufos vulcânicos triturados. As “Cinzas volantes” utilizadas no projeto são provenientes de centrais para a produção de energia elétrica de combustíveis fósseis (UNI EN 206, UNI EN 450/2005). Como conhecido em bibliografia, estas adições têm ação “pozolânica” (favorecendo a formação de posterior C-S-H) “filarizante” em consequência das dimensões das partículas esféricas (1÷200 µm). Foram utilizados na segunda fase do projeto, com dosagem igual a 33% em relação ao cimento e de cerca 10-12% em relação à areia; geralmente os principais efeitos benéficos do comportamento pozolânico são registrados a partir do vigésimo primeiro dia ao nonagésimo dia da data do lançamento do concreto (índice de atividade pozolânica, UNI EN 196-1, UNI EN 450-1); a presença combinada de tais adições amorfas com alguns agentes micro expansores potencializou o efeito “filarizante” e até hoje parece ter acelerado sensivelmente o índice de atividade pozolânica da cinza antes dos 28 dias, comportando um significativo incremento da resistência mecânica e o controle dos fenômenos de maior retração/viscosidade que caracterizam os concretos ricos de partículas finas e SCC. A pesquisa foi convalidada também por aplicações não somente em laboratório, mas também industriais.
- e) Aditivo superfluidificante (UNI EN 206, UNI EN 934-2) à base de polímeros hidrossolúveis com dosagem tradicional de cerca 1% em relação ao peso do cimento (equivalente) e com eficiência e compatibilidade provadas em relação ao MIX DESIGN na sua globalidade e em cada componente ilustrado nos pontos sucessivos.
- f) “aditivo acelerador de endurecimento” (UNI EN 206, etc.), a ser utilizado em climas frios (temperaturas inferiores a 10÷8°C). Foi utilizado com dosagem sensivelmente superior a 1% e de qualquer maneira em função da temperatura externa e do número de horas mínimo estabelecido para o desenforme (por exemplo, para um Rck>30 MPa a 16 horas). O aditivo acelerador foi testado com o fim de conservar e garantir, mesmo no inverno, os standards de desempenho do MIX DESIGN (Rck), nas 12÷24 horas, necessário no setor da pré fabricação.

O aditivo superfluidificante (“sf”) ponto a), e o aditivo acelerador (“hbe”), pontos f), têm consistência fluida e, com base nas suas formulações, podem variar sensivelmente a eficácia e o desempenho de outros complementos como demonstrado e aprofundado na mais avançada das pesquisas dos aditivos à base de polímeros para concreto; os outros complementos inorgânicos, pontos a) b), c) e d), a serem misturados na pasta têm todos consistência de pó seco “fino” (geralmente de 1 micron a 500 microns) ensiláveis e/ou empacotáveis em fabricações hidrossolúveis e/ou com resistência ao ar/ao vapor. Considera-se que pela primeira vez tenha sido estudada e aperfeiçoada a sua específica “combinação sinérgica” e – para um deles (DRY D1 Lento)- a peculiar formulação e produção.

No que concerne à definição de *adições e/o aditivos* em relação às normas vigentes, seria lícito definir um material fluido ou em pó como aditivo, no caso de produto adicionado em quantidade relativamente mínima, por exemplo, próxima a 1% do cimento enquanto adição no caso de produto adicionado em percentuais bem maiores de 1% do cimento. Os 3 produtos descritos com função expansora (DRY D1® Rapido , DRY D1® Normale, DRY D1® Lento e adição de materiais pozolânicos, pontos a), b), c) e d) podem ser produzidos e adicionados seja individualmente, seja como um mix de agentes expansores e também como única fórmula harmonizada.

Os *aditivos/adições* empregados na pesquisa estão disponíveis facilmente no mercado, em particular os classificados como “microexpansores/ antirretração e compactadores” (linha DRY D1®), foram disponibilizados e reformulados para fins específicos da pesquisa do grupo CHIMICA EDILE.

Os outros *aditivos* utilizados, pontos a) e f), com base de polímeros e substâncias líquidas, são produtos comercializados por diversas primárias empresas líderes do setor. As cinzas volantes foram gentilmente disponibilizadas pela “ENEL/General Admixture”.

Fases de trabalho, setores da pesquisa, cronogramas e resultados

Um programa de pesquisa confiável prevê longos tempos de realização e um escrupuloso acompanhamento (por diversos anos) porque trata e desenvolve temáticas amplas e articuladas que necessitam para a execução e a monitoração, de testes em longo prazo até 90 dias em laboratório, com sucessivas otimizações nas formulações e nas dosagens dos *aditivos/adições* nos vários Mix Design do concreto, com escrupulosas repetições das campanhas de teste e monitorações seja em laboratório, seja a nível industrial. O programa geral de pesquisa foi articulado em distintas fases temporais e subdivididos em específicos setores de interesse para o mercado e para os técnicos:

SETOR 1: PRÉ-FABRICAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS (Junho de 2011- Julho de 2012)

Os materiais de partida e os testes realizados foram os seguintes: Concretos dosados com cimentos 52,5 R Tipo I e resistências $f_{ck.cube} > 30 \div 35$ Mpa a 1 dia e $f_{ck.cube} > 70 \div 80$ MPa a 28 dias (EN12390), baixo de absorção de água por imersão (UNI 7699/UNI EN 13755), retração próxima a “zero” e se requisitado $< 50 \mu m$ a 28 dias (Teste de expansão/retração contrastado segundo UNI 8148 tipo “B”), elevado desempenho de durabilidade e resistência ao solapamento em função das características ambientais e da classe da estrutura (classe 2 > 100 anos, UNI EN 206–2006 e UNI 11104-2004.), índice de trabalhabilidade/consistência pelo menos “S 4”, competitividade final “econômica” (análise da congruidade do custo dos materiais).

NOTA: A pesquisa foi orientada essencialmente para o mundo da pré-fabricação de elementos estruturais, dos concretos estruturais performantes e dos c.a.d.

Os concretos foram dosados com cimentos 52,5 R Tipo I. Os testes realizados previram a: determinação da $f_{ck.cube}$ a 1 e 28 dias, determinação da absorção da água por imersão (UNI 7699/UNI EN 13755), determinação da expansão/retração contrastada segundo UNI 8148 tipo “B”, determinação das velocidades ultrassônicas, resistência ao solapamento em função das características ambientais e da classe da estrutura, índice de trabalhabilidade/consistência, análise da congruidade do custo dos materiais.



SETOR 2: Concretos com estabilidade volumétrica controlada para pavimentações industriais. (Maio de 2012 – Dezembro de 2012)

NOTA: pesquisa orientada às tecnologias para as pavimentações industriais.



PAVIMENTAÇÕES INDUSTRIAIS CONTÍNUAS NA AUSÊNCIA DE JUNTAS

SETOR 3: CENTRAIS DE MISTURADORA DE CONCRETO (Julho de 2012-Junho de 2013)

ÂMBITO DA PESQUISA: Concretos dosados com cimentos 42,5 R e N e 32,5 R e N,

NOTA: A pesquisa foi orientada essencialmente no setor da pré-fabricação de elementos estruturais e dos c.a.d. >C45/55 - D16 - S4 – XA3/XC4– RESISTÊNCIA AO SOLAPAMENTO – RETRAÇÃO próximo ao “0”

CENTRAL DE MISTURADORA PARA CONCRETO



SETOR 4: Concretos pozolânicos acentuadamente expansores para empregos em terrenos e rochas.

NOTA: a pesquisa será orientada à engenharia geotécnica e para a geo-compactação dos terrenos em contato com estacas de fundação, estacas raiz, micro estacas, tirantes, ancoragens, sub-fundações, etc., onde são admissíveis e benéficos fenômenos de significativa expansão dos concretos.

SETOR 5: Argamassas industriais e argamassas pozolânicas para a restauração.

SETOR 6: Concretos leves estruturais.

SETOR 1 – PRÉ-FABRICAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Considerações gerais sobre o Mix Design do Concreto

O MIX DESIGN do concreto regulado (MD.concreto) para o setor 1 previu o estudo para a otimização dos desempenhos técnico-econômicos. A composição do concreto é definida pela combinação de elementos constitutivos com base no seguinte esquema e clássica fórmula:

Page | 7

$$\text{MD.concreto} = ("c" + "a" + "i") + ("sf") + ("e.r" + "e.n" + "e.L") + ("cv" / "rmv") + ("heb")$$

onde:

"c" = cimento (portland)

"c_{eq}" = cimento equivalente (cimento portland + k₁ x minerais com atividade pozolânica = c + k₁ cv)

"a" = água eficaz de pasta

"i" = inertes (grossos, médios, finos)

i_{eq} = inertes equivalentes (inertes + (1-k₁) x fases de atividade pozolânica)

i_{TOT} = inertes total (inertes + fases de atividade pozolânica)

"sf" = aditivo super-fluidificante (diversas tipologias por exemplo com base de ésteres poliésteres modificados/ policarboxílicos, poliacritato/poliéter, etc.)

"e.r" = agente DRY D1[®] Rápido compactante e micro expansor de ação imediata e rápida (2 horas ÷ 48 horas).

"e.n" = agente DRY D1[®] Normal compactante e micro expansor redutor de retração higrométrica/química de amplo espectro e de ação a médio prazo (até cerca de 1 semana), além da função aceleradora da atividade pozolânica no caso de adições "de atividade pozolânica".

"e.L" = agente DRY D1[®] Lento compactante e micro expansor e redutor de retração higrométrica de ação lenta e prolongada (até 28 dias).

"cv" = cinzas volantes de atividade pozolânica e "fílerizante"

"rmv" = resíduos da trituração de rochas vulcânicas zeolitizadas de atividade pozolânica.

"heb" = eventual acelerador em caso de climas frios (<8÷10°C) e rápidos desenformes (menos de 12÷24 horas)

Considerações sobre o Mix Design das pastas elementares de cimento

Ponderando as dificuldades que comporta a análise de um concreto em consideração à complexidade da mistura na qual está presente o agregado em percentual predominante, julga-se oportuno partir da análise de cada componente (tabela 1) e sucessivamente por produtos de reação de simples misturas de pastas de cimento (tabela 2).

Com o objetivo de verificar a composição mineralógica das matérias primas e das misturas, foram realizadas análises difratométricas qualitativas de raio X por pó (DRXP) das amostras produzidas.

A preparação das amostras previu seja a micronização “a seco” para evitar a perda de fases eventualmente solúveis, seja a micronização em água deionizada. Neste último procedimento foi utilizada uma aparelhagem Mc Crone com cilindros de ágata por tempos de 15 minutos com o objetivo de obter uma granulometria <5µm, condição que, como referido em literatura (Bish e Chipera, 1988; Klug e Alexander, 1974), permite prevenir diversos problemas em fase de aquisição dos espectros RX (estatística das partículas, extinção primária, micro absorção e, principalmente para as fases de tipo feldspático, fenômenos de orientação preferencial).

Os pós assim obtidos foram analisados utilizando um difratômetro automático Panalytical X’Pert PRO PW 3040/60 (radiação CuKα, 40kV, 40mA) com detector RTMS X’celerator gerenciado por PC mediante o programa X’Pert da PANalytical.

Todos os componentes foram caracterizados *um por um* para se conhecer a composição mineralógica (tabela 1).

Tabella 1: Fases mineralógicas identificadas em cada componente do mix design do concreto.

COMPONENTE	FASES MINERALÓGICAS	OBSERVAÇÕES
Cimento I 52,5 R	Silicato tricálcico (Hatrurita), Brownmillerita, Gesso.	
Areia	Dolomita	Com resíduos de quartzo
Brita	Dolomita	
Cascalho	Dolomita	
DRY D1 RÁPIDO	Cal, Hatrurita, Portlandita, Periclásio	
DRY D1 NORMAL	Cal, Hatrurita, Portlandita	
DRY D1 LENTO	Cal, Hatrurita, Portlandita,	Com resíduos de amorfo
Cinza volante	Quartzo, Mulita	

Sucessivamente foram preparadas PASTAS DE CIMENTO com as seguintes composições.

$$\text{MD. pastas} = (“c” + “a”) + (“sf”) + “componente ativo”$$

onde:

“c” = cimento

“a” = água eficaz de pasta

“sf” = aditivo super-fluidificante

“componente ativo”= cada aditivo e/ou cada adição e/ou combinação dos componentes ativos objeto de específica análise.

Na tabela 2 são apresentados os Mix Design relativos às diversas PASTAS DE CIMENTO.

Tabella 2: MIX DESIGN DAS PASTAS DE CIMENTO.

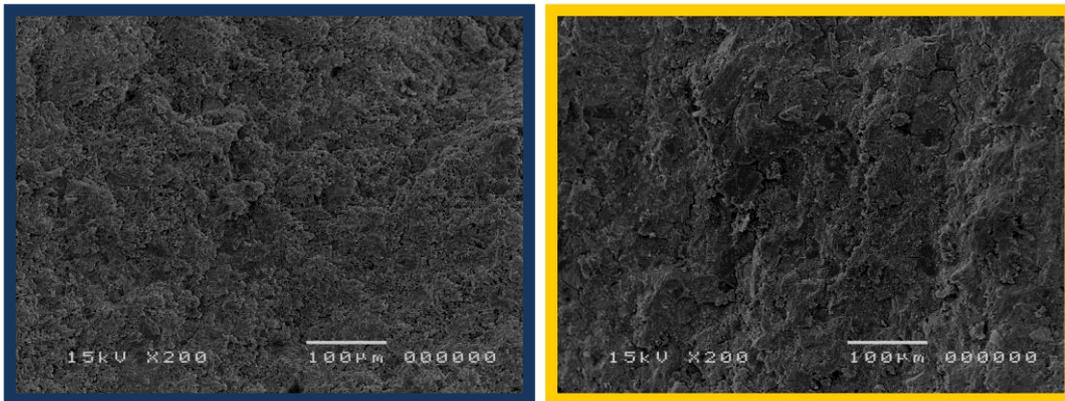
MIX PASTA de cimento	CIMENTO [Kg/m ³]	ÁGUA [Kg/m ³]	A/C	SUPERFLUDIFIC. [Kg/m ³]	DRY [Kg/m ³]	CV [Kg/m ³]	RMV [Kg/m ³]	HEB [Kg/m ³]
Pasta de cimento 0 REFERÊNCIA	320	128	0,4	1,6				
Pasta de cimento 1 REFERÊNCIA +DRY	320	128	0,4	1,6	7			
Pasta de cimento 2 REFERÊNCIA +CV	320	128	0,4	1,6		100		
Pasta de cimento 3 REFERÊNCIA +DRY+CV	320	128	0,4	1,6	7	100		

Na tabela 3 são indicados os resultados das análises XRPD realizadas sucessivamente ao endurecimento das pastas da tabela 2.

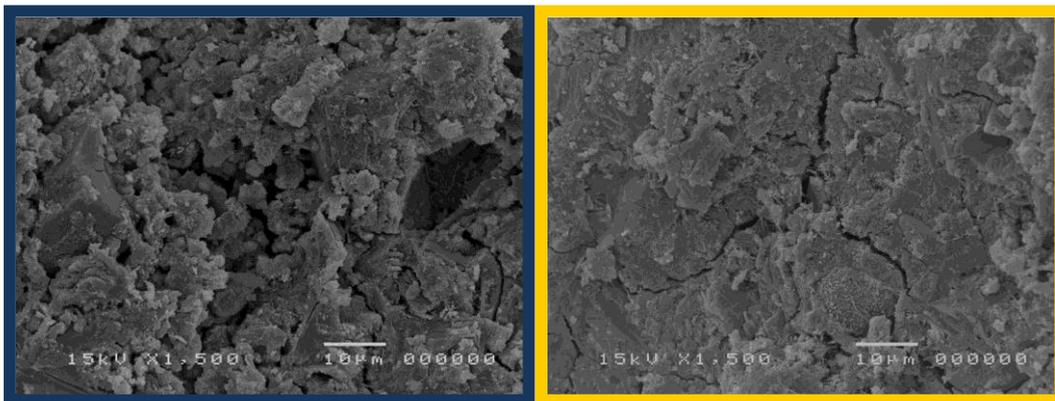
Tabela 3: Fases mineralógicas nas PASTAS DE CIMENTO.

