

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

TESI DI LAUREA
IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale

“Analisi del possibile impiego di aggregati riciclati nella produzione del calcestruzzo”

Relatore
Ch.mo de Gennaro Bruno

Candidata
Ilaria Mariaida Iorlano
Matr. N49/118

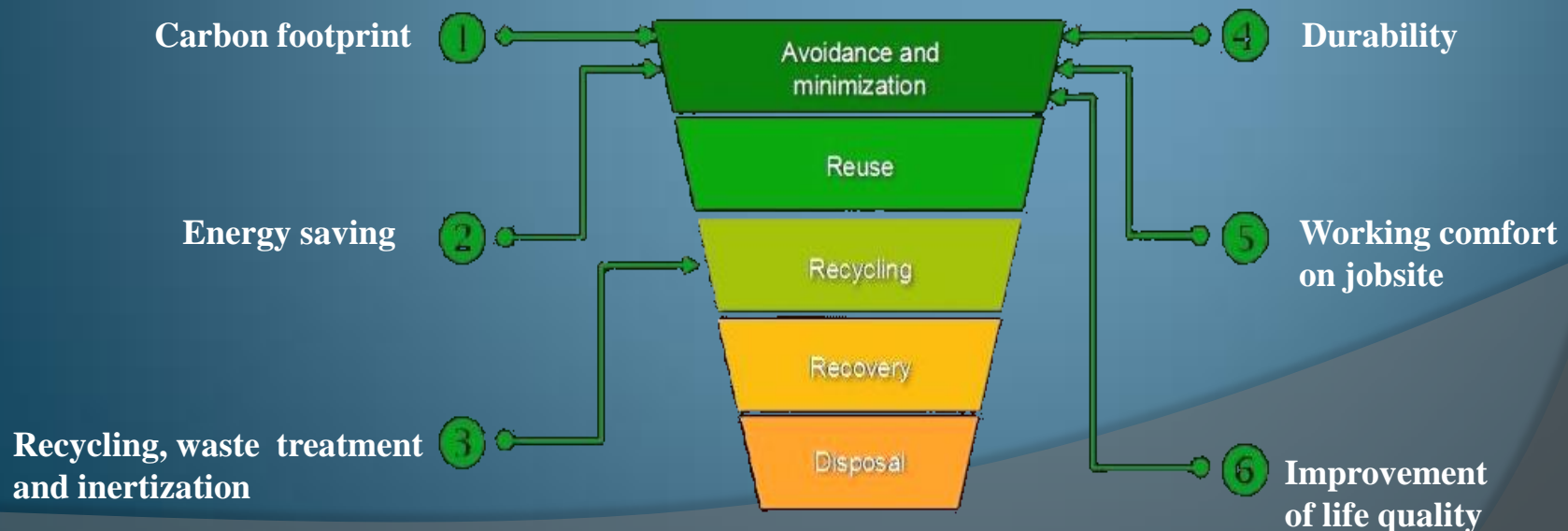
Anno accademico 2015-2016

Obiettivo

Analisi del potenziale impiego nella costruzione civile dei prodotti ottenuti dalla lavorazione delle scorie derivanti dall'industria siderurgica e delle ceneri pesanti da RSU.



L'impiego di tali prodotti comporta la riduzione di materiali configurabili come rifiuto e minimizza le ripercussioni negative sull'ambiente e sui relativi costi.



MARCATURA CE

Documento di trasporto n°	1	de:	11/01/10	Nome commerciale:	RICICLATO 0/40
CE	CaveTest Srl Via Dottorina, 59 - 46043 Castiglione d/S (Mn) 10 1234-CPD-56789				
	EN 13242:2002 + A1:2007				
	Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e costruzione di strade				
Forma delle particelle		FI	SI ₃₀	FL ₂₅	
Dimensioni delle particelle		d/D	0/31,5		
		cat.	G _{0,85}	GT ₁₀	
Massa volumica delle particelle		Mg/m ³	2,59		
Purezza					
Contenuto in fini		f	f ₃		
Qualità dei fini		% MB,SE	41 SE	1,4 MB	
Percentuale di particelle frantumate		C	C _{90,3}		
Resistenza alla frammentazione/frantumazione		LA	LA ₄₀		
Stabilità di volume		V	V ₃		
Assorbimento/soluzione di acqua		WA %	1,83		
Composizione/contenuto					
Calcestruzzi		Rc	Rc ₄₇		
Pietra naturale, calcestruzzi, vetro		Rcug	Rcug ₅₀		
Forati, piastrelle, mattoni		Rb	Rb ₃₀		
Conglomerati bituminosi		Ra	Ra ₁		
Vetro		Rg	Rg ₂		
Altro		X	X ₁		
Frustoli		FL	FL ₅		
Solfati solubili in acido		AS	AS _{0,2}		
Zolfo totale		%S	S ₁		
Componenti che alterano la presa e l'indurimento delle miscele legate con leganti idraulici		Dichiarato	Assenti		
Resistenza all'attrito		M _{CE}	M _{CE50}		
Rilascio di metalli pesanti mediante lisciviazione		Dichiarato	Assenti		
Rilascio di altre sostanze pericolose		Dichiarato	assenti		
Durabilità al gelo/disgelo		F, MS	F ₄		
Origine: Riciclato	Petrografica: aggregato proveniente dalla demolizione di opere civili.				
Frantumazione: Frantumato					
Provenienza: Cantieri edili zona Mantova					

