

**Università di Napoli FEDERICO II**  
*Facoltà di Ingegneria*

Dottorato di Ricerca in Ingegneria dei Materiali  
COORDINATORE PROF. DOMENICO ACIERNO  
*XXII Ciclo*



**IVANO IOVINELLA**

TESI DI DOTTORATO

**Influenza dei trattamenti superficiali  
sull'efficacia del rinforzo esterno in FRP**

TUTOR PROF. GAETANO MANFREDI  
Co-TUTOR ING. ANDREA PROTA

## INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITOLO 1 CARATTERIZZAZIONE DEL SUPPORTO</b> .....	<b>4</b>
1.1.    Indagini distruttive e non per la caratterizzazione del supporto .....	4
1.2.    Prove di Pull-Out.....	6
1.3.    Prove di Pull-Off .....	8
1.4.    Rilievo della Rugosità .....	9
1.5.    Indagini Termografiche.....	12
<b>CAPITOLO 2 TECNICHE DI TRATTAMENTO DEL SUPPORTO</b> .....	<b>16</b>
2.1.    Strutture danneggiate.....	17
2.2.    Strutture integre – operazioni preliminari .....	20
2.3.    Trattamento della superficie .....	21
2.3.1.    Spazzolatura meccanica.....	22
2.3.2.    Bocciardatura.....	24
2.3.3.    Smerigliatura .....	25
2.3.4.    Sabbatura .....	26
<b>CAPITOLO 3 PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DEI CAMPIONI</b> .....	<b>29</b>
3.1.    Mix Design .....	31
3.2.    Confezionamento.....	34
3.3.    Applicazione del Rinforzo.....	37
<b>CAPITOLO 4 CAMPAGNA DI PROVE PROFILOMETRICHE</b> .....	<b>39</b>
4.1.    Analisi dei dati sui provini nella fase di pre trattamento .....	43
4.2.    Confronto fra i dati pre trattamento e post trattamento .....	51
4.3.    Indice di Rugosità $I_R$ .....	64
4.4.    Campagna profilo metrica sui campioni in pietra naturale.....	68
4.5.    Conclusioni.....	71
<b>CAPITOLO 5 ESCUZIONE DEI TRATTAMENTI SUPERFICIALI</b> .....	<b>72</b>
5.1.    Sabbatura.....	73
5.2.    Bocciardatura.....	75

5.3.	Spazzolatura meccanica.....	77
5.4.	Smerigliatura .....	79
5.5.	Conclusioni.....	81
<b>CAPITOLO 6 PROVE DI PULL OFF.....</b>		<b>82</b>
6.1.	Risultati delle prove di Pull Off.....	85
6.2.	Confronto con i risultati delle indagini profilometriche .....	87
6.3.	Conclusioni.....	90
<b>CAPITOLO 7 CAMPAGNA DI PROVE TERMOGRAFICHE.....</b>		<b>91</b>
7.1.	Preparazione dei provini.....	95
7.2.	Analisi dei risultati.....	98
7.3.	Conclusioni.....	105
<b>CAPITOLO 8 PROVE DI DELAMINAZIONE DI TIPO STATICO.....</b>		<b>106</b>
8.1.	Caratteristiche dei materiali impiegati e loro preparazione .....	107
8.2.	Setup di prova e strumentazione utilizzata .....	109
8.3.	Esecuzione delle prove .....	113
8.4.	Calcolo del modulo elastico E.....	116
8.5.	Risultati sperimentali .....	118
8.6.	Confronto fra i valori di $I_R$ e delle prove di delaminazione.....	124
8.7.	Conclusioni.....	127
<b>CAPITOLO 9 CONCLUSIONI.....</b>		<b>129</b>
<b>ALLEGATO A .....</b>		<b>131</b>

## INTRODUZIONE

Il rinforzo di elementi in calcestruzzo con materiali compositi è un intervento ampiamente diffuso grazie alla bassa invasività dell'intervento dal punto di vista architettonico e sismico e ai benefici che essi recano alla resistenza e alla duttilità dell'elemento. La buona riuscita di un intervento di rinforzo con FRP è strettamente legato ad una corretta progettazione che a sua volta non può prescindere dalla conoscenza dell'interazione che si genera fra il composito e l'elemento da rinforzare. , Tale interazione è fortemente influenzata dalle condizioni del substrato in termini meccanici e morfologici.

Per tale motivo le tecniche di trattamento superficiale del calcestruzzo possono giocare un importante ruolo nell'efficacia di un intervento di rinforzo con materiali fibrorinforzati. Lo studio di tali tecniche risulta particolarmente importante se si considera che il rinforzo strutturale in genere viene applicato su strutture in cattivo stato di conservazione che pertanto presentano problemi legati al degrado del calcestruzzo. Tali problemi possono variare dalla semplice presenza sulla superficie di oli o grassi fino al degrado avanzato del copriferro e delle barre di armatura. Nei casi più semplici può essere sufficiente procedere ad una veloce ed economica pulitura della superficie, con una spazzolatura o una smerigliatura, mentre nei casi di degrado più avanzato è necessario rimuovere tutti gli elementi ammalorati e procedere al ripristino dello stato dei luoghi.

In seguito a queste operazioni il substrato può assumere caratteristiche molto varie che possono anche renderlo inadeguato ad accogliere un'applicazione di FRP.

In particolare le superfici ripristinate, benché dotate di buone proprietà meccaniche spesso sono molto lisce e questo non favorisce l'interazione fra il rinforzo ed il substrato.

Tra i molteplici studi condotti sulle problematiche riguardanti l'applicazione di FRP pochi si sono soffermati sullo sviluppo di un sistema di controllo qualitativo del substrato dal punto di vista della rugosità superficiale nonché sulla definizione di una relazione che leghi quest'ultima con la resistenza del composito applicato.

Per rispondere a questa necessità è stata pianificata una campagna sperimentale su campioni di calcestruzzo caratterizzati da vari livelli di rugosità superficiale. Nell'ambito di tale campagna sono stati confezionati 40 blocchi di cemento armato di dimensione 60x40x17 cm utilizzando due tipi di calcestruzzo e varie modalità di confezionamento in maniera tale da analizzare l'incidenza di ciascuna di esse sulle condizioni finali del substrato.

Le variabili ritenute più interessanti ai fini della ricerca, oltre alla resistenza a compressione del calcestruzzo, sono il sistema di costipamento (vibratura o battitura) ed il tipo di cassero utilizzato per il confezionamento (doghe o pannelli).

Una prima indagine è stata eseguita per determinare la rugosità superficiale dei provini confezionati. Per l'analisi del substrato è stato utilizzato un profilometro laser che sfruttando le proprietà riflettenti delle superfici ne riesce a "misurare" il profilo microscopico associandolo ad una serie di parametri geometrici. Questa prima fase della campagna profilometrica ha permesso di determinare l'influenza che ciascuna delle variabili introdotte in fase di confezionamento ha sulla rugosità superficiale del provino. Tale campagna è stata estesa anche a blocchi di pietra naturale ed in particolare a 20 blocchi di tufo napoletano e 20 blocchi di pietra leccese. In questo modo le modalità di prova e la precisione del sistema di rilevamento sono stati valutati in riferimento a substrati di varia natura.

Su 30 dei 40 campioni di calcestruzzo realizzati sono stati eseguiti, da parte di personale esperto, 4 tipi di trattamento superficiale scelti fra quelli maggiormente utilizzati nelle applicazioni reali. I campioni ottenuti, con una rugosità diversa da quella di partenza, sono stati nuovamente sottoposti ad analisi profilometrica ed i risultati sono stati comparati con quelli rilevati prima dei trattamenti superficiali.

Potendo disporre di un numero elevato di dati sulla rugosità dei campioni prima e dopo i trattamenti superficiali è stato possibile determinare l'efficacia di ciascun trattamento superficiale in relazione al grado di rugosità del substrato. Inoltre un indice di rugosità, ricavato dalla combinazione di due indici elementari forniti dal profilometro, è stato messo a punto ed utilizzato per descrivere il grado di rugosità di ciascun campione prima e dopo i trattamenti superficiali nonché l'efficacia di ciascun trattamento.

Per valutare il rapporto tra il grado di rugosità superficiale e l'efficacia dell'applicazione di compositi fibrorinforzati sui 40 campioni in calcestruzzo è stato applicato uno strato di CFRP con sistema a secco.

I campioni così rivestiti sono stati sottoposti a prove termografiche che hanno permesso di indagare sulla corretta posa in opera del composito e individuare i difetti dell'applicazione.

Le prove termografiche sono state estese ai blocchi di pietra naturale, anch'essi rivestiti con CFRP, per valutarne l'efficacia in relazione a vari tipi di supporto. Con lo stesso obiettivo sono stati realizzati e analizzati 9 provini, 3 per ciascun tipo di supporto, con difetti di geometria nota creati dagli operatori stessi prima dell'applicazione del composito.

Prove di pull off sono state eseguite sui provini in calcestruzzo rinforzati con CFRP. Le prove hanno fornito per ciascun tipo di trattamento dei valori della resistenza allo strappo che hanno dimostrato la dipendenza tra tale resistenza e la rugosità dei provini e di conseguenza la relazione che lega tale resistenza al tipo di trattamento superficiale.

In ultimo da 10 dei 40 provini di calcestruzzo sono stati ricavati 10 campioni di dimensione 60x20x17 cm e testati, grazie ad un particolare setup, con prove di delaminazione di tipo statico. Il valore della forza di delaminazione di ciascuna prova è stato messo in relazione con il valore della rugosità media rilevato nella campagna profilometrica evidenziando come tali valori siano legati da una relazione di tipo lineare.

Grazie alla campagna sperimentale è stato possibile in primo luogo determinare un indice di rugosità che può essere utilizzato con efficacia per descrivere la rugosità superficiale del calcestruzzo e stabilire dei valori minimi di accettabilità per l'applicazione dell'FRP.

E' stato inoltre possibile correlare tale indice a varie tecniche di trattamento superficiale ed associare a ciascuna di esse un giudizio oggettivo frutto di un indagine scientifica anziché di mere osservazioni visive e soggettive.

La varietà di prove, distruttive e non, effettuate ha inoltre permesso di evidenziare il legame fra i trattamenti superficiali l'indice di rugosità e l'efficacia dell'applicazione del composito.

## CAPITOLO 1 CARATTERIZZAZIONE DEL SUPPORTO

Con il termine “supporto”, si individua la parte della struttura sulla quale verrà applicato il rinforzo e quindi responsabile del legame di aderenza, indispensabile per la meccanica del rinforzo, che si genera tra il materiale composito ed il calcestruzzo.

La preparazione del supporto è l'insieme delle lavorazioni che consentono di modificare lo stato chimico-fisico del supporto rendendolo idoneo all'applicazione dell'FRP.

Prima di entrare pienamente nel merito delle azioni di trattamento e preparazione del supporto, si procede con una veloce presentazione del materiale cemento armato, delle sue caratteristiche e dei suoi difetti comunemente noti.

### **1.1. Indagini distruttive e non per la caratterizzazione del supporto**

Le caratteristiche del substrato costituiscono una variabile fondamentale nel mix dei parametri che determinano l'efficacia di un buon intervento di consolidamento realizzato mediante l'impiego di materiali fibrorinforzati. La realizzazione di un'attività preparatoria corretta è condizione che, se non conseguita nei modi e nei tempi opportuni, non può più essere recuperata.

Per questi motivi è stata posta una grande attenzione allo studio delle modalità più opportune di trattamento e di controllo del substrato, sia preliminarmente, nella definizione della tecnica più opportuna, che nella valutazione dei risultati conseguibili attraverso parametri oggettivamente misurabili.

Il controllo delle condizioni del substrato coinvolge aspetti legati alla valutazione della qualità del calcestruzzo, del suo grado di deterioramento nonché della geometria della superficie.

Per la descrizione degli aspetti che governano il rinforzo di opere in conglomerato cementizio armato si deve necessariamente partire dalla valutazione diagnostica delle condizioni di conservazione e delle proprietà meccaniche dello strato superficiale del conglomerato, quello che normalmente coincide con il copriferro, delegato ad essere da supporto per il rinforzo. Quando vi è necessità di eseguire un rinforzo strutturale di elementi in c.a. esistenti si ha quasi sempre a che fare con opere e materiali degradati. Da semplici osservazioni e con l'uso di semplici strumenti è possibile verificare e valutare le manifestazioni di degrado e le cause che le hanno ingenerate e definire le tecniche di trattamento più idonee per il risanamento allo scopo di realizzare una superficie resistenza integra e quindi adeguata per l'applicazione dei prodotti fibrorinforzati.

La valutazione ed il controllo del deterioramento di una struttura consiste nella raccolta di dati sperimentali che unitamente alle informazioni al contorno, di carattere ambientale, climatico, storico, strutturale consente di stabilire le cause del deterioramento della struttura e del degrado dei materiali.

La raccolta di dati sperimentali si basa sull'esecuzione di prove che possono essere suddivise in *distruttive* e *non-distruttive*.

La distinzione tra prove distruttive e non-distruttive consiste fondamentalmente nel fatto che le prime vengono effettuate, generalmente in laboratorio, su provini o campioni prelevati dalla struttura alla quale recano un danno (seppur limitato e recuperabile) mentre le seconde vengono eseguite direttamente sulla struttura senza apportare alcun tipo di danno né alcuna modifica strutturale.

In generale, è molto difficile che con le sole prove non-distruttive si possa arrivare ad una diagnosi corretta dello stato di una struttura; molto spesso infatti, esse devono essere completate da quelle distruttive.

L'accoppiamento di prove distruttive e non-distruttive, oltre al carattere di complementarità e di completezza dell'informazione desunta, presenta anche il vantaggio di ridurre globalmente il numero totale delle prove da eseguire e quindi il costo generale della diagnosi. Si noti, infatti, come in una campagna di prove in situ generalmente sia la quantità delle prove a incidere sul costo finale piuttosto che il prezzo della singola prova di per se esiguo.



In alcuni casi lo scopo principale delle prove non-distruttive in sito non è quello di fornire elementi utili per emettere direttamente una diagnosi, quanto quello di guidare il tecnico in un prelievo ben finalizzato dei campioni e dei provini da sottoporre a successive prove di laboratorio.

I controlli non distruttivi hanno assunto negli ultimi anni una sempre maggiore importanza per la diagnosi ed il controllo delle costruzioni anche in virtù delle sopravvenute disposizioni normative italiane

## 1.2. Prove di Pull-Out

La prova consiste nell'inserire un tassello meccanico all'interno di una perforazione preventiva del c.a. e nell'estrarlo grazie all'utilizzo di un opportuno martinetto, ed è eseguita secondo quanto previsto dalla norma UNI 10157/92 *“Calcestruzzo indurito - Determinazione della forza di estrazione mediante inserti post inseriti ad espansione geometrica e forzata”*.

Sul calcestruzzo da indagare - previa pulizia con pietra pomice della zona interessata dalla prova - vengono fatti dei fori con il trapano in cui vengono inseriti i tasselli meccanici della lunghezza di 45 mm; questi vengono quindi collegati ad un martinetto e mediante una pompa ad olio, vengono “strappati” dal getto di calcestruzzo.

La frattura del calcestruzzo avviene generalmente secondo una superficie troncoconica. Utilizzando una specifica curva interpretativa, la forza di estrazione registrata consente di indagare sulle proprietà meccaniche del calcestruzzo e di stimarne la resistenza a compressione in sito nella porzione superficiale.

Per ogni punto di indagine si eseguono solitamente dalle tre alle cinque prove, i cui valori vengono poi mediati.

I limiti di questo tipo di prova sono sostanzialmente legati alla limitata profondità d'indagine che riguarda solo gli strati superficiali. Inoltre, per ottenere dei valori significativi è necessario provvedere preventivamente alla rimozione degli intonaci.

In genere, la prova di pull-out può essere eseguita in due modi sia per i calcestruzzi già induriti che per quelli in fase di getto. Nel primo caso, mediante l'uso di un trapano, si esegue un foro nel materiale per introdurre un tassello ad espansione

forzata, procedendo poi alla misura della forza per estrarlo dal calcestruzzo con le modalità indicate dalla norma UNI 10157.

Nel caso di inserimento nel getto di calcestruzzo, il tassello è ad espansione geometrica, con successiva misura della forza di estrazione a calcestruzzo indurito; le modalità della prova sono fornite dalla norma UNI 9536.

I tasselli sia ad espansione forzata che ad espansione geometrica vanno posti ad una profondità (h) non minore di 35mm.

Per i calcestruzzi induriti essi vanno posizionati ad una distanza di almeno 5 volte la lunghezza dell'inserto (quindi 175 mm), con gli assi degli inserti stessi ad una distanza dai bordi liberi di almeno 3 volte la lunghezza dell'inserto (quindi 105 mm).

Vanno posizionati almeno tre inserti, in modo da lavorare su un valore medio della forza di estrazione e quindi definire una resistenza media a compressione del calcestruzzo.

L'attrezzatura di prova è costituita da un martinetto, una pompa, un anello di contrasto, un manometro e l'inserto metallico, come mostrano le figure seguenti:

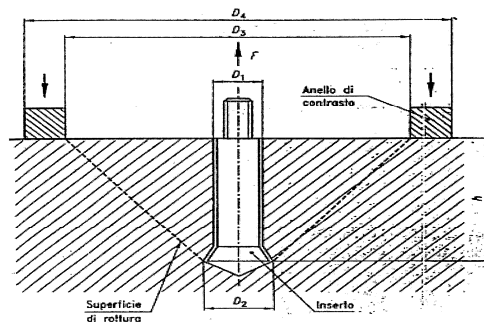


Figura 1.1 : Schema di Prova di Pull-Out

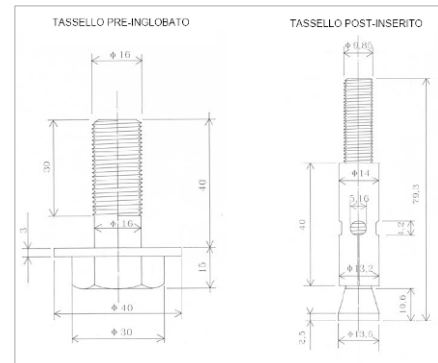


Figura 1.2 : Inserti ad espansione geometrica

Il principio si fonda sulla misura della forza F necessaria all'estrazione dell'inserto.

La prova di estrazione con espansione (pull-out) ha un costo di 66 euro cadauna, secondo quanto stabilito nel prezzario della regione Umbria.

### 1.3. Prove di Pull-Off

Si tratta di un metodo diretto di prova, consistente nell'estrazione semi-distruttiva di un controstampo metallico, atto a stimare la resistenza a trazione o l'adesione dei materiali di ripristino collegati al sottofondo quali rivestimenti murari o FRP. La prova viene preparata incollando direttamente sulla superficie del materiale, la cui adesione vuole essere testata, un piatto circolare metallico di diametro 50 mm.

Prima della prova viene eseguito un taglio lungo il bordo del piastrino metallico in modo da svincolare la zona in prova da quelle circostanti. Il taglio, secondo le indicazioni normative, deve avere una profondità di almeno 2 mm rispetto la superficie del substrato.

La prova viene in genere eseguita su applicazioni dette "di sacrificio" ovvero applicazione del materiale eseguite con l'unico scopo di effettuare la prova di pull off. Quando possibile si preferisce estendere l'area su cui va applicato il rivestimento al fine di ottenere una zona di sacrificio prossima a quella della reale applicazione ottenendo così caratteristiche identiche fra la zona di sacrificio e quella della reale applicazione.

Nella Figura 1.3 viene riportato un esempio di prova di pull off nella quale la zona di sacrificio è stata ottenuta prolungando il rinforzo di circa 30 cm oltre l'area prevista dal progetto.



Figura 1.3 - Esempio di prove di Pull Off su un applicazione di CFRP

Lo stampo metallico viene fatto aderire al supporto per mezzo di resine, preferibilmente bicomponenti, in grado di raggiungere una forza di adesione superiore a quella dell'applicazione da testare.

La prova termina quando si raggiunge la crisi del sistema sottofondo-legante-rivestimento. In funzione del tipo di materiale applicato, rivestimenti piuttosto che rinforzi in FRP, la crisi può nascere all'interfaccia tra: il rivestimento e il collante, il collante ed il sottofondo, all'interno del collante o nello strato superficiale del sottofondo.

Nelle prove effettuate su applicazione di compositi l'eventuale innesco della crisi nell'interfaccia fra il composito e il collante o all'interno del collante indicano una imperfetta applicazione e richiedono pertanto ulteriori approfondimenti.

Le prove di pull off sono state ampiamente utilizzate nel presente lavoro per valutare l'efficacia dei trattamenti superficiali e la resistenza allo strappo del composito applicato.

Le norme UNI-EN 1542, UNI-EN 1015-12, UNI-EN 13687-2 indicano le modalità da seguire nelle prove di pull off.

Il costo di una prova di pull off varia dai 20 ai 50 euro considerando tuttavia che una cospicua parte della spesa di una campagna di prove è da imputare alla movimentazione e al trasporto dei materiali il cui costo è fortemente dipendente dall'ubicazione del cantiere.

#### **1.4. Rilievo della Rugosità**

Ogni superficie è caratterizzata da un profilo macroscopico esteso (profilo tecnico) proprio della forma della superficie e da una struttura microscopica costituita da irregolarità superficiali (deviazioni dal profilo tecnico) che ha una notevole influenza sul valore della forza d'attrito esplicita nei confronti dei materiali che vi sono in contatto. La Figura 1.4 mostra una schematizzazione del profilo reale di una superficie piana nella quale si possono riconoscere sia il profilo tecnico che quello microscopico.

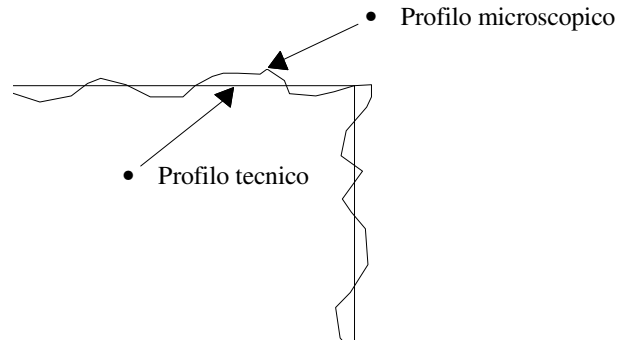


Figura 1.4 : Particolare del profilo di una superficie

La determinazione qualitativa e quantitativa del profilo microscopico assume grande importanza in quei campi nei quali la forza di attrito ha un valore non trascurabile nell'equilibrio del sistema.

Per tale determinazione sono stati sviluppati diversi strumenti alcuni concettualmente molto diversi fra loro a causa delle differenti caratteristiche della rugosità che intendono rilevare o del materiale su cui essi la rilevano.

Per la determinazione del livello di rugosità delle superfici di calcestruzzo è stato sviluppato un profilometro laser in grado di caratterizzare il profilo microscopico di qualsiasi superficie che abbia una opportuna opacità. (Maerz et al) [1] [3] (Matana et al. 2005) [2]

Il profilometro emette un fascio laser (spot) in direzione della superficie e ne fotografa il raggio riflesso che avrà una proiezione irregolare in funzione del profilo analizzato. Il laser è inclinato di  $45^\circ$  rispetto alla superficie osservata, mentre il sensore di ricezione rileva il raggio con un inclinazione di  $90^\circ$  rispetto alla superficie stessa, come schematizzato in Figura 1.5.

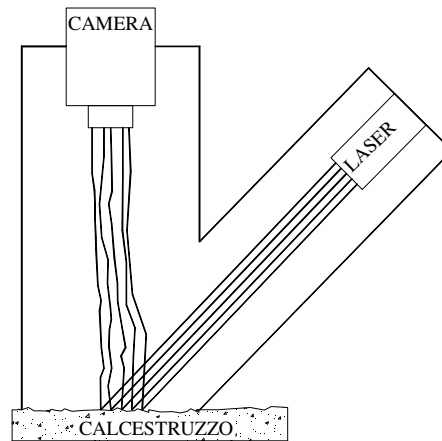


Figura 1.5 : Rappresentazione schematica del funzionamento del Profilometro Laser

Tale sensore è costituito da una telecamera che permette l'acquisizione dell'immagine e la invia ad un computer che, attraverso un software dedicato, elabora l'immagine e l'associa ad una serie di 11 parametri.



Figura 1.6 : Profilometro Laser e Sistema di Acquisizione Dati per Profilometro

I dati di output sono classificati come parametri relativi all'*Ampiezza* e parametri relativi alla *Pendenza*. I primi sono generalmente sensibili alla morfologia della superficie, alla quantità di acqua presente o al grado di discontinuità della superficie.

Secondo il "Tariffario per prove per Conto Terzi" del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Laboratorio Ufficiale Prove Materiali, della facoltà di Ingegneria dell'Università di Catania, una "Misura della macrorugosità superficiale con

profilometro laser TM 2" costa dai 50 € ai 110 € a seconda del tempo necessario e del personale necessario per effettuare la prova.

### **1.5. Indagini Termografiche**

La tecnica termografica sfrutta la proprietà del corpo nero per la quale tutti gli oggetti che si trovano ad una temperatura superiore allo zero assoluto, emettono radiazione infrarossa in funzione della loro temperatura propria o indotta. La tecnica termografica è un'indagine tipicamente non-distruttiva per la sua caratteristica di analizzare il comportamento termico degli oggetti in esame senza impiegare sonde a contatto. (Taillade et al., 2009) [6]

In un indagine termografica una camera ad infrarossi trasforma le radiazioni termiche emesse dall'oggetto investigato in segnali elettrici, che vengono riportati su un monoscopio e convertiti in immagini che possono essere visualizzate in toni di grigio o in falsi colori in funzione dei differenti livelli termici associati tra loro da una scala convenzionale. (Valluzzi et al, 2006) [7]

Le tecniche termografiche posso di tipo attivo e passivo. La tecnica della termografia passiva prevede l'analisi diretta di materiali o strutture che si trovano naturalmente a temperature diverse dalla temperatura ambiente, quali apparecchiature elettriche, impianti a fluidi caldi o freddi. Può anche essere applicato per l'analisi di strutture civili, quali la rivelazione dell'umidità in edifici, l'analisi su monumenti o la quantificazione degli sprechi energetici.

Le tecniche termografiche attive prevedono una sollecitazione termica del materiale concomitante con la registrazione termografica dell'evoluzione della temperatura superficiale.

Per motivi di tempo e praticità queste ultime sono quelle che maggiormente si utilizzano nelle indagini di laboratorio.

Nell'ambito della termografia attiva si sono sperimentate sia la termografia impulsata (Pulse Thermography PT) (Maldague et al, 1996) [8], che la modulazione della forzatura termica (Lock-in Thermography LT (Maldague et al, 2001) [9]). La prima utilizza come sorgente termica una coppia di Flash Bowens da 2400 J ciascuno, mentre la seconda utilizza delle lampade ad incandescenza della potenza di 600 W. L'analisi delle diverse tecniche di stimolazione termica del materiale hanno portato a

scartare la tecnica impulsata a causa della ridotta quantità di energia, che sollecita il campione, infatti, la superficie stimolata dal flash corrisponde approssimativamente ad una sola striscia di FRP. I migliori risultati si ottengono con il riscaldamento di tipo modulato e l'analisi delle immagini dello sfasamento del segnale termico prodotte in regime transitorio.

Le differenze di radianza osservate possono essere ricondotte a differenti conducibilità termiche dovute alla diversa composizione dei materiali, alla presenza di cavità e ad altre cause che se non studiate correttamente potrebbero anche generare confusione al momento dell'interpretazione dell'immagine. Come esempio si riporta in Figura 1.7 un'Indagine Termografica per la verifica di un'applicazione per rinforzo strutturale di un nodo trave-colonna con tessuto G-FRP. Dall'immagine si evidenziano con colore bianco la presenza di bolle d'aria al di sotto del tessuto che ne sottolineano l'errata applicazione.

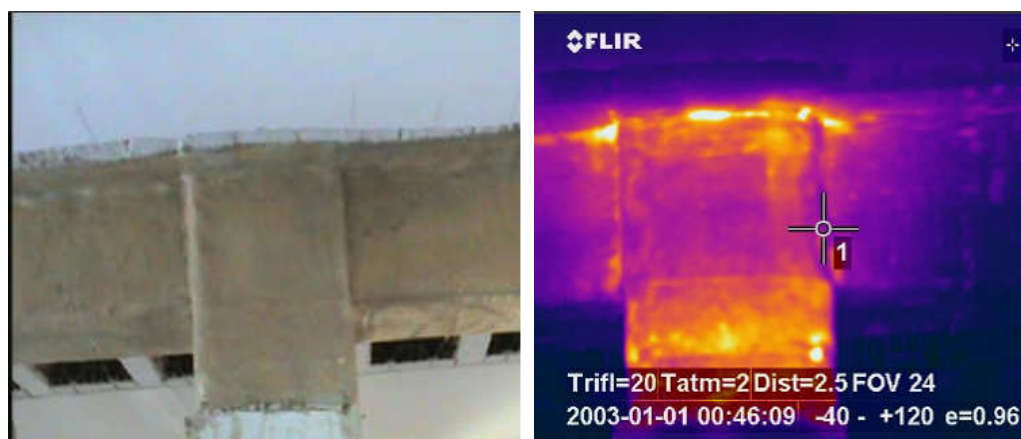


Figura 1.7 : Esempio di Indagine Termografica

Nel campo del recupero edilizio e della salvaguardia del patrimonio artistico, la termografia si rivela particolarmente utile consentendo di effettuare gli esami a distanza senza l'ausilio di ponteggi, permettendo così di non interrompere le normali attività esercitate negli immobili oggetto d'indagine, con conseguente contenimento di costi e tempi.

Attraverso l'analisi dei termogrammi è possibile risalire allo stato conservativo della struttura edilizia e dei materiali.



La lettura dell'immagine termica finale consente, inoltre, di identificare la presenza di difetti materiali che compongono la struttura (pietre, mattoni, malta, ma anche presenza di travi, corpi metallici, tubature, tamponature) e di individuare i fenomeni di degrado in atto attraverso l'analisi delle anomalie presenti (distacchi d'intonaco, infiltrazioni di umidità, presenza di microrganismi, ecc.).

L'indagine termografica è eseguibile su ogni tipo di superficie ed è integrabile al tradizionale rilievo grafico e fotografico, con il vantaggio di avere tempi di analisi ridotti e corrette restituzioni dimensionali delle aree analizzate.

**Bibliografia**

- [1] Maerz H. N, Nanni A., Myers J.J., Galecki G. “*Laser Profilometry for Concrete Substrate Characterization Prior to FRP Laminate Application*” Concrete Repair Bulletin May/June 2001
- [2] Matana M., Galecki G., Maerz N., Nanni A. “*Concrete Substrate Preparation and Characterization Prior to Adhesion of Externally Bonded Reinforcement*” Proceedings of the International Symposium on Bond Behaviour of FRP in Structures 2005 International Institute for FRP in Construction
- [3] Maerz N., Chepur P., Myers J.J., Linz J. “*Concrete Roughness Characterization Using Laser Profilometry for Fiber-Reinforced Polymer Sheet Application*” Transportation Research Board 80th Annual Meeting January 7-11, 2001 Washington, D.C.
- [4] ASTM C900 - 06 “*Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete*”
- [5] UNI 10157 “*Calcestruzzo indurito. Determinazione della forza di estrazione mediante inserti post-inseriti ad espansione geometrica e forzata.*”
- [6] Taillade F., Quiertat M., Benzart K., Aubagnac C. “*Evaluation of bonded FRP strengthening systems for concrete structures using Infrared Thermography and Shearography*” Non Destructive Testing in Civil Engineering June 2009
- [7] Valluzzi M.R., Grinzato E., Pellegrino C., Bison P.G., Trentin R. “*Thermographic analysis of bond of FRP laminates applied on R.C. Beams*” 2nd International RILEM Symposium on Advances in Concrete through Science and Engineering, 2006
- [8] Maldague X., Marinetti S., J. Appl. Phys., 79, 2694 (1996)
- [9] Maldague X., “*Theory and practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*” John Wiley & Sons, New York, 2001

## CAPITOLO 2 TECNICHE DI TRATTAMENTO DEL SUPPORTO

Per la descrizione delle tecniche di trattamento superficiale di preparazione alle applicazioni di materiali fibrorinforzati su elementi in cemento armato si deve necessariamente partire dalla valutazione delle condizioni di conservazione e delle proprietà meccaniche dello strato superficiale del conglomerato, ovvero del copriferro, delegato poi ad ospitare il rinforzo stesso.

Normalmente le applicazioni di rinforzi strutturali riguardano edifici o infrastrutture esistenti che versano in condizioni di conservazione non ottimali con deterioramento e degrado degli elementi strutturali. Da ciò si comprende l'importanza di un'analisi preliminare, approfondita e specifica, delle condizioni degli elementi in cemento armato oggetto degli interventi.

Tale analisi è necessaria per definire il livello di degrado corticale, ovvero la sua integrità, e di conseguenza la procedura e la successione delle azioni da eseguire al fine di ottenere delle superfici idonee e funzionali all'attività di rinforzo strutturale vero e proprio.

La preparazione del supporto può seguire 2 iter procedurali sostanzialmente differenti a seconda se la struttura si presenta integra o degradata.

L'analisi preliminare del supporto può circoscriversi anche alla porzione dell'elemento strutturale interessata dall'applicazione del rinforzo.

Innanzitutto prima di intervenire con qualsiasi utensile, devono rimuoversi accuratamente le parti che non appartengono all'elemento strutturale e che ne ricoprono la superficie, quindi intonaci e calci, parti di rivestimenti, vernici, residui di altre lavorazioni e naturalmente, devono eliminarsi accuratamente eventuali altri corpi estranei infissi nella porzione di elemento strutturale.

Una volta messa a nudo la struttura possono prodursi le azioni mirate alla verifica della condizione del supporto. Tali valutazioni normalmente si eseguono attraverso una prima indagine visiva della superficie, da cui è possibile dedurre preliminarmente alcune informazioni, e da successive semplici indagini eseguibili direttamente sull'elemento mediante l'uso di strumenti valutativi.

Il rilievo visivo permette immediatamente di verificare:

- la presenza di lesioni e fessure;
- la presenza di muffe ed efflorescenze legate alla presenza di umidità;
- la presenza di ruggine superficiale sintomatica di fenomeni corrosivi delle barre di armatura;
- la colorazione del calcestruzzo e la sua omogeneità al tatto rappresentativa delle modalità di confezionamento e posa in opera.

Una bagnatura superficiale della zona di indagine può facilitare l'individuazione della presenza di micro fessure, inoltre colpire la superficie con un martello permette di valutare con la compattezza superficiale del calcestruzzo e di individuare le eventuali zone con calcestruzzo meccanicamente degradato.

Tali informazioni generalmente devono essere integrate da quelle derivanti da prove, sia distruttive che non distruttive, eseguibili direttamente in situ quali prove di pull out, profilo metriche, carotaggi ed altre illustrate nel **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

## 2.1. Strutture danneggiate

Quando la struttura si presenta in cattivo stato di conservazione, prima di procedere all'applicazione del rinforzo, è necessario eseguire una serie di interventi atti a eliminare lo stato di degrado, impedire il progredire dello stesso e creare un supporto idoneo all'applicazione del rinforzo.

In prima istanza è necessario rimuovere le parti di copriferro ammalorate ed eseguire un trattamento protettivo alcalizzante dei ferri d'armatura, messi a nudo completamente e perfettamente ripuliti dalla ruggine con sabbiatura o pulizia meccanica. E' consigliabile eseguire una sabbiatura allo scopo di portare le armature a

metallo bianco; tuttavia se, per motivi logistici, ciò non fosse possibile, può spazzolarsi energicamente la superficie del metallo con cura ed in profondità.

All'uopo verranno applicate, tramite pennello, due mani di malta cementizia anticorrosiva monocomponente atta a riportare il pH al di sopra di 12, livello minimo per garantire la non corrosione del ferro. Le armature aggiunte o sostituite devono essere preparate allo stesso modo. La seconda mano di malta cementizia può essere applicata dopo circa 2 ore dalla stesura del primo strato e preferibilmente entro le 24 ore. E' necessario coprire totalmente ed in modo omogeneo la superficie del ferro con uno spessore di malta non inferiore ai 2 mm.

Per assicurare alla malta cementizia anticorrosiva la possibilità di sviluppare efficacemente la sua proprietà anticorrosiva, è indispensabile che il ferro da trattare sia liberato dal calcestruzzo circostante deteriorato e carbonatato, da materiali incoerenti, grassi, oli e ruggine.

Durante l'operazione si sporcherà inevitabilmente anche il calcestruzzo adiacente al ferro: ciò non comporta alcun danno in quanto il prodotto migliora decisamente anche l'adesione delle malte di ripristino. Il ripristino del calcestruzzo (con malte cementizie a ritiro compensato) deve essere fatto sulla malta passivante asciutta (circa 6 ore alla temperatura di +20° C).

Nel caso in cui gli elementi in calcestruzzo siano fessurati è necessario ripristinarne la continuità attraverso delle iniezioni di resina utilizzando prodotti che, iniettati o colati, siano in grado di garantire un'adesione monolitica tra le due parti lesionate e per tutta la profondità della lesione.

Le operazioni di iniezione di resina prevedono un'apertura della fessure mediante l'utilizzo di flessibile, al fine di regolarizzarne l'ampiezza ed una loro depolverizzazione con aria compressa.

Il posizionamento dei tubetti di iniezione e contemporaneamente una sigillatura superficiale delle fessure con adesivo epossidico bicomponente tissotropico eseguita mediante spatola metallica.

Attraverso i tubetti preventivamente installati si procede all'iniezione della resina epossidica superfluida. Al fine di permettere il totale defluimento dell'aria presente all'interno delle fessure, l'iniezione della resina epossidica superfluida, deve essere eseguita partendo dall'iniettore posto più in basso per le pareti verticali ed all'estremità per le superfici orizzontali, fino alla fuoriuscita del materiale dall'iniettore successivo. Dopo la chiusura del primo iniettore, proseguire l'iniezione da quelli successivi, fino al

completo riempimento della fessura. Conclusa questa operazione è possibile rimuovere i tubetti di iniezione e sigillare i fori con adesivo epossidico.

L'ultima fase della preparazione del supporto prevede la ricostruzione volumetrica del copriferro mediante applicazione, a cazzuola o a spruzzo con intonacatrice, di spessori di circa 2 – 3 cm per strato, fresco su fresco, di malta a ritiro controllato, fibrorinforzata, a media resistenza, a base di cemento, con aggregati selezionati, speciali resine sintetiche e microsilicati. Il prodotto deve rispondere ai requisiti minimi richiesti dalla EN 1504-3 per le malte di classe R3. Per assicurare un'espansione all'aria durante i primi giorni di stagionatura, il prodotto può essere miscelato, durante la fase di preparazione, con lo 0,25% di additivo stagionante liquido esente da cloruri

## 2.2. Strutture integre – operazioni preliminari

Nel caso in cui gli elementi strutturali interessati dalle applicazioni con materiali fibrorinforzati si presentano non degradati, ma caratterizzati da superficie integre e compatte, la procedura da seguire prevede azioni mirate alla regolarizzazione della superficie e al trattamento specifico della superficie di interfaccia al rinforzo.

Benché in queste condizioni il supporto cementizio possiede le caratteristiche meccaniche essenziali ad ospitare i layer di rinforzo, è sempre necessario procedere con trattamenti meccanici atti a preparare adeguatamente la superficie di interfaccia.

Nella Figura 2.1 è riportato un esempio di sottofondo non idoneo: la superficie del calcestruzzo è perfettamente liscia, gli inerti non sono visibili e l'elemento presenta spigolature ortogonali non adatte all'aggrappo.



*Figura 2.1 : La presenza del lattime di cemento rende questo sottofondo non idoneo all'applicazione di rinforzi esterni*

Le principali operazioni da eseguire al fine di ottenere un supporto idoneo sono:

- pulizia della superficie;
- rimozione delle asperità e arrotondamento delle spigolature;
- trattamento superficiale del supporto al fine di realizzare le condizioni ottimali di rugosità.

La pulizia dell'elemento da trattare consiste nella rimozione di intonaci e vernici nella eliminazione di tracce di precedenti lavorazioni, ma anche di polvere, oli, grassi, sostanze estranee, ruggine, disarmane e quant'altro deteriorato per l'azione di agenti aggressivi esterni.

Questa operazione deve essere protratta fino ad ottenere un sottofondo sano ed omogeneo anche nella colorazione.

Nel caso di cavità o irregolarità di piccole dimensioni fino a 1 cm di profondità, si deve procedere con la saturazione e la regolarizzazione delle stesse mediante prodotti adeguati, che possono essere delle malte o dei rasanti a seconda dei casi

E' quasi sempre indispensabile lavorare opportunamente con una moletta elettrica per eseguire l'arrotondamento degli spigoli vivi di travi e pilastri ed eliminare le displanarità e le sporgenze di calcestruzzi sempre presenti negli elementi in c.a. gettati in opera.

Si devono rimuovere le colature e le sporgenze che possono danneggiare le fibre o non permetterne una stesura uniforme.

Le sezioni rettangolari devono presentare smussature circolari negli angoli, (con raggio minimo di circa 20 mm) in modo da evitare concentrazioni tensionali sulla fibra di rinforzo.

### **2.3. Trattamento della superficie**

Il supporto integro e lavorato secondo le modalità prima descritte deve essere trattato al fine di rimuovere il lattice di cemento e le parti di materiale incoerente e non dotato di sufficiente resistenza, nonché con l'obiettivo di incrementare la superficie specifica di contatto.

E' importante notare come l'incremento della superficie specifica è condizione necessaria per garantire un'adeguata adesione fra calcestruzzo e materiali compositi.

Nel seguito si riportano le tecniche da utilizzare per il trattamento del supporto al fine di aumentare la superficie specifica e renderla ottimale nell'applicazione dei prodotti di rinforzo in materiali fibrorinforzati.

Tra queste, in funzione delle specifiche situazioni, viene eseguita la procedura più idonea per la preparazione delle superfici, tenendo in debita considerazione il fatto che



in molti casi per raggiungere le migliori condizioni è necessario l'utilizzo di queste tecniche in modo complementare.

Le tecniche ad oggi più comunemente utilizzate sono:

- Spazzolatura manuale;
- Spazzolatura meccanica;
- Smerigliatura;
- Depolverizzazione;
- Bocciardatura;
- Sabbiatura;
- Idroscarifica.

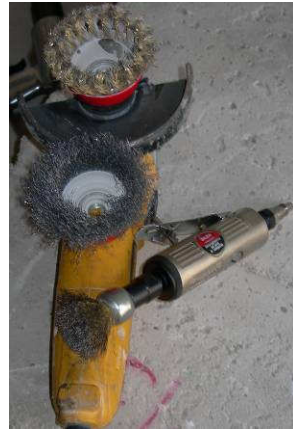
### **2.3.1. Spazzolatura meccanica**

La preparazione, eseguita con trapano meccanico, ha un grado di efficacia sufficiente pur non riuscendo ad eliminare totalmente il lattice di cemento e le piccole parti incoerenti.

Tra gli aspetti positivi di questo trattamento vi sono:

- la maneggevolezza dell'attrezzatura;
- la continuità dell'azione meccanica esercitata che quindi rende omogeneo il risultato;
- la possibilità di arrivare in modo piuttosto comodo anche nelle zone più difficili e nei nodi strutturali;
- la velocità di lavoro.

Per contro, in alcuni casi, l'utilizzazione della spazzolatura realizzata con l'ausilio del trapano, a causa anche dell'azione rotante dell'utensile può provocare sulla superficie del calcestruzzo un effetto lucidante poco idoneo per il successivo rinforzo.



(a)



(b)

Figura 2.2 : Utensili utilizzati per la spazzolatura meccanica (a) e manuale (b)

Il metodo può considerarsi complementare ad altri, impiegabile per superfici di piccole dimensioni o inaccessibili ad altra attrezzatura, per rifiniture localizzate. In caso di suo utilizzo, è consigliabile procedere a seguire con un energico passaggio di una spazzola manuale con denti in ferro sulla superficie da preparare, esercitando un movimento in unica direzione.



Figura 2.3 : Risultato tipico di superficie spazzolata

### 2.3.2. Bocciardatura

La bocciardatura consiste in una lavorazione ad urto della superficie del conglomerato cementizio, che si esegue a mezzo della bocciarda, ossia un martello a fitte punte piramidali atto a scolpire la superficie sottostante. Questa percussione rimuove in modo omogeneo lo strato sub – millimetrico interessato dalla presenza del lattime di cemento e genera l'apertura di micro porosità.

La lavorazione viene eseguita con l'utensile montato su martello elettrico o ad aria compressa che picchiando ripetutamente sul sottofondo demolisce quella parte di calcestruzzo corticale poco resistente e quindi non idonea all'applicazione del rinforzo. Le zone di accumulo di polvere di lattime vanno successivamente asportate mediante spazzolatura o mediante l'utilizzo di aria compressa.

Altra tipologia di utensile in grado di produrre un risultato simile a quello prodotto mediante la bocciarda è lo scalpello pneumatico che incide la superficie con una punta di acciaio con inclinazione e velocità variabili nel tempo in modo da generare un movimento random sulla superficie del calcestruzzo

Questo utensile consente una maggiore verifica dell'azione di percussione ed è quindi indicato per piccole porzioni di superficie o nelle zone di intersezione tra elementi strutturali quali ad esempio i nodi di un telaio in c.a. in cui è difficile arrivare con la bocciarda classica.

Nella figura successiva è possibile vedere il risultato conseguibile mediante la lavorazione di bocciardatura superficiale di una trave in c.a.



Figura 2.4 : Risultato tipico di superficie bocciardata

### 2.3.3. Smerigliatura

La smerigliatura per mezzo del flessibile avviene ponendo a contatto della superficie da trattare un disco rotante montato su un trapano.

Il risultato ottenibile usando questo strumento dipende molto dal tipo di disco utilizzato.



*Figura 2.5 : Smerigliatura*

L'utilizzo di un disco per ferro sul calcestruzzo provoca la lucidatura del sottofondo (in condizione limite, su calcestruzzi altamente resistenti, il materiale costituente il disco va a depositarsi sul sottofondo). Anche utilizzando dischi per marmo non si ottiene la completa asportazione del lattime di cemento; l'utilizzo del flessibile comporta la presenza di polvere che si deposita anche sulle superfici trattate. E' consigliabile provvedere ad una spazzolatura finale della superficie o all'asportazione della polvere mediante aria compressa.

Con la smerigliatura si elimina il lattime ma, contemporaneamente, si livella la superficie, per cui non si ottiene l'incremento di superficie specifica necessario per la buona riuscita dell'aggrappo, soprattutto quando si utilizzano prodotti non bagnanti.