MIX PASTA ELEMENTAR	FASES MINERALÓGICAS
Pasta de cimento 0 REFERÊNCIA	Portlandita, Etringita, Hatrurita, Brownmillerita, Amorfo.
Pasta de cimento 1 REFERÊNCIA +DRY	Portlandita, Etringita, Hatrurita, Brownmillerita, Amorfo.
Pasta de cimento 2 REFERÊNCIA +CV	Portlandita, Etringita, Hatrurita, Brownmillerita, Quartzo, Mulita, Amorfo.
Pasta de cimento 3 REFERÊNCIA +DRY+CV	Portlandita, Etringita, Hatrurita, Brownmillerita, Quartzo, Mulita, Amorfo.

Nas figuras 1, 2 e 3 se reproduzem micrografias em microscopia eletrônica (SEM) em fragmentos de amostras retiradas dos vários MIX de PASTA DE CIMENTO.



Figuras 1.a e 1.b: Micrografias comparadas ao SEM (aumento x200): à esquerda Mix da Pasta Elementar “Referência” (0) e à direita Mix da Pasta de cimento “Referência + DRY D1 R/N al 2,2 %” (1). A matriz do segundo MIX, em igualdade de fases cristalinas individualizadas (tabela 3), se apresenta com uma maior quantidade de gelos de cimento e mais compacta.



Figuras 2.a e 2.b: Micrografias comparadas ao SEM (aumento x1500) dos Mix das Pastas de cimento: à esquerda “Referência” (0) e à direita “Referência + DRY D1 R/N 2,2 %”(1) depois do esmagamento. É evidente a diferença da matriz entre as duas massas, a primeira parece mais descontínua e porosa, a segunda mais contínua e fechada. São encontradas também diferenças entre o sistema de fraturas induzido pelo esmagamento, no primeiro caso mais difusas e articuladas entre as zonas mais porosas, no segundo MIX mais localizadas.

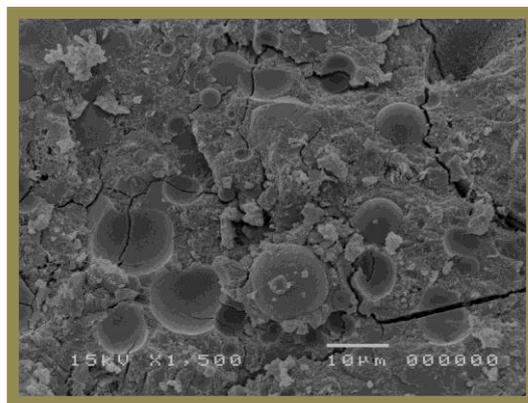


Figura 3: Micrografia ao SEM (aumento x1500) do Mix da Pasta Elementar “Referência + DRY D1 R/N 2,2 % +CV 30%” (3). A pasta/matriz de cimento envolve completamente as microesferas das cinzas volantes e se apresenta compacta (massa contínua do gel). É também evidente o sistema de fraturamento do material depois do teste de esmagamento no qual as fraturas são localizadas.

Os testes de resistência à compressão por esmagamento (UNI12390-3), a 28 dias, em amostras de pastas de cimento de dimensões 10x10x10 cm, evidenciaram valores compreendidos entre 53,1 MPa (Pasta de cimento 0 REFERÊNCIA) e 58,8 MPa (Pasta de cimento 3 REFERÊNCIA+DRY+CV), ou seja, cerca de 10% de resistência a mais.

Considerações pontuais sobre o Mix Design dos concretos de cimento

Os componentes ativos foram estudados verificando a sua ação combinada no MIX DO CONCRETO confrontando, na medida do possível, os resultados obtidos com aqueles em bibliografia e na mais avançada das últimas pesquisas sobre o concreto:

TABELA 5.I: MIX DESIGN DOS CONCRETOS. Fase 1

MIX DESIGN CONCRETO	CEM [Kg/m ³]	H ₂ O/c [Kg/m ³]	SF [Kg/m ³]	DRY R-N-L	CV [Kg/m ³]	AREIA [Kg/m ³]	BRITA [Kg/m ³]	CASCALHO [Kg/m ³]	HEB [Kg/m ³]
MD.1 – REFERÊNCIA	410	0,38	4,1	7		X	X	X	
MD.CONCRETO 2	410	0,38	4,1	7		X	X	X	
MD.CONCRETO 3	380	0,38	3,8	7		X	X	X	
MD.CONCRETO 4	350	0,40	3,5	7		X	X	X	
MD. CONCRETO 5	320	0,42	3,2	7		X	X	X	
MD..CONCRETO 6	290	0,44	3,2	7		X	X	X	
Outros									

TABELLA 5.II: MIX DESIGN DEI CALCESTRUZZI. Fase 2

MIX DESIGN	CEM [Kg/m ³]	H ₂ O [Kg/m ³]	SF [Kg/m ³]	DRY R-N-L	CV [Kg/m ³]	SABBIA [Kg/m ³]	BRITA [Kg/m ³]	CASCALHO [Kg/m ³]	HEB [Kg/m ³]
MD.0 – REFERÊNCIA	320	135	2,7-3,2			1145	550	350	
MD.CONCRETO A1	320	135	2,7-3,2	7		1145	550	350	
MD.CONCRETO A2	320	151	2,7-3,2		100	1045	550	350	
MD.CONCRETO A3	320	151	2,7-3,2	7	100	1045	550	350	
Outros	290÷410								

Para as misturas frescas foram realizadas as verificações de abatimento (slump test); para as amostras depois de 24 horas a 28 dias densidade, investigações não destrutivas ultrassônicas, testes de esmagamento, micrografias ao SEM, seções finas ao microscópio polarizador, análises ao raio X, porosimetria, teste retração-expansão, absorção de água à pressão atmosférica, testes de flexão, etc.

Cimento (c).

Ligante: Cimento Portland Classe I 52,5 R

Como ilustrado, foram estudados os MIX de PASTAS ELEMENTARES de CIMENTO classe I 52,5 R, água e fluidificante, acrescentando depois os agentes expansores/antirretração/compactantes e as adições minerais pozolânicas tanto sozinhas como em combinação com diversas dosagens entre eles.

Primeira fase da pesquisa (junho de 2011 – outubro de 2011). Foram estudados e monitorados distintos MIX DESIGN de CONCRETO (“REFERÊNCIAS ADITIVADOS COM SUPERFLUIDIFICANTES” e COM OS AGENTES EXPANSORES DRY D1 tipo **Rápido** e tipo **Normal**, antes de geração de aditivos micro expansores) com dosagens variáveis de Cimento Portland I 52,5 R UNI EN 197-1 e UNI EN 11104 de 290 kg/m³ até 410 kg/m³ com dosagens progressivas de 30 kg/m³ e com constante dosagem dos dois agentes expansores (cerca 0,8÷1,2% do cimento para cada tipologia):

Dosagens Cem: 290->320->350->380->410 kg/m³

A primeira fase da pesquisa permitiu deduzir e convalidar que o concreto ideal do ponto de vista *técnico-econômico* (análise custo/benefício) para a indústria da pré-fabricação resultou o concreto com dosagem de 350 kg/m³ (nota: ele é produzido inicialmente em total ausência de cargas pozolânicas e de aditivos expansores/antirretração/compactantes lentos, ou seja, de novíssima geração, mas em presença de

aditivos expansores de breve e média ação de produção corrente da Chimica Edile: DRY D1 Rapido e DRY D1 Normale). Evidencia-se que, de um ponto de vista de controle contínuo de estabilidade volumétrica, os agentes expansores de primeira geração da Chimica Edile e de outras empresas do setor manifestam a sua ação na primeira semana! Alguns aditivos à base de óxidos e no comércio até terminam a sua ação na primeira semana e se na presença de altas temperaturas em alguns dias!

A análise custo/benefício com a estimativa dos custos das matérias primas dos MIX permitiu determinar que o custo do MIX 1 (REFERÊNCIA com 410 kg/m³ de CEM I 52,5 R) é aproximadamente igual ou sensivelmente superior ao custo do MIX 4 (com 350 kg/m³ de cimento CEM I 52,5 R e com a adição de aditivos DRY D1 Rápido e DRY D1 Normal igual a cerca 1%+1%, ou seja, 3.5 kg + 3.5 kg = 7 kg/m³). O MIX 4 teve, entretanto, desempenho mecânico similar em relação ao MIX 1, mas oferece a vantagem da estabilidade volumétrica controlada (retração próxima a 200 micron m/m, ou seja, 50 micron m/m de expansão inicial nos primeiros 2 dias e sucessiva retração até 28 dias).

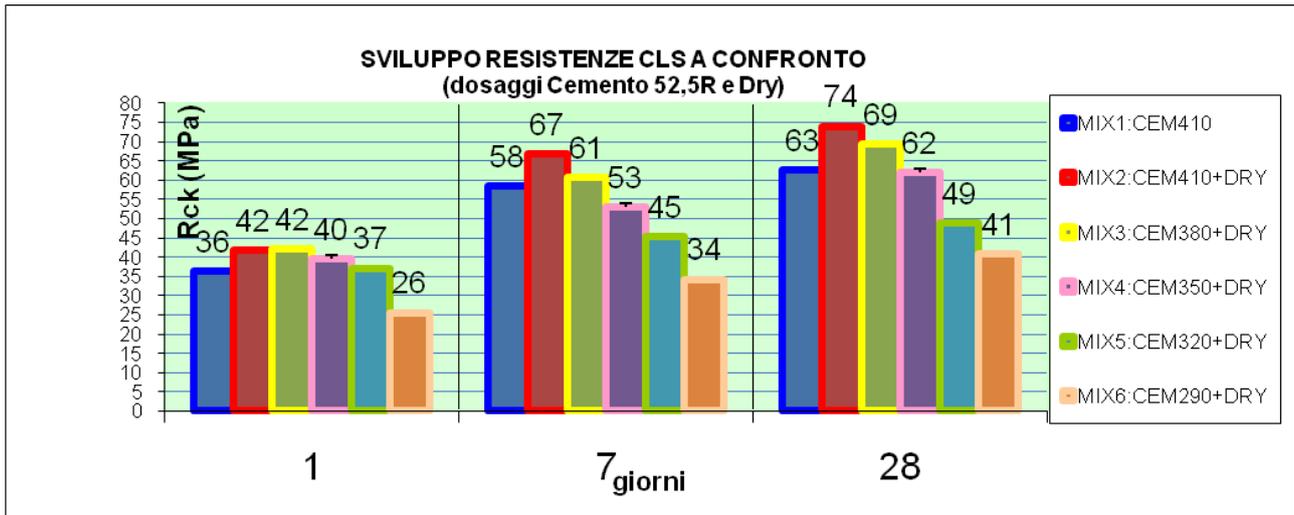
Para atender as classes de exposições (UNI 11104 e NTC- Normas Técnicas para as Construções), a dosagem de cimento equivalente do MIX 4 (350 kg de Cim Portland I 52,5 R) usado supera os mínimos impostos pela normativa também para XA2/ataque químico, XD2/cloretos, XF2-XF3/gelo-desgelo, XC4/carbonatação.

Notas:		(1)	(2)	(2)	(2)	(2)	(3)	(3)	
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3
Max rel. "a/c"			0,60	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45
Min Resistência	MPa	C12/15	C25/30	C25/30	C28/35	C32/40	C32/40	C35/45	C35/45
Min Cimento	Kg/m ³		300	300	320	340	340	360	360
Min Cont. Ar	%								
Outro									
Notas:		(4)	(4)	(4)	(5)	(5)	(5)	(5)	
		XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	
Max rel. "a/c"		0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50	0,45	
Min Resistência	MPa	C28/35	C32/40	C35/45	C32/40	C25/30	C25/30	C28/35	
Min Cimento	Kg/m ³	320	340	360	320	340	340	360	
Min Cont. Ar	%					3	3	3	
Outro									

Notas:		(6)	(6)	(6)
		XA1	XA2	XA3
Max rel. "a/c"		0,55	0,50	0,45
Min Resistência	MPa	C28/35	C32/40	C35/45
Min Cimento	Kg/m ³	320	340	360
Min Cont. Ar	%			
Outro		Cim resistentes aos sulfatos		

TABELA UNI 11104 – (2): carbonatação – (4): cloretos - (5): gelo-desgelo - (6): ataque químico

Resultados da primeira fase do projeto e confronto das resistências características a esmagamento cubos 15x15x15 cm.



DESENVOLVIMENTO RESISTÊNCIAS CONCRETO EM CONFRONTO
(dosagens Cimento 52,5R e Dry)

O uso dos agentes micro expansores e compactantes implicou em um incremento das resistências à compressão entre 10÷15%

CUBOS 15x15x15 cm DEPOIS DO ESMAGAMENTO SEM E COM ADIÇÕES/ADITIVOS



Segunda fase da pesquisa (novembro de 2011 – junho de 2011). A segunda fase da pesquisa, usufruindo do conhecimento de vanguarda e dos resultados em seguida aos resumos sobre as vantagens e sobre os limites dos agentes expansores modernos, foi caracterizada pela formulação de novos MIX DESIGN e pela produção de novos agentes expansores a serem combinados “sinergicamente” com adições pozolânicas e filerizantes. As análises ao microscópio permitiram, de fato, observar que o agente expansor comportando-se como fluidificante, exaltava as capacidades de “filerizantes” (preenchimentos) das areias finas e principalmente das micro-areias esféricas ($\phi < 200 \mu\text{m}$) mais aptas a moverem-se durante os processos de expansão/compactação. Também é oportuno constatar e precisar que a formação de uma posterior mínima percentual de “portlandita expansa derivada do óxido de cálcio” se comporta não somente como posterior “reserva alcalina” em acréscimo às notas “portlanditas derivadas do cimento” (cfr. alita e belita) e às adequadas “moléculas de água” implica ao benéfico acréscimo de materiais de atividade pozolânica para capitalizar tal evidente potencialidade.

Foto do reverso da seção fina da amostra CONCRETO com agente expansor (microscópio estereoscópico mod. Nikon SMZ 1500).

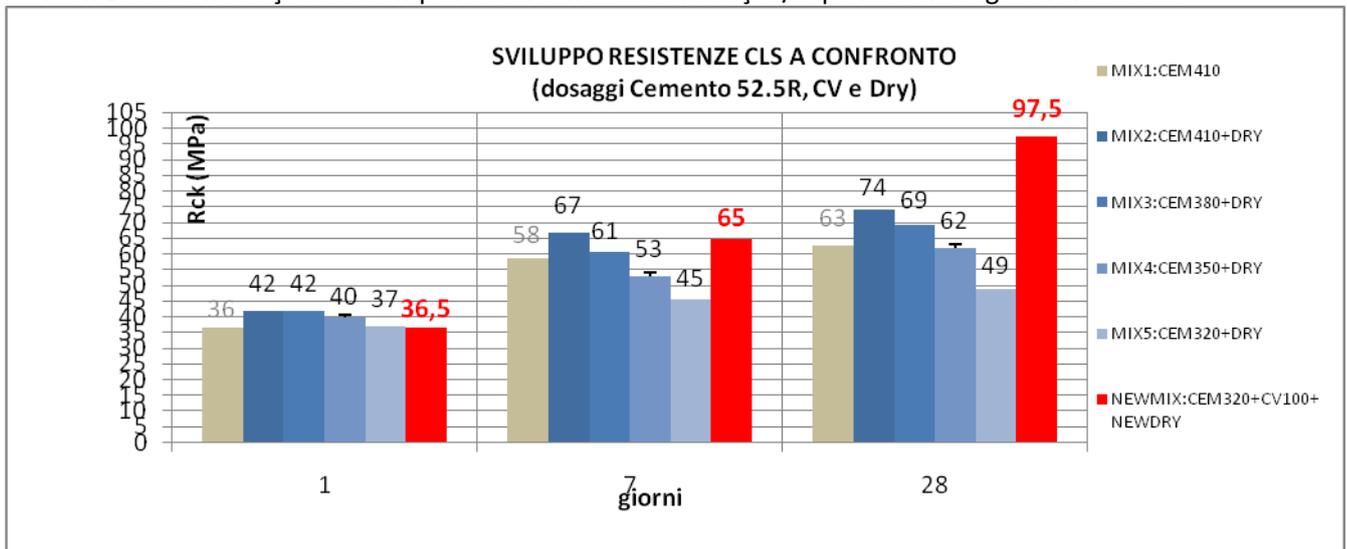


Posterior efeito secundário (não irrelevante) a ser considerado positivamente é o efeito compactante para a autocompressão (*self compressing*) e de incremento dos contatos (*wall effect*) do agente expansor que empurra e pressiona as massas do aglomerado de cimento (concreto): o efeito expansor,

se bem modulado, comporta diminuição da porosidade do concreto (com melhoras das criticidades da zona de transição), de fenômenos de *bleeding* e em geral de descontinuidade interna do concreto em fase de pega e endurecimento, potencia consequentemente o desencadear de reações pozolânicas entre a água resídua, a portlandita (como cimento e como agente expensor) e o micro silício (dióxido de silício reativo) dos materiais pozolânicos (especialmente nos primeiros 28 dias onde o concreto contém ainda suficiente água resídua); são portanto ajudados os processos primários pozolânicos C-S-H. O aditivo expensor, portanto, pode ser formulado não somente para contrastar a retração, ma também para favorecer o comportamento pozolânico das cinzas e em geral dos materiais pozolânicos em contato com a portlandita disponível.

