A cura di
Agostino Catalano
e Camilla Sansone

Concrete 2009

THE BUILDING TECHNIQUES

I International congress

Technological development of concrete

Tradition, actualities, prospects

LUCIANOEDITORE

LE AVIORIMESSE DI PIERLUIGI NERVI A MARSALA: CORRELAZIONI TRA LE DIVERSE MODALITÀ DI ESECUZIONE E LO STATO DI CONSERVAZIONE

GIOVANNI RIZZO, LAURA ERCOLI, BARTOLOMEO MEGNA
Università degli Studi di Palermo, Palermo, Italia
rizzo@dicpm.unipa.it

Keywords: Pier Luigi Nervi, Aviorimesse, Ambiente Marino, Calcestruzzo Prefabbricato

Summary

This work deals with the composition and the state of conservation of the concrete of two hangars designed and built by Pier Luigi Nervi in 1940-1941. The interest in his project is related both to the use of on site prefabrication for so large structures (45x55m plan), and to some peculiarities of the mix design, in particular the aggregate/binder ratio and the lithological composition of the aggregates. The study has been performed by means of X ray diffractometry, optical microscopy in transmitted light on thin sections, ionic chromatography and carbonation tests. The twofold aim is to asses the conservation condition of concrete after 67 years of ageing in a marine spray environment and to relate the degradation phenomena both to mix design and to pouring operation.

1. Introduzione

Negli anni immediatamente precedenti la seconda guerra mondiale la penuria di acciaio, destinato ormai quasi tutto all'industria bellica, e la scelta autarchica del regime, che impediva qualsiasi importazione di materie prime, stimolò i progettisti a ricercare soluzioni alternative per la realizzazione di strutture di grande luce. Quindi, mentre nel resto dell'Europa le costruzioni caratterizzate da coperture di grande luce, comprese le aviorimesse militari, venivano realizzate con intelaiature e coperture metalliche, in Italia, grazie ai risultati della ricerca scientifica e tecnologica condotta tra il 1930 e il 1940 dall'ingegnere Pier Luigi Nervi (1891-1979) sulle potenzialità del calcestruzzo armato, fu sperimentata la tecnica della prefabbricazione a piè d'opera di grandi strutture in calcestruzzo [1-3]. Così, al limite della Riserva Naturale delle Isole dello Stagnone, all'interno dell'area dell'idroscalo di Marsala (TP), tra il 1940 e il 1941 l'Impresa Anonima per Costruzioni Nervi & Bartoli costruì due aviorimesse, sul progetto "*Prototipo per un'Aviorimessa a Massimo Contenuto Autarchico di 45x55 metri*", redatto dalla stessa ditta nel 1939 in seguito a un appalto concorso. Sulla base di questo prototipo, e delle sue successive elaborazioni, sul territorio nazionale furono realizzate dodici aviorimesse, ma solo le due di Marsala, insieme ad una terza, scamparono alle distruzioni belliche.

Il progetto, oltre che per gli aspetti strutturali, risulta di grande interesse anche perché è permeato da quel grande senso estetico che caratterizza tutte le opere di Nervi. Un sistema di pilastri perimetrali in CLS armato, chiusi da murature di conci di calcarenite, e ventotto puntoni inclinati, anch'essi di calcestruzzo armato, costituiscono la struttura portante su cui scaricano 14 archi reticolari, di luce complessiva di 45 m ed altezza della freccia interna di 16,5 metri. Gli archi furono prefabbricati a piè d'opera con travetti reticolari in calcestruzzo armato. Le lastre rettangolari e i coppi coprifuga che costituiscono la copertura, dello spessore 4 cm, sono anch'essi in calcestruzzo prefabbricato, armato con una rete metallica con maglie 2x2 cm.

Questo modello progettuale si inserisce a pieno titolo nella storia dell'architettura sotto l'aspetto sia della tecnica costruttiva sia della tecnologia del calcestruzzo, temi che furono continuamente coltivati e sviluppati da Nervi [4-8].

