

IL CONTRIBUTO DEGLI ADDITIVI AL PROGRESSO TECNOLOGICO NELLE COSTRUZIONI IN C.A. E C.A.P.

Mario COLLEPARDI

Professore Ordinario
Dip. di Scienze dei Materiali e della Terra
Facolta' di Ingegneria
Universita' di ANCONA

Pierluigi CIFERNI

Ingegnere
MAC SpA Modern Advanced Concrete
TREVISO

Sandro SCABINI

Ingegnere
MAC SpA Modern Advanced Concrete
TREVISO

SOMMARIO

Viene storicamente e criticamente esaminato il contributo al progresso tecnologico delle costruzioni in c.a. e c.a.p. derivante da parte degli additivi. Vengono presentate alcune opere, realizzate dagli anni '60 agli anni '80, per la costruzione delle quali gli additivi hanno fornito un significativo vantaggio tecnico sia dal punto di vista esecutivo che progettuale.

SUMMARY

The contribution of concrete admixtures, to the technological progress in the field of reinforced and prestressed concrete structures is critically examined from a historical point of view. Some projects, realized from '60 to '80, will be discussed: in these projects the admixtures have given a significant technical advantage for both the execution and the design of the concrete structures.

1. PREMESSA

Da sempre gli additivi sono stati impiegati nelle costruzioni in calcestruzzo per la soluzione di problemi inerenti le tecniche esecutive o le prestazioni in servizio [1].

I primi additivi utilizzati riguardavano *soltanto* il miglioramento del processo produttivo consistente in una accelerazione o un ritardo dei fenomeni di presa e di primo indurimento (additivi acceleranti e ritardanti) senza, tuttavia, modificare significativamente le caratteristiche delle strutture in servizio.

Solo agli inizi degli anni '20, apparve il primo brevetto riguardante un additivo capace di migliorare sensibilmente le prestazioni delle strutture in servizio (attraverso la riduzione del rapporto acqua/ce-

mento) e/o agevolare la messa in opera del conglomerato (attraverso l'aumento della lavorabilità); nacquero in quegli anni i primi additivi fluidificanti [2], precursori degli attuali superfluidificanti [3].

Verso la fine degli anni '30 furono scoperte (casualmente) le sorprendenti proprietà dei calcestruzzi aerati [4], capaci di *durare* anche se esposti ai cicli di gelo-disgelo: da allora negli Stati Uniti il termine *durabilità* è ancora usato, sia pure impropriamente, come sinonimo di resistenza ai cicli di gelo-disgelo, e gli additivi aeranti sono entrati a far parte della prescrizione del calcestruzzo di tutte le opere in *c.a.* e *c.a.p.*.

Nella presente memoria vengono presi in considerazione solo gli additivi fluidificanti, superfluidificanti ed aeranti, capaci di migliorare le prestazioni in servizio delle strutture in *c.a.* e *c.a.p.*, anche se, come si vedrà, il loro effetto sul ciclo produttivo del calcestruzzo (trasporto, getto, vibrazione, ecc.) sia tutt'altro che trascurabile. In particolare, viene presentata un'analisi critica e storica dei progressi conseguiti, con l'uso degli additivi, nella tecnologia delle costruzioni in *c.a.* e *c.a.p.*, attraverso alcuni significativi esempi di importanti realizzazioni in Italia e all'estero negli ultimi 30 anni.

1.1. Gli Additivi fluidificanti e superfluidificanti

Questi due additivi appartengono in realtà alla stessa categoria, giacchè essi esplicano la stessa funzione con la sola differenza di presentare una prestazione quantitativamente diversa, e cioè maggiore nei superfluidificanti che non nei fluidificanti.

Entrambi gli additivi sono in grado di rendere più lavorabile il calcestruzzo senza modificarne il rapporto acqua/cemento (*a/c*) dal quale dipendono significativamente tutte le proprietà del conglomerato indurito: resistenza meccanica, durabilità, ritiro, scorrimento viscoso, ecc. In linea di massima, a parte il rapporto *a/c*, un additivo fluidificante è in grado di migliorare la lavorabilità del calcestruzzo fresco con un incremento, in termini di *slump*, di 5-10 cm; l'additivo superfluidificante, invece, è in grado di far aumentare la lavorabilità, sempre in termini di *slump* di 15-20 cm.

Il ruolo giocato da questi additivi è ovviamente molto utile laddove si debba adottare (per esigenze progettuali) un basso rapporto *a/c* nel calcestruzzo; la qual cosa, senza la presenza di questi additivi, renderebbe molto arduo se non impossibile, il trasporto, il getto e la costipazione da parte dell'impresa, per la ridotta lavorabilità dell'impasto fresco. Gli additivi fluidificanti e superfluidificanti, consentono in sostanza di conciliare le esigenze, talvolta antitetiche, della progettazione e della committenza, entrambe interessate alla qualità del conglomerato nella struttura in servizio, e dell'impresa di costruzione più attenta, invece, alla semplificazione e facilitazione delle operazioni esecutive sul cantiere di costruzione.

Val la pena di precisare che, ove l'ottenimento di una elevata lavorabilità del calcestruzzo fresco non costituisca un problema, anzi sia incompatibile con la particolare tecnologia costruttiva come avviene, per esempio, nelle strutture realizzate con la tecnica dei casseri rampanti, gli stessi additivi fluidificanti e superfluidificanti possono essere impiegati per ridurre il rapporto *a/c* senza sacrificare la lavorabilità del calcestruzzo fresco: una terminologia più corretta, in questo tipo di impiego, dovrebbe privilegiare i termini di *riduttore d'acqua* e *super-riduttore d'acqua* in luogo di *fluidificante* e *superfluidificante*, rispettivamente. Nella normativa nord-americana, infatti, i termini di *water-reducer* e *high-range-water-reducer* sono appunto preferiti a quelli prevalentemente usati in Europa (*plasticizer* e *superplasticizer*), proprio per sottolineare il fatto che questi additivi sono in definitiva dei prodotti finalizzati al miglioramento delle proprietà del calcestruzzo indurito attraverso una riduzione dell'acqua, e quindi, a parità di dosaggio di cemento, ad una riduzione del rapporto *a/c* (Fig. 1).

Resta il fatto, al di là delle considerazioni semantiche sopra riportate, che l'avvento di questi additivi, e dei superfluidificanti in particolare, ha costituito in questo secolo, forse il più significativo progresso tecnologico, dal punto di vista delle proprietà del materiale, nel campo delle costruzioni in *c.a.* e *c.a.p.*.

Con l'avvento dei superfluidificanti, infatti, l'ottenimento di calcestruzzi dotati di alta resistenza meccanica iniziale (20-30 MPa a 1 giorno) e finale (40-60 MPa a 28 giorni), è diventato un obiettivo facilmente attuabile in qualsiasi cantiere, ancorchè non dotato di manodopera qualificata, o di mezzi di efficiente costipazione meccanica.

Ancor più promettenti appaiono i recenti sviluppi dei superfluidificanti utilizzati congiuntamente con aggiunte minerali, quali per esempio il fumo di silice e/o le ceneri volanti, per l'ottenimento di calcestruzzi ad alta (60 MPa) ad altissima (100 MPa) resistenza meccanica, oltre che impermeabili e durevoli in ambienti anche fortemente aggressivi.

