

b

**Beton-
technologie**

**Technologie
du béton**

**Concrete
technology**



Andrea Salvadè

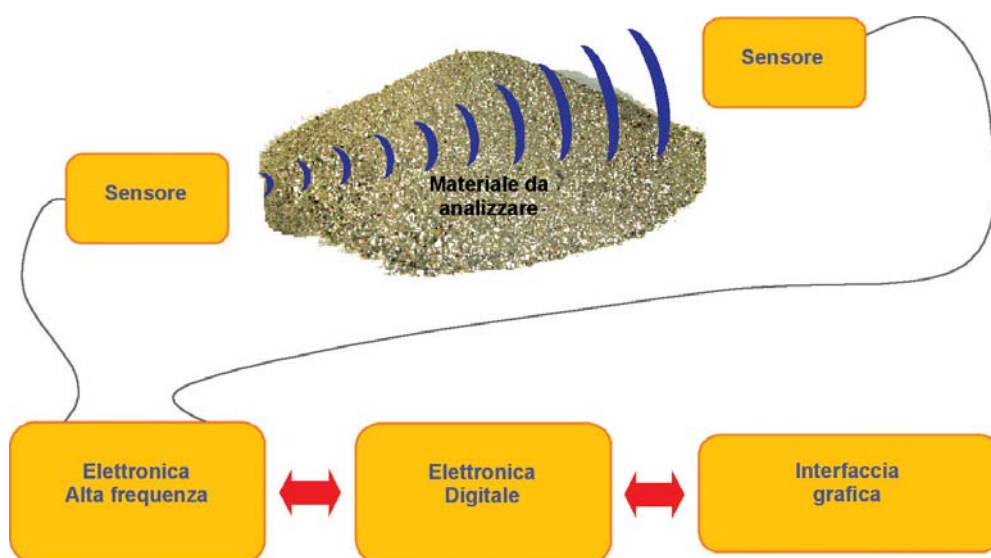
Introduzione

Il contenuto d'acqua nelle miscele di calcestruzzo allo stato fresco, è di fondamentale importanza per le prestazioni caratteristiche, sia in termini di resistenza sia in termini di durabilità, del calcestruzzo indurito. Altrettanto importante è la conoscenza del contenuto d'acqua degli aggregati costituenti, (sabbie, ghiaie, ecc.).

Sistema di misura

L'innovativo sistema di misurazione dell'umidità, denominato WaveTester (frutto di oltre 6 anni di attività di ricerca e sviluppo da parte della SUPSI (Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana) in collaborazione con MEET Electronic Engineering Sagl), determina il contenuto d'acqua nel materiale analizzando l'interazione dell'onda elettromagnetica al suo interno. Il comportamento dell'onda EM varia in modo differenziato in funzione del contenuto di acqua per rapporto ai materiali in analisi.

I parametri misurati vengono, grazie ad una curva di calibrazione elaborata sperimentalmente, correlati ad un quantitativo di acqua presente nel materiale. WaveTester carica automaticamente nel caso della misura di aggregati (di differenti classi granulometriche) la rispettiva curva di calibrazione, questo procedimento assicura una maggiore precisione della misura. Il sistema di misurazione è composto da due sensori fra i quali è posto il materiale da qualificare. I due sensori sono collegati ad una centralina di controllo in grado di gestire i sensori, acquisire i dati di misura, pre-elaborarli e trasmetterli in tempo reale con un collegamento standard ethernet a un PC. In seguito, sulla stazione centrale PC, un software dedicato esegue tutti gli specifici e sofisticati algoritmi che permettono di evincere il grado d'umidità degli inerti. Grazie al sistema a doppio sensore, WaveTester è in grado di misurare in profondità anche gli strati più interni del materiale. (figura 1)



1 Schema a blocchi del sistema di misura
Block diagram of the measuring setup

Introduction

A knowledge of the water content in fresh concrete mixtures is very important in terms of performance. The tensile strength and the durability of the hardened concrete are closely related to the water content.

Similarly, a knowledge of the water content in aggregates is also important to obtain a high quality product.

Measuring Principle

The innovative moisture measurement system, called WaveTester, is able to estimate the water content in a material by scanning its interior using low power microwaves. Water influences the behaviour of the electromagnetic waves very strongly and to a much greater extent than dry materials. Hence, the measured electrical parameters can be correlated to the water content by means of a calibration curve. This curve can be obtained experimentally by comparison with the traditional measure based on the well known drying method.

The WaveTester can handle different calibration curves for different materials in order to achieve increased precision.