### 2.3.4. Sabbiatura

La sabbiatura è un trattamento che permette di ripulire accuratamente una superficie da incrostazioni e residui o di ottenere una finitura che assicuri un buon ancoraggio per applicazioni successive. La sabbiatura viene eseguita con apposite macchine (sabbiatrici) sfruttando un getto, ad alta pressione, di sabbia o di abrasivi generici. Infatti a seconda del tipo di trattamento e della granulometria si possono impiegare abrasivi diversi sia naturali che sintetici quali: corindone, ossido d'alluminio, microsfere di vetro, microsfere in ceramica ed altro.

Il getto, indirizzato sulla superficie, asporta per urto e abrasione il materiale incrostante, mentre se indirizzato su di una superficie già pulita, la erode progressivamente rendendola ruvida e quindi idonea a trattenere ulteriori lavorazioni. È possibile sottoporre a sabbiatura tutti i materiali impiegati nel campo dell'edilizia ed i metalli in genere.

Nel trattamento delle superfici cementizie, la sabbiatura permette la rimozione del latte di cemento, delle ruggini e di piccole parti incoerenti mediante l'utilizzo di abrasivi come sabbia silicea e graniglia ad alta pressione. Normalmente la granulometria utile per tale finalità oscilla per diametri 0,3/1 mm.

Prima della sabbiatura, ove vi sia la presenza di superfici grasse, è opportuno compiere uno sgrassaggio preventivo. Se il grasso e l'olio vengono lasciati sulla superficie, sembrerà che la sabbiatura li abbia asportati mentre ciò non è vero.

Per i cantieri edili, ed in particolare per trattamenti che interessano solo porzioni contenute di superfici degli elementi strutturali in cemento armato, come nel caso di interventi di consolidamento statico mediante materiali compositi fibrorinforzati, il trattamento può essere eseguito attraverso attrezzature specifiche con struttura compatta e dimensioni ridotte di tipo portatile con cui un solo operatore è in grado di spostarsi facilmente, trasportare la macchina ed effettuare con la massima semplicità tutte le regolazioni senza interrompere la lavorazione ottenendo risultati soddisfacenti in termini di resa.

L'azione della sabbiatura è direttamente proporzionale al tempo di azione, alla velocità con cui affluisce l'aria, alla distanza ed inclinazione della lancia rispetto alla superficie. La sabbiatura incide profondamente il calcestruzzo portando in evidenza gli inerti e incrementando molto la superficie specifica di aggrappo.

Le sabbiatrici si classificano in sabbiatrici a recupero che permettono il recupero e riciclo dell'abrasivo utilizzato e separazione di questo dagli scarti di lavorazione senza avere alcuna dispersione, in grado di sabbiare e recuperare istantaneamente l'abrasivo utilizzato, e sabbiatrici a getto libero.



Figura 2.6 : Sabbiatura: sabbiatrice portatile con struttura carrellata (a,) abrasivo utilizzato in sabbiatrici a recupero (b)

L'utilizzo della sabbiatura come tecnica di trattamento superficiale permette anche l'eventuale trattamento delle barre di armatura annegate nel conglomerato cementizio.

La tecnica della sabbiatura è senza dubbio un metodo di preparazione molto efficace e particolarmente adatto alla preparazione di calcestruzzi molto compatti. Tra gli aspetti negativi si sottolineano l'elevata rumorosità di alcune attrezzature più vecchie e la polvere che si disperde nell'ambiente, fattori che talvolta ne impediscono l'utilizzo.

Una variante alla tecnica appena descritta è quella della "idrosabbiatura" o "aeroidrosabbiatura", che utilizza una miscela di aria-acqua-abrasivo, opportunamente calibrati.

Oltre alle caratteristiche di abrasione superficiale del calcestruzzo per mezzo degli inerti silicei, con questa tecnica il sottofondo cementizio viene irrorato con acqua in pressione al fine di rimuovere elementi inquinanti estranei, solubili in acqua, e parti incoerenti fino ad ottenere una superficie sana e compatta. Questa tecnica inoltre consente di eliminare il problema della formazione di polveri.

Le idrosabbiatrici sono macchine multifunzionali in grado di sabbicare facilmente e rapidamente ogni tipo di superficie. Oltre all'idrosabbatura, si possono utilizzare per l'idrolavaggio ad alta pressione, con o senza detergenti, per effettuare velocemente svariati lavori di pulizia.

Macchine innovative capaci di assolvere una notevole varietà di lavori che manualmente sarebbero quasi impossibili e di qualità decisamente inferiore, oltre che molto costosi.

Le idrosabbiatrici vengono generalmente realizzate in tre differenti versioni: elettriche, a scoppio e diesel.

### **Bibliografia**

E' possibile trovare ulteriori informazioni circa i trattamenti superficiali nelle seguenti pubblicazioni:

- ACI Committee 308, 98 ,”American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.,1998, 9 pp.
- ACI Committee 308, 2001, “Guide to Curing Concrete (ACI 308R-01),”American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2001, 31 pp.
- ACI Committee 503, 1993, “Use of Epoxy Compounds with Concrete(ACI 503R-93),” Appendix A, Farmington Hills, Mich., 28 pp.
- ACI Committee 506, 1995, “Guide to Shotcrete (506R-90 (Reapproved1995)),” American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 41 pp.
- ACI Committee 546, 1996, “Concrete Repair Guide (ACI 546R-96),”American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1996, 41 pp.
- *ICRI Guideline* No. 03731, 1996. “Guide for Selecting Application Methods for the Repair of Concrete Surfaces,”
- *ICRI Guideline* No. 03733, 1997 “Guide for Selecting and Specifying Materials for Repair of Concrete Surfaces,”.
- *ICRI Guideline* No. 03732, 1997 “Selecting and Specifying Concrete Surface Preparation for Sealers, Coatings, and Membranes”.
- *ICRI Guideline* No. 03730, 1995 “Surface Preparation for Repair of Deteriorated Concrete Resulting from Reinforcing Steel Corrosion”.

## CAPITOLO 3 PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DEI CAMPIONI

Nel presente capitolo verranno descritte alcune fasi della campagna sperimentale cosiddette “complementari” volendo intendere con tale termine quelle operazioni che non forniscono risultati tangibili e quantificabili ma che sono essenziali alla corretta esecuzione della campagna di prove.

In tali operazioni sono incluse lo studio del mix design per il confezionamento dei campioni, il confezionamento vero e proprio degli stessi e l’applicazione del tessuto in carbonio.

Mentre le prime due operazioni sono cronologicamente precedenti alle operazioni descritte nel seguito, l’applicazione del tessuto segue le prime due ma anche l’esecuzione delle due campagne profilometriche così come l’esecuzione dei trattamenti superficiali. Per semplicità di lettura si riporta nella sequenza delle operazioni eseguite.

- Pianificazione della campagna
- Studio del mix design
- Confezionamento dei provini
- Campagna profilometrica sui campioni tal quale
- Esecuzione dei trattamenti superficiali
- Campagna profilometrica sui campioni trattati
- Applicazione del tessuto
- Campagna termografica
- Prove di pull off
- Prove di delaminazione di tipo statico



La campagna sperimentale è stata progettata con l'obiettivo di ottenere un numero di campioni tale da poter eseguire una quantità di prove soddisfacenti analizzando nel contempo l'incidenza di più variabili presenti sia nella fase di confezionamento che di trattamento.

Si è proceduto dapprima all'individuazione delle variabili tecniche influenti ai fini della sperimentazione, individuando nella classe di resistenza del calcestruzzo, nella tipologia di cassetta e nel sistema di costipamento quelle più significative.

Per ottenere classi di calcestruzzo di caratteristiche simili a quelle che generalmente si trovano in opera, si è scelto di realizzare provini di conglomerato cementizio con  $R_{cm}$  pari a 15 MPa e 20 MPa, mentre per il tipo di cassetta si sono scelte due tipologie comunemente utilizzate in cantiere, come le doghe e i pannelli. Infine la fase di getto è stata completata con modalità distinte, ovvero mediante vibratura e battitura dei casseri, al fine di garantire un migliore assestamento del calcestruzzo all'interno della cassaforma, ottenendo così un conglomerato omogeneo.

Dalla combinazione dei suddetti parametri si è ottenuto un numero di 40 campioni di dimensioni 60x40x15 cm tali da presentare un'ampia superficie di prova con un peso relativamente ridotto.

Il fine ultimo è stato quello di verificare l'incidenza delle variabili summenzionate sulle caratteristiche del substrato. Dalla Tabella 3.1, che mostra la distinta dei campioni realizzati, è immediato rilevare la presenza di tutte le possibili combinazioni fra le variabili introdotte nella sperimentazione.

n° provini	$R_{cm}$	Tipo Cassero	Sistema di costipamento
40	$R_{cm}$ 15	10 con pannelli	5 con battitura
			5 con vibratura
		10 con doghe	5 con battitura
			5 con vibratura
	$R_{cm}$ 20	10 con pannelli	5 con battitura
			5 con vibratura
		10 con doghe	5 con battitura
			5 con vibratura

Tabella 3.1 : Matrice dei provini in c.a.

Tutti i provini sono stati armati con rete elettrosaldata  $\phi 8/15''$  posta nella mezziera della sezione  $40\text{ cm} \times 15\text{ cm}$  e saranno dotati di 1 gancio liscio di diametro  $\phi 8$  posto sulla faccia superiore degli stessi in modo da consentirne la movimentazione.

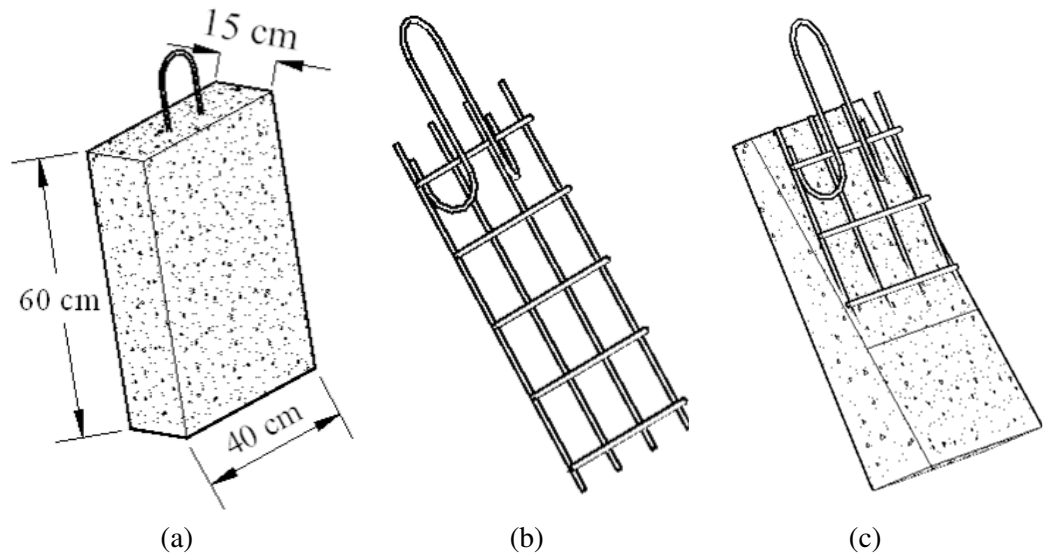


Figura 3.1 Campioni di calcestruzzo: geometria (a) rete interna (b) unione della rete con il campione in c.a.

### 3.1. Mix Design

Al fine di simulare la pratica edilizia corrente e del secolo scorso, si è scelto di realizzare una miscela con  $R_{cm}$  pari a 15 MPa ed una con  $R_{cm}$  pari a 20 MPa, aventi come legante il cemento Portland tipo 325, con un peso specifico  $\gamma_c = 3100 \text{ Kg/m}^3$ ; la consistenza richiesta all'impasto è quella definita come terra molle. Gli aggregati a disposizione sono costituiti da una composizione di sabbia di fiume ed una di pietrisco, ottenuto per frantumazione, con diametro massimo  $D_{max}=20\text{ mm}$ , le cui curve granulometriche siano contenute all'interno dei fusi dettati dalla normativa.

A partire da tali input, è stato seguito un metodo di carattere empirico, noto in letteratura come "Metodo del Faury", per il calcolo dei quantitativi di cemento, acqua di impasto e volume totale degli inerti, riferiti ad  $1 \text{ m}^3$  di conglomerato cementizio.

Dopo aver individuato diverse possibili miscele si è deciso di metterne in opera più d'una, facendo variare le quantità di inerti, il quantitativo di cemento e quello di acqua, variando leggermente il rapporto a/c rispetto al valore prefissato, e di confezionare un opportuno numero di cubetti di lato 15 cm, da testare successivamente a compressione. Pertanto è stata eseguita una campagna preliminare di prove su cubetti di calcestruzzo al fine di individuare il mix più adeguato per la sperimentazione.

In particolare, sono state realizzate 6 diverse miscele per  $R_{cm}$  20 MPa e 5 miscele per  $R_{cm}$  15 MPa e per ciascuna miscela sono stati preparati 2 cubetti di lato 15 cm. Dopo 11 giorni di stagionatura i cubetti così realizzati sono stati sottoposti a prove di schiacciamento, ottenendo una stima della resistenza cubica raggiungibile a 28 giorni..

Le caratteristiche dei mix design presi in esame e i risultati derivanti dalle prove di compressione sono riassunti nelle seguenti tabelle:

Mix Design	Rapporto a/c	n° cubetto	Peso [kg]	Carico di rottura [kN]	Res. cubica (11 giorni) [MPa]
MIX 1	0,77	3	7,00	166,9	7,94
		4	6,92	176,2	8,38
MIX 2	0,76	7	6,88	166,4	7,91
		8	6,88	176,5	8,39
MIX 3	0,76	11	7,22	145,3	6,91
		12	7,18	133,4	6,34
MIX 4	0,91	15	6,90	120,9	5,41
		16	6,90	130,6	5,77
MIX 5	0,75	19	6,90	167,5	7,55
		20	6,76	147,2	6,59

Tabella 3.2 : Matrice prove di compressione dei mix design analizzati per  $R_{cm}$  15

Mix Design	Rapporto a/c	n° cubetto	Peso [kg]	Carico di rottura [kN]	Res. Cubica (11 giorni) [MPa]
MIX 1	0,68	1	7,12	227,8	10,84
		2	7,20	228,2	10,85
MIX 2	0,66	5	7,00	247,3	11,76
		6	7,00	267,9	12,74
MIX 3	0,66	9	7,26	225,4	10,72
		10	7,40	231,1	10,99
MIX 4	0,77	13	6,86	174,8	7,87
		14	6,84	170,2	7,52
MIX 5	0,67	17	6,98	215,9	9,73
		18	7,02	226,1	9,98
MIX 6	0,66	21	7,20	268,6	11,94
		22	7,120	276,6	12,22

Tabella 3.3 : Matrice prove di compressione dei mix design analizzati per  $R_{cm} 20$

L'ultima fase è consistita nell'analisi dei risultati ottenuti con le prove di schiacciamento sui cubetti e nel confezionamento dei provini finali in c.a. oggetto della sperimentazione. In particolare, al fine di scegliere la miscela più aderente alle specifiche di progetto prefissate, è stata effettuata una valutazione dell'andamento della resistenza a compressione del calcestruzzo nel tempo: a partire dalle curve resistenza-tempo di un calcestruzzo avente resistenza a 28 giorni pari a  $425 \text{ kg/cm}^2$  ed uno con resistenza di  $325 \text{ kg/cm}^2$ , per estrapolazione sono state ricavate le curve relative ad un calcestruzzo con resistenza di 20 MPa e di 15 MPa.

### 3.2. Confezionamento

Si è proceduto così alla messa in opera dei 40 provini finali, secondo le fasi operative illustrate nelle seguenti figure, armandoli con una rete elettrosaldata  $\phi 8/15''$  nella mezzera della sezione  $40 \times 15$  cm e associando ad ogni getto 2 cubetti di calcestruzzo di lato 15 cm per conseguenti prove di schiacciamento per la verifica della resistenza cubica a compressione .



1) Posizionamento rete metallica



2) Getto dei provini



3) Sistema di costipamento Vibratura



5) Sistema di costipamento Battitura

Si riportano nel seguito i risultati ottenuti sui campioni di calcestruzzo prelevati in occasione del confezionamento dei provini. I valori riportati in Tabella 3.4 per i campioni confezionati con  $R_{cm}$  20 MPa indicano un valore della resistenza media pari a 19 MPa.

n°	Tipo cubetto	Area	Peso	Massa volumica	Carico di rottura	Resistenza
		[cm <sup>2</sup> ]	[kg]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1	1/1/25/B	225.0	7.180	2127	310.7	15.87
2	2/1/25/B	225.0	7.280	2157	364.7	18.64
3	3/2/25/B	225.0	7.000	2074	391.0	19.99
4	4/2/25/B	225.0	7.240	2145	364.9	18.65
5	5/3/25/B	225.0	7.200	2133	366.5	18.73
6	6/3/25/B	225.0	7.300	2163	340.6	17.51
7	1/1/25/V	225.0	7.000	2074	409.7	20.94
8	2/1/25/V	225.0	6.940	2056	373.4	19.08
9	1/2/25/V	225.0	6.800	2015	393.4	20.10
10	2/2/25/V	225.0	6.800	2015	360.5	18.42
11	1/3/25/V	225.0	6.760	2003	347.3	17.74
12	2/3/25/V	225.0	7.180	2127	370.5	18.94
13	1/4/25/V	225.0	7.260	2151	371.9	19.01
14	2/4/25/V	225.0	7.080	2098	396.9	20.29
15	3/4/25/V	225.0	7.260	2151	409.3	20.92

Tabella 3.4 Risultati delle prove di schiacciamento per i provini con  $R_{cm}$  20 MPa

La tabella Tabella 3.5 riporta i valori dei cubetti confezionati con  $R_{cm}$  15 MPa la cui media è pari a 14.60 MPa.

n°	Tipo cubetto	Area	Peso	Massa volumica	Carico di rottura	Resistenza
		[cm <sup>2</sup> ]	[kg]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
<b>16</b>	1/1/15/B	225.0	7.20	2133	229.7	11.74
<b>17</b>	2/1/15/B	225.0	7.10	2104	262.6	13.42
<b>18</b>	3/2/15/B	225.0	7.14	2116	277.7	14.19
<b>19</b>	4/2/15/B	225.0	7.32	2169	309.3	15.80
<b>20</b>	5/3/15/B	225.0	7.26	2151	256.4	13.10
<b>21</b>	6/3/15/B	225.0	7.20	2133	279.1	14.26
<b>22</b>	7/4/15/B	225.0	7.30	2163	240.4	12.28
<b>23</b>	8/4/15/B	225.0	7.20	2133	239.8	12.26
<b>24</b>	1/1/15/V	225.0	7.22	2139	431.3	22.30
<b>25</b>	1/2/15/V	225.0	7.10	2104	312.1	15.95
<b>26</b>	1/3/15/V	225.0	7.24	2145	293.7	15.01
<b>27</b>	2/3/15/V	225.0	7.32	2169	334.5	17.09
<b>28</b>	1/4/15/V	225.0	6.88	2039	230.8	11.80

*Tabella 3.5 - Risultati delle prove di schiacciamento per i provini con  $R_{cm}$  15 MPa*

### 3.3. Applicazione del Rinforzo

L' applicazione del composito fibrorinforzato sui campioni è avvenuta dopo le due campagne profilometriche (pre e post trattamento) e dopo l'esecuzione dei trattamenti superficiali.

L'applicazione è stata eseguita da operai specializzati secondo le procedure utilizzate in cantiere nel rispetto delle indicazioni della casa produttrice dei materiali.

Il composito a base di fibre di carbonio in forma di tessuto unidirezionale ad elevato modulo elastico ed alta resistenza meccanica a trazione è stato posto in opera con sistema "a secco", secondo le seguenti fasi :

- Preparazione delle fasce di tessuto secco secondo le dimensioni del campione in calcestruzzo avendo cura di conservarle fino all'applicazione in luogo asciutto e lontano da polveri
- Pulizia dei campioni per la rimozione di ogni residuo delle operazioni precedenti e della polvere di deposito
- Imprimitura del sottofondo tramite applicazione a rullo di primer per il trattamento del substrato, con funzione di appretto sull'intera superficie di calcestruzzo pulita ed asciutta. Il primer applicato, del tipo Mapewrap Primer 1 della Mapei S.p.A., è epossidico bicomponente fluido con rapporto di miscelazione 3:1 in peso.
- Rasatura di livellamento mediante riporto diretto di stucco epossidico a consistenza tissotropica, per la regolarizzazione della superficie di supporto in c.a.. L'applicazione del prodotto è stata eseguita su primer ancora "fresco" con una spatola dentata in uno spessore di circa 1-2 mm. Successivamente si è proceduto alla lisciatura dell'adesivo con una spatola piana, allo scopo di uniformare e regolarizzare completamente le irregolarità presenti sulla superficie. Lo stucco epossidico, di tipo Mapewrap 12 della Mapei S.p.A., è bicomponente, con rapporto di miscelazione 3:1, ed è dotato di resistenza a trazione di 30 MPa e resistenza a flessione di 40 MPa.
- Applicazione di un primo strato di adesivo epossidico di media viscosità eseguita con rullo a pelo corto sullo strato di stucco ancora fresco per uno



strato, in spessore uniforme, di circa 0,50 mm. L'adesivo epossidico applicato è del tipo Mapewrap 31 della Mapei S.p.A., bicomponente con rapporto di miscelazione 4:1, resistenza a trazione di 40 MPa e resistenza a flessione di 70 MPa.

- Posizionamento delle fasce di tessuto immediatamente dopo l'applicazione del primo strato di impregnante stendendole accuratamente in modo da evitare la formazione di grinze e/o pieghe,
- Rullatura del tessuto applicato con apposito rullino metallico per favorire la penetrazione dell'adesivo e della resina attraverso le fibre (impregnazione).
- Applicazione di un secondo strato di adesivo epossidico con le stesse modalità della precedente applicazione al di sopra del precedente strato di adesivo ancora fresco,
- Rullatura ripetuta del tessuto impregnato mediante rullino metallico per eliminare le eventuali bolle d'aria occluse durante le precedenti lavorazioni e per distendere le fibre della fascia di tessuto secondo la relativa orditura.

## CAPITOLO 4 CAMPAGNA DI PROVE PROFILOMETRICHE

La campagna profilometrica ha avuto come obiettivo quello di rilevare i parametri di rugosità (vedi § 1.4) di ciascun campione per relazionarli alle variabili introdotte in fase di confezionamento.

Le indagini sono state eseguite con un *profilometro laser* DSRM (Digital Surface Roughness Meter) prodotto dall' Università di Miami ed acquistato dal laboratorio di Ingegneria Strutturale di Napoli.

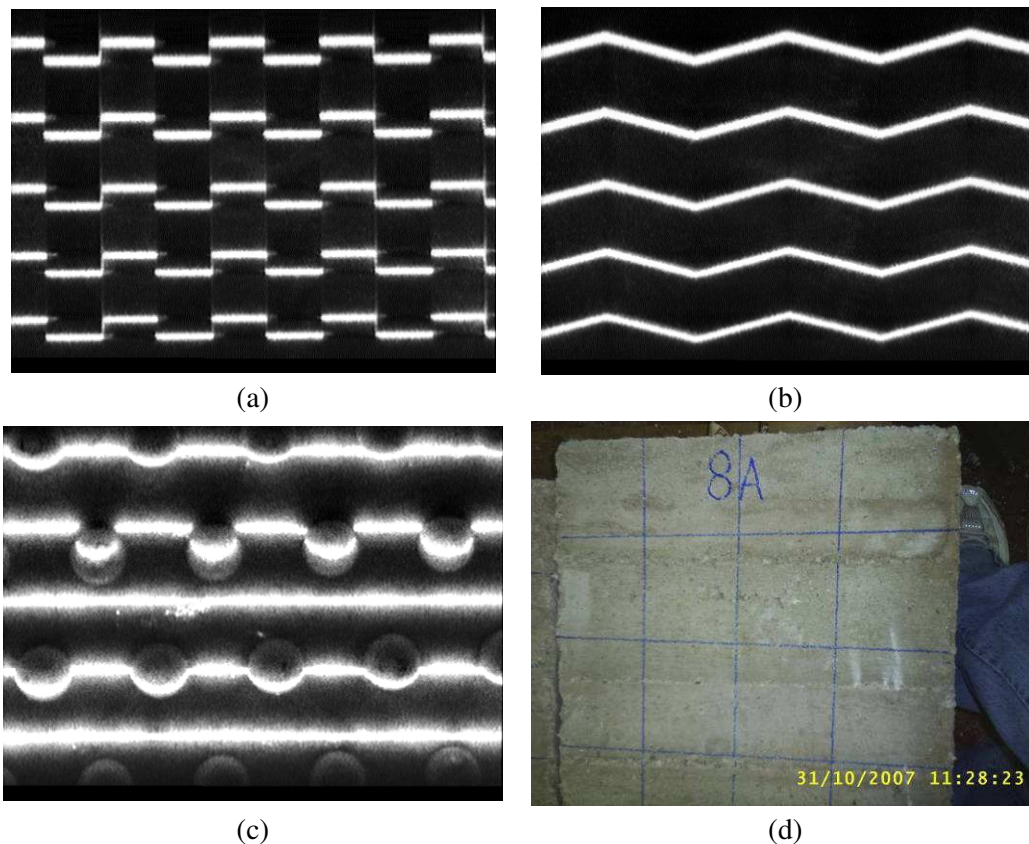
Una prima fase dell'attività ha riguardato la caratterizzazione e la taratura del profilometro attraverso l'esame di superfici note e l'analisi dei dati rilevati, al fine di comprendere il grado di precisione e la risposta del profilometro stesso al variare delle caratteristiche delle superfici indagate. Con tale obiettivo sono state analizzate superfici di materiali diversi e con gradi di rugosità noti.

L'indagine ha riguardato una superficie in marmo, una in plastica con rilievi sferici ed una ancora in plastica ma in assenza di rugosità apparente, diverse superfici in metallo con rugosità regolare di varie geometrie mostrate in Figura 4.1. La successiva analisi numerica ha confermato la validità del profilo metro quale strumento di misura ed ha fornito valide indicazioni circa il suo funzionamento.

Nella fase successiva sono state eseguite le analisi sulle superfici di calcestruzzo ciascuna delle quali è stata suddivisa in 24 aree di dimensioni 10x10 cm per assicurare una omogenea lettura delle caratteristiche della superficie.

Per ciascuna area sono state effettuate due misurazioni con il profilometro, una in direzione x ed una in direzione y in modo da poter valutare l'incidenza della direzione di lettura sui parametri di misura della rugosità, oltre a 6 letture aggiuntive eseguite randomicamente, per un totale di 30 letture per direzione su ogni lato. In questo modo

sono state realizzate 120 letture per provino per un totale di 4800 test, che hanno restituito un data-base di oltre 50000 dati.



*Figura 4.1 : Rilievo Rugosità con Profilometro Laser: piattina metallica (a) (b), superficie plastica con rilievi sferici (c), campioni di calcestruzzo (d)*

I dati ottenuti sono stati catalogati e confrontati fra loro sia in fase pre-trattamento che post-trattamento.

Una prima analisi ha consentito di valutare l'incidenza delle modalità di confezionamento sulla rugosità superficiale sia in termini qualitativi che quantitativi. Grazie ad una seconda analisi, eseguita sui campioni trattati, si è potuto valutare l'efficacia dei diversi trattamenti superficiali sulla rugosità del calcestruzzo affiancando ai valori di rugosità anche dei parametri di tipo economico estremamente utili nella applicazione in cantiere di ciascun trattamento.

Il software associato all'utilizzo del profilometro fornisce 11 parametri ognuno dei quali fornisce informazioni diverse circa il microprofilo. Tali parametri sono classificabili in parametri relativi all'ampiezza, relativi alla pendenza.

I parametri relativi all'ampiezza, espressi in millimetri, sono:

- $R_{\max}$  : distanza massima verticale fra il punto più basso e quello più alto del profilo misurato;
- $R_e$  : o livello di profondità, indica la distanza verticale massima tra il punto più basso e la linea media del profilo;
- $R_p$ : indice di rugosità del profilo, definito come il rapporto della lunghezza effettiva della frattura lungo la superficie e la sua proiezione lungo il piano di frattura;
- $R_z$  : distanza media verticale fra i 5 punti più alti e i 5 punti più bassi:

$$R_z = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 y_{pi} - \sum_{i=1}^5 y_{vi} \right)$$

dove  $y_{pi}$  e  $y_{vi}$  rappresentano rispettivamente le quote dei punti più alti e dei punti più bassi rispetto alla linea media del profilo;

- $R$  : distanza media fra tutti i picchi e tutti i punti più bassi (valli) del profilo misurato;
- $RMS$  : viene definito come lo scarto quadratico medio della rugosità, ovvero una misura di deviazione dalla linea media (in inglese viene definita come *centerline average*):

$$RMS = \left[ \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \right]^{1/2}$$

dove  $n$  : è il numero di campionamenti effettuati, fissata una distanza di campionamento;  $y$  è la distanza del punto letto rispetto alla linea media del profilo;

- $CLA$  : è una variante del valore precedente intesa come la media della deviazione dalla linea media (*centerline average*) :

$$CLA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

- MSV : un ulteriore variante è il valore quadratico medio (*Mean Square Value*):

$$MSV = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2$$

I parametri relativi alla pendenza, adimensionali, sono:

- $Z_2$  : è la radice quadrata della pendenza media del profilo, è un singolo parametro caratterizza il profilo basandosi sulla sua pendenza media:

$$Z_2 = \left[ \frac{1}{n dx^2} \sum_{i=1}^n (dy_i)^2 \right]^{1/2}$$

dove

$n$ : numero di campionamenti effettuati, fissata una distanza di campionamento;

$dx$ : distanza tra due punti lungo la linea di campionamento;

$dy$ : distanza tra due punti perpendicolare alla linea di campionamento;

- $i_A$  : angolo medio di inclinazione, definito come la media degli angoli di inclinazione delle singole righe del profilo

$$i_A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |I_i|$$

dove :

$n$ : numero di campionamenti effettuati, fissata una distanza di campionamento;

$I$ : angolo di inclinazione tra due punti adiacenti lungo la linea di campionamento;

- FD: dimensione frattale della linea, dove un frattale è un oggetto geometrico che si ripete nella sua struttura allo stesso modo su scale diverse, ovvero che non cambia aspetto anche se visto con una lente di ingrandimento. Questa caratteristica è spesso chiamata *auto-similarità*.

#### 4.1. Analisi dei dati sui provini nella fase di pre trattamento

In questa fase si sono analizzati i risultati delle letture eseguite con il profilometro laser, su tutti i provini prima dei trattamenti superficiali.

Si è studiato la variazione in termini di valori medi, distribuzione, dispersione e range di variazione dei dati ottenuti..

In una prima valutazione si sono distinti i dati per classe di resistenza del calcestruzzo ed accorpate le letture in quattro famiglie di provini, D/B, D/V, P/B e P/V, dove D e P indicano i provini che sono stati confezionati utilizzando doghe o pannelli, e B e V indicano se il calcestruzzo è stato battuto o vibrato. Come hanno confermato i dati numerici la variazione di resistenza del calcestruzzo non ha inciso molto sulla rugosità della superficie per cui in questa fase preliminare tale variabile non è stata considerata discriminata. Nell'ambito delle quattro famiglie, si sono analizzati poi i dati nelle due direzioni x e y rispettivamente ortogonali e parallele alla direzione delle doghe o dei pannelli. I dati provenienti dalle superfici denominate A o B, indicanti uno o l'altro lato del provino, sono stati accorpate nella stessa popolazione.

Nelle analisi si sono considerati i parametri di lettura precedentemente elencati, ovvero:

Parametri di media globale: CLA, RMS; MSV

Parametri di ampiezza :  $R_{max}$ , Rz, Re, R;

Parametri di pendenza : Rp, Z<sub>2</sub>, I<sub>A</sub>, FD.

I grafici riportati di seguito, per ognuno degli 11 parametri rilevati, mostrano il confronto fra i valori di media e coefficiente di variazione dei campioni correlati da diverse variabili. In particolare, come mostrato in Figura 4.2, nel primo riquadro i valori sono divisi soltanto per direzione (x-y) e per tipo di cassero (doghe – pannelli). Nel secondo e nel terzo riquadro invece sono indicati solo i valori dei provini realizzati con pannelli mentre negli ultimi due quelli realizzati con doghe.

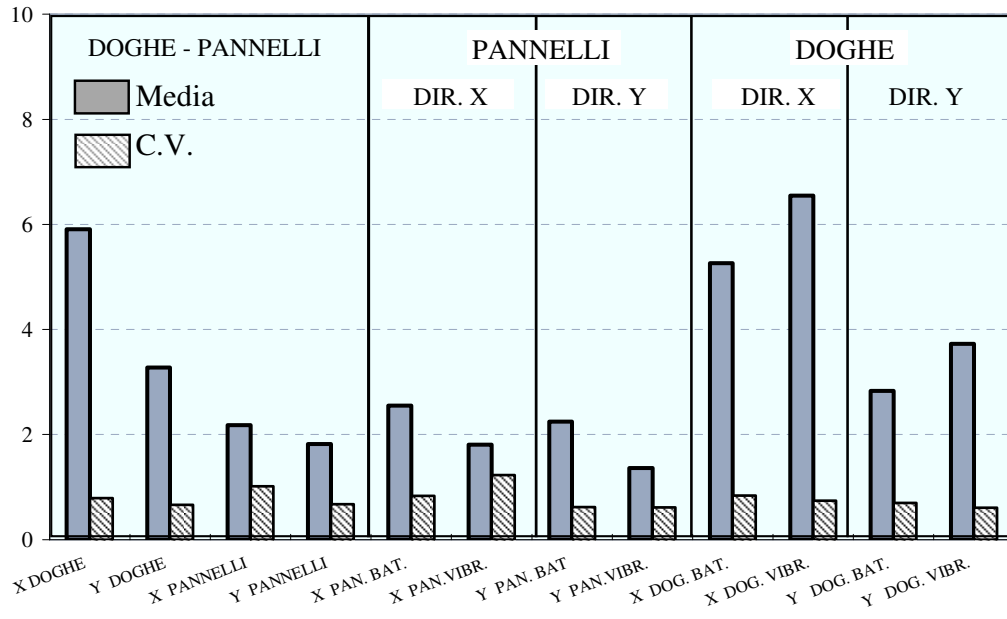


Figura 4.2 – Schema esplicativo dei grafici riportati nel seguito

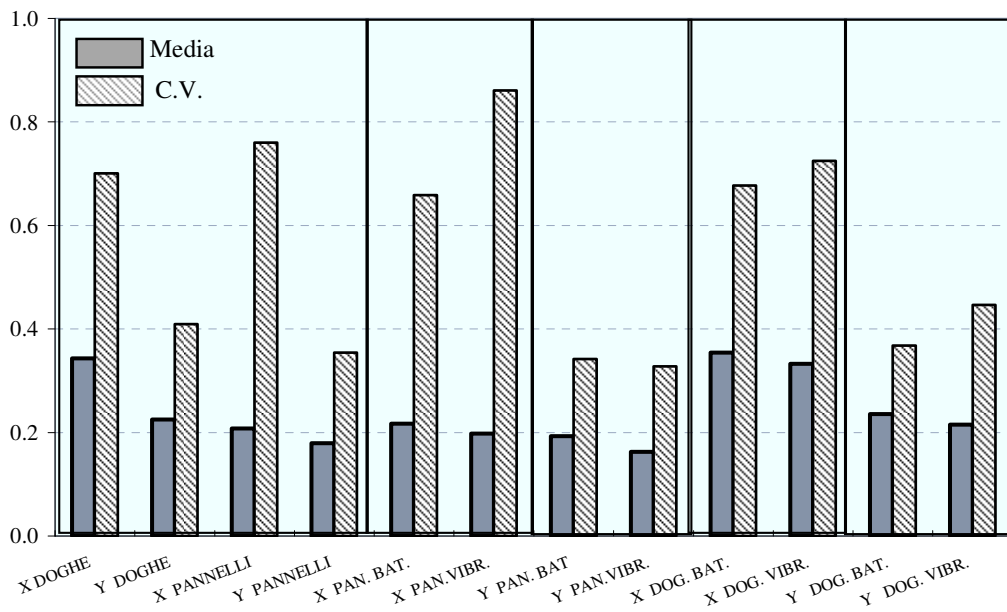


Figura 4.3 Valori di media e coefficiente di variazione pre trattamento per CLA

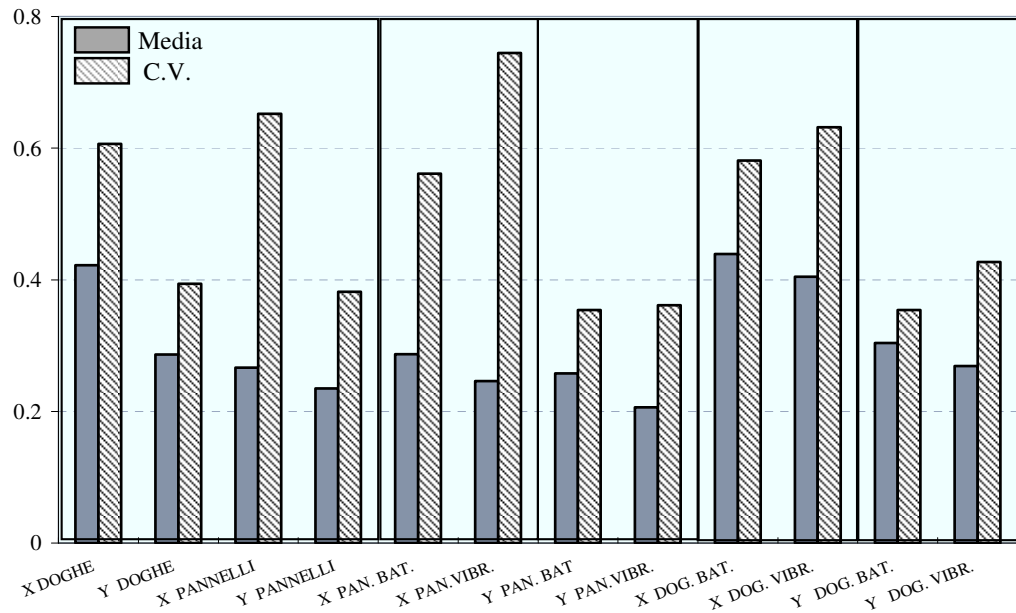


Figura 4.4: Valori di media e coefficiente di variazione pre trattamento per RMS

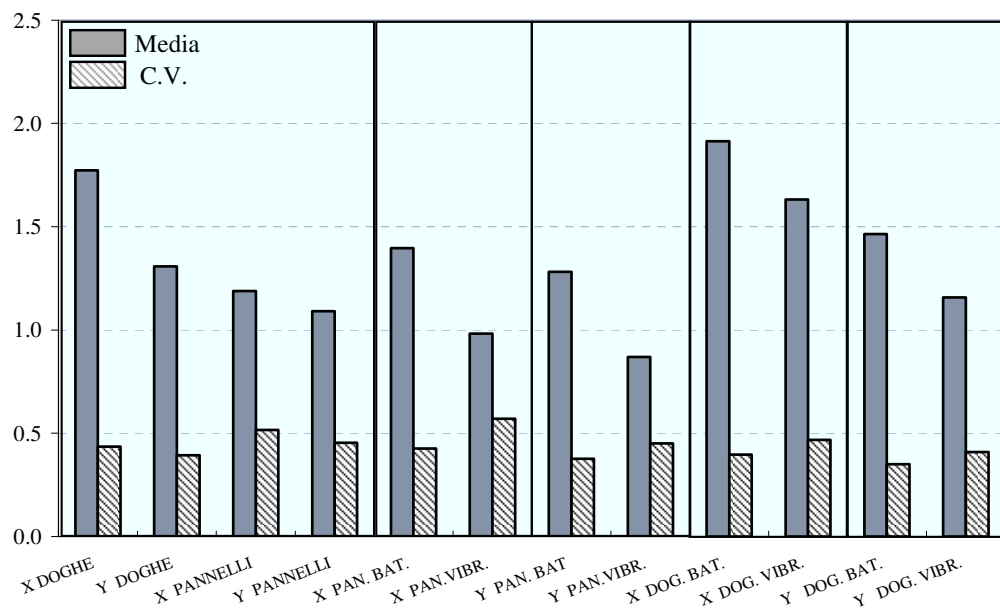


Figura 4.5 : Valori di media e coefficiente di variazione pre trattamento per Rmax



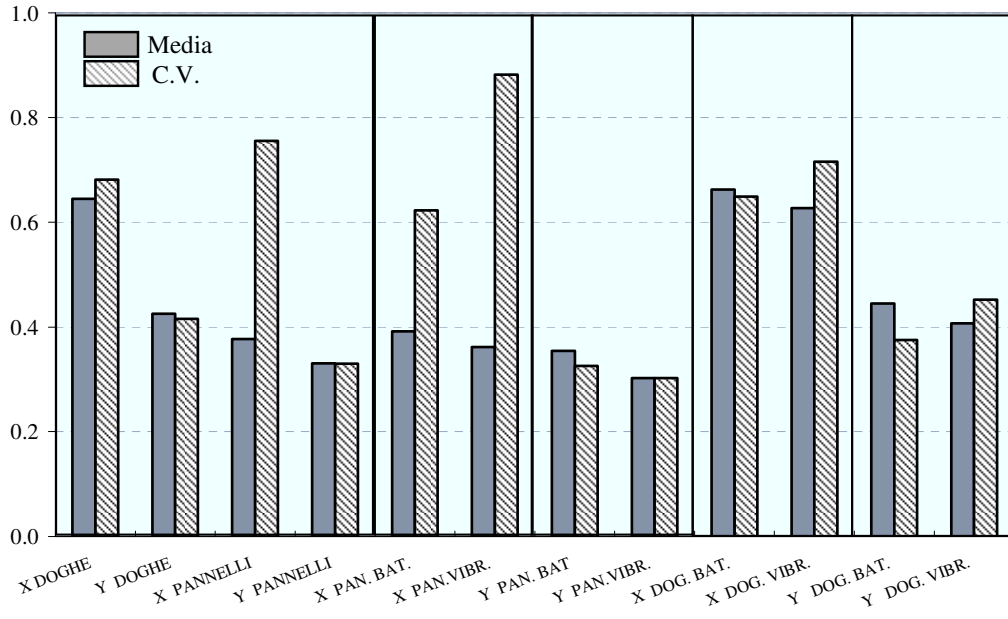


Figura 4.6 : Valori di media e coefficiente di variazione pre trattamento per R

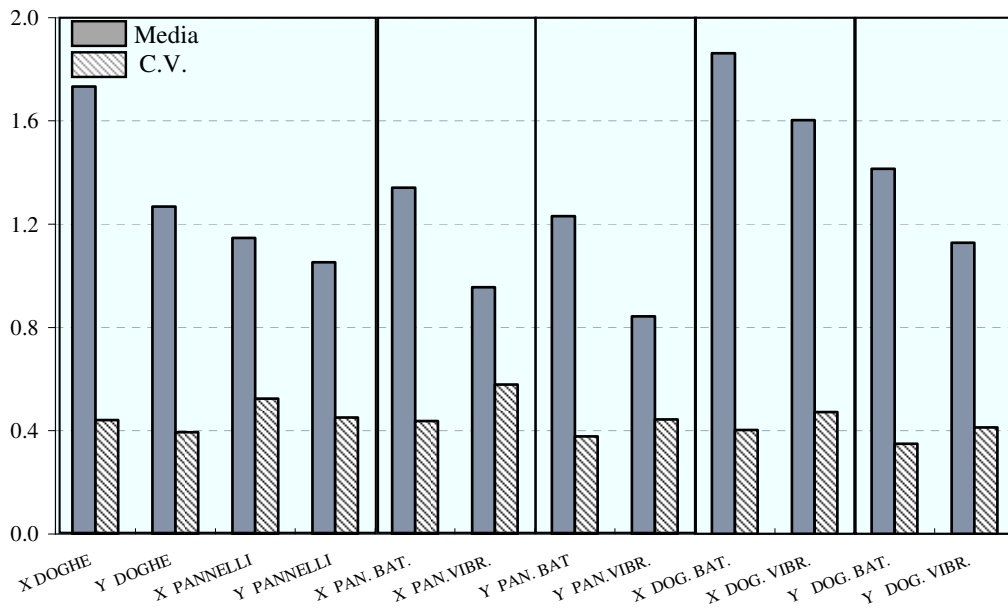


Figura 4.7 : Valori di media e coefficiente di variazione pre trattamento per Rz

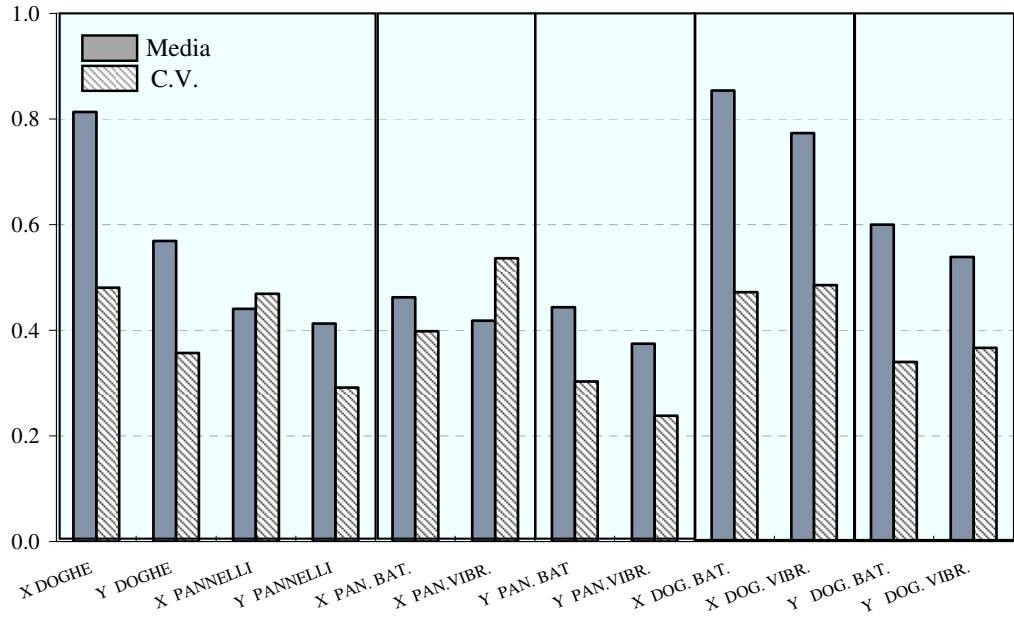


Figura 4.8 : Valori di media e coefficiente di variazione pre trattamento per  $R_e$