Em dialética filológica com as observações em seguida resumidas, foram estudados e monitorados novos mix designs com diferentes combinações de aditivos superfluidificantes, agentes micro expansores e minerais pozolânicos ativos dentro de pastas de cimento (MD. Pastas), em distintas condições ambientais (temperatura, umidade, formas). Foi, portanto, necessário estabelecer com a CHIMICA EDILE a formulação e o teste de novos agentes expansores, com ação mais lenta e modulada (DRY D1 Lento) a ser colocada ao lado de outra linha de agentes expansores em produção (DRY D1 Rápido e DRY D1 Normal) com o fim de poder controlar mais harmoniosamente “a fase micro expansora” do novo concreto em relação “à evolução complexa de suas fases de contração” (retração higrométrica, retração autógena, retração térmica por diminuição da temperatura, deformação viscosa para sollicitações de compressão/tração, etc, etc.), mesmo usufruindo das vantagens e da experiência adquirida pelos agentes expansores (“Rápidos” e “Normais”).

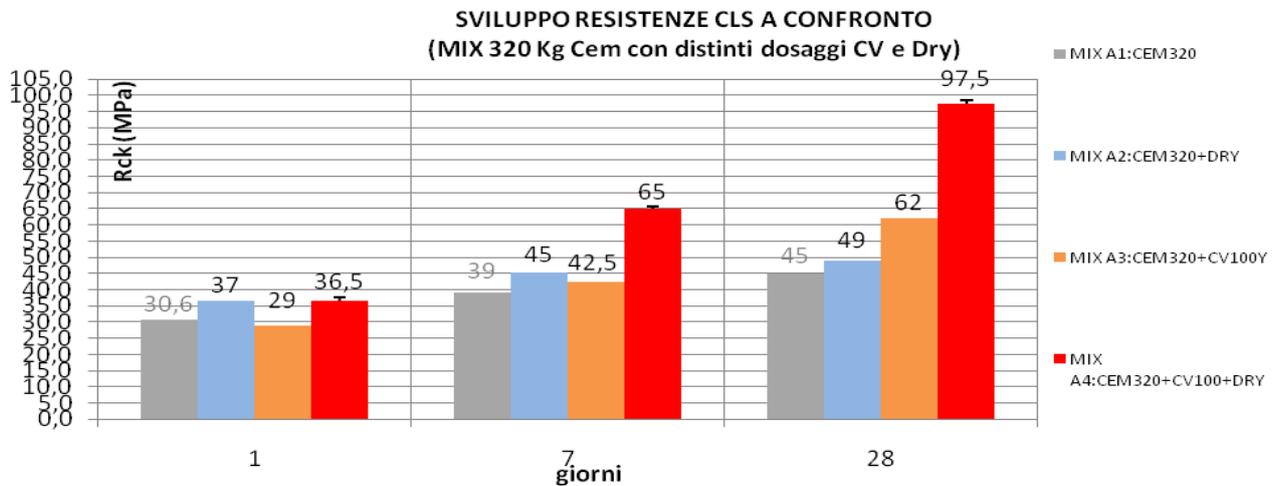
O novo MIX de CONCRETO no âmbito da segunda fase da pesquisa e que no momento resulta “ideal” para a indústria da pré-fabricação, foi identificado para uma dosagem de 320 kg/m³ de Cimento Portland I 52,5 R e “a/c” compreendido entre 0,40÷0,45 além da adição de 25 a 100 kg/m³ de materiais de atividade pozolânica (Rocha Vulcânica Triturada e/ou Cinzas Volantes e/ou Sílica Ativa e/ou Metacaulim) com o fim de obter uma dosagem complexiva de “cimentos equivalentes” próxima ou superior a 330÷350 kg/m³ (“concreto com desempenho equivalente” UNI EN 206 par. 5.2.5.3) com aditivos superfluidificantes (~1%), agentes micro expansores de Rápida ação (~0,6% DRY D1 Rapido), de ação Normal (~0,6% DRY D1 Normale) e de ação Lenta prolongada (~1÷1,2 % DRY D1 Lento), ou seja, com agentes expansores integrados e harmonizados em relação aos complexos fenômenos de retração/expansão em seguida elencados.



DESENVOLVIMENTO RESISTÊNCIAS CONCRETO A CONFRONTO (dosagens Cimento 52,5R e Dry)

Para as classes de exposições (UNI 11104 e NTC- Normas Técnicas para as Construções), a dosagem de cimento equivalente do MIX FINAL/IDEAL (320 kg de Cim Portland e 100 kg de Cinzas Volantes em acréscimo ao cimento) assumida supera os mínimos impostos pela normativa também para XA2/ataque

químico ($353 > c_{\min} = 320$), XD2/cloretos ($353 > c_{\min} = 340$), XF2-XF3/gelo-desgelo ($353 > c_{\min} = 340$), XC4/carbonatação ($c = 320 + 0,33 \times 100 = 353 > 340 \text{ kg/m}^3$).



**DESENVOLVIMENTO RESISTÊNCIAS CONCRETO A CONFRONTO
(dosagens Cimento 52,5R e Dry)**

Água

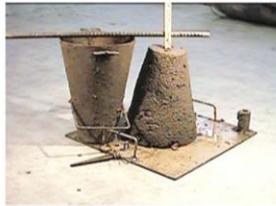
No respeito da UNI EN 1008, a relação “a/c” foi mediamente igual a $0,40 \div 0,45$ e, de qualquer maneira, verificada também com parâmetros variáveis compreendidos entre 0,375 e 0,45 (UNI EN 206-1 e UNI 8981-2) para traçar pontos experimentais (gráficos da Rck e tabelas de consistência/slump (abatimento) em função de diversos “a/c” para o MIX DESIGN ideal (MIX nº A4) e para ter adequadas tolerâncias (nota: estudo influencia por erros de dosagem de água para “a/c” médio = $0,41 \div 0,42$ em referência à variabilidade seja de Rck do concreto endurecido e de trabalhabilidade/slump (abatimento) do concreto fresco). No caso da adição de cinzas volantes e rochas vulcânicas trituradas, foi feita uma posterior adição de água calculada em relação à mesma dosagem “a/c” ($0,41 \div 0,42$) mas reduzida de um coeficiente k igual a 0,40 para as cinzas volantes (cfr. UNI) e para as rochas vulcânicas trituradas (nota: estas últimas muito “ávidas” de água e de efeito “térmico zeolítico” em função da absorção de água).

O critério pragmático para identificar a melhor dosagem de água foi, de qualquer maneira, no respeito das avançadas tecnologias e ciência do concreto (Abrams, Bolomey, Collepardi, Fuller, Lyse, etc.) para fazer variar sensivelmente e sabiamente os vários parâmetros do MIX (dosagens e dimensões agregadas) com o fim também, de “minimizar/otimizar” a dosagem de água em relação ao cimento e aos minerais ativos (pozolânicos) mesmo conservando adequadas classes de consistência/slump (abatimento) (S4 o S5):hh

CLASSE DE CONSISTÊNCIA:	SLUMP (mm):	DENOMINAÇÃO:
S1	10÷40	Terra Úmida
S2	50÷90	Plástica
S3	100÷150	Semi-fluida
S4	160÷210	Fluida
S5	>220	Super-fluida

CONSISTENZA E LAVORABILITA' DEL CALCESTRUZZO

La lavorabilità è la proprietà del calcestruzzo fresco che definisce la capacità dell'impasto di essere manipolato e costipato.
Essa si determina con la misura dello SLUMP; quanto maggiore sarà lo slump quanto più lavorabile sarà il calcestruzzo e più facile risulterà la sua messa in opera.



Consistenza S1
slump 10 - 40 mm



Consistenza S2
slump 50 - 90 mm



Consistenza S3
slump 100 - 150 mm



Consistenza S4
slump 160 - 210 mm



Consistenza S5
slump > 220 mm

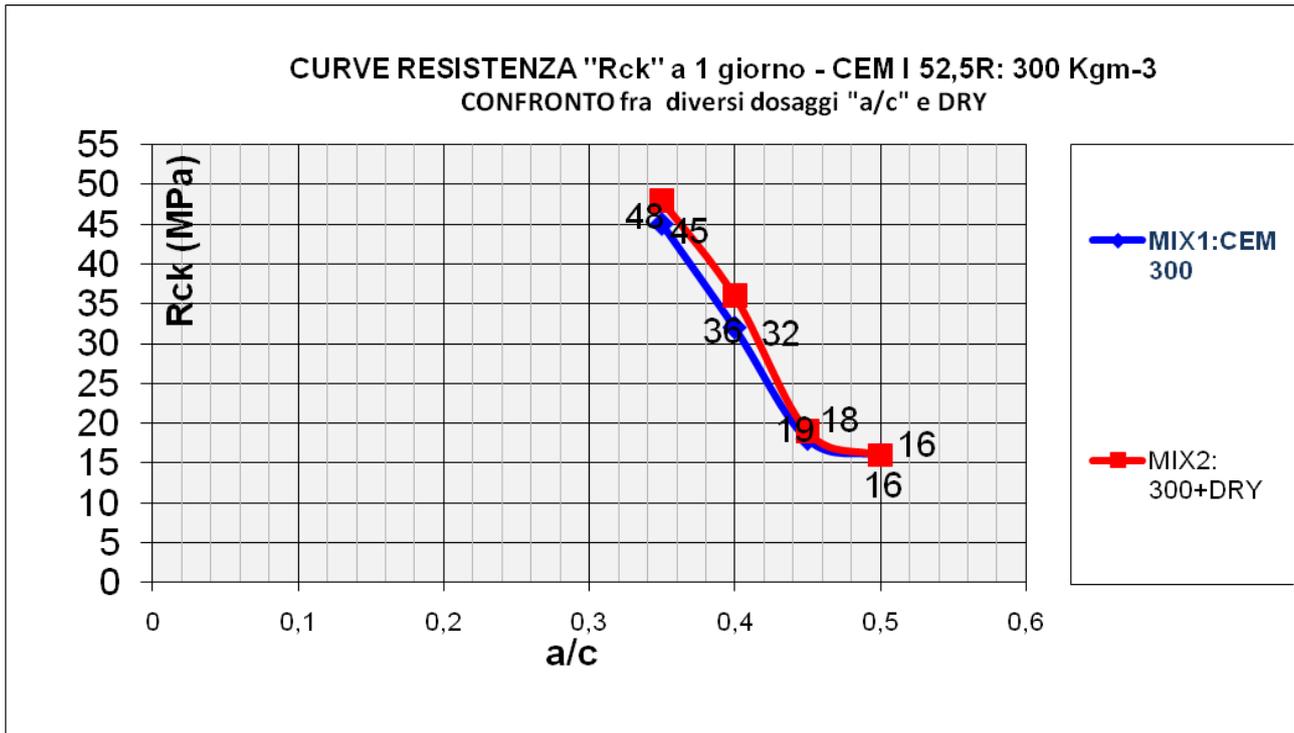
Classe di consistenza	Abbassamento al cono (in mm)	Denominazione corrente	Campo di applicazione consigliato
S1	da 10 a 40	Umida	
S2	da 50 a 90	Plastica	Cordoli, fognature
S3	da 100 a 150	Semifluida	Scale, rampe, coperture inclinate
S4	da 160 a 210	Fluida	Fondazioni, pareti, pilastri, travi, solai
S5	oltre 220	Superfluida	Strutture sottili, solette molto armate, pavimentazioni

Misura dell'abbassamento al cono (slump test) secondo la norma UNI EN 12350-2



Para as classes de exposições (UNI 11104 e NTC- Normas Técnicas para as Construções), a dosagem usada para o MIX FINAL/IDEAL (MIX n° A4) supera os mínimos impostos pela normativa vigente também para XA2/ataque químico água, XD2/cloretos, XF2-XF3/gelo-desgelo, XC4/carbonatação ($a/c = 0,42 < 0,45 < 0,50$).

O MIX DESIGN ideal deve garantir uma classe de consistência compreendida entre S4 e S5 e prevenção de fenômenos de segregação.



Inertes

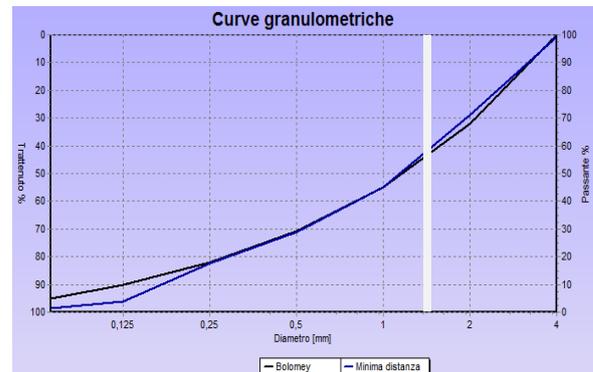
No respeito das EN 206-1, UNI EN 932-3, UNI 8520 , foram empregados **agregados** calcários provenientes de pedreiras italianas e compostos por 3 grupos:

cascalho: 8 ÷ 16 mm

brita: 4 ÷ 10 mm

areia: 0 ÷ 5 mm

A curva granulométrica projetada foi elaborada controlando a curva ideal do Bolomey. A dimensão máxima do inerte é 16 mm.



Foi monitorado o grau de imbibição dos inertes calcários ("range" de imbibição admissível) com o objetivo de não influenciar ou falsear a dosagem da água eficaz de pasta.

As relações empregadas de "i/c" respeitaram os valores ideais indicados na bibliografia técnica para obter concretos com desempenho ideal (também para retração e viscosidade sob carga), obviamente no cálculo é lícito levar em consideração como dosagem de cimento equivalente (c_{eq}), até um máximo de 33% também as cinzas volantes/inertes pozzolânicos, e como parte total inerte (100% dos "inertes" calcários + um percentual dos inertes derivados das cinzas volantes, ou seja, a cota restante dos inertes e adições pozzolânicas).

