

CEMENTO PORTLAND ED EMISSIONI DI GAS SERRA DURANTE LA SUA PRODUZIONE



V. Mohan Malhotra
ACI Honorary Member - malhotravm@gmail.com

1. INTRODUZIONE

In un precedente articolo pubblicato sul N. 48 di Enco Journal è stato esaminato il problema del riscaldamento globale, l'effetto serra derivante dalla emissione dell'anidride carbonica (CO₂) dai vari processi industriali e dai mezzi di trasporto, con le conseguenze sul ritiro del ghiaccio nei poli, e la prevedibile carenza d'acqua in un prossimo futuro.

In questo articolo verrà esaminato la specifica emissione di gas serra da parte del Cemento Portland.

1.1 Produzione del Cemento Portland

Il cemento Portland è considerato il materiale da costruzione più importante nel mondo e tale rimarrà per il prossimo futuro (Tabella 1).

Tabella 1 - Produzione totale, popolazione e produzione per persona stimata nel 2008

PAESE	PRODUZIONE (milioni di tonnellate)	POPOLAZIONE (milioni)	CONSUMO PER PERSONA (kg)
Cina	1100	1300	860
India	1300	1065	122
USA	120	300	400
Giappone	69	128	543
Sud-Korea	60	49	1224
Italia	47	60	783
Russia	46	144	319
Spagna	40	40	1000
Brasile	38	184	206

Tabella 2 - Emissione mondiale di CO₂ dal cemento ed emissione totale

ANNO	PRODUZIONE DI CEMENTO (miliardi di tonnellate)	EMISSIONI TOTALI DI CO ₂ (miliardi di tonnellate)	CO ₂ CONTRIBUTO DALLE CEMENTERIE (%)
1995	1.4	21.6	7
2008	2.8	36.5	7.7

Ci si aspetta che la produzione di cemento cresca da circa 1,4 miliardi di tonnellate nel 2000 a 3 milioni di tonnellate nel 2010. L'aumento maggiore si verificherà in Cina e in India e in minor misura in Russia. In USA ci si aspetta un incremento da circa 100 milioni di tonnellate nel 2000 a circa 130 milioni di tonnellate nel 2010. In vista di questi enormi incrementi di produzione, è necessario che la produzione del cemento diventi la più amichevole possibile dal punto di vista ambientale.

1.2 Emissioni di gas serra dalla produzione del cemento Portland

La produzione di cemento Portland, oltre a richiedere consumi energetici rilevanti, è anche fonte di emissione di un contributo significativo di gas serra. Per produrre 1 tonnellata di cemento si emette nell'atmosfera circa 1 tonnellata di CO₂ con quantità minori di altri gas quali gas nitrosi (NO_x) e metano (CH₄). Anche se la quantità di questi gas serra è modesta essi sono molto più pericolosi della CO₂. Fatta 1 la pericolosità della CO₂, questi sono i cosiddetti indici di danno degli altri gas serra:

- CO₂: 1
- metano: 20
- ossidi nitrosi: 200
- fluoro : 15.000.

L'emissione totale di CO₂ per 1 tonnellata di cemento Portland prodotta varia da 1,1 tonnellate e 0,8 tonnellate a seconda che il processo produttivo adottato segua la via umida o quella secca. Si valuta che metà della CO₂ emessa provenga dalla decomposizione del calcare e che l'altra metà derivi dalla combustione del carbone. In realtà la quantità di CO₂ emessa dalla decomposizione del calcare ammonta a 0,54 tonnellate per tonnellata di cemento Portland; le emissioni della CO₂ dalla combustione del carbone dipende dal contenuto di carbone nel combustibile e dall'efficienza della combustione.

1.3 Prospettive globali

Globalmente, nel 1995 la produzione del cemento ammontò a circa 1,4 miliardi di tonnellate, arrivando così ad emettere circa 1,4 miliardi tonnellate di CO₂ nell'atmosfera. Secondo l'International Energy Authority (IEA), l'emissione globale di CO₂ nel 1995 raggiunse 21,6 miliardi di tonnellate. Pertanto nel 1995 l'emissione di CO₂ dalla produzione del cemento Portland rappresenta il 7% della produzione totale di CO₂ (Tabella 1). Questo implica che le compagnie cementiere non si trovano nello stato di emergenza per affrontare tecnologie produttive ambientalmente più favorevoli nel prossimo futuro.

