

Proprietà letteraria riservata.
È vietata la riproduzione, anche parziale, dei contenuti di questo volume.
Edizione fuori commercio per conto di:

ISMES spa

viale G. Cesare 29 - 24100 Bergamo - BG



LA SPERIMENTAZIONE STATICA
DELLE STRUTTURE

metodi e tecniche di indagine

L'ISMES ringrazia il proprio Comitato Scientifico e, in particolare, i Membri Carlo Cestelli Guidi, Morando Dolcetta Capuzzo, Leo Finzi, Elio Giangreco, Giuseppe Grandori, Franco Levi, Guido Oberti, con i Collaboratori redattori Luigi Goffi, Aldo Castoldi, Mario Casirati, Claudio Piga, Enrico Ronzoni, per il valido contributo offerto alla realizzazione di questo manuale.

Questo opuscolo, che fa seguito al manuale «La sperimentazione dinamica delle strutture» (edito nel 1988), costituisce la seconda pubblicazione della Collana «Manuali Tecnici ISMES», che si propongono l'illustrazione dell'attività dell'Istituto nei suoi vari settori. *prefazione*

In particolare questo manuale intende riferirsi al settore delle prove statiche sulle strutture e sui materiali: un rapido cenno riguarda le prove su pali per le quali — come prove di carattere geotecnico — è in preparazione un documento apposito.

Nel testo si fa particolare richiamo ai problemi di controllo della qualità (e di garanzia della qualità), per affrontare i quali l'ISMES è ben «attrezzata» grazie alla notevole esperienza acquisita nella realizzazione di importanti lavori per l'ENEL, specie di quelli svolti con l'ausilio di laboratori distaccati di cantiere.

Un settore significativo di rilievo e competenza per l'ISMES concerne il recupero delle costruzioni esistenti. L'ISMES è chiamata sistematicamente per attività di supporto al restauro di edifici aventi grande importanza storico-artistica (ad esempio il Duomo di Milano e la cupola di S. Maria del Fiore

a Firenze), nonché per il recupero e la ristrutturazione di edifici vetusti nei centri cittadini.

La rassegna delle problematiche della sperimentazione strutturale tiene conto delle elaborazioni e delle proposte degli Eurocodici, cioè di quei documenti tecnici che dovranno costituire la base di una normativa europea. È giusto rilevare in particolare che gli Eurocodici fanno significativi riferimenti alla sperimentazione finalizzata al progetto (Design by Testing); ciò che conferma l'insostituibilità della sperimentazione stessa a fronte delle tecniche di calcolo automatico sempre più diffuse, alle quali le indagini sperimentali possono utilmente e variamente affiancarsi.

Il presente manuale è indirizzato a quanti, operanti nel settore edile, necessitano di un supporto sperimentale da parte di un Istituto — con esperienza quarantennale — particolarmente qualificato per tecniche e metodologie di indagine.

Il volumetto illustra inoltre quanto l'ISMES ha fatto ed è tuttora in grado di espletare nell'ampio campo delle grandi strutture (ponti e dighe).

Ci auguriamo che l'esame di questo sintetico libro, con la sua ampia casistica, suggerisca agli operatori l'opportunità di fare riferimento ai fondamentali apporti della sperimentazione alla tecnica delle costruzioni.

Le figure sono corredate di didascalie bilingui, in italiano e in inglese. Il testo principale invece, salvo l'introduzione e l'indice, è in italiano. Si è scelto di procedere in questo modo per facilitare il lettore straniero nell'individuazione dei contenuti del libro.

The first part of the report is devoted to a general
description of the work done during the year. It
contains a list of the projects undertaken and a
summary of the results obtained. The second part
is devoted to a detailed description of the work
done on the project entitled "The effect of the
temperature on the rate of reaction between
hydrogen peroxide and ferrous sulphate". This
project was carried out by Mr. J. H. [Name]
and Mr. K. [Name]. The results of this work
are given in the following table:

Temperature (°C)	Rate of reaction (g. H ₂ O ₂ / g. FeSO ₄ / min)
10	0.12
20	0.25
30	0.50
40	1.00
50	2.00

The results show that the rate of reaction
increases with increasing temperature. This
is to be expected since the rate of reaction
increases with increasing temperature. The
activation energy of this reaction is estimated
to be 15,000 cal./mole.