Tab. 6.3 Esempio di etichetta di marcatura CE

D.M. 11/04/2007 “Applicazione della Direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione, recepita con Decreto del Presidente della Repubblica n.246 del 21.04.1993, relativa all’individuazione dei prodotti e dei relativi metodi di controllo della conformità degli aggregati”.

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

D.M. 14 gennaio 2008

11.2.9.2. Aggregati

“Sono idonei alla produzione di calcestruzzo per uso strutturale gli aggregati ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali, artificiali, ovvero provenienti da processi di riciclo conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 12620 e, per gli aggregati leggeri, alla norma europea armonizzata UNI EN 13055-1. Il sistema di attestazione della conformità di tali aggregati, ai sensi del DPR n.246/93 è indicato nella seguente Tab. 11.2.II.”

Tabella 11.2.II

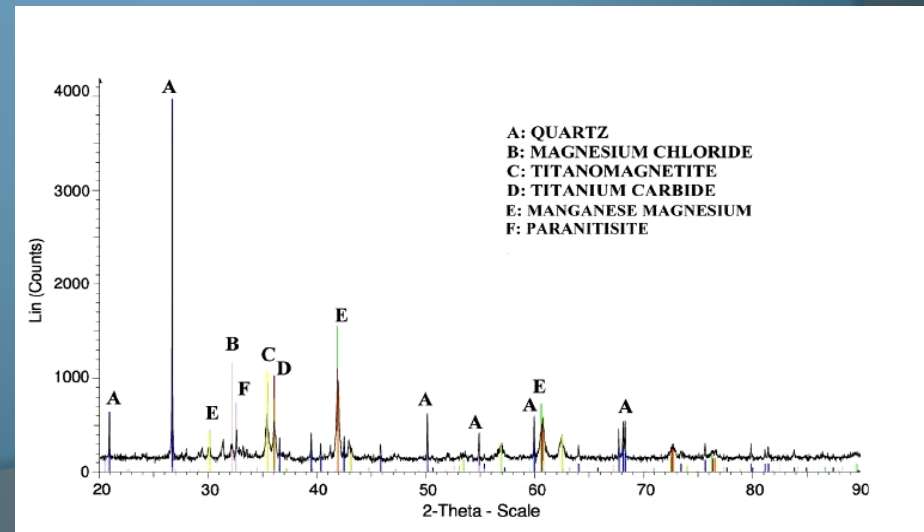
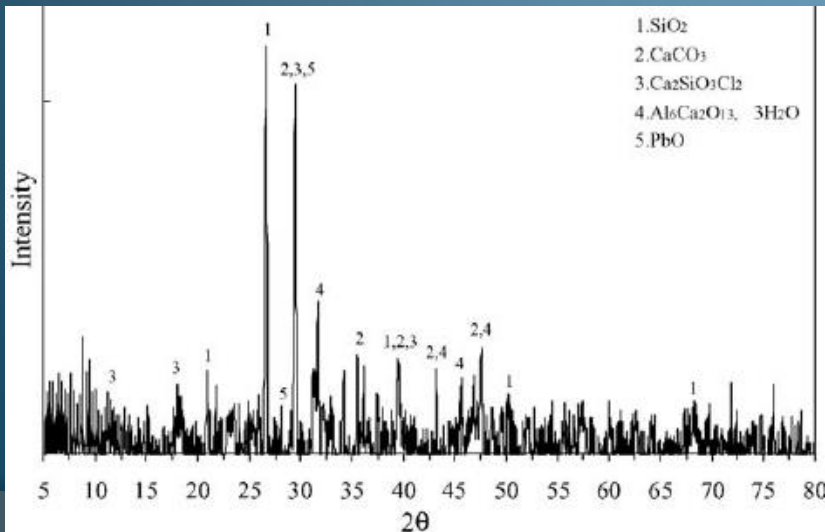
Specifica Tecnica Europea armonizzata di riferimento	Uso Previsto	Sistema di Attestazione della Conformità
Aggregati per calcestruzzo UNI EN 12620 e UNI EN 13055-1	Calcestruzzo strutturale	2+

