

IN ATTESA DEL DURABILIMETRO

WHILE AWAITING THE DURABILITY METER

MARIO COLLEPARDI*

Con l'avvento delle normative europee, la durabilità delle opere in c.a. e c.a.p. è diventata un parametro qualificante e per certi aspetti più determinante che non la resistenza caratteristica del calcestruzzo. A differenza di quest'ultima proprietà, la durabilità del materiale non può essere misurata direttamente se non attraverso prove lunghissime in ambienti aggressivi per valutarne il comportamento nel tempo. Insomma, non esiste ancora un "durabilmetro" che, appoggiato su una trave o su un pilastro, emetta un giudizio immediato sul comportamento del materiale a lunga durata.

In attesa che qualcuno inventi il "durabilmetro", il Comitato di esperti (chiamati ad emanare le norme sulla durabilità del calcestruzzo in tutta l'Unione Europea**) ha adottato un approccio empirico basato sulla seguente osservazione derivante da oltre un secolo di esperienza: in un dato ambiente aggressivo (terreno, mare, alta montagna, ecc.) per tutte le opere per le quali il rapporto acqua/cemento (a/c) supera un determinato valore critico, esiste un'elevata probabilità di degrado per il calcestruzzo nei primi 50 anni di servizio. Conseguentemente, il Comitato di esperti ha prima individuato e classificato i più importanti ambienti nei quali l'opera è destinata a sorgere (*classi di esposizione ambientale*) ed ha quindi stabilito per ogni categoria ambientale i limiti invalicabili nel rapporto a/c , seguendo il principio generale che quanto più aggressivo è l'ambiente, tanto più basso deve essere il limite del rapporto a/c per garantire la durabilità del materiale.

Val la pena subito di precisare che il rapporto a/c non è un fattore del tutto indifferente dal punto di vista economico giacché abbassare il rapporto a/c ha un costo: infatti, per diminuire un rapporto, occorre o diminuire il parametro che sta al numeratore (a) o aumentare quello che sta al denominatore (c) oppure, più efficacemente, fare entrambe le cose insieme. Ciascuna di queste operazioni ha un costo: diminuire l'acqua comporta, infatti, l'impiego di un additivo fluidificante per compensare la minore lavorabilità dell'impasto a seguito della riduzione di acqua; aumentare c comporta ovviamente l'incremento nel dosaggio di cemento. Ne consegue, insomma, che passare da un calcestruzzo rispondente ai soli obiettivi statici (con un certo rapporto a/c) ad un calcestruzzo che sia anche durabile (e quindi con un ben determinato limite nel rapporto a/c stabilito dalle normative europee) può avere - ma non necessariamente ha - un maggior costo.

Senza entrare nel dettaglio tecnico e rinviando l'approfondimento ad una precedente pubblicazione apparsa su questa rivista***, possiamo ipotizzare due situazioni:

a) Strutture che, al di là dei requisiti di durabilità, richiedono già un basso rapporto a/c in vista di un'elevata resistenza meccanica. Appartengono a questa categoria le strutture in c.a. e c.a.p. e quasi tutti i manufatti prefabbricati in c.a. e c.a.p. per i quali la R_{ch} è generalmente nell'intervallo 35-50 MPa, e quindi il rapporto a/c è necessariamente basso (0,55-0,45), e quasi sempre eguale o inferiore al limite stabilito per il conseguimento della durabilità anche in ambienti molto aggressivi: è ovvio che per queste strutture l'extra-costò della durabilità richiesto dalle normative europee è nullo in quanto, per l'elevata resistenza meccanica, il calcestruzzo è confezionato necessariamente con un basso rapporto a/c e possiede, quindi, anche il requisito della durabilità.

* Dip.to di Scienza dei Materiali e della Terra, Università di Ancona.

** Si tratta della pre-norma europea ENV 206, corrispondente alla UNI 9858, recepita dal D.M. dei LL.PP. per le opere in c.a. e c.a.p. (legge n. 1086).