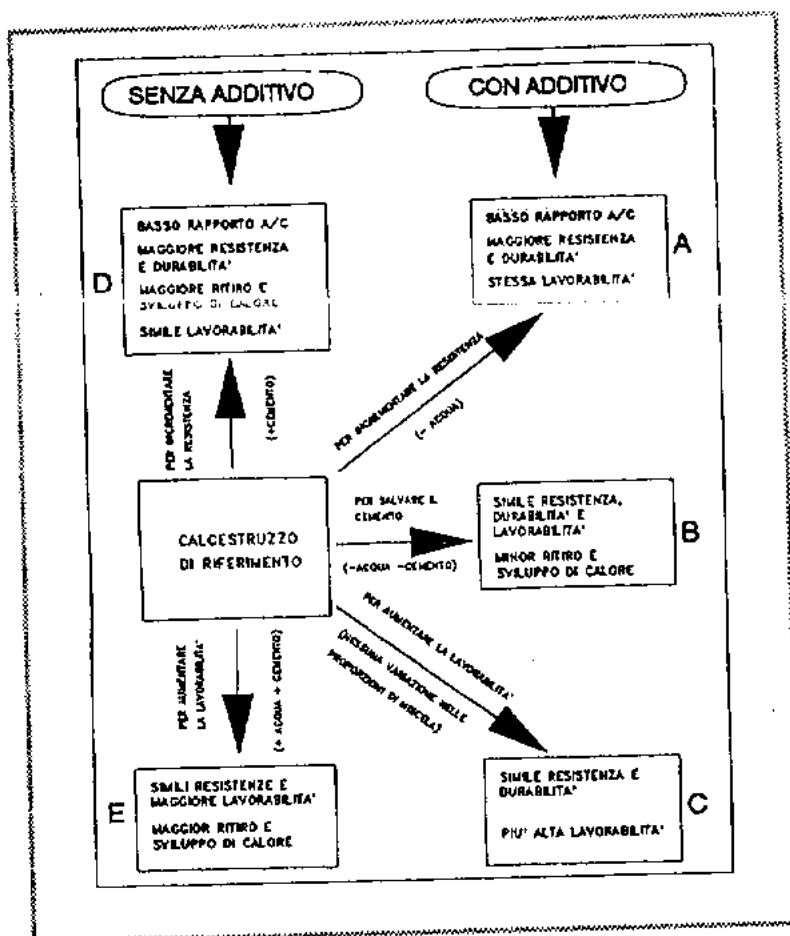


Fig. 1 - Diagramma schematico sull'effetto del superfluidificante sul calcestruzzo fresco ed indurito

1.2. Gli additivi aeranti

Quantunque apparentemente meno eclatanti dei superfluidificanti, gli agenti aeranti costituiscono l'altra categoria di additivi particolarmente importanti per la costruzione di opere in c.a. e c.a.p. che siano durevoli in ambienti esposti ai cicli di gelo e disgelo. Occorre ammettere che allo stato attuale, se non si ricorre all'inglobamento di aria sotto forma di microbolle del diametro di 100-200 μm , nonostante il progresso conseguito nella produzione di calcestruzzi compatti per il loro basso rapporto *a/c*, non è ancora possibile garantire la resistenza ai cicli di gelo-disgelo delle strutture in calcestruzzo esposte contemporaneamente all'acqua ed alle basse temperature.

L'esperienza maturata soprattutto negli Stati Uniti, in Canada, nel Nord Europa e anche nelle nostre regioni del Nord Italia, nonché in quelle meridionali in alta montagna, hanno ormai evidenziato, al di fuori di ogni dubbio, che solo un

calcestruzzo aerato (circa 5% in volume di aria, contro il normale valore dell'1-2%) è in grado di resistere alle sollecitazioni di fatica che si generano con la formazione ripetuta del ghiaccio nel calcestruzzo: con la formazione dei primi cristalli di ghiaccio, infatti, l'acqua non ancora congelata viene spinta nelle microbolle d'aria e si allentano, così, le tensioni generate dalla pressione idraulica derivante dall'aumento di volume (circa 9%) dell'acqua durante il processo di solidificazione.

Si è sopra accennato alle prestazioni apparentemente non molto eclatanti degli agenti aeranti, in virtù del fatto che l'inglobamento d'aria, mentre garantisce la durata delle opere in servizio nei climi freddi, non migliora, anzi penalizza, la resistenza meccanica del calcestruzzo. Si calcola che per ogni punto percentuale di aria in più, si verifica una perdita di resistenza meccanica a compressione di circa il 5%. Tuttavia, il calo di resistenza meccanica determinato dalla presenza dell'aria - peraltro indispensabile per garantire la durabilità delle opere in climi freddi - può essere abbondantemente compensato o da una riduzione dell'acqua, grazie agli additivi precedentemente menzionati, o da un aumento del dosaggio di cemento, o da entrambe i fattori: in queste condizioni è possibile garantire la resistenza ai cicli di gelo-disgelo, senza alcun sacrificio per la resistenza meccanica grazie ad una modesta riduzione (5-10%) del rapporto *a/c*.

Un esame critico delle esperienze maturate nel nostro Paese ha messo in evidenza che l'impiego di calcestruzzi aerati, nelle opere esposte all'acqua e ai climi freddi, non riscuote ancora l'attenzione che meriterebbe: anche in quei pochi lavori nei cui capitolati il progettista e/o il committente hanno prescritto un calcestruzzo con agenti aeranti, per rendere il materiale resistente al gelo, si sono riscontrate non poche resistenze a mettere in opera questo calcestruzzo nella pratica quotidiana di cantiere da parte delle imprese costruttrici: l'inglobamento dell'aria nel calcestruzzo, infatti, comporta un più rigoroso controllo delle caratteristiche del materiale prima del getto, affinché il volume d'aria non ecceda quello

programmato e comporta penalizzazioni nella R_{ck} superiori a quelle calcolate e compensate con la riduzione nel rapporto a/c .

Resta il fatto, però, che la tecnica dell'inglobamento d'aria è l'unica collaudata ed attualmente disponibile per garantire realmente la durabilità dell'opera in climi freddi, e che questa tecnologia è comunque messa in atto dalle imprese costruttrici in molti altri Paesi, nei confronti delle quali le nostre imprese nazionali non possono certo essere classificate meno valide tecnicamente: forse un riconoscimento del maggior onere finanziario derivante dal più rigoroso controllo dell'aria inglobata potrebbe contribuire significativamente al superamento di questa *impasse* di carattere più commerciale ed organizzativo che non tecnico-esecutivo.

2. APPLICAZIONI ESEMPLIFICATIVE SULL'USO DEGLI ADDITIVI

Nel seguito vengono descritti alcuni esempi tipici di strutture, realizzate in Italia o all'Estero, per le quali, grazie all'impiego di additivi sopra descritti, sono stati conseguiti significativi progressi tecnologici nelle costruzioni in c.a. e c.a.p. Gli esempi che verranno presentati appartengono alle seguenti tipologie costruttive: a) ponti e viadotti; b) serbatoio; c) ciminiera; d) bacino di carenaggio; e) fondazioni armate; f) costruzioni alte.

2.1 Ponti e viadotti

Nel periodo compreso tra la fine degli anni '50 e la metà degli anni '70 sono state costruite alcune opere significative in aree geografiche diverse ma comunque esposte ai cicli alternati di gelo-disgelo; per le strutture in c.a. e c.a.p. di queste opere sono stati utilizzati additivi aeranti, unitamente con i riduttori d'acqua allora disponibili, e ciò ha reso possibile garantire la durabilità delle strutture, documentata da ispezioni in tempi recenti, a distanza di oltre trent'anni.

Si può segnalare come esempio il ponte sul Po (Fig. 2) in località Mortizza (Piacenza) sull'Autostrada A1, costruito nel 1957-59 dall'impresa Rizzani, su progetto dell'ing. S. Zorzi [5].