AGGREGATI RICICLATI ESAMINATI



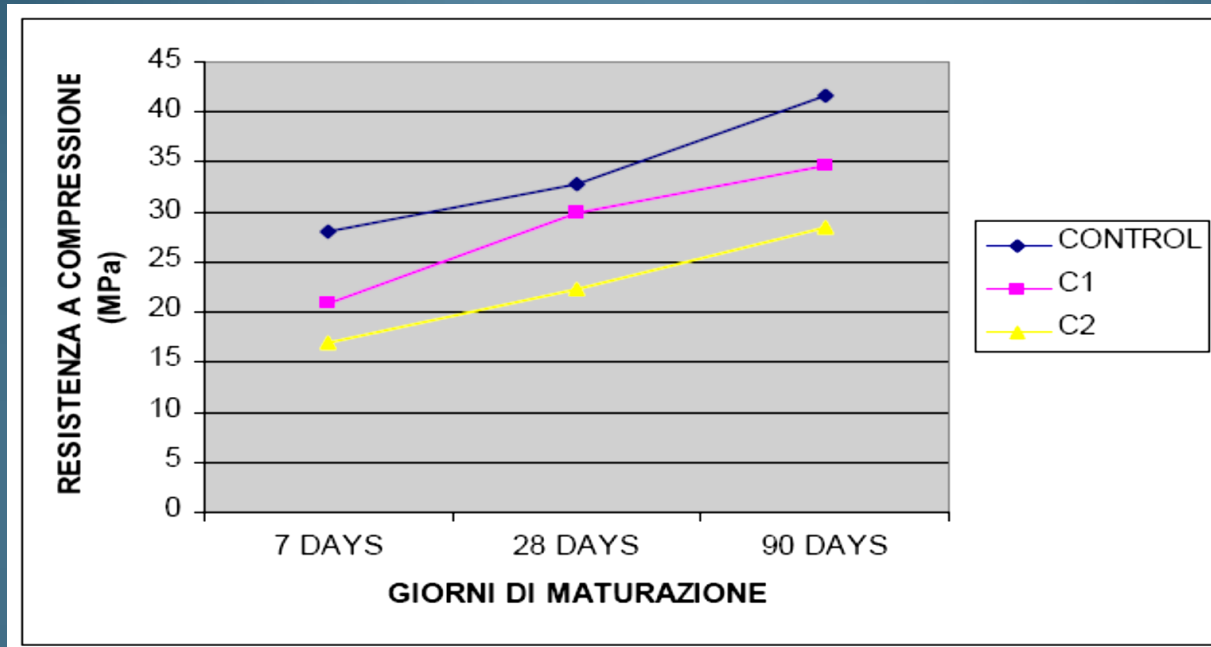
MSWI Bottom Ash

EAF Slag



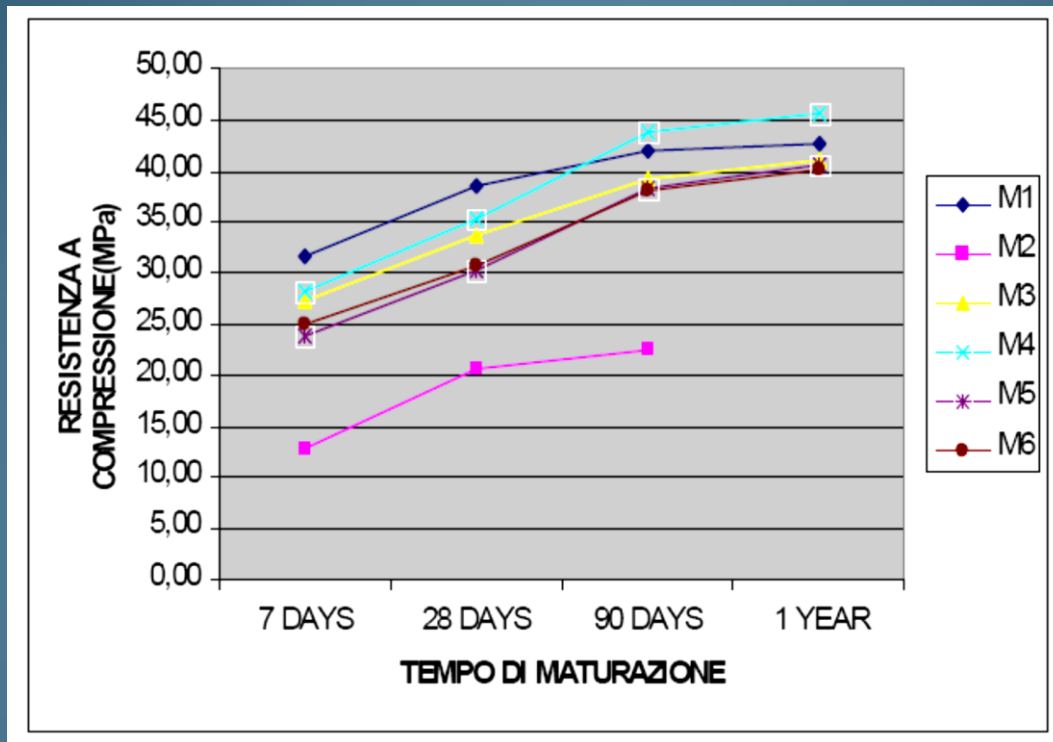
Applicazioni sperimentali

MSWI Bottom Ash



Type of concrete	Control	C1	C2
Mixture proportions (kg/m³)			
Cement OPC	290	290	290
Natural Sand	930	930	930
Natural Gravel	970	500	-
Treated bottom ash	-	420	865
Water	190	183	183
Slump (mm)	125	145	145
Density	2.27	2.26	2.19
Compressive strength (MPa)			
7 days	28.0 ± 2.4	20.8 ± 1.7	17.0 ± 1.7
28 days	32.9 ± 2.4	29.9 ± 1.3	22.3 ± 2.0
90 days	41.8 ± 2.1	34.6 ± 0.8	28.4 ± 1.0

EAF Slag



Type of concrete	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Mixture proportions						
Cement (Kg)	310	310	310	310	310	310
Limestone (0/4 Kg)	930	-	960	480	480	330
Slag (0/4 Kg)	-	950	-	480	480	630
Water (Kg)	186	186	186	186	186	186
Slump (mm)	70	Collapse	50	70	120	70
Compressive strength (MPa)						
7 days	31.6	12.8	27.4	28.1	23.8	25.1
28 days	38.5	20.6	33.7	35.3	30.2	30.7
90 days	41.9	22.4	39.2	43.8	38.3	38.1
1 years	42.7	-	41.1	45.6	40.5	40.2

La reazione alcali – silice (ASR)

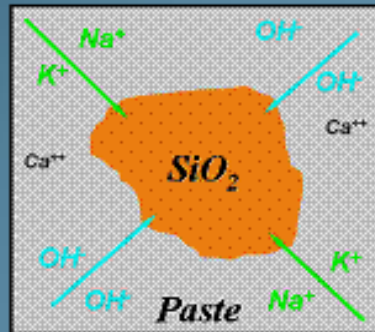