Today, thanks to this revolutionary microwave system, which is the result of more than 6 years of joint research and development by SUPSI and MEET Electronic Engineering Sagl, it is possible to estimate the moisture content of any kind of aggregate as well as the water-cement ratio during the mixing process of fresh concrete.

This leads to a marked improvement in the quality of the final product.

Typically, the sample material under test is placed between two microwave sensors. There is no need for a physical contact between the sample and the sensors. The two sensors are connected to a control unit (CU). The CU genera-

Integrazione del sistema di misura nelle diverse fasi di produzione del calcestruzzo

L'analisi del tasso d'umidità può avvenire in varie fasi della produzione del calcestruzzo. Di conseguenza, i sensori possono essere ubicati in tutti i luoghi ritenuti strategici nel ciclo di produzione del calcestruzzo, quali:

- entrata del silo (per esempio, sul nastro trasportatore).
- uscita dei rispettivi silos o nella bilancia
- interno del miscelatore, misura del calcestruzzo fresco durante l'operazione di mescolatura, al fine di poter correggere in tempo reale un'eventuale carenza d'acqua secondo i parametri di ricetta (rapporto acqua/cemento). (figura 2)

Caratterizzazione dell'umidità negli aggregati sul nastro trasportatore

WaveTester è in grado di monitorare l'umidità dell'intero carico di aggregati che vengono depositati all'interno del silo durante la fase di riempimento. Questo procedimento permette di avere un maggior controllo di qualità del materiale in entrata.

La misura avviene direttamente sul nastro trasportatore; i sensori non hanno nessun contatto con il materiale in analisi e non richiedono quindi alcuna manutenzione nel tempo.

Il sistema è stato collaudato ed utilizzato per esempio nel cantiere AlpTransit della ditta Holcim per due anni, ininterrottamente senza alcun difetto o intervento di manutenzione.

tes the microwave signal and sends it to one of the sensors. After traversing the sample, the signal is picked up by the other sensor and returned to the CU, where it is pre-processed and digitized. This raw measure is then sent to a Personal Computer (PC), where it is post-processed by advanced DSP algorithms. The resulting moisture measure is presented graphically on the PC, in real time. The measured value can also be sent to the plant controller (PLC) over several standard interfaces.

Thanks to a double sensor system the WaveTester is able to measure the test material at depth and through its entire cross section. (figure 1)

Measurement system integration in the various levels of the concrete production line

The moisture analysis can be made at different levels of the concrete production process. The strategic places where the sensors can be placed are:

- On the conveyor belt that feeds the silos
- At the exit of the silos or directly in the aggregates batching plant
- In the mixer in order to monitor the water content of fresh concrete (figure 2)

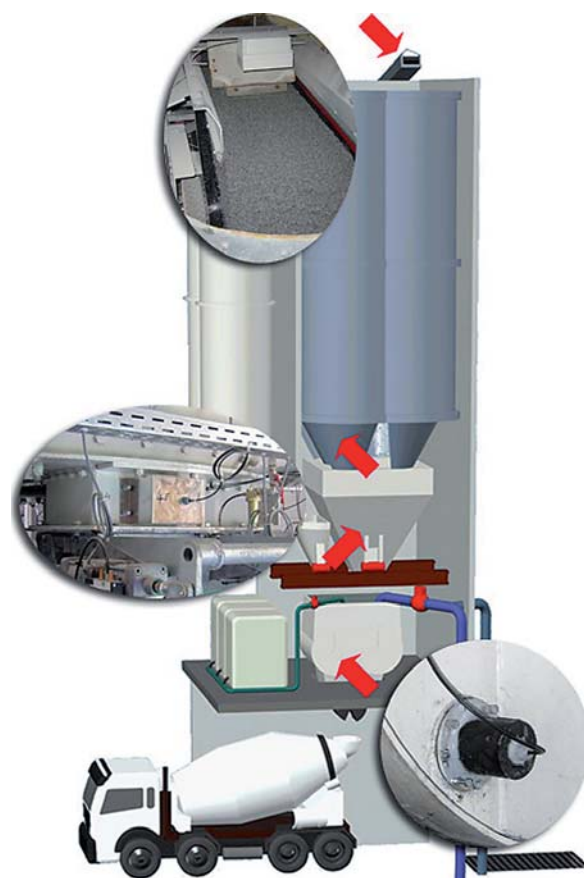
Moisture measurement on the conveyor belt

The WaveTester is able to monitor the moisture content of incoming aggregates during the silo's replenishment.

This allows for an improved quality and cost control of the arriving material.

The measurement is performed directly on the conveyor belt (e.g. in a vertical setup, through the belt); the sensors are not in contact with the material and not subjected to wear, so that no maintenance is required.