1.4 Paesi in via di sviluppo

Le infrastrutture necessarie ai paesi in via di sviluppo hanno portato ad un enorme aumento nella richiesta di cemento Portland (Tabella 3). A seguito di questa richiesta sono stati installati un gran numero di impianti per cementerai in Cina e in India. Per esempio, un nuovo impianto della capacità di 2 milioni di tonnellate di clinker è appena stato commissionato in India, e gli altri impianti dovranno la capacità per arrivare a 4 milioni di tonnellate nel prossimo futuro, costruendo così il più grande impianto di clinker nel mondo (V.J. Anantharaman, "India's Largest World Cement", Vol.33, No. 23, Dec. 2002, pp. 55-56).

Paradossalmente, questi paesi in via di sviluppo stanno installando enormi impianti per produrre energia bruciando carbone per soddisfare le esigenze crescenti della popolazione e delle industrie manifatturiere. Per esempio, si prevede che nel 2011 l'India raddoppierà la produzione di energia elettrica con centrali a carbone provocando in un aumento di cenere volante pari a circa 160 milioni per anno. Si valuta che nel 2110 la produzione di cemento Portland raggiunga 150.000 milioni di tonnellate per anno.

La Tabella 4 mostra la produzione stimata per il cemento Portland, la cenere volante, e altri materiali cementizi di natura pozzolanica. E' evidente dalla Tabella 4 che la cenere volante è e rimarrà il maggior materiale cementizio supplementare per gli anni a venire. E' perciò importante che i maggiori sforzi siano concentrati sull'impiego della cenere volante nel calcestruzzo.

Sfortunatamente, le grandi esigenze di sviluppo industriale in Cina ed India influenzerà negativamente l'ambiente in due modi. La installazione di nuovi impianti cementieri farà aumentare l'emissione di CO₂ e la costruzione di enormi centrali termiche a carbone oltre a provocare l'emissione di enormi quantità di CO₂, porterà alla produzione di ceneri volanti e pesanti che, se non riciclate, causeranno l'accumulo di enormi rifiuti di cenere in discariche. Una quantità rilevante di ceneri verrà allocata in discariche e abbandonata in miniere. In questo modo materiali potenzialmente ricchi di caratteristiche cementanti verranno portate a discarica in paesi che richiedono di ridurre l'emissione di gas serra e di costruire strutture in calcestruzzo che siano durabili. Si è stimato che nel 2025 la totale emissione di CO₂ in Cina ecceda quella in USA (Fig. 1).

Tabella 3 - Produzione regionale e mondiale di cemento in milioni di tonnellate nel 2010
(Dati da Word Cement Annual Review, World Cement, Vol. 28, No. 7, Luglio 1997, pp. 3-60)

ANNO:	1995	2000	2005	2010	% TOTALE 1995	% TOTALE 2010
UNIONE EUROPEA	168.1	187.9	194.1	189.3	12.1	9.4
ALTRI PAESI EUROPEI	65.8	80.0	90.2	94.7	4.7	4.9
EX UNIONE SOVIETICA	58.1	80.3	110.1	128.2	4.2	6.6
NORD AMERICA	92.9	94.9	94.8	94.7	6.6	4.9
CENTRO E SUD AMERICA	89.4	106.6	127.4	145.0	6.4	7.5
AFRICA	64.8	74.3	80.7	85.5	4.6	4.4
MEDIO ORIENTE	63.5	75.6	76.9	73.4	4.6	3.8
EST ASIA	623.4	732.7	798.8	844.3	44.6	43.4
SUD-SUD EST ASIA	161.2	219.1	255.0	279.2	11.6	14.4
OCEANIA	8.0	10.6	11.1	11.8	0.6	0.6
TOTALE MONDIALE	1396.1	1662.1	1839.1	1946.1	100.0	100.0

Tabella 4 - Produzione mondiale in milioni di tonnellate di cemento, cenere volante ed altri materiali cementizi (loppa, fumo di silice, pozzolana naturale, pula di riso, metacaolino) in miliardi di tonnellate