- Si definisce ASR la reazione chimica tra ambiente alcalino del calcestruzzo ed aggregati silicei reattivi.
- Un'elevata concentrazione di alcali (Na_2O , K_2O) nella soluzione dei pori produce un'elevata concentrazione di ioni OH^- e quindi un elevato valore di pH, che causa l'attacco della struttura silicea dell'aggregato.
- Gli ioni alcalini (Na^+ , K^+) contribuiscono alla formazione del prodotto finale della reazione, che consiste in un gel espansivo silicatico-alcalino.
- Il gel silicatico-alcalino, assorbendo l'acqua, espande all'interno del calcestruzzo, causando l'insorgere di sforzi di trazione ed innescando, di conseguenza, stati fessurativi (cracking), con possibili distacchi di materiale (pop-outs).

La reazione alcali – silice (ASR)

(a)

Concrete pore solution is dominated by Na, K & OH (with minor amounts of Ca).

If the silica in the aggregate is reactive – the OH and then the Na & K will react with the SiO_2



(b)

The product of the reaction is in alkali-silica gel composed of Na, K, Ca & Si

The gel forms around and within the aggregate

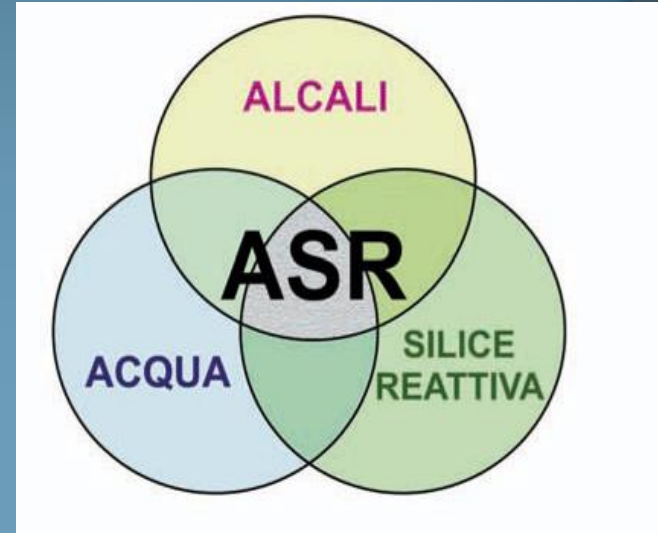
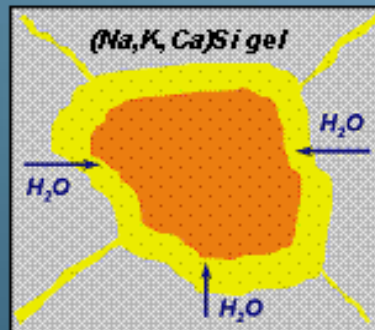