Para os concretos com cinzas volantes ou rochas vulcânicas trituradas, o cálculo dos inertes equivalentes e a relação "i/c" foi portanto efetuado como segue:

$$i_{eq} = \text{cascalho} + \text{brita} + \text{areia} + (1-k) \text{ cinzas volantes ou rochas vulcânicas trituradas}$$

onde

$$k = 0,33 \text{ (UNI) para as cinzas volantes (1-k = 1- 0,33 = 0,67)}$$

Agregados (inertes e minerais ativos):	Kg/m ³	x (1-K)	x K = cimento equivalente
CASCALHO	350 (385)	350 (385)	
BRITA	550 (600)	550 (600)	
AREIA	1.050 (900)	1.050 (900)	
Primeiro Total (inertes)	1.950 (1.885)	1.950 (1.885)	
CINZAS VOLANTES	100	67	33
ROCHA VULCÂNICA TRIT.			
Segundo Total (inertes eq.)		2.017	
Cimento Portland I 52,5 R	320		320
Terceiro Total (cimento eq.)	2.370 (2.305)	2.370 (2.305)	353

Cálculo das possíveis relações " i/c" , "i.eq/c.eq", "(i+cv)/c" e "i/(i+cv)"

$$k_1 = k_{cv} = 0,33 \text{ (UNI)}$$

$$i/c = 1.950/320 = 6,24$$

$$i_{eq}/c_{eq} = (1.950+67)/(320+33) = 2.017/353 = 5,71$$

$$(i+cv)/c = (1.950+100)/320 = 2.050/320 = 6,40$$

$$i/(c+cv) = 1.950/(320+100) = 4,64$$

Possíveis valores de relações entre cimentos e inertes compreendidos entre 4,6 e 6,4 (média 5,5) a serem considerados relativamente altos e conseqüentemente implicativos fenômenos controláveis de retração higrométrica, retração química e viscosidade sob carga (nota: nos SCC geralmente as relações "i/c" são mais baixas e compreendidas geralmente entre 4,0 e 4,5, comportando fenômenos mais elevados de retração e principalmente viscosidade). Para os concretos pré-socados os fenômenos da retração higrométrica e da viscosidade sob carga são certamente fatores discriminantes para a avaliação da qualidade de um concreto e para o custo final de uma obra.

Superfluidificante (sf)

No respeito da UNI 934-2 (3.1, 3.2, 11.1,11.2) e UNI 12350, a adição do superfluidificante (sf) à base de polímeros hidrossolúveis foi a mínima possível eficaz, próxima a 1% do cimento (sf/c) e no caso de adições pozolânicas (cinzas volantes ou rochas trituradas) calculando 0,85% em relação ao cimento efetivo ou equivalente, ou seja, $c_{eq} = c + k_1 \times cv/rvm$ com k_1 iguais a 0,33 para as cinzas volantes, de qualquer maneira o "**quanto basta**" com o fim de assegurar a trabalhabilidade suficiente à pasta (referência: classe de consistência S4/S5 UNI 206-1 - Slump Loss Controlling Agent) e prevenir fenômenos de segregação (por excessiva dosagem de superfluidificante): mínimo de dosagem de superfluidificante igual a $\sim 0,7 \div 1\%$ considerando tanto o cimento como a cota (33%) dos minerais pozolânicos.

O aditivo superfluidificante empregado nos vários MIX e que deu válidos resultados é à base de ésteres poliésteres modificados com pH igual a aproximadamente 4, é desprovido de formaldeído e cloretos. A % mínima de aditivo fluidificante como é sabido, não prejudica o pH final do concreto. Ele foi adicionado depois da inserção (por alguns minutos de mistura) da água de hidratação da pasta e depois de ser misturado por outros 5 minutos.

Como foi evidenciado pela bibliografia técnico-científica (cfr. Collepardi – R ECENTES DESENVOLVIMENTOS NO SETOR DOS ADITIVOS PARA CONCRETO), foi necessário verificar também a compatibilidade e a criação de sinergias entre o superfluidificante e os outros aditivos/adições empregados (ação combinada entre os superfluidificantes e os outros aditivos/adições antirretração e compactantes com ação micro expansora) sem desacelerar ou comprometer os fenômenos de pega e endurecimento dentro das 12÷24 horas (requisito essencial para o setor da pré-fabricação).

Por exemplo para os MIX a 320 kg de cimento sem minerais pozolânicos:

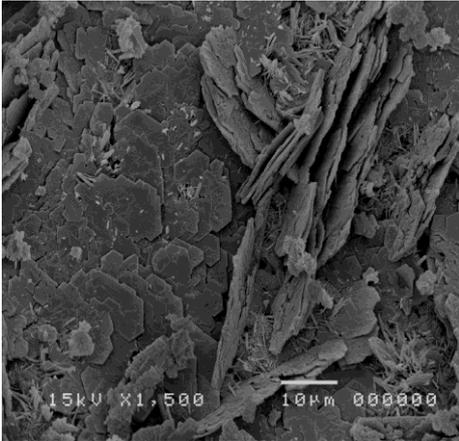
$$SF = 0,01 \times 320 = 3,20 \text{ kg/m}^3$$

Para os MIX a 320 kg de cimento com adição de minerais pozolânicos:

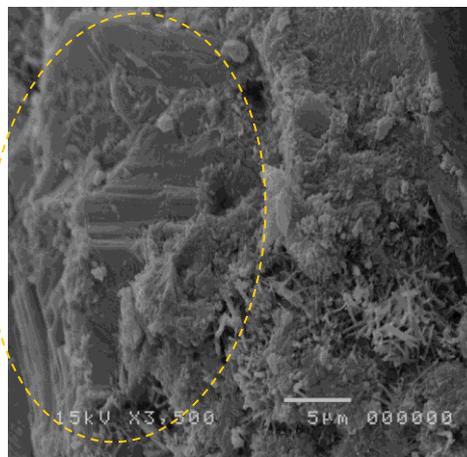
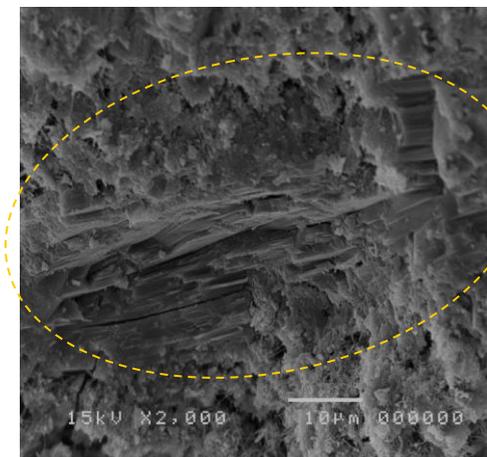
$$SF = 0,009 \times (320 + 0,33 \times 100) = \sim 3,20 \text{ kg/m}^3$$

Adição à base de óxidos micro expansores e antirretração de nova geração (com ação modulada no tempo)

Micrografia ao SEM (x1500) do CONCRETO a 28 dias e estudo da “portlandita” derivada dos agentes expansores e dos derivados do cimento (agentes expansores DRY D1 N e CEM I 52,5 R). A micrografia permite ler claramente a morfologia da Portlandita no espaço (frontalmente e lateralmente).

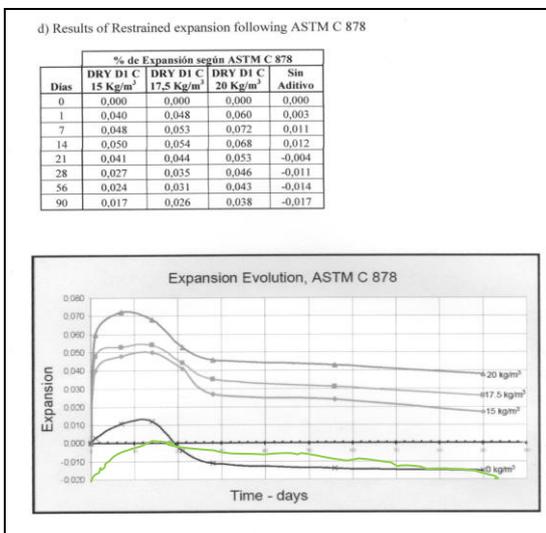


MICROGRAFIAS ao Sem sobre pastas elementares de cimento (ampliação x2.000 e x 3.500). São evidenciadas em amarelo presenças de portlandita respectivamente nas amostras “Pasta de cimento 0 (REFERÊNCIA)” e Pasta de cimento 1 (REFERÊNCIA + DRY).



A nova geração dos concretos na indústria da pré-fabricação e do c.a.d. requer cada vez mais assiduamente a produção dos concretos na ausência das conhecidas criticidades de “retração higrométrica/autógena”:

- a) **retração compensada** (*Shrinkage Compensating Concrete* ou *ShCC*) que provocam dentro do concreto uma expansão inicial pouco inferior ou virtualmente igual à sucessiva contração devida à retração (cfr. UNI EN 1992-1-1/Eurocódigo 2 + Apêndice B - D.M. 14/01/08 par. 11.2.10.6). Os diagramas “expansão-retração” com base nas normativas UNI/EN, ASTM ou em outras metodologias permitem entender o tipo de ação dos aditivos em comércio e sua eficácia ou não com base nas dosagens (às vezes excessivas).
- b) **Autocompressores(auto-adensáveis)** (*Self Compacting Concrete* cfr. ACI 223R-98, concreto muito diverso mas em linha filológica e de tendência com os *Self Compacting Concrete* ou *SCC*, UNI EN206-1) que provocam dentro do conglomerado de cimento uma sensível micro expansão levemente superior à contemporânea contração por retração que em uma matriz resistente, em presença de formas/vínculos rígidos e de armaduras espaciais comporta a criação de estresse de compressão na transformação do concreto jovem (em fase de pega/endurecimento). As armaduras no c.a. em função de sua disposição e de seus diâmetros exercem graças à aderência e ao design blindante do concreto para efeito da expansão do concreto um vantajoso efeito de “autocompressão” e sucessiva “autocompactação” do concreto (fenômeno oposto portanto aos conhecidos efeitos negativos da retração do concreto, de *tensile stress*). Esta expansão, se bem calibrada, comporta benefícios decrescentes movimentos viscosos de autocompactação e autofortificação durante a gênese constitutiva do concreto jovem criando as bases para exaltar o seu futuro desempenho.
- c) **a controle de estabilidade volumétrica** (*Volumetric Stability Controlled Concrete*). Os vínculos externos aplicados às estruturas e às armaduras constituem um sistema de vínculos redundantes e a presença de deformações de contração (como a retração higrométrica, as variações térmicas negativas e a dissipação de calor de hidratação) induzem estados tensionais de tração que de qualquer maneira aumentam a distância entre a matéria (*facies*) e que superados os limites de resistência (à tração) do concreto produzem macro e micro fissurações. Um concreto que conserva a sua forma, talvez com calibrada e ponderada expansão no início, e depois sem retrações e estresse críticos na sua gênese, funcionalmente ao seu MIX /DESIGN e às condições externas (umidade, temperatura, espessura do jateamento, massa do jateamento, vínculos, etc), é o sonho dos calculistas e é definível “a controle de estabilidade volumétrica”. Isso representa um dos principais objetivos dos pesquisadores e dos tecnólogos para a realização de concretos de nova geração. *VSCC&ICME* (*Volumetric Stability Controlled Concrete and/with initial calibrated micro-expansion*).



Acima: dados de testes segundo ASTM 878 – Acima à direita e abaixo: equipamento e software para teste retração/expansão livre/ conforme Método de Gennaro



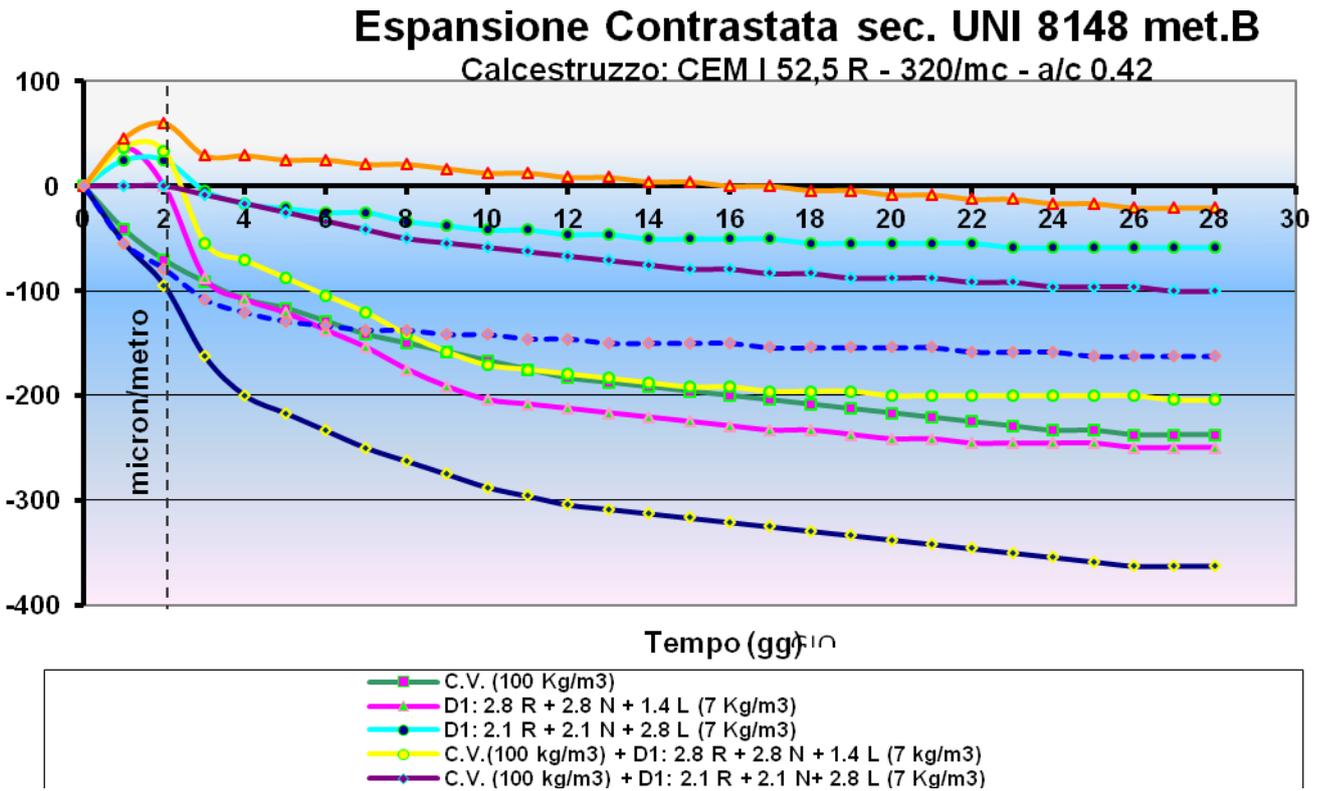
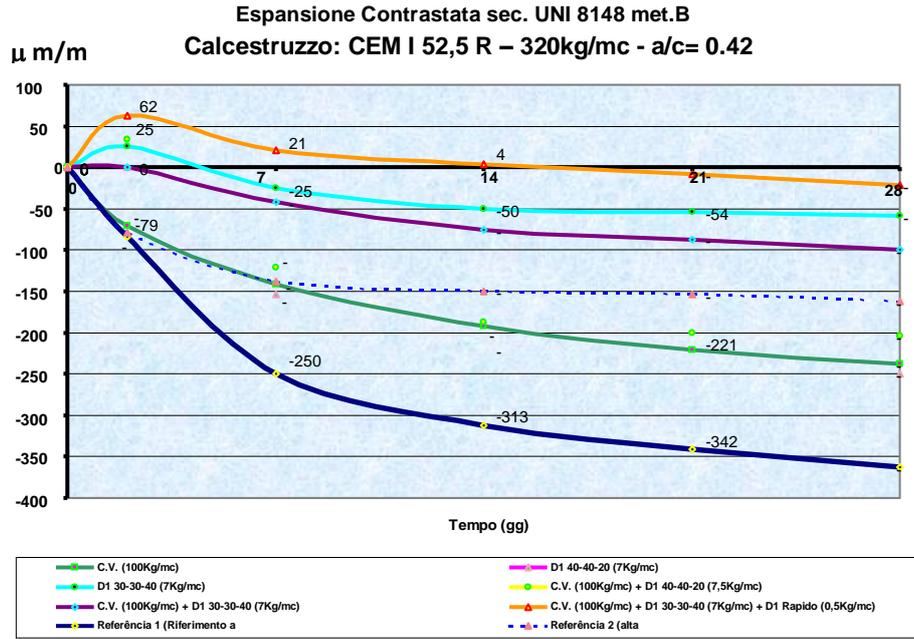
O teste para monitorar a macroexpansão-contração dos cubos de concreto de dimensão 50x50x50 mm segundo o método de Gennaro prevê o início do teste através de 4 sondas (no plano horizontal) dispostas em contato com placas de aço afogadas no jateamento. O tempo de mistura/preparação é controlado. As duas sondas segundo o eixo X e as duas sondas segundo o eixo Y medem constantemente as livres dilatações/contrações do tempo “t.o” do concreto endurecido até o anulamento (essencialmente) dos fenômenos de variação volumétrica (t.fin). Um duplo filme plástico envolve a amostra (excluindo as zonas de contato das 4 sondas) sobre as faces laterais do cubo (referência teste tipo B da norma UNI). A umidade relativa e a temperatura são controladas por estações meteorológicas (geralmente se executa o teste ao ar livre utilizando os seguintes parâmetros: UR 50% +/- 2% e temperatura 20 +/- 2° C. O teste poderia também ser feito imergindo a amostra totalmente em água (preenchimento do tanque) ou variando as condições de temperatura/U.R.. O teste permite monitorar pelo tempo t.o os deslocamentos volumétricos do concreto (tempo t.o igual geralmente a 4 horas do jateamento). O equipamento prevê a possibilidade de inserir uma outra sonda para monitorar os deslocamentos em relação ao eixo z. Para os testes de micro expansão/microrretração são produzidos elementos com um concreto de maiores dimensões (por exemplo 300x300x50 mm, etc.).