MATERIALE:	CEMENTO	CENERE VOLANTE	ALTRI
PRODUZIONE CORRENTE	2800	900	20
PREVISTA NEL 2020	4000	2000	> 100

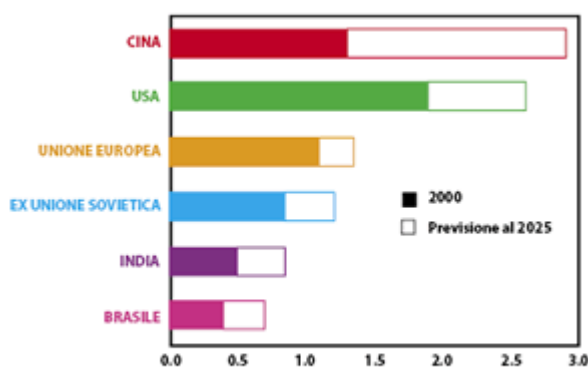


Fig. 1 - Emissioni di gas serra in miliardi di tonnellate nel 2005 e previste nel 2025.

2. RUOLO DELLA CENERE VOLANTE E DEGLI ALTRI MATERIALI CEMENTIZI NEL RIDURRE L'EMISSIONE DI CO₂

A causa della complessità produttiva del cemento Portland, è difficile prevedere che ci possano essere nuove tecnologie favorevoli all'ambiente capaci di ridurre l'emissione di CO₂. Questa considerazione porta alla conclusione che per ridurre l'emissione di CO₂ si debba ridurre la produzione di clinker Portland sostituendolo in parte con materiali cementizi quali la cenere volante, la loppa d'altoforno, la cenere di pula di riso. In Europa a questo scopo si stanno impiegando polveri fini di calcare (filler) in quantità sempre crescenti in sostituzione del clinker di cemento Portland.

2.1 Disponibilità della cenere volante

Sulla base delle varie informazioni disponibili, si può stimare che la quantità mondiale di cenere volante ammonti a circa 900 milioni per anno. I più grandi produttori sono la Cina, l'India e gli USA. In aggiunta a questa produzione annua, occorre tener conto che negli anni passati sono stati accumulati riserve di cenere non utilizzata. Si stima che solo nel Regno Unito ci siano 120 milioni di cenere volante non utilizzata. Secondo Bruce Ramme, Wisconsin Energy, in Milwaukee si sta procedendo alla utilizzazione della cenere accumulata negli anni senza essere utilizzata. La utilizzazione della cenere varia da paese a paese (Tabella 5): mentre negli USA la cenere volante è impiegata come ingrediente separato dal cemento e aggiunto in betoniera come tale, in Europa e India la maggior parte della cenere volante (e degli altri ingredienti pozzolanici) sono impiegati per produrre cementi di miscela dove il clinker Portland è sostituito dal 20 al 30% di cenere.

Tabella 5 - Produzione di cenere e utilizzazione nel 2006*

PAESE	PRODUZIONE (miliardi di tonnellate)	UTILIZZO NEL CALCESTRUZZO (%)
CINA	> 900	> 20
INDIA	> 110	20
USA	> 60	> 15
RUSSIA	60	5
GERMANIA	30	12
REGNO UNITO	10	10

* I dati includono cenere volante, cenere pesante e loppa. Per ogni 100 ton di cenere volante ci sono 25 ton di cenere pesante e loppa.

Sebbene gli impianti termici a carbone producano enormi quantità di CO₂, si prevede che nel futuro questi impianti seguiranno ad essere utilizzati soprattutto in Cina, India e USA per le enormi riserve di carbone disponibili e per il minor costo dell'energia prodotta con queste tecnologie rispetto ad altre alternative di sorgenti energetiche. Nella Fig. 2 è mostrato l'andamento previsto fino al 2025 circa il consumo di carbone che raggiungerà la quantità di 7 miliardi/anno nel 2020.