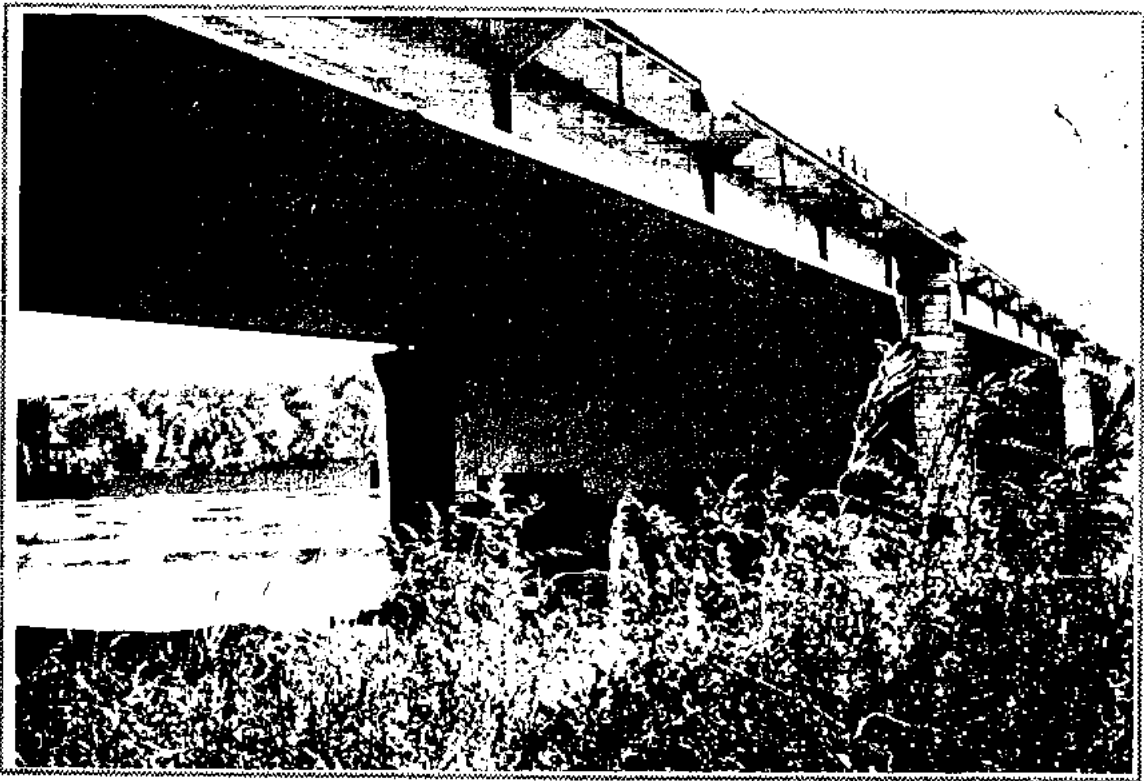


Fig. 2 - Il ponte sul fiume Po a Mortizza (1957-59) come appare oggi

Ancor più estesa e consistente è l'esperienza maturata dalla SARA per la costruzione di una serie di viadotti e gallerie sull'Autostrada A25 Roma-Pescara (Fig. 3), o di muri di sostegno nel tratto Avezzano-Torre de Passeri; per queste opere - realizzate nel periodo 1971-75 - si sono impiegati solo calcestruzzi di ottima qualità che prevedevano l'impiego di: cemento Portland 425 (400 kg/m^3), rapporto *a/c* non superiore a 0,50 (grazie all'additivo fluidificante) ed agente aerante capace di sviluppare un volume d'aria medio del 4,5% e compreso nell'intervallo 4-5,5%. Allo stato attuale nessun intervento di restauro è stato realizzato o si pensa di realizzare, dopo aver registrato l'ottimo stato di conservazione di queste opere, nonostante le condizioni climatiche non certo favorevoli alla durabilità delle strutture in c.a. e c.a.p. [6]

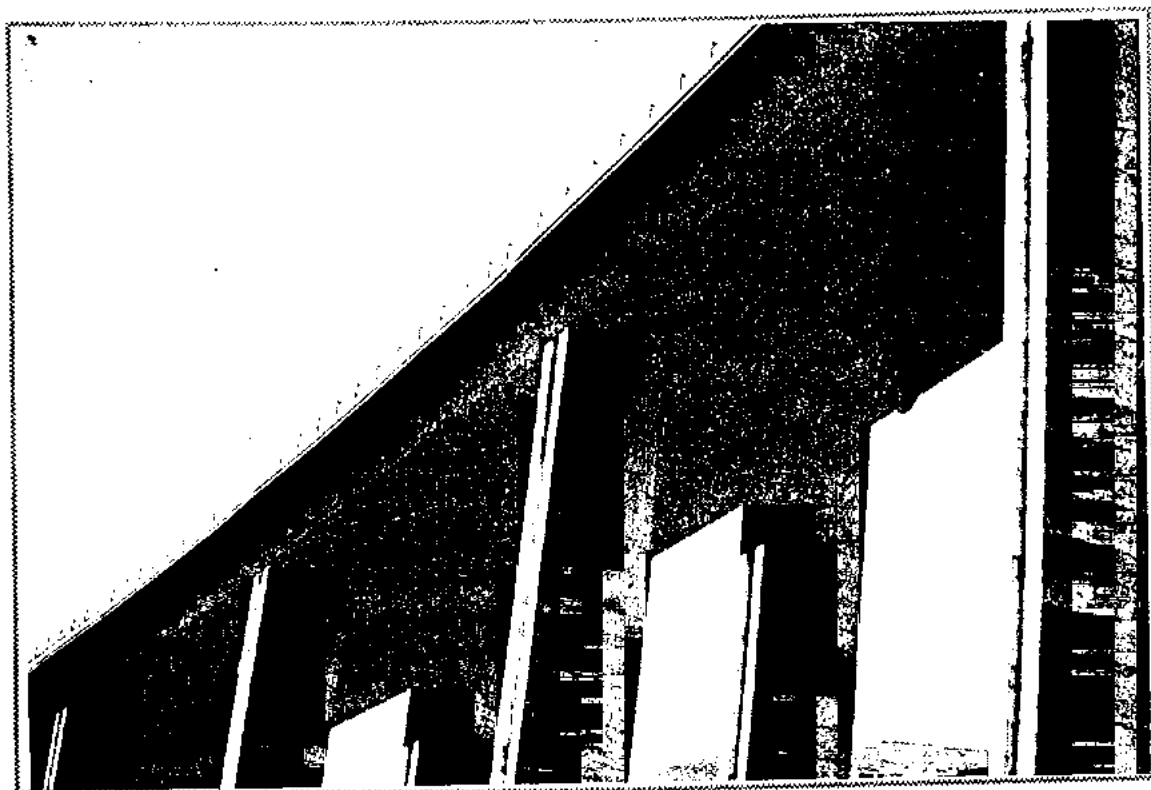


Fig. 3 - Un viadotto (1971-75) della A25 Roma-Pescara: la foto (1990) mostra l'ottimo stato di conservazione della struttura.

2.2 Serbatoio in c.a.p.

Nel 1975 è stato realizzato in zona sismica (Pordenone) un serbatoio in c.a.p. per acqua potabile (Fig. 4) della capacità di 2750 m^3 , alto circa 48 m; sono stati impiegati 700 m^3 di calcestruzzo trattati con additivo superfluidificante non già per ottenere un'elevata lavorabilità (*slump* = 7 cm), quanto invece per ridurre il rapporto *a/c* e limitare al minimo la permeabilità, il ritiro e soprattutto la deformazione viscosa (al fine di ridurre la perdita di tensione dell'acciaio a non più di 10 kg/mm^2).

2.3 Ciminiera di una centrale termica

Nel 1979 è stata costruita a Monfalcone una centrale termica (ENEL) le cui strutture in calcestruzzo più significative sono costituite da una fondazione armata e da una ciminiera. Questo esempio è molto istruttivo in quanto evidenzia le due "anime" dello stesso additivo: superfluidificante e super-riduttore d'acqua.

