

TITOLO

DETERMINAZIONE DEL RAPPORTO A/C NEI CALCESTRUZZI ALLO STATO FRESCO MEDIANTE UNO STRUMENTO SPEDITIVO. ANALISI STATISTICA E COMMENTI.

ABSTRACT

Il presente studio analizza l'affidabilità dello strumento SONO WZ per la determinazione del rapporto acqua/cemento nei calcestruzzi freschi, confrontandolo con i metodi tradizionali del fornetto a microonde ONORM 3303 e della bruciatura secondo la UNI 11201. L'analisi statistica mostra che SONO WZ garantisce minore dispersione nei risultati e maggiore precisione, riducendo l'influenza del fattore umano. Grazie alla sua rapidità e sicurezza, lo strumento si propone come alternativa efficace per il controllo di qualità nei cantieri e nei laboratori.

INTRODUZIONE

Il presente articolo riporta i risultati sperimentali ottenuti mediante l'impiego di una nuova apparecchiatura che permette di determinare il valore del rapporto a/c dei calcestruzzi allo stato fresco, con tempi più veloci e in totale sicurezza per gli operatori del settore.

Tali prove, condotte presso laboratori e cantieri della MAPEI SPA, hanno avuto come obiettivo quello di mettere a confronto la nuova apparecchiatura, denominata SONO WZ (della VOLTA SpA di Bolzano), con i sistemi attualmente in uso: impiego del fornetto a Microonde, in conformità alla norma in vigore in Austria, ONORM 3303, e la classica bruciatura del calcestruzzo, in conformità alla UNI 11201.

La determinazione del rapporto a/c dei conglomerati cementizi allo stato fresco presenta sempre delle difficoltà oggettive, unitamente al fatto che i valori ottenuti dalle prove sperimentali possono essere inficiati da una certa dispersione.

I Capitolati di Lavoro riportano l'obbligatorietà di tale determinazione durante le fasi di qualifica, con tolleranza che deve ricadere su un valore $\leq 0,02$ rispetto al valore dichiarato del rapporto a/c, così come evidenziato nella documentazione di qualifica da parte del produttore di calcestruzzo prima dell'inizio delle forniture.

Del resto, il calcestruzzo è e rimane un materiale eterogeneo, le cui proprietà, chimico e fisico meccaniche, dovrebbero essere definite in termini statistici, e non deterministici, come invece avviene, purtroppo, nella quasi totalità dei cantieri.

Non si può che ricordare che la metodologia richiesta dalla UNI11201 richiede molta attenzione da parte degli operatori, con inevitabili rischi per la loro sicurezza.

Sono state analizzate un numero sufficientemente elevato di impasti, 36 nel caso del Microonde e 34 nel caso dello strumento SONO WZ, aventi come obiettivo la verifica dei contenuti di acqua di impasto, confezionando una serie di calcestruzzi aventi un intervallo che possiamo considerare aderente alla normale produzione di un impianto di calcestruzzo.

Nella determinazione del contenuto di acqua dei vari impasti, sono stati impiegati un fornetto a Microonde e prove basate su una asciugatura classica con bruciatore a gas.

Contemporaneamente, la quantità di acqua veniva anche rilevata dalla nuova apparecchiatura esaminata.

L'indagine riporta gli andamenti statistici dei valori del rapporto a/c ottenuti, ai fini di una valutazione prestazionale del nuovo strumento rispetto ai metodi tradizionali normalmente impiegati.

FORNETTO A MICROONDE E STRUMENTO SONO WZ

La tabella seguente illustra i risultati delle analisi compiute.

I mix sono stati 36 con contenuti di cemento e acqua diversi, sui quali sono state condotte le sperimentazioni.