Foto X + Y – Teste expansão contrastada

UNI 8148 - Método B

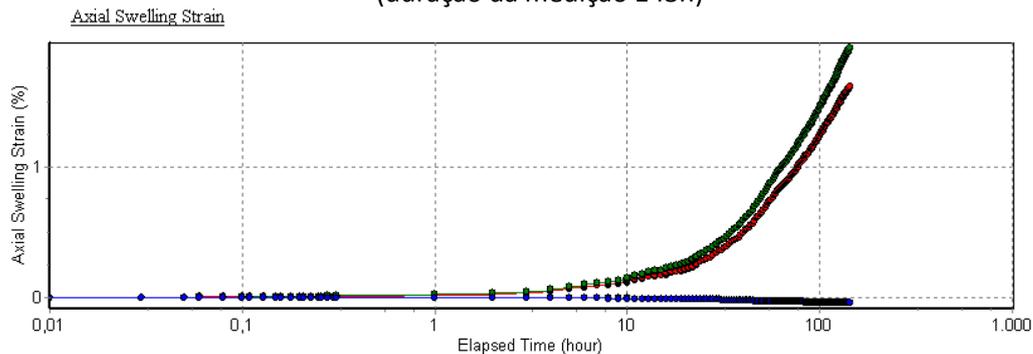




SAMPLE 1:
dimensões 50 x 50 x 50 mm
(duração medição 143h)

Teste experimental de “macroexpansão”
Dosagem a 20% de DRY NORMALE em relação ao cimento

Data: Janeiro de 2012
(duração da medição 143h)



Os pesquisadores do Departamento de Ciências da Terra interagiram com os técnicos das instalações da Chimica Edile para formularem diversas tipologias de “agentes micro expansores e compactantes” com base nas necessidades científicas e técnicas do projeto (“concretos com estabilidade volumétrica controlada com inicial ação micro expansora de compactação e de aceleração/potencialização das atividades pozolânicas”). Uma finalidade primária da pesquisa foi portanto a de respeitar a hipótese de formular um concreto com estabilidade volumétrica “controlável” (res extensa), ou seja, de um concreto que desde seu nascimento até seu exercício não sofre “turbações estruturais/mecânicas/químicas” e em geral “traumas” por causa de instabilidades volumétricas; tal hipótese a ser verificada a partir do momento do fim da mistura, ou seja, a partir do tempo t_0 de jateamento, depois de algumas horas, alguns dias, algumas semanas, alguns meses e...anos: minimização de “expansão/retração” e da “variação volumétrica”; entretanto seria lícito e racional afirmar que em fase plástica e semi-plástica do concreto ainda “fresco” ou “semi-fresco” uma sua sensível expansão provocaria como acima descrito um positivo efeito *compactante* e *reforçante* do concreto (diminuição da porosidade e maior contato entre as *facies*), isto é, ainda em fase de pega e endurecimento (*Self Compressing Concrete + Shrinkage Free Concrete = SCompresC+ShFC*). As perguntas foram feitas desde o início da pesquisa: mas qual é o valor ideal desta micro expansão e por quanto tempo deve ser imposta esta micro expansão? A única metodologia capaz de dar esta resposta foi a monitoração constante deste fenômeno (desde a fase de jateamento até a pega e o endurecimento), desde o instante do jateamento (t_0) e seguindo a sua evolução cronológica (instabilidade/estabilidade volumétrica) do diagrama “Epsilon/t” com base nas dosagens e na tipologia da fórmula fornecida pela Chimica Edile. Foi assim realizada uma aparelhagem especial feita pelo Departamento de Ciências da Terra (cubo/placa de concreto em formas não vinculadas e, portanto, livres para expandir/retrair no espaço no ar ou na água, teste depois denominado Expansão/Retração segundo o Método De' Gennaro) além de, comparando tais resultados com os determináveis, aplicando os standards internacionais para testes de retração/expansão contrastada (normativas UNI/ASTM).

Test ritiro-espansione	Metodo	Forma e Dim. Provino (mm)	Prima stagionatura (stampo-cassaforma)	Seconda stagionatura	Ulteriore stagionatura	Scadenze misure (giorni)	Note:
UNI 8148	A	Prisma 80x80x240	Stampo: 8 ore - 20±1 C° - UR 95%	Vasca con acqua satura di calce: 20±1 C° per 28 giorni	-	2 - 7 - 14 - 28	Espansione contrastata in assenza di ritiro
	B	Prisma 80x80x240	Stampo: 8 ore - 20±1 C° - UR 95%	Armadio climatico: 20±1 C° - UR 95% Primi 2 giorni: avvolti da 2 strati di film polietilene (LDPE) Successivamente: liberi fino a 28 giorni	-	2 - 7 - 14 - 28	Espansione contrastata in condizioni di ritiro controllate
UNI 11307	A	Cubo - Cilindro - Prisma Dim. di base uguale a 3,5 volte dim. nominale aggregato	Stampo: 24±1 ore - 20±2 C° - UR 95%	Camera condizionata: 20±2 C° - UR 50±5% per 90 giorni	-	2 - 3 - 7 - 28 - 60 - 90	Ritiro libero
	B	Cubo - Cilindro - Prisma Dim. di base uguale a 3,5 volte dim. nominale aggregato	Stampo: 24±1 ore - 20±2 C° - UR 95%	Camera condizionata: 20±2 C° - UR 50±5% per 90 giorni	-	2 - 3 - 7 - 28 - 60 - 90	Ritiro libero superficiale
ASTMC878	A	Prisma 75x75x250	Stampo: 6 ore - 23±2 C° - UR 95%	Vasca con acqua satura di calce: 23±2 C° per 7 giorni	Vasca con acqua satura di calce 23±2 C°	7 Oltre 7 giorni: da stabilire	Espansione contrastata in assenza di ritiro
	B	Prisma 75x75x250	Stampo: 6 ore - 23±2 C° - UR 95%	Vasca con acqua satura di calce: 23±2 C° per 7 giorni	Aria Condizioni di temperatura e U.R. predeterminate	7 Oltre 7 giorni: da stabilire	Primi 7 giorni: espansione contrastata in assenza di ritiro Dopo 7 giorni: espansione contrastata in condizioni variabili
ASTMC157	A	Prisma 100x100x285 75x75x285 - 25x25x285 (secondo dimensioni massime aggregato)	Stampo: 24 ore - 23±0,5 C° - UR 95%	Vasca con acqua satura di calce: 23±2 C° per 28 giorni	Vasca con acqua satura di calce 23±0,5 C°	1 - 28 Ulteriore stagionatura: 8 - 16 - 32 - 64 settimane	Variazione lineare in assenza di ritiro
	B	Prisma 100x100x285 75x75x285 - 25x25x285 (secondo dimensioni massime aggregato)	Stampo: 24 ore - 23±0,5 C° - UR 95%	Vasca con acqua satura di calce: 23±2 C° per 28 giorni	Camera condizionata 23±2 C° - UR 50±4%	1 - 28 Ulteriore stagionatura: 4, 7, 14, 28 giorni 8, 16, 32, 64 settimane	Variazione lineare in condizioni di ritiro controllate
-	de' Gennaro	Cubo - Prisma 70x70x70 100x100x150 150x150x150	Cassaforma: 4 ore	Aria o acqua Temperatura e UR controllate	-	Monitoraggio continuo	Variazione lineare in assenza di ritiro o in condizioni di ritiro controllate

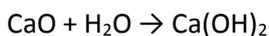
Em seguida se distinguem e se analisam 3 tipologias de formulações micro expansoras da Chimica Edile: **de rápida ação, de normal ação e de lenta ação** que permitiram à pesquisa finalizar, especializar e afinar as suas aplicações.

Tabela – Studio Mix Design dos “agentes expansores” DRY para concretos com CEM 52,5 R dosado a 320 kg/m³. As dosagens são expressas em percentual em relação ao cimento. Para dosagens elevadas de cimento os % DRY D1 podem ser oportunamente reduzidos depois da campanha de testes.

Tipologia de DRY FASE DA PESQUISA	DRY D1 RÁPIDO	DRY D1 NORMAL	DRY D1 LENTO (nova geração)
Dosagem 1ª fase pesquisa	1,1%	1,1%	
Dosagem 2ª fase pesquisa	0,6%	0,6%	1%

Adição à base de óxidos micro expansores de rápida ação expansora e efeito compactante e de auto-compressão(e.r)

A inserção no MIX de adições micro expansoras (e.r) à base de óxido de cálcio comporta, como se sabe, a seguinte reação:



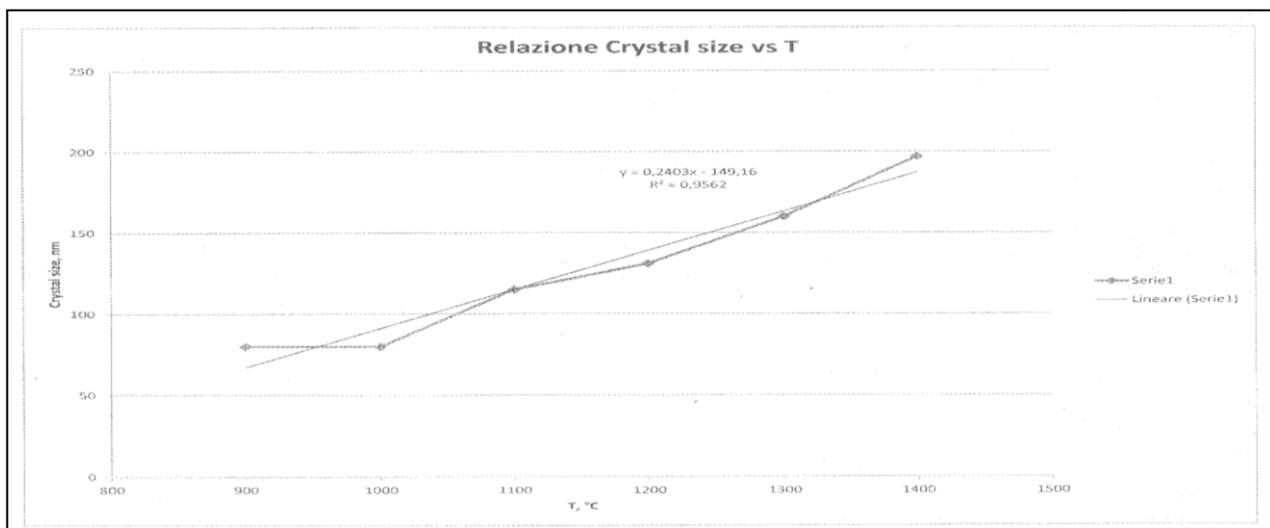
Reação que envolve “logo” e “integralmente” as partículas finas de óxidos altamente reativas (primeiro as de alguns microns e depois nos espessores externos as de algumas centenas de microns), produzidas e comercializadas pelo grupo CHIMICA EDILE con o nome de “DRY D1 Rápido”, estes óxidos têm também a vantagem de ter um pH elevado (>12) que ajuda a durabilidade e a proteção da armadura em ambiente positivamente alcalino. A pesquisa e os vários equipamentos feitos para isso permitiram determinar a fórmula ideal e o percentual eficiente de dosagem em relação ao cimento, inferior a 1% (e.r/c). Como se sabe, alguns dos benefícios do emprego de tais aditivos é o não comportar uma posterior formação de Etringita e que os fenômenos de expansão se manifestam no brevíssimo prazo (do momento da mistura até cerca de 48 horas), depois cessando completamente qualquer ação depois de poucos dias (a temperatura obviamente influi fortemente no início dos tempos de reatividade). Mas, ao mesmo tempo, o aspecto negativo – se se confiasse somente nesta tipologia de agente expansor – é perder esta expansão ou reduzi-

la notavelmente em seguida à retração higrométrica em ambiente não saturado de água (ou seja, não em água, não em ambientes controlados com U.R. próxima a 90% ou em fase de remoção de telas úmidas ou talvez termo-aquecidas no inverno) e de não serem “eficazes” para controlar a retração autógena do concreto (isto é, o mensurável em imersão em água). Esta tipologia de aditivos produzidos pela Chimica Edile tem, entretanto, a vantagem de entrar em ação (micro expansão imediata) desde o tempo de mistura e nos dias de transição e da primeira gênese do concreto fresco: fluido -> semifluido -> plástico-> semissólido, de serem facilmente misturáveis e difundíveis na massa da mistura (graças à granulação fina de suas partículas e à sua capacidade de se difundir na massa sem flocular por ação do superfluidificante) e de serem suficientemente pouco sensíveis às temperaturas externas temperadas, rígidas ou frias (alta reatividade que obviamente aumenta notavelmente com o calor). Estes agentes expansores baseados na reação entre água e “partículas finíssimas e porosas” de óxido de cálcio são decididamente mais rápidas e diretas em relação àquelas à base de sulfoaluminatos com formação de Etringita primária (sal de Candlot) ou em relação aos óxidos de magnésio. Os óxidos de cálcio tendem a expandir muito mais rapidamente e autonomamente em relação àquelas baseados na formação de Etringita (ou seja, trisulfoaluminato de cálcio hidratado, $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ que é uma molécula de sal expansor que necessita para formar-se 32 moléculas de água). Portanto, os óxidos de cálcio são mais apreciados pelos técnicos e pelo mercado do que aqueles à base de sulfoaluminatos, mas têm uma ação expansora decididamente “rápida” e “breve”, ou seja, limitada no tempo (extrinsecando a ação expansora na pasta e chegando no máximo até 2÷3 dias). Para anular idealmente a retração final do concreto (compensado pela forte expansão final) seriam necessárias excessivas dosagens (em parte verificadas pelo forte calor, temperaturas maiores de 25-30° C) e principalmente fenômenos de forte não estabilidade dimensional e volumétrica, expansão “excessiva” inicial e perda de tal expansão a longo prazo com turbativas volumétricas em termos absolutos análogas numericamente às da retração (diversas centenas de micro: 300÷600 μm) mesmo que, beneficemente de sinal oposto (expansão). Posteriores parâmetros que influenciam a velocidade e a duração do fenômeno expansor do óxido de cálcio “rápido” são proporcionais:

- A) à sua temperatura de cozimento, a seus tempos de cozimento, à fineza dos grânulos (curva granulométrica e processo de trituração) e à sua porosidade acessível à água (características da fórmula e parâmetros atribuídos nas instalações computadorizadas do grupo Chimica Edile);
- B) à temperatura externa, à U.R., ao tipo de maturação/*desenforme* do concreto;
- C) à combinação e tipologia de aditivos combinados (superfluidificantes, etc.);
- D) a outras condições externas ao contorno (tipo de dosagem de cimento, tipo e dosagem de aditivos, disposições e quantidade de armadura, fineza e morfologia de inertes, presença de cinzas volantes e micro-filler, a/c, mix design, etc.)