Per la fondazione fortemente armata (Fig. 5) si richiedeva l'impiego di un calcestruzzo molto fluido (*slump* = 22 cm) ed al tempo stesso non segregabile, per il quale - volendo limitare lo sviluppo di calore

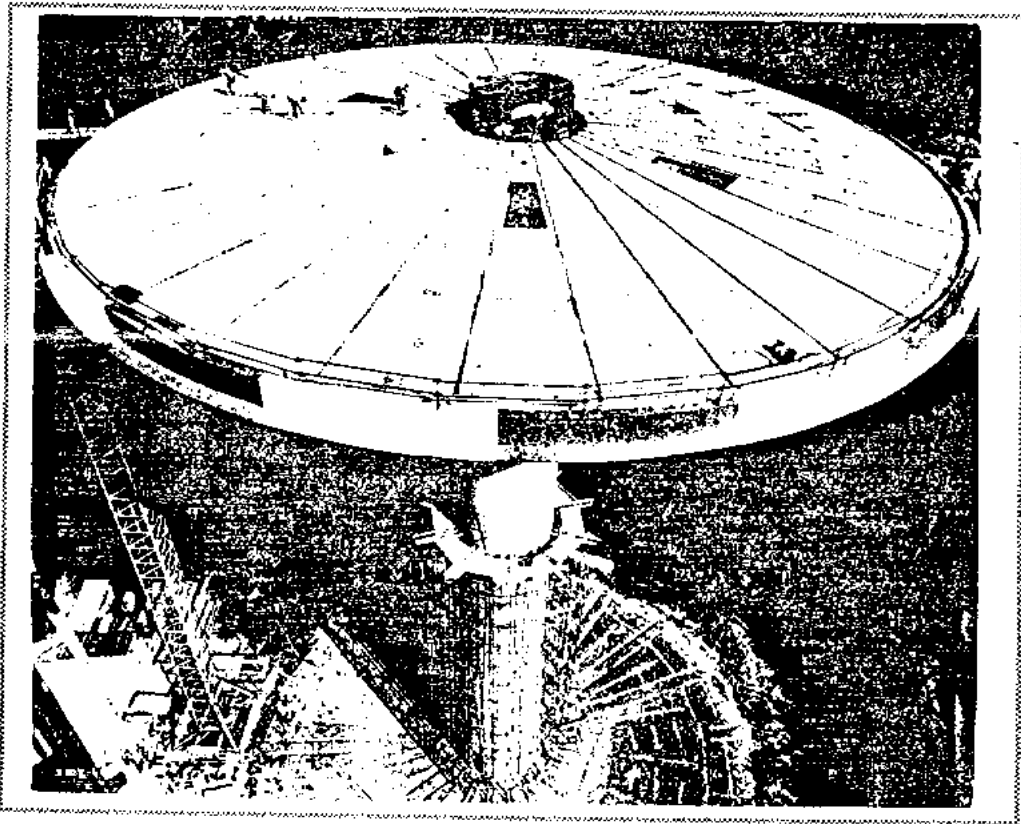


Fig. 4 - Il serbatoio in c.a.p. per acqua potabile di Pordenone (1975) durante una fase di costruzione