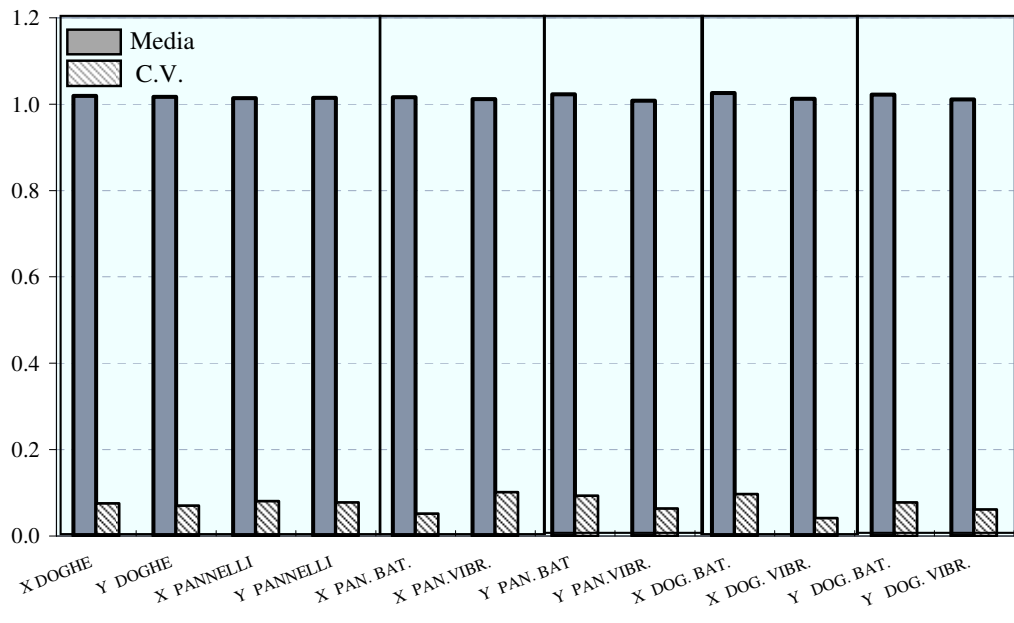


Figura 4.9: Valori di media e coefficiente di variazione pre trattamento per FD

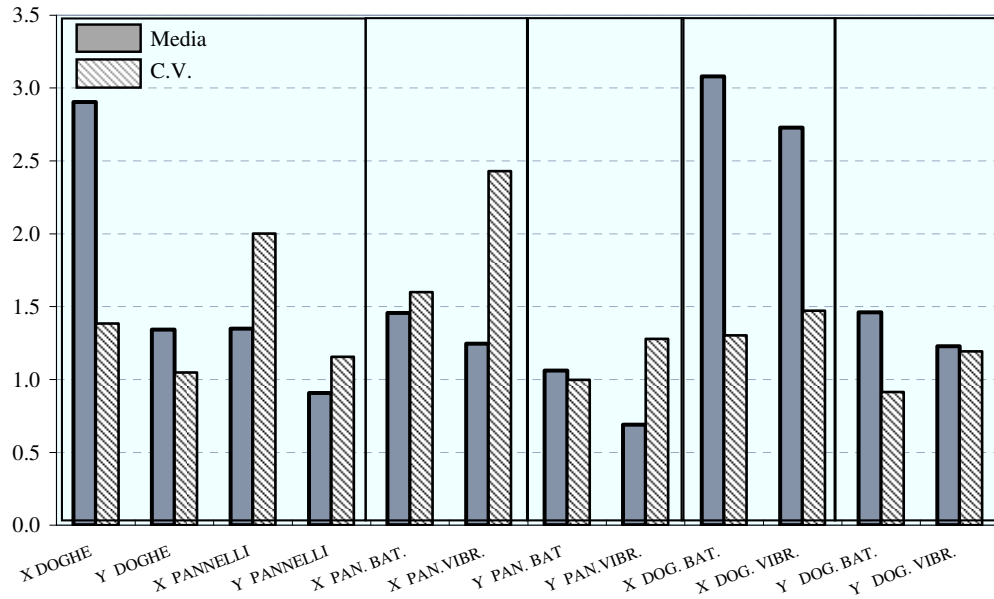


Figura 4.10 : Valori di media e coefficiente di variazione pre trattamento per MSV

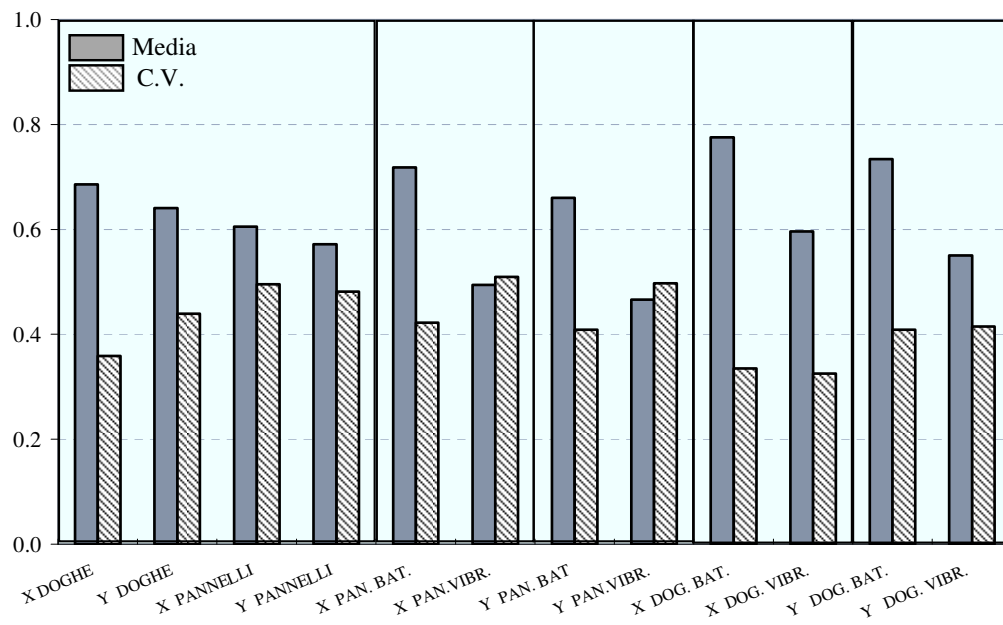


Figura 4.11: Valori di media e coefficiente di variazione pre trattamento per Z2

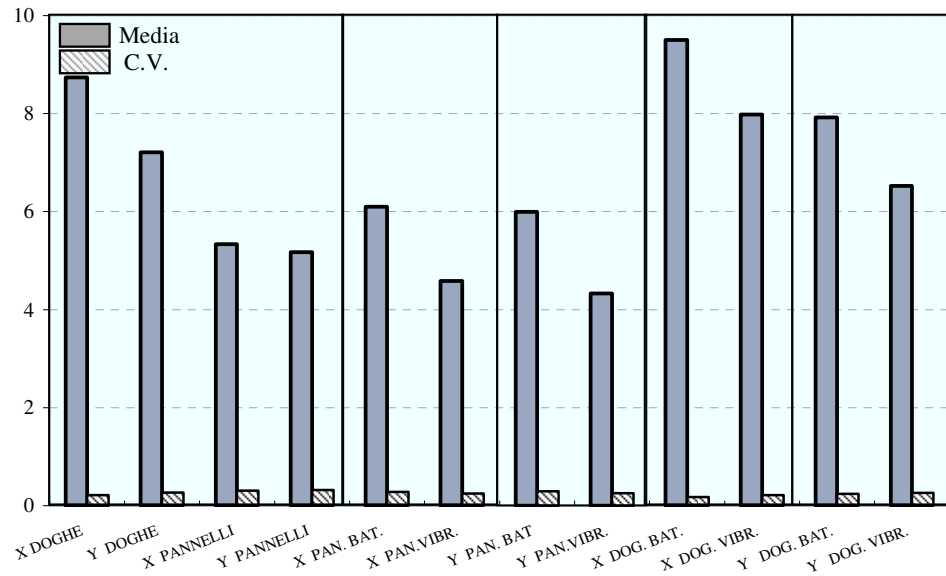


Figura 4.12 : Valori di media e coefficiente di variazione pre trattamento per Ia

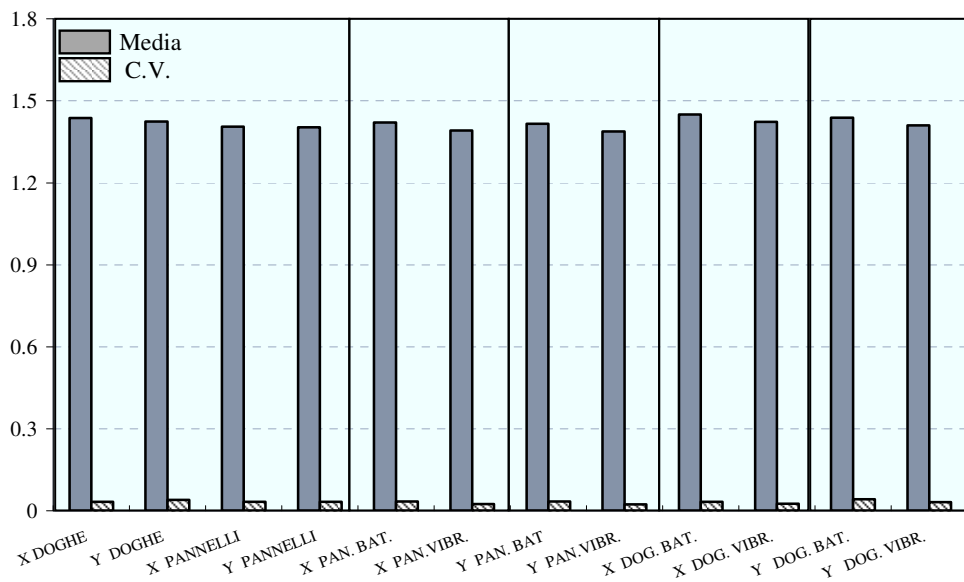


Figura 4.13 : Valori di media e coefficiente di variazione pre trattamento per Rp

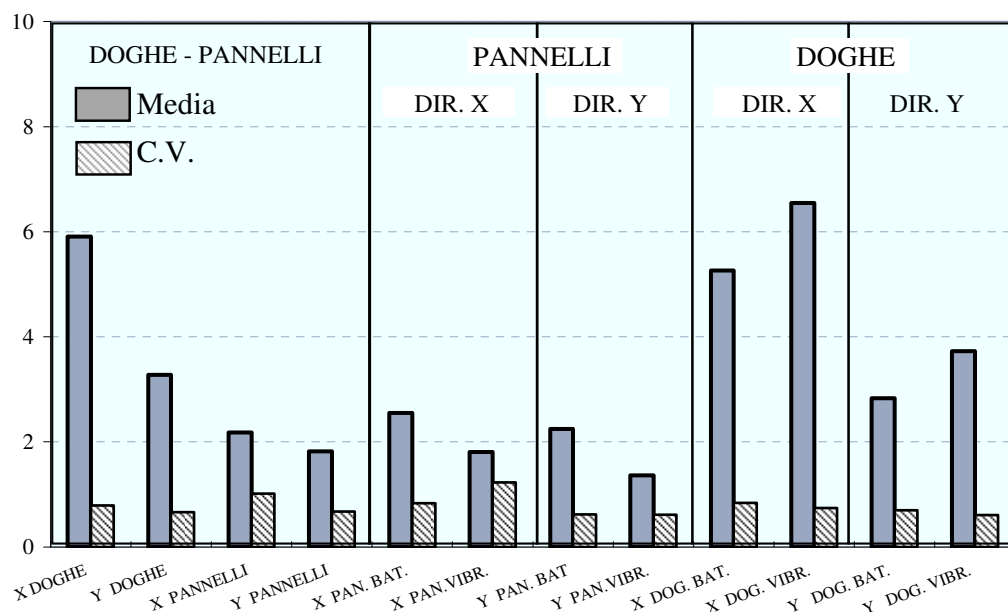


Figura 4.14 : Schema esplicativo dei grafici riportati precedentemente

Si ricorda che il coefficiente di variazione è un indice di dispersione che permette di confrontare misure di fenomeni riferite a unità di misura differenti, in quanto si tratta di un numero puro (ovvero non riferito ad alcuna unità di misura). Viene definito, per un dato campione, come il rapporto tra la sua deviazione standard ( $\sigma$ ) e il

valore assoluto della sua media aritmetica ( $\mu$ ): 
$$CV = \frac{\sigma}{|\mu|}$$

La prima considerazione che nasce dalla lettura dei grafici riguarda l'affidabilità e l'utilità di alcuni parametri quali FD e MSV. Nel primo caso si nota una variazione troppo bassa dei valori medi e quindi scarsa sensibilità ai valori di rugosità, mentre nel secondo al contrario si palesa una eccessiva variabilità del dato (coefficiente di variazione di valore superiore al valore medio) che ne inficia l'attendibilità.

Dai grafici inoltre si nota come, indipendentemente dal sistema di costipamento (primo riquadro), i campioni realizzati con doghe hanno una rugosità superficiale più elevata. Tale valore della rugosità può essere ricondotto ai disallineamenti della superficie provocati dalle sconnessioni delle doghe nella fase di confezionamento. Questa considerazione è avvalorata dal fatto che, come visibile nel terzo riquadro, nel

caso dei campioni confezionati con doghe la rugosità letta lungo la direzione X (spot laser ortogonali ai disallineamenti) è sensibilmente superiore rispetto quella letta lungo la direzione Y (spot laser parallela ai disallineamenti).

Tale differenza è resa ancora più evidente dal confronto fra loro il secondo e terzo riquadro di ogni grafico da cui si nota una netta superiorità di tutti i valori dei campioni realizzati con doghe rispetto gli omologhi dei campioni realizzati con pannelli.

Confrontando i vari sistemi di costipamento invece si nota come, a parità di tipo di cassero, i valori dei campioni battuti sono sempre superiori a quelli dei campioni vibrati lasciando intendere che la vibratura come sistema di costipamento sia più efficace se osservato in relazione alla diffusione superficiale degli inerti.

## **4.2. Confronto fra i dati pre trattamento e post trattamento**

I dati rilevati sui campioni in seguito ai trattamenti superficiali sono stati confrontati con quelli rilevati prima dei trattamenti. In questo caso sia i dati rilevati prima che dopo il trattamento sono stati divisi solo per direzione di lettura e per tipo di trattamento. Tale suddivisione ha permesso di valutare correttamente la variazione di rugosità ottenuta grazie a ciascuna lavorazione superficiale ed ottenere dei dati consistenti.

I grafici riportati nel seguito, in relazione a ciascun parametro analizzato, riportano per ciascuna colonna affiancati i valori rilevati pre e post trattamento. I dati inoltre sono ordinati per tipo di trattamento con la sequenza sabbiatura – bocciardatura – spazzolatura – smerigliatura. Nell’ambito di ciascun trattamento inoltre sono riportati prima i valori letti lungo la direzione X ed immediatamente dopo quelli letti lungo la direzione Y. La Figura 4.15 fornisce indicazione per la corretta lettura dei grafici.

Da una prima osservazione dei grafici si noterà come i dati pretrattamento sono abbastanza omogenei con differenze evidenti derivanti solo dalla direzione di lettura. Ciò è dovuto all’esecuzione di ciascun trattamento su otto campioni con tutte le possibili combinazioni fra le variabili considerate (tipo di cassero – costipamento – classe del cls) e quindi ad una distribuzione omogenea delle relative variabili.

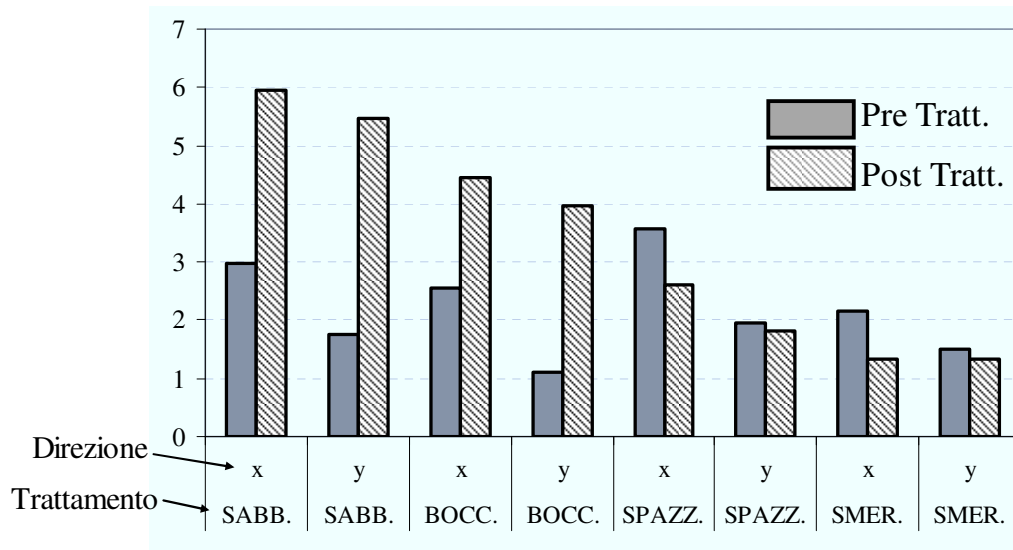


Figura 4.15 Schema esplicativo dei grafici seguenti

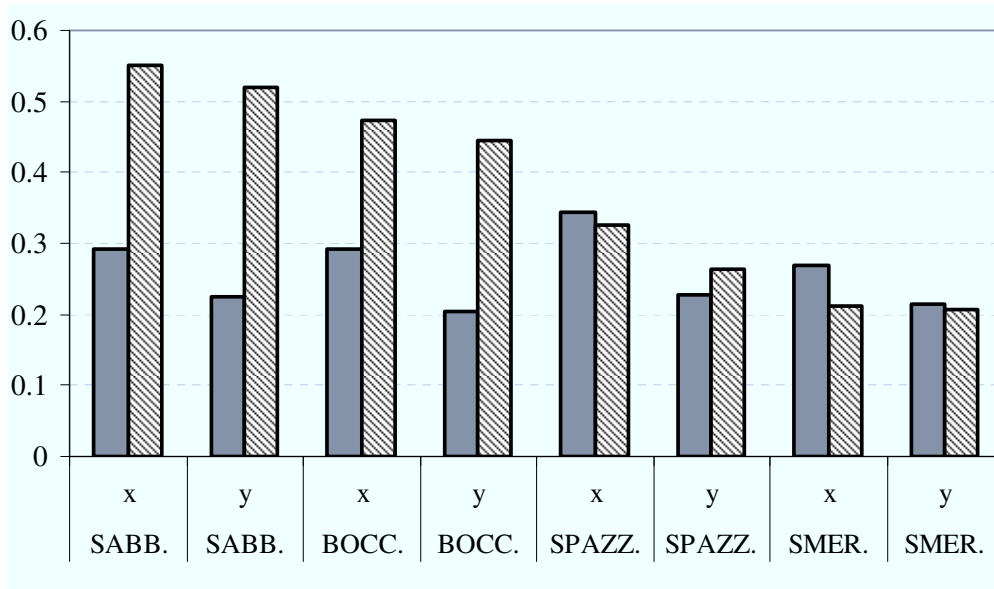


Figura 4.16: Confronto fra i valori pre e post trattamento di CLA

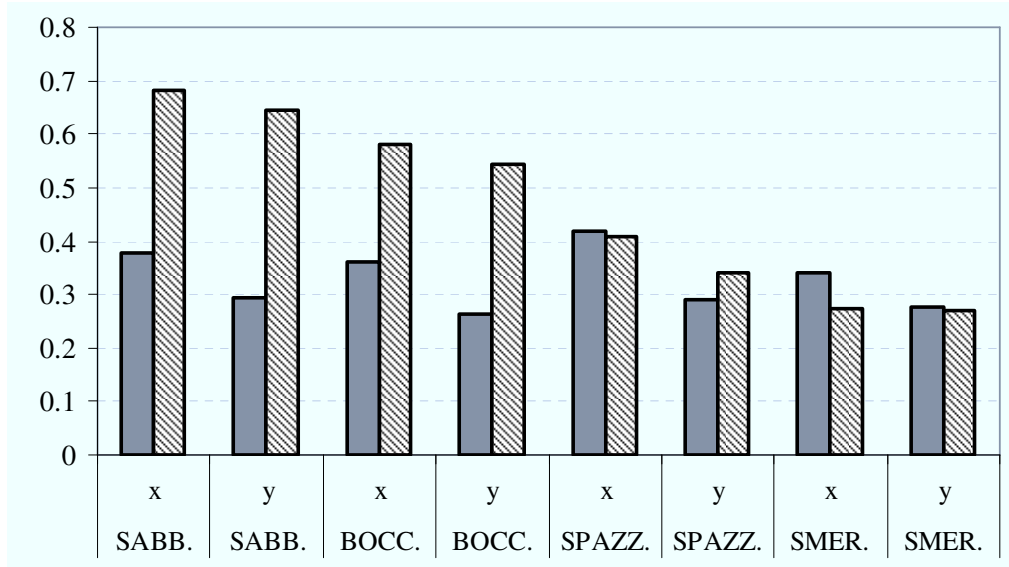


Figura 4.17: Confronto fra i valori pre e post trattamento di RMS

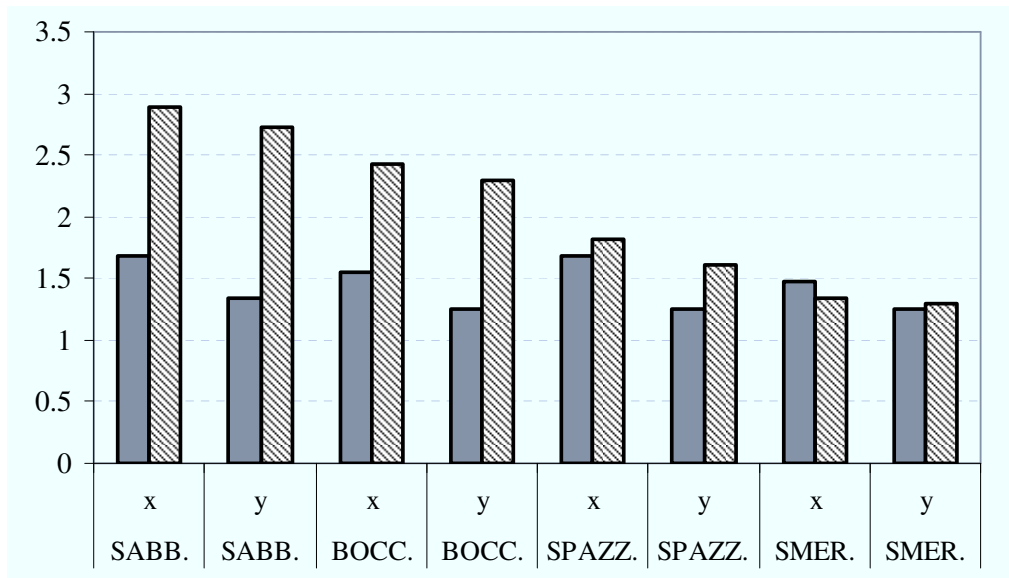


Figura 4.18: Confronto fra i valori pre e post trattamento di Rmax



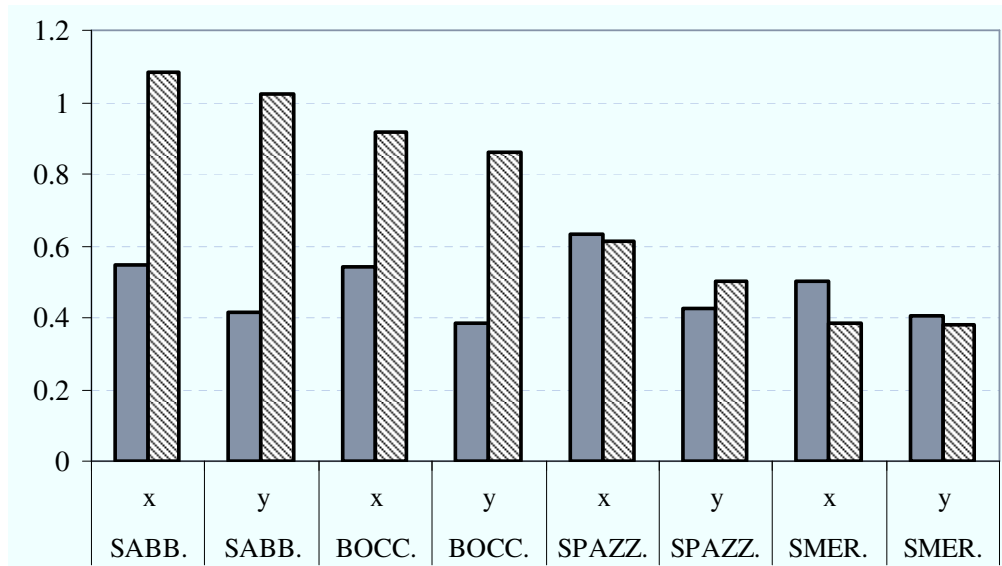


Figura 4.19 Confronto fra i valori pre e post trattamento di R

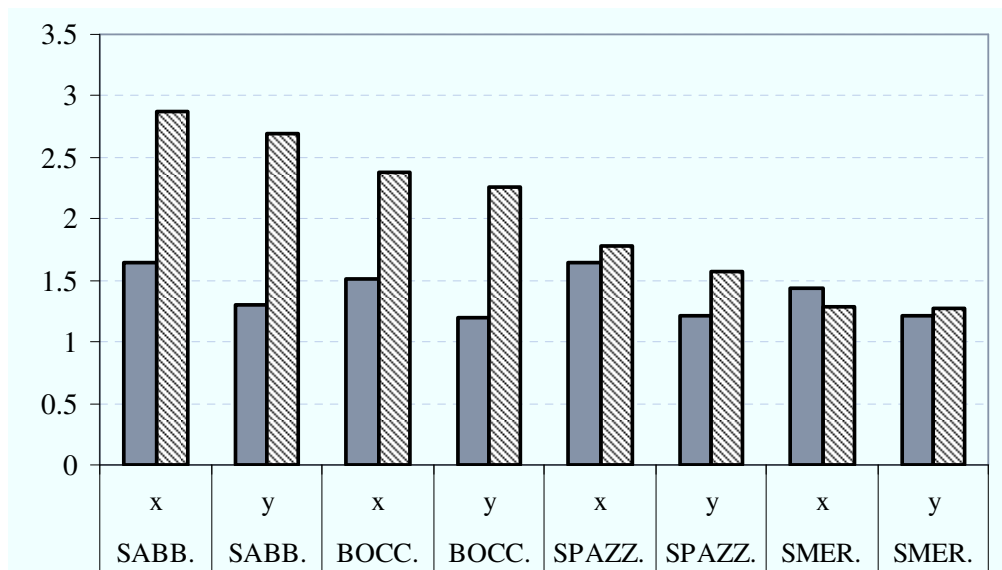


Figura 4.20: Confronto fra i valori pre e post trattamento di Rz

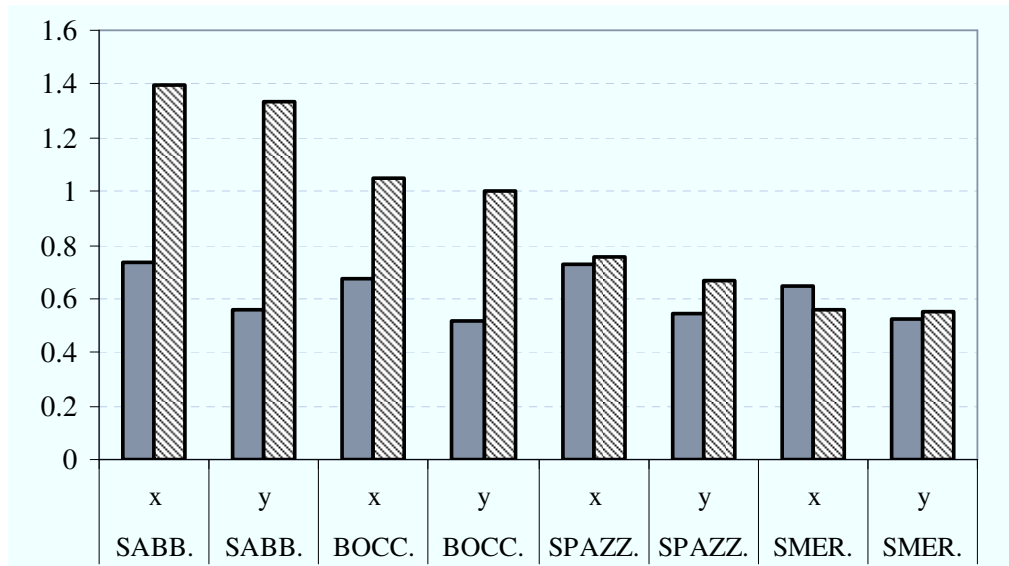


Figura 4.21: Confronto fra i valori pre e post trattamento di Re

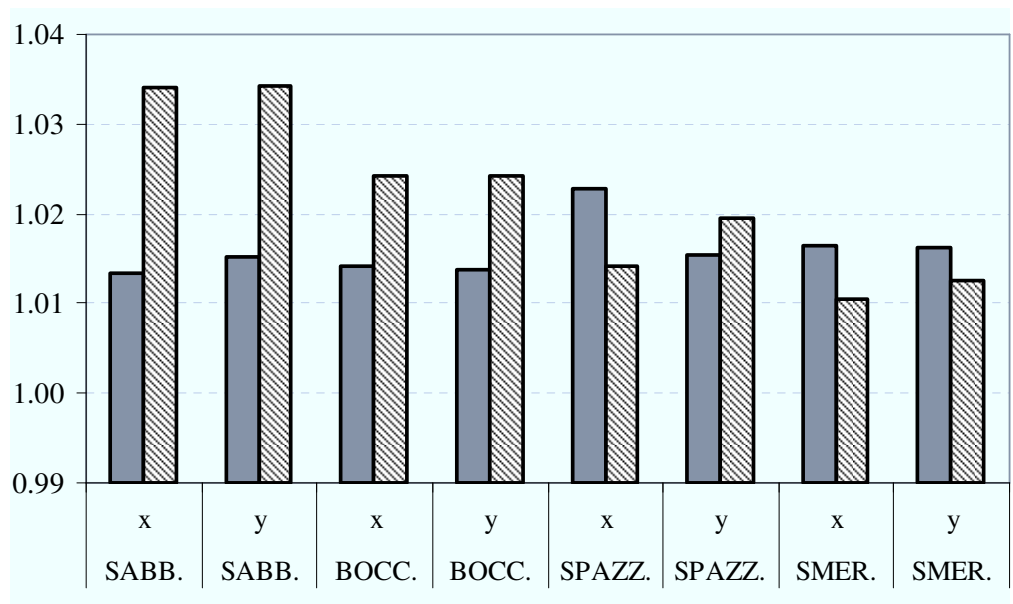


Figura 4.22: Confronto fra i valori pre e post trattamento di FD

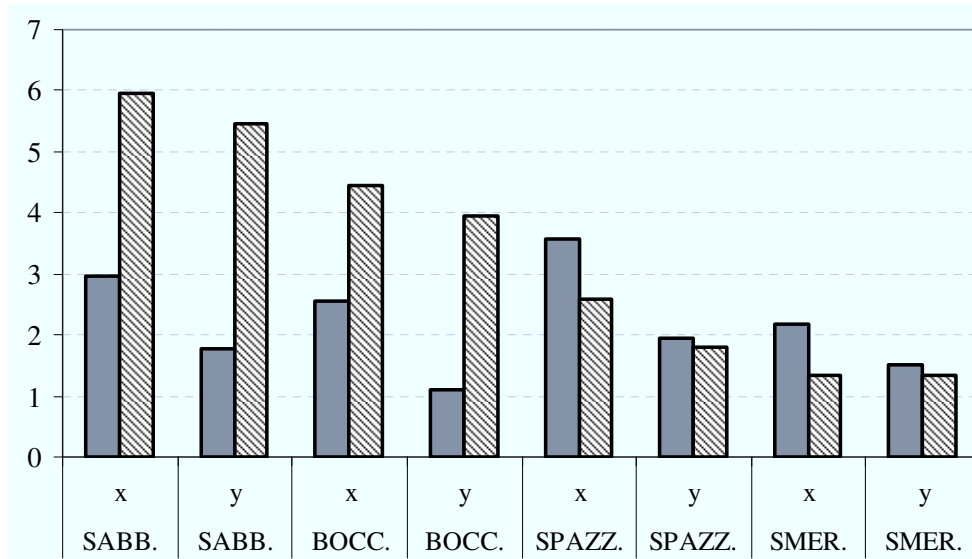


Figura 4.23: Confronto fra i valori pre e post trattamento di MSV

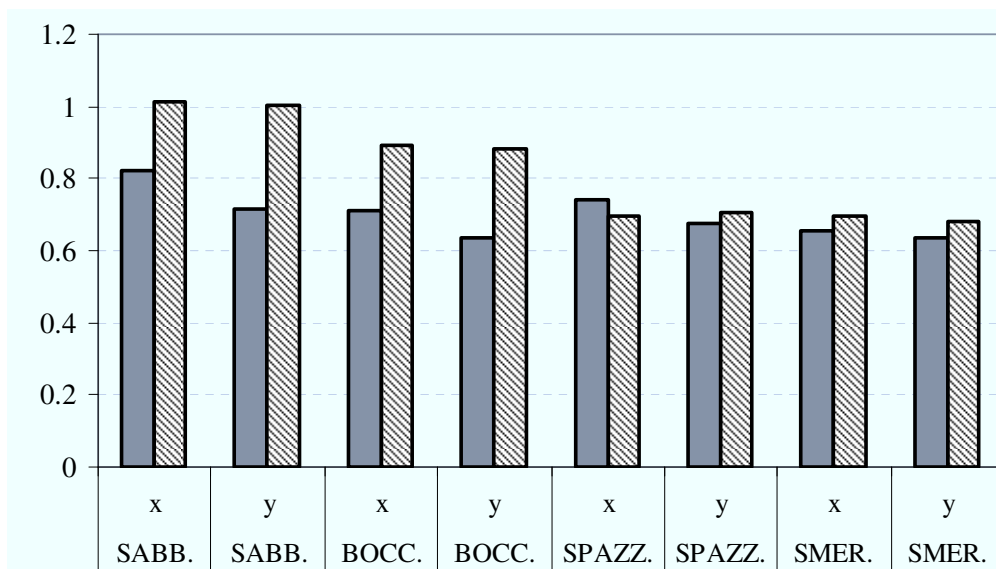


Figura 4.24: Confronto fra i valori pre e post trattamento di Z2

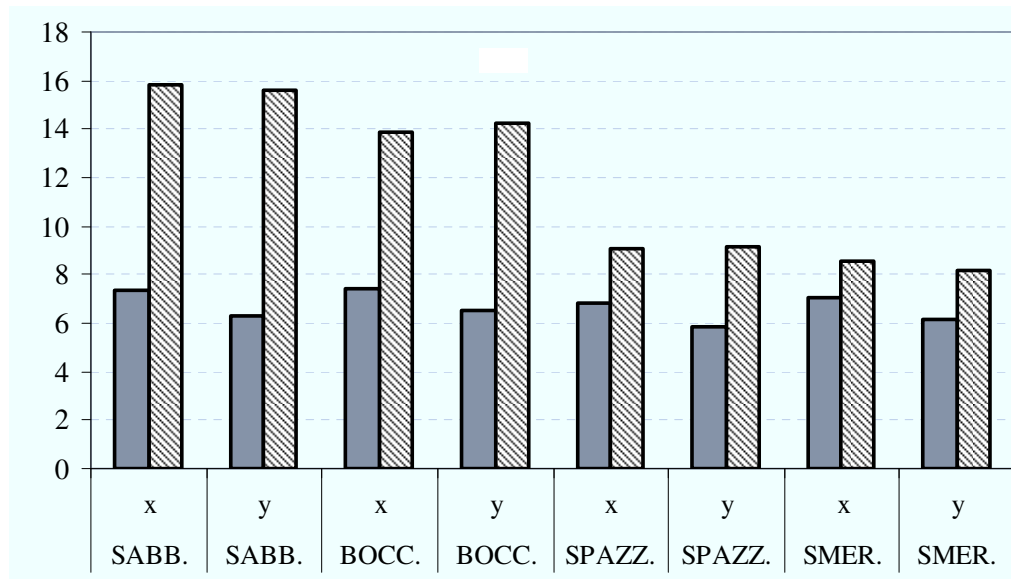


Figura 4.25: Confronto fra i valori pre e post trattamento di Ia

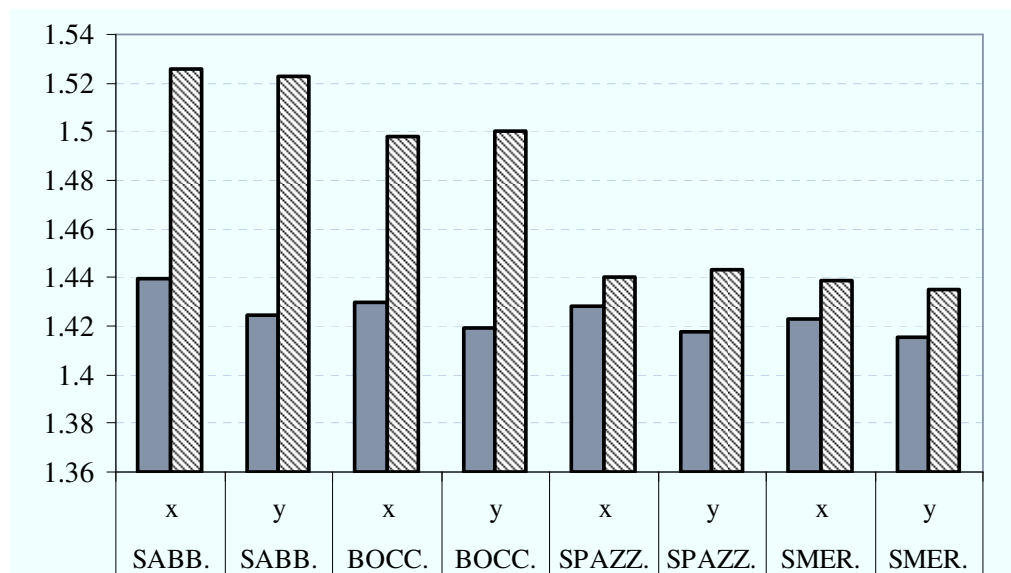


Figura 4.26: Confronto fra i valori pre e post trattamento di Rp

Dall'analisi dei dati rilevati si nota la differente incidenza dei diversi trattamenti superficiali sui campioni analizzati. Si rileva infatti un forte innalzamento di tutti i parametri considerati per i campioni trattati con sabbiatura e bocciardatura mentre per i campioni trattati con spazzolatura tale innalzamento si rileva in generale per i parametri relativi alla distanza ma non per quelli relativi alla pendenza. Il trattamento di smerigliatura infine fornisce parametri uguali o minori a quelli rilevati sui campioni prima del trattamento. Tale risultato è principalmente dovuto al meccanismo di lavoro della smerigliatura che a causa del rapido passaggio del disco diamantato sulla superficie del campione tende a livellare la stessa uniformandone il profilo.

Un'ulteriore valutazione della efficacia di un trattamento superficiale può essere fatta considerando la differenza fra i valori della rugosità nelle due direzioni. Tale differenza, che abbiamo visto essere elevata per i campioni prima dei trattamenti, è indicativa del livello di omogeneità raggiungibile. I grafici riportati nel seguito contengono le differenze fra le letture di ciascun parametro lungo le due direzioni principali. Le differenze sono indicate in percentuale e sono raggruppate per ciascun trattamento superficiale.