Em seguida se reproduz o gráfico de andamento linear, relativo à variação da *crystal size (nm)* em função da temperatura (range de 900°C a 1400° C), exercida sobre uma amostra de rocha calcária.

A reação química, em seguida à qual se tem a expansão, acontece na interface “água-sólido”, portanto se se reduzem as dimensões das partículas sólidas do agente expansor e se incrementa a sua porosidade



superficial se tende a aumentar a superfície exposta à ação da água e portanto, “a velocidade” da sua reação (expansora). A consequência é uma aceleração geral do processo expansor mas uma menor duração do efeito expansor no tempo (o concreto expande muito rapidamente nos primeiros dias para depois retrair-se/ contrair-se e perder boa parte de sua expansão em poucos dias como tantas pequenas bolas que se enchem imediatamente no recém produzido concreto). No mesmo modo, se um agente expansor estiver sob forma de grânulos porosos acessíveis à água, ele se torna mais facilmente hidratável enquanto que se seus grânulos forem mais finos, sem excessivas porosidades em comunicação com o exterior, ou seja grandes e densos, eles são mais dificilmente hidratáveis, reagindo assim mais lentamente e com maior tenacidade. O grau de trituração, a porosidade dos grânulos e a densidade dos agentes expansores (CaO), são assim parâmetros “reguláveis” pelo seu produtor Grupo Chimica Edile, variando a temperatura de cozimento da matéria antes empregada, o ciclo de cozimento, o tempo de cozimento, a tipologia de material (mistura selecionada de calcários e outros elementos minerais extraídos e selecionados nos Andes) e obviamente suas curvas granulométricas pré/pós cozimento. Além disso, o produtor pode posteriormente retardar o fenômeno de hidratação/expansão do agente expansor recobrando os grânulos (adsorção) com um polímero idôneo (retardante) e com processos de sinterização múltipla. O produto principal derivante da hidratação da parte de óxido de cálcio é, portanto, uma “Portlandita” *ad hoc* que poderá intervir inteligentemente, proficuamente, massivamente e temporalmente nas várias fases de gênese do concreto e também em presença de atividades pozolânicas dentro do concreto.

Para atender às problemáticas e conhecidas condições críticas dos normais agentes expansores (rápidos) à base de óxido de cálcio – daqui por diante evidenciadas – foi preciso recorrer ao emprego no MIX DESIGN de posteriores agentes micro expansores de ação compactante e de lenta e tenaz ação micro expansora de produtos adequadamente pela Chimica Edile para as finalidades da pesquisa do Departamento de Ciências da Terra e melhor ilustrados nos parágrafos seguintes. Tais posteriores agentes expansores podem estar ao lado de aditivos de ação rápida e imediata, já conhecidos há diversos anos pelos estudiosos e pelo mercado.

Para fins de cálculo da dosagem em relação ao peso do Cim I 52, 5R, o quantitativo utilizado para o MIX nº10 (A4) com base de 320 Kg de CIM I 52, 5R resulta de (rápido) foi feito, por exemplo, como segue:

$$e.r = 0,06 \times 320 = 1,92 \text{ kg}$$

Adição com base de óxidos compactantes e de ação expansora normal

A adição e a relativa dosagem dos aditivos compactantes de ação normal e de ponderada ação (de 1 a 7 dias) antirretração higrométrica e autógena (e.n) com base em misturas de óxidos de cálcio foram efetuadas e ponderadas no respeito da hipótese de se verificarem retrações ou expansões (ShFC = Shrinkage Free Concrete) próximas ao zero também a médio/longo prazo e de incrementar os valores da resistência à compressão por efeito da diminuição de porosidade do conglomerado e que tem ações de aceleradores e valorizadores das atividades pozolânicas em caso de adições pozolânicas (inertes vulcânicos, cinzas volantes, micro sílica, sílica ativa, etc.) como ilustrado em seguida. O início do fenômeno de expansão de tais óxidos é mais lento e prolongado em relação àqueles precedentes (rápidos) e a sua força é decididamente superior, o quantitativo deve ser adequado para atender à dimensão dos grânulos e à sua maior densidade. A pesquisa monitorou os diagramas Epsilon/t com especiais equipamentos feitos pelo Departamento de Ciências da Terra mas também comparando tais resultados àqueles determináveis aplicando as normas UNI 8146, 8147, 8148, ASTM C157, C878, ACI 223R e UNI 6555. A pesquisa permitiu determinar para os MIX testados um percentual de dosagem ideal inferior à 1% (e.n/c).

Para fins de cálculo da dosagem em relação ao peso do Cim I 52,5R, o quantitativo utilizado de DRY D1 Normal (normale) para os MIX nº10 (A4) com base de 320 kg di CIM I 52,5R resulta: e.n = 0,06 x 320 = 1,92 kg

Adição à base de óxidos especiais de lenta ação expansora

A ação e a relativa dosagem dos aditivos de lentíssima ação expansora (geralmente de 7 a 28 dias), ou seja, mitigantes dos fenômenos da retração a longo prazo (e.L) a base de misturas de óxidos de cálcio e outras adições minerais foram efetuadas e ponderadas no respeito da hipótese de se verificarem retrações ou expansões (ShFC = Shrinkage Free Concrete) próximas ao zero mesmo a longo prazo e de incrementar os valores da resistência à compressão por efeito da diminuição de porosidade do conglomerado e de micro fissuras de retração no concreto endurecido, frágil e quase completamente desidratado, monitorando os diagramas Epsilon/t com especiais equipamentos feitos pelo Departamento de Ciências da Terra mas também comparando tais resultados àqueles determináveis aplicando-se as normas UNI 8146, 8147, 8148 e ASTM C157, C878, ACI 223R e UNI 6555. A pesquisa permitiu determinar um percentual de dosagem próximo a 1% (e.L/c). O quantitativo deve ser maior para atender à grande dimensão dos grânulos e à sua elevada densidade e baixa reatividade.

Para fins de cálculo da dosagem em relação ao peso do Cim I 52,5R, o quantitativo utilizado de DRY D1 L (Lento) para o MIX n°10 com base de 320 kg de CIM I 52,5R resulta: e.L = 0,10 x 320 = 3,20 kg

Mistura e sinergia dos óxidos especiais de ação expansora e compactante

Depois de ter estudado os efeitos dos agentes de ação expansora, a pesquisa aperfeiçoou a melhor dosagem combinando entre eles a ação dos 3 agentes expansores com o fim de otimizar a sua ação sinérgica em função do MIX DESIGN e das condições no contorno e externas.

Evidencia-se que a tipologia do cimento pode influenciar e variar sensivelmente a ação micro expansora e compactante da linha de aditivos DRY D1.

Adição de minerais ativos pozolânicos e filerizantes (cv & rvm)

No respeito da UNI EN 12620, UNI EN 450, UNI EN 197 e UNI EN 11104, UNI EN 206, como ilustrado na premissa foram empregadas duas tipologias de minerais ativos que são de qualquer maneira adequadamente encontráveis no mercado a custos contidos:

cv = cinzas volantes de atividade pozolânica e com desempenho para melhorar a trabalhabilidade da pasta e otimizar a curva granulométrica dos inertes, dosagem máxima utilizada próxima ou menor do que 33% da dosagem de cimento (Cim 52,5R) com o fim de garantir o balanceamento mínimo com uma quantidade de hidróxido de cálcio e de água idônea para ativar “a adição pozolânica”.

rvm: rochas vulcânicas trituradas com atividade pozolânica e térmica (adição classificada como tipo II), dosagem média igual a 8% do cimento utilizado e mesmo assim sempre menor do que 33% da dosagem de cimento (Cim I 52, 5R) com o fim de garantir o balanceamento mínimo com uma quantidade de hidróxido de cálcio e de água idônea para ativar “a adição pozolânica”; e também sílica ativa, metacaulim, etc.

No projeto de pesquisa, a adição de tais minerais ativos foi feita tanto na forma combinada como separada, ou seja, foram utilizados distintos MIX sem adição de minerais ativos (nota: somente inertes calcários na fase 1, com adição somente de Cinzas Volantes ou só Rochas Vulcânicas Trituradas/Sílica ativa/Metacaulim (fase 2) e MIX com adição ponderadamente combinada de Cinzas Volantes + Rochas Vulcânicas Trituradas (fase 3 em andamento) com a finalidade de se ter parâmetros de comparação bem claros para uma correta análise “custos/benefícios”.

Para a determinação do conteúdo de cimento por m³ (UNI 11104:2004 para a aplicação na Itália da EN206, se verifica respectivamente o que segue:

$$cv/c < 0,33$$

$$cv/c = 100/320 = 0,31 < 0,33$$

$$c.tot = c_{.eq} = c (Cem 52,5R) + 0,33 cv = 320 + 0,33 \times 100 = 320 + 33 = 353 = \sim 350 \text{ kg/m}^3$$

No que concerne a análise das dimensões, formas e características de porosidade das partículas (esferas fechadas, cenosferas e pleuroesferas com porosidades acessíveis) das adições minerais pozolânicas e fillerizantes (cv e rvm) o microscópio eletrônico caracterizou as especificidades dos dois distintos materiais, evidenciando a maior fineza e rotundidade da cinza volante (industrial) em relação às rochas vulcânicas trituradas e disponíveis atualmente.

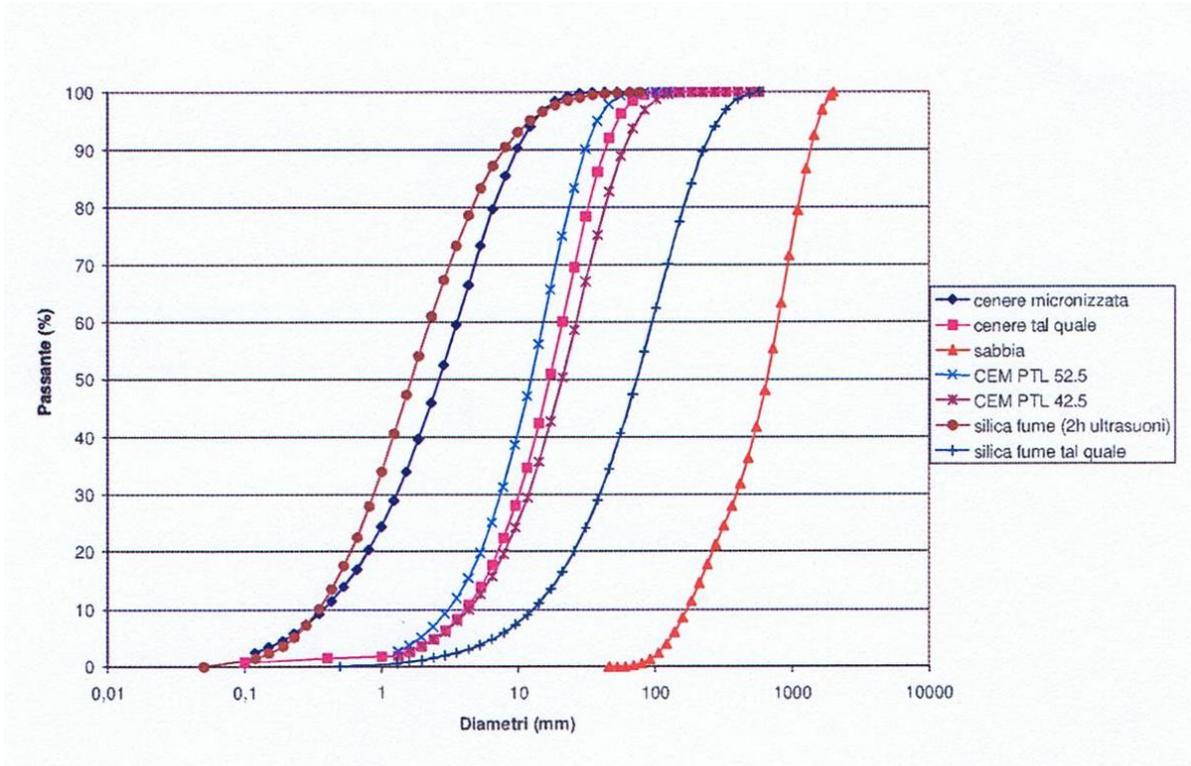
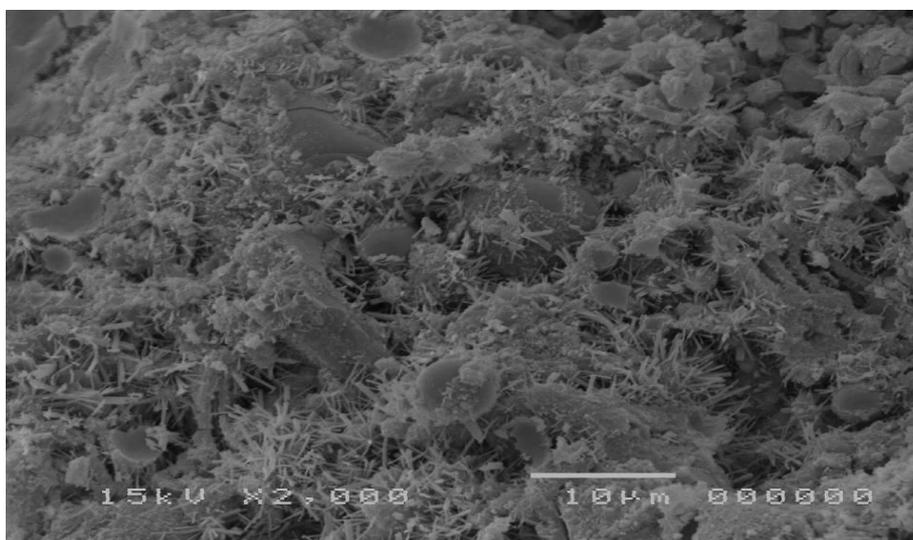


Figura: Confronto entre as distribuições granulométricas Laser de cinza nativa, cinza micronizada, cimento Portland 42.5 e 52.5, fumo de sílica (Referência e desagregado).

MONITORAÇÕES SEM COMPORTAMENTO POZOLÂNICO (em andamento, a partir de 16 de julho de 2012) SEÇÃO FINA (em andamento, a partir de 16 de julho de 2012)

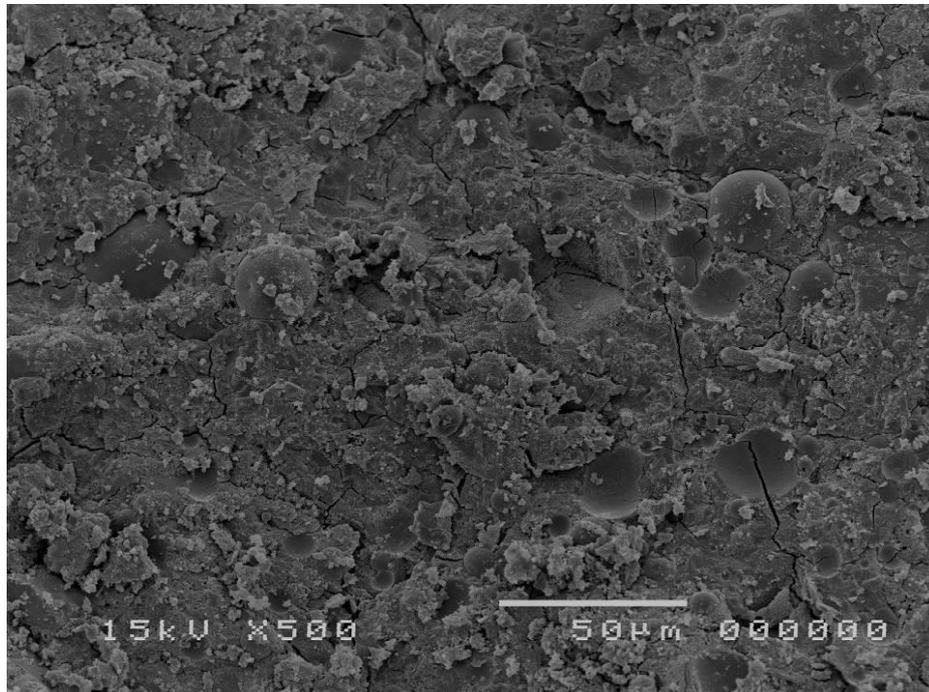
A rocha vulcânica triturada apresenta particulares capacidades térmicas pela presença de zeólitos e é capaz de influenciar sensivelmente a temperatura do concreto fresco. A temperatura de um concreto fresco é fortemente influenciada pela temperatura externa, mas principalmente pela temperatura de seus elementos, geralmente calculada como segue.

t.concreto = 0,70 t.inertes + 0,20 t.água + 0,10 t.cimento



Micrografia ao SEM

(ampliações a x2000 e x500) do MIX Elementar (Referência + DRY 2,2%+ Cinzas Volantes 30%) em uma zona rica di microesfereas de Cinza Volante.