(c)

The gel imbibes water from the surrounding cement paste

The gel expands

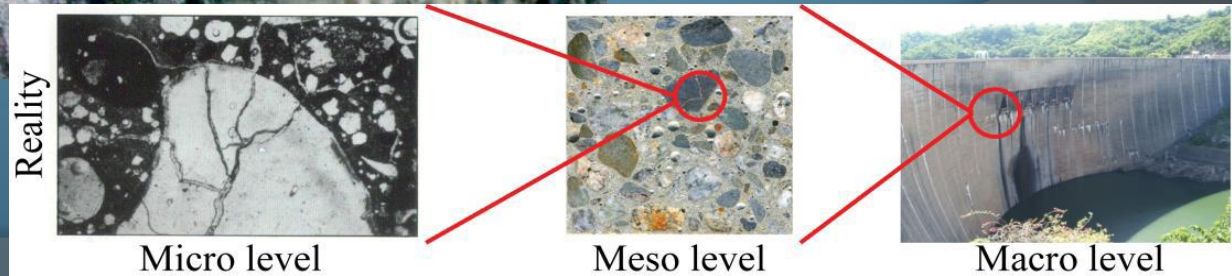
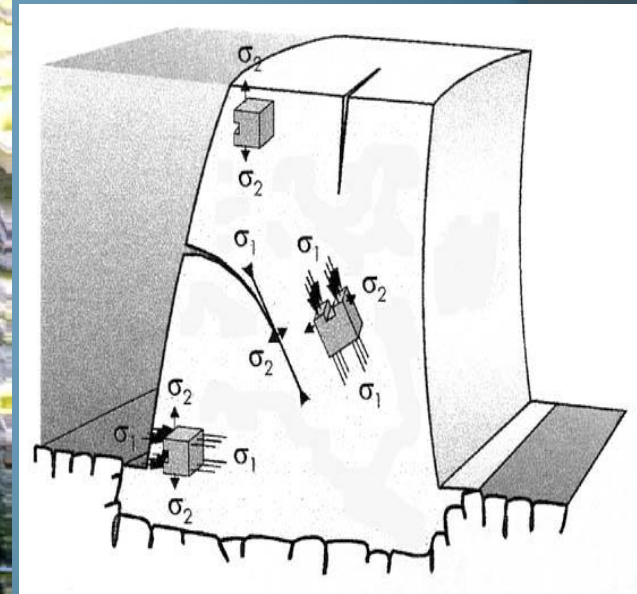
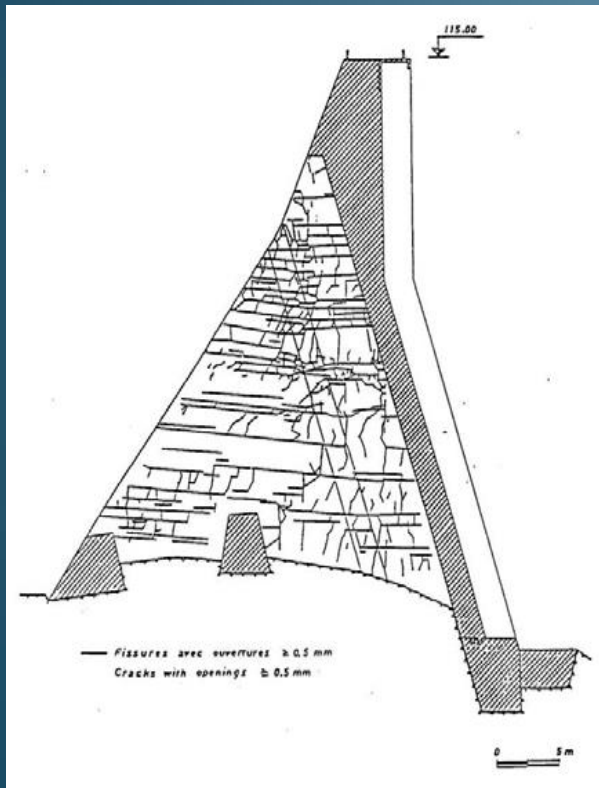
Eventually the swelling pressures may exceed the tensile strength of the surrounding paste and cause expansion & cracking of the concrete