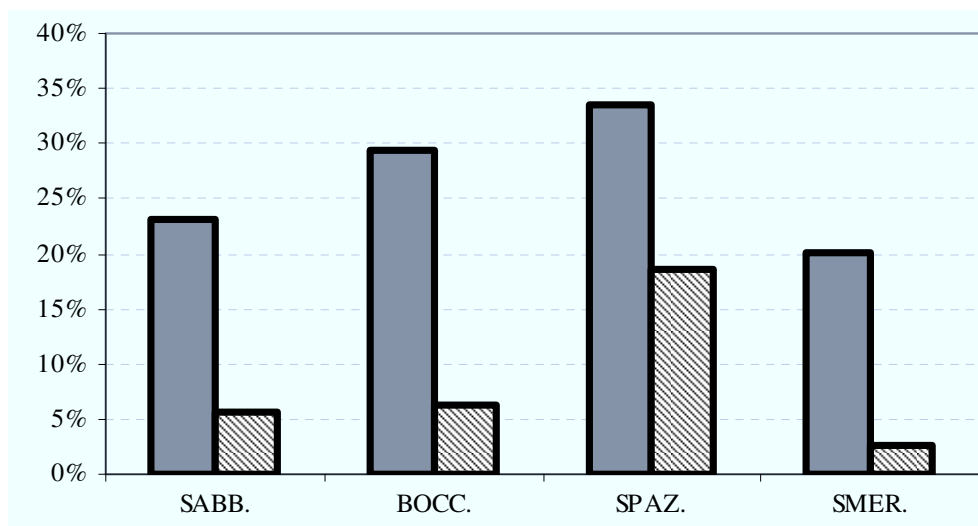


Figura 4.27 : Differenze tra i valori di CLA nelle direzioni x ed y prima e dopo i trattamenti superficiali

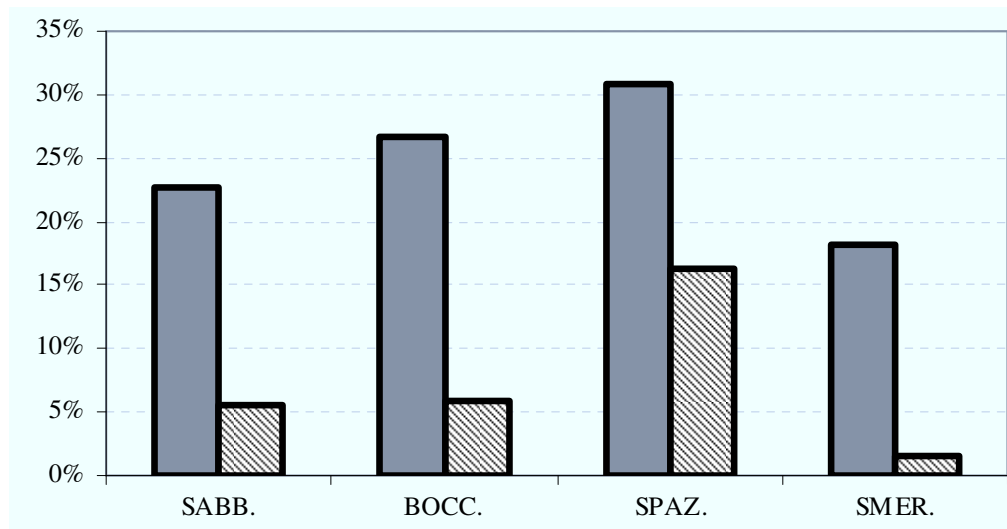


Figura 4.28 : Differenze tra i valori di RMS nelle direzioni x ed y prima e dopo i trattamenti superficiali

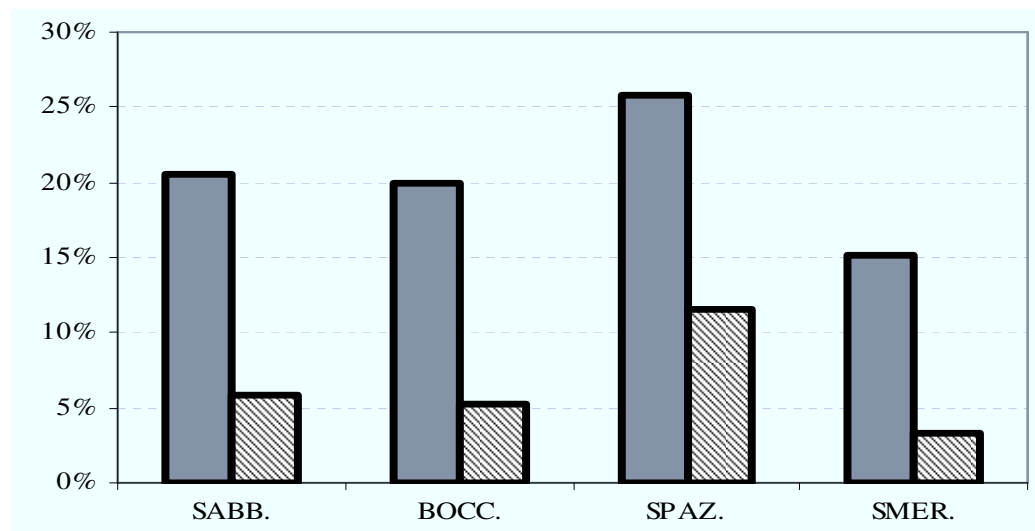


Figura 4.29 : Differenze tra i valori di Rmax nelle direzioni x ed y prima e dopo i trattamenti superficiali

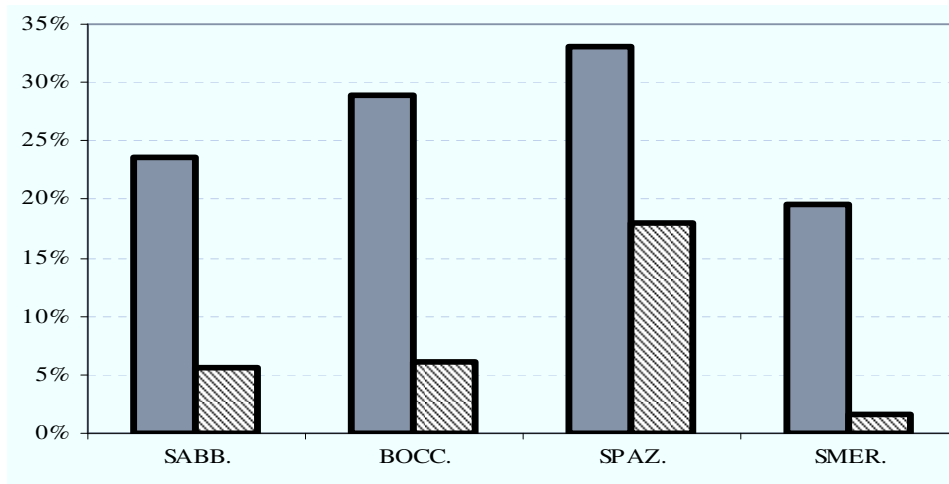


Figura 4.30 : Differenze tra i valori di  $R$  nelle direzioni  $x$  ed  $y$  prima e dopo i trattamenti superficiali

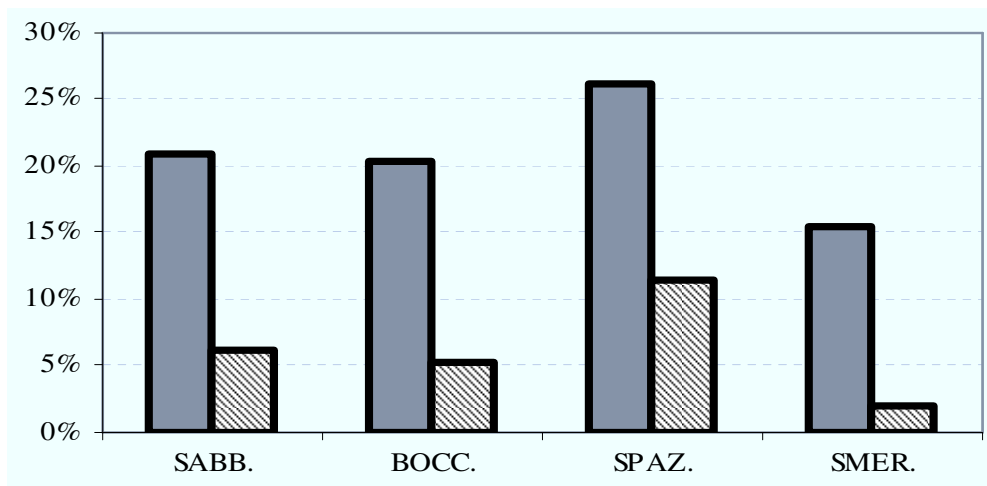


Figura 4.31 : Differenze tra i valori di  $R_z$  nelle direzioni  $x$  ed  $y$  prima e dopo i trattamenti superficiali

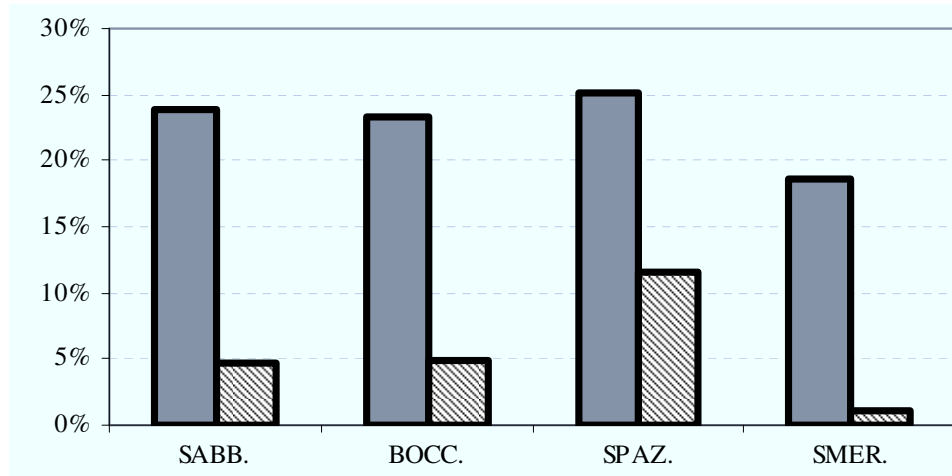


Figura 4.32 : Differenze tra i valori di  $R_e$  nelle direzioni  $x$  ed  $y$  prima e dopo i trattamenti superficiali

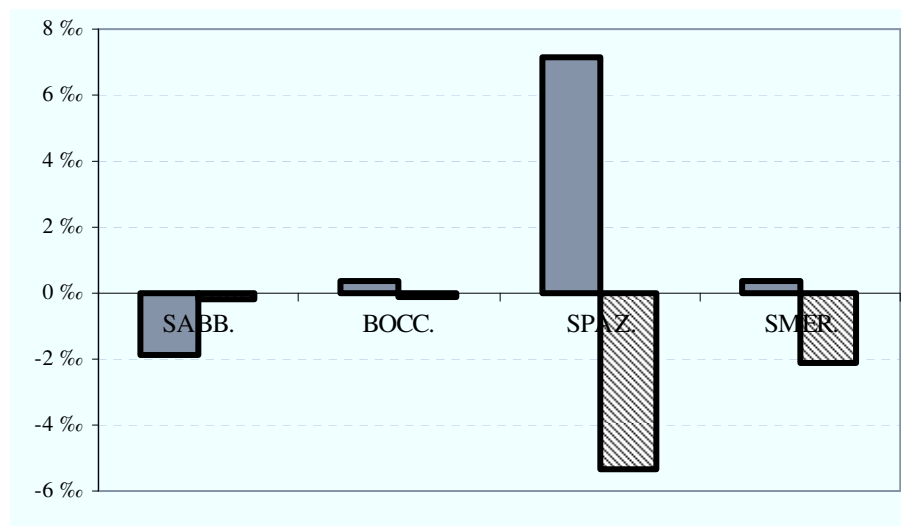


Figura 4.33 : Differenze tra i valori di  $FD$  nelle direzioni  $x$  ed  $y$  prima e dopo i trattamenti superficiali



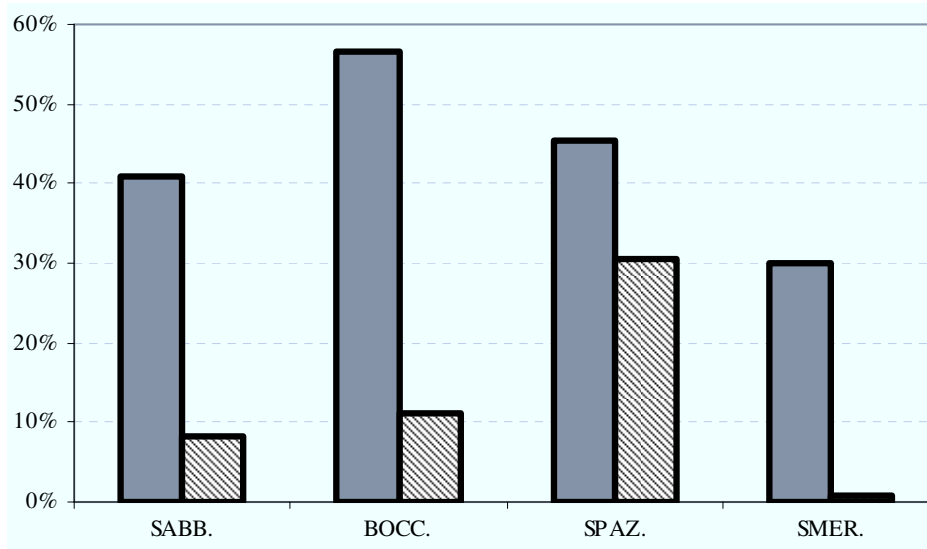


Figura 4.34 : Differenze tra i valori di MSV nelle direzioni x ed y prima e dopo i trattamenti superficiali

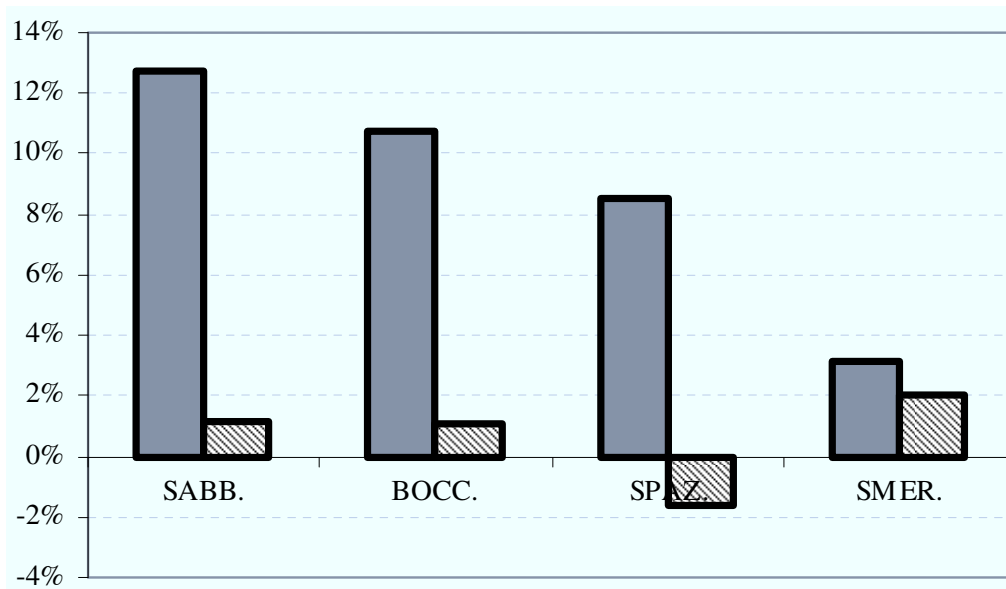


Figura 4.35 : Differenze tra i valori di Z2 nelle direzioni x ed y prima e dopo i trattamenti superficiali

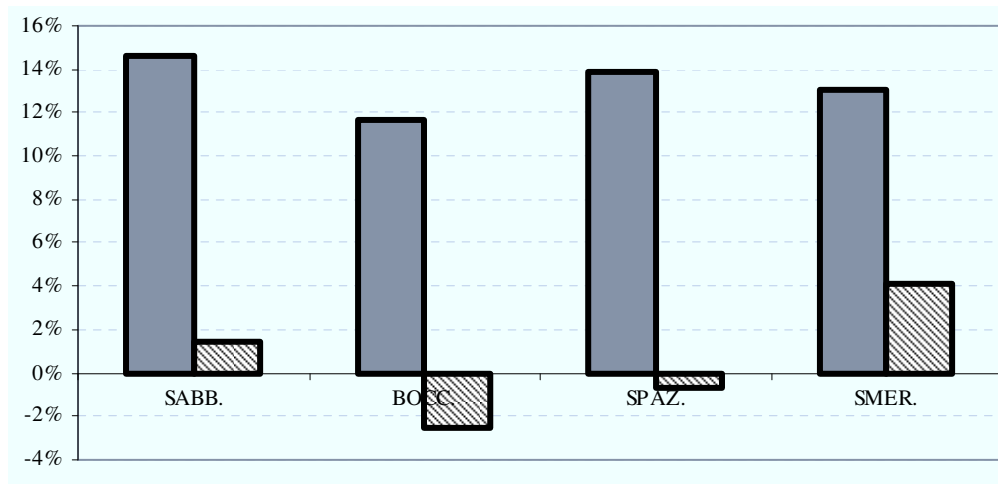


Figura 4.36 : Differenze tra i valori di  $I_a$  nelle direzioni  $x$  ed  $y$  prima e dopo i trattamenti superficiali

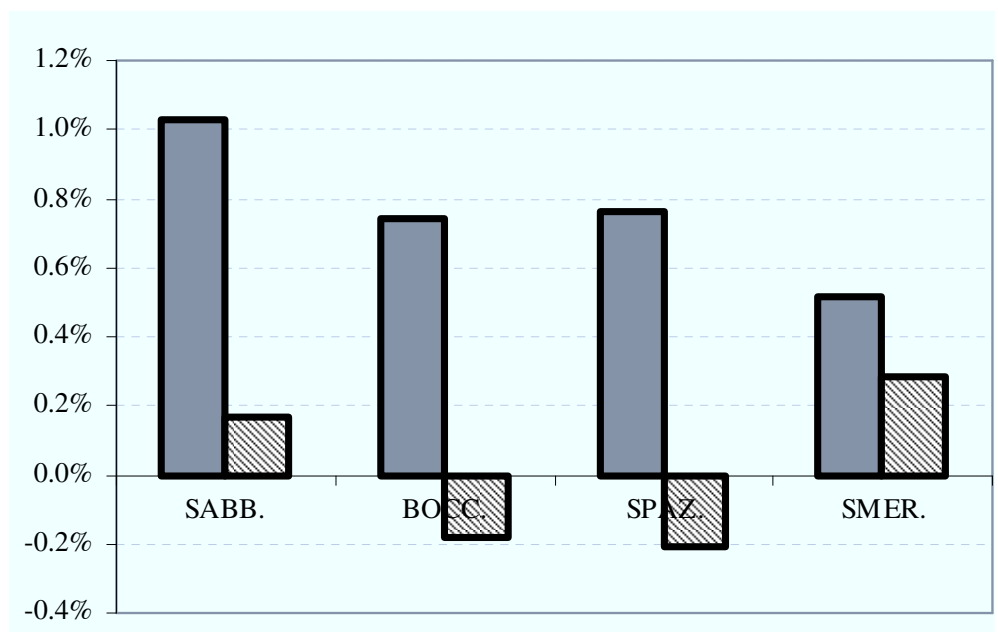


Figura 4.37 : Differenze tra i valori di  $R_p$  nelle direzioni  $x$  ed  $y$  prima e dopo i trattamenti superficiali

I valori rilevati prima dei trattamenti superficiali sono fortemente dipendenti dalla direzione di rilevamento come si è visto anche nel paragrafo precedente. In seguito ai trattamenti superficiali tale differenza è sensibilmente diminuita ed in alcuni casi è invertita la prevalenza di un valore rispetto all'altro. Si nota inoltre, che il trattamento di sabbiatura che è eseguito meccanicamente, produce i valori più omogenei della differenza fra X ed Y. Tale omogeneità non è invece visibile negli altri tre tipi di trattamento che a causa della manualità con la quale vengono eseguiti risentono di difetti di esecuzioni dovuti a metodicità e ergonomia propri dello specifico operatore.

### 4.3. Indice di Rugosità $I_R$

Al fine di definire un unico parametro per descrivere la rugosità superficiale del calcestruzzo, i parametri forniti dal profilometro sono stati analizzati e correlati..

Il coefficiente  $I_R = R \cdot i_a$  è stato utilizzato per descrivere la rugosità della superficie. Esso infatti, grazie al prodotto di due coefficienti concettualmente diversi, fornisce informazioni sia qualitative che quantitative ovvero informazioni sia sul valore assoluto che sulla forma della rugosità.

Ricordiamo infatti che R è la distanza media fra tutti i punti più alti (picchi) e tutti i punti più bassi (valli) del profilo misurato mentre  $i_a$  è l'angolo medio di inclinazione, definito come la media degli angoli di inclinazione delle singole righe del profilo. Pertanto il parametro  $I_R$  è dato, come menzionato in precedenza, dalla combinazione di un parametro di ampiezza ed uno di pendenza.

Per capire la necessità di utilizzare un parametro composto si osservi come, essendo la rugosità di una superficie definita da varie caratteristiche, più profili potrebbero coincidere solo per una di queste caratteristiche ed essere tuttavia complessivamente molto diversi. Tale diversità è importante soprattutto considerando che la variazione di rugosità può incidere fortemente in quei fenomeni dove le forze di attrito o di aderenza assumono valori non trascurabili.

A tal proposito si osservi la Figura 4.38 nella quale sono schematizzati alcuni valori dei parametri di R ed  $i_a$ .

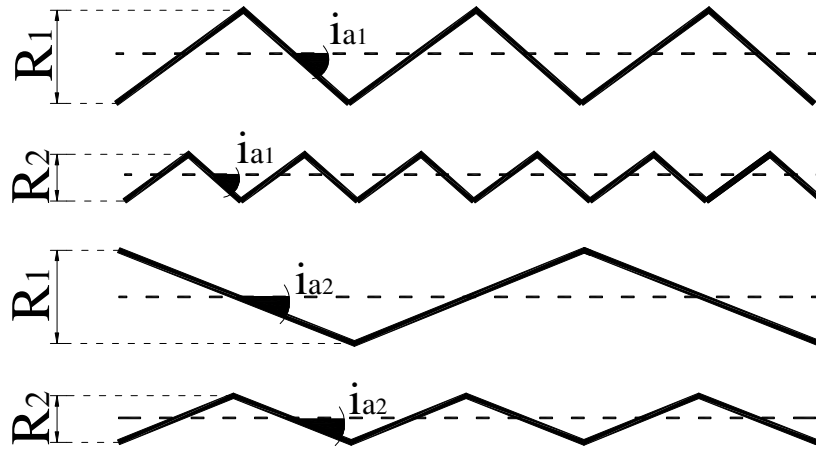


Figura 4.38- Relazione fra parametri della rugosità e profilo reale

Ciascuno dei quattro profili riportati in figura è diverso dall'altro eppure essi sono costituiti da due coppie aventi parametri identici. Considerando ad esempio il primo ed il secondo profilo si nota che hanno lo stesso valore dell'inclinazione media del profilo ( $i_a$ ) eppure sono molto differenti fra loro a causa della differenza fra i picchi e le valli. La stessa considerazione può essere fatta osservando il primo e il terzo profilo in relazione al parametro R.

Per tale motivo una corretta descrizione del profilo deve includere sia parametri di rugosità che parametri di ampiezza combinati fra loro.

Il parametro  $I_R$  è stato utilizzato come indicatore della rugosità superficiale e pertanto ne è stato analizzato il suo valore prima e dopo ciascun trattamento superficiale.

Come mostrato nel paragrafo precedente per gli altri parametri, per il parametro  $I_R$  sono riportati i valori della media e del coefficiente di variazione rilevati sui provini raggruppati in vari modi.

In particolare, nella Figura 4.39 che mostra tali valori, nel primo riquadro i valori sono divisi soltanto per direzione (x-y) e per tipo di cassero (doghe – pannelli). Nel secondo e nel terzo riquadro invece sono indicati solo i valori dei provini realizzati con pannelli mentre negli ultimi due quelli realizzati con doghe.

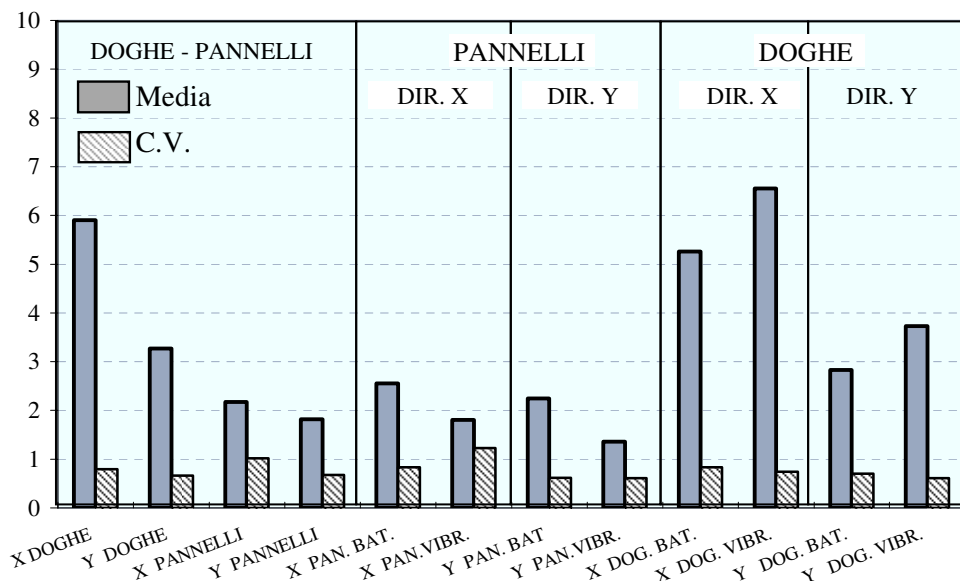


Figura 4.39- Valori di  $I_R$  prima del trattamento

Così come rilevato per gli altri parametri si nota una netta differenza fra le letture lungo la direzione x e quelle lungo la direzione y. Inoltre osservando il secondo e il terzo riquadro si evince che, come per gli 11 parametri elencati nel precedente paragrafo, i campioni realizzati con doghe hanno un indice di rugosità molto più elevato rispetto quelli realizzati con pannelli. E' interessante notare che il coefficiente di variazione del parametro  $I_R$  è molto basso il che è indicativo dell'affidabilità e della stabilità del dato.

Da quanto visto è possibile affermare che l'indice di rugosità  $I_R$  è riassuntivo di tutti gli 11 parametri presi in considerazione precedentemente.

Analizzando i valori dello stesso parametro prima e dopo i trattamenti superficiali si nota un forte innalzamento dei valori di  $I_R$  per i campioni trattati con sabbatura e bocciardatura mentre i campioni spazzolati incrementano leggermente il loro valore. Per quanto riguarda i campioni smerigliati la differenza tra i valori rilevati prima e dopo i trattamenti è quasi nulla. Tale indicazione leggermente differente rispetto le indicazioni ottenute su tutti parametri tengono conto del valore dell'inclinazione media del profilo che nel caso della smerigliatura risulta molto basso.

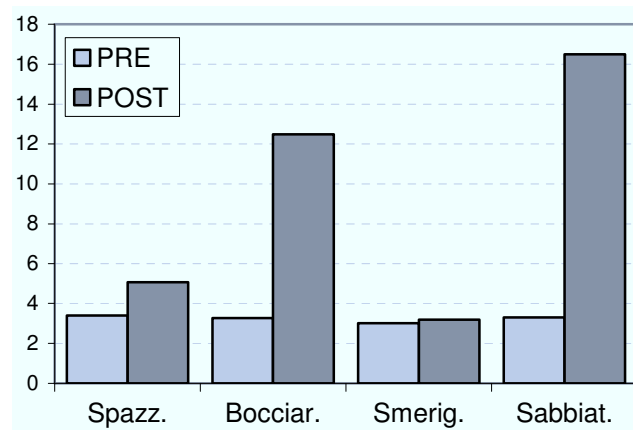


Figura 4.40 - Differenza fra i valori di  $I_R$  prima e dopo i trattamenti superficiali

Inoltre osservando i valori della rugosità prima dei trattamenti superficiali si nota come essi siano molto simili tra loro proprio come sarebbe logico aspettarsi dal momento che in ciascun raggruppamento sono presenti tutte le variabili prese in considerazione nel confezionamento. Tale omogeneità di valori non è visibile se si analizzando i parametri singolarmente.

#### 4.4. Campagna profilo metrica sui campioni in pietra naturale

La campagna profilometrica eseguita sui campioni in calcestruzzo è stata estesa anche ad alcuni campioni di pietra naturale al fine di valutare la validità di tali analisi anche su superfici diverse dal calcestruzzo.

A tal proposito 20 campioni in tufo napoletano di dimensioni 40x24x12 cm e 20 campioni in pietra leccese di dimensioni 50x24x14 cm sono stati analizzati con le medesime modalità di prova descritte nei paragrafi precedenti a proposito delle prove sui campioni in calcestruzzo.

Su tali campioni non sono stati eseguiti trattamenti superficiali poiché questi non sono comunemente utilizzati nella pratica applicazione su questo tipo di materiale.

Le pietre sono state acquistate presso rivenditori locali in modo da ottenere il materiale che comunemente viene utilizzato in cantiere.

Il tufo giallo napoletano è una roccia piroclastica caratterizzata da una prevalenza di ceneri a varia granulometria, con inclusioni di pomici e frammenti di lava, derivante da eruzioni di tipo esplosivo di centri vulcanici diversi. Si presenta di colore giallo paglierino è scalfibile con l'unghia e possiede le caratteristiche tipiche di una buona pietra da costruzione.

La pietra leccese è una roccia calcarea appartenente al gruppo delle calcareniti marnose ed è tipica della regione salentina. Questa roccia ha una composizione piuttosto omogenea essendo costituita principalmente da carbonato di calcio e di cemento calcitico. Il colore varia dal bianco al giallo paglierino fino ad assumere nella consolidazione una tonalità di colore ambrato simile a quella del miele. La roccia si presenta compatta e di grana fine con una durezza e una resistenza che, una volta estratta, crescono con il passare del tempo.

Le analisi condotte hanno mostrato, come prevedibile da una prima indagine visiva, che la rugosità superficiale del tufo napoletano è superiore a quella della pietra leccese che, come illustrato precedentemente, si presenta in forma più omogenea e compatta rispetto al tufo napoletano.

Sia nel caso della pietra leccese che del tufo napoletano non si sono rilevate differenze fra i le direzioni X ed Y in nessuno dei parametri considerati.

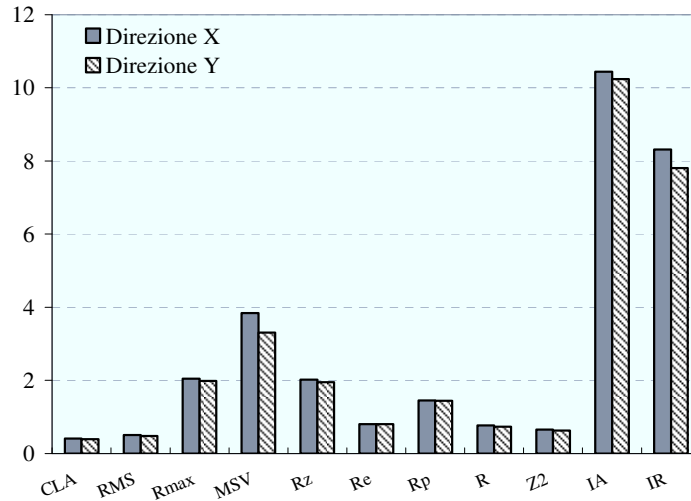


Figura 4.41- Valori medi rilevati sul Tufo Campano

Il grafico di Figura 4.41 mostra i risultati dell’analisi sul tufo napoletano per ciascun parametro suddivisi per direzione. Si nota che le differenze fra le varie direzioni sono minime e dovute essenzialmente a fattori statistici. Si ricorda che mentre i parametri legati alla pendenza sono misurati in gradi quelli relativi alla ampiezza sono misurati in millimetri.

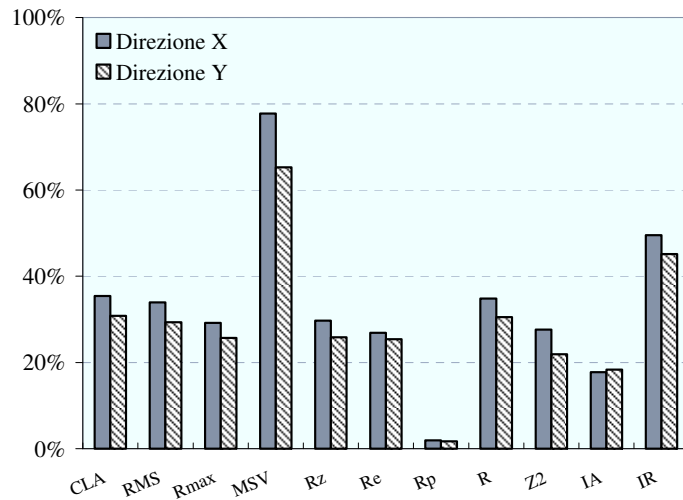


Figura 4.42 – Coefficiente di variazione de valori rilevati sul Tufo Campano



La stessa omogeneità di letture lungo le due direzioni principali si verifica in relazione al coefficiente di variazione i cui valori sono riportati in Figura 4.42.

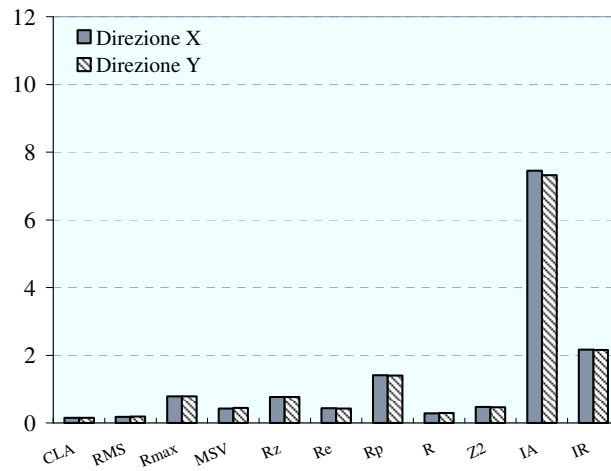


Figura 4.43 -- Valori medi rilevati sulla pietra leccese

La Figura 4.43 mostra i valori medi di tutti parametri rilevati sui campioni di pietra leccese. Anche in questo caso si nota un'elevata omogeneità di risultati nelle due direzioni principali. Lo stesso dicasi del coefficiente di variazione riportato in Figura 4.44

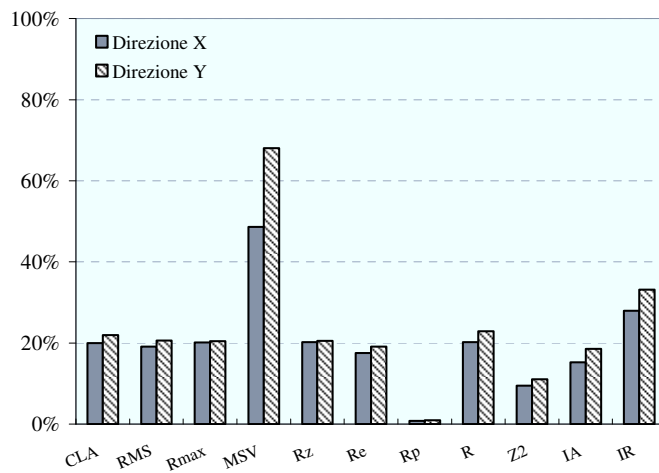


Figura 4.44 - Coefficiente di variazione de valori rilevati sulla pietra leccese

## 4.5. Conclusioni

In questa fase della sperimentazione oltre 2400 battute profilometriche sono state eseguite raccogliendo in questo modo circa 50000 valori di rugosità.

Grazie a questa campagna è stato innanzitutto testato uno strumento innovativo per l'analisi della superficie quale il profilometro laser e se ne è valutata l'efficacia e la cantierabilità grazie sia a prove in laboratorio, su materiali di profilo noto, sia a prove in situ su campioni di calcestruzzo.

La grande quantità di dati acquisiti ha permesso di mettere a punto un parametro in grado di descrivere la rugosità superficiale del calcestruzzo. Tale parametro, definito indice di rugosità  $I_R$ , è in grado di descrivere efficacemente la rugosità superficiale del calcestruzzo riuscendo a cogliere le varie sfaccettature del profilo. Tale osservazione trova un riscontro ancora maggiore se si confrontano i risultati delle analisi profilometriche con quelli delle prove di pull off descritte nel paragrafo 6.2 e delle prove di delaminazione statica descritti nel paragrafo 8.6.

L'esecuzione delle prove anche su materiali diversi dal calcestruzzo, quali pietra leccese e tufo napoletano, ha consentito di validare l'uso del profilometro anche per questi materiali e di testare l'idoneità del parametro  $I_R$  per materiali diversi dal calcestruzzo.

Inoltre grazie a questo parametro si è potuta quantificare, in maniera scientifica, la reale efficacia dei trattamenti superficiali utilizzati, giudicandoli anche alla luce dei costi necessari per la loro esecuzione.

## CAPITOLO 5 ESCUZIONE DEI TRATTAMENTI SUPERFICIALI

I campioni prismatici confezionati e stagionati, sono stati successivamente numerati ed etichettati in base alle specifiche caratteristiche.

Le tecniche di trattamento del substrato eseguite, attraverso le quali condurre la sperimentazione sui campioni in cemento armato, e quindi poi le successive prove di valutazione della rugosità superficiale e di adesione dei materiali fibrorinforzati, sono le seguenti:

- Sabbiatura;
- Bocciardatura;
- Spazzolatura meccanica;
- Smerigliatura;

In questa sezione sono riportate le specifiche dei trattamenti eseguiti sui campioni in c.a., soffermandoci in particolare su aspetti di carattere cantieristico e sui costi.

Il numero dei trattamenti eseguiti ed i relativi provini trattati è riportato in dettaglio nella Tabella 5.1.

Trattamento	Provini	Numero complessivo superfici trattate
Sabbiatura	4,9,14,19,23,28,33,38.	16
Bocciardatura	2,7,12,17,21,26,31,36.	16
Spazzolatura	1,6,11,16,20,25,30,35.	16
Smerigliatura	3,8,13,18,22,27,32,37.	16
Non Trattati	5,10,15,24,29,34,39,40.	16

Tabella 5.1 : Matrice dei provini in c.a. con i rispettivi trattamenti

## 5.1. Sabbiatura

Per la realizzazione della sabbiatura dei provini destinati a tale trattamento, per motivi di opportunità, di logistica e per ottenere un risultato ottimale, il trattamento è stato eseguito in stabilimento mediante impianto di granigliatura BANFI tipo “GM 15x30/4x1M/10”.

### IMPIANTO IMPIEGATO

Granigliatrice a grappolo rotante, costituita da cabina di granigliatura con porta a due battenti, n.4 turbine centrifughe e n.4 serrande elettropneumatiche per erogazione della graniglia.

### CARATTERISTICHE DEL TRATTAMENTO

Graniglia impiegata: *S280 da 0,5 mm;*

Quantità di materiale lanciato: *150 Kg/min x Tur. (3 turbine attive x 450 Kg/min complessivi);*

Velocità turbina: *2900giri/min*

Alimentazione: *Elettrica trifase 400V-50Hz.*

### DESCRIZIONE DEL FUNZIONAMENTO

Il trattamento viene effettuato con graniglia metallica (sfere di acciaio) proiettata ad alta velocità da speciali turbine centrifughe. I pezzi da granigliare sono appesi singolarmente, oppure a grappolo, ad un gancio sospeso ad un carrellino scorrevole all'ingresso della camera di granigliatura, dove viene agganciato da un trasportatore e che effettua automaticamente tutti i successivi spostamenti. Durante la proiezione i grappoli sono mantenuti costantemente in rotazione e spostati automaticamente in due posizioni diverse per ottimizzare l'esposizione di tutte le superfici e garantire l'uniformità del trattamento. Al termine del trattamento, il trasportatore conduce il grappolo all'esterno della camera.

### COSTO E TEMPI DEL TRATTAMENTO

Costo medio commerciale	14,50 €/mq
Produzione	6-8 min/mq

## IMMAGINI DELLA REALIZZAZIONE DEL TRATTAMENTO



*Provino agganciato dal trasportatore pronto per il trattamento.*



*Impianto per la realizzazione del trattamento di sabbiatura. Impianto tipo "GM 15x30/4x1M/10".*



*Provino dopo il trattamento*



*Provino etichettato*

## 5.2. Bocciardatura

Per la realizzazione della bocciardatura dei campioni, si è scelto di utilizzare uno scalpello ad aria compressa con punta conica.

### UTENSILE IMPIEGATO

Scalpello con utensile a punta conica

### CARATTERISTICHE DEL TRATTAMENTO

Azione di lavoro: *4500colpi/min;*

Pressione alimentazione: *6,2 bar;*

Diametro dello scalpello: *11mm;*

Consumo d'aria: *180l/min.*

### DESCRIZIONE DEL TRATTAMENTO

Il trattamento viene effettuato manualmente, l'operatore opportunamente protetto dalle schegge, impugna l'utensile e agisce ponendo la punta dello scalpello sull'area da trattare. La superficie trattata risulta omogenea, anche se funzione della cura dell'operatore. I tempi di produzione del trattamento sono risultati piuttosto lunghi.

### COSTO E TEMPI DEL TRATTAMENTO

Costo medio commerciale	25,00 € /mq
Produzione	25-30 min/mq

## IMMAGINI DELLA REALIZZAZIONE DEL TRATTAMENTO



*Scalpellatore con utensile a punta conica installato.*



*Una fase del trattamento sui campioni in c.a.*



*Evidenza del risultato del trattamento su una parte del campione trattato.*



*Evidenza del risultato del trattamento su una parte del campione trattato.*

### 5.3. Spazzolatura meccanica

La spazzolatura meccanica è realizzata con apposito utensile elettrico, la scelta della tipologia di spazzola è stata preliminarmente verificata tra diverse opzioni.

#### IMPIANTO IMPIEGATO

Flessibile a corrente alternata con una spazzola a “tazza” in fili di acciaio a mazzetti ritorti.

#### CARATTERISTICHE DEL TRATTAMENTO

Velocità rotazione: *10000giri/min*

Diametro spazzola: *75mm*.

Alimentazione: *Elettrica monofase 230V-50Hz*.

#### DESCRIZIONE DEL TRATTAMENTO

Il trattamento viene effettuato manualmente, l'operatore opportunamente protetto dalle schegge e dalle polveri, impugna l'utensile e agisce ponendo la spazzola sull'area da trattare, esercitando una leggera pressione. La superficie trattata risulta omogenea, con tendenza alla levigatura se la pressione manuale esercitata è eccessiva. La produzione di polveri è elevatissima.

#### COSTO E TEMPI DEL TRATTAMENTO

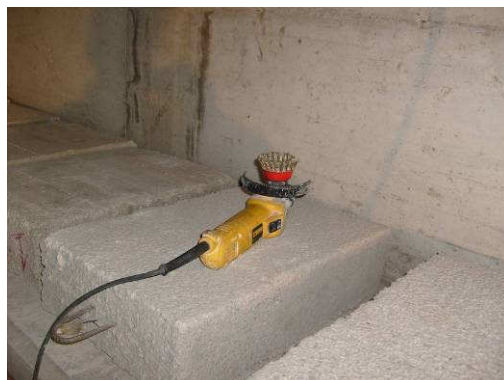
Costo medio commerciale	6,00 €/mq
Produzione	7-10 min/mq



## IMMAGINI DELLA REALIZZAZIONE DEL TRATTAMENTO



*Spazzola in acciaio ritorto*



*Utensile utilizzato*



*Fasi della spazzolatura*



*Campione spazzolato*

#### 5.4. Smerigliatura

La smerigliatura è stata realizzata in luogo al trattamento di idroscarifica, per questioni di opportunità.

##### IMPIANTO IMPIEGATO

Levigatrice a disco diamantato Hilti DG – 150 per fondi in calcestruzzo.

##### CARATTERISTICHE DEL TRATTAMENTO

Velocità di esercizio: 4700giri/min;

Diametro del disco: 6”;

Alimentazione: Elettrica monofase 220V-50Hz.

##### DESCRIZIONE DEL FUNZIONAMENTO

Il trattamento viene effettuato manualmente, l'operatore opportunamente protetto dalle schegge e dalle polveri, impugna l'utensile e agisce ponendo l'utensile spazzola sull'area da trattare, esercitando una leggera pressione. La superficie trattata risulta omogenea, con tendenza alla levigatura se la pressione manuale esercitata è eccessiva. La produzione di polveri è elevatissima. I tempi di trattamento molto contenuti.

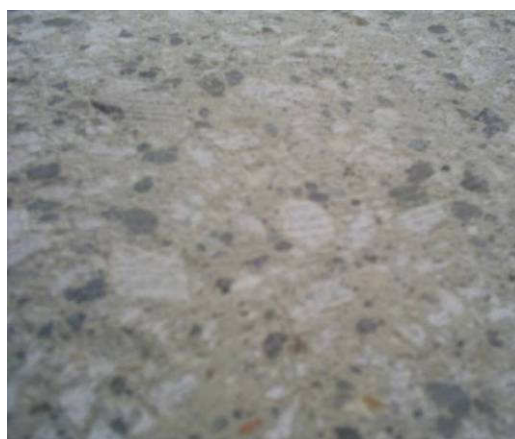
##### COSTO E TEMPI DEL TRATTAMENTO<sup>1</sup>

Costo medio commerciale	8,00 €/mq
Produzione	6-8 min/mq

---

<sup>1</sup> I costi sono relativi ad un valore medio di mercato dei prezzi praticati, riferiti a 200 mq di superficie da trattare.

## IMMAGINI DEL TRATTAMENTO

*Disco utilizzato**Utensile utilizzato**Fasi della lavorazione**Superficie smerigliata*

## 5.5. Conclusioni

La campagna di trattamenti superficiali eseguita in questa fase dello studio ha evidenziato soprattutto problemi legati alla logistica e alla specializzazione della manodopera. Nel pianificare tali prove infatti si sono incontrate alcune difficoltà nell'individuare personale in possesso delle attrezzature e dell'esperienza necessaria per eseguire i trattamenti superficiali.

Tra i diversi trattamenti eseguiti quelli di sabbiatura e smerigliatura appaiono meno dipendenti dalle caratteristiche dell'operatore e richiedono una minore attenzione per raggiungere risultati omogenei.

Ciò è dovuto probabilmente alle dimensioni dell'attrezzatura di prova che nel caso di queste due operazioni risultano maggiori e quindi consentono una più omogenea distribuzione del movimento dell'operatore.

Tali considerazioni di carattere puramente visivo, secondo quanto rilevato da indagini sul campo, sono condivise dalla maggioranza degli operatori del settore.

## CAPITOLO 6 PROVE DI PULL OFF

Sui campioni rinforzati con CFRP sono state eseguite prove di pull off per determinare la resistenza a strappo normale del composito applicato in relazione ai vari trattamenti superficiali. (CNR, 2004) [1]. Tali prove sono state eseguite su tutti i campioni di calcestruzzo e su una parte di quelli in tufo. Su quest'ultimo materiale non si hanno, al momento della stesura della tesi, dati sufficienti per tranne delle conclusioni scientificamente valide per cui nel prosieguo del lavoro si farà riferimento esclusivamente alle prove effettuate sul calcestruzzo.

Le prove di pull off sono state eseguite con controstampi circolari del diametro di 50 mm (vedi Figura 6.1) adesi alla superficie tramite un'adesivo epossidico tissotropico bicomponente (Adesilex PG1 prodotto da Mapei S.p.A.) con rapporto di miscelazione in peso 3:1. Prima di eseguire le prove si è atteso almeno 24 ore dopo l'applicazione dei controstampi per permettere alla resina di raggiungere un'adeguata resistenza a trazione.

La superficie su cui è stato incollato il controstampo è stata isolata, attraverso l'incisione con una fresa a tazza, in modo da limitare il test all'effettiva superficie di applicazione del controstampo ed evitare disturbi ed aleatorietà derivanti dalle condizioni al contorno.

Le operazioni di incisione sono state condotte in due fasi distinte. Nella prima si è utilizzata una fresa del diametro interno di 52 mm in modo da incidere il calcestruzzo senza riscaldare il controstampo e l'adesivo ed evitando di disturbare l' FRP posto in opera. Successivamente si è eseguita l'incisione con una fresa di diametro interno 50 mm con il duplice obiettivo di limitare l'area da testare a quella effettivamente presente sotto il controstampo e pulire il controstampo dai residui di resina della fase di incollaggio. L'operazione di incisione in due fasi si rende necessaria al fine di

evitare il surriscaldamento del controstampo. Nella seconda fase infatti, la fresa che aderisce al controstampo esegue l'incisione avvalendosi in parte del solco già eseguito precedentemente e quindi non subisce un eccessivo riscaldamento.



Figura 6.1. Controstampi utilizzati per le prove di pull off

Le prove sono eseguite agganciando al controstampo un martinetto collegato ad un attuatore pneumatico e esercitando la forza di strappo attraverso una pompa manuale mentre un manometro digitale ne misura l'entità. (vedi Figura 6.3).



Figura 6.2. Incisione della superficie



Figura 6.3. Manometro digitale

In seguito alla rottura il controstampo con il relativo fondo di resina e calcestruzzo vengono sganciati dall'alloggiamento e ripuliti attraverso un trattamento termico in grado di far raggiungere all'adesivo epossidico temperature sufficienti a ridurne le caratteristiche resistenti e permettere all'operatore di pulire il controstampo col semplice ausilio di una stecca metallica. In alcuni casi i controstampi sono stati applicati in corrispondenza dei difetti della superficie rilevati prima dell'applicazione della fibra o grazie alle prove termografiche come mostra la Figura 6.4.

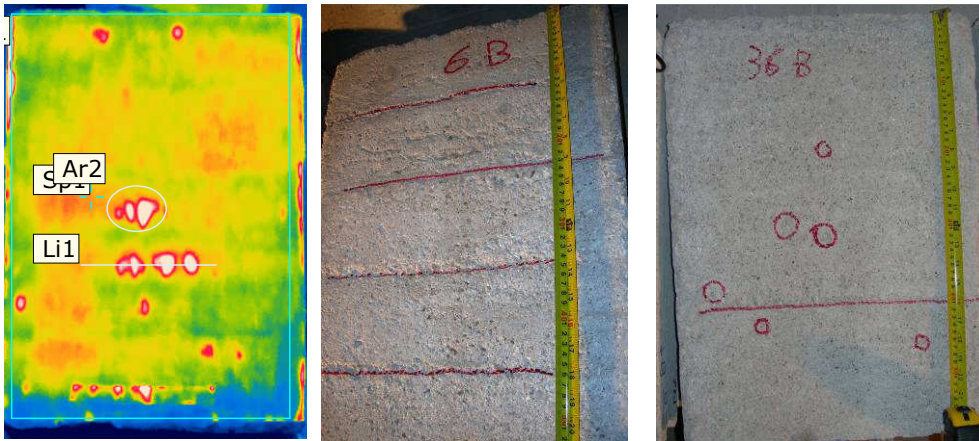


Figura 6.4. Individuazione dei difetti superficiali attraverso l'esame visivo

Tale applicazione ha permesso di confermare la criticità dei difetti del substrato nei confronti dell'aderenza superficiale avendo rilevato, in corrispondenza dei difetti superficiali una riduzione della resistenza di circa il 20% rispetto alle prove eseguite sulle zone integre. Di tutti i campioni eseguiti, una percentuale superiore al 90% ha mostrato una rottura dovuta alla delaminazione superficiale del substrato come mostra la Figura 6.5.



Figura 6.5. Prova di pull Off in cui si è verificata la crisi del substrato

Di seguito si illustrano i risultati delle prove di pull off eseguite sui campioni in calcestruzzo.

### 6.1. Risultati delle prove di Pull Off

I dati ottenuti dalle prove di pull off, relativamente ai campioni in calcestruzzo, mostrano una buona correlazione fra il tipo di trattamento superficiale e la resistenza a strappo normale delle fibre. Come mostrato in Figura 6.6, relativamente ai campioni con  $R_{cm}$  15 MPa, i provini sabbiati hanno mostrato valori più alti della tensione di strappo mentre i provini non trattati hanno fatto rilevare i valori più bassi.