Test presso laboratorio Calcestruzzi Mapei														MO	SONO
MIX	Dati progetto miscela				Determinazione del contenuto di acqua Microonde					Strumento speditivo Sono WZ Volta/Mapei				Scos in % MO	Scos in % SONO
	Cem (kg)	Acqua Eff.(lt)	EN 12350-2	a/c	Acqua Tot (lt)	Acqua Eff.(lt)	a/c	Δ Acqua eff.(lt)	Δ a/c	Acqua Eff.(lt)	a/c	Δ Acqua eff.(lt)	Δ a/c		
1	360	175	S4	0,486	170,2	152	0,423	-22,7	-0,063	167,1	0,464	-7,9	-0,022	-13,0	-4,5
2	360	180	S4	0,500	182,9	165	0,458	-15,1	-0,042	177,1	0,492	-2,9	-0,008	-8,4	-1,6
3	360	180	S4	0,500	186,9	169	0,469	-11,1	-0,031	180,3	0,501	0,3	0,001	-6,2	0,2
4	360	190	S5	0,528	188,1	170	0,473	-19,6	-0,054	185,4	0,515	-4,6	-0,013	-10,3	-2,4
5	340	190	S5	0,559	193,8	176	0,517	-14,1	-0,041	189,4	0,557	-0,6	-0,002	-7,4	-0,3
6	325	190	SF2	0,585	198,6	182	0,560	-8,1	-0,025	174,8	0,538	-15,2	-0,047	-4,3	-8,0
7	320	175	S4	0,547	198	178	0,558	3,4	0,011	184,5	0,577	9,5	0,030	1,9	5,4
8	360	175	S4	0,486	183,2	165	0,458	-10,0	-0,028	183,0	0,508	8,0	0,022	-5,7	4,6
9	450	187	S5	0,416	207,4	181	0,403	-5,8	-0,013	185,1	0,411	-1,9	-0,004	-3,1	-1,0
10	350	190	SF2	0,543	192,7	177	0,505	-13,2	-0,038	181,5	0,519	-8,5	-0,024	-6,9	-4,5
11	400	155	S4	0,388	174,4	154	0,385	-1,0	-0,003	148,9	0,372	-6,1	-0,015	-0,6	-3,9
12	400	160	S4	0,400	173,8	153	0,383	-6,9	-0,017	154,8	0,387	-5,2	-0,013	-4,3	-3,3
13	350	190	SF2	0,543	194,5	179	0,511	-11,3	-0,032	181,8	0,519	-8,2	-0,023	-5,9	-4,3
14	350	190	SF2	0,543	193,2	177	0,506	-12,8	-0,037	184,4	0,527	-5,6	-0,016	-6,7	-2,9
15	360	180	S4	0,500	198,3	175	0,486	-5,1	-0,014	181,0	0,503	1,0	0,003	-2,8	0,6
16	470	180	S5	0,383	207,6	182	0,388	2,3	0,005	177,9	0,379	-2,1	-0,004	1,3	-1,2
17	400	170	S5	0,425	174,9	164	0,411	-5,8	-0,015	168,4	0,421	-1,6	-0,004	-3,4	-0,9
18	400	170	S5	0,425	193,1	176	0,439	5,6	0,014	169,1	0,423	-0,9	-0,002	3,3	-0,5
19	400	175	S5	0,438	200,4	176	0,439	0,5	0,001	168,1	0,420	-6,9	-0,017	0,3	-3,9
20	470	170	S4	0,362	195,6	168	0,357	-2,1	-0,004	170,3	0,362	0,3	0,001	-1,2	0,2
21	400	160	S4	0,400	168,3	158	0,395	-2,1	-0,005	165,9	0,415	5,9	0,015	-1,3	3,7
22	300	180	S4	0,600	178,1	164	0,546	-16,1	-0,054	191,8	0,639	11,8	0,039	-8,9	6,6
23	370	175	S5	0,473	206,2	168	0,453	-7,4	-0,020	180,8	0,489	5,8	0,016	-4,2	3,3
24	300	180	S4	0,600	197,1	178	0,594	-1,8	-0,006	174,1	0,580	-5,9	-0,020	-1,0	-3,3
25	300	180	S4	0,600	214	200	0,666	19,7	0,066	176,1	0,587	-3,9	-0,013	10,9	-2,2
26	320	175	S4	0,547	201,9	172	0,536	-3,5	-0,011	165,3	0,517	-9,7	-0,030	-2,0	-5,5
27	300	155	S4	0,517	175,5	155	0,515	-0,4	-0,001	156,7	0,522	1,7	0,006	-0,3	1,1
28	220	195	S5	0,886	278,7	187	0,850	-7,9	-0,036	183,8	0,835	-11,2	-0,051	-4,1	-5,7
29	290	160	S3	0,552	181,8	157	0,540	-3,3	-0,011	164,4	0,567	4,4	0,015	-2,1	2,8
30	358	175	S4	0,489	196,6	184	0,515	9,3	0,026	168,8	0,471	-6,3	-0,017	5,3	-3,6
31	320	170	S3	0,531	198,9	186	0,583	16,4	0,051	168,8	0,528	-1,2	-0,004	9,6	-0,7
32	370	190	S4	0,514	218	188	0,508	-1,9	-0,005	185,2	0,500	-4,8	-0,013	-1,0	-2,6
33	395	185	S4	0,468	200	178	0,451	-6,8	-0,017	173,9	0,440	-11,1	-0,028	-3,7	-6,0
34	395	195	S5	0,494	213,1	192	0,485	-3,3	-0,008	179,6	0,455	-15,4	-0,039	-1,7	-7,9
35	380	175	S4	0,461	173,5	160	0,421	-15,1	-0,040	177,0	0,466	2,0	0,005	-8,6	1,1
36	390	180	S4	0,462	193,6	172	0,442	-7,6	-0,019	182,1	0,467	2,1	0,005	-4,2	1,2

Le celle con lo sfondo verde sono relative ai valori che hanno rispettato la tolleranza $\leq 0,02$.

I diagrammi e grafici che seguono sono stati generati impiegando STATISTICA, un software della TIBCO di Santa Clara, USA.