Gel silatico alcalino

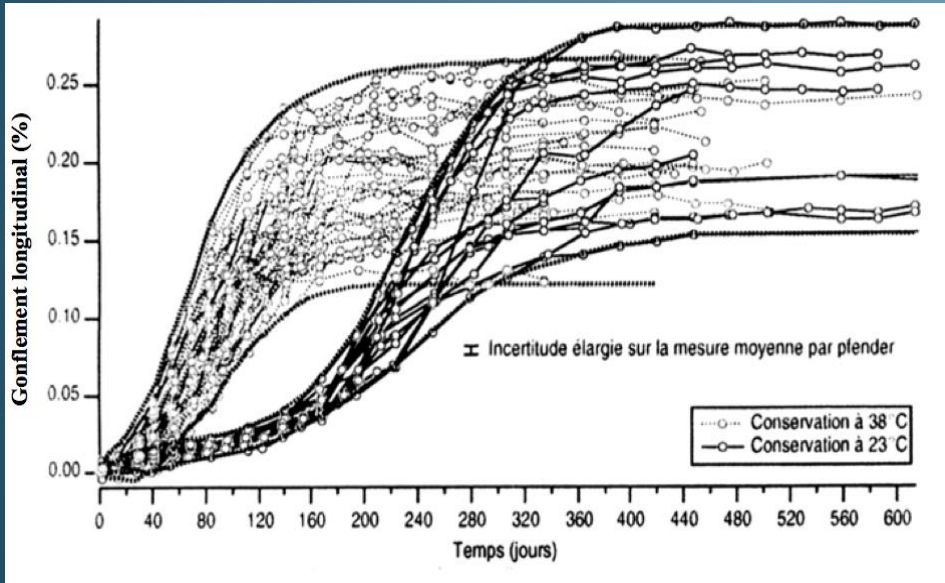
QUADRO FESSURATIVO

Esempio di mappa delle fessurazioni sullo sperone di una diga affetta da ASR.



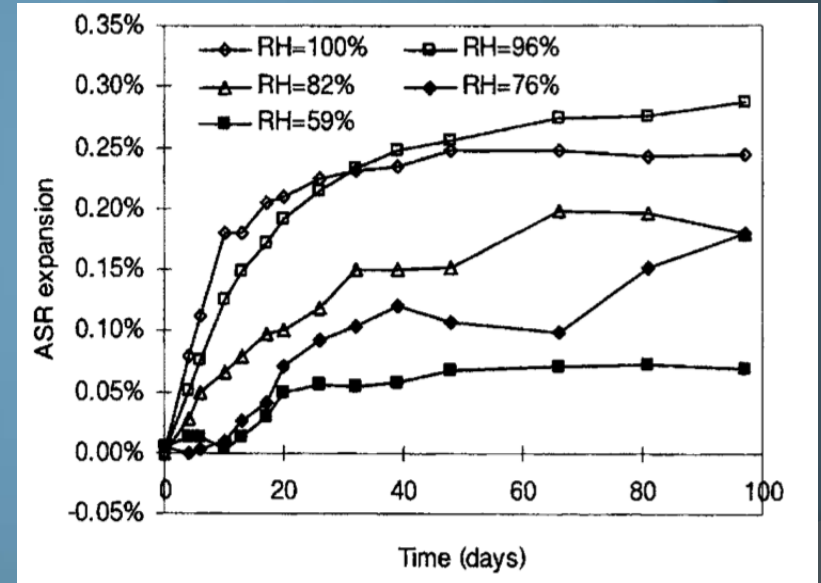
CATALISI DEI FATTORI AMBIENTALI

TEMPERATURA



Expansion due to ASR in specimens subject to two different temperatures, from Larive (1998)

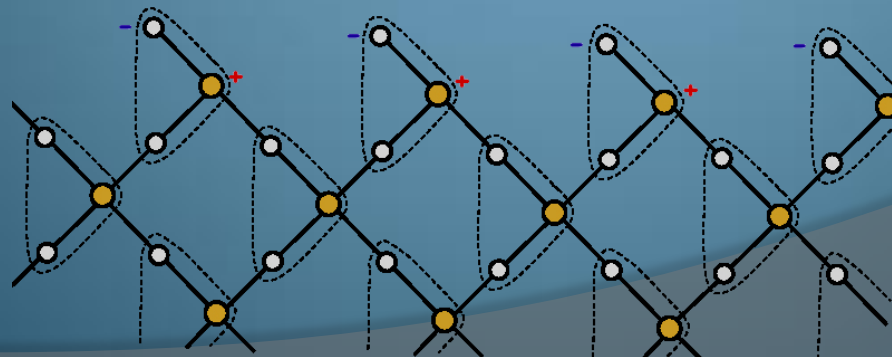
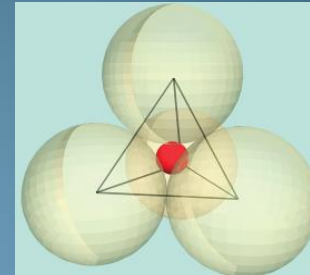
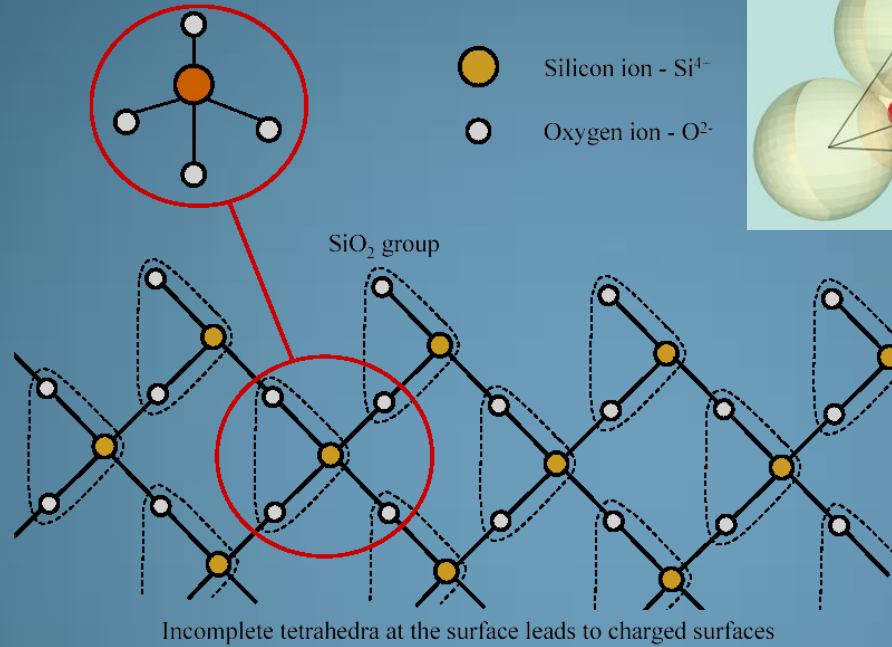
UMIDITÀ