Protocolo de pesquisa e de execução dos testes

Os equipamentos do laboratório do Departamento de Ciências da Terra e de outros laboratórios a ele ligados permitiram determinar, controlar e monitorar no tempo os testes indicados na tabela abaixo.

<u>TESTES</u>	<u>REFERÊNCIA NORMATIVA</u>	<u>NOTAS</u>
Resistência à compressão	UNI 12390-3	Amostras 15x15x15, 10x10x10, etc
Resistência à tração	UNI 12372	
Densidade	UNI	
Expansão-Retração	UNI 8148 – Método b	
Classe consistência (SLUMP)	UNI 206-1	
SEM, SEM-EDS em seções finas		
Dif. Raios X		
Porosimetria ao mercúrio		
Absorção água press. Atm.	UNI EN 13755	
Ultrassons		

Rck (MPa) = resistência à compressão por esmagamento de amostras de cubos de dimensões 15x15x15, 10x10x10 e 7x7x7 cm de pastas de concreto e de misturas elementares (cimento+água+aditivos+minerais ativos, ou seja, na ausência de adição dos inertes). As resistências foram determinadas a 1 dia, 7 dias, 28 dias (maturados em água). As temperaturas de maturação foram 3 (fria, temperada, quente) com o fim de abranger a sensibilidade das dosagens e dos efeitos dos vários componentes ao variar a temperatura.



Foto: Prensa (carga máxima 3000 kN) utilizada para a determinação da resistência à compressão (Departamento de Ciências da Terra – Universidade dos Estudos de Nápoles Federico II)



Foto: Prensa (carga máxima 25kN) utilizada para a determinação da resistência à tração (Departamento de Ciências da Terra – Universidade dos Estudos de Nápoles Federico II)



Foto: SEM (Scanning Electron Microscope) mod. Jeol JSM 5310 (CISAG, Nápoles).



Foto: Porosímetros mercúrio Thermo Finnigan da série Pascal 140, 240 e 440 (Departamento de Ciências da Terra – Universidade dos Estudos de Nápoles Federico II).



Foto: Difratorômetro automático Panalytical X'Pert PRO PW 3040/60 com detector RTMS X'celerator e unidade MPD PW 3710 (Departamento de Ciências da Terra – Universidade dos Estudos de Nápoles Federico II)

Riepílogo e discussão dos primeiros resultados da pesquisa

A pesquisa permitiu ajustar alguns possíveis MIX DESIGN finais de elevada competitividade técnico-econômica para a indústria da pré-fabricação e dos concretos de alto desempenho, e interessantes ideias para o emprego de aditivos de nova geração. A minimização da retração comporta, como se sabe, uma série notável de vantagens, seja pela ausência de fissuras, seja pelo comportamento diverso das armaduras (especialmente se protendidas), um conseqüente incremento da durabilidade do concreto e a redução dos efeitos diferidos de concretos à base de micro-fillers. A presença de materiais pozolânicos (combinados com os óxidos de cálcio em questão) além de fazer incrementar as resistências mecânicas em breve e médio prazo, ajuda a melhorar a microestrutura do concreto (pela drástica transformação de Portlandita em fibras C-S-H). Os fenômenos de micro expansão reduzem positivamente a permeabilidade e a porosidade dos concretos, garantindo também estabilidade volumétrica evitando estresse, turbativas e traumas ao concreto por efeito da retração higrométrica e de coações por hiperestaticidade interna e externa do c.a e do c.a.d.

Tudo isso permite produzir, através das sinergias e das harmonizações dos aditivos e adições estudados, concretos decididamente “de alto desempenho, duráveis e economicamente concorrenciais”.

MIX: “Cim I 52,5 R a 320 kg/m³+ CV a 100 kg/m³+ DRY D1 L/N/R a 2,2%+ SUPER FLUIDIFICANTE a 1%”

ELEMENTOS:	Kg/m ³	Notas:
INERTES	1.950,00	areia + brita + cascalho
CIMENTO I 52,5 R	320,00	
FLUIDIFICANTE	3,20	1% em relação ao cimento
DRY D 1 RÁPIDO/COMPACT	1,92	0,6% em relação ao cimento
DRY D 1 NORMAL/COMPACT	1,92	0,6% em relação ao cimento
DRY D 1 LENTO	3,20	1% em relação ao cimento
CV	100,00	
RMV		Uso alternativo
ACELERADORES		Clima frio (de 1% a 1,5%)
ÁGUA:		
ÁGUA PARA O CIMENTO	134,00	$a/c = 0,41 \div 0,43$
ÁGUA PARA AS CINZAS VOLANTES	16,00	$k = 0,40 \times a/c$

Teste di Porosimetria ao mercúrio

Entre as várias possíveis técnicas de medida dos poros, as de intrusão de mercúrio e de adsorção/dessorção de gás são as técnicas mais usadas.

A porosimetria a mercúrio é uma técnica desenvolvida por Ritter e Drake em 1945, que permite medir as dimensões e a distribuição dos macroporos e mesoporos em substâncias sólidas porosas (cfr. figura abaixo).

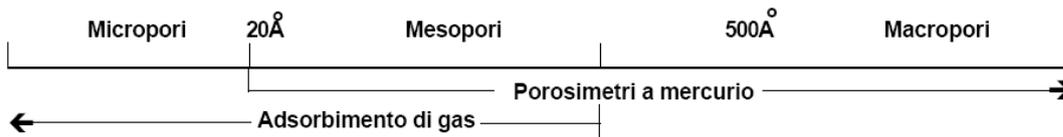


Figura: Campos de medida das técnicas de intrusão de mercúrio e de adsorção/dessorção de gás.

A técnica se baseia na propriedade do mercúrio de comportar-se como líquido não-banhante com uma grande variedade de sólidos. Graças a esta característica o mercúrio penetra através dos poros abertos de uma amostra sólida sob o efeito de uma pressão crescente.

O raio dos poros penetrados é inversamente proporcional à pressão exercida segundo uma relação proposta por Washburn:

$$P = (2\gamma \cos \Theta)/r$$

Onde:

P = pressão absoluta exercida; r = raio do poro; γ = tensão superficial do Hg (48mN/m²); Θ = ângulo de contato (141,3°).

Onde algumas admissões devem ser consideradas:

- I. A tensão superficial do mercúrio e o ângulo de contato com o sólido são constantes durante a análise (como valor médio 480 dynes/cm);
- II. A pressão de intrusão deve ser em equilíbrio;
- III. Os poros são considerados de forma cilíndrica;
- IV. O sólido não se deforma sob o efeito da pressão;
- V. O ângulo de contato (a 141,3°) depende da natureza da amostra e pode, portanto, ser considerado somente como valor médio deduzido pelas medidas realizadas sobre um grande número de amostras cujos valores estão entre 125° e 152°.

Junto a estas aproximações, se deve admitir também que a natureza das substâncias porosas e a forma do poro permanecem constantes por todo o inteiro range de pressão aplicada durante a análise.

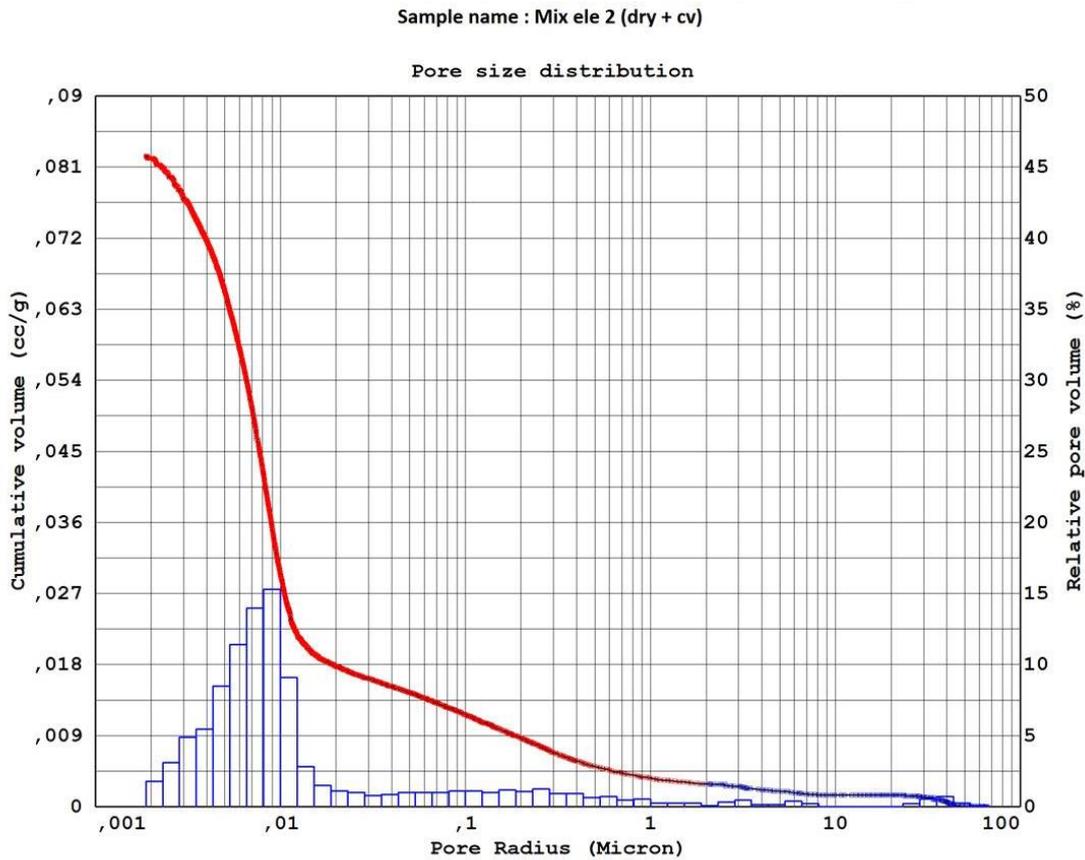
Os dados experimentais para o cálculo da distribuição dos poros em função de seu raio foram obtidos pela quantidade de Hg penetrada nos poros da amostra e a pressão de equilíbrio na qual acontece a intrusão.

A análise foi realizada através de dois equipamentos da Thermo Finnigan denominadas PASCAL 140 e 440. Seu emprego combinado tornou possível alcançar uma pressão máxima de exercício igual a 400 Mpa, com um cuidado maior de 0.2%, fornecendo, sobre um fragmento de amostra de pasta de cimento, o histograma de frequência da distribuição do volume dos poros em função do raio com os seguintes resultados:

Volume específico dos poros; Superfície específica; Raio médio dos poros; Porosidade percentual; Densidade de massa (Bulk Density-BD); Densidade aparente.

Os testes de porosimetria a mercúrio sobre as já citadas pastas elementares de cimento evidenciaram as diferentes distribuições do raio dos poros, em particular para a pasta de cimento 0 (Referência) e a pasta de cimento 1 (Referência + EXPANSOR) a distribuição é bimodal com uma concentração prevalente para os mesoporos e um adensamento mais limitado entre os macro e os mesoporos.

A pasta de cimento 3 (com adição à Referência de EXPANSOR e CINZA VOLANTE) apresenta uma distribuição unimodal com concentração das dimensões dos poros na faixa menor dos mesoporos (figura XX) confirmando uma maior homogeneidade da massa e da microestrutura com evidentes incrementos da resistência mecânica.



RESULTS

Total cumulative volume (cc/g) : ,0824
 Total specific surface area (m²/g) : 22,597
 Average pore radius (Micron) : ,008999
 Total porosity (%) : 15,4274
 Bulk density (g/cm³) : 1,87282
 Apparent density (g/cm³) : 2,21446

{Y+ Cinza

TESTE de Absorção de Água à pressão atmosférica - UNI 13755

MIX CONCRETO Cim 320 kg/m ³	COEFICIENTE MÉDIO ABSORÇÃO H ₂ O	NOTAS
REFERÊNCIA	3,00- 3,10 -3,20	MIX 0
REFERÊNCIA + DRY	2,77- 2,87 -2,97	MIX 1
REFERÊNCIA + CV	2,84- 2,94 -3,04	MIX 2
REFERÊNCIA + DRY+CV	2,58-2,68-2,78	MIX 3



Foto – Teste de absorção de água

Teste VELOCIDADE ULTRASSÔNICA

MIX CONCRETO	VELOCIDADE MÉDIA m/seg (20 dias) (amostras desidratadas)	VELOCIDADE MÉDIA m/seg (25 dias) (amostras saturadas)	VELOCIDADE MÉDIA m/seg (28 dias) (amostras desidratadas)	NOTAS
REFERÊNCIA	4.700-4.900	5.000-5.200	5.000-5.250	CONCRETO MIX 0
REFERÊNCIA + DRY	4.700-4.900	5.000-5.200	5.000-5.250	CONCRETO MIX 1
REFERÊNCIA + CV	4.600-4.800	5.000-5.100	5.000-5.100	CONCRETO MIX 2
REFERÊNCIA + DRY+CV	4.800-5.000	5.100-5.300	5.100-5.250	CONCRETO MIX 3



Foto – Teste ultrassons sobre cubo de 15x15x15

TESTE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO POR ESMAGAMENTO – UNI 12390-3

MIX A4: 320 kg/m³ de CIM I 52,5 + 100 kg/m³ de CV + 7,5 kg/m³ di DRY D1 NEW GENERATION

Resistência à compressão a 1 dia (20°C de temperatura): 38 MPa

Resistência à compressão a 7 dias (20° C de temperatura em água): 65 MPa

Resistência à compressão a 14 dias (20° C de temperatura em água): 75 MPa

Resistência à compressão a 28 dias (20°C de temperatura em água): 95 MPa

MIX A3: 320 kg/m³ de CIM I 52,5 + 100 kg/m³ de CV

Resistência à compressão a 1 dia (20°C de temperatura): 29 MPa

Resistência à compressão a 7 dias (20° C de temperatura em água): 42,5 MPa

Resistência à compressão a 28 dias (20°C de temperatura em água): 62 MPa

MIX A2: 320 kg/m³ de CIM I 52,5 + 7 kg/m³ de DRY (REFERÊNCIA + DRY)