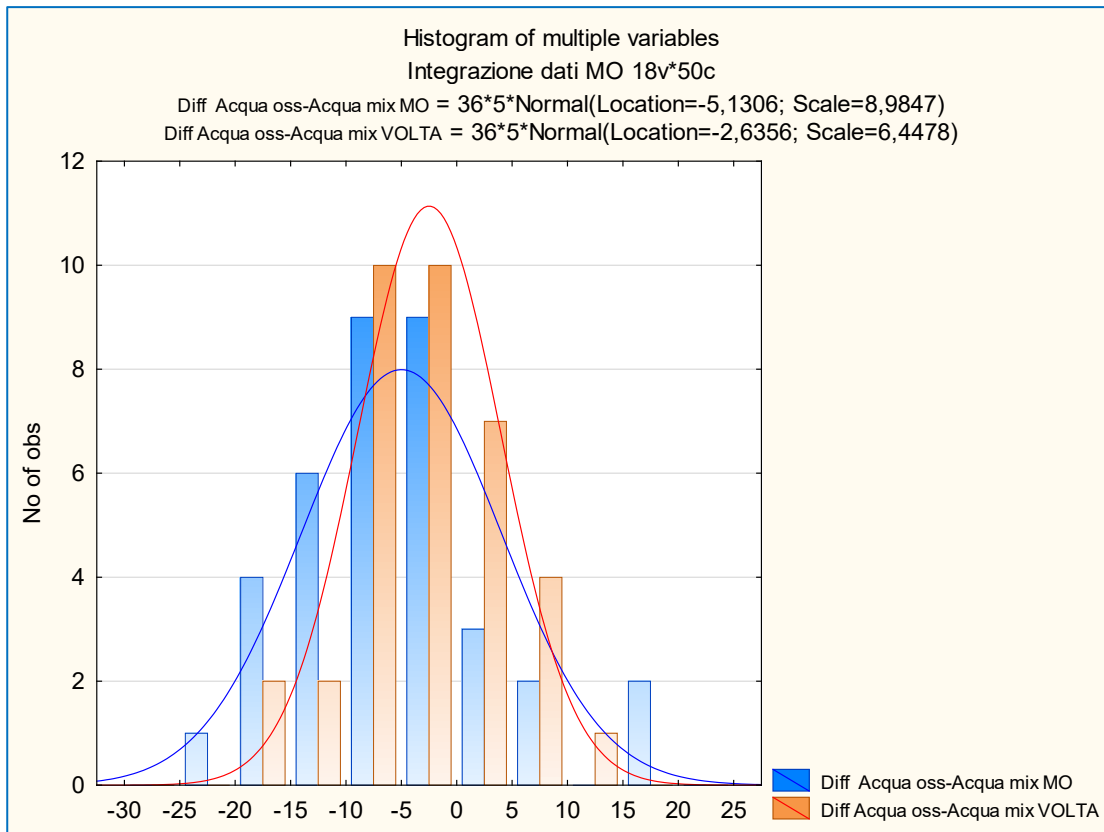
In particolare, si è deciso di impiegare le curve di Gauss e le Line Plot WLS.

Attraverso l'analisi delle curve di Gauss si possono evidenziare i comportamenti dei due strumenti.

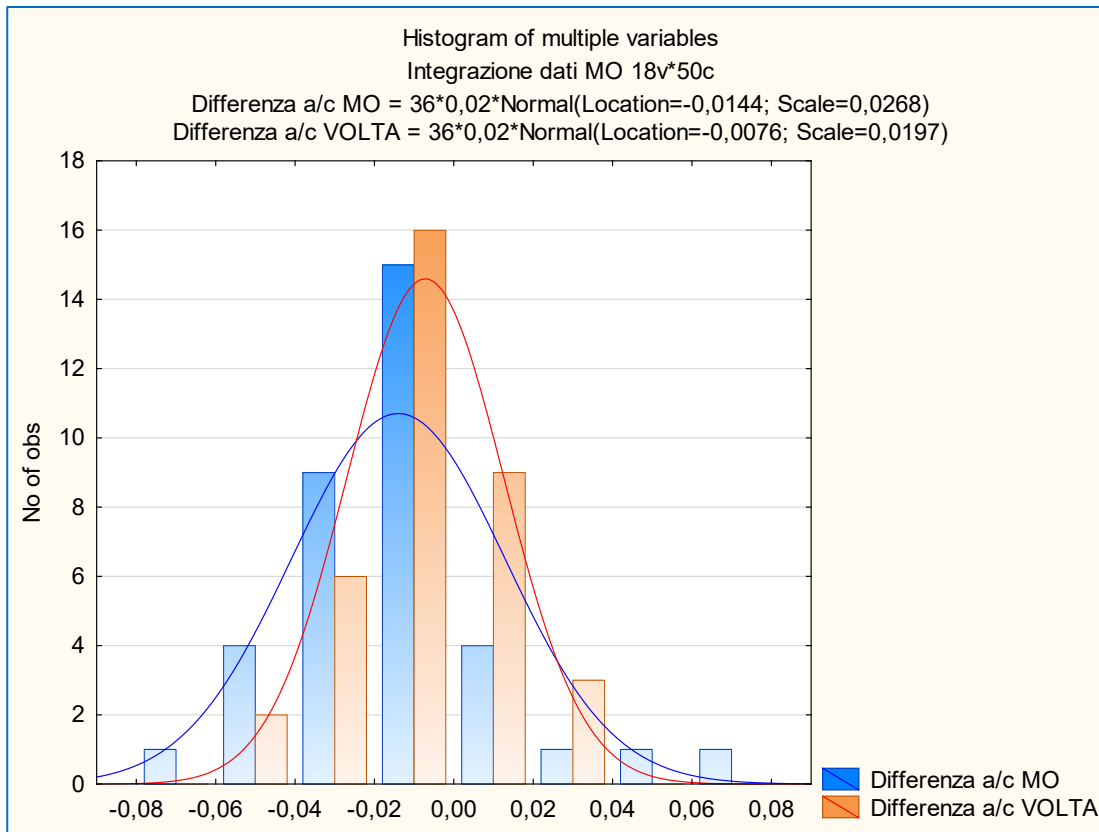
I grafici seguenti testimoniano, attraverso lo scarto quadratico medio, o deviazione standard, la dispersione dei due metodi rispetto sempre al target, rispetto quindi ai dati dei mix.