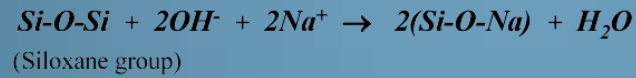
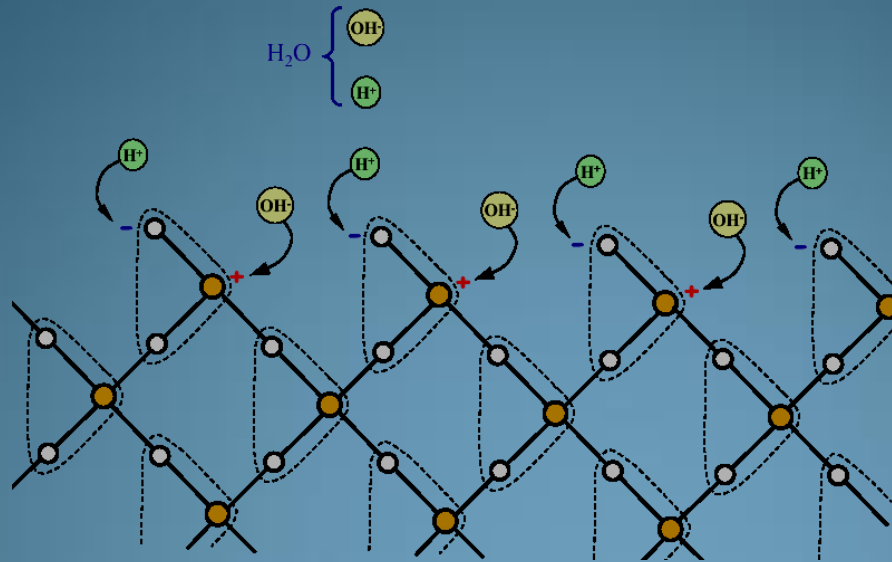
Axial ASR swelling versus time for different constant external relative humidities, from Poyet et al. (2006)