Resistência à compressão a 1 dia (20°C de temperatura): 37 MPa

Resistência à compressão a 7 dias (20° C de temperatura em água): 45 MPa

Resistência à compressão a 28 dias (20°C de temperatura em água): 49 MPa

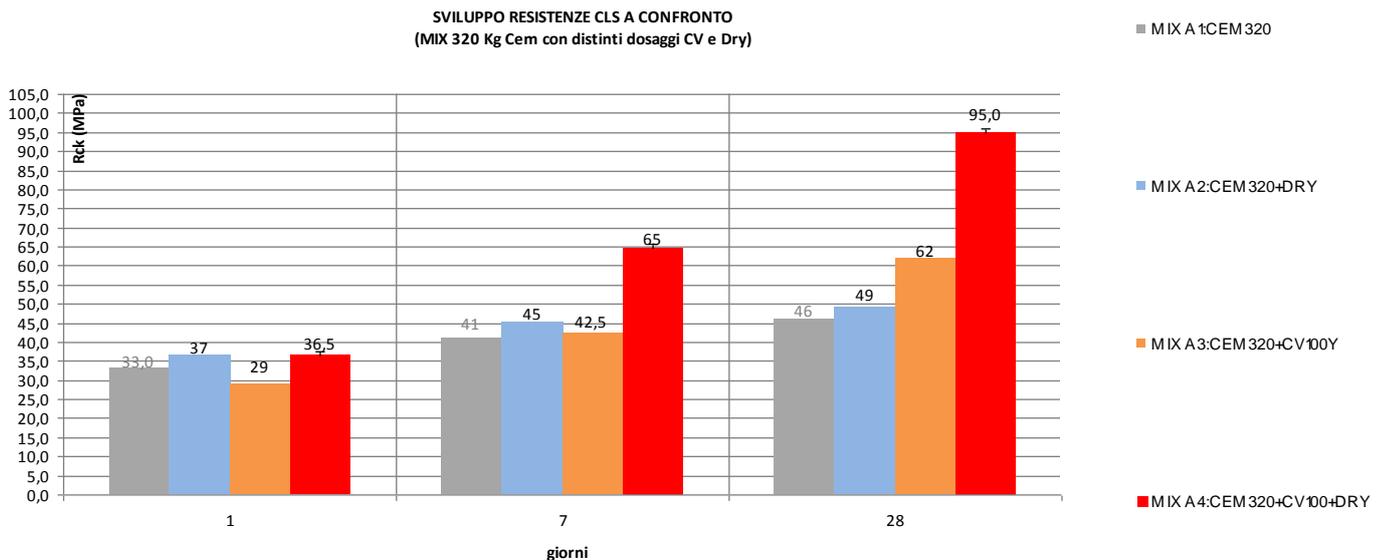
MIX A1: 320 kg/m³ de CIM I 52,5 (REFERÊNCIA)

Resistência à compressão a 1 dia (20°C de temperatura): 33 MPa

Resistência à compressão a 7 dias (20° C de temperatura em água): 41 MPa

Resistência à compressão a 28 dias (20°C de temperatura em água): 46 MPa

Tabela



TESTE de “RESISTÊNCIA à TRACÇÃO” por Flexão - UNI 12372

MIX DESIGN DE CONCRETOS com 320 kg/m³ de CIM I 52,5 R

Dias de maturação (em água)	MIX REFERÊNCIA+CV (MPa)	MIX REFERÊNCIA+ CV + DRY (MPa)	REFERÊNCIA (MPa)
5 dias		6.15	
7 dias			6.98
14 dias		7.41	
21 dias			
28 dias			

Page | 39



TESTE “EXPANSÃO-RETRAÇÃO” - UNI 8148 – Método B

MIX CIM 52,5 a 320 kg/m³ + DRY 2,2% + CV 100 kg/m³

Retração/Expansão UNI a 1 dia (20°C de temperatura e UR 50-60%): + 60 micron
Retração/Expansão UNI a 7 dias (20° C de temperatura e UR 50-60%): + 20 micron
Retração/Expansão UNI a 14 dias (20° C de temperatura e UR 50-60%): 0 micron
Retração/Expansão UNI a 28 dias (20° C de temperatura e UR 50-60%) – 20 micron

Page | 40

MIX CIM 52,5 a 320 kg/m³ + CV 100 kg/m³

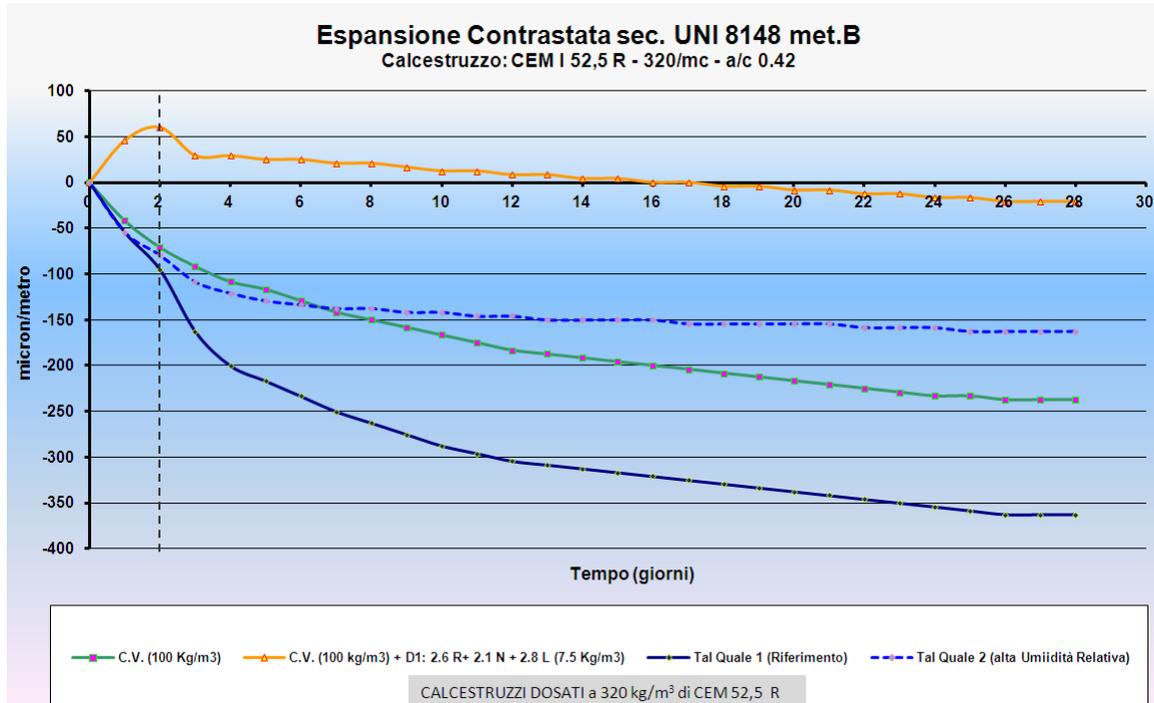
Retração/Expansão UNI a 1 dia (20°C de temperatura e UR 50-60%): -70 micron
Retração/Expansão UNI a 7 dias (20° C de temperatura e UR 50-60%): -140 micron
Retração/Expansão UNI a 14 dias (20° C de temperatura e UR 50-60%): -190 micron
Retração/Expansão UNI a 28 dias (20° C de temperatura e UR 50-60%) – 240 micron

MIX CEM 52,5 a 320 kg/m³ + CV 100 kg/m³

Retração/Expansão UNI a 1 dia (25°C de temperatura e UR 40-50%): -75 micron
Retração/Expansão UNI a 7 dias (25° C de temperatura e UR 40-50%): -140 micron
Retração/Expansão UNI a 14 dias (25° C de temperatura e UR 40-50%): -190 micron
Retração/Expansão UNI a 28 dias (25° C de temperatura e UR 40-50%) – 240 micron

MIX CIM 52,5 a 320 kg/m³ + CV 100 kg/m³

Retração/Expansão UNI a 1 dia (20°C de temperatura e UR 50-60%): -70 micron
Retração/Expansão UNI a 7 dias (20° C de temperatura e UR 50-60%): -135 micron
Retração/Expansão UNI a 14 dias (20° C de temperatura e UR 50-60%): -150 micron
Retração/Expansão UNI a 28 dias (20° C de temperatura e UR 50-60%) – 165 micron



ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA

Dosagem cimento: o emprego dos aditivos micro expansores/compactantes DRY D1 comporta um incremento das resistências à compressão entre 10-15%. Esse incremento poderia implicar uma otimização do MIX DESIGN, em caso de igualdade de resistência à compressão, uma redução da dosagem do cimento entre 5-10%.

Page | 41

Dosagem cimento: o emprego dos aditivos micro expansores/compactantes DRY D1 combinados e em sinergia a pós de atividade pozolânica comporta um posterior incremento das resistências à compressão entre 5-10%. Esse incremento poderia implicar uma otimização do MIX DESIGN, em caso de igualdade de resistência à compressão, uma redução da dosagem do cimento de cerca 5-7%.

Trabalhabilidade: DRY D1 graças à sua fineza melhora sensivelmente a trabalhabilidade e slump da pasta fresca. Tal trabalhabilidade melhora ainda mais se combinada a pós finos pozolânicos.

Dosagem de DRY D1: a nova geração de aditivos micro expansores/compactantes (estabilidade volumétrica controlada) consente uma redução até 40% de dosagem de DRY D1 para obter a redução da retração final.

Durabilidade: a menor absorção de água, a menor porosidade e a eliminação de fissuras por retração dos concretos produzidos com DRY D1 incrementa o desempenho de durabilidade.

Resistência química: o emprego dos aditivos micro expansores/compactantes DRY D1 combinados e em sinergia a pós de atividade pozolânica comporta um posterior incremento das resistências químicas.

Agradecimentos

TODA A EQUIPE DA CHIMICA EDILE SRL, Eng. F. POMPONIO e Técnico de edificações S: GRUOSSO INPES SPA, Técnicos do laboratório do Departamento Ciências da Terra, Eng. A. PASQUINI da General Admixture, DETTA SPA, CAIVANO CALCESTRUZZI SRL, Técnico de Edificações N. ZACCARO,

Referências normativas

NTC

UNI EN 934-2 e UNI 12350– Aditivos fluidificantes

UNI 8146, UNI 8147, UNI 8148 e UNI EN 1992-1-1/Eurocódigo 2 + Apêndice B - D.M. 14/01/08 par.

11.2.10.6. ASTM C157, C878 e ACI 223R – Agentes antirretração/expansores não metálicos para pastas de cimento. Determinação expansão.

UNI EN 450/2005 – Cinzas Volantes

UNI 13263-3 - MARCATURA CE

UNI EN 12620- Agregados e adições do concreto

UNI EN 206–2006 e UNI 11104-2004 – Durabilidade do Concreto e classes exposição

UNI 206-1 - Classe de consistência do concreto fresco

EN 206-1, UNI EN 932-3,UNI 8520 – Inertes para concreto

UNI EN 1008 – Qualidade água no concreto

UNI EN 197-1 – Cimentos para o concreto e classificação aditivos/adições

UNI 7123 – Concreto: determinação dos tempos de início e fim de pega.

UNI 12390-3 – Provas sobre concreto endurecido – Resistência à compressão das amostras

UNI EN 196-2 –Determinação cloretos solúveis em ácidos, teores em álcali, conteúdo CaO, Al₂O₃, etc.

UNI EN 196-3 -Tempo início pega da pasta de cimento

UNI EN 196-6 –Determinação da fineza (Resíduo sobre 90 micron m). Método de peneiração.

UNI EN1097-7 -Massa Volumar

UNI 7044-Determinação da consistência das argamassas.

UNI 12390-8 – Determinação penetração H₂O

Bibliografia

(1) “MICRO-PORO-MECCANICA APPLICATA ALL'SCC” – MARIO COLLEPARDI, JEAN JACOB OGOUMAH OLAGOT – Politecnico di Milano – ENCO

(2) “ADDITIVI ESPANSIVI E ANTIRITIRO SENZA CLORURI E SENZA FORMAZIONE DI ETRINGITA” – ROSSANO VANNETTI – CHIMICA EDILE

(3) RECENTI SVILUPPO NEL SETTORE DEGLI ADDITIVI PER CALCESTRUZZI – MARIO COLLEPARDI - ENCO

(4) “TECNOLOGIA DELLA CENERE VOLANTE MICRO POZZ PFA” – G.A. – General Admixtures SpA - Rev. 2008

(5) “SI PUO’ GOVERNARE IL RITIRO DEL CALCESTRUZZO ?” – N. URSI – IN CONCRETO N.99 MARZO-APRILE 2011 – ATECAP

(6) “UTILIZZO DI ADDITIVI ESPANSIVI PER FRONTEGGIARE I FENOMENI DI FESSURAZIONE DA RITIRO TERMICO” – V. ROSSETTI, A. FERRARO, G.RANZO, F. ZENONE, S. ZAMPALETTA – IN CONCRETO N. 88 - ATECAP

(7) “CENERI VOLANTI DELL’ENEL DI BRINDISI PER PAVIMENTAZIONI STRADALI “ – prof. Marroccoli – UNIV. BASILICATA

(8) “CALCESTRUZZI SPECIALI – COLLEPARDI ET ALTRI – MAC”

(9) “IL NUOVO CALCESTRUZZO – M. COLLEPARDI, S. COLLEPARDI, R. TROLI – EDIZ. TINTORETTO – 2009”

(10) “COMPORAMENTO MECCANICO DEI MATERIALI – P. DAVOLI, A. BERNASCONI, M. FILIPPINI, S. FOLETTI – MCGRAW-HILL – 2005”

(11) “DEC – M. COLLEPARDI – ENCO SRL – 2011”

(12) "Z come ZONA DI TRANSIZIONE", Mario Collepardi

(13) “CALCESTRUZZO A RITIRO COMPENSATO PER STRUTTURE SPECIALI” , ROBERTO TROLI, ENCO 47

(14) Z. Zhibin “Synergistic effect og MgO based expansive agent and shrinkage reducing admixture on compensating the shrinkage of cementitious materials”, 2009

- (15) de' Gennaro M., Langella A., Cappelletti P., Di Bartolomeo P. Valutazione tecnica di tufi zeolitizzati provenienti da depositi del Lazio settentrionale. 1. caratterizzazione di base. Atti 3 congresso nazionale AIMAT 1996.
- (16) de' Gennaro M., Langella A., Colella C., Pansini M. Evoluzione nell'impiego del tufo zeolitizzato: da materiale lapideo strutturale a ceramico microporoso multifunzionale. Liguori editore
- (17) de' Gennaro M., Franco E., Langella A., Mirra P., Morra V. (1982) Le phillipsiti dei tufi gialli del Napoletano. *Period. Mineral.*, 287-310.
- (18) de' Gennaro M., Colella C., Franco E., Aiello R. (1983) Italian zeolites 1. Mineralogical and technical features of neapolitan yellow tuff. *Industrial Minerals*, 186, 46-53.
- (19) de' Gennaro M., Colella C., Aiello R., Franco E. (1984) Italian zeolites 2. Mineralogical and technical features of Neapolitan campanian tuff. *Industrial Minerals*, 204, 97-109.
- (20) de' Gennaro M., Franco E., Rossi M., Langella A., Ronca A. (1987) Epigenetic minerals in the volcanoclastic deposits from central-southern Italy: a contribution to zeolite genesis. *Rend. Acc. Sc. Fis. Mat. in Napoli, Special Issue*, 107-131.
- (21) de' Gennaro M., Petrosino P., Conte M. T., Munno R., Colella C. (1990) Zeolite chemistry and distribution in a neapolitan yellow tuff deposit. *Eur. J. Mineral.*, 2, 779-786.
- (22) de' Gennaro M., Langella A. (1996) Italian zeolitized rocks of technological interest. *Mineral. Deposita*, 451-472.
- (23) de' Gennaro M., Incoronato A., Mastrolorenzo G., Adabbo M., Spina G. (1999) Depositional mechanism and alteration processes in different types of pyroclastic deposits from Campi Flegrei volcanic field Southern Italy: *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 91, 303-320.
- (24) de' Gennaro M., Calcaterra D., Cappelletti P., Langella A., Morra V. (2000) Building stone and related weathering in the architecture of the ancient city of Naples, *Journal of Cultural Heritage*, 399-414.
- (25) de' Gennaro M., Cappelletti P., Langella A., Perrotta A., Scarpati C. (2000) Genesis of zeolites in the Neapolitan Yellow Tuff: geological, volcanological and mineralogical evidence, Springer-Verlag, 17-35.
- (26) M. Fernanda Diatz - "Disminucion de la Retracion Quimica con aditivo DRY D1 en pasta de cemento blanco" - Colombia – Laboratorio I & D ARGOS - Anno 2011