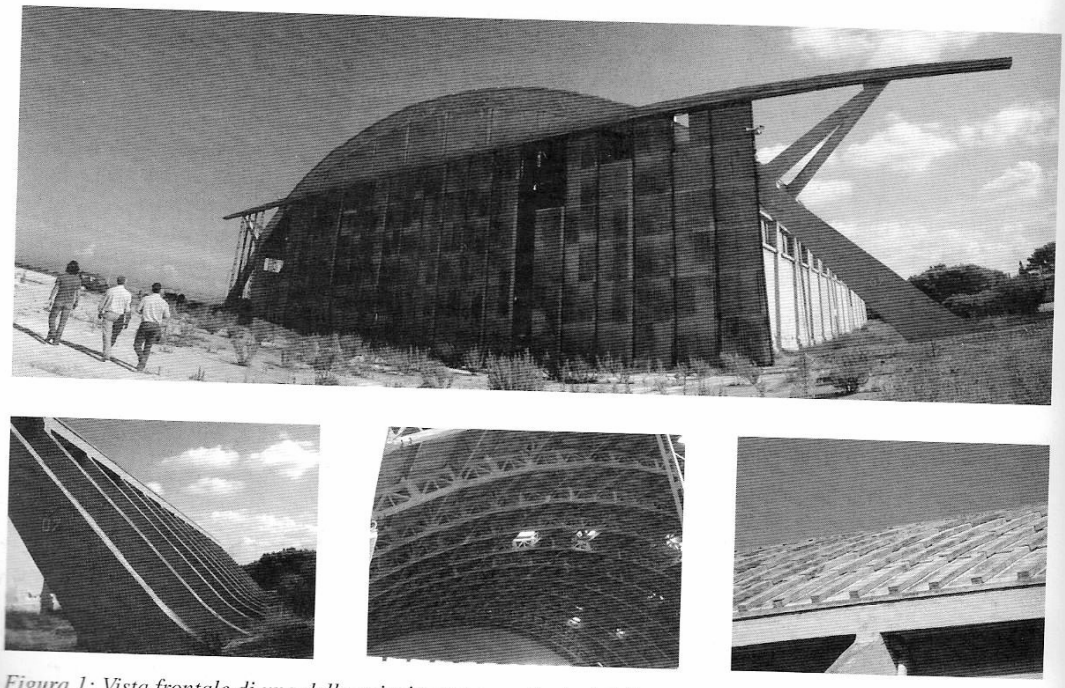

Figura 1: Vista frontale di una delle aviorimesse e particolari delle strutture in elevazione e delle coperture.

2. Aspetti macroscopici dei fenomeni di degrado

Le due aviorimesse si trovano a meno di cento metri dalla linea di costa, in un'area caratterizzata da forti venti e da un'elevata salinità dell'acqua di mare.

In Fig. 2 sono mostrati alcuni degli aspetti macroscopici del degrado prodottosi in oltre sessanta anni di esposizione a tali condizioni ambientali. Sono evidenti sia fenomeni di erosione degli elementi lapidei naturali, 2a, che distacchi dei copriferri degli elementi strutturali in calcestruzzo, 2b-e, conseguenti alla corrosione delle armature.