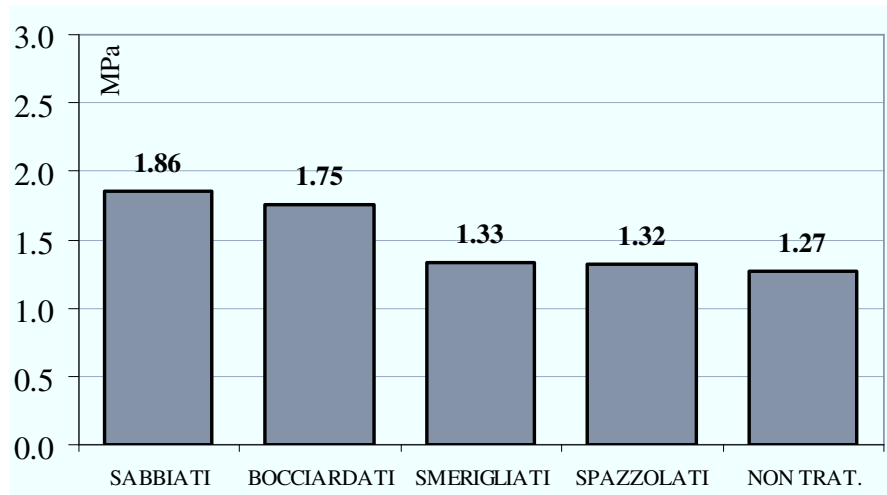


Figura 6.6. Risultati delle prove di strappo per i campioni realizzati con  $R_{cm}$  15 MPa

E' interessante notare come i valori delle lavorazioni meno efficaci sono molto simili tra loro ed inferiori di circa il 30% rispetto quelli rilevati sui campioni trattati con le lavorazioni più efficaci.

Osservando la Figura 6.7, che mostra i risultati delle prove per i campioni realizzati con calcestruzzo  $R_{cm}$  20 MPa, non si nota una distinzione così netta fra i vari tipi di trattamento superficiale. In particolare si nota un valore insolitamente alto rilevato sui campioni non trattati ed al contrario un valore molto basso rilevato sui campioni smerigliati.



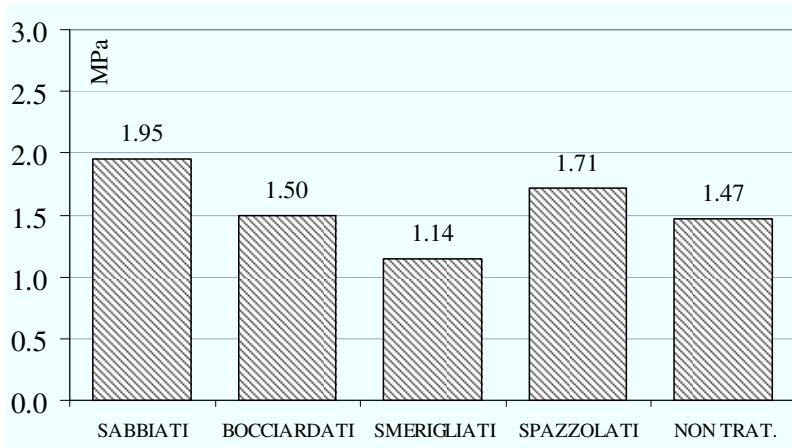


Figura 6.7. Risultati parziali delle prove di strappo per i campioni di calcestruzzo

La resistenza del calcestruzzo non produce differenze sensibili sulla resistenza allo strappo del composito. Tale affermazione è sostenuta dal grafico di Figura 6.8 nel quale i risultati delle prove sui due tipi di campione sono confrontati.

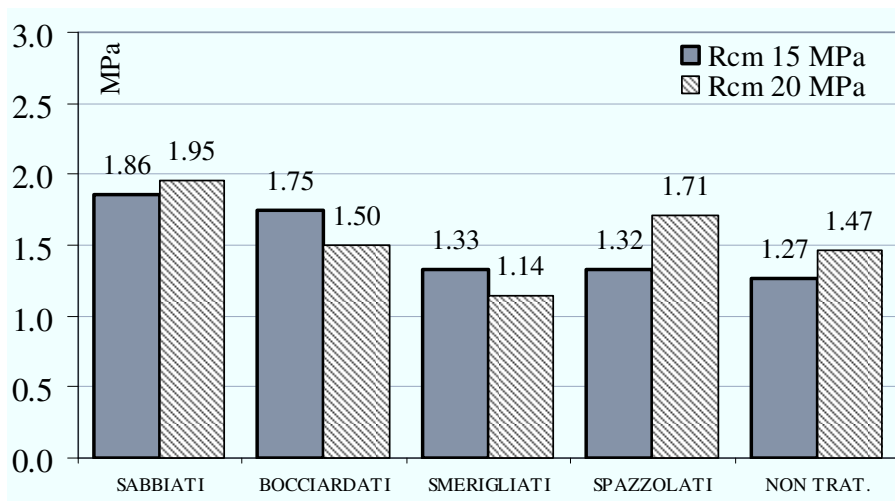


Figura 6.8 - Valori della resistenza per i campioni con  $R_{cm}$  15 MPa ed  $R_{cm}$  20 MPa

Dal grafico non è possibile osservare una netta superiorità della resistenza allo strappo ottenuta dalle prove sui campioni con  $R_{cm}$  20 MPa come sarebbe lecito

aspettarsi. Questo fenomeno potrebbe essere riconducibile alla lieve differenza fra la resistenza a trazione fra due classi di calcestruzzo molto vicine. Inoltre è possibile ipotizzare una minore efficacia dei trattamenti sui campioni con una resistenza media maggiore e quindi una minore incidenza sulla resistenza finale allo strappo.

## 6.2. Confronto con i risultati delle indagini profilometriche

I valori rilevati tramite le prove di strappo sono in accordo con quelli relativi alle indagini profilometriche e ciò è particolarmente evidente osservando il grafico di Figura 6.9 dove tali valori sono confrontati. In esso sulle ascisse sono riportati i valori di  $I_R$  mentre sulle ordinate quelli della resistenza. Per quanto riguarda la resistenza allo strappo ciascun punto rappresenta il valore medio della resistenza ottenuto sui campioni realizzati con  $R_{cm}$  15 MPa per la specifica lavorazione.

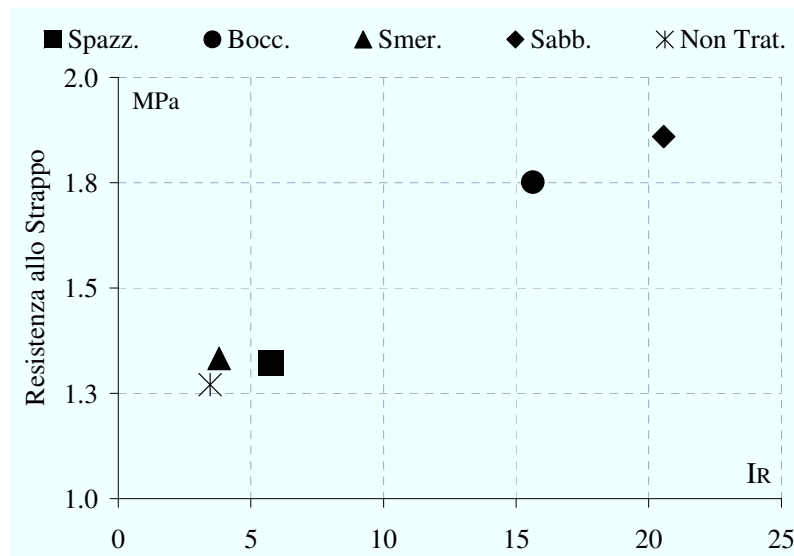


Figura 6.9- Relazione fra  $I_R$  e risultati delle prove di strappo normale -  $R_{cm}$  15 MPa

E' evidente, dal grafico di Figura 6.9, una dipendenza lineare della resistenza dalla rugosità. Tale dipendenza è chiaramente visibile dal grafico seguente nel quale una retta indica la funzione che lega i due parametri. Tale retta è stata ottenuta con una correlazione lineare ed è interessante notare che il valore di  $R^2$  relativo è pari a 0.98. Si

ricorda che  $R^2$  è il quadrato del coefficiente di correlazione. Il coefficiente di correlazione,  $R$ , fornisce la misura della adeguatezza della relazione lineare tra i valori di  $x$  e i valori di  $y$ . Un valore di  $R=1$  indica una esatta relazione lineare tra  $x$  e  $y$ . Valori di  $R$  vicini a 1 indicano un'eccellente accordo tra i dati e la relazione scelta.

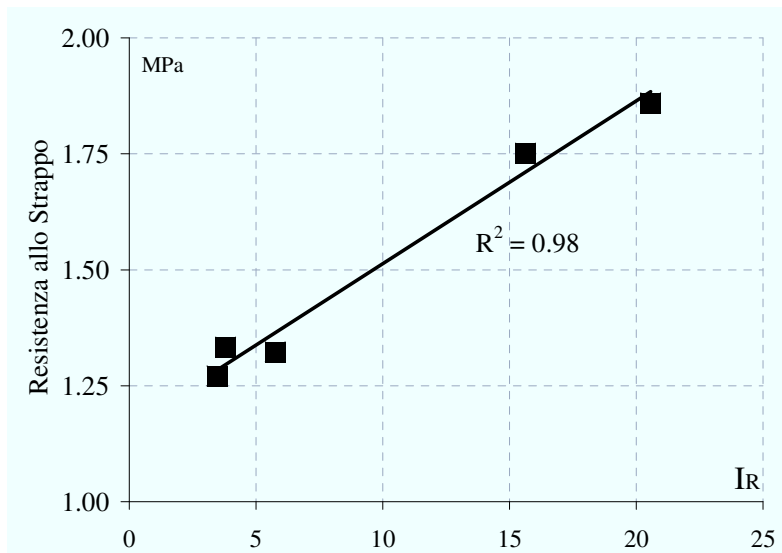


Figura 6.10 – Correlazione fra  $I_R$  e resistenza per  $R_{cm}$  15 Mpa

Si riportano di seguito gli stessi grafici per i provini confezionati con  $R_{cm}$  20 MPa. In questo caso la linearità della relazione che lega i due parametri è meno evidente che nel caso precedente per i motivi esposti nel paragrafo 6.1.

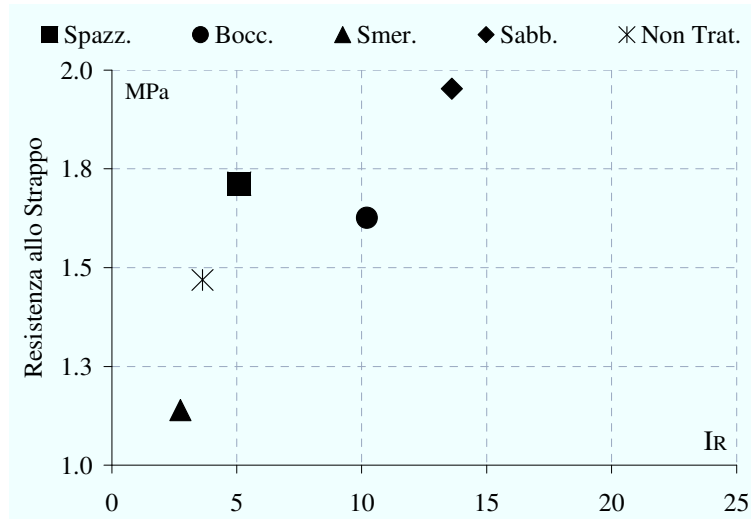


Figura 6.11 - Relazione fra  $I_R$  e risultati delle prove di strappo normale-  $R_{cm}$  20 MPa

La relazione che lega  $I_R$  e la resistenza allo strappo è visualizzabile grazie alla retta ottenuta da una correlazione lineare avente  $R^2 = 0.56$

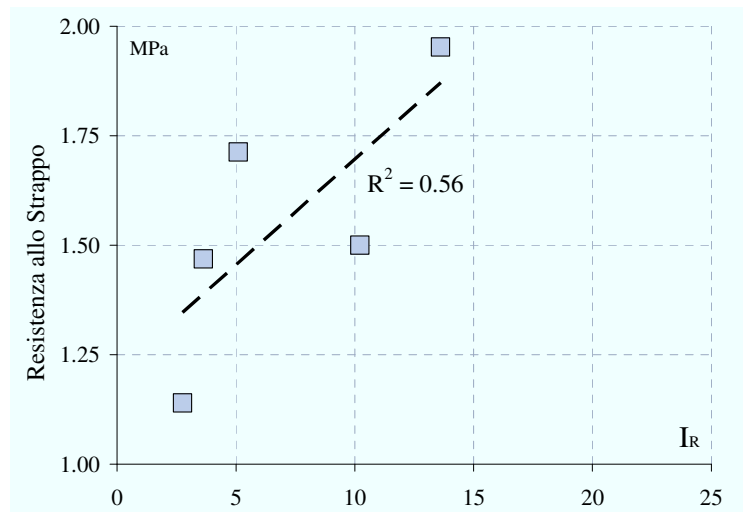


Figura 6.12- Correlazione fra  $I_R$  e resistenza per  $R_{cm}$  20 Mpa

### 6.3. Conclusioni

I risultati delle prove descritte in questo paragrafo fanno luce sulla relazione esistente fra la resistenza allo strappo normale e la rugosità superficiale.

I risultati delle prove confrontati con i valori dell'indice di rugosità dimostrano come un adeguato livello di rugosità migliora l'aderenza del composito alla superficie del calcestruzzo. Inoltre, dal momento che la rugosità superficiale è strettamente legata all'efficacia dei trattamenti superficiali, si evince che quest'ultimi migliorano l'adesione dell'FRP al supporto in ragione del loro grado di efficacia.

Inoltre i risultati non mostrano delle differenze significative in funzione del calcestruzzo utilizzato per il confezionamento. Tale risultato potrebbe essere dovuto alla limitata differenza esistente fra le due resistenze medie utilizzate.

### Bibliografia

- [1] Consiglio Nazionale delle Ricerche *“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”* DT 200 2004

## CAPITOLO 7 CAMPAGNA DI PROVE TERMOGRAFICHE

La termografia all'infrarosso è un metodo di indagine abbastanza diffuso, ben conosciuto nell'industria aeronautica, in particolare per il controllo dei materiali compositi molto simili a quelli utilizzati in edilizia, come ad esempio i compositi in fibra di carbonio (CFRP) o vetro (GFRP) e matrice di resina epossidica.

Per il presente lavoro si è scelto di utilizzare la termografia come tecnica di indagine non distruttiva, per valutare la qualità dell'applicazione dei rinforzi in CFRP e GFRP realizzati sui provini stessi. Per le indagini eseguite presso il laboratorio del DIST è stata utilizzata una termocamera tipo ThermaCam B640 della FLIR System con risoluzione 640x480 di proprietà del Consorzio TRE.

La termografia si basa sul principio secondo il quale ogni corpo emette costantemente energia sotto forma di radiazione elettromagnetica in proporzione al proprio grado di emissività ed alla temperatura specifica e per questo motivo per eseguire le prove i campioni sono stati preventivamente riscaldati con un phon industriale. A causa della differente inerzia termica dei materiali, ad esempio dell'aria presente tra il composito ed il substrato, il calore, indotto mediante riscaldamento artificiale, viene rilasciato in tempi differenti consentendo mediante l'immagine termografica (o termogramma acquisito) di rilevare la presenza dei difetti.

Le prove hanno permesso di valutare la presenza di difetti di applicazione tra il composito ed il substrato nonché di imperfezioni dovute alla discontinuità della superficie del provino. Nella Figura 7.1, che mostra l'immagine di un campione di calcestruzzo dopo essere stato riscaldato, è possibile rilevare la presenza di aree bianche che indicano una temperatura più alta rispetto quella delle zone circostanti, il che è sintomatico della presenza, al di sotto dello strato di FRP, di bolle di aria dovute ad una imperfetta applicazione del composito.

Le immagini e i dati sono stati elaborati al fine di determinare per ciascun provino la posizione e l'entità dei difetti rilevati nonché, dove possibile, la corrispondenza con lo stato superficiale del provino.

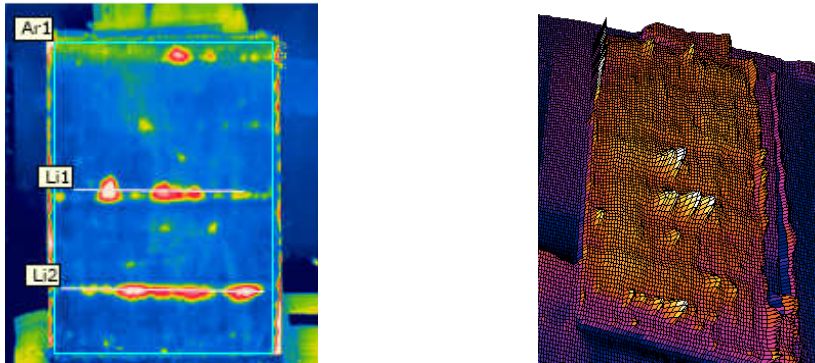


Figura 7.1- Analisi termografica di un campione in c.a.

Nella Figura 7.2 si riporta un esempio delle analisi effettuate, con l'ausilio di un software dedicato, su ciascun provino sia in muratura che in c.a. per un totale di 80 provini.

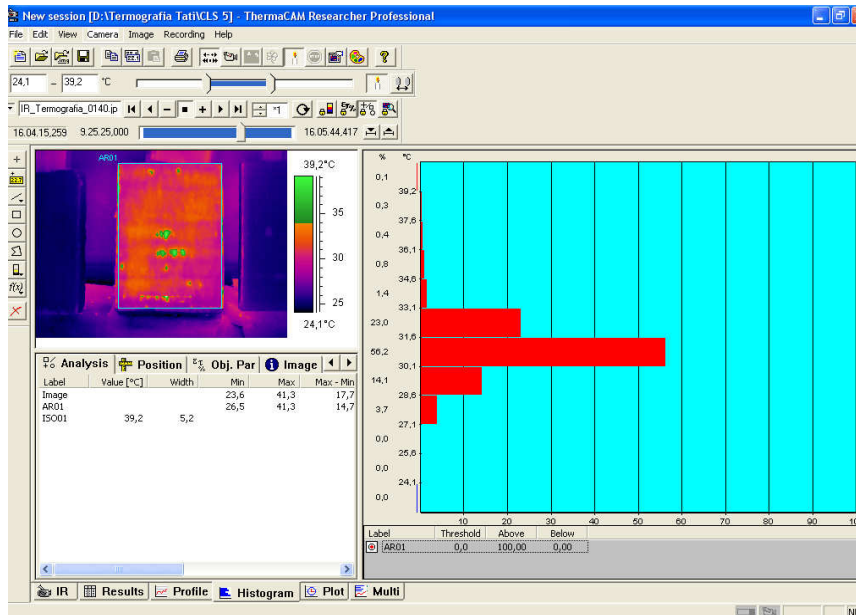


Figura 7.2 - Analisi termografica provino n°5 in c.a. - Profilo termografico

Ogni prova termografica è stata riassunta in una scheda che riporta oltre all'immagine termografica più significativa anche un termogramma relativo a zone particolari del provino, delle fotografie significative di ciascun provino ed una tabella con i parametri più interessanti. Nella scheda mostrata Figura 7.3, come nelle altre realizzate per il calcestruzzo, ogni immagine è associata ad un link che permette di accedere ad un database con tutti dati della singola prova qualora quelli riportati nella scheda non fossero esaustivi.

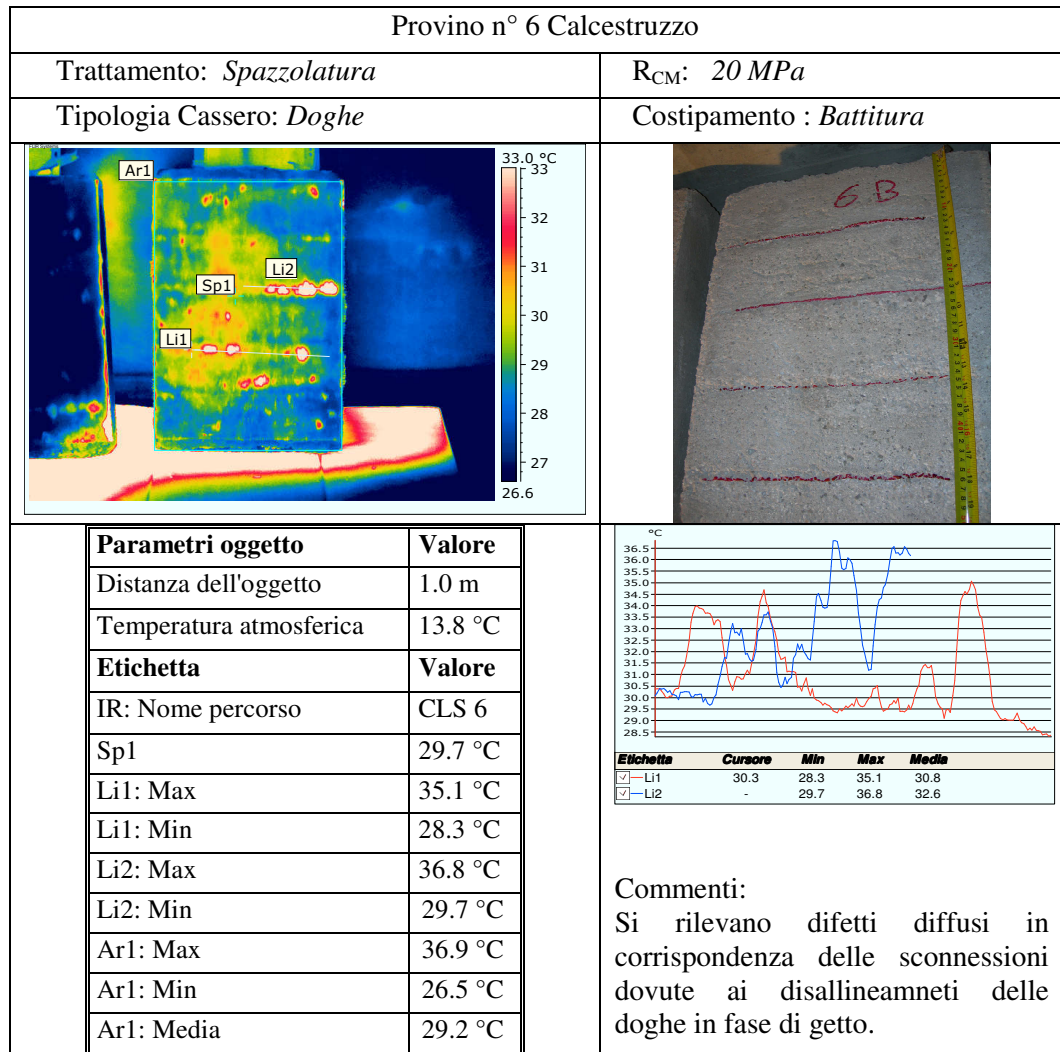


Figura 7.3- Esempio di scheda (Provino n° 6 c.a.)



In essa è riportata la scheda di un provino realizzato con doghe. Dall'immagine termografica sono evidenti zone a temperatura più elevata di colore bianco che rappresentano punti del campione nei quali è presente un difetto. Confrontando tale immagine con quella riportata al centro della scheda, nella quale è riportato il campione prima dell'applicazione dell'FRP, si nota che i difetti sono riconducibili a delle sconessioni della superficie che non sono state riempite totalmente di stucco epossidico. Tali sconessioni sono dovute al disallineamento delle doghe in fase di confezionamento dei provini e, in quanto molto profonde, non sono stati eliminati dalla spazzolatura.

Inoltre Test termografici sono stati eseguiti su provini intenzionalmente realizzati con difetti artificiali all'interfaccia FRP - substrato, con l'obiettivo di valutare l'affidabilità dei risultati attraverso la corretta misura della posizione e della geometria dei difetti.

Tali sono utili per sviluppare una procedura semplificata che permetta di eseguire i test direttamente in sito. Nei seguenti test il materiale composito utilizzato è il tessuto in fibre di carbonio e vetro, applicato con le medesime modalità con le quali sono stati applicati i tessuti per i 40 provini in calcestruzzo relativi alla campagna principale.

## 7.1. Preparazione dei provini

Per ogni tipologia di provino finora utilizzato nella campagna sperimentale (CLS, Tufo Calcarenitico e Tufo Vulcanico) sono stati realizzati 3 provini tra loro identici per tipologia e posizione dei difetti, come illustrato nelle figure seguenti.

I difetti, di cui sono note dimensioni e posizione, sono realizzati con vario materiale e con varie forme e dimensione, con l'intento di avere un insieme variegato di singolarità su cui poter indagare.

La scelta di realizzare 3 provini è legata all'intenzione di valutare l'efficacia della termografia in relazione all'applicazione di materiali diversi.

Nella fattispecie sono stati applicati rinforzi con:

- 1 strato di GFRP;
- 1 strato di CFRP;
- 2 strati di CFRP;

Si riportano di seguito gli esempi di provini realizzati con substrato di calcestruzzo, tufo napoletano e pietra leccese.

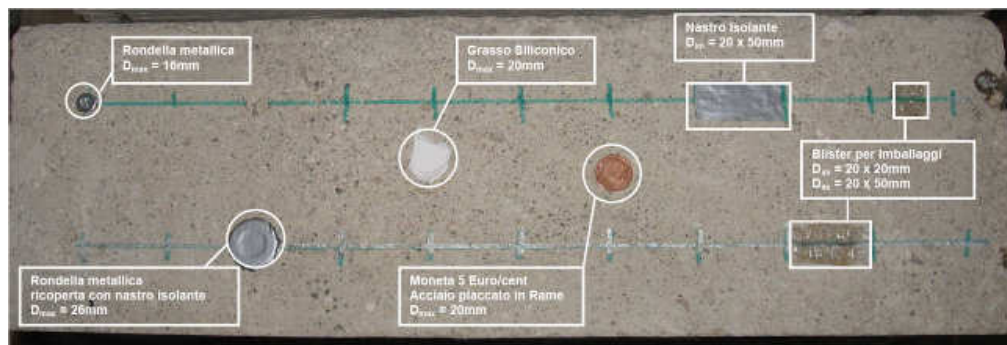


Figura 7.4. Esempio di difetti realizzati su Provino Tipo con substrato in CLS

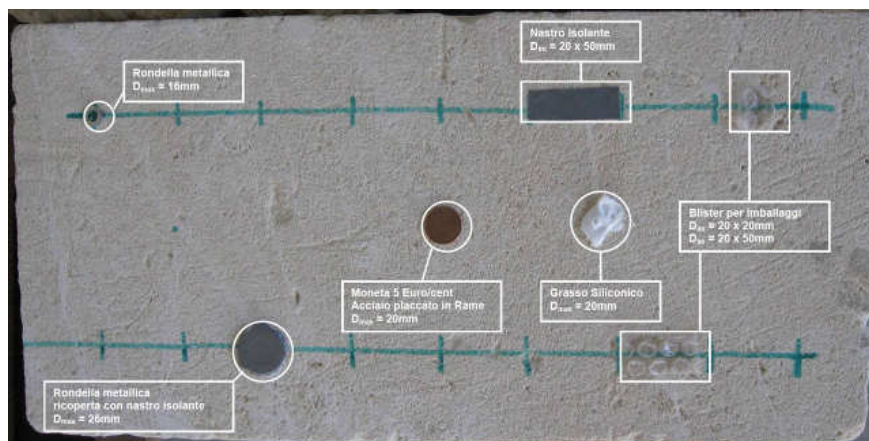


Figura 7.5 Esempio di difetti realizzati su Provino Tipo con substrato pietra leccese

Come visibile dalle immagine, i difetti sono stati realizzati mediante applicazione sul substrato di:

- n° 1 rondella metallica, diametro 16mm;
- n° 1 rondella metallica ricoperta con nastro isolante, diametro 26mm;
- n° 1 moneta da 5 Euro/cent acciaio placcato in rame, diametro 20mm;
- n° 1 striscia di nastro isolante, dimensioni 20 x 50 mm;
- n° 2 strisce plastica per imballaggi tipo Blister (con bolle d'aria), dimensioni 20 x 50 mm e 20 x 20 mm;
- n° 1 difetto di grasso siliconico, diametro 10 mm circa.

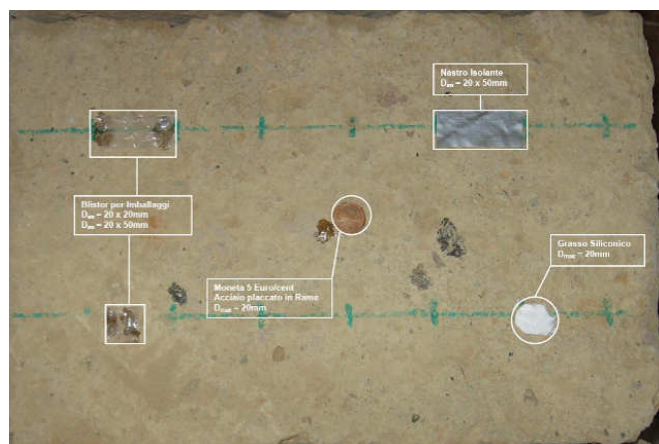


Figura 7.6. Esempio di difetti realizzati su Provino Tipo con substrato in tufo napoletano

Si precisa che:

- Per i Provini in pietra leccese si è replicato lo stesso lay-out di difetti dei provini in CLS , adattandolo alle diverse dimensioni del provino.
- Per i Provini in tufo napoletano il lay-out è stato modificato con l'eliminazione delle rondelle metalliche, non solo per esigenze di superficie, ma anche per valutare se e quanto la presenza di un elemento metallico al di sotto dello strato di composito influenzi la prova termografica.

A valle della realizzazione dei difetti, sono stati applicati i compositi in GFRP e CFRP, a regola d'arte mediante l'utilizzo di prodotti commerciali e secondo la nomenclatura e tipologia riportate nella tabella seguente:

Tipologia Supporto	Tipologia Rinforzo		
	1 strato GFRP	1 strato CFRP	2 strati CFRP
Calcestruzzo	1 - CLS	2 - CLS	3 - CLS
Tufo Napoletano	1 - TN	2 - TN	3 - TN
Pietra Leccese	1 - TC	2 - TC	3 - TC

*Tabella 1: Matrice dei provini con difetti e rinforzati*

## 7.2. Analisi dei risultati

Nella Figura 7.9 è mostrato il termogramma per il campione in calcestruzzo rinforzato con uno strato di GFRP. I rettangoli riportati in figura evidenziano la presenza dei difetti rilevati e corrispondenti a quelli creati intenzionalmente sul provino.

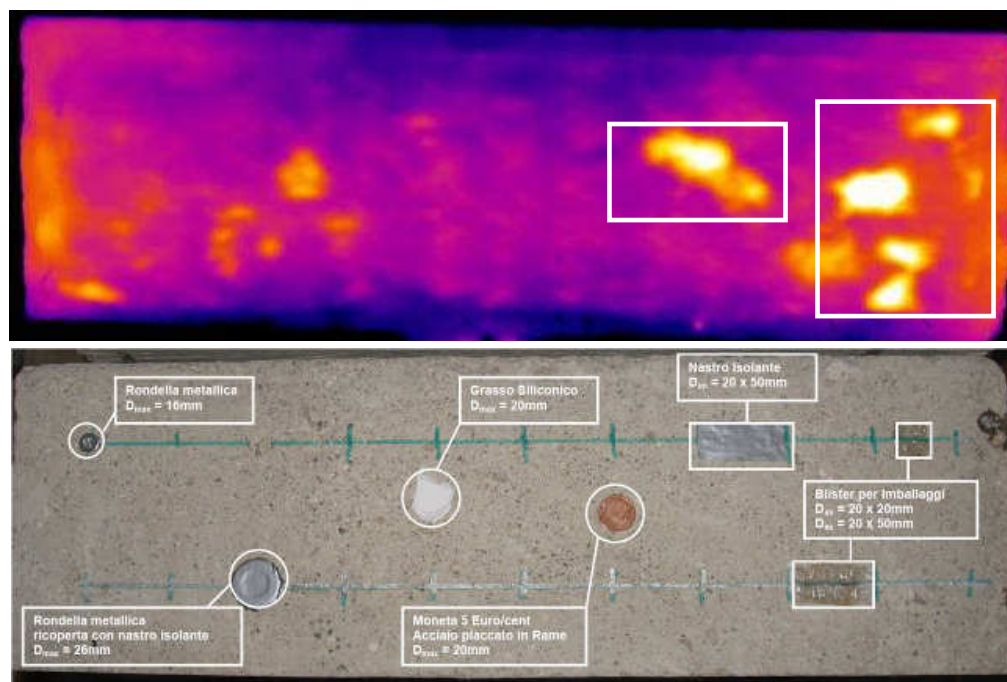


Figura 7.7. Confronto fra termogramma e foto del provino “1-CLS”

In particolare nel rettangolo grande sono contenuti i difetti rilevati in corrispondenza dei blister da imballaggio, ovvero dei difetti che simulano la presenza di bolle d’aria. La presenza in tale zona di aree bianche più estese rispetto la dimensione reale del difetto è dovuta alla difficoltà di far aderire perfettamente il composito sulla superficie del calcestruzzo nella zona compresa fra due difetti. Il rettangolo piccolo invece, indica la presenza del difetto realizzato mediante il nastro isolante. Quest’ultimi risultati l’efficacia dell’indagine termografica su composito con fibra di vetro.

Nella Figura 7.8 è riportato il termogramma del provino in calcestruzzo rinforzato con un solo strato di CFRP.

Anche in questo caso la zona nella quale si rileva la presenza di maggiori anomalie nell'immagine termografica è quella in cui sono presenti le bolle d'aria (blister). Nella zona centrale inoltre, si ravvisa una zona in corrispondenza del difetto creato con il grasso siliconico e con la moneta. Tuttavia non si riesce ad individuare con precisione l'area dei difetti né le sue dimensioni ma soltanto una zona più ampia in prossimità d'essi. Entrambe le rondelle metalliche non vengono rilevate probabilmente a causa delle ridotte dimensioni e del rivestimento con nastro isolante (nel caso della rondella più grande).

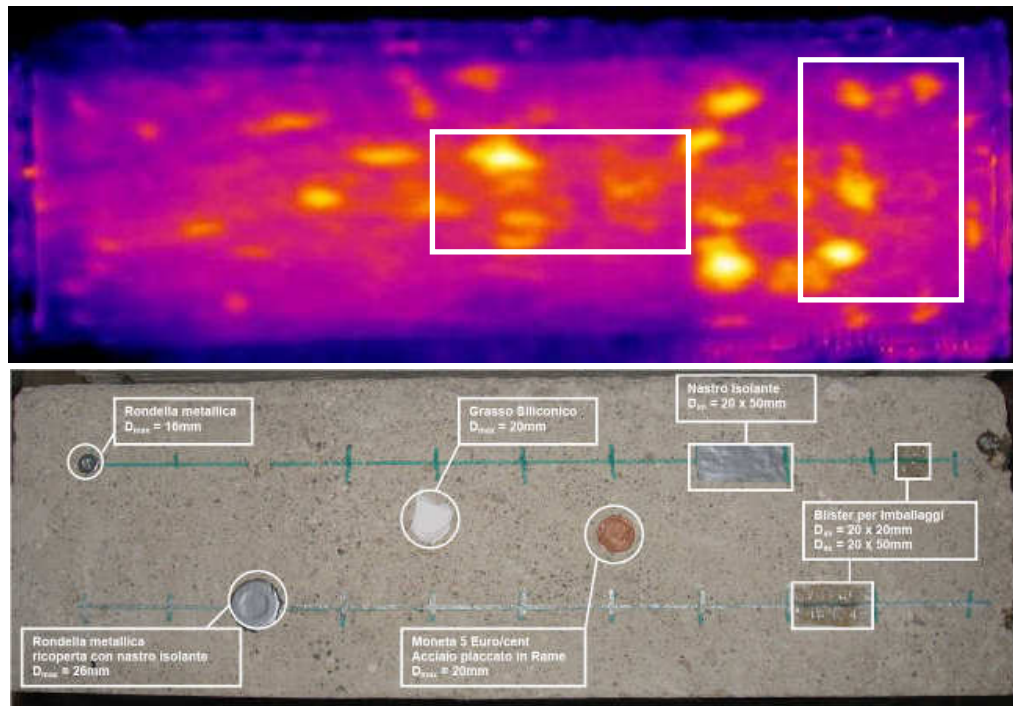


Figura 7.8. Confronto fra termogramma e foto del provino "2-CLS"

Sull'ultimo provino di calcestruzzo preso in considerazione è stato applicato un doppio strato di CFRP.

In questo caso i bordi delle isoterme sono meno nitidi e più difficilmente riconoscibili che nei casi precedenti a causa sia del materiale applicato (carbonio) che dello spessore maggiore dovuto al doppio strato di rivestimento.

Nonostante la minore nitidezza dall'immagine termografica riportata in Figura 7.9 si rilevano delle anomalie diffuse nell'emissività del campione indicando la presenza di un substrato non omogeneo. Tali anomalie sono ancora una volta presenti nella zona con l'applicazione dei blister mentre si ravvisano delle irregolarità presumibilmente in corrispondenza del grasso siliconico e della rondella più grande

L'area del bordo superiore è più chiara in quanto sono presenti lembi di tessuto non perfettamente aderente al substrato, la presenza di aria posteriore viene individuata come difetto, e in effetti tale configurazione favorisce l'applicazione d'estremità dell'FRP.

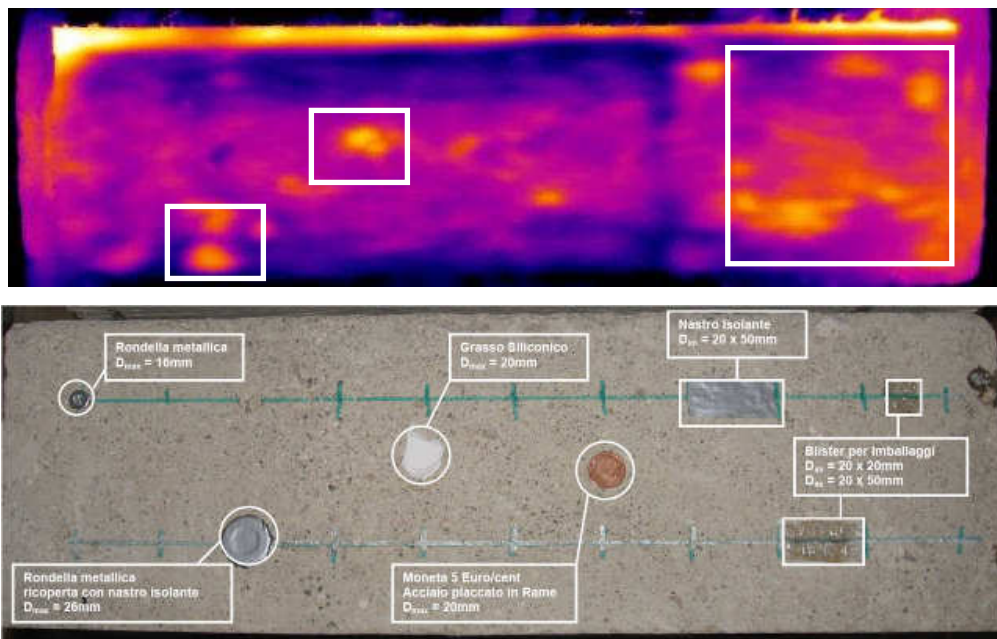


Figura 7.9. Confronto fra termogramma e foto del provino "3-CLS"

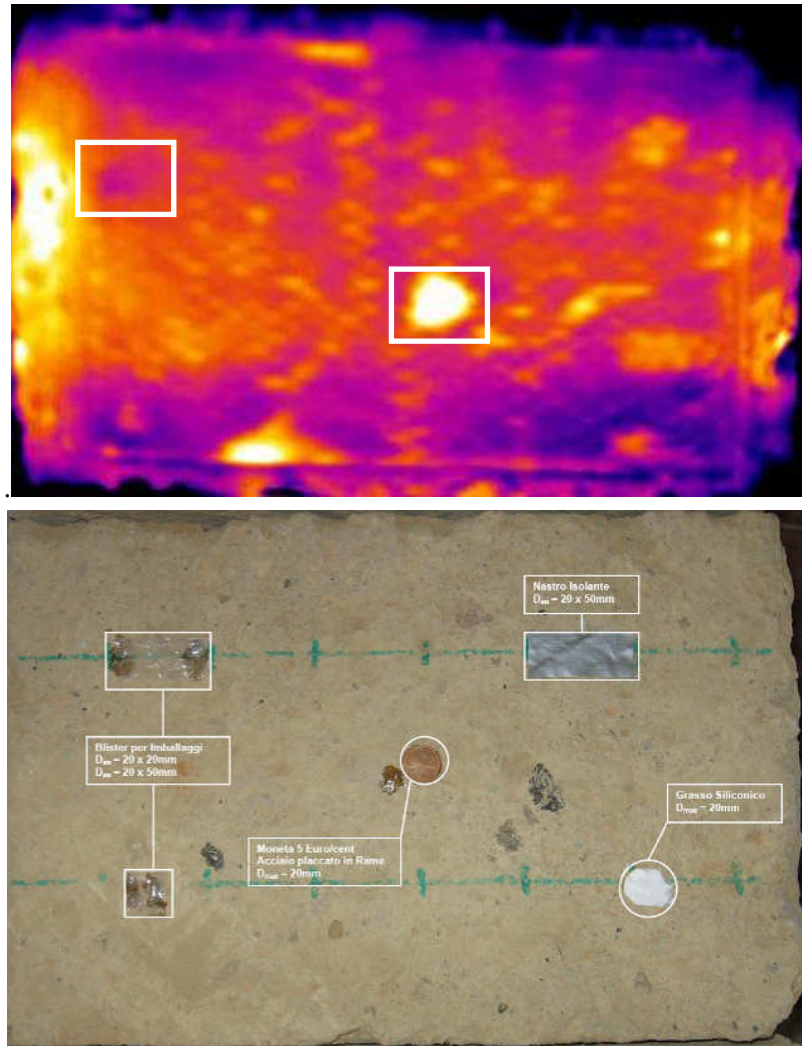


Figura 7.10 Confronto fra termogramma e foto del provino “1-TN”

Il campione “1-TN”, in tufo napoletano, è stato rivestito con uno strato di GFRP. Dalla Figura 7.10 si rileva chiaramente la presenza della moneta al centro del campione ed, in maniera meno evidente, nella parte superiore sinistra del campione la presenza del blister in plastica.

Anche in questo caso si notano delle aree più calde all'estremità dovute all'imperfetta applicazione del tessuto sul campione.



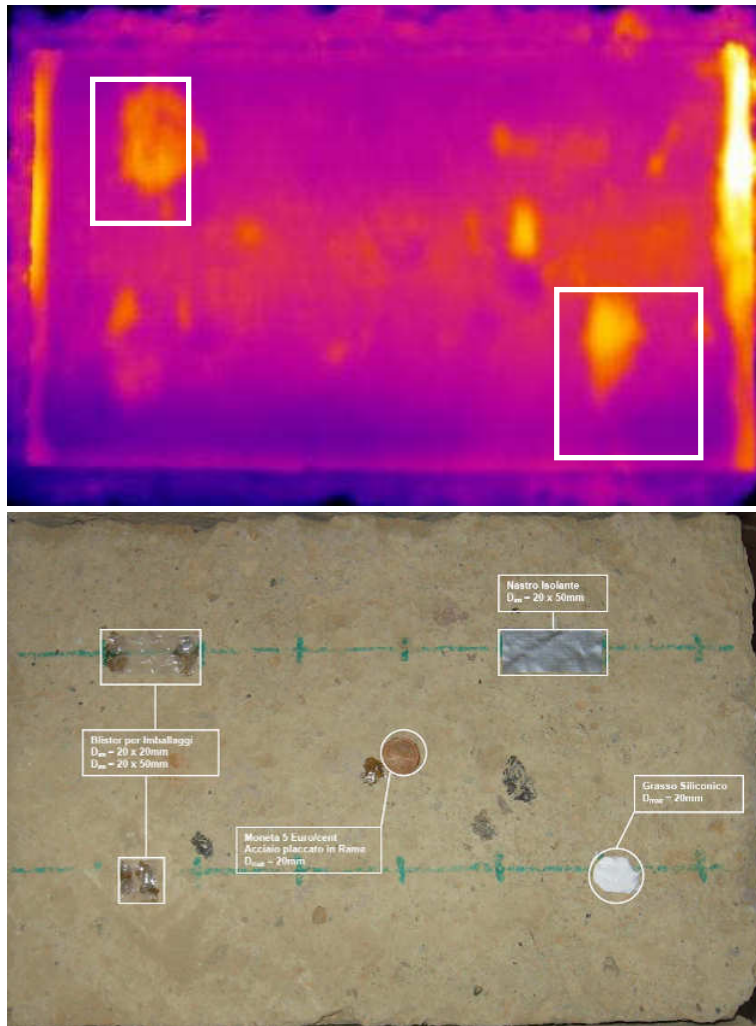


Figura 7.11 Confronto fra termogramma e foto del provino “2-TN”

Il campione “2-TN”, in tufo napoletano, è stato rivestito con uno strato di CFRP. Dalla Figura 7.11 si rileva la presenza di due grosse irregolarità sulla superficie del campione. In alto a sinistra si nota la presenza del blister mentre in basso a destra un difetto provocato dal grasso siliconico. In entrambi i casi l’area individuata ha forma e superficie differenti rispetto il difetto realizzato.

Si rileva inoltre una zona centrale con temperatura lievemente superiore alla media.

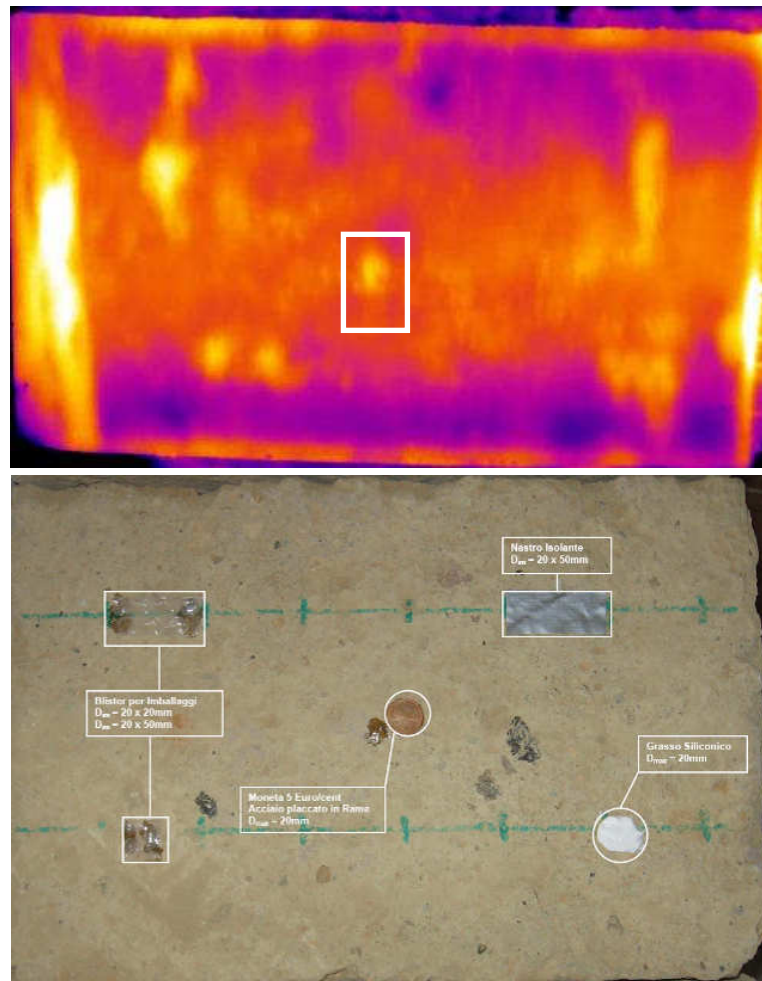


Figura 7.12 Confronto fra termogramma e foto del provino "3-TN"

Dal termogramma mostrato in Figura 7.12 relativo all'analisi del provino 3-TN, rivestito con 2 strati di CFRP, è possibile riconoscere una fascia centrale del campione evidentemente più calda. All'interno di tale fascia è possibile riconoscere il difetto provocato dalla presenza di una moneta e varie altre zone termicamente differenti non riconducibili a nessun difetto specifico. Anche in questo caso, come avviene per il campione in calcestruzzo il doppio strato di carbonio genera un'immagine dai contorni meno nitidi rispetto alle altre immagini.