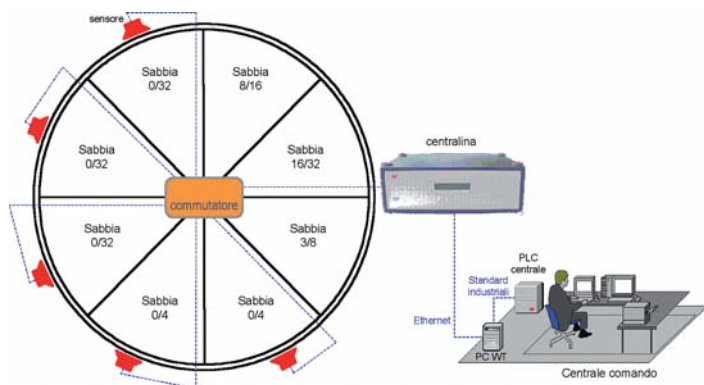
The setup is in use for instance at the AlpTransit construction site of Bodio by Holcim. For two years it has given excellent results and did not require any servicing.



2

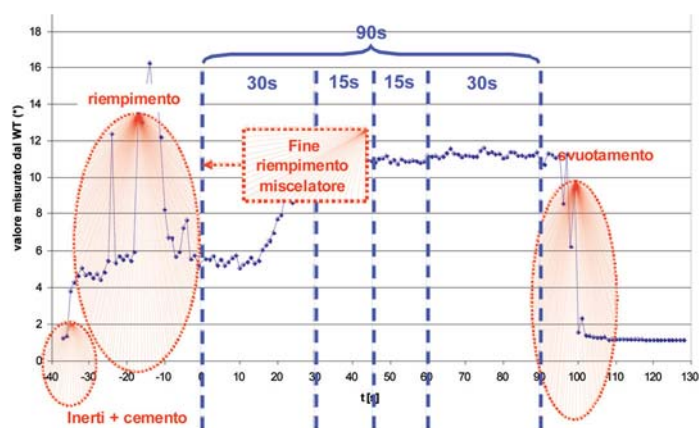
Posizionamento dei sensori nella centrale di betonaggio

Sensor placement locations in the concrete production plant



3

Schema di installazione sulle bocchette dei silos
Setup diagram of the system in the silos



(*) valore digitale fornito in uscita al WaveTester correlato ad A/C

4

Misura durante l'intero ciclo di miscelazione

Il grafico mostra la misura durante un intero ciclo di miscelazione del mixer. Notiamo il caricamento iniziale dell'inerte, del cemento e degli additivi. L'aggiunta dell'acqua avviene successivamente. Dopo alcuni secondi di miscelazione l'impasto tende a diventare omogeneo: da questo momento la misura può essere considerata valida e può eventualmente essere effettuata un'aggiunta d'acqua.

Measurements during the entire mixing cycle

The graph shows a measuring profile taken during a mixing process. At the beginning we can see the presence of: cement, aggregates and additives. Water is added a bit later. After a few seconds of mixing, the mixture becomes homogeneous: at this moment the measurements can be considered valid and can be fed back to the dosage control system.

Misurazione dell'umidità degli aggregati all'uscita dei silos

La misura del quantitativo di acqua presente negli aggregati è indispensabile per ottenere una miscela di calcestruzzo la più fedele possibile alle aspettative. Tale misura avviene tramite il posizionamento dei sensori sulle bocchette in uscita dei vari silos. L'acqua misurata negli inerti può in seguito essere sottratta a quella da aggiungere durante la fase di miscelazione. Il sistema di misura viene sincronizzato con l'apertura della bocchetta dei silos. Si tratta di una misura integrale: tutto il materiale (e non solo un piccolo quantitativo) viene quindi analizzato dai sensori, questo permette di disporre di un valore finale preciso e istantaneo di tutto il contenuto d'acqua presente nell'inerte.

Attualmente con una centralina possono essere controllati fino ad 8 silos parallelamente.

Anche in questa configurazione di misura i sensori non sono a diretto contatto con il materiale analizzato, quindi le azioni di manutenzione si riducono praticamente al minimo. (figura 3)

Misurazione dell'umidità nel calcestruzzo in fase di miscelazione

WaveTester è utilizzato per misurare il contenuto di acqua presente nel calcestruzzo fresco e quindi permette di poter disporre del rispettivo rapporto acqua/cemento. La misura è continua, viene effettuata durante tutto il periodo di miscelazione e i valori misurati sono istantaneamente disponibili al sistema di controllo dei dosaggi. Si può quindi effettuare in qualsiasi

Moisture sensing at the silo's outlet

A knowledge of the water content in the aggregate at the exit of a silo is essential in order to obtain a resultant concrete mix that is as close as possible to the design mix. The measurement is taken at the outlet (next to the drain valve) of a silo.