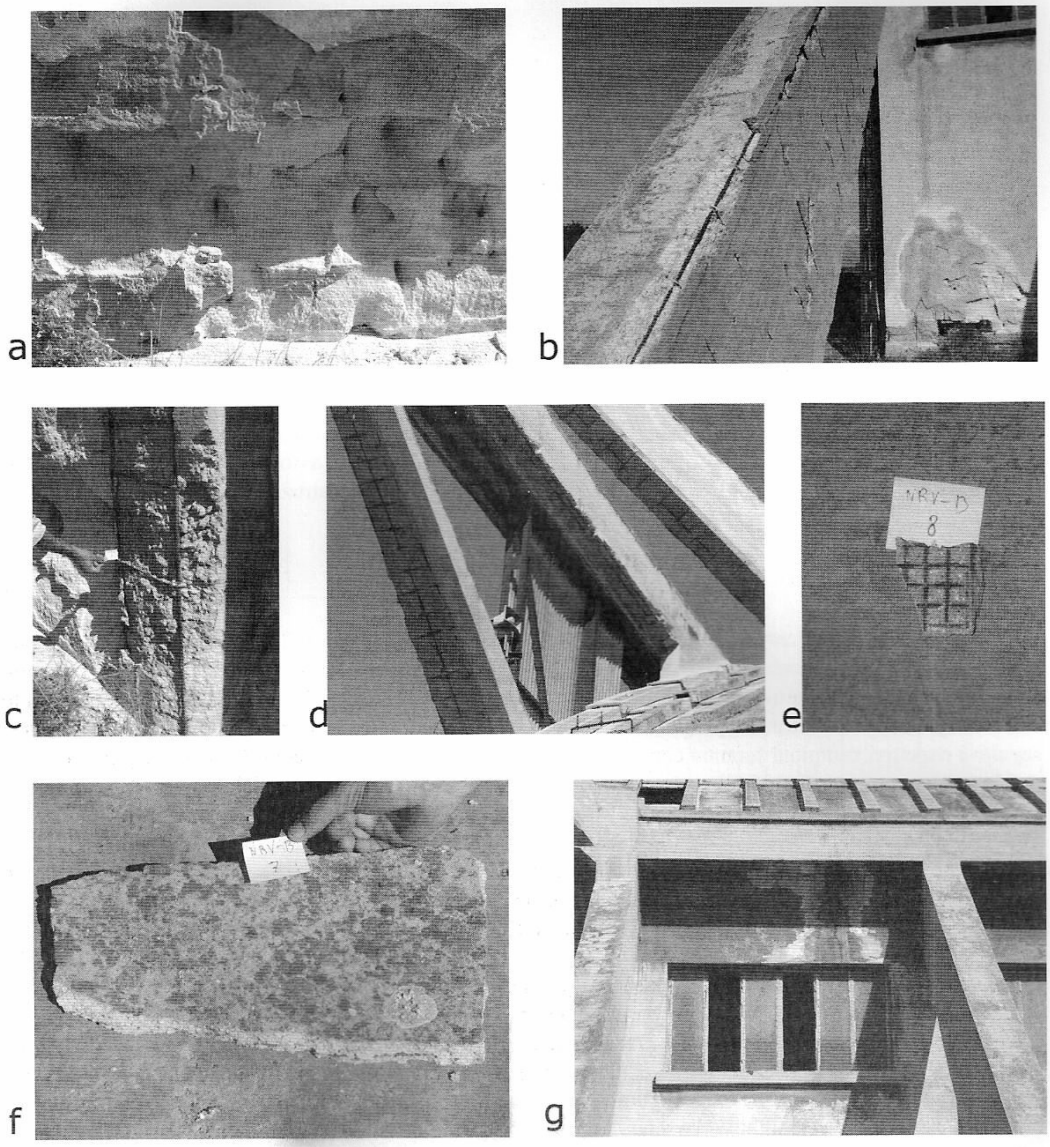

Figura 2: Aspetti macroscopici del degrado

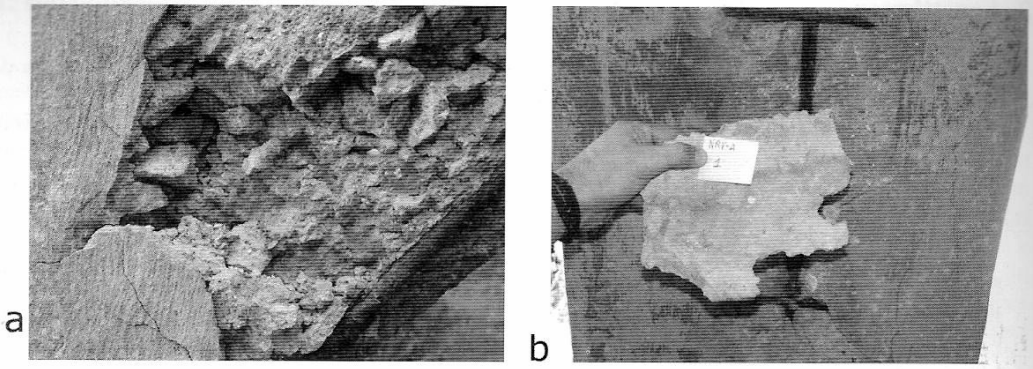

Figura 3: Difetti di esecuzione delle strutture in calcestruzzo armato.

Le superfici esterne, e particolarmente quelle delle coperture, sono caratterizzate dalla presenza di biodeteriogeni, tra i quali in fig. 2f-g sono riconoscibili dei licheni.