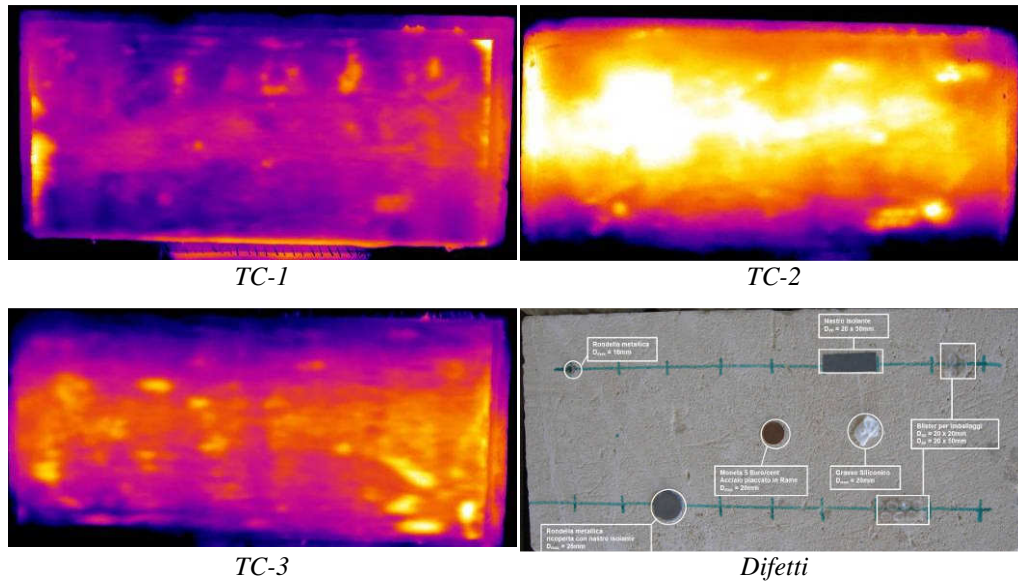


Figura 7.13 Confronto fra termogramma e foto dei provini in tufo calcarenitico

Le indagini termografiche eseguite sul tufo calcarenitico non hanno permesso di evidenziare nessuno dei difetti realizzati prima dell'applicazione. Dalle immagini riportate in Figura 7.13 si notano delle aree con varie temperature ma nessuna ben definita e/o coincidente con i difetti realizzati.

### 7.3. Conclusioni

Le indagini termografiche condotte hanno permesso di evidenziare molti dei difetti di applicazione del rinforzo sui provini confezionati.

In particolare, come visibile dalle schede in allegato, sui campioni in calcestruzzo è stato possibile rilevare la presenza di sconessioni della superficie nonché di bolle di aria presenti a causa di fori profondi presenti sul substrato.

Le indagini condotte sui campioni confezionati con difetti indotti hanno fornito risultati contrastanti.

Se è vero che tali risultati hanno confermato quelli della campagna termografica generale circa la possibilità di utilizzare le prove termografiche anche per i rinforzi in carbonio è anche vero che ne è stata riscontrata la scarsa efficacia nel caso dei campioni in pietra leccese.

Inoltre i risultati alterni che si sono riscontrati anche con i campioni in tufo inducono a pensare che tale tecnica debba essere migliorata per tutti i materiali naturali.

Tuttavia a parziale giustificazione dei risultati ottenuti sui campioni in tufo c'è da sottolineare che il sistema di riscaldamento con phon industriale sebbene più semplice, pratico ed economico, è sicuramente meno efficace di altri sistemi quali quelli ad impulsi con lampade IR (tecnica lock-in) (Grinzato, 2005, 2007) [1] [2]. Ciò spiega in parte anche la minore nitidezza delle immagini eseguite sui campioni con doppio strato di carbonio nei quali il riscaldamento non è stato sufficiente per raggiungere la superficie del campione.

Il sistema di riscaldamento con phon industriale, inoltre, richiede maggiore attenzione da parte dell'operatore che rischia di riscaldare in maniera disomogenea la superficie da testare.

#### Bibliografia

- [1] Grinzato E., Trentin R., Bison P.G., Marinetti S.: "*Control of CFRP strengthening applied to civil structures by IR thermography*"; Thermosense XXIX°, SPIE, Orlando(USA), 2007
- [2] Grinzato E., Marinetti S., Bison P.G., "*Controllo termografico di strutture edili fibrerforzate*" CNR ITC Padova, Conferenza Nazionale AIPnD, Milano, ottobre 2005

## CAPITOLO 8 PROVE DI DELAMINAZIONE DI TIPO STATICO

Nel presente capitolo si descrivono le prove sperimentali di delaminazione di tipo statico eseguite presso il laboratorio LaPS (Laboratorio Prove Strutture) dell'Università di Bologna.

Le prove effettuate possono considerarsi di tipo statico in quanto il carico è stato applicato partendo da un valore nullo con una velocità costante e molto bassa fino al raggiungimento della completa crisi dell'interfaccia.

Per le prove svolte a Bologna sono stati utilizzati dieci provini di calcestruzzo di forma prismatica indicati con le sigle "11B", "12B", "13B", "14B", "15B", "35B", "36B", "37B", "38B" e "39B". Sulla faccia di ognuno dei provini è stato applicato il rinforzo in FRP secondo la consueta tecnica applicativa.

Sono state realizzate complessivamente 10 prove, 2 per ciascun tipo di trattamento superficiale, più 2 su campioni non trattati. La Tabella 8.1 elenca i campioni testati ed il tipo di strumentazione applicata a ciascun campione. Per ogni coppia di campioni, caratterizzati dallo stesso tipo di trattamento superficiale, si è utilizzato un doppia disposizione degli estensimetri in modo da ottenere un quadro completo della deformazione del provino senza rendere le prove eccessivamente lunghe e dispendiose.

Grazie all'utilizzo degli estensimetri è stato possibile misurare la deformazione subita dal tessuto in varie sezioni della lunghezza di ancoraggio per tutti i valori del carico applicato, e analizzare così il trasferimento della forza tra il tessuto e il calcestruzzo.

Prova	Trattamento Superficiale
11B	Spazzolatura
35B	Spazzolatura
13B	Smerigliatura
37B	Smerigliatura
15B	Ness trattam
39B	Ness trattam
12B	Bocciardatura
36B	Bocciardatura
14B	Sabbatura
38B	Sabbatura

Tabella 8.1 – Elenco dei provini testati con prove di delaminazione

Il setup di prova messo a punto dall' Università di Bologna (Savoia et al. 2003) [1], prevede l'applicazione di un sistema in grado di impedire lo spostamento orizzontale sia della placca che del calcestruzzo andando a simulare un vincolo d'incastro nella parte posteriore del provino. In questo modo è stato possibile ottenere un processo di delaminazione stabile, e ricavare dati più attendibili rispetto a quelli ottenuti da prove con una configurazione standard che hanno una delaminazione instabile.

Inoltre, l'incollaggio dei tessuti sulle superfici dei provini eseguito a partire da una distanza dal bordo libero del provino di 100 mm ha permesso di limitare l'influenza di eventuali effetti di bordo sui dati ottenuti.

### 8.1. Caratteristiche dei materiali impiegati e loro preparazione

Sono stati utilizzati provini di calcestruzzo di forma prismatica, aventi una lunghezza di 600 mm ed una sezione trasversale con base e altezza rispettivamente di 200 mm e 150 mm.

I tessuti applicati, dello stesso tipo di quelli utilizzati per l'intera campagna sperimentale, sono in CFRP tipo "MapeWrap C UNI-AX 300" unidirezionali in fibra di carbonio ad alta resistenza con elevato modulo elastico.

L'applicazione del tessuto, illustrata in Figura 8.1, è avvenuta secondo il sistema a secco descritto nel paragrafo 3.3 che prevede l'applicazione di primer – stucco epossidico – resina.



*Figura 8.1 – Posa in opera del tessuto*

## 8.2. Setup di prova e strumentazione utilizzata

Il carico viene applicato mediante delle piastre di afferraggio che collegano l'estremità libera della placca ad un martinetto ad azionamento manuale.

Eventuali spostamenti orizzontali del provino di calcestruzzo nella direzione del carico vengono impediti da un elemento metallico di reazione solidale al telaio, posto sul lato anteriore del provino.

Nella zona posteriore del provino viene invece applicato un particolare sistema di ancoraggio che ne impedisce qualsiasi movimento verticale. Allo stesso supporto metallico viene fissata la lamina nella parte terminale dell'ancoraggio: il fissaggio della lamina avviene mediante l'applicazione di due tasselli, che penetrano anche nello strato superficiale di calcestruzzo per uno spessore di circa 40 mm

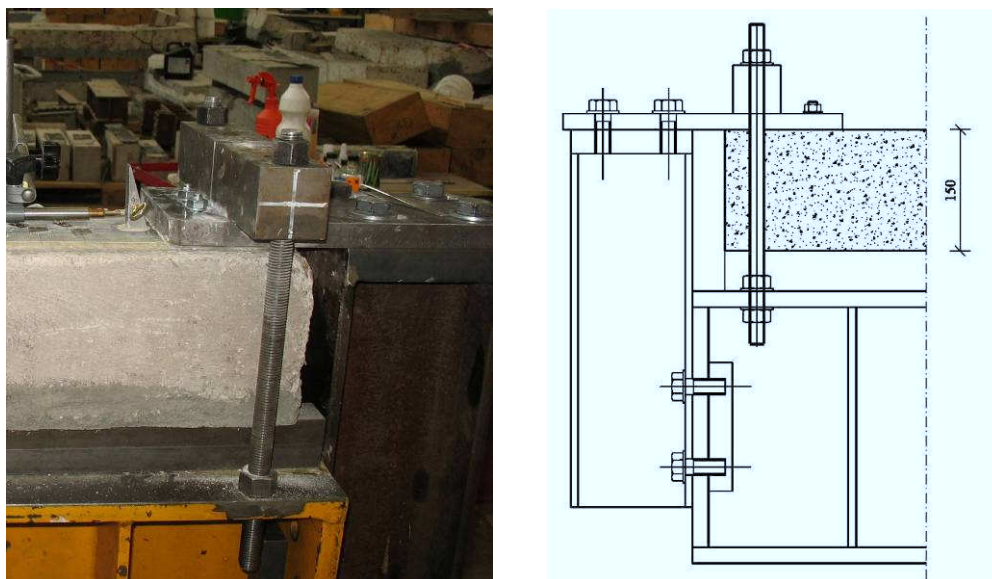


Figura 8.2- Particolare del sistema di fissaggio

In questo modo, nella sezione in cui viene applicato tale sistema, viene impedita qualsiasi traslazione orizzontale, sia della lamina di composito che dello strato di calcestruzzo sottostante. Il set-up adottato differisce da quello classico utilizzato nelle prove di delaminazione descritte in letteratura proprio per l'adozione di quest'ultimo



accorgimento. La delaminazione è, infatti, un meccanismo che si sviluppa in maniera estremamente fragile, a causa del rilascio improvviso dell'energia di deformazione elastica accumulata nei materiali, e quindi la sua osservazione in prove sperimentale risulta essere assai difficoltosa, anche in prove effettuate con controllo di spostamento.

Con questo particolare sistema di ancoraggio, tuttavia, è possibile fare in modo che la delaminazione si manifesti in maniera più "stabile", con una propagazione lungo l'interfaccia più facilmente monitorabile: ciò consente di ottenere dati attendibili anche durante il processo di delaminazione stesso. Inoltre, è stato possibile osservare sperimentalmente il comportamento post-critico della placca, quello che si manifesta, cioè, successivamente al suo completo distacco lungo la zona di ancoraggio.

La strumentazione utilizzata, disposta come mostrato nella Figura 8.3, comprende:

- estensimetri (da 0 a 13 a seconda dei casi come già anticipato), applicati lungo l'asse medio del tessuto, per misurare la distribuzione delle deformazioni lungo la zona di incollaggio.
- cella di carico per misurare il valore della forza applicata istante per istante.
- due Lvdt (linear voltage differential transducer), applicati sul composito, uno all'inizio della lunghezza di ancoraggio (Lvdt 1) e uno alla fine di questa, appena prima del sistema di bloccaggio (Lvdt 2), al fine di misurare l'allungamento della placca ai vari livelli di carico e valutare lo spostamento assoluto della sezione terminale.

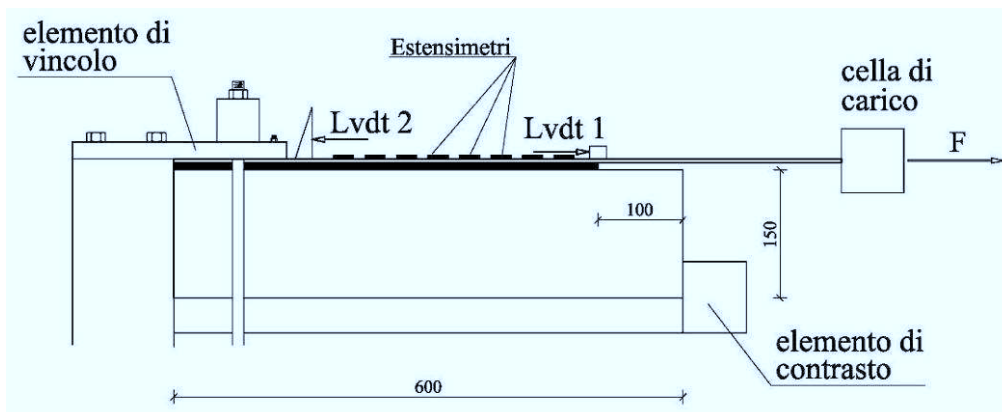


Figura 8.3 - Schematizzazione della prova e disposizione della strumentazione

Le distanze fra i vari componenti della strumentazione sono state rilevate e riportate nella Tabella 8.2 nella quale si fa riferimento alla Figura 8.4 per la comprensione della simbologia.

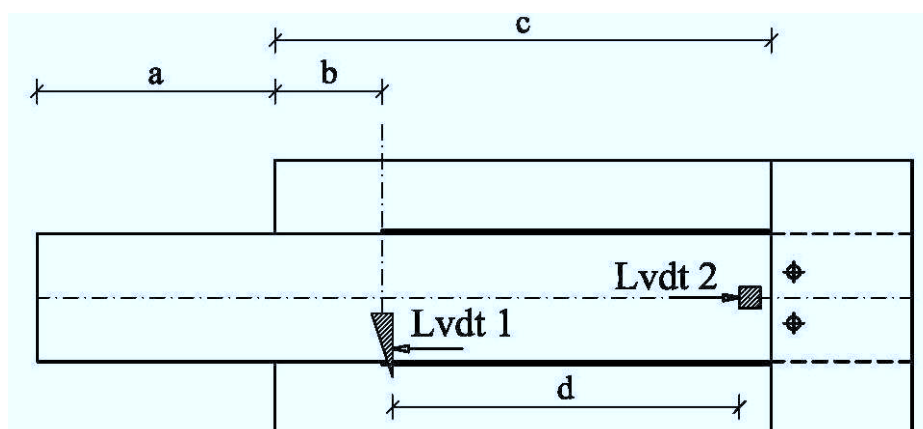


Figura 8.4 - Schematizzazione della prova e disposizione della strumentazione

Prova	$a$ (mm)	$b$ (mm)	$c$ (mm)	$d$ (mm)	Numero di estensimetri
11B	154	100	455	325	11
12 B	189	100	468	345	0
13 B	158	100	480	350	13
14 B	180	100	472	337	0
15 B	190	100	470	362	11
35 B	190	100	475	341	0
36 B	187	100	477	340	11
37 B	165	100	474	345	0
38 B	185	100	470	350	13
39 B	172	100	470	330	0

Tabella 8.2– Disposizione della strumentazione

Si noti che lo schema utilizzato per le prove “13B” e “38B” differisce da quello adottato per le prove “11B”, “15B” e “36B” solo per l’aggiunta di 2 ulteriori estensimetri applicati sulla lamina al di fuori della lunghezza di incollaggio, ad una

distanza dal bordo del provino di calcestruzzo di 30 mm. Questi sono stati incollati lungo l'asse della lamina, uno sulla superficie superiore e uno sulla superficie inferiore, allo scopo di valutare il valore del modulo elastico dell'elemento di rinforzo durante la prova. Averli disposti sulle facce opposte consente di eliminare i possibili contributi deformativi flessionali. Questi potrebbero insorgere in seguito ad una variazione della configurazione di partenza dovuta alla deformazione dei materiali (in particolar modo del provino di calcestruzzo) o ad imperfezioni di varia natura tra cui la non perfetta orizzontalità delle piastre di afferraggio o del piano d'appoggio fornito dal telaio oppure ad irregolarità presenti sulle superfici dei provini di calcestruzzo (irregolarità riscontrate realmente nei provini). Inoltre, può intervenire anche una non perfetta regolazione dell'altezza del martinetto da cui può dipendere un dislivello tra la quota del piano medio dell'elemento in FRP e l'asse della forza applicata.

La Figura 8.5 e la Figura 8.6 mostrano il set-up completo con tutta la strumentazione già applicata per l'esecuzione di una delle prove con gli estensimetri.



Figura 8.5 - Set-up completo – Vista dall'alto

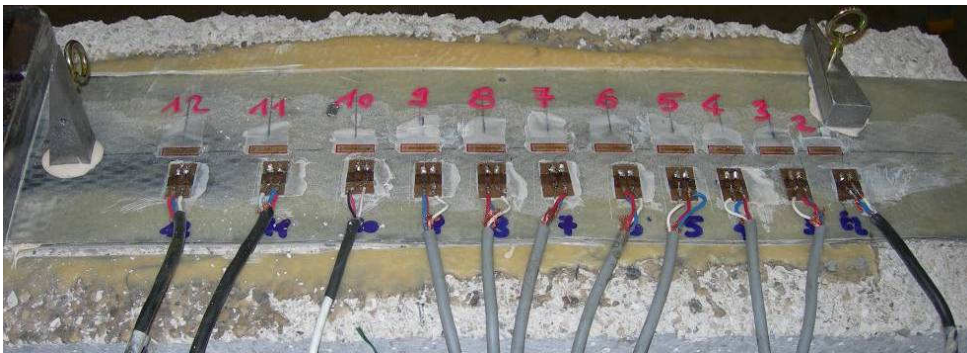


Figura 8.6 - Set-up completo - Vista frontale

I tessuti sono stati incollati sui provini di calcestruzzo per una lunghezza pari a 500 mm, a partire da una distanza dal bordo del provino di 100 mm. Questo accorgimento è stato adottato al fine di limitare l'influenza di eventuali effetti di bordo in modo che i dati ottenuti siano rappresentativi dell'effettivo comportamento dei materiali testati.

L'assenza di una zona "libera" tra il bordo del campione e l'inizio della lamina incollata genera un'elevata concentrazione di tensioni di trazione a livello del supporto (Figura 8.7) che porta ad una crisi precoce con distacco di una porzione del provino di calcestruzzo. (Teng et al, 2005) [2]; (Mazzotti et al, 2006) [3]

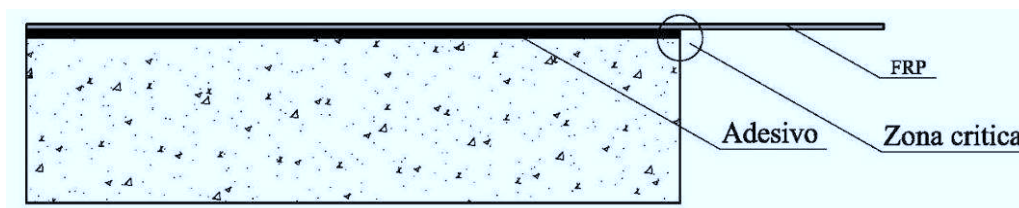


Figura 8.7 Lunghezza di incollaggio in prove di delaminazione descritte in letteratura

### 8.3. Esecuzione delle prove

Nel corso della prova una forza di trazione è stata applicata all'estremo libero della lamina mentre, in tempo reale, il sistema di acquisizione registrava i dati forniti dai canali utilizzati per la strumentazione, suddivisi in:

- ingressi dati per gli estensimetri (da 0 a 11 o 13)
- due ingressi dati per gli LVDT
- un ingresso dati per la cella di carico

Prima dell'inizio di ciascuna prova è stato eseguito un ciclo di carico e scarico fino al valore di 3 kN per permettere l'assestamento della strumentazione utilizzata e verificare la stabilità del provino sul telaio evitando rotazioni o movimenti non desiderati durante la prova.

Dopo aver compiuto l'iniziale ciclo di carico e scarico si è dato inizio alla prova incrementando la forza in modo continuo e regolare fino all'innescio del meccanismo di delaminazione, sopraggiunto per valori del carico diversi a seconda del tipo di

lavorazione superficiale eseguita sul campione. In questa fase è stato possibile osservare il progressivo distacco della lamina dal provino lungo la lunghezza di incollaggio, meccanismo che si è propagato a partire dalla zona più vicina all'estremità caricata.

Il carico è stato incrementato fino al completo distacco della lamina per valutare il comportamento post picco del composito ed analizzare la superficie lungo la quale è iniziata la crisi. La Figura 8.8 mostra il confronto fra le superfici delle lamine dopo il distacco.



Figura 8.8 – Confronto tra le superfici del tessuto dopo il distacco dal supporto

La Figura 8.9 mostra un'altra prospettiva del calcestruzzo adeso al tessuto dopo la delaminazione. Essa mostra la differenza fra la quantità di calcestruzzo "strappata" dal supporto in corrispondenza di ciascun trattamento. Da questo confronto è immediato notare come le lamine applicate ai campioni sui quali sono state effettuate le lavorazioni più efficaci (vedi CAPITOLO 5) abbiano una maggiore quantità di calcestruzzo, viceversa quelle applicate su campioni non trattati o con i trattamenti meno invasivi abbiano una quantità minore di calcestruzzo.



*Nes Tratt. Smerigl. Spazzol. Bocciard. Sabbiat.*

*Figura 8.9- Confronto fra la quantità di calcestruzzo adesa al tessuto dopo il distacco*

Questa osservazione trova una spiegazione nel fatto che nell'esecuzione delle lavorazioni più efficaci l'asportazione dello strato esterno incoerente di calcestruzzo e l'affioramento in superficie degli inerti è maggiore e pertanto lo spazio tra gli inerti è maggiore. Questo spazio libero viene occupato, nella fase di applicazione, dalla resina,

garantendo in questo modo un efficace meccanismo di ancoraggio. Ne segue che la crisi per aderenza sopraggiunge con l'asportazione di uno strato consistente di calcestruzzo e la zona interessata da questo fenomeno presenta un grado di scabrezza superficiale molto accentuato. Nel caso degli altri trattamenti si ottengono comunque risultati soddisfacenti.

La spazzolatura e la smerigliatura danno risultati circa uguali nella quantità di calcestruzzo asportato.

#### 8.4. Calcolo del modulo elastico E

Le prove sui campioni 13B e 38B sono state strumentate con due estensimetri supplementari, posti nella parte libera dei tessuti, con lo scopo di misurare sperimentalmente il modulo elastico del tessuto.

Il calcolo del modulo elastico è stato eseguito grazie ad una regressione lineare sulla funzione  $\sigma(\varepsilon)$  ricavata dai valori medi dei due estensimetri.

Il valore della  $\sigma$  è stato ricavato dal rapporto fra la forza applicata alla lamina e l'area stessa della lamina ovvero dall'equazione:

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

Dove N è il carico in Newton relativo alla curva considerata e A è l'area della lamina,  $A = 16.6 \text{ mm}^2$ , calcolata come lo spessore equivalente  $t = 0.166 \text{ mm}$  per la sua larghezza pari a  $100 \text{ mm}$ . Nel grafico di Figura 8.11 è rappresentato il comportamento  $\sigma - \varepsilon$  del tessuto applicato ricavato considerando la media delle deformazioni fornite dai due estensimetri. La linea continua rappresenta la funzione  $\sigma(\varepsilon)$  mentre quella tratteggiata la regressione lineare che ha equazione  $y = 247340 \cdot x$  ed  $R^2$  pari a 0.99.

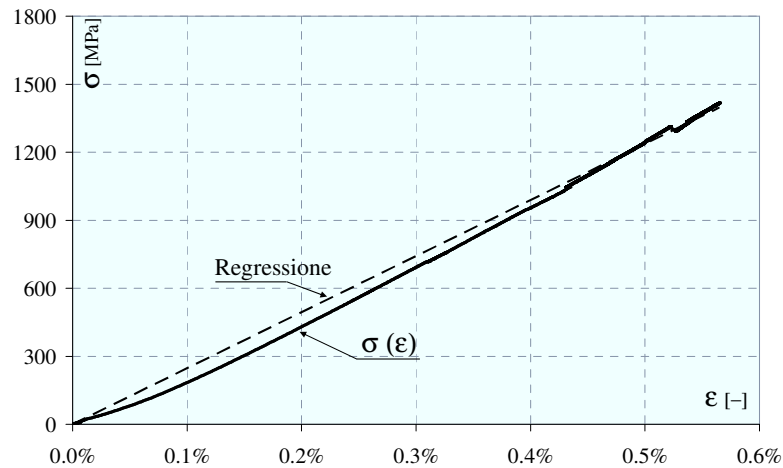


Figura 8.10- Legame  $\sigma - \varepsilon$  del provino 14B

Nel grafico di Figura 8.11 è rappresentato il comportamento  $\sigma - \varepsilon$  del tessuto applicato sul campione 14B ricavato come nel caso precedente. La regressione lineare ha equazione  $y = 266980 \cdot x$  ed  $R^2$  pari a 0.99.

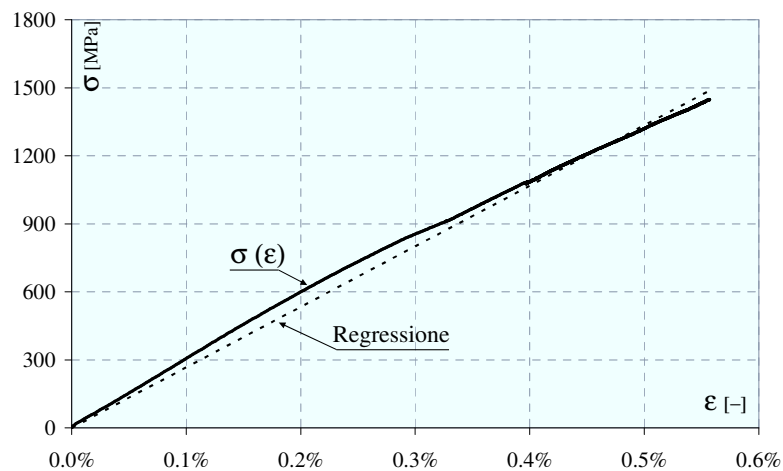


Figura 8.11- Legame  $\sigma - \varepsilon$  del provino 14B

Il valore medio del modulo elastico pertanto vale 257160 MPa. La scheda tecnica del tessuto utilizzato indica un modulo elastico di 230000 MPa.



## 8.5. Risultati sperimentali

Per ciascuna delle prove realizzate si riportano nel seguito il diagramma forza allungamento calcolato come differenza fra le letture dei due LVDT. A tal proposito si noti come l' LVDT posizionato vicino al lembo vincolato del provino registra delle deformazioni molto limitate. Ciò è dovuto al corretto funzionamento del sistema di ancoraggio del campione ed al meccanismo di delaminazione che inizia gradualmente dal punto più vicino all'applicazione della forza.

La funzione forza-spostamento riportata nei grafici seguenti ha in genere un primo tratto linearmente crescente fino ad un valore della forza pari al 70% circa della forza di delaminazione, un secondo tratto con andamento oscillante intorno ad una linea orizzontale nel quale si attivano i meccanismi di delaminazione, ed un terzo tratto nuovamente lineare crescente. Quest'ultimo tratto è dovuto al completo distacco del rinforzo dal supporto e alla sollecitazione della sola lamina ancorata nell'estremità opposta a quelle in cui viene sollecitata. I grafici vengono interrotti all'inizio del secondo tratto lineare ma in realtà si è proceduto con la sollecitazione fino ad avere la certezza del completo distacco della lamina e si è continuato con la registrazione fino al completo scarico del provino. In ciascun grafico è riportato il valore medio della forza di delaminazione ottenuto come media dei valori medi dei due campioni che hanno subito lo stesso trattamento superficiale.

Naturalmente, quello descritto nei successivi grafici non corrisponde completamente al reale comportamento del materiale dal momento che ciò equivarrebbe ad ammettere che il punto di misura, per effetto del carico applicato, si sposta in alcuni casi nella direzione opposta rispetto allo stesso carico. Tali misurazioni sono affette in realtà da lievi imprecisioni dovute al sistema di misurazione ed alle modalità con cui il processo di delaminazione si propaga lungo la lunghezza di incollaggio.

Come visualizzato nella successiva Figura 8.12, il distacco della lamina dal calcestruzzo non avviene con un semplice scorrimento relativo tra le parti; in realtà il meccanismo è accompagnato anche da un innalzamento della lamina (peeling) che provoca una rotazione dell'elemento metallico incollato sulla lamina stessa: ciò determina uno spostamento della sonda dell'LVDT nella direzione opposta a quella del carico.

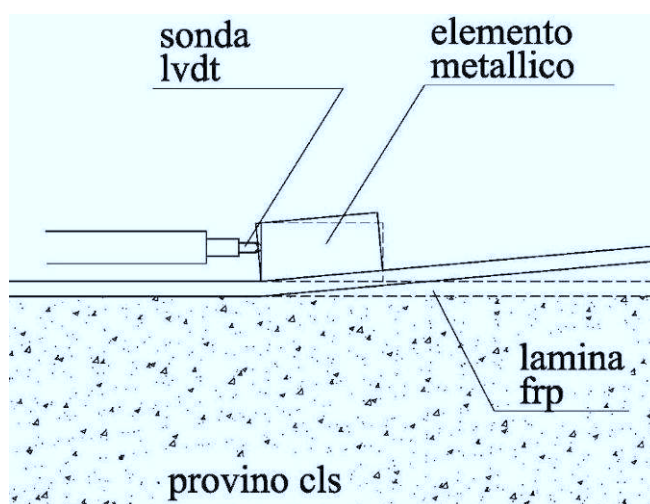


Figura 8.12-Propagazione del meccanismo di delaminazione con innalzamento della lamina

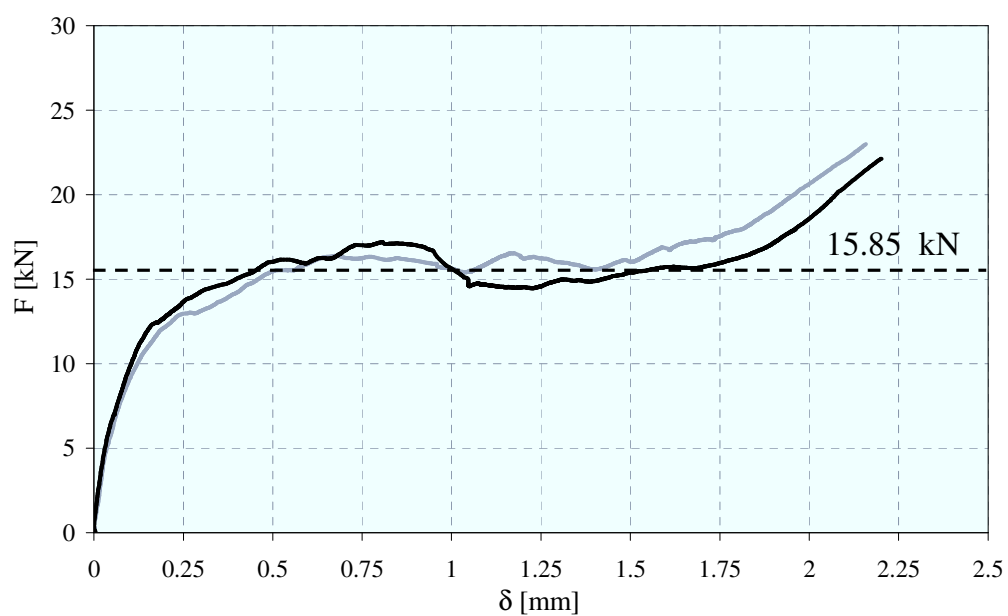


Figura 8.13 - Forza - Spostamento campioni spazzolati

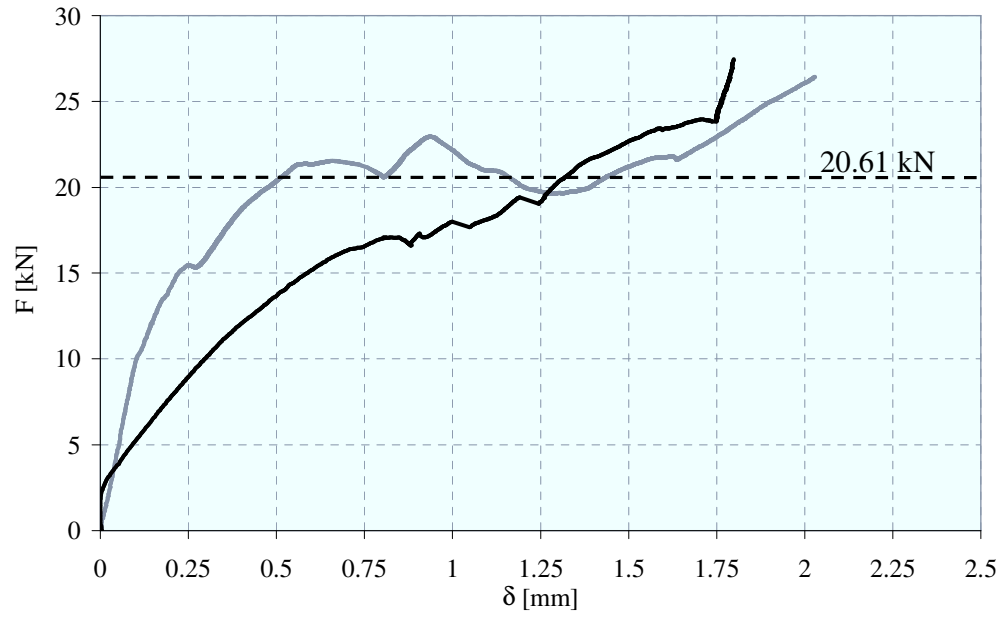


Figura 8.14 - Forza - Spostamento campioni bocciardati

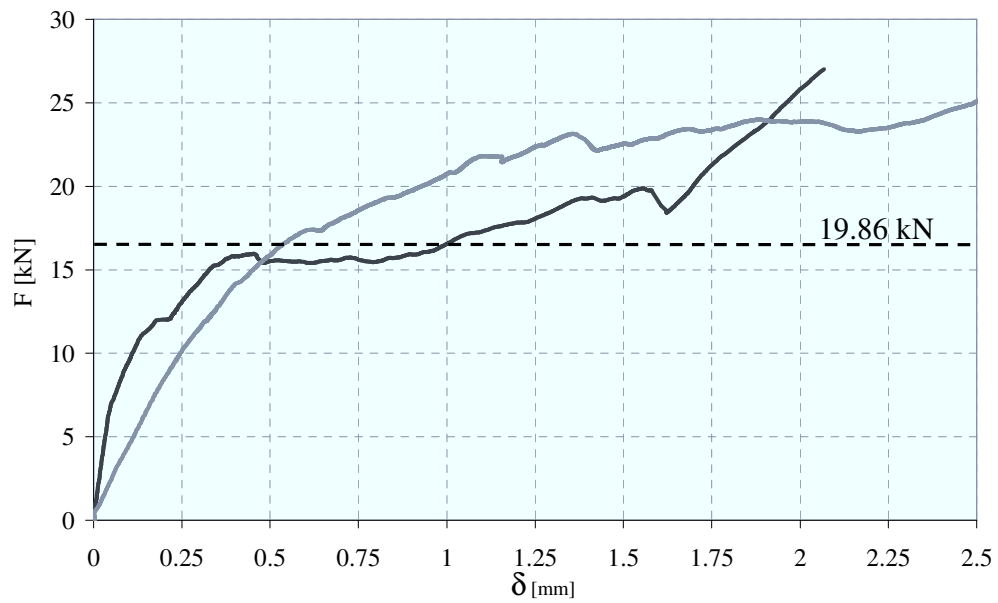


Figura 8.15 - Forza - Spostamento campioni smerigliati

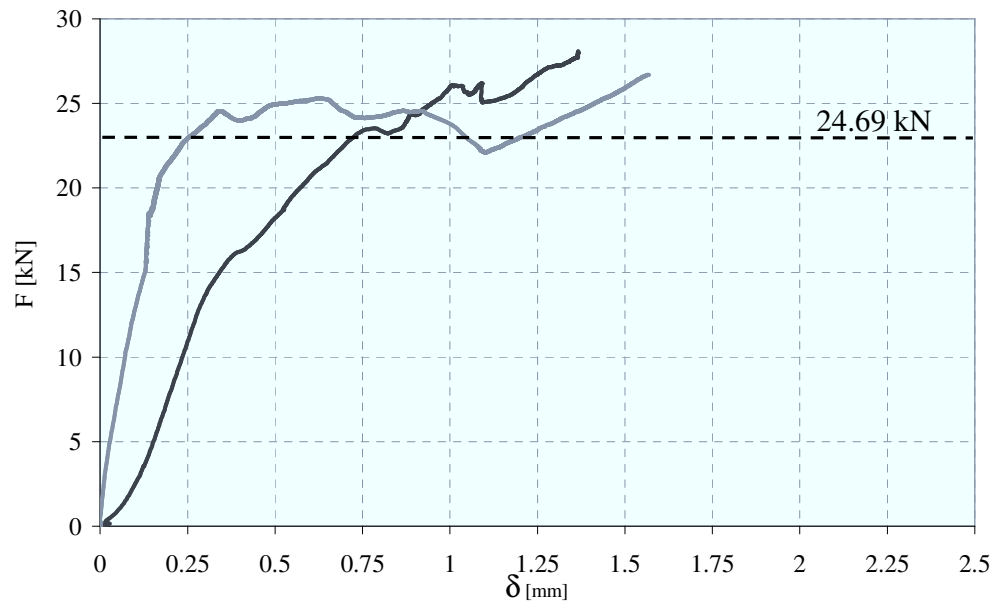


Figura 8.16 - Forza - Spostamento campioni smerigliati

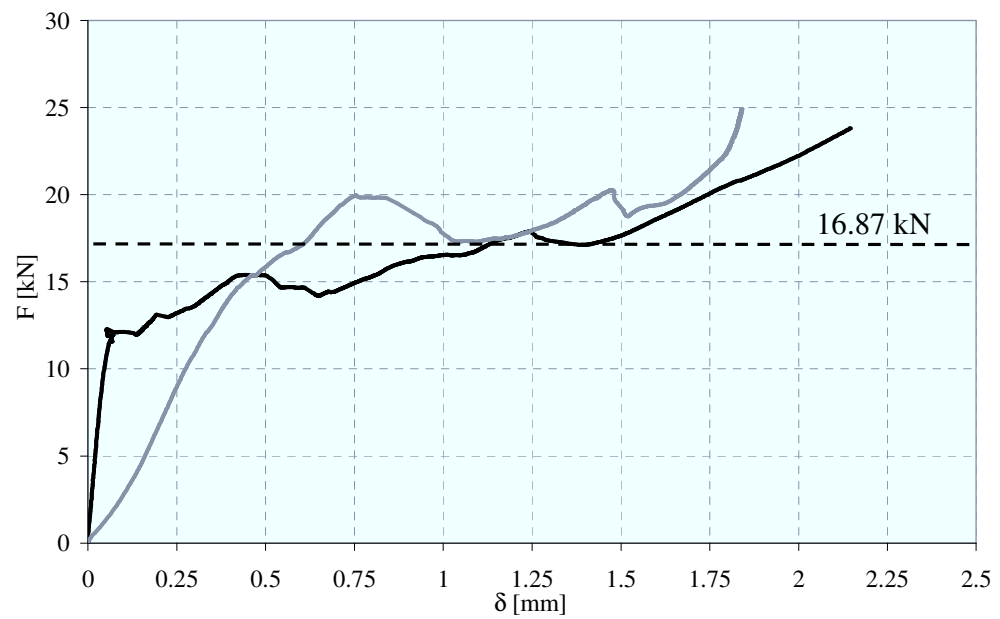


Figura 8.17 - Forza - Spostamento campioni non trattati

La Tabella 8.3 mostra in sintesi i risultati in termini di forza ottenuti dalle prove di delaminazione. Si ricorda che per ciascun trattamento si è testato un campione realizzato con  $R_{cm}$  15 MPa ed uno realizzato con  $R_{cm}$  20 MPa.

	Prov.	F media	Media	F max	Media
SABBIATURA	14	2430	2470	2531	2574
	38	2509		2617	
SMERIGLIATURA	13	2287	1987	2401	2194
	37	1686		1987	
BOCCIARDATURA	12	2012	2061	2399	2348
	36	2111		2297	
SPAZZOLATI	11	1538	1585	1804	1762
	35	1632		1720	
NN TRATTATI	15	1873	1688	2027	1908
	39	1503		1789	

*Tabella 8.3- Risultati delle prove di delaminazione*

I valori indicati nella tabella precedente sono graficizzati nella Figura 8.18 nei quali sono riportati con campitura continua i valori relativi ai campioni confezionati con calcestruzzo  $R_{cm}$  15 MPa e con campitura a strisce quelli relativi ai campioni con calcestruzzo  $R_{cm}$  20 MPa.

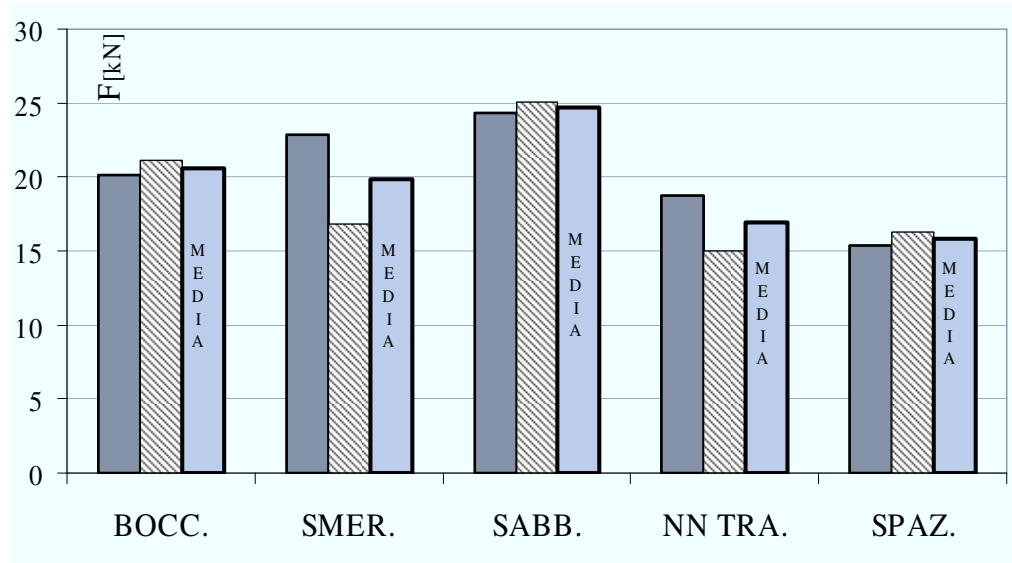


Figura 8.18- Valori medi e massimi della forza di delaminazione per ogni trattamento

E' evidente che i trattamenti più efficaci quali quelli di sabbatura e bocciardatura corrispondono ai valori maggiori della forza di delaminazione mentre quelli meno efficaci, quali la smerigliatura e la spazzolatura, corrispondono ai valori minori, addirittura inferiori a quelli dei campioni non trattati.

Tale risultato è riconducibile alla presenza negli strati superficiali di lattime di cemento e di materiale incoerente entrambi con scarse caratteristiche meccaniche. Tali parti deboli del calcestruzzo vengono eliminate dai trattamenti superficiali quando questo hanno una buona efficienza. I trattamenti meno efficaci quali la spazzolatura e la smerigliatura non eliminano completamente tali strati superficiali ed inoltre ne riducono la rugosità. Ne derivano dei valori della forza di delaminazione bassi o addirittura inferiori a quelli dei campioni non trattati. Inoltre la presenza in superficie degli inerti più grossi, come avviene nel caso dei campioni sabbati garantisce una superficie di adesione maggiore e più stabile di quanto non avviene per i campioni dove in superficie troviamo inerti di dimensioni minori.

Tali risultati assumono un maggiore interesse se visti in confronto ai dati rilevati su  $I_R$ .

### 8.6. Confronto fra i valori di $I_R$ e delle prove di delaminazione

I valori dell'indice di rugosità vengono confrontati nel presente paragrafo con quelli ricavati dalle prove di delaminazione di tipo statico.

Si ricorda che dei 10 campioni sottoposti a prova di delaminazione 5 sono stati confezionati con calcestruzzo di resistenza  $R_{cm}$  15 MPa e 5 con calcestruzzo di resistenza  $R_{cm}$  20 MPa.

La Figura 8.19 mostra la correlazione fra i valori delle prove di delaminazione, riportati in ordinate, ed i valori dell'indice  $I_R$  in ascisse. Fatta eccezione per il valore del campione smerigliato realizzato con calcestruzzo  $R_{cm}$  15 MPa e cerchiato in figura, a valori bassi di  $I_R$  corrispondono valori bassi della forza di delaminazione.