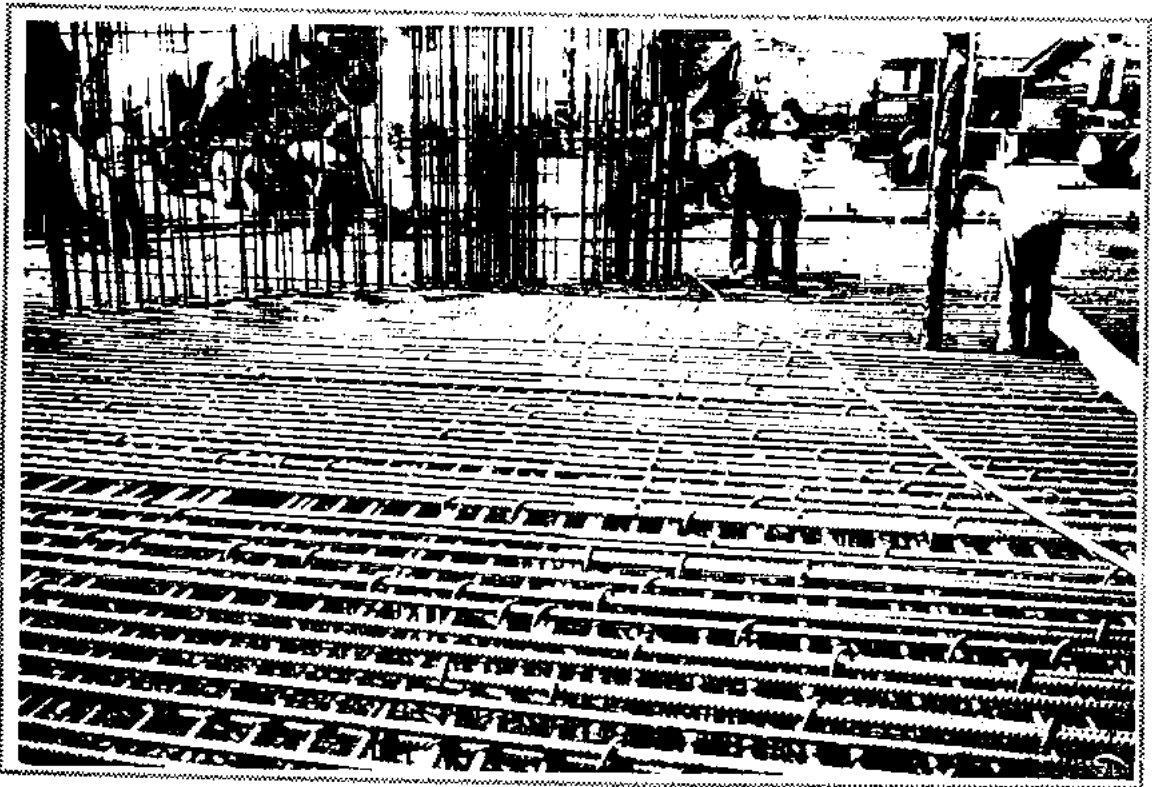


Fig. 5 - La centrale ENEL di Monfalcone (1979): la fondazione armata

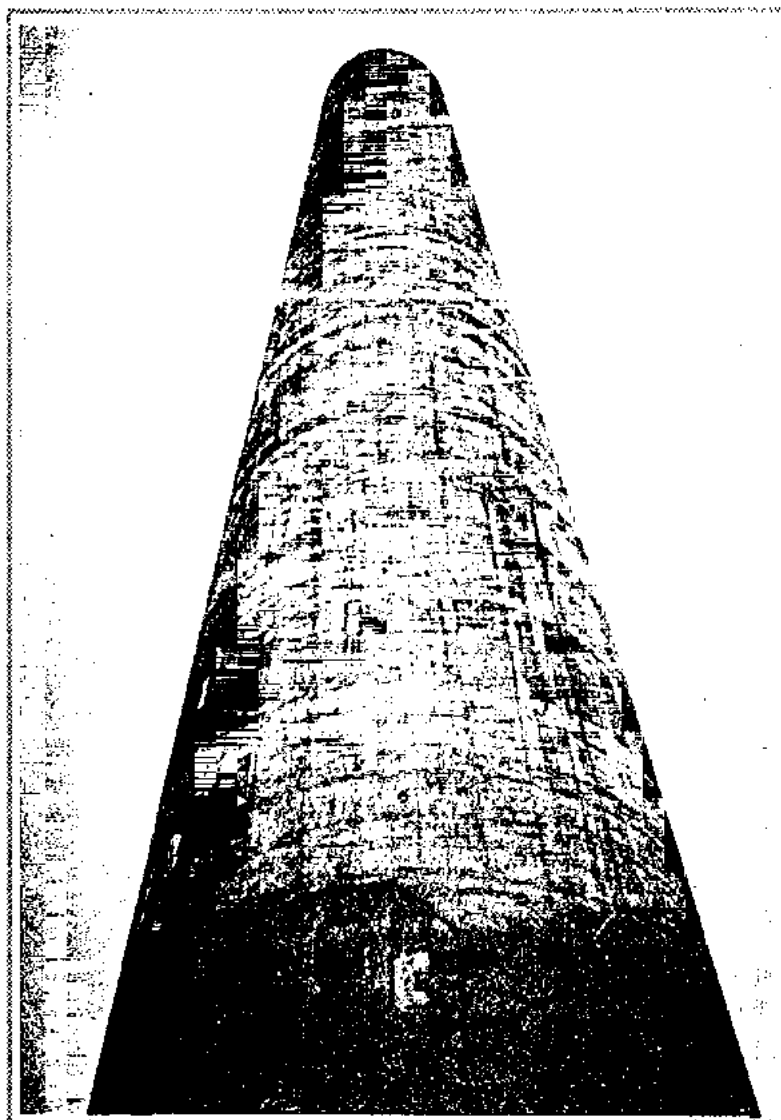


Fig. 6 - La centrale ENEL di Monfalcone (1979): la ciminiera

La struttura è stata realizzata per la prima volta nel mondo, attraverso un getto di 3.000 m^3 di calcestruzzo in 96 ore, alimentando il flusso di calcestruzzo mediante un "carosello" di 14 autobetoniere che scaricavano in continuo il materiale attraverso canalette (nelle zone periferiche) o pompe (nelle zone più centrali).

Per la costruzione della ciminiera alta 150 m (Fig. 6) si è ricorso alla tecnica dello *slip forming*, per la quale il calcestruzzo gettato doveva possedere una lavorabilità a coesistenza non fluida ma plastica (con *slump* cioè non superiore a 4-6 cm) al fine di consentire un più rapido avanzamento dei casseri rampanti: in questo caso si è impiegato un superfluidificante non ritardante, non già per fluidificare l'impasto, ma per ridurre il rapporto *a/c* e raggiungere quindi più velocemente un'alta resistenza meccanica alle brevissime stagionature.

2.4 Bacino di carenaggio

Nel 1980 è stato realizzato a Trieste un bacino di carenaggio la cui platea di fondazione (40.000 m^3 circa di calcestruzzo fortemente armato) è stata eseguita mediante sovrapposizione di più strati (20 cm) gettati in subacqueo (Fig. 7), autolivellanti per l'assenza assoluta di vibrazione, così coesivi da non essere dilavati, e tali da realizzare una struttura spessa 4 m sostanzialmente monolitica (Fig. 8). In questo caso,

ed il conseguente gradiente termico - non si poteva eccedere nel dosaggio di cemento ($< 400 \text{ kg/m}^3$) a causa delle rilevanti dimensioni della struttura (diametro = 31,1 m; spessore = 4,76 m) da realizzare in un getto monolitico di circa 3000 m^3 : l'obiettivo preposto, per un calcestruzzo di $R_{ck} = 30 \text{ MPa}$, era quello di non superare tra la periferia ed il nocciolo della struttura una differenza di temperatura di 40°C .

L'obiettivo è stato raggiunto (oltre che verificato mediante l'inserimento di termocoppie nelle diverse zone della struttura) impiegando un calcestruzzo con 330 kg/m^3 di cemento Portland 325, 60 kg/m^3 di cenere volante, $3,9 \text{ l/m}^3$ di superfluidificante-ritardante ed un rapporto *a/c* sul cemento di 0,53.

La funzione della cenere volante aveva lo scopo di sopprimere alla relativa mancanza di cemento e di fornire, grazie alla sua attività pozzolanica, la resistenza meccanica finale richiesta. L'additivo superfluidificante scelto era di tipo ritardante per non aggravare il gradiente termico attraverso un rallentamento dell'idratazione del cemento e del conseguente sviluppo di calore.

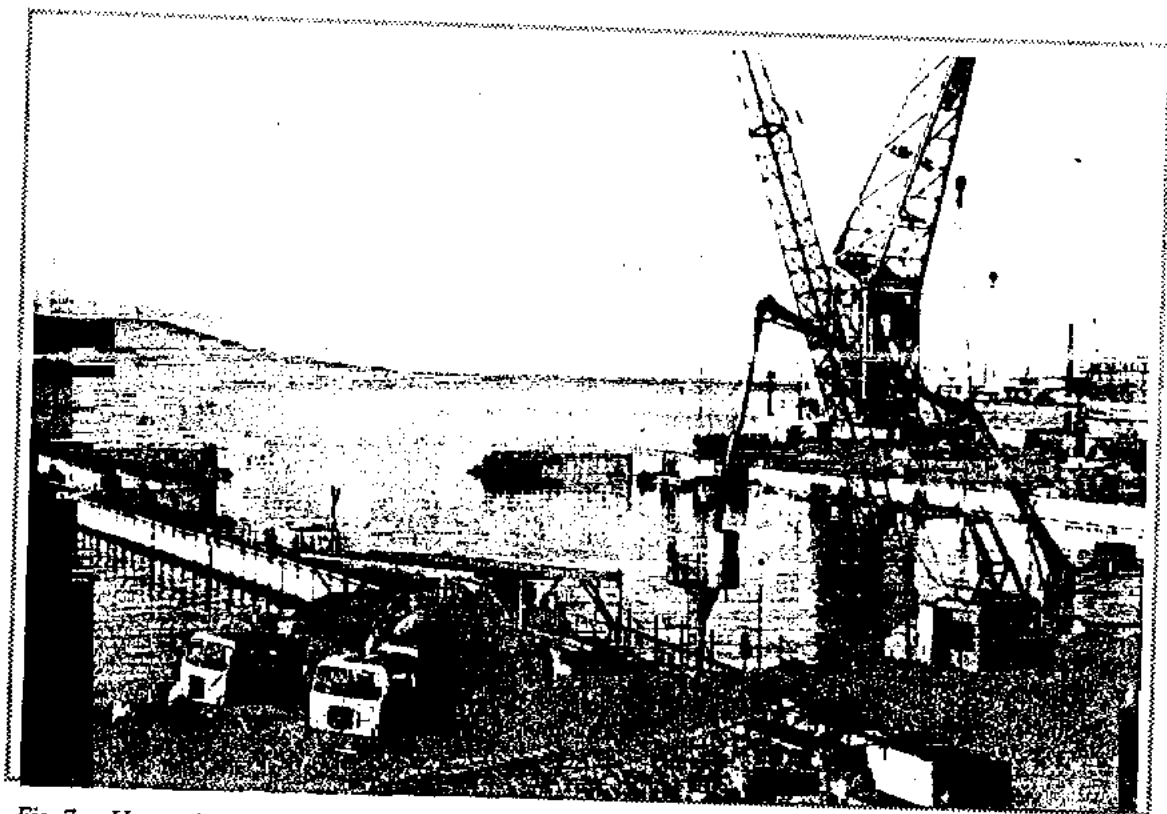


Fig. 7 - Una veduta del cantiere del bacino di carenaggio di Trieste (1980) durante una fase del getto subacqueo.