Si osservano inoltre alcuni difetti conseguenti alle modalità di messa in opera del calcestruzzo. Le segregazioni ben visibili sui puntoni dell'hangar H1PG, Fig. 3a, possono essere messe in relazione: a) con il minore assortimento granulometrico degli aggregati e con l'abbondanza della frazione grossolana; b) con un eccesso di acqua di impasto; c) con una scarsa cura nella miscelazione e nella messa in opera del calcestruzzo fresco. Alcuni danni sono conseguenti ad un inadeguato spessore dei copriferri, Fig. 3b. Problemi di questo tipo si rilevano soprattutto nell'aviorimessa H1PG che, come documentato [9], fu realizzata in una seconda fase costruttiva, quando gli eventi bellici incalzanti richiedevano una rapida conclusione dei lavori. Pertanto le differenze riscontrate nello stato di conservazione delle due aviorimesse sono in parte riconducibili ad una diversa attenzione nella esecuzione degli elementi in calcestruzzo armato.

3. Materiali e metodi

Il campionamento è stato effettuato sia sulle strutture in elevazione che sulle coperture: dalle prime sono state prelevate carote di calcestruzzo lunghe 15 cm e frammenti staccati a scalpello del copriferro, mentre per i campioni delle coperture sono stati prelevati dei frammenti di lastre distaccati e sparsi sul pavimento degli hangar. Le due costruzioni sono indicate negli elaborati di progetto con le sigle H1PG e H2PG; nel seguito i rispettivi campioni saranno contraddistinti da queste sigle, seguite da un numero progressivo.

Le analisi eseguite sono finalizzate alla conoscenza della composizione e della tessitura del calcestruzzo, mediante microscopia ottica in luce trasmessa su sezioni sottili e diffrattometria dei raggi X su polveri, e all'identificazione dei processi di degrado, mediante cromatografia ionica e test di carbonatazione.

In particolare sono stati utilizzati un diffrattometro RX Philips1130/1050 con radiazione CuKa, un microscopio ottico Olympus in luce polarizzata con sistema di analisi di immagine, un cromatografo ionico Metrohm 761 compact IC con colonna anionica Metrosep anion dual1 e colonna cationica Metrosep C2 150/4.0.

I campioni per le analisi roentgenografiche e cromatografiche sono stati preparati perforando le carote e i frammenti con una punta di acciaio e macinando poi ulteriormente in mortaio di agata la polvere così ottenuta. L'estrazione dei sali solubili è stata effettuata secondo la norma UNI 11087:2003, previa misurazione del pH e della conducibilità della soluzione a temperatura ambiente. I valori ottenuti dalla cromatografia ionica sono stati ricavati in parti per milione (mg/l) e in equivalenti per milione nella soluzione di estrazione e poi convertiti in percentuale in peso nel campione solido. I test di carbonatazione sono stati effettuati secondo la norma UNI 9944, previa spazzolatura della superficie delle carote e successiva umidificazione e aspersione con soluzione alcolica di fenolftaleina all'1%.

4. Risultati e discussione

In uno studio precedente [10] sono state descritte le caratteristiche di tessitura e di composizione del calcestruzzo. Dall'osservazione delle sezioni sottili in microscopia ottica è emerso che il calcestruzzo delle aviorimesse di Marsala mostra diverse peculiarità. I risultati sono sintetizzati in Tabella 1.

Una di esse consiste nell'impiego, come aggregato, di frammenti di calcarenite pleistocenica a bassa porosità (5-30% in volume) in sostituzione delle più consuete rocce calcaree. L'uso di tale litotipo come aggregato sarebbe del tutto improprio secondo le normative attualmente vigenti, ma trova ampia giustificazione in riferimento al particolare momento storico nel quale le due aviorimesse furono costruite: la scarsa disponibilità di carburante, che veniva utilizzato negli spostamenti al fronte, non permetteva di approvvigionarsi dalle cave di calcari, presentinti a molti chilometri di distanza, e costrinse all'impiego delle rocce diffusamente affioranti in sito o poco lontano. A questo proposito va tuttavia sottolineato che fu posta molta cura nello scegliere le varietà di calcarenite più compatte: in quasi tutti i campioni esaminati, infatti, gli aggregati hanno porosità minore del 15%, mentre la maggior parte delle calcareniti affioranti nell'area hanno porosità maggiore del 50%. La frazione sabbiosa degli aggregati, ricca di bioclasti e di grani minerali monocristallini, è riconducibile alle sabbie costiere della zona.