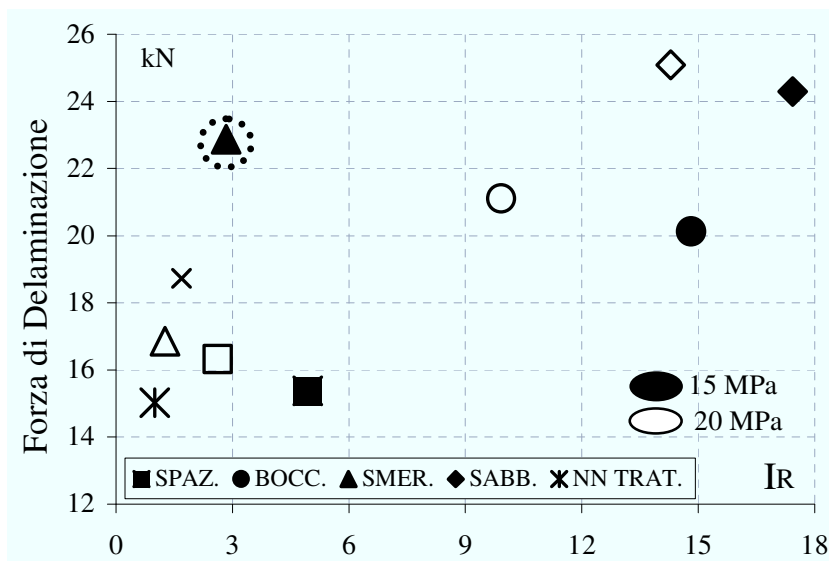


Figura 8.19- Relazione fra i valori di  $I_R$  e della forza di delaminazione

Il grafico di Figura 8.20 mostra la stessa correlazione considerando per la forza di delaminazione il valore medio dei due provini ovvero eliminando la distinzione per la resistenza media del calcestruzzo.

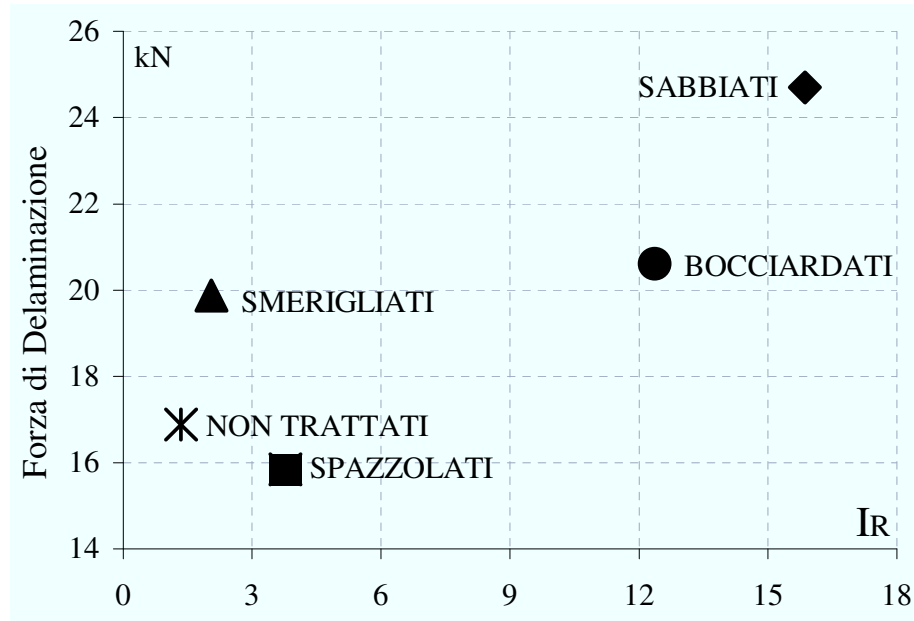


Figura 8.20 – Relazione fra i valori di  $I_R$  e della forza di delaminazione senza distinzione di  $R_{cm}$

Anche in questo caso si nota una distribuzione dei dati dipendente da  $I_R$  fatta eccezione per i campioni smerigliati per i quali il valore del campione realizzato con  $R_{cm}$  15 MPa alza sensibilmente la media .

La relazione che lega i valori del parametro  $I_R$  e quelli della forza di delaminazione, ottenuta grazie ad una regressione lineare, è visibile in Figura 8.21.

La retta tratteggiata, relativa ai valori ottenuti sui provini realizzati con  $R_{cm}$  20 MPa, ha rispetto ai valori sperimentali un'ottima approssimazione essendo l' $R^2$  pari a 0.97.

La retta di tratto continuo, relativa al caso di  $R_{cm}$  15 MPa, descrive in maniera meno precisa la relazione fra i due parametri nonostante nella regressione non sia stato utilizzato il valore del campione smerigliato che risulta evidentemente anomalo.



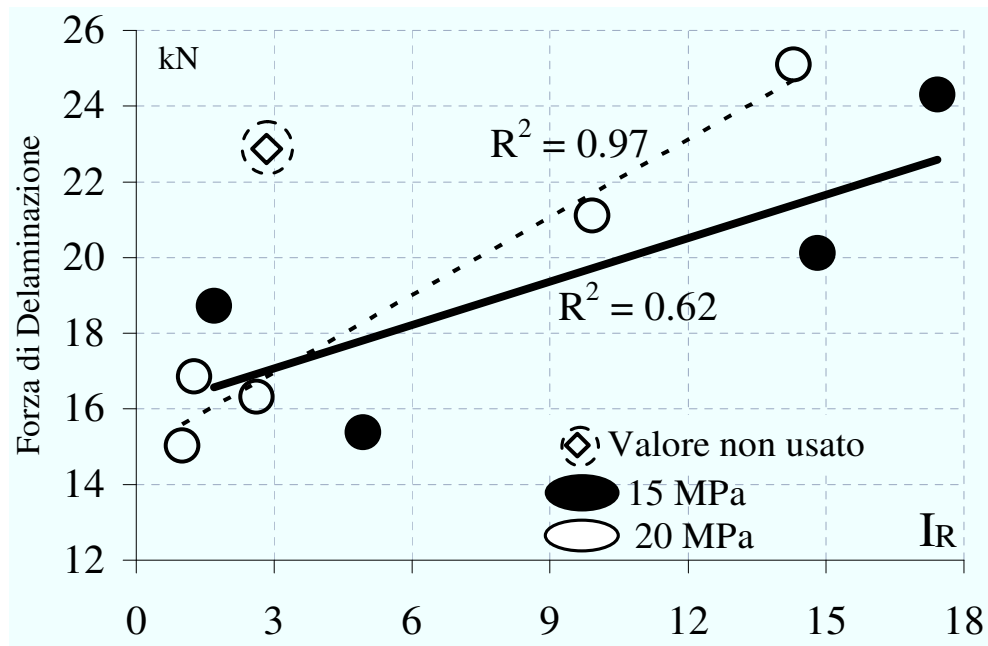


Figura 8.21 - Correlazione lineare fra resistenza alla delaminazione e rugosità superficiale

Nonostante i buoni risultati conseguiti con questa campagna sperimentale per ottenere un dato più significativo sarebbe necessario estendere tali prove a un numero di campioni maggiore al fine di disporre di una quantità di dati più consistente.

## 8.7. Conclusioni

I risultati ottenuti con questa fase della campagna di prove dimostrano la relazione che esiste fra l'indice di rugosità e la resistenza alla delaminazione. Tale relazione lascia intravedere sviluppi futuri legati alla determinazione di un'equazione che tenga conto oltre che della rugosità anche di altri parametri quali la resistenza del calcestruzzo.

I risultati ottenuti sono particolarmente degni di nota se si considera che i campioni sui quali sono stati eseguiti i test di delaminazione di tipo statico non sono stati confezionati con lo scopo di eseguire tali test. Per questo motivo hanno caratteristiche geometriche e morfologiche che hanno potuto incidere sui valori finali. Un esempio si può osservare in Figura 8.22 dove viene riportata l'irregolarità di un campione sottoposto a test di delaminazione.



*Figura 8.22 - Irregolarità della superficie di un campione*

Per la buona riuscita di tali test la superficie del campione dovrebbe essere perfettamente orizzontale mentre quella riportata in figura presenta una “gobba” in corrispondenza della zona terminale.

Ovviamente il test eseguito su questo campione ha fornito ugualmente un risultato in linea con quelli degli altri campioni.

**Bibliografia**

- [1] Savoia M., Ferracuti B., Mazzotti C. "Delamination of FRP plate/sheets used for strengthening of R/C elements. In F. Bontempi (ed.), *ISEC-02*, Balkema, Vol. 2: 1375-1361. (2003).
- [2] Chen J. F., Yuan H., Teng J.G. "*Analysis Of Debonding Failure Along A Softening Frp-concrete Interface Between Two Adjacent Cracks*" Proceedings of the International Symposium on Bond Behaviour of FRP in Structures 2005
- [3] Mazzotti C., Ferracuti B., Savoia M. "*A new setup for FRP-concrete stable delamination test*" FRPRCS-7 Conf. Proceedings, Kansas City. 2005

## CAPITOLO 9                      CONCLUSIONI

Nell'ambito della ricerca svolta ed illustrata nel presente lavoro sono stati eseguiti diversi test sperimentali e molte attività ad essi complementari. Grazie alla campagna sperimentale pertanto è stato possibile conseguire una molteplicità di risultati che assumono particolare rilevanza soprattutto in considerazione della immediata applicabilità dei risultati e della innovatività di alcune tecniche utilizzate.

Grazie alla campagna profilometrica è stato testato uno strumento innovativo per l'analisi della superficie quale il profilometro laser e se ne è valutata l'efficacia e la cantierabilità con prove in laboratorio ed in situ.

La grande quantità di dati acquisiti ha permesso di mettere a punto un parametro in grado di descrivere la rugosità superfiale del calcestruzzo. Tale parametro, definito indice di rugosità  $I_R$ , è in grado di descrivere efficacemente la rugosità superficiale del calcestruzzo riuscendo a cogliere le varie sfaccettature del profilo. Tale osservazione trova un riscontro ancora maggiore se si confrontano i risultati delle analisi profilometriche con quelli delle prove di pull off e delle prove di delaminazione statica.

L'esecuzione delle prove su materiali diversi dal calcestruzzo, quali pietra leccese e tufo napoletano, ha consentito di validare l'uso del profilometro anche per essi e di testare l'idoneità del parametro  $I_R$  per descrivere la rugosità del loro substrato.

Inoltre grazie a questo parametro si è potuta quantificare, in maniera scientifica, la reale efficacia dei trattamenti superficiali utilizzati, giudicandoli anche alla luce dei costi necessari per la loro esecuzione.

Prove di strappo normale (pull off) sono state eseguite in numero considerevole su campioni di calcestruzzo rinforzati con FRP. I risultati di queste prove fanno luce sulla relazione esistente fra la resistenza allo strappo normale e la rugosità superficiale.

Questi risultati confrontati con i valori dell'indice di rugosità dimostrano come un adeguato livello di rugosità migliora l'aderenza del composito alla superficie del calcestruzzo. Inoltre, dal momento che la rugosità superficiale è strettamente legata all'efficacia dei trattamenti superficiali, si evince che quest'ultimi migliorano l'adesione dell'FRP al supporto in ragione del loro grado di efficacia.

Le indagini termografiche condotte sui campioni rinforzati hanno permesso di evidenziare molti dei difetti di applicazione del rinforzo.

In particolare sui campioni in calcestruzzo è stato possibile rilevare la presenza di sconessioni della superficie nonché di bolle di aria presenti a causa di fori profondi presenti sul substrato.

Le indagini condotte sui campioni confezionati con difetti indotti hanno confermato quelli della campagna termografica principale circa la possibilità di utilizzare le prove termografiche anche per i rinforzi in carbonio. Tuttavia l'estensione di tali prove ai campioni in pietra leccese ha dimostrato la loro scarsa efficacia in relazione a questo materiale. Inoltre i risultati alterni che si sono riscontrati anche con i campioni in tufo inducono a pensare che tale tecnica debba essere migliorata per tutti i materiali naturali.

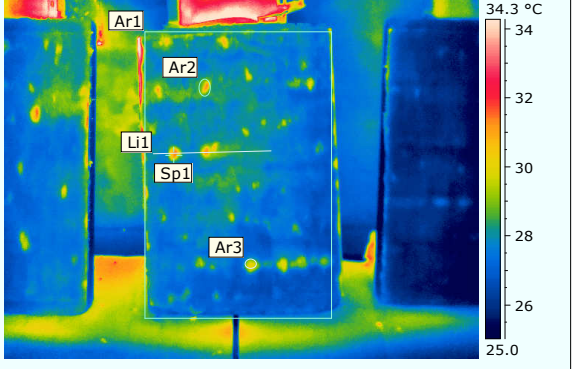

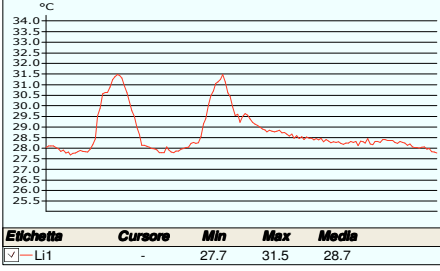
I risultati ottenuti con le prove di delaminazione di tipo statico dimostrano la relazione che esiste fra l'indice di rugosità e la resistenza alla delaminazione. L'evidente relazione lineare che esiste fra tali valori lascia intravedere sviluppi futuri legati alla determinazione di un'equazione che tenga conto oltre che della rugosità anche di altri parametri quali la resistenza del calcestruzzo.

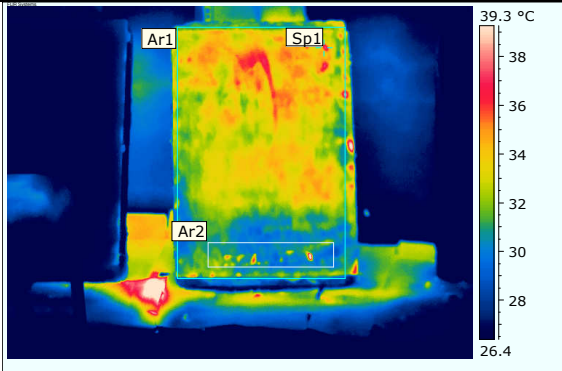

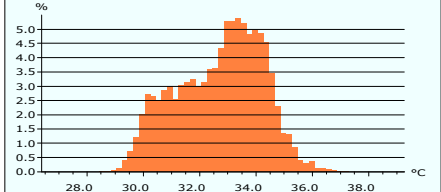
## ALLEGATO A

Nel presente allegato vengono riportate le schede relative alle indagini termografiche eseguite sui campioni in calcestruzzo. In esse sono riportati i principali dati di ciascun campione e dei brevi commenti.

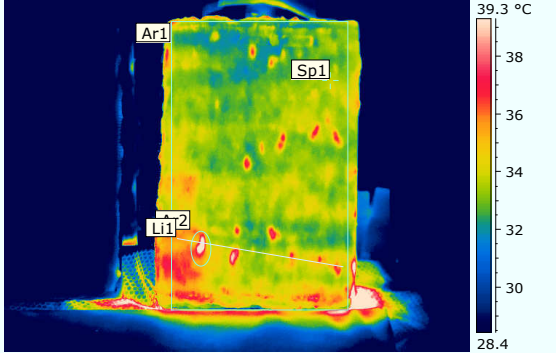

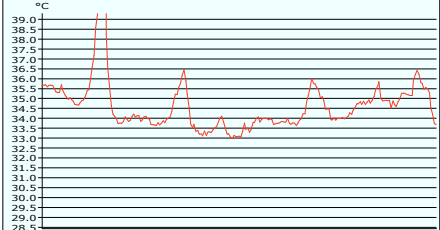
Tali schede, possono considerarsi come la presentazione del provino; infatti esse sono collegate ad un database di immagini e dati che l'utente può consultare qualora ne avesse bisogno.

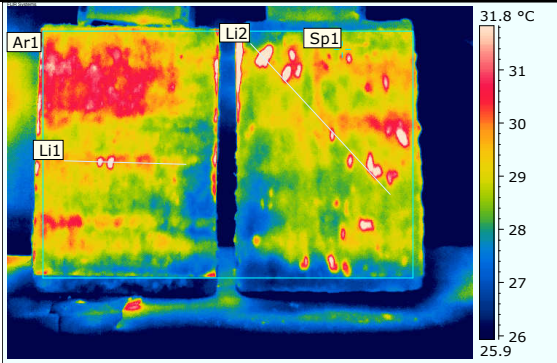

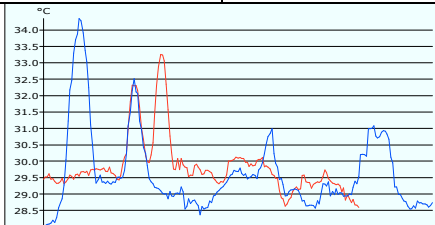
Non si riportano nell'allegato le schede relative ai campioni in tufo napoletano ed in pietra leccese in quanto per questi due materiali non sono stati ottenuti particolarmente interessanti.

Provino n° 1 Calcestruzzo																																													
Trattamento: <i>Spazzolatura</i>	R <sub>CM</sub> : 15 MPa																																												
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Sistema di costipamento : <i>Battitura</i>																																												
 																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>13.8 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 1</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>31.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>31.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>27.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>31.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>25.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>27.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar2: Max</td> <td>31.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar2: Min</td> <td>28.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar2: Media</td> <td>29.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar3: Max</td> <td>30.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar3: Min</td> <td>28.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar3: Media</td> <td>29.5 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.0 m	Temperatura atmosferica	13.8 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 1	Sp1	31.3 °C	Li1: Max	31.5 °C	Li1: Min	27.7 °C	Ar1: Max	31.5 °C	Ar1: Min	25.0 °C	Ar1: Media	27.7 °C	Ar2: Max	31.3 °C	Ar2: Min	28.3 °C	Ar2: Media	29.4 °C	Ar3: Max	30.1 °C	Ar3: Min	28.0 °C	Ar3: Media	29.5 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>27.7</td> <td>31.5</td> <td>28.7</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Commenti:</b> Si rilevano difetti evidenti e diffusi, allineati in orizzontale, seguendo la stessa disposizione del tipo di cassero utilizzato, ovvero le doghe in legno.</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	Li1	-	27.7	31.5	28.7
Parametri oggetto	Valore																																												
Distanza dell'oggetto	1.0 m																																												
Temperatura atmosferica	13.8 °C																																												
Etichetta	Valore																																												
IR: Nome percorso	CLS 1																																												
Sp1	31.3 °C																																												
Li1: Max	31.5 °C																																												
Li1: Min	27.7 °C																																												
Ar1: Max	31.5 °C																																												
Ar1: Min	25.0 °C																																												
Ar1: Media	27.7 °C																																												
Ar2: Max	31.3 °C																																												
Ar2: Min	28.3 °C																																												
Ar2: Media	29.4 °C																																												
Ar3: Max	30.1 °C																																												
Ar3: Min	28.0 °C																																												
Ar3: Media	29.5 °C																																												
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																																									
Li1	-	27.7	31.5	28.7																																									

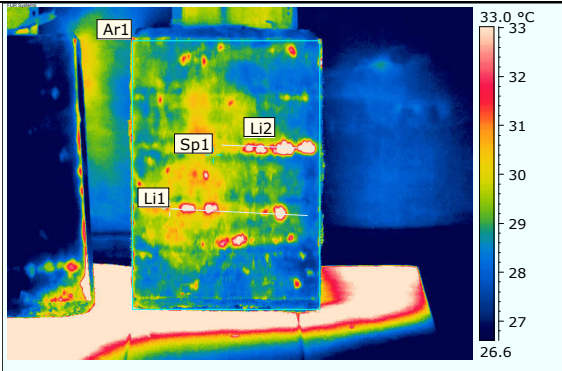

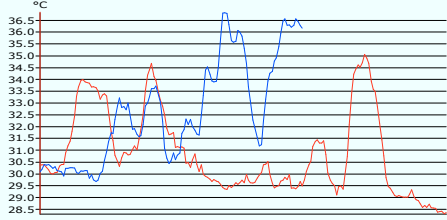
Provino n° 2 Calcestruzzo																																		
Trattamento: <i>Bocciardatura</i>	$R_{CM}$ : 15 MPa																																	
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Battitura</i>																																	
 																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.2 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 2</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>37.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>41.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>27.8 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>32.7 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.2 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 2	Sp1	37.2 °C	Ar1: Max	41.0 °C	Ar1: Min	27.8 °C	Ar1: Media	32.7 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Picco</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>• Ar1</td> <td>5.4</td> <td>27.8</td> <td>41.0</td> <td>32.7</td> </tr> <tr> <td>□ Ar2</td> <td>13.1</td> <td>28.8</td> <td>41.0</td> <td>30.7</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Commenti:</b> I difetti nell'Ar2 sono da considerarsi dei falsi difetti, perché dovuti alla presenza dell'etichetta di riconoscimento del provino.</p>	Etichetta	Picco	Min	Max	Media	• Ar1	5.4	27.8	41.0	32.7	□ Ar2	13.1	28.8	41.0	30.7
Parametri oggetto	Valore																																	
Distanza dell'oggetto	1.2 m																																	
Temperatura atmosferica	16.0 °C																																	
Etichetta	Valore																																	
IR: Nome percorso	CLS 2																																	
Sp1	37.2 °C																																	
Ar1: Max	41.0 °C																																	
Ar1: Min	27.8 °C																																	
Ar1: Media	32.7 °C																																	
Etichetta	Picco	Min	Max	Media																														
• Ar1	5.4	27.8	41.0	32.7																														
□ Ar2	13.1	28.8	41.0	30.7																														

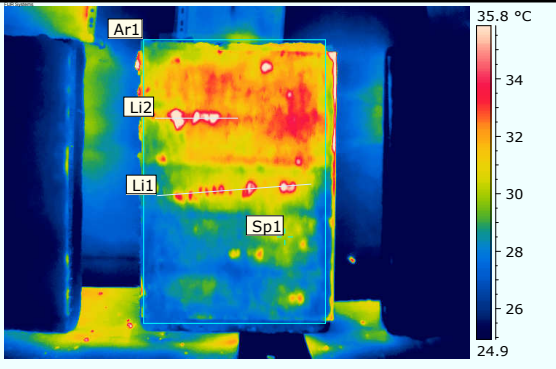

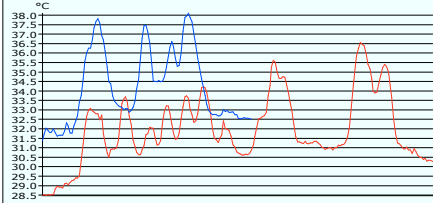


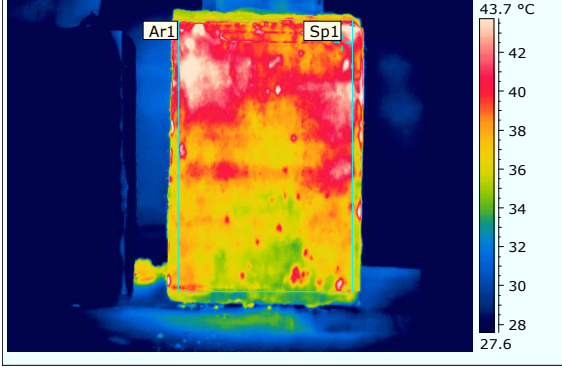

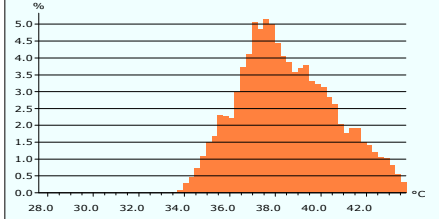
Provino n° 3 Calcestruzzo																															
Trattamento: <i>Smerigliatura</i>	$R_{CM}$ : 15 MPa																														
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Battitura</i>																														
 																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>2.1 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>34.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>41.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>33.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>41.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>29.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>33.6 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	2.1 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	Sp1	34.0 °C	Li1: Max	41.1 °C	Li1: Min	33.0 °C	Ar1: Max	41.5 °C	Ar1: Min	29.0 °C	Ar1: Media	33.6 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>33.0</td> <td>41.1</td> <td>34.6</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Commenti:</b> Difetti diffusi, in particolare sul lato inferiore, all'altezza della congiunzione delle ultime 2 doghe.</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	Li1	-	33.0	41.1	34.6
Parametri oggetto	Valore																														
Distanza dell'oggetto	2.1 m																														
Temperatura atmosferica	16.0 °C																														
Etichetta	Valore																														
Sp1	34.0 °C																														
Li1: Max	41.1 °C																														
Li1: Min	33.0 °C																														
Ar1: Max	41.5 °C																														
Ar1: Min	29.0 °C																														
Ar1: Media	33.6 °C																														
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																											
Li1	-	33.0	41.1	34.6																											

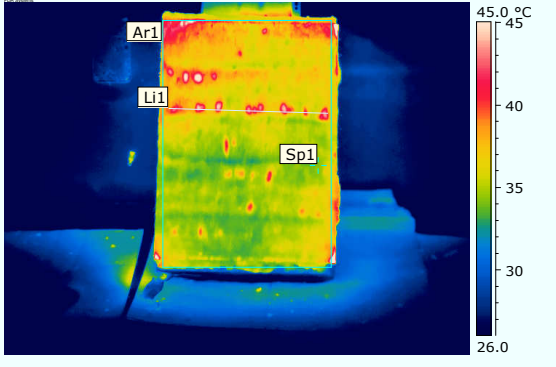
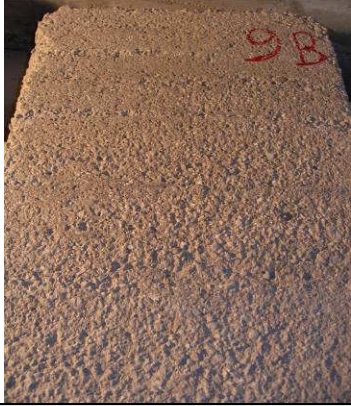
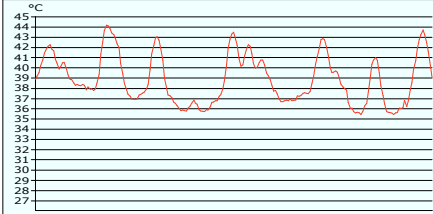
Provino n° 4 vs 18 Calcestruzzo																																						
Trattamento: <i>Sabbiatura / Smerigliatura</i>	$R_{CM}$ : 15/25 MPa																																					
Tipologia Cassero: <i>Doghe/ Pannelli</i>	Costipamento : <i>Battitura</i>																																					
	 <p style="text-align: center;">Provino 4                      Provino 18</p>																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.2 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 4vs18</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>29.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>33.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>28.6 °C</td> </tr> <tr> <td>Li2: Max</td> <td>34.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Li2: Min</td> <td>28.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>36.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>23.9 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.2 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	IR: Nome percorso	CLS 4vs18	Sp1	29.3 °C	Li1: Max	33.2 °C	Li1: Min	28.6 °C	Li2: Max	34.3 °C	Li2: Min	28.0 °C	Ar1: Max	36.1 °C	Ar1: Min	23.9 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>28.6</td> <td>33.2</td> <td>29.8</td> </tr> <tr> <td>Li2</td> <td>-</td> <td>28.0</td> <td>34.3</td> <td>29.6</td> </tr> </tbody> </table>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	Li1	-	28.6	33.2	29.8	Li2	-	28.0	34.3	29.6
Parametri oggetto	Valore																																					
Distanza dell'oggetto	1.2 m																																					
Temperatura atmosferica	16.0 °C																																					
IR: Nome percorso	CLS 4vs18																																					
Sp1	29.3 °C																																					
Li1: Max	33.2 °C																																					
Li1: Min	28.6 °C																																					
Li2: Max	34.3 °C																																					
Li2: Min	28.0 °C																																					
Ar1: Max	36.1 °C																																					
Ar1: Min	23.9 °C																																					
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																																		
Li1	-	28.6	33.2	29.8																																		
Li2	-	28.0	34.3	29.6																																		
<p><b>Commenti:</b>  Questo confronto è stato realizzato al fine di valutare la differenza di immagine tra 2 provini adiacenti e sollecitati riscaldati similmente. Si rilevano difetti in corrispondenza delle doghe (Provino 4). Mentre i difetti sono diffusi sul Provino 18.</p>																																						

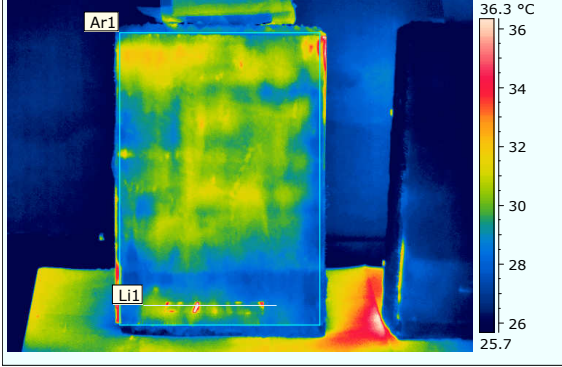

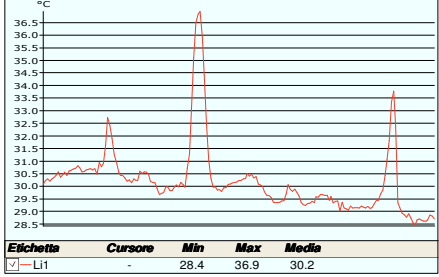
Provino n° 5 Calcestruzzo																																	
Trattamento: <i>Nessuno</i>	$R_{CM}$ : <i>15 MPa</i>																																
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Battitura</i>																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>13.8 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 5</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>32.6 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>38.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>31.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>41.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>27.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>31.0 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.0 m	Temperatura atmosferica	13.8 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 5	Sp1	32.6 °C	Li1: Max	38.5 °C	Li1: Min	31.2 °C	Ar1: Max	41.3 °C	Ar1: Min	27.5 °C	Ar1: Media	31.0 °C	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>31.2</td> <td>38.5</td> <td>33.9</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Commenti:</b> Difetti in corrispondenza dell'allineamento delle doghe, riscontrabile in Figura</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	Li1	-	31.2	38.5	33.9
Parametri oggetto	Valore																																
Distanza dell'oggetto	1.0 m																																
Temperatura atmosferica	13.8 °C																																
Etichetta	Valore																																
IR: Nome percorso	CLS 5																																
Sp1	32.6 °C																																
Li1: Max	38.5 °C																																
Li1: Min	31.2 °C																																
Ar1: Max	41.3 °C																																
Ar1: Min	27.5 °C																																
Ar1: Media	31.0 °C																																
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																													
Li1	-	31.2	38.5	33.9																													

Provino n° 6 Calcestruzzo																																										
Trattamento: <i>Spazzolatura</i>	R <sub>CM</sub> : 20 MPa																																									
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Battitura</i>																																									
																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Parametri oggetto</th> <th style="text-align: left;">Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>13.8 °C</td> </tr> <tr> <th style="text-align: left;">Etichetta</th> <th style="text-align: left;">Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 6</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>29.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>35.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>28.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Li2: Max</td> <td>36.8 °C</td> </tr> <tr> <td>Li2: Min</td> <td>29.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>36.9 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>26.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>29.2 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.0 m	Temperatura atmosferica	13.8 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 6	Sp1	29.7 °C	Li1: Max	35.1 °C	Li1: Min	28.3 °C	Li2: Max	36.8 °C	Li2: Min	29.7 °C	Ar1: Max	36.9 °C	Ar1: Min	26.5 °C	Ar1: Media	29.2 °C	 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Etichetta</th> <th style="text-align: left;">Cursore</th> <th style="text-align: left;">Min</th> <th style="text-align: left;">Max</th> <th style="text-align: left;">Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Li1</td> <td>30.3</td> <td>28.3</td> <td>35.1</td> <td>30.8</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Li2</td> <td>-</td> <td>29.7</td> <td>36.8</td> <td>32.6</td> </tr> </tbody> </table> <p style="margin-top: 20px;"><b>Commenti:</b> Si rilevano diffusi in corrispondenza delle disconnessioni dovute alle doghe.</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	<input checked="" type="checkbox"/> Li1	30.3	28.3	35.1	30.8	<input checked="" type="checkbox"/> Li2	-	29.7	36.8	32.6
Parametri oggetto	Valore																																									
Distanza dell'oggetto	1.0 m																																									
Temperatura atmosferica	13.8 °C																																									
Etichetta	Valore																																									
IR: Nome percorso	CLS 6																																									
Sp1	29.7 °C																																									
Li1: Max	35.1 °C																																									
Li1: Min	28.3 °C																																									
Li2: Max	36.8 °C																																									
Li2: Min	29.7 °C																																									
Ar1: Max	36.9 °C																																									
Ar1: Min	26.5 °C																																									
Ar1: Media	29.2 °C																																									
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																																						
<input checked="" type="checkbox"/> Li1	30.3	28.3	35.1	30.8																																						
<input checked="" type="checkbox"/> Li2	-	29.7	36.8	32.6																																						

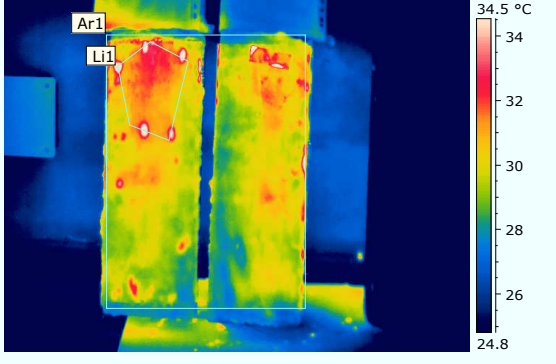

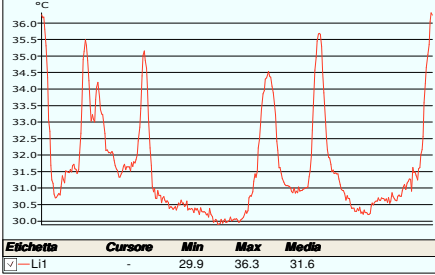
Provino n° 7 Calcestruzzo																																										
Trattamento: <i>Bocciardatura</i>	$R_{CM}$ : 20 MPa																																									
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Battitura</i>																																									
 																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>2.1 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 7</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>29.9 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>36.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>28.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Li2: Max</td> <td>38.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Li2: Min</td> <td>31.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>38.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>24.9 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>30.1 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	2.1 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 7	Sp1	29.9 °C	Li1: Max	36.5 °C	Li1: Min	28.5 °C	Li2: Max	38.1 °C	Li2: Min	31.4 °C	Ar1: Max	38.4 °C	Ar1: Min	24.9 °C	Ar1: Media	30.1 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>✓ Li1</td> <td>-</td> <td>28.5</td> <td>36.5</td> <td>32.0</td> </tr> <tr> <td>✓ Li2</td> <td>-</td> <td>31.4</td> <td>38.1</td> <td>34.2</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Commenti:</b> Difetti rilevati nella zona centrale in coincidenza con l'allineamento delle doghe.</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	✓ Li1	-	28.5	36.5	32.0	✓ Li2	-	31.4	38.1	34.2
Parametri oggetto	Valore																																									
Distanza dell'oggetto	2.1 m																																									
Temperatura atmosferica	16.0 °C																																									
Etichetta	Valore																																									
IR: Nome percorso	CLS 7																																									
Sp1	29.9 °C																																									
Li1: Max	36.5 °C																																									
Li1: Min	28.5 °C																																									
Li2: Max	38.1 °C																																									
Li2: Min	31.4 °C																																									
Ar1: Max	38.4 °C																																									
Ar1: Min	24.9 °C																																									
Ar1: Media	30.1 °C																																									
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																																						
✓ Li1	-	28.5	36.5	32.0																																						
✓ Li2	-	31.4	38.1	34.2																																						

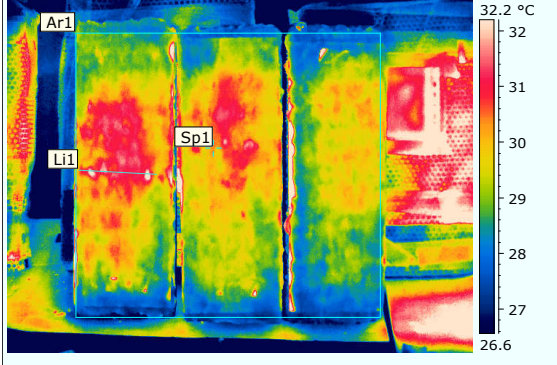

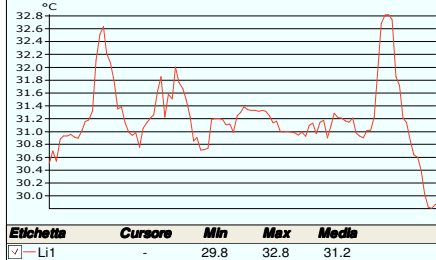
Provino n° 8 Calcestruzzo																																	
Trattamento: <i>Smerigliatura</i>	R <sub>CM</sub> : 20 MPa																																
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Battitura</i>																																
																																	
																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.2 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 9</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>34.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>44.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>35.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>49.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>29.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>36.0 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.2 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 9	Sp1	34.3 °C	Li1: Max	44.1 °C	Li1: Min	35.4 °C	Ar1: Max	49.4 °C	Ar1: Min	29.3 °C	Ar1: Media	36.0 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Picco</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ar1</td> <td>5.2</td> <td>33.2</td> <td>48.1</td> <td>38.5</td> </tr> </tbody> </table>	Etichetta	Picco	Min	Max	Media	Ar1	5.2	33.2	48.1	38.5
Parametri oggetto	Valore																																
Distanza dell'oggetto	1.2 m																																
Temperatura atmosferica	16.0 °C																																
Etichetta	Valore																																
IR: Nome percorso	CLS 9																																
Sp1	34.3 °C																																
Li1: Max	44.1 °C																																
Li1: Min	35.4 °C																																
Ar1: Max	49.4 °C																																
Ar1: Min	29.3 °C																																
Ar1: Media	36.0 °C																																
Etichetta	Picco	Min	Max	Media																													
Ar1	5.2	33.2	48.1	38.5																													
<p><b>Commenti:</b> Difetti diffusi ma di piccola entità.</p>																																	

Provino n° 9 Calcestruzzo																																	
Trattamento: <i>Sabbiatura</i>	$R_{CM}$ : 20 MPa																																
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Battitura</i>																																
																																	
																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.2 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 9</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>34.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>44.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>35.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>49.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>29.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>36.0 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.2 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 9	Sp1	34.3 °C	Li1: Max	44.1 °C	Li1: Min	35.4 °C	Ar1: Max	49.4 °C	Ar1: Min	29.3 °C	Ar1: Media	36.0 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>35.4</td> <td>44.1</td> <td>38.9</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Commenti:</b> Difetti in corrispondenza della congiunzione delle doghe. In particolare nella mezzeria del provino (Li2) confermato dall'andamento del profilo delle temperature.</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	Li1	-	35.4	44.1	38.9
Parametri oggetto	Valore																																
Distanza dell'oggetto	1.2 m																																
Temperatura atmosferica	16.0 °C																																
Etichetta	Valore																																
IR: Nome percorso	CLS 9																																
Sp1	34.3 °C																																
Li1: Max	44.1 °C																																
Li1: Min	35.4 °C																																
Ar1: Max	49.4 °C																																
Ar1: Min	29.3 °C																																
Ar1: Media	36.0 °C																																
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																													
Li1	-	35.4	44.1	38.9																													

Provino n° 10 Calcestruzzo																			
Trattamento: <i>Nessuno</i>	R <sub>CM</sub> : <b>20 MPa</b>																		
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <b>Battitura</b>																		
																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>13.8 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 10</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>29.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>37.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>26.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>29.7 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.0 m	Temperatura atmosferica	13.8 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 10	Sp1	29.0 °C	Ar1: Max	37.0 °C	Ar1: Min	26.4 °C	Ar1: Media	29.7 °C	 <p><b>Commenti:</b> Falsi difetti riscontrati all'altezza della Linea 1 (Li1) dovuti al sollevamento dell'etichetta di identificazione.</p>
Parametri oggetto	Valore																		
Distanza dell'oggetto	1.0 m																		
Temperatura atmosferica	13.8 °C																		
Etichetta	Valore																		
IR: Nome percorso	CLS 10																		
Sp1	29.0 °C																		
Ar1: Max	37.0 °C																		
Ar1: Min	26.4 °C																		
Ar1: Media	29.7 °C																		



Provino n° 11 vs 13 Calcestruzzo																															
Trattamento: <i>Spazzolatura / Smerigliatura</i>	$R_{CM}$ : 15 MPa																														
Tipologia Cassero: <i>Pannelli</i>	Costipamento : <i>Battitura</i>																														
																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.2 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 11VS13</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>36.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>29.9 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>43.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>24.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>29.7 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.2 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 11VS13	Li1: Max	36.3 °C	Li1: Min	29.9 °C	Ar1: Max	43.3 °C	Ar1: Min	24.4 °C	Ar1: Media	29.7 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>29.9</td> <td>36.3</td> <td>31.6</td> </tr> </tbody> </table>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	Li1	-	29.9	36.3	31.6
Parametri oggetto	Valore																														
Distanza dell'oggetto	1.2 m																														
Temperatura atmosferica	16.0 °C																														
Etichetta	Valore																														
IR: Nome percorso	CLS 11VS13																														
Li1: Max	36.3 °C																														
Li1: Min	29.9 °C																														
Ar1: Max	43.3 °C																														
Ar1: Min	24.4 °C																														
Ar1: Media	29.7 °C																														
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																											
Li1	-	29.9	36.3	31.6																											
	<p><b>Commenti:</b> Si rilevano difetti sul provino 13, difetti intercettati dalla poligonale Linea 1 (Li1), dove il relativo profilo delle temperature ne conferma la presenza degli stessi.</p>																														

Provino n° 12 vs 14 vs 38 Calcestruzzo																																	
Trattamento: <i>Bocciard./Sabbiat./Sabbiat.</i>	R <sub>CM</sub> : 15/15/20 MPa																																
Tipologia Cassero: <i>Pannelli</i>	Costipamento : <i>Batt./Batt./Vibr</i>																																
																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>13.8 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 12VS38VS14</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>30.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>32.8 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>29.8 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>36.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>25.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>29.4 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.0 m	Temperatura atmosferica	13.8 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 12VS38VS14	Sp1	30.2 °C	Li1: Max	32.8 °C	Li1: Min	29.8 °C	Ar1: Max	36.2 °C	Ar1: Min	25.4 °C	Ar1: Media	29.4 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>29.8</td> <td>32.8</td> <td>31.2</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Commenti:</b>                      Non si rilevano difetti rilevanti.                      Il primo provino partendo da sinistra (Provino 12) presenta lievi difetti nella zona centrale (Li1).</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	Li1	-	29.8	32.8	31.2
Parametri oggetto	Valore																																
Distanza dell'oggetto	1.0 m																																
Temperatura atmosferica	13.8 °C																																
Etichetta	Valore																																
IR: Nome percorso	CLS 12VS38VS14																																
Sp1	30.2 °C																																
Li1: Max	32.8 °C																																
Li1: Min	29.8 °C																																
Ar1: Max	36.2 °C																																
Ar1: Min	25.4 °C																																
Ar1: Media	29.4 °C																																
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																													
Li1	-	29.8	32.8	31.2																													

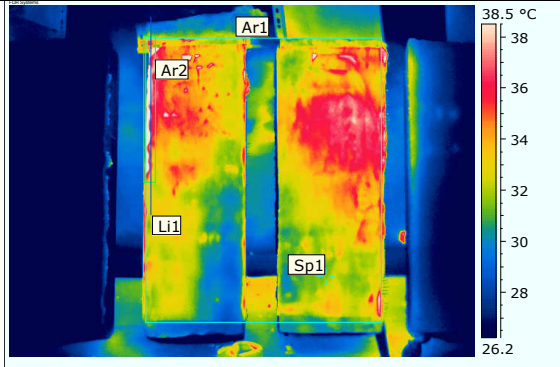
## Provino n° 13 Calcestruzzo

Vedi scheda provino 11

## Provino n° 14 Calcestruzzo

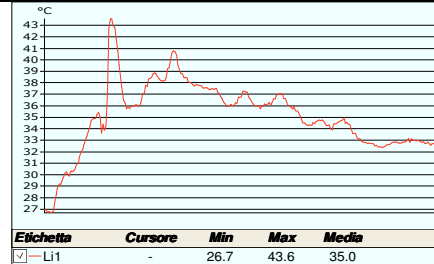
Vedi scheda provino 12

## Provino n° 15 vs 36 Calcestruzzo

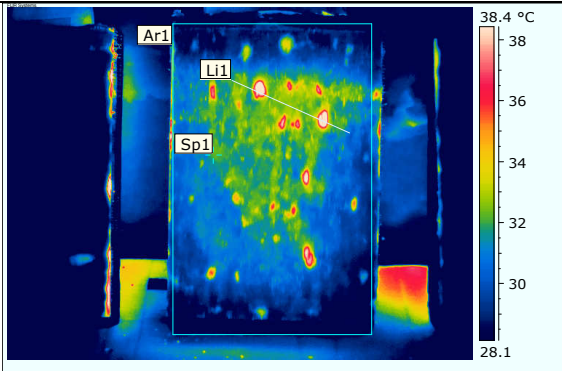

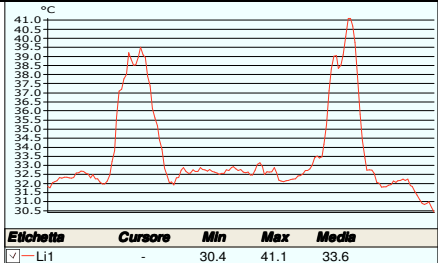
Trattamento: *Nessuno / Bocciardatura* $R_{CM}$ : 15/20 MPaTipologia Cassero: *Pannelli*Costipamento :*Batt / Vibra*

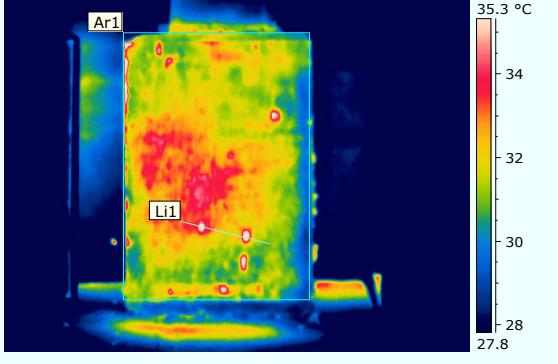

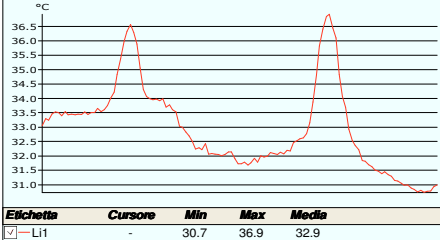
Prov. 15 – Prov 36

Parametri oggetto	Valore
Distanza dell'oggetto	1.2 m
Temperatura atmosferica	16.0 °C
Etichetta	Valore
IR: Nome percorso	CLS 15VS36
Sp1	31.5 °C
Li1: Max	43.6 °C
Li1: Min	26.7 °C
Ar1: Max	48.0 °C
Ar1: Min	25.7 °C
Ar1: Media	32.8 °C
Ar2: Max	47.4 °C
Ar2: Min	27.8 °C
Ar2: Media	35.5 °C

**Commenti:**

Dei due provini solo il provino 15 (primo a sinistra) presenta difetti individuati dall'Area 2 e dalla Linea 1. Difetti dovuti al distacco del lembo esterno di FRP.