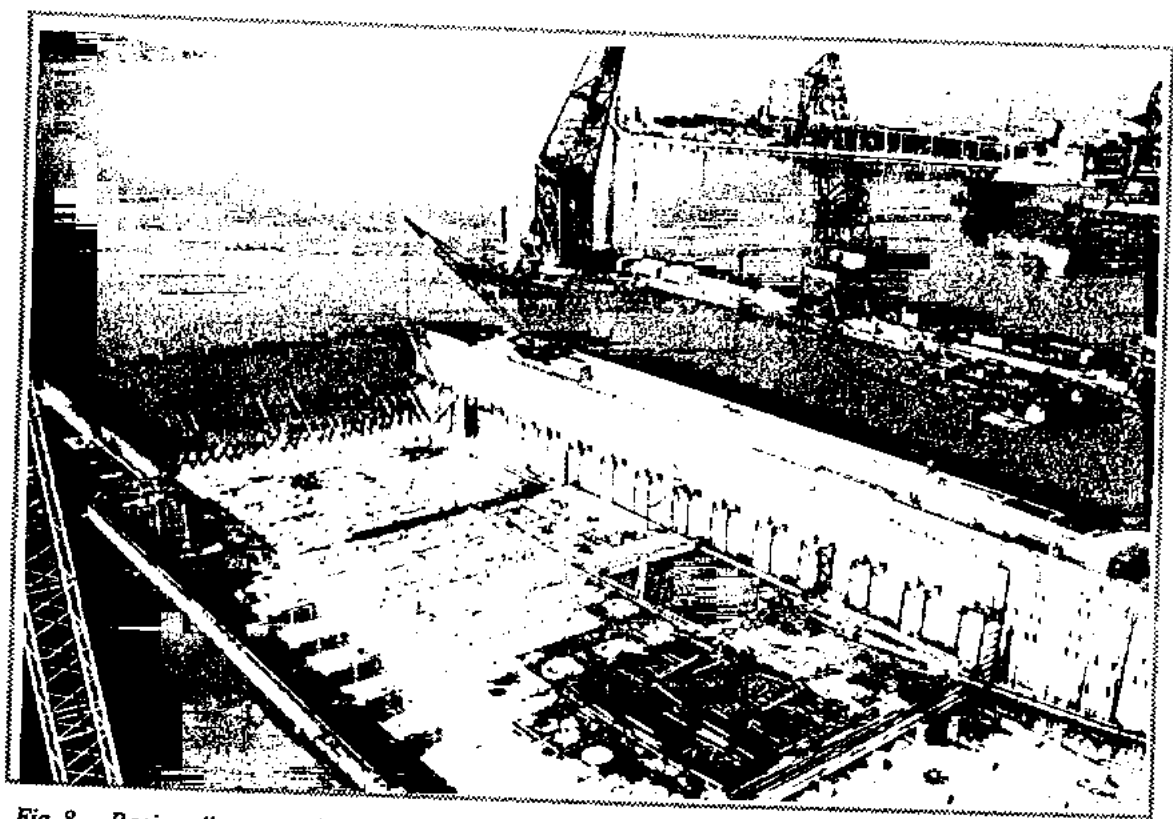


Fig. 8 - Bacino di carenaggio di Trieste (1980) - La platea gettata in subacqueo: in primo piano l'area dove il getto è proseguito a cielo aperto.

il contributo più significativo dell'additivo superfluidificante è stato certamente più quello di carattere esecutivo per risolvere i non pochi problemi tecnici in fase di costruzione (calcestruzzo fluido-autolivellante, non segregabile ma coesivo), che non quello di carattere progettuale per ottenere un materiale con basso rapporto a/c ($R_{ck} = 25$ MPa), impermeabile, di per sé durevole in ambiente marino e protettivo nei confronti dei ferri d'armatura. Tanto è vero che, anche per la parte di bacino da costruire a cielo aperto (75.000 m³), è stato egualmente impiegato un additivo superfluidificante al fine di semplificare ed accelerare le operazioni di messa in opera mediante pompa (Fig. 9), sebbene, dal punto di vista progettuale, i requisiti richiesti per il calcestruzzo messo in opera a cielo aperto fossero meno impegnativi di quelli per il conglomerato gettato in subacqueo.

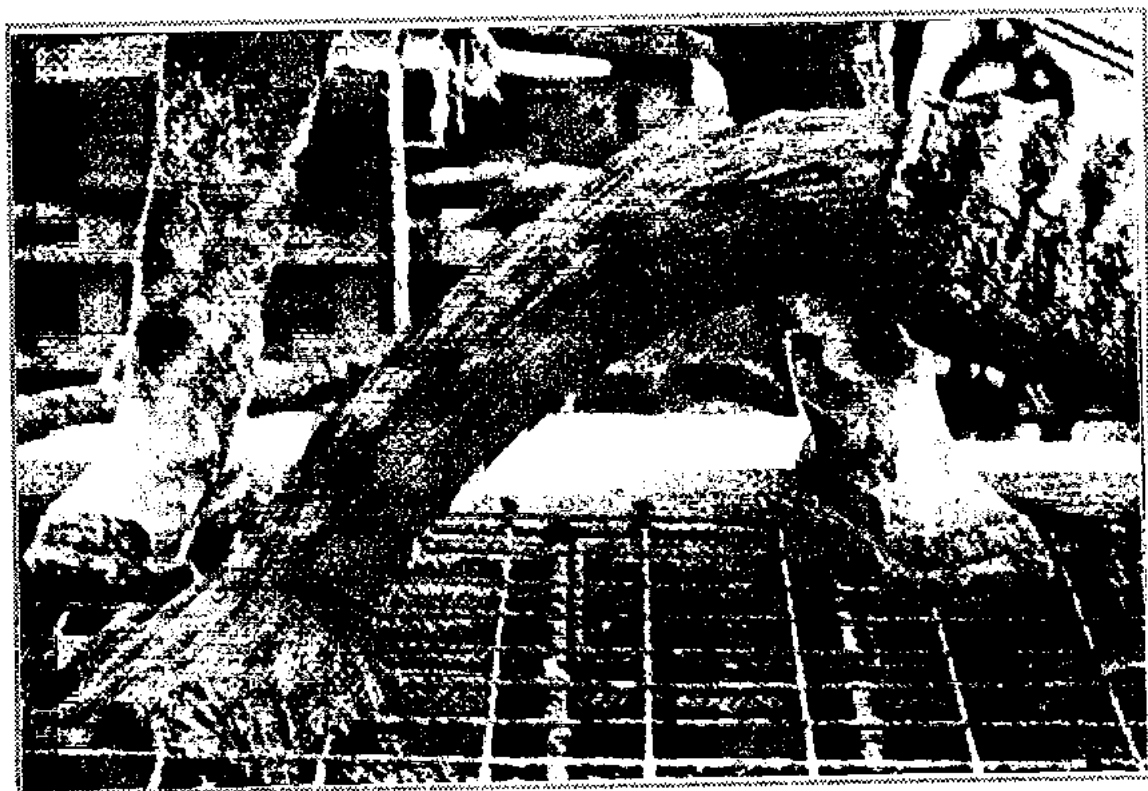


Fig. 9 - Bacino di carenaggio di Trieste (1980) - Completamento del getto a cielo aperto mediante pompa.

2.5 Fondazione armata

Per quanto anche nel precedente paragrafo 2.3 si sia già accennato alle innovazioni tecnologiche conseguibili con l'uso degli additivi superfluidificanti per l'esecuzione di getti monolitici con bassi gradienti termici nonostante le rilevanti dimensioni della struttura, l'esempio che viene qui descritto si evidenzia per la sua spettacolarità (Fig. 10): nel 1984 ad Hong Kong, in un solo giorno, sono stati messi in opera 2.700 m³ di calcestruzzo autolivellante letteralmente *gettato* in caduta libera per l'esecuzione di un solettone fortemente armato, spesso circa 5 m, distante 36 m dal piano stradale dove il flusso di conglomerato veniva alimentato in continuo da una serie di autobetoniere. Si è trattato della fondazione di una metropolitana sulla quale insiste un grattacielo.