L'altra peculiarità del calcestruzzo realizzato da Nervi risiede nell'anomalo rapporto tra aggregati e legante, che assume valori compresi tra 1/1,25 e 1/1, salvo che in due campioni in cui il rapporto è 1,8/1. L'anomalo rapporto potrebbe trovare giustificazione nel tentativo di compensare le scadenti caratteristiche meccaniche dell'aggregato con un impasto più ricco di legante. Dal confronto degli impasti utilizzati nei due hangar si osserva una certa differenza nell'assortimento granulometrico dell'aggregato, che risulta alto nell'hangar H2PG, e medio nell'hangar H1PG, in cui il 70% dei grani ricade nell'ambito della grana grossa.

Tabella 1: Caratteristiche tessiturali osservate in microscopia ottica su sezione sottile

Campione	funzione	A/L/P	Dimensione degli aggregati [mm] min / max			Porosità del legante [mm] / %			Pori aggregato [%]
			G	M	F	G	M	F	
H1PG1	C	60/35/5	5	0,5	0,05	1,2	0,3	0,05	15
			25	2	0,3	5	15	80	
H1PG4	P	40/50/10	5	0,5	0,05	1,2	0,3	0,05	5
			25	2	0,3	10	70	20	
H2PG1	P	60/35/5	5	0,5	0,05	1,2	0,3	0,05	30
			25	2	0,3	10	80	10	
H2PG2i	C	40/50/10	0,3	0,1	0,02		0,5	0,02	10
			1	0,3	0,08		80	15	
H2PG2e	C	45/45/10	0,5	0,15	0,01	0,3	0,07	0,03	20
			0,7	0,3	0,02	10	80	10	
H2PG6	P	40/55/5	5	0,2	0,03	1,6	0,13	0,03	15
			15	0,3	0,06	70	15	15	
H2PG7	L	40/40/20	1,3	0,4	0,4	1,7	0,3	0,05	5
			3,8	0,5	0,5	10	80	10	

Legenda: A/L/P = rapporto Aggregati/Legante/Pori; G=grossolano, M=Medio, F=Fine; P=Puntone, C=Copriferro del Puntone, L=Lastra di copertura.

Per il confezionamento delle lastre di copertura sono stati impiegati aggregati più fini, tra i quali si notano anche sporadici grani di cocciopesto, di dimensioni comprese fra 4 e 0,1 mm, con un rapporto aggregato/legante di 1/1. La porosità, valutabile attorno al 20% è formata da pori sferici di diametro compreso tra 1,7 e 0,05 mm, con una netta prevalenza di quelli medi, e l'uniformità nella loro distribuzione nell'impasto induce a ritenere che si sia fatto ricorso all'uso di additivi per l'alleggerimento dell'impasto.

Le analisi della composizione e della tessitura mettono in luce che le materie prime utilizzate per il confezionamento del calcestruzzo non differiscono da un hangar all'altro, mentre si nota un differente grado di cristallinità del legante, micritico nell'H1PG e microsparitico nell'H2PG, fatto questo che probabilmente condiziona il differente grado di avanzamento dei processi di degrado dei due manufatti.

5. Fenomeni di degrado

I test di carbonatazione che sono stati eseguiti sulle carote H2PG-1 and H2PG-6 evidenziano che la penetrazione del fronte di carbonatazione è rispettivamente di 4,2 cm e 4,5 cm, valori che corrispondono ad una velocità media di avanzamento di circa 0,65 mm/anno.

Nella foto in Fig. 4 si osserva che l'applicazione della fenolftaleina lascia inalterato il colore della zona carbonatata, nella quale si riscontrano valori bassi del pH, della conducibilità elettrica e della concentrazione di ioni Ca^{2+}. Proprio in corrispondenza del fronte di carbonatazione si rileva un forte incremento delle tre grandezze, dovuto alla presenza della portlandite.