*** L'Industria Italiana del Cemento, n. 677, pp. 357-370, Maggio 1993.

b) Strutture che, per il loro modesto impegno statico, non richiedono un'elevata resistenza meccanica e quindi il calcestruzzo è confezionato con un modesto dosaggio di cemento, cioè con un elevato rapporto a/c . Queste strutture, se è vero che le sollecitazioni statiche e dinamiche sono trascurabili, nel momento in cui si trovano in ambienti aggressivi (pioggia, gelo, salsedine, ecc.) sono sottoposte ad altro tipo di sollecitazioni (il dilavamento, la formazione di ghiaccio, la corrosione dei ferri, ecc.) per resistere alle quali occorre ridurre l'acqua di impasto ed aumentare il dosaggio di cemento in modo che il rapporto a/c rientri nei limiti stabiliti dalla norma****. Occorre, in sostanza, rendere il calcestruzzo meno poroso, meno penetrabile dagli agenti atmosferici e quindi meno vulnerabile dagli attacchi aggressivi dell'ambiente. Questo adeguamento del rapporto a/c per garantire la durabilità del materiale si tramuta in un maggior costo ed anche in un incremento di fatto della R_{ck} , ancorché non richiesto ai fini statici.

A quanto ammonta questo extra-costi per la durabilità? Difficilmente esso supera l'1% del costo globale della strutture nelle opere di ingegneria infrastrutturale maggiormente esposte alle aggressioni ambientali e scende a valori ancora più bassi (circa 0,2-0,6%) per le opere di edilizia residenziale.

Esemplificativamente può essere preso in considerazione un immobile in un condominio residenziale, il cui costo totale sia stimabile in circa 100 milioni di lire. La quota di calcestruzzo (dalle fondazioni al tetto) ascrivibile all'immobile è di circa 75 m³. Assumendo una R_{ck} di 30 MPa ed un costo del calcestruzzo di 90.000 Lire/m³ l'incidenza economica del calcestruzzo per l'immobile è $75 \cdot 90.000 = 6.750.000$ Lire pari a circa il 6,8% del totale. Il rapporto acqua/cemento del calcestruzzo con R_{ck} di 30 MPa - assumendo l'impiego di un cemento al calce CEM II A/L 42,5, una consistenza fluida ed un dosaggio di 305 Kg/m³ di cemento - è di circa 0,65.

Questo valore è superiore al limite di 0,60 previsto per le opere in c.a. in ambienti esterni genericamente aggressivi in classe di esposizione 2a (privi cioè di specifiche aggressioni ambientali, quali gelo-disgelo, mare, terreno solfatico, ecc.). E' necessario, quindi, ridurre il rapporto a/c da 0,65 a 0,60 (con un maggior dosaggio di cemento di circa 25 Kg/m³) per adeguare la durabilità del calcestruzzo alle normative europee. Questo abbassamento nel rapporto a/c provoca un aumento nella resistenza caratteristica da 30 MPa a 35 MPa, ancorché questo incremento della R_{ck} non sia assolutamente richiesto ai fini statici, ma rifletta soltanto l'abbassamento nel rapporto a/c richiesto ai fini della durabilità. Il costo del materiale durabile è in questo caso identificabile con quello di un calcestruzzo con R_{ck} di 35 MPa (92.500 Lire/m³). In sostanza, l'adozione dei criteri di durabilità ha comportato una promozione nella qualità del calcestruzzo quantificabile in un aumento di R_{ck} da 30 a 35 MPa ed in un extra-costi di 2.500 Lire pari al 3% circa rispetto al costo del solo calcestruzzo. L'adozione di un calcestruzzo durabile ha comportato un maggior costo di $75 \cdot 2.500 = 187.500$ Lire che corrispondono a meno dello 0,2% sul costo totale dell'opera (100 milioni).