Anche in questo caso il contributo derivante dall'additivo superfluidificante alla soluzione del problema esecutivo (per la messa in opera in assenza di vibrazione e per la eliminazione di segregazione nonostante la rilevante caduta libera) ha forse prevalso sul contributo fornito all'aspetto progettuale: riduzione del gradiente termico ($< 30^{\circ}\text{C}$ tra nocciolo e periferia della struttura) per eliminare le fessurazioni, e raggiungimento di una R_{ck} di 45 MPa.

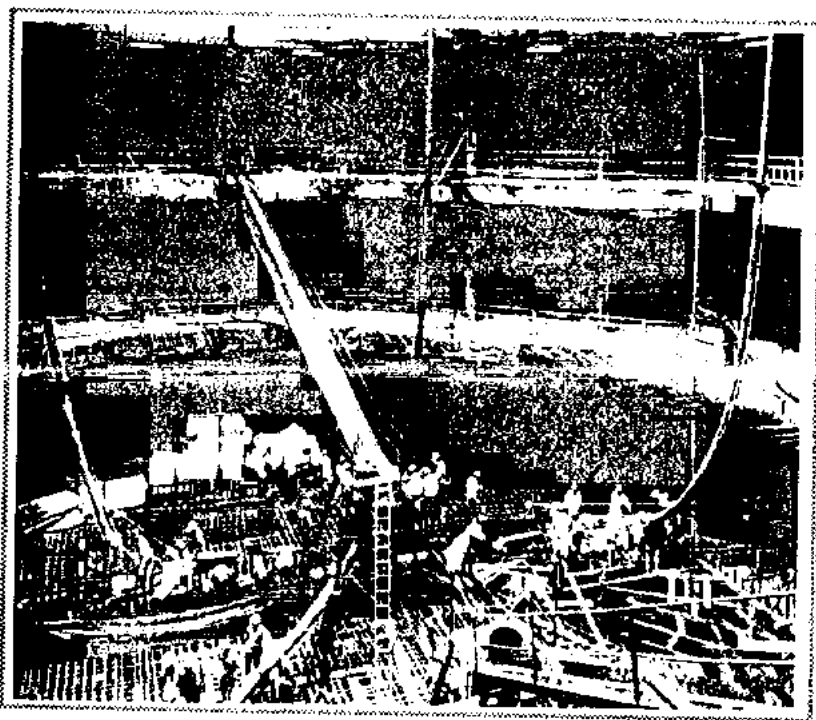


Fig. 10 - Il getto in continuo della fondazione della stazione Tin Hau della metropolitana di Hong Kong

nella fondazione della centrale termica di Monfalcone, per arrivare a quella sopra descritta della Metropolitana di Hong Kong nel 1984, ha subito tutta una serie di collaudi e perfezionamenti in lavori intermedi eseguiti nel 1983 a Singapore, a New York ed in Arabia Saudita per la costruzione di numerosi grattacieli: tutte le relative fondazioni armate di queste costruzioni alte sono state eseguite gettando in monolitico un calcestruzzo autolivellante e non segregabile attraverso un sistema di canalette, senza l'impiego di pompe, al punto di trasformare il cantiere in un vero e proprio impianto idraulico (Fig. 11).

Su queste fondazioni armate sono state realizzate delle strutture tra le quali spiccano la *Trump Tower* famosa per essere la più alta costruzione di New York in c.a. (Fig. 12); il grattacielo di *Raffles City* (Singapore), uno dei più grandi ed alti (più di 200 m) centri commerciali mai costruiti (Fig. 13); la città militare (*King Kaled Military City*) in Arabia Saudita, la più grande costruzione al mondo (8 miliardi di dollari) derivante da un singolo progetto, attualmente utilizzata come base per le forze militari statunitensi nella nota vicenda tra Iran e Kuwait.

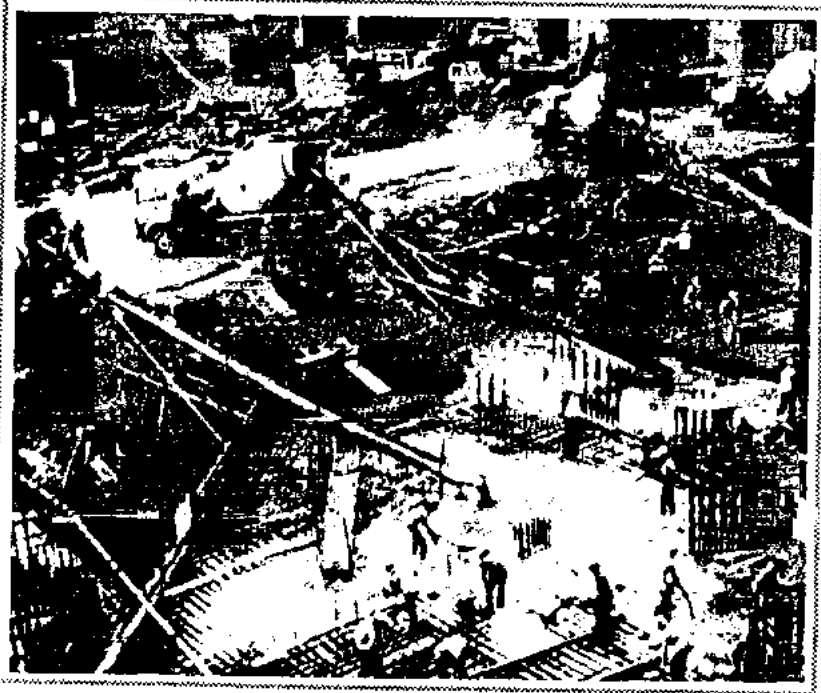


Fig. 11 - Realizzazione di una platea di fondazione con calcestruzzo reoplastico (*Raffles City* - Singapore)

Val la pena di segnalare che, anche in questa applicazione, come si è già visto nell'esempio della fondazione della centrale termica (2.3), il vincolo derivante dal ridotto gradiente termico, ha comportato un limite nel dosaggio di cemento (350 kg/m^3), cui si è sopperito con l'impiego di cenere volante (90 kg/m^3), senza la cui presenza il solo additivo superfluidificante (4 l/m^3) non sarebbe riuscito a rendere il calcestruzzo così coesivo da poter essere gettato per 36 m senza rischio di segregazione.

2.6 Costruzioni alte

La tecnica del getto monolitico di calcestruzzo autolivellante, sperimentata per la prima volta nel 1979