Di seguito, sono riportati le seguenti curve di Gauss:

1. La curva di Gauss relative alle differenze di acqua riscontrate attraverso la seguente equazione:
 $\Delta = \text{Acqua osservata} - \text{Acqua di progetto (target)}$
2. La curva di Gauss relative alle differenze di rapporto a/c in relazione all'acqua osservata diviso per il dosaggio di cemento target
3. La curva di Gauss relative allo scostamento in percentuale rispetto al rapporto a/c target, cioè della miscela di progetto
4. Graficizzazione delle line plot WLS in riferimento alle differenze di acqua efficace registrate dai due metodi

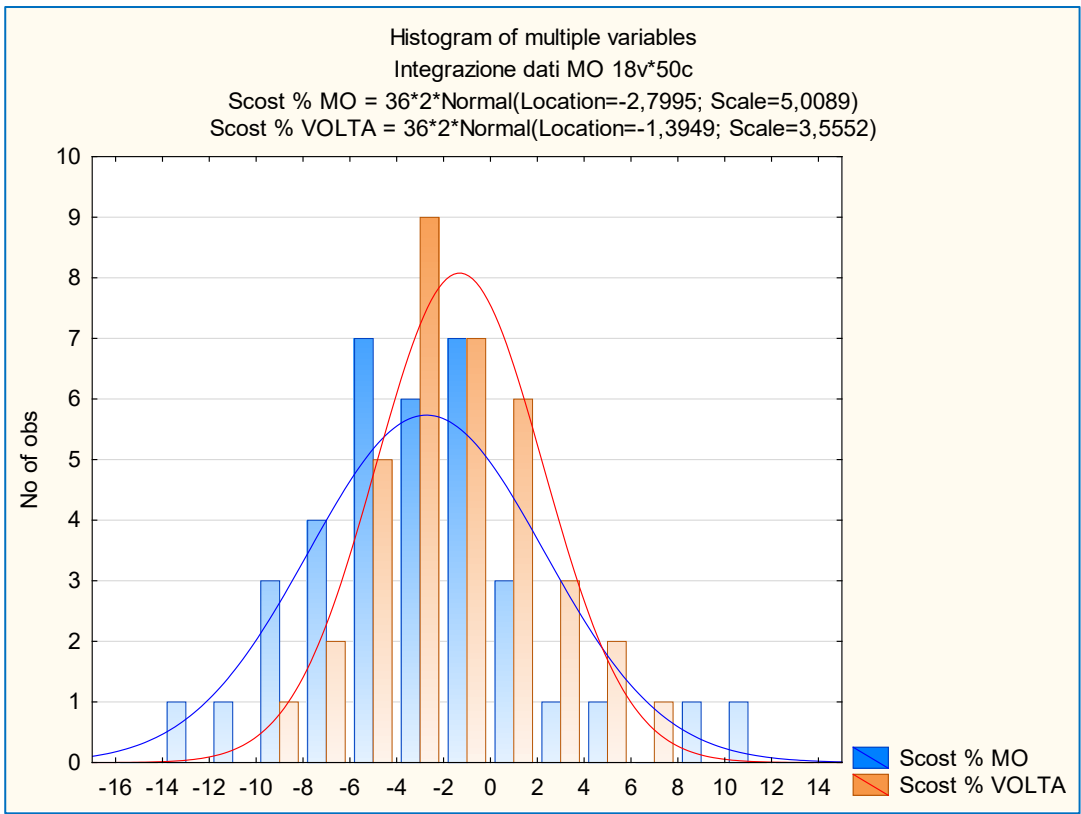


Si può osservare come la curva relativa a SONO WZ presenti una campana più “stretta”, in sintesi lo scarto che ci restituisce la curva di Gauss relativa alla strumentazione SONO WZ è inferiore allo scarto della curva ottenuta dal fornello a Microonde.