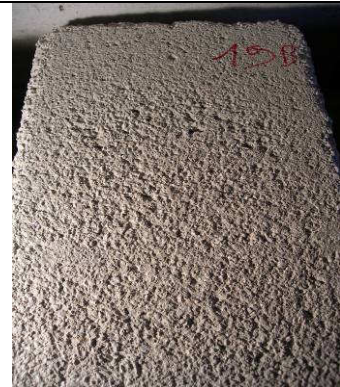
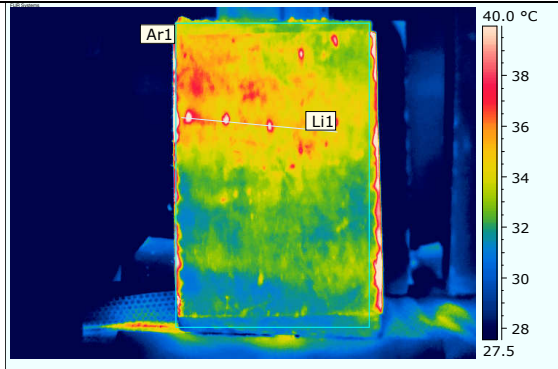
Provino n° 16 Calcestruzzo																																	
Trattamento: <i>Spazzolatura</i>	R <sub>CM</sub> : 20 MPa																																
Tipologia Cassero: <i>Pannelli</i>	Costipamento : <i>Battitura</i>																																
																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>13.8 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 16</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>32.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>41.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>30.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>41.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>26.9 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>30.6 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.0 m	Temperatura atmosferica	13.8 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 16	Sp1	32.3 °C	Li1: Max	41.1 °C	Li1: Min	30.4 °C	Ar1: Max	41.2 °C	Ar1: Min	26.9 °C	Ar1: Media	30.6 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>30.4</td> <td>41.1</td> <td>33.6</td> </tr> </tbody> </table>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	Li1	-	30.4	41.1	33.6
Parametri oggetto	Valore																																
Distanza dell'oggetto	1.0 m																																
Temperatura atmosferica	13.8 °C																																
Etichetta	Valore																																
IR: Nome percorso	CLS 16																																
Sp1	32.3 °C																																
Li1: Max	41.1 °C																																
Li1: Min	30.4 °C																																
Ar1: Max	41.2 °C																																
Ar1: Min	26.9 °C																																
Ar1: Media	30.6 °C																																
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																													
Li1	-	30.4	41.1	33.6																													
	<p><b>Commenti:</b></p> <p>Difetti diffusi, la Linea 1 ne intercetta i più rilevanti, e il profilo delle temperature ne sottolinea le differenze di temperature con il resto della superficie rinforzata.</p>																																

Provino n° 17 Calcestruzzo																															
Trattamento: <i>Bocciardatura</i>	$R_{CM}$ : 20 MPa																														
Tipologia Cassero: <i>Pannelli</i>	Costipamento : <i>Battitura</i>																														
																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>2.1 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 17</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>36.9 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>30.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>37.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>26.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>31.8 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	2.1 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 17	Li1: Max	36.9 °C	Li1: Min	30.7 °C	Ar1: Max	37.3 °C	Ar1: Min	26.2 °C	Ar1: Media	31.8 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Li1</td> <td>-</td> <td>30.7</td> <td>36.9</td> <td>32.9</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Commenti:</b> Difetti intercettati dalla Linea 1 nella zona inferiore del provino.</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	<input checked="" type="checkbox"/> Li1	-	30.7	36.9	32.9
Parametri oggetto	Valore																														
Distanza dell'oggetto	2.1 m																														
Temperatura atmosferica	16.0 °C																														
Etichetta	Valore																														
IR: Nome percorso	CLS 17																														
Li1: Max	36.9 °C																														
Li1: Min	30.7 °C																														
Ar1: Max	37.3 °C																														
Ar1: Min	26.2 °C																														
Ar1: Media	31.8 °C																														
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																											
<input checked="" type="checkbox"/> Li1	-	30.7	36.9	32.9																											

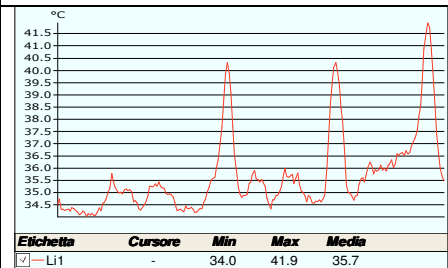
## Provino n° 18 Calcestruzzo

Vedi scheda provino 4

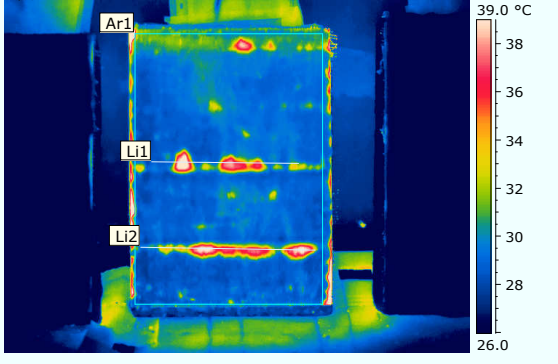

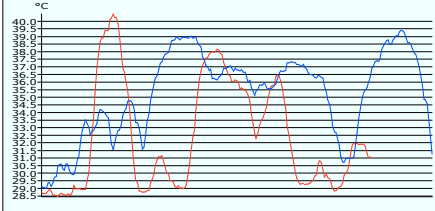
## Provino n° 19 Calcestruzzo

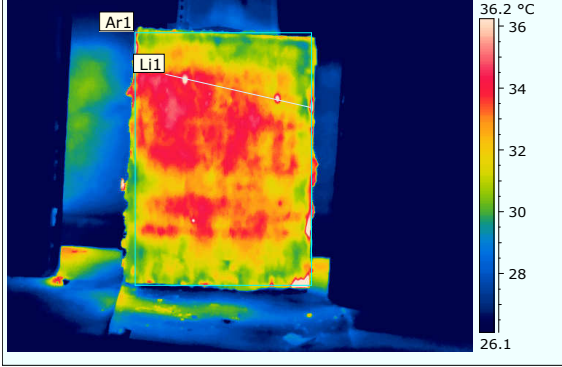

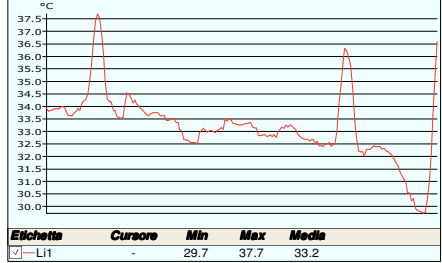
Trattamento: *Sabbiatura* $R_{CM}$ : 20 MPaTipologia Cassero: *Pannelli*Costipamento : *Battitura*

Parametri oggetto	Valore
Distanza dell'oggetto	2.1 m
Temperatura atmosferica	16.0 °C
Etichetta	Valore
IR: Nome percorso	CLS 19
Li1: Max	41.9 °C
Li1: Min	34.0 °C
Ar1: Max	47.3 °C
Ar1: Min	28.9 °C
Ar1: Media	33.4 °C

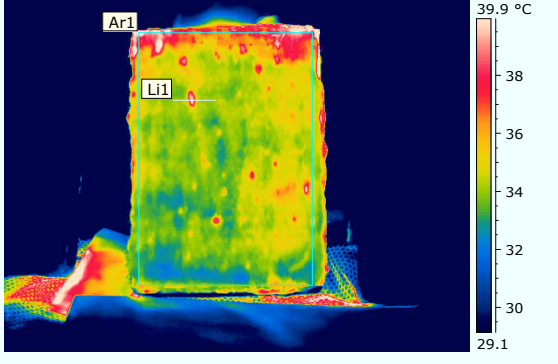

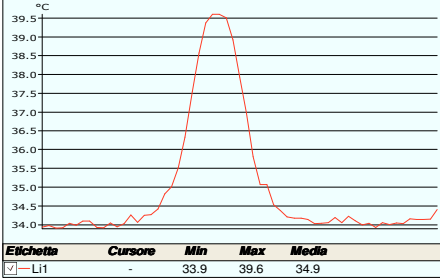
*Commenti:*

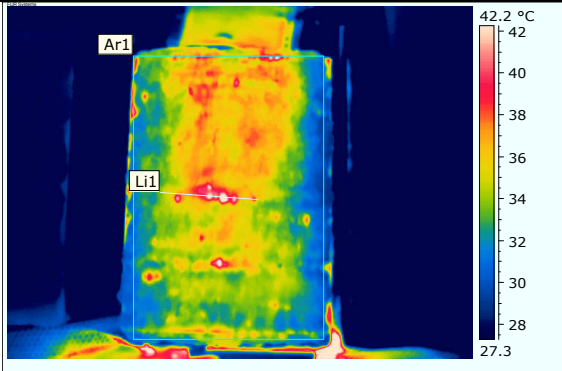
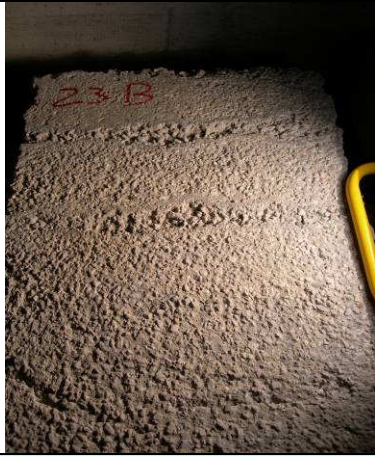
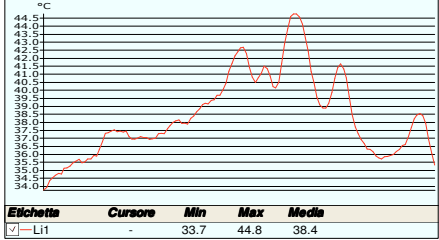
Difetti presenti al di sopra della linea mediana del provino. Difetti intercettati dalla Linea 1 e rappresentati nel profilo delle temperature.

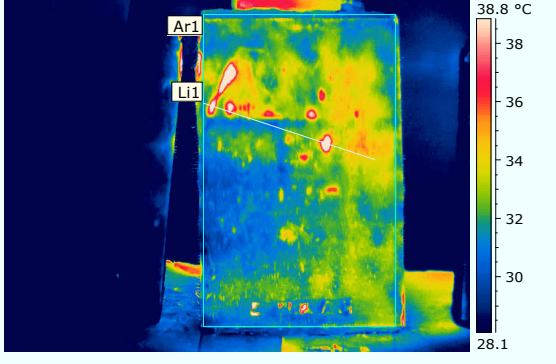

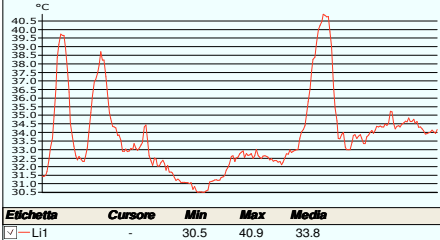
Provino n° 20 Calcestruzzo																																								
Trattamento: <i>Spazzolatura</i>	$R_{CM}$ : 15 MPa																																							
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																																							
																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>13.8 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 20</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>40.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>28.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Li2: Max</td> <td>39.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Li2: Min</td> <td>29.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>40.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>27.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>29.6 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.0 m	Temperatura atmosferica	13.8 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 20	Li1: Max	40.5 °C	Li1: Min	28.4 °C	Li2: Max	39.4 °C	Li2: Min	29.0 °C	Ar1: Max	40.5 °C	Ar1: Min	27.4 °C	Ar1: Media	29.6 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>✓ Li1</td> <td>-</td> <td>28.4</td> <td>40.5</td> <td>32.4</td> </tr> <tr> <td>✓ Li2</td> <td>-</td> <td>29.0</td> <td>39.4</td> <td>35.2</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Commenti:</i></p> <p>La presenza di un disallineamento delle doghe si ripercuote sull'omogeneità del substrato, nonostante il trattamento di spazzolatura. Di conseguenza difetti dell'applicazione sono rilevanti proprio in quei punti (Li1 e Li2).</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	✓ Li1	-	28.4	40.5	32.4	✓ Li2	-	29.0	39.4	35.2
Parametri oggetto	Valore																																							
Distanza dell'oggetto	1.0 m																																							
Temperatura atmosferica	13.8 °C																																							
Etichetta	Valore																																							
IR: Nome percorso	CLS 20																																							
Li1: Max	40.5 °C																																							
Li1: Min	28.4 °C																																							
Li2: Max	39.4 °C																																							
Li2: Min	29.0 °C																																							
Ar1: Max	40.5 °C																																							
Ar1: Min	27.4 °C																																							
Ar1: Media	29.6 °C																																							
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																																				
✓ Li1	-	28.4	40.5	32.4																																				
✓ Li2	-	29.0	39.4	35.2																																				

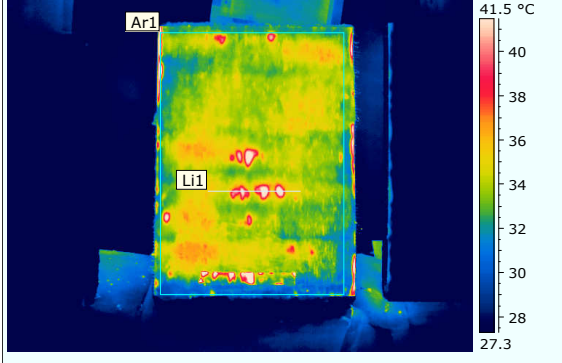

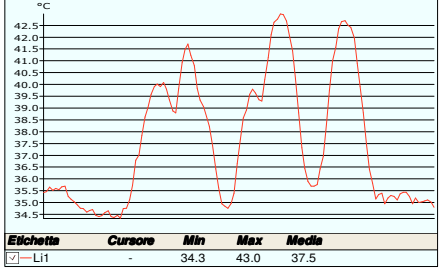
Provino n° 21 Calcestruzzo																															
Trattamento: <i>Bocciardatura</i>	$R_{CM}$ : 15 MPa																														
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																														
																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>2.1 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 21</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>37.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>29.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>42.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>24.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>32.4 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	2.1 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 21	Li1: Max	37.7 °C	Li1: Min	29.7 °C	Ar1: Max	42.2 °C	Ar1: Min	24.1 °C	Ar1: Media	32.4 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>✓ Li1</td> <td>-</td> <td>29.7</td> <td>37.7</td> <td>33.2</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Commenti:</i></p> <p>Difetti presenti ma in maniera non rilevante se confrontati con l'irregolarità del substrato del provino non rinforzato</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	✓ Li1	-	29.7	37.7	33.2
Parametri oggetto	Valore																														
Distanza dell'oggetto	2.1 m																														
Temperatura atmosferica	16.0 °C																														
Etichetta	Valore																														
IR: Nome percorso	CLS 21																														
Li1: Max	37.7 °C																														
Li1: Min	29.7 °C																														
Ar1: Max	42.2 °C																														
Ar1: Min	24.1 °C																														
Ar1: Media	32.4 °C																														
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																											
✓ Li1	-	29.7	37.7	33.2																											

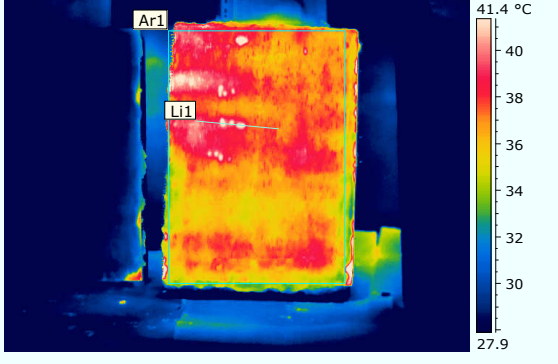
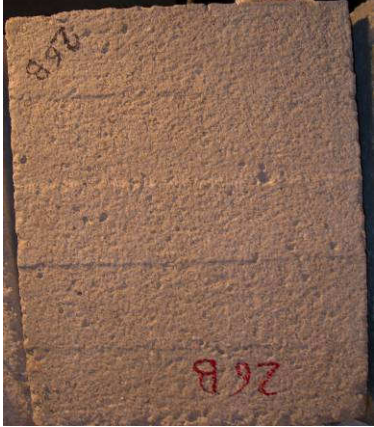
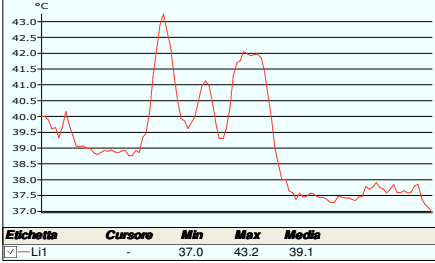


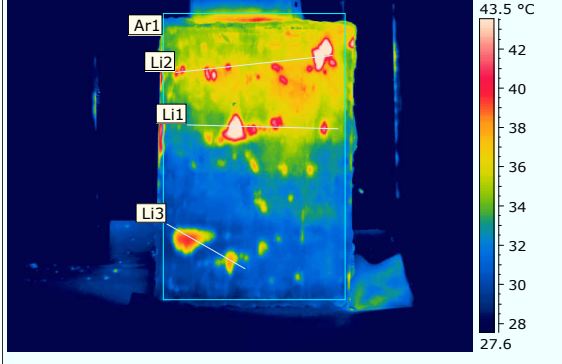

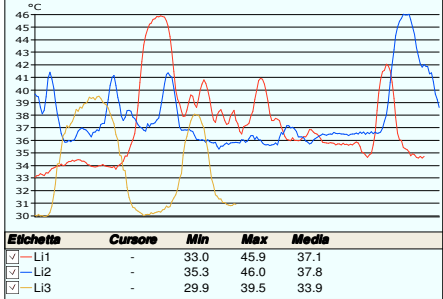
Provino n° 22 Calcestruzzo																					
Trattamento: <i>Smerigliatura</i>	$R_{CM}$ : 15 MPa																				
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																				
																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>2.1 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 21</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>37.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>29.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>42.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>24.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>32.4 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	2.1 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 21	Li1: Max	37.7 °C	Li1: Min	29.7 °C	Ar1: Max	42.2 °C	Ar1: Min	24.1 °C	Ar1: Media	32.4 °C	 <p><i>Commenti:</i></p> <p>Difetti lievi e diffusi. Da escludere quelle imperfezioni all'estremo superiore, dovuti alla presenza dell'etichetta.</p>
Parametri oggetto	Valore																				
Distanza dell'oggetto	2.1 m																				
Temperatura atmosferica	16.0 °C																				
Etichetta	Valore																				
IR: Nome percorso	CLS 21																				
Li1: Max	37.7 °C																				
Li1: Min	29.7 °C																				
Ar1: Max	42.2 °C																				
Ar1: Min	24.1 °C																				
Ar1: Media	32.4 °C																				

Provino n° 23 Calcestruzzo																																
Trattamento: <i>Sabbiatura</i>		R <sub>CM</sub> : 15 MPa																														
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>		Costipamento : <i>Vibratura</i>																														
																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>2.1 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 23</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>44.8 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>33.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>44.8 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>28.9 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>34.4 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	2.1 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 23	Li1: Max	44.8 °C	Li1: Min	33.7 °C	Ar1: Max	44.8 °C	Ar1: Min	28.9 °C	Ar1: Media	34.4 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>33.7</td> <td>44.8</td> <td>38.4</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Commenti:</i> Difetti presenti in corrispondenza della congiunzione delle doghe nella zona centrale del provino.</p>		Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	Li1	-	33.7	44.8	38.4
Parametri oggetto	Valore																															
Distanza dell'oggetto	2.1 m																															
Temperatura atmosferica	16.0 °C																															
Etichetta	Valore																															
IR: Nome percorso	CLS 23																															
Li1: Max	44.8 °C																															
Li1: Min	33.7 °C																															
Ar1: Max	44.8 °C																															
Ar1: Min	28.9 °C																															
Ar1: Media	34.4 °C																															
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																												
Li1	-	33.7	44.8	38.4																												

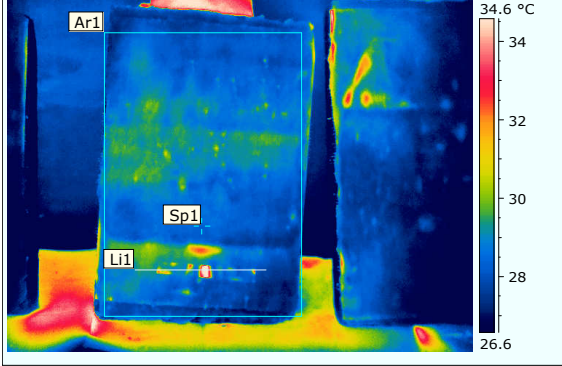

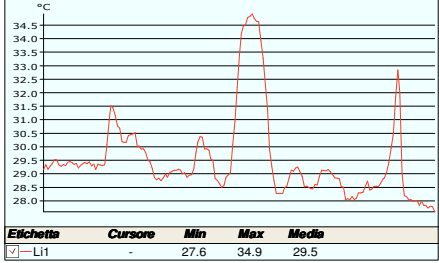
Provino n° 24 Calcestruzzo																															
Trattamento: <i>Nessuno</i>	R <sub>CM</sub> : <i>15 MPa</i>																														
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																														
																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>13.8 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 24</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>40.9 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>30.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>49.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>27.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>32.3 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.0 m	Temperatura atmosferica	13.8 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 24	Li1: Max	40.9 °C	Li1: Min	30.5 °C	Ar1: Max	49.4 °C	Ar1: Min	27.5 °C	Ar1: Media	32.3 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>30.5</td> <td>40.9</td> <td>33.8</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Commenti:</i></p> <p>Difetti rilevati in corrispondenza del disallineamento delle doghe nella zona superiore (Li1).</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	Li1	-	30.5	40.9	33.8
Parametri oggetto	Valore																														
Distanza dell'oggetto	1.0 m																														
Temperatura atmosferica	13.8 °C																														
Etichetta	Valore																														
IR: Nome percorso	CLS 24																														
Li1: Max	40.9 °C																														
Li1: Min	30.5 °C																														
Ar1: Max	49.4 °C																														
Ar1: Min	27.5 °C																														
Ar1: Media	32.3 °C																														
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																											
Li1	-	30.5	40.9	33.8																											

Provino n° 25 Calcestruzzo																					
Trattamento: <i>Spazzolatura</i>	R <sub>CM</sub> : 20 MPa																				
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																				
																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>13.8 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 25</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>43.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>34.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>51.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>29.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>34.1 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.0 m	Temperatura atmosferica	13.8 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 25	Li1: Max	43.0 °C	Li1: Min	34.3 °C	Ar1: Max	51.1 °C	Ar1: Min	29.3 °C	Ar1: Media	34.1 °C	 <p><i>Commenti:</i></p> <p>Difetti rilevati in mezzeria in corrispondenza del disallineamento delle doghe (Li1), disomogeneità del substrato presente nonostante il trattamento superficiale.</p>
Parametri oggetto	Valore																				
Distanza dell'oggetto	1.0 m																				
Temperatura atmosferica	13.8 °C																				
Etichetta	Valore																				
IR: Nome percorso	CLS 25																				
Li1: Max	43.0 °C																				
Li1: Min	34.3 °C																				
Ar1: Max	51.1 °C																				
Ar1: Min	29.3 °C																				
Ar1: Media	34.1 °C																				

Provino n° 26 Calcestruzzo																					
Trattamento: <i>Bocciardatura</i>	$R_{CM}$ : 20 MPa																				
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																				
																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>2.1 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 26</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>43.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>37.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>47.6 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>29.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>37.1 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	2.1 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 26	Li1: Max	43.2 °C	Li1: Min	37.0 °C	Ar1: Max	47.6 °C	Ar1: Min	29.2 °C	Ar1: Media	37.1 °C	 <p><i>Commenti:</i></p> <p>Difetti in corrispondenza del disallineamento delle doghe superiori.</p>
Parametri oggetto	Valore																				
Distanza dell'oggetto	2.1 m																				
Temperatura atmosferica	16.0 °C																				
Etichetta	Valore																				
IR: Nome percorso	CLS 26																				
Li1: Max	43.2 °C																				
Li1: Min	37.0 °C																				
Ar1: Max	47.6 °C																				
Ar1: Min	29.2 °C																				
Ar1: Media	37.1 °C																				

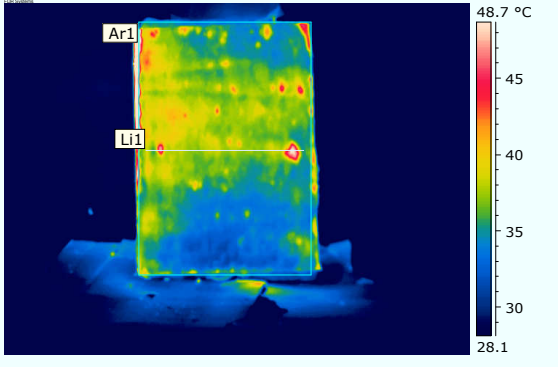

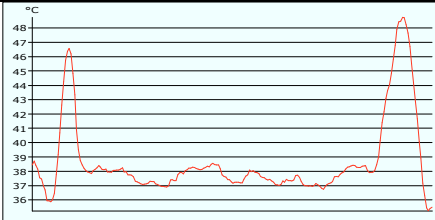
Provino n° 27 Calcestruzzo																																																	
Trattamento: <i>Smerigliatura</i>	$R_{CM}$ : 20 MPa																																																
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																																																
																																																	
																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>2.1 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 27</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>45.9 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>33.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Li2: Max</td> <td>46.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Li2: Min</td> <td>35.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Li3: Max</td> <td>39.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Li3: Min</td> <td>29.9 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>47.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>24.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>33.6 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	2.1 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 27	Li1: Max	45.9 °C	Li1: Min	33.0 °C	Li2: Max	46.0 °C	Li2: Min	35.3 °C	Li3: Max	39.5 °C	Li3: Min	29.9 °C	Ar1: Max	47.1 °C	Ar1: Min	24.7 °C	Ar1: Media	33.6 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>33.0</td> <td>45.9</td> <td>37.1</td> </tr> <tr> <td>Li2</td> <td>-</td> <td>35.3</td> <td>46.0</td> <td>37.8</td> </tr> <tr> <td>Li3</td> <td>-</td> <td>29.9</td> <td>39.5</td> <td>33.9</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Commenti:</i></p> <p>Si rilevano evidenti difetti sia nella zona superiore, centrale e inferiore del provino. Difetti intercettati dalle Linee 1 - 2 - 3 e i cui profili delle temperature sono riportate nel rispettivo grafico di pagina 1.</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	Li1	-	33.0	45.9	37.1	Li2	-	35.3	46.0	37.8	Li3	-	29.9	39.5	33.9
Parametri oggetto	Valore																																																
Distanza dell'oggetto	2.1 m																																																
Temperatura atmosferica	16.0 °C																																																
Etichetta	Valore																																																
IR: Nome percorso	CLS 27																																																
Li1: Max	45.9 °C																																																
Li1: Min	33.0 °C																																																
Li2: Max	46.0 °C																																																
Li2: Min	35.3 °C																																																
Li3: Max	39.5 °C																																																
Li3: Min	29.9 °C																																																
Ar1: Max	47.1 °C																																																
Ar1: Min	24.7 °C																																																
Ar1: Media	33.6 °C																																																
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																																													
Li1	-	33.0	45.9	37.1																																													
Li2	-	35.3	46.0	37.8																																													
Li3	-	29.9	39.5	33.9																																													

Provino n° 28 Calcestruzzo																																								
Trattamento: <i>Sabbiatura</i>	$R_{CM}$ : 20 MPa																																							
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>2.1 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 28</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>39.9 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>31.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Li2: Max</td> <td>39.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Li2: Min</td> <td>31.8 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>45.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>28.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>32.3 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	2.1 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 28	Li1: Max	39.9 °C	Li1: Min	31.7 °C	Li2: Max	39.3 °C	Li2: Min	31.8 °C	Ar1: Max	45.7 °C	Ar1: Min	28.7 °C	Ar1: Media	32.3 °C	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Li1</td> <td>-</td> <td>31.7</td> <td>39.9</td> <td>34.5</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Li2</td> <td>-</td> <td>31.8</td> <td>39.3</td> <td>34.2</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Commenti:</i> Difetti rilevanti in corrispondenza delle disomogeneità del substrato. (Li1 - 2).</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	<input checked="" type="checkbox"/> Li1	-	31.7	39.9	34.5	<input checked="" type="checkbox"/> Li2	-	31.8	39.3	34.2
Parametri oggetto	Valore																																							
Distanza dell'oggetto	2.1 m																																							
Temperatura atmosferica	16.0 °C																																							
Etichetta	Valore																																							
IR: Nome percorso	CLS 28																																							
Li1: Max	39.9 °C																																							
Li1: Min	31.7 °C																																							
Li2: Max	39.3 °C																																							
Li2: Min	31.8 °C																																							
Ar1: Max	45.7 °C																																							
Ar1: Min	28.7 °C																																							
Ar1: Media	32.3 °C																																							
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																																				
<input checked="" type="checkbox"/> Li1	-	31.7	39.9	34.5																																				
<input checked="" type="checkbox"/> Li2	-	31.8	39.3	34.2																																				

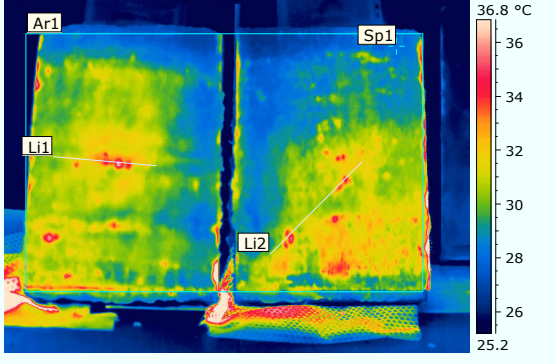

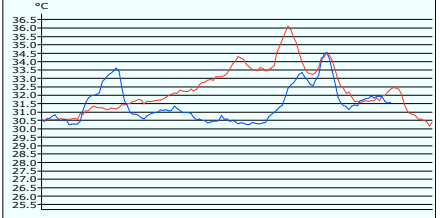
Provino n° 29 Calcestruzzo																																	
Trattamento: <i>Nessuno</i>	R <sub>CM</sub> : 20 MPa																																
Tipologia Cassero: <i>Doghe</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																																
																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>13.8 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 29</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>28.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>34.9 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>27.6 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>36.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>25.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>28.6 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.0 m	Temperatura atmosferica	13.8 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 29	Sp1	28.2 °C	Li1: Max	34.9 °C	Li1: Min	27.6 °C	Ar1: Max	36.0 °C	Ar1: Min	25.1 °C	Ar1: Media	28.6 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>27.6</td> <td>34.9</td> <td>29.5</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Commenti:</i> Difetti presenti nella zona inferiore in corrispondenza del disallineamento delle doghe.</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	Li1	-	27.6	34.9	29.5
Parametri oggetto	Valore																																
Distanza dell'oggetto	1.0 m																																
Temperatura atmosferica	13.8 °C																																
Etichetta	Valore																																
IR: Nome percorso	CLS 29																																
Sp1	28.2 °C																																
Li1: Max	34.9 °C																																
Li1: Min	27.6 °C																																
Ar1: Max	36.0 °C																																
Ar1: Min	25.1 °C																																
Ar1: Media	28.6 °C																																
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																													
Li1	-	27.6	34.9	29.5																													

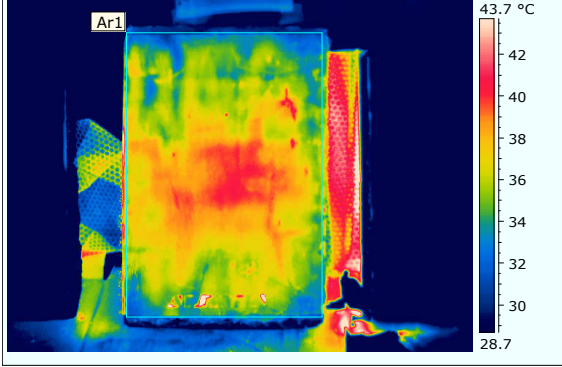

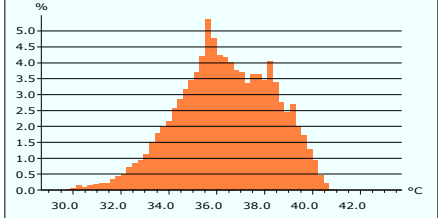


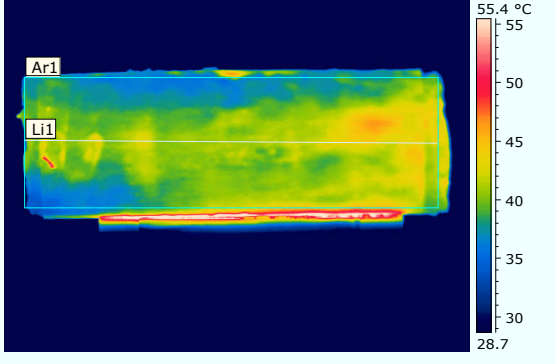

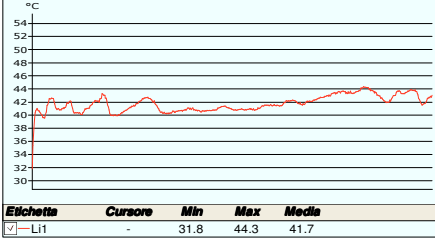
Provino n° 30 Calcestruzzo
Vedi scheda provino n° 5

Provino n° 31 Calcestruzzo																															
Trattamento: <i>Bocciardatura</i>	$R_{CM}$ : 15 MPa																														
Tipologia Cassero: <i>Pannelli</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																														
																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.2 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 31</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>48.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>35.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>53.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>27.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>36.2 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.2 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 31	Li1: Max	48.7 °C	Li1: Min	35.2 °C	Ar1: Max	53.5 °C	Ar1: Min	27.0 °C	Ar1: Media	36.2 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>35.2</td> <td>48.7</td> <td>38.6</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Commenti:</i> Difetti rilevati nella zona centrale (Li1), e in corrispondenza dei difetti del substrato evidenziati in Figura.</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	Li1	-	35.2	48.7	38.6
Parametri oggetto	Valore																														
Distanza dell'oggetto	1.2 m																														
Temperatura atmosferica	16.0 °C																														
Etichetta	Valore																														
IR: Nome percorso	CLS 31																														
Li1: Max	48.7 °C																														
Li1: Min	35.2 °C																														
Ar1: Max	53.5 °C																														
Ar1: Min	27.0 °C																														
Ar1: Media	36.2 °C																														
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																											
Li1	-	35.2	48.7	38.6																											

Provino n° 32 Calcestruzzo																																	
Trattamento: <i>Smerigliatura</i>	R <sub>CM</sub> : 15 MPa																																
Tipologia Cassero: <i>Pannelli</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>2.1 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 32</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>41.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>47.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>36.8 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>47.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>30.8 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>35.9 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	2.1 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 32	Sp1	41.5 °C	Li1: Max	47.4 °C	Li1: Min	36.8 °C	Ar1: Max	47.4 °C	Ar1: Min	30.8 °C	Ar1: Media	35.9 °C	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th> cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>36.8</td> <td>47.4</td> <td>39.7</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Commenti:</i> Difetti rilevati nella zona superiore del provino (Li1).</p>	Etichetta	cursore	Min	Max	Media	Li1	-	36.8	47.4	39.7
Parametri oggetto	Valore																																
Distanza dell'oggetto	2.1 m																																
Temperatura atmosferica	16.0 °C																																
Etichetta	Valore																																
IR: Nome percorso	CLS 32																																
Sp1	41.5 °C																																
Li1: Max	47.4 °C																																
Li1: Min	36.8 °C																																
Ar1: Max	47.4 °C																																
Ar1: Min	30.8 °C																																
Ar1: Media	35.9 °C																																
Etichetta	cursore	Min	Max	Media																													
Li1	-	36.8	47.4	39.7																													

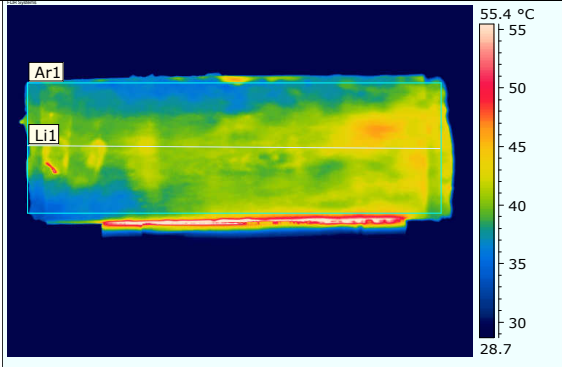

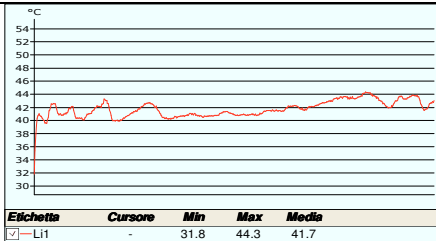
Provino n° 33 - 23 Calcestruzzo																																										
Trattamento: <i>Sabbiatura</i>	$R_{CM}$ : 15 MPa																																									
Tipologia Cassero: <i>Pannelli/Doghe</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																																									
																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>2.1 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>16.0 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 33VS23</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>28.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>36.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>30.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Li2: Max</td> <td>34.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Li2: Min</td> <td>30.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>39.6 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>22.9 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>29.8 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	2.1 m	Temperatura atmosferica	16.0 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 33VS23	Sp1	28.2 °C	Li1: Max	36.1 °C	Li1: Min	30.2 °C	Li2: Max	34.5 °C	Li2: Min	30.2 °C	Ar1: Max	39.6 °C	Ar1: Min	22.9 °C	Ar1: Media	29.8 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>✓ Li1</td> <td>-</td> <td>30.2</td> <td>36.1</td> <td>32.3</td> </tr> <tr> <td>✓ Li2</td> <td>-</td> <td>30.2</td> <td>34.5</td> <td>31.4</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Commenti:</b> Difetti di piccola entità lungo gli allineamenti <math>L_{i1}</math> ed <math>L_{i2}</math></p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	✓ Li1	-	30.2	36.1	32.3	✓ Li2	-	30.2	34.5	31.4
Parametri oggetto	Valore																																									
Distanza dell'oggetto	2.1 m																																									
Temperatura atmosferica	16.0 °C																																									
Etichetta	Valore																																									
IR: Nome percorso	CLS 33VS23																																									
Sp1	28.2 °C																																									
Li1: Max	36.1 °C																																									
Li1: Min	30.2 °C																																									
Li2: Max	34.5 °C																																									
Li2: Min	30.2 °C																																									
Ar1: Max	39.6 °C																																									
Ar1: Min	22.9 °C																																									
Ar1: Media	29.8 °C																																									
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																																						
✓ Li1	-	30.2	36.1	32.3																																						
✓ Li2	-	30.2	34.5	31.4																																						

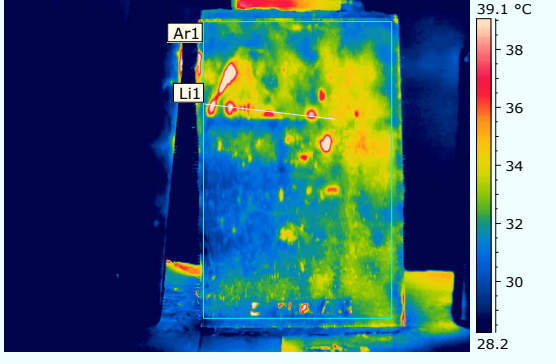

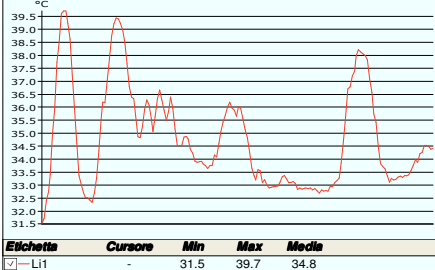
Provino n° 34 Calcestruzzo																											
Trattamento: <i>Nessuno</i>	R <sub>CM</sub> : 15 MPa																										
Tipologia Cassero: <i>Pannelli</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																										
																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>13.8 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 34</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>55.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>29.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>36.3 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.0 m	Temperatura atmosferica	13.8 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 34	Ar1: Max	55.0 °C	Ar1: Min	29.5 °C	Ar1: Media	36.3 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Picco</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ar1</td> <td>5.4</td> <td>29.5</td> <td>55.0</td> <td>36.3</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Commenti:</i></p> <p>I difetti in basso sono da considerarsi dei falsi difetti dovuti alla presenza dell'etichetta di riconoscimento del provino.</p>	Etichetta	Picco	Min	Max	Media	Ar1	5.4	29.5	55.0	36.3
Parametri oggetto	Valore																										
Distanza dell'oggetto	1.0 m																										
Temperatura atmosferica	13.8 °C																										
Etichetta	Valore																										
IR: Nome percorso	CLS 34																										
Ar1: Max	55.0 °C																										
Ar1: Min	29.5 °C																										
Ar1: Media	36.3 °C																										
Etichetta	Picco	Min	Max	Media																							
Ar1	5.4	29.5	55.0	36.3																							

Provino n° 35 Calcestruzzo																															
Trattamento: <i>Spazzolatura</i>	$R_{CM}$ : 20 MPa																														
Tipologia Cassero: <i>Pannelli</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																														
																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>13.8 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 39</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>44.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>31.8 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>53.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>24.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>40.0 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.0 m	Temperatura atmosferica	13.8 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 39	Li1: Max	44.3 °C	Li1: Min	31.8 °C	Ar1: Max	53.1 °C	Ar1: Min	24.7 °C	Ar1: Media	40.0 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>31.8</td> <td>44.3</td> <td>41.7</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Commenti:</i> Non si rilevano difetti.</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	Li1	-	31.8	44.3	41.7
Parametri oggetto	Valore																														
Distanza dell'oggetto	1.0 m																														
Temperatura atmosferica	13.8 °C																														
Etichetta	Valore																														
IR: Nome percorso	CLS 39																														
Li1: Max	44.3 °C																														
Li1: Min	31.8 °C																														
Ar1: Max	53.1 °C																														
Ar1: Min	24.7 °C																														
Ar1: Media	40.0 °C																														
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																											
Li1	-	31.8	44.3	41.7																											

Provino n° 36 Calcestruzzo
<i>Vedi scheda provino 15</i>

Provino n° 38 Calcestruzzo
<i>Vedi scheda provino 12</i>

Provino n° 39 Calcestruzzo																															
Trattamento: <i>Nessuno</i>	R <sub>CM</sub> : 20 MPa																														
Tipologia Cassero: <i>Pannelli</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																														
																															
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>13.8 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 39</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>44.3 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>31.8 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>53.1 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>24.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>40.0 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.0 m	Temperatura atmosferica	13.8 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 39	Li1: Max	44.3 °C	Li1: Min	31.8 °C	Ar1: Max	53.1 °C	Ar1: Min	24.7 °C	Ar1: Media	40.0 °C	 <table border="1" style="width: 100%; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Li1</td> <td>-</td> <td>31.8</td> <td>44.3</td> <td>41.7</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><i>Commenti:</i> Non si rilevano difetti.</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	Li1	-	31.8	44.3	41.7
Parametri oggetto	Valore																														
Distanza dell'oggetto	1.0 m																														
Temperatura atmosferica	13.8 °C																														
Etichetta	Valore																														
IR: Nome percorso	CLS 39																														
Li1: Max	44.3 °C																														
Li1: Min	31.8 °C																														
Ar1: Max	53.1 °C																														
Ar1: Min	24.7 °C																														
Ar1: Media	40.0 °C																														
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																											
Li1	-	31.8	44.3	41.7																											

Provino n° 40 Calcestruzzo																															
Trattamento: <i>Nessuno</i>	$R_{CM}$ : 20 MPa																														
Tipologia Cassero: <i>Pannelli</i>	Costipamento : <i>Vibratura</i>																														
																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametri oggetto</th> <th>Valore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distanza dell'oggetto</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Temperatura atmosferica</td> <td>13.8 °C</td> </tr> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Valore</th> </tr> <tr> <td>IR: Nome percorso</td> <td>CLS 40</td> </tr> <tr> <td>Li1: Max</td> <td>39.7 °C</td> </tr> <tr> <td>Li1: Min</td> <td>31.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Max</td> <td>49.4 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Min</td> <td>28.2 °C</td> </tr> <tr> <td>Ar1: Media</td> <td>32.4 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Parametri oggetto	Valore	Distanza dell'oggetto	1.0 m	Temperatura atmosferica	13.8 °C	Etichetta	Valore	IR: Nome percorso	CLS 40	Li1: Max	39.7 °C	Li1: Min	31.5 °C	Ar1: Max	49.4 °C	Ar1: Min	28.2 °C	Ar1: Media	32.4 °C	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Etichetta</th> <th>Cursore</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Media</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Li1</td> <td>-</td> <td>31.5</td> <td>39.7</td> <td>34.8</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Commenti:</i> Difetti diffusi nella zona superiore.</p>	Etichetta	Cursore	Min	Max	Media	<input checked="" type="checkbox"/> Li1	-	31.5	39.7	34.8
Parametri oggetto	Valore																														
Distanza dell'oggetto	1.0 m																														
Temperatura atmosferica	13.8 °C																														
Etichetta	Valore																														
IR: Nome percorso	CLS 40																														
Li1: Max	39.7 °C																														
Li1: Min	31.5 °C																														
Ar1: Max	49.4 °C																														
Ar1: Min	28.2 °C																														
Ar1: Media	32.4 °C																														
Etichetta	Cursore	Min	Max	Media																											
<input checked="" type="checkbox"/> Li1	-	31.5	39.7	34.8																											