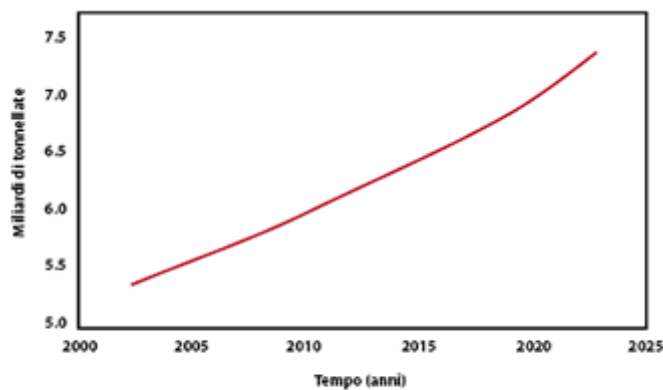


Fig. 2 - Andamento del consumo di carbone nel mondo (Fonte: ASTM).

Nel 2002 la percentuale di elettricità generata da carbone in USA rappresentava il 51% della produzione totale e si stima che questa percentuale non cambierà nel 2025 (Fig. 3).

Si stima che per soddisfare le esigenze energetiche di 327.000 megawatt) in Cina, India e USA, ci sarà bisogno rispettivamente di 562, 213 e 72 nuove centrali a carbone entro il 2012*. Inoltre, in Nord Europa, non si costruiranno altre centrali nucleari con l'eccezione della Finlandia dove un nuovo impianto nucleare è in via di costruzione. Inoltre, se si tiene anche conto che le riserve di gas naturale nel mondo sono limitate rispetto a quelle disponibili per il carbone, si può con certezza affermare che almeno fino al 2050 la cenere volante sarà

disponibile in enormi quantità.

*** Cina, India e Regno Unito stanno programmando un certo numero di impianti nucleari, ma saranno in grado di fornire una quantità di energia limitata. In genere gli impianti nucleari richiedono 12 anni per entrare in funzione. Secondo T. Friedmam se tentassimo di costruire tutti questi impianti superando gli inevitabili ritardi, avremmo bisogno da adesso al 2050 di 13 trilioni di watt solo dal nucleare e dovremmo costruire 13.000 nuovi reattori nucleari pari a un reattore al giorno per i prossimi 36 anni a partire da oggi.**

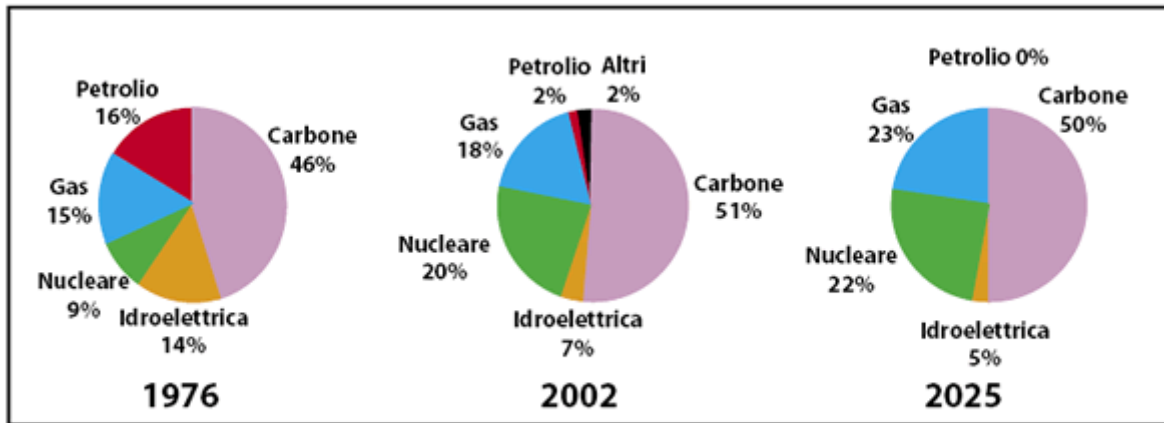


Fig. 3 - Percentuale di elettricità prodotta con combustibili fossili in USA.