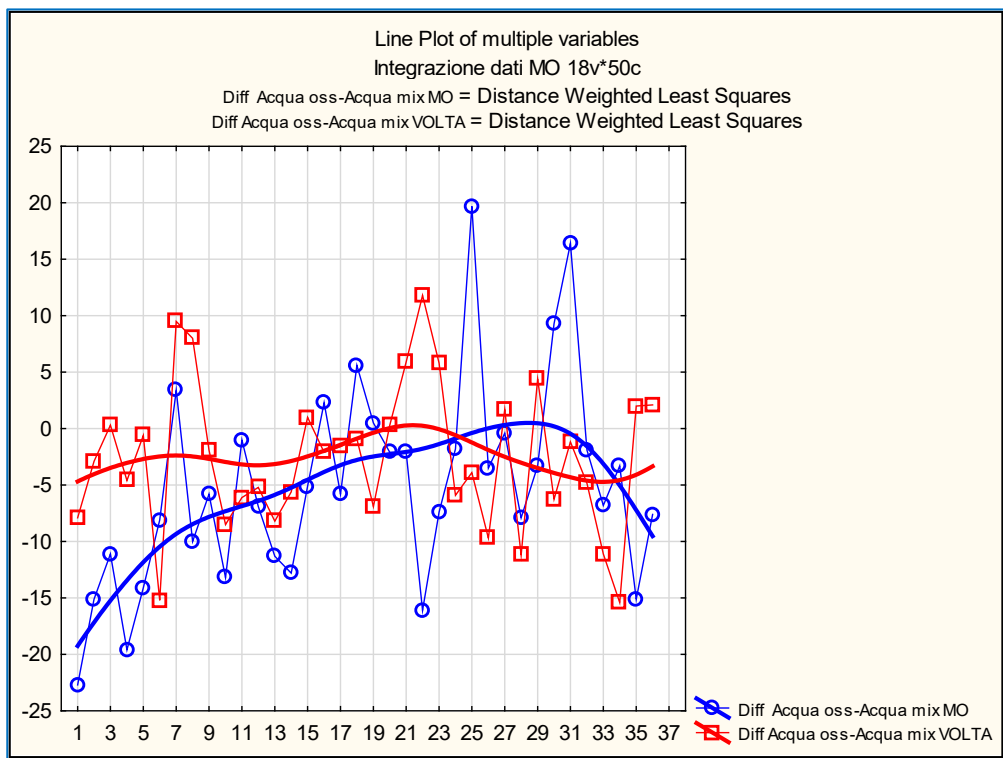


Nel caso delle curve relative allo scostamento dei vari rapporti a/c, calcolati sulla base dell'acqua efficace determinata dai due metodi utilizzati, e in riferimento al rapporto a/c target, si osservi come, anche in questo caso, lo scarto riferito al Microonde è superiore a quello del SONO WZ.

Lo scarto quadratico medio della curva riferito allo strumento SONO WZ è inferiore a 0,02, cioè inferiore a quel valore di tolleranza richiesto dai Capitolati di Lavoro.



Anche in termini di scostamento percentuale, rispetto al rapporto a/c di progetto delle miscele o target dei due metodi di rilevazione, si rileva una dispersione inferiore dello strumento SONO WZ piuttosto del Microonde.



È interessante anche osservare lo sviluppo dei dati ottenuti per la determinazione dell'acqua indicata dai due strumenti, MO e SONO WZ, impiegando il metodo di regressione lineare denominato WLS.

È un calcolo statistico piuttosto complesso chiamato regressione lineare dei minimi quadrati ponderati. In sintesi, ci permette di stabilire quali serie di dati osservati si avvicina alla linea di 0 (zero).

Si ricordi che l'operazione eseguita: **Acqua osservata (o rilevata dagli strumenti) - Acqua del mix (o valore target)** deve tendere a 0 (zero).

Si vede chiaramente la regressione dello strumento SONO WZ, è tendenzialmente vicino allo zero.

BRUCIATURA DEL CALCESTRUZZO E STRUMENTO SONO WZ

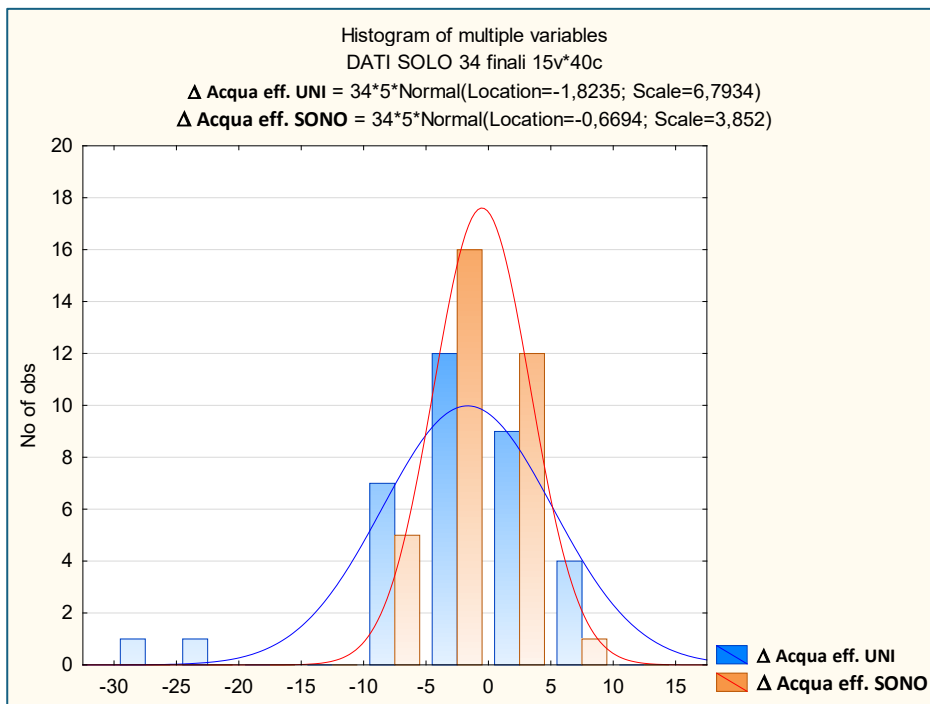
La seconda sperimentazione ha riguardato l'applicazione della norma **UNI 11201:2017- Prove sul calcestruzzo fresco-Determinazione del contenuto di acqua.**

Come è noto, riguarda una metodologia di prova basata sull'asciugatura di un determinato peso di calcestruzzo fresco al fine di stabilire l'acqua durante la bruciatura del materiale stesso.