1.	INTRODUCTION AND GENERAL REMARKS	1
1.1.	Foreword	3
1.1.1.	<i>The European Unique Market</i>	3
1.2.	ISMES Quality System	5
1.2.1.	<i>Examples of applications</i>	5
2.	INVESTIGATIONS FOR STRUCTURAL DESIGN	9
2.1.	Investigations on physical models	11
2.1.1.	<i>Similitude criteria</i>	12
2.1.2.	<i>Elastic and up-to-failure models</i>	13
2.1.3.	<i>Special models</i>	13
2.1.3.1.	Photo elastic models	
2.1.3.2.	Other models	
2.2.	Investigations on materials	14
2.3.	Investigations on prototypes	15
3.	EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS FOR THE EXECUTION	19
3.1.	Controls on traditional materials and their qualification	20
3.2.	Qualification of construction procedures	20
3.3.	Controls during the construction	21
4.	INVESTIGATIONS DURING CHECK TESTS AND ON EXISTING STRUCTURES	23
4.1.	Load tests	25
4.2.	Non destructive tests	25
4.3.	Continuous control and monitoring	27
4.4.	Controls on structures under repair and rehabilitation	29
5.	EXPERIMENTAL TECHNIQUES	31
5.1.	Conventional mechanical tests	33
5.2.	Non destructive tests	33
5.2.1.	<i>Tests on concrete and masonry structures</i>	34
5.2.1.1.	Tests for the determination of the conditions of a structure	
	Flat jack tests	
	Strength tests	
	Sonic tests	
	Test for reinforcement detection (concrete cover thickness, position and diameter of reinforcing bars)	

1.	INTRODUZIONE E CONSIDERAZIONI GENERALI	1
1.1.	Premessa	3
1.1.1.	<i>Il Mercato Unico Europeo</i>	3
1.2.	Il sistema Qualità dell'ISMES	5
1.2.1.	<i>Soluzioni applicative: esempi</i>	5
2.	INDAGINI A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE STRUTTURALE	9
2.1.	Indagini su modelli fisici	11
2.1.1.	<i>Criteri di similitudine</i>	12
2.1.2.	<i>Modelli elastici e ad oltranza</i>	13
2.1.3.	<i>Modelli di tipo particolare</i>	13
2.1.3.1.	Modelli fotoelastici	
2.1.3.2.	Altri modelli	
2.2.	Indagini su materiali	15
2.3.	Indagini su prototipi	15
3.	INDAGINI SPERIMENTALI A SUPPORTO DELL'ESECUZIONE	19
3.1.	Controlli su materiali tradizionali e loro qualificazione	20
3.2.	Qualificazione dei procedimenti costruttivi	20
3.3.	Controllo in corso d'opera	21
4.	INDAGINI IN FASE DI COLLAUDO E SULLE STRUTTURE ESISTENTI	23
4.1.	Prove di carico	25
4.2.	Prove non distruttive	25
4.3.	Controllo continuo e monitoraggio	27
4.4.	Problemi di controllo su strutture in corso di restauro o consolidamento	29
5.	TECNICHE SPERIMENTALI	31
5.1.	Prove meccaniche tradizionali	33
5.2.	Prove non distruttive	33
5.2.1.	<i>Prove sulle strutture in calcestruzzo e in muratura</i>	34
5.2.1.1.	Prove per la determinazione dello stato dell'opera	
	Prove con martinetto piatto	
	Prove per la determinazione della resistenza meccanica	
	Prove soniche	
	Prove per l'individuazione dei parametri geometrici delle armature (spessore del copriferro, posizione e diametro delle barre)	

5.2.1.2.	Tests for detecting the corrosion in progress (chemical - physical tests) Concrete pH (carbonation) measurement Chloride content measurement Concrete aggregate control Moisture measurement Chemical and physical tests for structures under repair Tests for detecting reinforcement corrosion	
5.2.2.	<i>Tests on steel structures</i>	55
5.2.2.1.	Ultrasonic tests	
5.2.2.2.	Other surface controls on steel structures	
5.2.2.3.	X-Ray tests	
5.3.	Recent experimental techniques	59
5.3.1.	<i>Sonic tomography</i>	59
5.3.2.	<i>Radar tests</i>	60
5.3.3.	<i>Thermography</i>	60
5.3.4.	<i>Investigations on Fracture Mechanics problems</i>	62
6.	APPENDIX	65
6.1.	ISMES' experimental equipment	67
6.1.1.	<i>Equipment for load tests on structures</i>	67
6.1.2.	<i>Measurement instrumentation</i>	73
6.1.3.	<i>Laboratory equipment for the investigation and qualification of building materials</i>	75
6.1.4.	<i>Equipment for structural diagnostic and non-destructive controls</i>	76
6.2.	Application examples	79
6.2.1.	<i>Dam model tests</i>	79
6.2.1.1.	Ridracoli Dam	
6.2.1.2.	Itaipu Dam	
6.2.2.	<i>Tests on bridges</i>	91
6.2.2.1.	Overpass on Rome-Pisa railway	
6.2.2.2.	Overpass on Aurelia n. 1 State road	
6.2.3.	<i>Tests on concrete piles</i>	94
6.2.4.	<i>Tests on structures under repair</i>	95
6.2.4.1.	Experimental investigations on the Milan cathedral drum pillars	
6.2.4.2.	Statical controls on the structures of the S. Augustine building (a former church in Bergamo)	
6.2.4.3.	St. Laurent Cathedral (Perugia): structural controls when pulling the aisle transverse chains	
6.2.4.4.	An example of monitoring: Santa Maria del Fiore dome in Florence	
6.2.4.5.	Flat jacks for structures under repair	