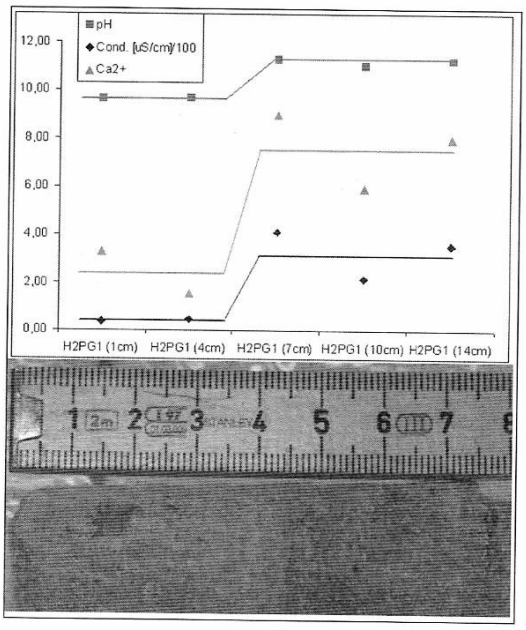

Figura 4: Confronto tra i risultati del test di carbonatazione e l'andamento di pH, conducibilità e contenuto di ioni Ca^{2+} in una carota prelevata nell'hangar H2PG.

Le misure di concentrazione delle specie ioniche mediante cromatografia indicano che i sali solubili non costituiscono una minaccia per la durabilità delle strutture.

Dai dati della Tabella 2, ad esempio, si rileva che la presenza di specie pericolose come gli ioni cloruro e solfato è sempre al di sotto dello 0,3% e dello 0,8% rispettivamente. Ciò spiega il fatto che il materiale, nonostante l'esposizione ad un ambiente aggressivo come quello marino, si sia ben conservato. Il fenomeno di degrado più rilevante resta quello legato all'inevitabile carbonatazione.

Anche nel caso dei copriferri distaccati, come quelli del campione H1PG2 in Tab. 2, la penetrazione dei sali dovuti allo spray marino è modesta e il degrado dei ferri, che ha determinato il distacco, sembra essere provocato dalla carbonatazione del calcestruzzo.

Per quanto riguarda le calcareniti, i campioni H1PG3 e H1PG4 si riferiscono a due conci adiacenti, il primo in buono stato di conservazione, il secondo fortemente decoeso. In entrambi i casi non si rileva una presenza significativa di sali da risalita capillare. Pertanto il principale agente di degrado potrebbe essere quello di natura eolica che agisce in maniera diversa, perché le due calcareniti presentano una cementazione dei grani differente.

Infine, per quanto riguarda il calcestruzzo delle lastre di copertura, l'alterazione rilevabile in microscopia ottica consiste soprattutto nella presenza di plaghe opache di ossidi di ferro, provenienti dalla rete metallica d'armatura.

Tabella 2: Risultati della cromatografia ionica, espressi in termini di percentuale in peso di ciascuna specie ionica nel campione solido.

Campione	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
H1PG1 (1cm)	0,01	0	0,01	0,04		0,02	1,67	0,03
H1PG1 (4cm)	0,01	0	0,02	0,1		0,04	0,78	
H1PG1 (7cm)	0,07		0,1	0,04		0,01	4,51	
H1PG1 (10cm)	0,02		0,05	0,06		0,03	2,97	
H1PG1 (14cm)	0,02	0,01	0,09	0,05			4,01	
H1PG 2ext	0,01		0,04	0,06		0,02	1,83	
H1PG 2int	0,01		0,04	0,07		0,03	1,78	
H1PG 3A	0,01		0,01	0,01	0,01		1,94	
H1PG 3B	0,02		0,01	0,02			1,89	
H1PG 4	0,03	0,02	0,04	0,04		0,01	2,03	
H1PG 5	0,08	0,02	0,04	0,08		0,01	1,81	
H1PG6 (0cm)	0,02		0,03	0,05			1,73	
H1PG6 (3cm)	0,02		0,17	0,08		0,02	1,99	
H1PG6 (6cm)	0,08	0,01	0,08	0,03		0,01	3,45	
H1PG6 (9cm)	0,02		0,09	0,04		0,02	3,7	
H1PG6 (11cm)	0,02		0,09	0,11		0,07	3,32	
H1PG6 (14cm)	0,02		0,09	0,04		0,02	3,7	
H1PG 7	0,05	0,01	0,23	0,05		0,01	2,16	
H2PG 1	0,04		0,15	0,11		0,02	1,85	0,05
H2PG 3A	0,59	0,04	0,02	0,58			1,69	0,08
H2PG 3B	0,95	0,03	0,07	1		0,04	1,69	0,09
H2PG 4	0,03	0	0,53	0,07		0,02	2,36	0,04

6. Conclusioni

Nonostante l'esposizione ad un ambiente aggressivo per spray marino, non si è rilevata la presenza di prodotti derivanti da attacco solfatico né presenza di cloruri in quantità tale da costituire pericolo per le armature. Tuttavia la penetrazione del fronte di carbonatazione, nell'arco di oltre sessanta anni di vita delle strutture, ha interessato in entrambe le aviorimesse l'intero spessore dei copriferri provocando la depassivazione delle armature con il conseguente danneggiamento del calcestruzzo.