L'analisi sperimentale, e statistica, è stata condotta in maniera scrupolosa e ha dato i seguenti risultati, ripercorrendo, naturalmente, la procedura numerica e statistica precedente.

MIX	Cemento	Aeff	R a/c	Determinazione del contenuto di acqua UNI 11201						Determinazione del contenuto di acqua SONO WZ				
				Acqua totale	Acqua Eff.	Ra/c	Δ Acqua eff.	Δ a/c	In % a/c UNI	Acqua Eff.	Ra/c	Δ Acqua eff.	Δ a/c	In % a/c SONO
1	400	150	0,375	213	147	0,368	-3	-0,01	-2,0	159	0,396	8,5	0,021	5,7
2	330	185	0,561	242	176	0,533	-9	-0,03	-4,9	188	0,568	2,5	0,008	1,4
3	350	170	0,486	213	166	0,474	-4	-0,01	-2,4	172	0,492	2,3	0,007	1,4
4	330	195	0,591	195	175	0,530	-20	-0,06	-10,3	194	0,587	-1,3	-0,004	-0,7
5	420	140	0,333	163	145	0,345	5	0,01	3,6	139	0,330	-1,5	-0,004	-1,1
6	500	210	0,420	200	184	0,368	-26	-0,05	-12,4	202	0,404	-8,0	-0,016	-3,8
7	350	165	0,471	184	167	0,477	2	0,01	1,2	166	0,474	0,8	0,002	0,5
8	350	165	0,471	182	165	0,471	0	0,00	0,0	165	0,471	-0,1	0,000	-0,1
9	370	183	0,495	204	180	0,486	-3	-0,01	-1,6	178	0,481	-5,0	-0,014	-2,7
10	375	185	0,493	211	186	0,496	1	0,00	0,5	182	0,485	-3,0	-0,008	-1,6
11	430	205	0,477	227	203	0,472	-2	0,00	-1,0	204	0,474	-1,0	-0,002	-0,5
12	375	190	0,507	207	185	0,493	-5	-0,01	-2,6	188	0,501	-2,0	-0,005	-1,1
13	370	182	0,492	210	188	0,508	6	0,02	3,3	186	0,503	4,0	0,011	2,2
14	430	205	0,477	233	211	0,491	6	0,01	2,9	207	0,481	2,0	0,005	1,0
15	380	190	0,500	213	194	0,511	4	0,01	2,1	195	0,51	5,0	0,01	2,63
16	370	183	0,495	204	180	0,486	-3	-0,01	-1,6	178	0,48	-5,0	-0,01	-2,73
17	375	185	0,493	211	186	0,496	1	0,00	0,5	182	0,49	-3,0	-0,01	-1,62
18	430	205	0,477	227	203	0,472	-2	0,00	-1,0	204	0,47	-1,0	0,00	-0,49
19	375	190	0,507	207	185	0,493	-5	-0,01	-2,6	188	0,50	-2,0	-0,01	-1,05
20	370	182	0,492	210	188	0,508	6	0,02	3,3	186	0,50	4,0	0,01	2,20
21	430	205	0,477	233	211	0,491	6	0,01	2,9	207	0,48	2,0	0,00	0,98
22	380	190	0,500	213	194	0,511	4	0,01	2,1	195	0,51	5,0	0,01	2,63
23	380	170	0,447	193	175	0,461	5	0,01	2,9	173	0,46	3,0	0,01	1,76
24	380	170	0,447	186	168	0,442	-2	-0,01	-1,2	166	0,44	-4,0	-0,01	-2,35
25	376	185	0,492	206	179	0,476	-6	-0,02	-3,2	181	0,48	-4,0	-0,01	-2,16
26	376	185	0,492	207	180	0,479	-5	-0,01	-2,7	177	0,47	-8,0	-0,02	-4,32
27	370	165	0,446	181	163	0,441	-2	-0,01	-1,2	167	0,45	2,0	0,01	1,21
28	376	185	0,492	207	180	0,479	-5	-0,01	-2,7	183	0,49	-2,0	-0,01	-1,08
29	376	175	0,465	203	177	0,471	2	0,005	1,1	174	0,46	-1,0	0,00	-0,57
30	376	175	0,465	201	174	0,463	-1	-0,003	-0,6	176	0,47	1,0	0,00	0,57
31	390	185	0,474	211	188	0,482	3	0,008	1,6	183	0,47	-2,0	-0,01	-1,08
32	380	182	0,479	203	180	0,474	-2	-0,005	-1,1	182	0,48	0,0	0,00	0,00
33	376	175	0,465	203	170	0,452	-5	-0,013	-2,9	168	0,45	-7,0	-0,02	-4,00
34	376	175	0,465	203	172	0,457	-3	-0,008	-1,7	171	0,45	-4,0	-0,01	-2,29