Finora si è parlato di un extra-costi per la durabilità e lo si è quantificato in uno 0,2% nell'esempio dell'immobile sopra illustrato. Sarebbe, però, più corretto parlare di un investimento - come si vede modestissimo ma di elevatissimo rendimento - per ridurre gli oneri di straordinaria manutenzione e di restauro ai quali si andrà inevitabilmente incontro, se non si impiega un calcestruzzo durabile capace di proteggere sé stesso e soprattutto i ferri di armatura dalla lenta ed inesorabile aggressione ambientale.

**** Val la pena di precisare che il vincolo del dosaggio minimo di cemento previsto dalle norme ENV 206 ed UNI 9858 è troppo basso per garantire la durabilità, soprattutto quando si impiegano inerti piccoli (diametro massimo 8-16 mm) ed elevati quantitativi di acqua (180-200 Kg/m³) per ottenere calcestruzzi molto lavorabili. Risulta, infatti, evidente che per rispettare i vincoli del rapporto a/c previsti dalla normativa è necessario adottare dosaggi di cemento più elevati rispetto a quelli previsti dalle norme ENV 206 e UNI 9858 per garantire la durabilità di questi calcestruzzi.

With the advent of the European standards the durability of work in reinforced and prestressed concrete structures has become a qualifying parameter, one exerting more influence in some ways than the concrete characteristic compressive strength. Unlike this latter property, material durability cannot be measured directly except through very lengthy tests carried on in aggressive environments to evaluate the material's behaviour over time. In short, there is as yet no "durability-meter" that, set down on a beam or column, will give us an immediate judgement on the material's long-term behaviour.

While waiting for someone to invent the "durability-meter" the Committee of experts called on to issue the standards on concrete durability for the whole European Union** has adopted an empirical approach based on the following observation, which derives from more than a century of experience: in some given aggressive environment (soil, sea, water, high-mountain, etc.) for all works for which the water/cement ratio (w/c) exceeds a certain critical value, there is a high probability of the concrete's deterioration in its first fifty years of service. Consequently, the Committee of experts first identified and classified the most important environments in which the work is going to stand (environmental-exposure classes) and then established, for each environmental category, the limits in the w/c ratio one cannot exceed, following the general principle that the more aggressive is the environment, the lower must be the limit on the w/c ratio to ensure material durability.

It is worthwhile noting at once that the w/c ratio is not a wholly unimportant factor from the economic standpoint, since lowering the w/c ratio has a cost: in fact, to lower the ratio, it is necessary either to lower the numerator (water) or increase the denominator (cement) or, most effectively, do both together. Each of these operations has a cost: the reduction of the amount of water demands in fact the use of a fluidizing admixture to compensate for the lower workability of the mix because of the reduction in its water content; the increase in the denominator obviously implies increasing the cement content in the mix. The result is, in short, that to go from a concrete meeting only static objectives (with a given w/c ratio) to a concrete that is durable (and therefore having a definitely determined limit on its w/c ratio, as established by the European standard) can – although not necessarily – come at a higher cost.

Without going into technical details and referring the reader for a in-depth treatment to an earlier publication that appeared in this magazine***, we can hypothesize two situations:

a) Structure that, beyond the requisites of durability, already demand a low w/c ratio in order to have high strength. Belonging to this category are reinforced and prestressed structures and almost all precast structures for which the f_{ck} is generally in the range of 35-50 MPa, and therefore the w/c ratio is necessarily low (0.55 to 0.45) and almost always equal to or below the limit set for achieving durability in even highly aggressive environment. It is obvious that for such structures the extra-cost for durability implied by European standards will be nil, since because of the high strength the concrete mix is necessarily manufactured with a low w/c ratio and therefore possesses the requisite of durability.

* Dep't of Science of Materials and of the Earth, University of Ancona.