This measured water content can then be taken into account in the computation of the amount of water that needs to be added during the mixing process.

Again, the entire load of aggregate is measured (and not just a single sample or a small part.) This leads to a more accurate and statistically representative measure of the actual water content of the aggregates.

Today, it is possible to connect the sensors installed in up to 8 silos to a control unit (CU).

si momento una correzione del contenuto d'acqua allo scopo di garantire delle caratteristiche finali del calcestruzzo precise, secondo la ricetta prestabilita.

Questo tipo di misura permette inoltre di determinare quando la miscela è sufficientemente omogenea in modo da ottimizzare il processo di miscelazione.

I sensori vengono incapsulati e protetti dalla miscela in movimento tramite dei materiali molto resistenti all'abrasione. Il sistema può essere utilizzato quindi per diversi mesi senza necessitare di lavori di manutenzione.

Anche in questo caso, grazie a una frequenza di misura di oltre 10 campioni al secondo, il vantaggio dato da Wavetester è quello di poter disporre di un'analisi integrale del calcestruzzo.

Il sistema è stato collaudato ed è tuttora in funzione nei cantieri AlpTransit della ditta Holcim. (figura 4), (figura 5), (figura 6)

As in the previous configuration, here also the sensors are not in contact with the material under test, so that no maintenance is needed.

The setup is in use for instance at the newest Holcim concrete production plant in (figure 3)

Moisture sensing in the concrete mixer

The WaveTester can also be used to sense the moisture of fresh concrete during the mixing process. The instrument can then provide directly a water/cement ratio value, by means of a calibration curve obtained experimentally. The WaveTester measures in real time, producing several measures per second during the entire mixing cycle. The results are made fully available to the dosage control system. Therefore it is possible to make corrections to the water content in real time during the same mixing process.

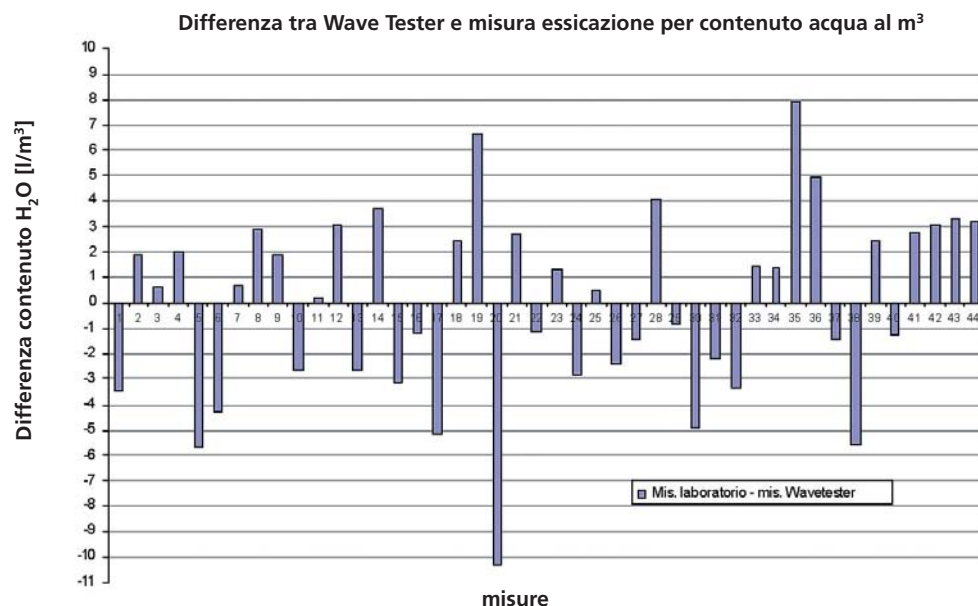
In addition, the WaveTester can provide an estimate of the mixture's homogeneity, because the ripple in the measured moisture profile (over time) is a direct indicator of material inhomogeneity.

The sensors are mounted on the mixer's walls and are encapsulated and protected against abrasion by means of a very resistant cover.

The setup can be used for months without any maintenance, and in any case this is limited to the replacement of the sensor's protective cover. No recalibration is needed.

With more than 10 samples per seconds, the WaveTester permits the characterization of the entire mixer concrete load.