La maggior parte delle ceneri volanti disponibili destinate al calcestruzzo sono a basso tenore di calcio (ASTM 618, Class F) e provengono dalla combustione di antracite o carbone bituminoso. Si tratta di prodotti che di per sé non posseggono caratteristiche cementanti ma che, a temperatura ambiente, grazie alla loro finezza possono reagire con l'idrossido di calcio (attività pozzolanica) che si libera per idratazione del cemento Portland. Più recentemente sono apparse in commercio ceneri ricche in calcio (ASTM 618, Class C) che sono disponibili in USA, Canada, Polonia, Grecia e in qualche altro paese. Queste ceneri sono prodotte per combustione di lignite o carboni sub-bituminosi; posseggono di per sé proprietà cementanti oltre all'attività pozzolanica tipica delle ceneri di classe F.

Vale la pena di ricordare che non tutta la cenere volante disponibile è idonea a confezionare calcestruzzi di qualità. Il maggior inconveniente presente consiste nella presenza di carbone incombusto spesso accompagnato da particelle di grosse dimensioni. Il carbone incombusto, in particolare, assorbe gli additivi e ne rimuove l'efficacia. Esistono metodi per rimuovere sia il carbone incombusto mediante sistemi elettrostatici e di flottazione. Esiste anche la possibilità di macinare la cenere per aumentarne la finezza e la sua efficacia prestazionali.

2.2 Tecnologia del calcestruzzo ad alto volume di cenere

Uno degli sviluppi più interessanti nell'impiego della cenere volante consiste nella produzione di calcestruzzo nota come (HVFA: High Volume Fly Ash) dove una parte considerevole di cemento è sostituita dalla cenere volante. La tecnologia è stata sviluppata da Malhotra e collaboratori nel CANMET, Ottawa, Canada, ed è descritta nel libro "A High-Volume Fly Ash Concrete: Materials, Mixture, Proportions, Construction, Practice, and Case Histories, V.M. Malhotra and P.K. Mehta, Third Edition, 2008, 142 p."

2.3 Altri materiali cementizi supplementari

Oltre alla cenere volante, altri materiali cementizi supplementari sono disponibili in grandi quantità e tutti possono interagire positivamente con il cemento Portland: loppa d'altoforno, pozzolana naturale, pula di riso, metacaolino, fumo di silice.

La produzione annuale di loppa d'altoforno è solo di 25 milioni di tonnellate. La cenere di pula di riso non è attualmente commerciabile sebbene la sua disponibilità ammonti a 20 milioni di tonnellate per anno. L'impiego di pozzolana naturale è piuttosto limitata per la maggiore richiesta di acqua: in Messico e Turchia si producono cementi pozzolanici di miscela dove il clinker Portland è rimpiazzato da circa il 30% di pozzolana naturale (NdT: i cementi pozzolanici con pozzolana naturale sono da tempo impiegati in Italia e attualmente la normativa europea EN 197-1 ne consente l'uso fino ad un massimo del 55 % nel CEM IV B).

Il fumo di silice, un materiale ad alta attività pozzolanica, è un sottoprodotto della lavorazione del silicio e delle leghe ferro-silicio. Si stima che la sua disponibilità mondiale sia compresa tra 1,5 e 2 milioni di tonnellate. Esso è prevalentemente destinato a produrre calcestruzzi impermeabili ad elevata durabilità. Il fumo di silice viene impiegato non in sostituzione ma aggiunto al cemento Portland per proteggere il calcestruzzo dalla penetrazione della CO₂ e del cloruro al fine di evitare la corrosione dei ferri di armatura.

Il metacaolino, le cui prestazioni sono stimate simili a quelle del fumo di silice, non è un sottoprodotto ma viene prodotto per cottura del caolino. Non esistono dati circa le quantità di metacaolino disponibili sul mercato: nel 2008 è stato costruito un grande impianto per produrre metacaolino a Saskatchewan in Canada.

Il filler calcareo è largamente impiegato in Europa in sostituzione del clinker Portland. Non ha invece finora trovato impiego in Nord America perché non è un sotto-prodotto, perché ci sono alcune perplessità circa la durabilità a lungo termine di calcestruzzi con cemento Portland parzialmente sostituito da filler calcareo, e perché in assenza delle caratteristiche pozzolaniche non ci sono benefici nel contrastare la reazione alcali-aggregato.