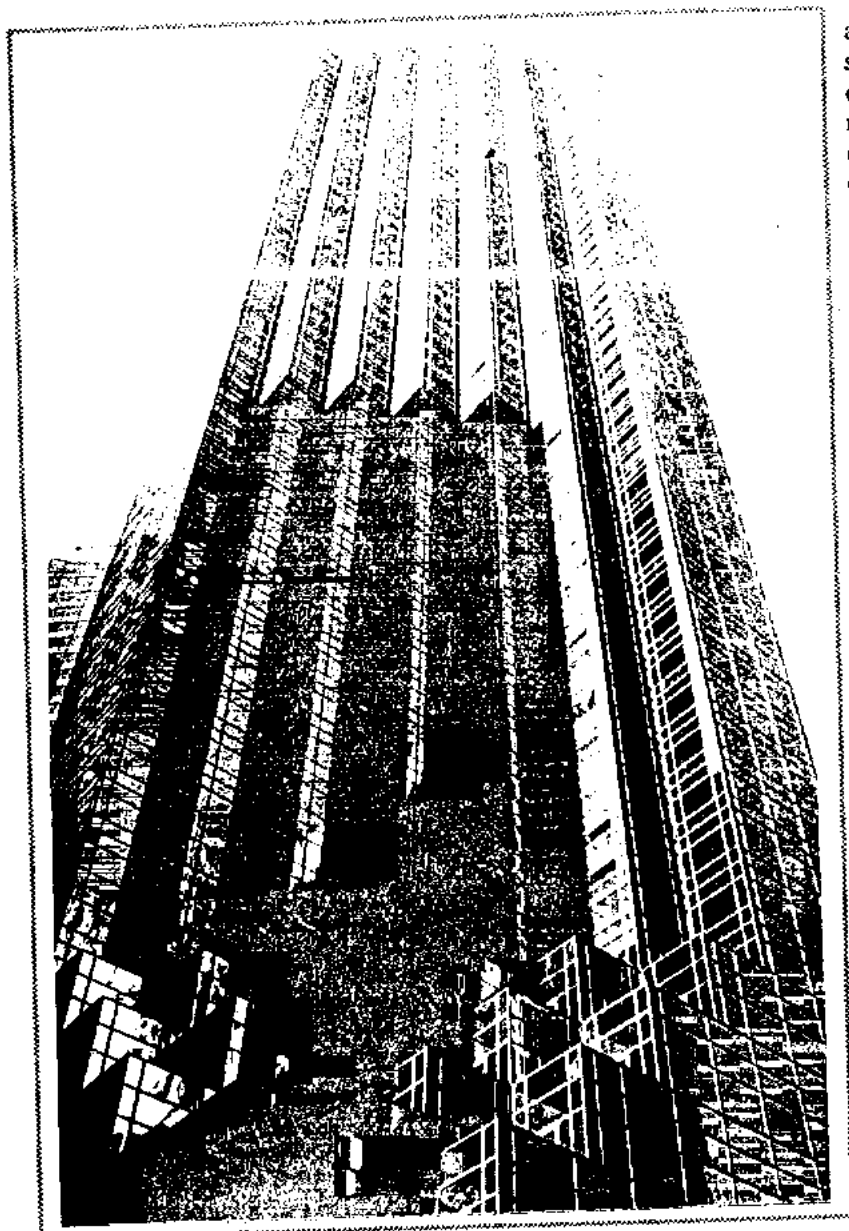


Fig. 12 - La Trump Tower a Manhattan : il più alto edificio in calcestruzzo di New York.

La caratteristica che accomuna tutte queste costruzioni, dal punto di vista del materiale, è l'elevata resistenza meccanica richiesta dal progettista (R_{ck} da 50 a 65 MPa). Ancora una volta, però, si deve registrare come l'impiego dell'additivo superfluidificante abbia contribuito non solo e non tanto a soddisfare i requisiti progettuali, quanto piuttosto a rendere più rapida e più semplice ed affidabile l'esecuzione della costruzione: infatti, l'elevata resistenza meccanica finale ha comportato conseguentemente anche una resistenza meccanica iniziale (25-30 MPa a 1 giorno), che ha consentito un rapido avanzamento dei lavori (1 piano ogni 2 giorni); d'altra parte l'impiego di un calcestruzzo autolivellante, nonostante il basso rapporto a/c adottato, ha sempre reso semplice ed affidabile anche il getto più difficile per l'elevata densità di armatura e/o per la ridotta sezione della struttura.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M.R. RIXOM, *Chemical Admixtures for Concrete*, London, E & F.N. Spon Ltd, 1978.
- [2] M. COLLEPARDI, *Water Reducers/Retarders*, Chapter III in *Concrete Admixtures Handbook. Properties, Science and Technology*, Ed. V.S. Ramachandran, Noyes Publications, Park Ridge, N.J., USA, 1984.

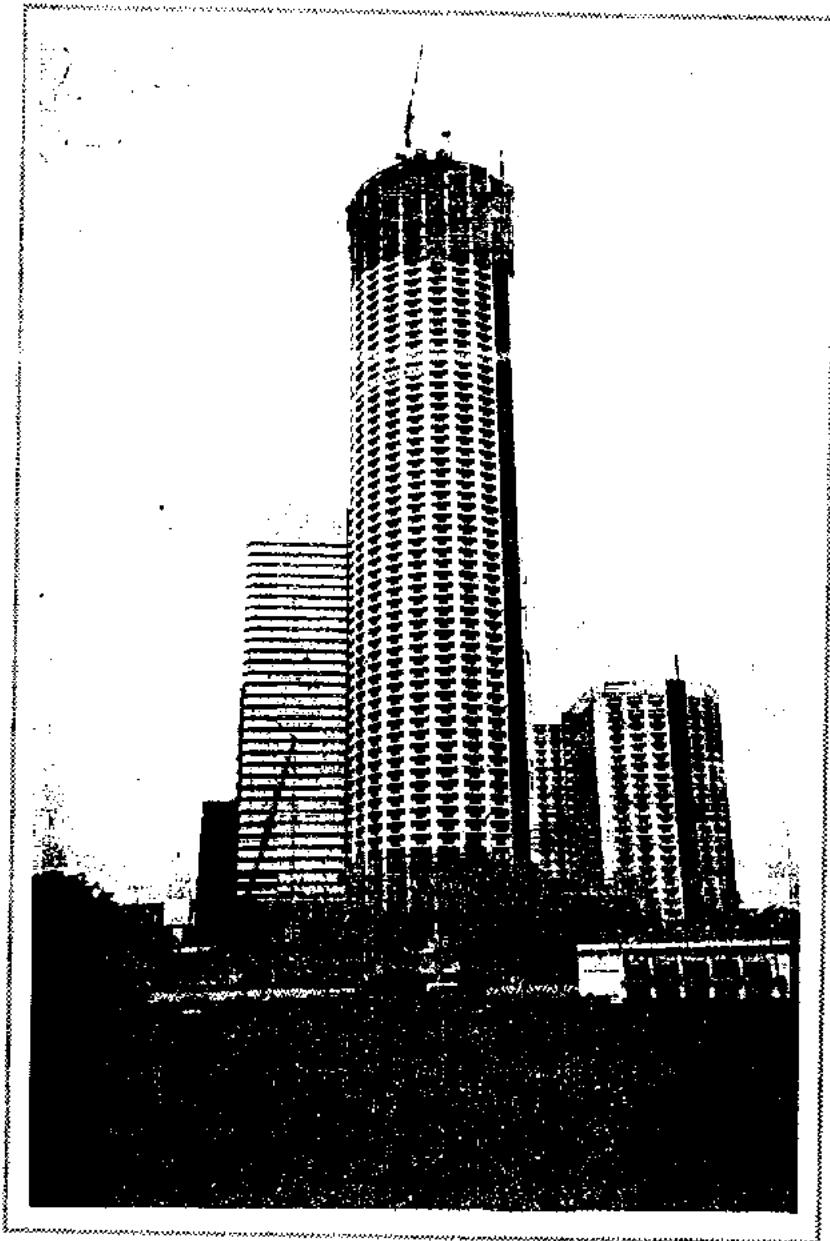


Fig. 13 - La torre di Raffles City ultimata (1983)

- [3] V.S. RAMACHANDRAN e V.M. MALHOTRA, Superplasticizers, Chapter IV in Concrete Admixtures Handbook. Properties, Science and Tecnology, Ed. V.S. Ramachandran, Noyes Publications, Park Ridge, N.J., USA, 1984.
- [4] W.L. DOLCH, Air Entraining Admixtures, Chapter V in Concrete Admixtures Handbook. Properties, Science and Tecnology, Ed. V.S. Ramachandran, Noyes Publications, Park Ridge, N.J., USA, 1984.
- [5] Ing. S. ZORZI, comunicazione privata.
- [6] Ing. BRUNI, S.A.R.A., comunicazione privata.