The complete setup is in use for instance at the AlpTransit construction site of Bodio by Holcim. (figure 4), (figure 5), (figure 6)



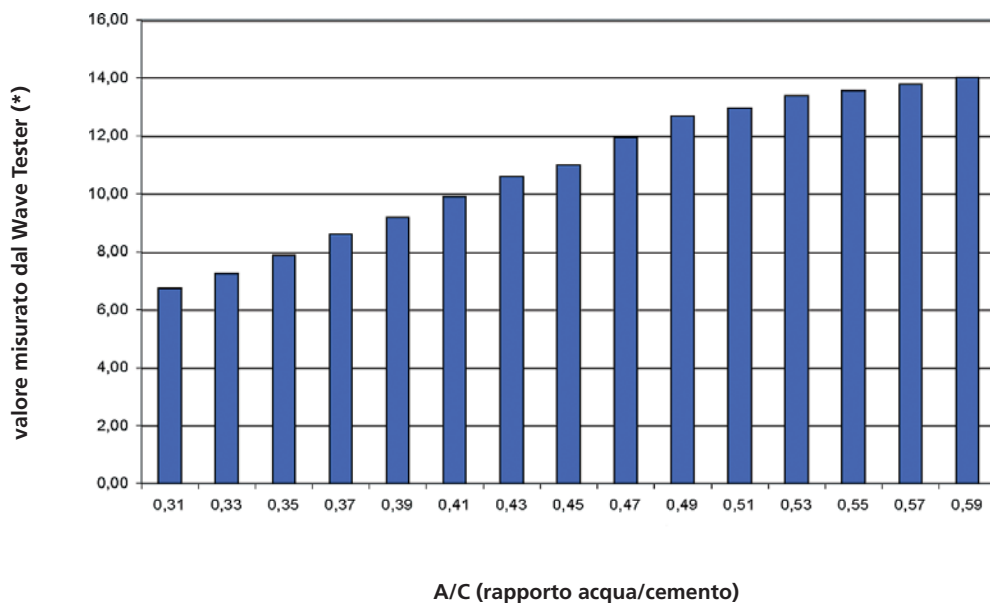
5

Misure Wave Tester comparate con prova della stufa (dati forniti da Holcim)

Il grafico mostra una serie di prove a campione effettuate con WaveTester comparate con dei campioni analizzati con il metodo di essiccazione nella stufa. Dal grafico si deduce una precisione di misura, salvo pochi casi, di $\pm 3\text{l/m}^3$. Che corrisponde a una precisione di ± 0.01 sul rapporto acqua/cemento.

WaveTester measurements compared to measurements obtained with the drying method (data by courtesy of Holcim)

The graph shows some measurements in fresh concrete compared with the results obtained by the drying method. It is possible to reach a measuring accuracy of $\pm 3\text{liters/m}^3$ that corresponds to about ± 0.01 in the water/cement ratio.



6

Prova ad incremento all'interno del mixer

Il grafico mostra delle prove effettuate aggiungendo progressivamente 7l di acqua in una miscela di 1m³ di calcestruzzo. Si nota che ogni aggiunta è stata discriminata con precisione denotando una risoluzione di misura che permette la discriminazione di quantitativi di acqua molto minori.

Test with incremental moisture contents in the mixer

The graph shows some tests done by adding water in steps of 7liters each to a concrete mixture of 1 m³.

As can be seen, every addition is clearly discernible.

Conclusioni

Questo innovativo sistema permette un controllo preciso ed efficiente del contenuto d'acqua durante tutta la catena di produzione del calcestruzzo, a partire dal controllo dei vari inerti fino alla determinazione del rapporto acqua/cemento del calcestruzzo.

L'implementazione di questo sistema garantisce un prodotto finale nel rispetto delle variabili progettuali e delle normative.

Ulteriore sviluppo: lo strumento WaveTester sta per essere messo a punto anche per poter soddisfare la richiesta di misura del calcestruzzo fresco direttamente sui cantieri mediante uno strumento portatile.

Conclusions

The advanced WaveTester technology allows a precise and efficient control during the whole concrete production chain from the aggregates to the final product.

Its use ensures a high quality concrete that complies with the applicable codes and fulfils production requirements.

Next step: The WaveTester will be used to test fresh concrete samples directly at the construction site.

Progetto finanziato dall'agenzia per la promozione dell'innovazione

KTI / CTI

Project financed from the agency for the innovation promotion

KTI / CTI

Autor / Author

Andrea Salvadè

Department of Technology and Innovation, University of Applied Sciences of Southern Switzerland (SUPSI)

Area TTHF

Telecom Telematics High Frequency
Via Cantonale, 6928 Manno,
Switzerland.

asalvade@supsi.ch

http://www.dfi.supsi.ch/area_TTHF.html

In collaborazione / In collaboration

Thomas Bartesaghi, Damiano Pellegrini,
Samuel Poretti and Ricardo Monleone