3. RUOLO DEI SUPERFLUIDIFICANTI NEL RIDURRE LE EMISSIONI DA CO₂

Ci sono due possibili modi di impiego degli additivi superfluidificanti nel ridurre il contenuto di cemento e quindi nel contribuire alla riduzione di emissioni di CO₂. Queste sono:

a) produrre calcestruzzi con bassissimo rapporto acqua/cemento. Si può ridurre l'acqua di impasto del 30% senza ridurre il dosaggio di cemento e senza penalizzare la lavorabilità. Si possono ottenere rapporti bassi fino a 0,28 producendo calcestruzzi di altissima resistenza meccanica che possono essere impiegati in minor volume rispetto ai normali calcestruzzi.

b) produrre calcestruzzi con meno acqua e meno cemento in modo da mantenere costante il rapporto acqua/cemento e la resistenza meccanica senza penalizzare la lavorabilità. Si possono così risparmiare i dosaggi di cemento e quindi l'emissione di CO₂.

L'impiego dei superfluidificanti è di vitale importanza per produrre i calcestruzzi ad alto volume di cenere volante (fino al 50% in sostituzione del cemento Portland) producendo conglomerati con prestazioni meccaniche e durabilità simili a quelli dei calcestruzzi ordinari più ricchi di cemento.

4. COMMERCIO MONDIALE DELLA CENERE VOLANTE

Al pari del commercio del cemento, anche la cenere volante comincia ad essere trasportata da un continente all'altro. Per esempio Sud Africa ed India hanno iniziato a esportare cenere volante in Medio Oriente dove questo materiale non è disponibile per il mancato impiego di carbone in luogo del petrolio come combustibile.

5. DIRITTI COMMERCIALIZZABILI PER LE EMISSIONI E UTILIZZAZIONE DELLA CENERE VOLANTE

Le emissioni commerciabili si riferiscono ai meccanismi economici che dovrebbero aiutare i vari paesi in tutto il mondo a stabilire delle riduzioni nelle emissioni stabilite con gli accordi del protocollo di Kyoto.

In un futuro non molto lontano una tonnellata di emissione dovrebbe valere a circa 40\$ (U.S.); attualmente il suo valore è 25\$ (U.S.). Così, per esempio, se un paese sostituisce il 50% di cemento con cenere volante o loppa, esso conseguentemente risparmia il 50% delle emissioni di CO₂ per la minore produzione di clinker Portland. Per un paese che produce annualmente 100 milioni di tonnellate di cemento, questo 50% di sostituzione di clinker con cenere comporta un risparmio di 50 milioni di tonnellate nella emissione di CO₂. Questo, a sua volta, si trasforma in un valore commerciale di $50 \times 25 = 1.250$ milioni di \$ (U.S.) per anno. Occorre tener conto che i diritti di emissione possono fluttuare anche di molto. Tuttavia, date le pressioni politiche ed ambientali, l'utilizzazione della cenere e la conseguente riduzione di emissione di CO₂ finiranno con il pagamento di ricchi dividendi. I paesi sviluppati possono trarre maggiori opportunità da questa situazione. Se questi paesi possono trasferire la utilizzazione della tecnologia della cenere volante ai paesi in via di sviluppo, e dimostrare la effettiva riduzione nella installazione di nuovi impianti cementizi in questi paesi, i paesi sviluppati possono reclamare giustamente crediti per la riduzione delle emissioni di CO₂.

6. COME IL CEMENTO E IL CALCESTRUZZO POSSONO CONTRIBUIRE ALLA RIDUZIONE DELLA EMISSIONE DI CO₂

Ci sono molte vie attraverso le quali il cemento e il calcestruzzo possono contribuire alla riduzione di emissione di CO₂. Alcune di queste sono:

- impiego di meno cemento;
- impiego di maggiori quantità di materiali cementizi supplementari;

- uso di meno acqua di impasto grazie all'impiego di riduttori di acqua e di superfluidificanti;
- impiego di calcestruzzo riciclato in forma di aggregato;
- impiego di acciaio inossidabile nelle aree critiche per la corrosione delle armature metalliche;
- specificare, ove possibile, la resistenza meccanica a 56 e 91 giorni anziché a 28 giorni;
- impiegare, ove è possibile, aggregati leggeri;
- impiegare calcestruzzi autocompattanti con grandi volumi di cenere volante in luogo di additivi viscosizzanti a base di welan gum.