Sia l'osservazione macroscopica che i risultati delle analisi indicano un differente livello di degrado per le due aviorimesse, decisamente più avanzato per la H1PG. D'altra parte è documentato che quest'ultima fu costruita in un secondo momento, in condizioni di tali da non assicurare la dovuta cura nel confezionamento della miscela e nell'esecuzione dei getti, e che rimase incompiuta fino al 1981, priva di coperture e di infissi, e dunque più esposta all'aggressione dell'ambiente rispetto alla H2PG.

Nel 2003 sono state avviate le procedure per la dismissione della base militare di Marsala, che hanno portato alla fine dello stesso anno a stipulare l'atto con il quale le due aviorimesse, e l'area tra esse compresa, è stata data in concessione alla Provincia Regionale di Trapani, che ne sta curando la messa in sicurezza e che ha in programma il recupero delle due costruzioni e dell'intera area.

E' auspicabile che il progetto di recupero venga realizzato avvalendosi delle più avanzate risorse che i recenti sviluppi della tecnologia del calcestruzzo offrono in termini di materiali e di tecniche di intervento, trattando, sia pure tardivamente, le opere di Pier Luigi Nervi con un rispetto e un'attenzione adeguati al talento e all'entusiasmo con i quali furono progettate, come testimoniato con grande efficacia da queste parole:

"Il cemento armato è il più bel sistema costruttivo che l'umanità abbia saputo trovare fino ad oggi. Il fatto di poter creare pietre fuse, di qualunque forma, superiori alle naturali poiché capaci di resistere a tensione, ha in sé qualcosa di magico. L'abitudine a fatti straordinari ha diminuito la nostra capacità all'entusiasmo, ma, certamente, il cemento armato meriterebbe di suscitarne ancora molto" [4].

Bibliografia

PIER LUIGI NERVI, "Arte e tecnica del costruire", Quadrante, n. 2, Società Grafica G. Modiano, Milano, giugno 1932.

PIER LUIGI NERVI, "Un'aviorimessa in cemento armato", Casabella n. 124, Milano, aprile 1938.

PIER LUIGI NERVI, "Nuovi tipi di Aviorimesse", Architettura, marzo 1938.

PIER LUIGI NERVI, "Scienza o arte del costruire? Caratteristiche e possibilità del cemento armato", Edizione della Bussola, Roma, 1945.

PIER LUIGI NERVI, "Corretto costruire", in Strutture, n. 1, Edizione della Bussola, Roma, aprile 1950.

PIER LUIGI NERVI, Costruire correttamente: Caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate, Hoepli, Milano 1952.

PIER LUIGI NERVI, "Costruire correttamente", in Casabella, n. 202, 1954.

PIER LUIGI NERVI, "L'evoluzione delle strutture in cemento armato", in Gustavo Colonnetti, Scienza delle costruzioni, vol. III, 1957.

Inventario dell'Aeronautica Militare, Comando Terza Regione Aerea, 16° Gruppo Genio Campale con Competenze sul demanio e Manutenzione Manufatti, Ufficio Progetti, Aeroporto Palese, Bari.

G. RIZZO, L. ERCOLI, B. MEGNA, F. D'AGOSTINO, "I calcestruzzi delle aviorimesse per idrovolanti di Pier Luigi Nervi a Marsala (1940-41). Composizione e tessitura", Atti del 9° Convegno Nazionale AIMAT, Piano di Sorrento (NA), 29 giugno – 2 luglio 2008.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato realizzato con il sostegno finanziario del MIUR ex 60% e grazie alla disponibilità della Provincia Regionale di Trapani, che ha consentito l'accesso e il prelievo dei campioni.

ISBN 88-6026-094-9

9 788860 260949