Meccanismo ASR

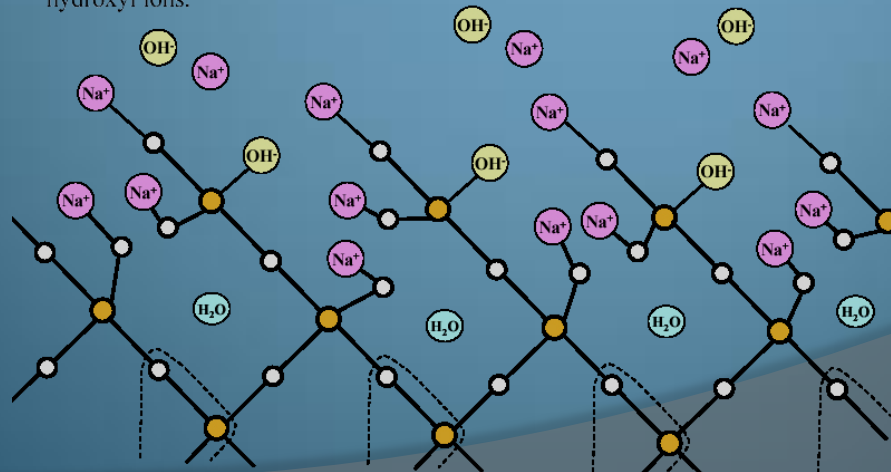
Tetrahedral Structure of Silica



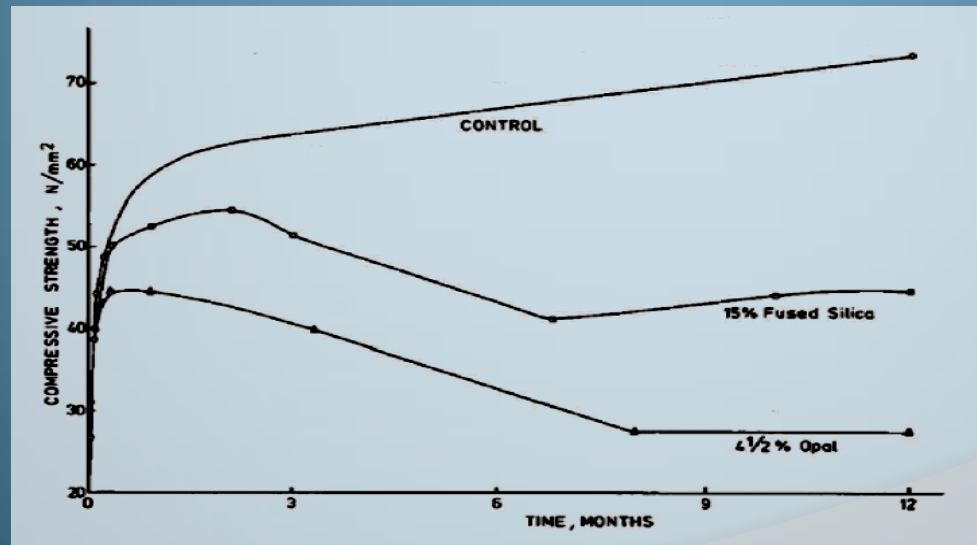
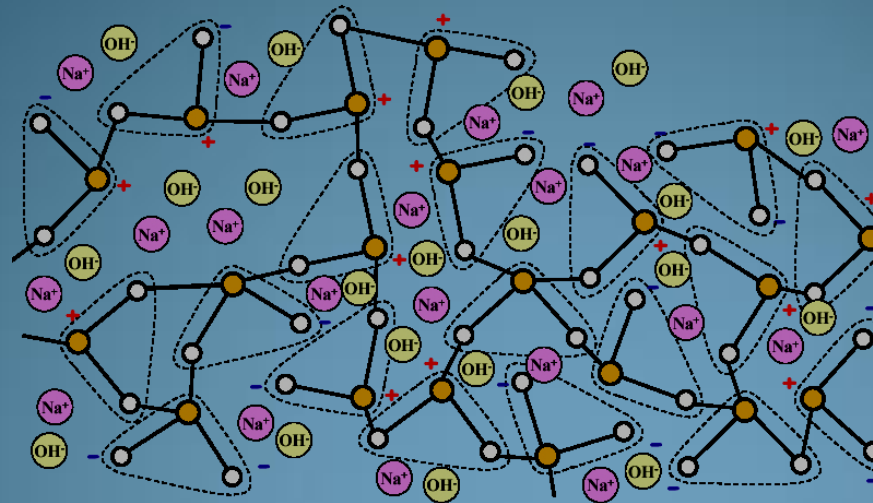
In the presence of water, unresolved charges are satisfied by ions liberated from water



Note: the alkalis (Na or K) play no role until the siloxane bond is broken by the hydroxyl ions.



With poorly-crystalline or metastable silica, alkali hydroxides penetrate deeper into the particle surface – i.e. extent or rate of dissolution depends on the internal organization of the silica



Compressive strength reduction with time for specimens prepared using different reactive aggregates, from Swamy and Al-Asali (1988).

Confronto composizione chimica fra EAF, MSWI ed un inerte naturale.

COMPOSIZIONE CHIMICA	EAF SLAG (%)	MSWI B.A. (%)	INERTE CALCAREO (%)
SiO ₂	15.3	53.41	0.01
CaO	23.9	13.25	54.97
Al ₂ O ₃	7.4	10.29	0.17
MgO	5.1	2.02	0.64
MnO ₂	4.5	0.06	-
SO ₃	0.1	1.21	-
Na ₂ O	1.0	2.46	-
K ₂ O	1.0	0.71	-
TiO ₂	1.0	0.38	-

CONCLUSIONI

Dall'elaborazione dei dati si evince che i materiali esaminati hanno buone qualità per essere utilizzati come aggregati nel confezionamento del calcestruzzo e numerosi studi hanno permesso di garantire buona durabilità dal loro impiego. Presentano, infatti, una resistenza a compressione accettabile per i requisiti solitamente richiesti, sebbene leggermente inferiore al calcestruzzo convenzionale.