7. E' L'ADATTAMENTO AL CAMBIO DEL CLIMA UNA SOLUZIONE?

Un tempo, l'adattamento al cambio del clima non fu considerata una soluzione. Ma recentemente gli ambientalisti e gli economisti stanno rivalutando questo approccio. Al Gore, ex Vice Presidente degli USA e Premio Nobel ha affermato: " *Ero solito pensare all'adattamento sottratto dai nostri sforzi sulla prevenzione, ma ho cambiato opinione. I paesi poveri sono vulnerabili e richiedono il nostro aiuto*".

Secondo M. Bapna dell'Istituto delle Risorse Mondiali, Washington, D.C., è già troppo tardi non tener conto delle conseguenze pericolose, e pertanto dobbiamo imparare ad adattare al cambio del clima. Ma il problema che si pone è chi deve pagare per l'adattamento poiché questo coinvolge gente povera in paesi poveri. La grandezza del problema può essere valutata dai dati della Tabella 6.

Per l'immediato futuro l'adattamento al cambio del clima non appare essere molto promettente

Tabella 6 - Stima dei costi per l'adattamento al cambio del clima (dati dal World Research Resources Institute)

VALUTAZIONE DA:	COSTI ANNUALI (\$ miliardi di tonnellate)	ANNO
UNDP (2007)	86	2015
BANCA MONDIALE (2007)	9-14	2008
OXFAM (2007)	750	2008

8. CONCLUSIONI

Gli argomenti ambientali associati alla emissione di CO₂ dalla produzione di cemento Portland richiedono che i materiali cementizi supplementari come la cenere volante, la loppa d'altoforno granulata macinata, e la cenere di pula di riso siano impiegati in quantità crescenti per sostituire il cemento Portland nel calcestruzzo. Data l'enorme disponibilità di cenere volante di buona qualità (basso tenore di incombusto) e lo sviluppo di tecnologie come quella basata sul calcestruzzo ad alto volume di cenere volante, le installazioni di nuovi impianti per produrre cemento dovrebbero essere bloccate. Inoltre, gli impianti per produrre cemento obsoleti dovrebbero essere abbandonati e la conseguente diminuzione nella capacità produttiva dovrebbe essere rimpiazzata dall'impiego dei materiali cementizi supplementari.

L'impiego combinato di additivi superfluidificanti che riducono l'acqua di impasto senza penalizzare la lavorabilità in combinazione con i materiali cementizi supplementari possono portare alla produzione di calcestruzzi ad alta prestazione con una maggiore durabilità. E' da sperare che l'industria del calcestruzzo diventi leader nella soluzione di questi problemi e contribuisca ad uno sviluppo sostenibile dell'industria del XXI secolo adottando tecnologie per ridurre l'emissione di gas serra e contribuisca così al raggiungimento degli obiettivi del protocollo di Kyoto del 1997.

9. RINGRAZIAMENTI

I dati raccolti in questo articolo si basano su statistiche stimate al meglio e provengono da diverse fonti; il margine di errore si aggira sul 10%.

L'articolo è basato su varie presentazioni fatte dall'Autore in un numero di seminari internazionali sulla tecnologia del calcestruzzo e sui temi della sostenibilità che si sono tenuti recentemente in Nord America, Europa, India e Cina.

10. BIBLIOGRAFIA

- Flannery Tim, "The Weather Makers", 2005
- Jaccard Mark, "Sustainable Fossil Fuels", 2005

- Gore Al, "An Inconvenient Truth, 2006
- Caldicott Helen, "Nuclear Power is not the Answer", 2006
- International Panel on Climate Change: Reports Issued in 2007-2008
- Sachs Jeffery D., "Economics for Crowded Planes: Commonwealth", 2008
- Walker Gabrielle and King David, "The Hot Topic: What we can do About Global Warming", 2008
- Lawson Nigel, "An Appeal to Reason: A Look at Global Warming", 2008
- Broecken Wallace, S. and Kunzig Robert, "Fixing Climate: What Past Climate Changes Reveal About the Current Threat and How to Counter It", 2008
- Friedman Thomas L., "Hot, Flat and Crowded: Why we Need a Green Revolution and How it Can renew America", Publisher, Farrad, Straus, and Giroux, New York, 2008