5.2.1.2.	Prove per la determinazione dei meccanismi di degrado in atto (prove chimico-fisiche) Misura del pH del calcestruzzo (carbonatazione) Misura del tenore di cloruri Controllo degli aggregati del calcestruzzo Misura dell'umidità Prove chimico-fisiche per strutture in restauro Prove per l'individuazione dello stato di corrosione delle armature	
5.2.2.	<i>Prove sulle strutture metalliche</i>	55
5.2.2.1.	Prove con ultrasuoni	
5.2.2.2.	Altri controlli per indagini superficiali (su strutture metalliche)	
5.2.2.3.	Radiografia	
5.3.	Nuove tecniche sperimentali	59
5.3.1.	<i>La tomografia sonora</i>	59
5.3.2.	<i>Rilievi radar</i>	60
5.3.3.	<i>Termografia</i>	60
5.3.4.	<i>Indagini su problemi di meccanica della frattura</i>	62
6.	APPENDICE	65
6.1.	Le attrezzature sperimentali dell'ISMES	67
6.1.1.	<i>Attrezzature per l'esecuzione di prove di carico su strutture</i>	67
6.1.2.	<i>La strumentazione di misura</i>	73
6.1.3.	<i>Attrezzature di laboratorio per lo studio e la qualifica dei materiali da costruzione</i>	75
6.1.4.	<i>Attrezzature per la diagnostica strutturale e per i controlli non distruttivi</i>	76
6.2.	Esempi di applicazioni	79
6.2.1.	<i>Prove su modelli di dighe</i>	79
6.2.1.1.	Diga di Ridracoli	
6.2.1.2.	Diga d'Itaipu	
6.2.2.	<i>Prove su ponti</i>	91
6.2.2.1.	Cavalcavia sulla ferrovia Roma-Pisa	
6.2.2.2.	Cavalcavia sulla S.S. n. 1 Aurelia	
6.2.3.	<i>Prove su pali in calcestruzzo</i>	94
6.2.4.	<i>Prove su strutture in restauro</i>	95
6.2.4.1.	Indagini sperimentali sui pilastri del tiburio del Duomo di Milano	
6.2.4.2.	Verifiche statiche delle strutture dell'ex Chiesa di Sant'Agostino (BG)	
6.2.4.3.	Cattedrale di San Lorenzo (PG) - Controllo strutturale durante la messa in tiro delle catene trasversali della navata	
6.2.4.4.	Esempio di monitoraggio (Cupola di Santa Maria del Fiore in Firenze)	
6.2.4.5.	Applicazioni di martinetti piatti in strutture in restauro	

6.2.5.	<i>Other tests on prototypes</i>	115
6.2.5.1.	Load tests on SCAC prestressed beams	
6.2.5.2.	Test on a Tensacciai prestressed concrete anchorage	
6.2.5.3.	Load test on sandwich bearing walls	
6.2.5.4.	Tests for measuring the friction angle and the vertical displacement of a Neotopf bearing device for bridges	
6.2.5.5.	Pressure test on a I.M.S. vessel	
6.2.5.6.	Tests on a REP steel-reinforced concrete T beam	
6.2.5.7.	Tests on Gemini reinforced concrete cantilevers	
6.2.5.8.	Cooling towers in Serrazzano and Sasso Pisano	
6.2.5.9.	Structures of the former FIAT - Lingotto factory	

6.2.5.	<i>Altre prove su prototipi</i>	115
6.2.5.1.	Prove di carico su travi SCAC in c.a.p.	
6.2.5.2.	Prova su testata Tensacciai	
6.2.5.3.	Prove di carico su strutture portanti tipo sandwich	
6.2.5.4.	Prove per valutare il coefficiente di attrito e il cedimento verticale di un appoggio per ponte tipo Neotopf	
6.2.5.5.	Prova di pressione su colonna I.M.S.	
6.2.5.6.	Prove su trave REP mista a T composta	
6.2.5.7.	Prove di carico su mensole in c.a. (struttura Gemini)	
6.2.5.8.	Torri refrigeranti di Serrazzano e Sasso Pisano.	
6.2.5.9.	Strutture dell'ex stabilimento FIAT - Lingotto (Torino)	