** At issue is the European pre-standard ENV 206, which corresponds to the UNI 9858, incorporated into Italian law by Public Works Ministry Decree for works in reinforced and prestressed concrete structures (law no. 1086).

*** L'Industria Italiana del Cemento, n. 677, pp. 357-370, May 1993.

- b) Structure that, because of the moderate stress do not need high strength so that the concrete mix is manufactured with a moderate cement content, that is, with a high w/c ratio. These structures, even if it is true that the static and dynamic stresses are negligible, when they are located in aggressive environments (rain, frost, brine, etc.) are subjected to another kind of stress (washing, formation of ice, corrosion of the steels, etc.), to stand up to which their mixing water must be reduced and their cement content increased, so that the w/c ratio falls within the limits laid down by the standard****. It is necessary, in sum, to make the concrete less porous, less penetrable by atmospheric agents and thus less vulnerable by aggressive attack by the environment. This upgrading of the w/c ratio to ensure material durability implies a higher cost and also a de facto increase in the f_{ck} , even if not demanded for statics purposes.

What is the amount of this extra-cost that durability implies? It is unlikely that it will exceed one percent of the total cost of the engineering infrastructural works most exposed to environmental aggression, and will drop to yet lower values (around 0.2-0.6%) for residential building construction works.

As an example a residential apartment in a condominium building may be considered, whose total cost is estimated at around 100 million liras. The share of concrete ascribable to the apartment (from foundations to roof) is about 75 m³. Assuming an f_{ck} of 30 MPa and a concrete cost of 90,000 Lit/m³ the incidence of the concrete on the apartment cost is $75 \cdot 90,000 = 6,750,000$ Lit. or 6.8% of the total. The w/c ratio of a concrete with an f_{ck} of 30 MPa – assuming the use of a limestone cement of the type CEM II A/L 42.5, a fluid consistency and a batching at 305 kg/m³ of cement – will be around 0.65.

This value exceeds the limit of 0.60 envisioned for reinforced concrete works in generically aggressive outside environments having a 2a exposure class (that is, devoid of any specific environmental aggression, such as freezing-thawing, sea water, sulphate soils, etc.). The w/c ratio must thus be dropped from 0.65 to 0.60 (with an increase in the amount of cement of about 25 kg/m³) to bring the concrete durability within European standards. This lowering of the w/c ratio implies an increase in the concrete characteristic strength from 30 MPa to 35 MPa, even if this increase in the f_{ck} is absolutely not needed for statics purposes, but only reflects the lowering of the w/c ratio needed for the purposes of durability. The cost of the durable material is in this case to be identified with the cost of a concrete having an f_{ck} of 35 MPa (92,500 Lit/m³). In sum, the adoption of the durability criteria involves a promotion in the quality of the concrete that can be quantified in an increase in the f_{ck} of from 30 to 35 MPa, and in an extra cost of 2,500 lit/m³, or 3% relative to the cost of the concrete alone. The adoption of a durable concrete thus leads to an increased cost of $75 \cdot 2,500 = 187,500$ Lit., which is less than 0.2% of the total cost of the apartment (100 million Lit.).

To this point we have spoken of an extra-cost for durability and it has been quantified at 0.2% in the example of the apartment set forth above. It would however be more correct to speak of an investment – as we see, a very moderate one but of very high yield – to reduce special maintenance and restoration charges, which will inevitably come if a durable concrete capable of protecting itself and especially the reinforcing steels from slow but inexorable environmental aggression is not used.

**** It is worthwhile noting that the constraint on the minimum cement content called for by the ENV 206 and UNI 9858 standards is too low to ensure durability, especially when small maximum size coarse aggregate (8-16 mm) and high amounts of water (180-200 kg/m³) are used, to obtain very workable concretes. It is in fact obvious that to comply with the constraints on the w/c ratio called for by the standards it is necessary to use cement contents higher than those called for by the ENV 206 or UNI 9858 standards to ensure the durability of these concretes.