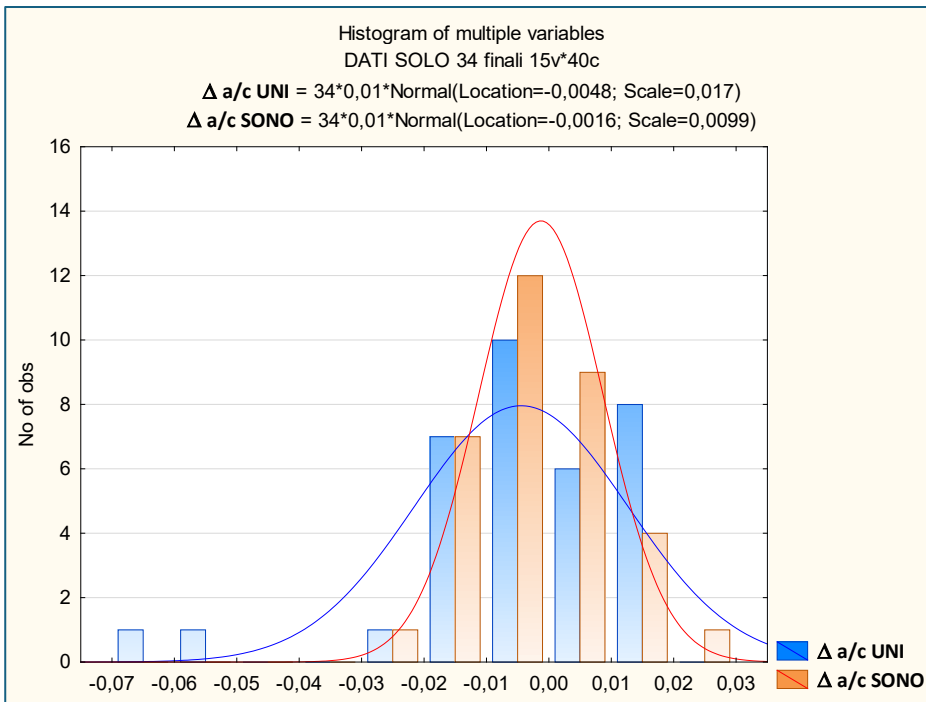
Pertanto, si riportano esattamente gli stessi risultati impiegando lo stesso principio applicato nel caso del fornetto a Microonde.



Questa prima gaussiana è dedicata alla differenza dell'acqua osservata dalle due strumentazioni nei riguardi dell'acqua efficace target, cioè quella che è stata impiegata nel progetto.

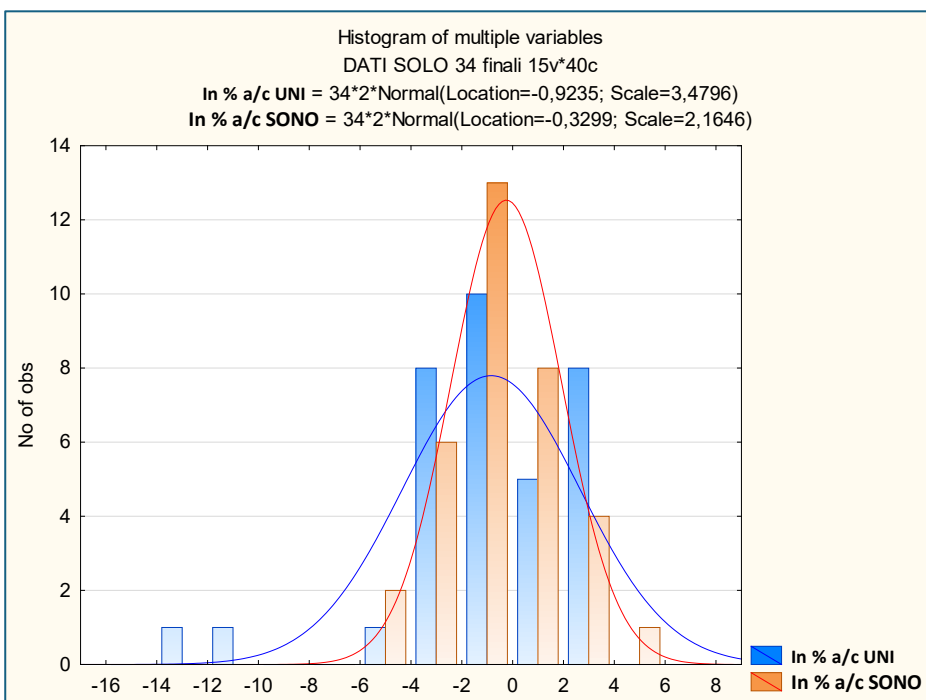
Si osservi come vi sia una forte accentuazione della diminuzione delle dispersioni con lo strumento SONO WZ: lo scarto di 3,8 è nettamente inferiore a 6,8.

Naturalmente, gli sperimentatori hanno eseguito le prove in conformità alla UNI 11201 e, pertanto, non si possono escludere errori, per esempio, nei tempi di bruciatura che possono essere spesso più lunghi del previsto e comunque oggetto di discussione.

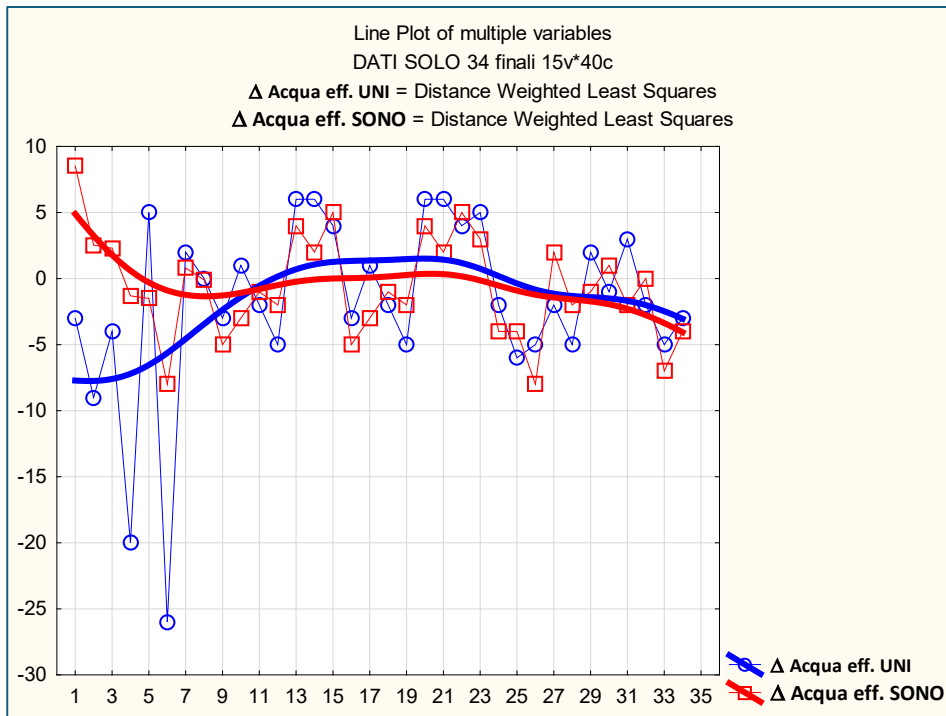


Nel caso delle variazioni sul rapporto a/c il risultato è evidente dall'andamento delle due gaussiane.

La curva dello strumento SONO WZ ci restituisce un andamento più performante.



Con la gaussiana relativa a SONO WZ, si confermano le valutazioni dette in precedenza calcolate prendendo le incidenze percentuali sui rapporti a/c delle due strumentazioni, sempre in riferimento al rapporto a/c delle miscele target.



Le Line Plot (WSL) ci forniscono alcuni punti di riflessione, circa la risposta delle due strumentazioni dal punto di vista operativo.

Da queste prove si evidenzia che il metodo conforme alla UNI 11201 può presentare alcune incertezze, molto probabilmente legate al tempo di bruciatura, all'esperienza dell'operatore, alle attese necessarie, ecc.

Nel caso della linea riferita alla bruciatura del calcestruzzo (nell'esempio quella blu in grassetto) si osservi che circa tre valori (come minimo il quarto e il sesto) hanno influenzato fortemente il risultato complessivo dell'analisi condotta in conformità alla norma vigente.

I due sistemi possono ottenere, comunque, buoni risultati entrambi: si osservi come le due curve si sviluppano in modo molto simile vicino alla linea dello 0, zero.

CONCLUSIONI

Il presente articolo ha voluto fornire i primi risultati circa l'impiego dello strumento, denominato SONO WZ, per la determinazione del rapporto a/c nei calcestruzzi oggetto di qualifica da parte delle Direzioni Lavori e Committenze, in alternativa alla prova condotta o con il Microonde o quella che prevede la bruciatura del calcestruzzo fresco secondo normativa italiana.

SONO WZ si dimostra piuttosto affidabile nei risultati se viene paragonato sia al Microonde sia alla UNI 11201.

Sia il fornello a Microonde sia il metodo basato sulla bruciatura del calcestruzzo possono fornire buoni risultati in riferimento alla determinazione del rapporto a/c, pur rimanendo dipendenti, comunque, da variabili che possono influenzare il risultato finale con le problematiche che ne derivano.

Lo strumento speditivo, SONO WZ, risulta sicuro, speditivo, più idoneo ad essere impiegato per analisi non solo deterministiche ma, soprattutto, di tipo statistico dove la facilità e l'immediatezza del risultato può permettere di avere una numerosità tale di risultati che, se elaborati correttamente, forniscono a

tecnologi, Direzione Lavori, Alta Sorveglianza, Laboratori Ufficiali, un quadro completo e affidabile della qualità del calcestruzzo consegnato e in opera.

Senza considerare, infine, il fatto che non può esistere nella determinazione corretta del valore con il metodo speditivo il cosiddetto “fattore umano”.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

UNI EN 206:2021: Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità

UNI 11201:2017 Prove sul Calcestruzzo fresco- Determinazione del contenuto d’acqua

ONORM 3303 (Determinazione del contenuto d’acqua mediante l’impiego del fornetto a Microonde)

STATISTICA software della TBCO Santa Clara, USA, www.tibco.com

VOLTA SpA, www.volta.it

RINGRAZIAMENTI

Ing. Molentino Giovanni e Geom. Pecere Maurizio della Tecnoprove S.R.L. Ostuni

Fabio Erba Direttore Beton Technology S.r.l.

Ing. Pinto Marcello Linea CFS Mapei

Peter Fischnaller Volta SpA

AUTORI:

Luca Torelli, MAPEI SPA Milano, Italia

Surico Francesco, MAPEI SPA Milano, Italia

Laura Parisio, MAPEI SPA Milano, Italia

Roberto Marino, RM Concrete Consulting, Ravenna, Italia