



Cluster Tecnologico Nazionale Design, Creatività e Made in Italy

DESIGN NEXT MADE IN ITALY

CTN02_00053

PROGETTO FUNK-ITALY

Progettazione di prodotti 'Made in Italy' funzionalizzati, innovativi e sostenibili

CTN02_00053_10024434

D2.1 - Prototipi di tessuti stampati contenenti grafene

Versione deliverable:	Finale
Data	28/09/2018
Tipo di documento	Report
Stato del documento	Final
Autore/i	Daniele Spinelli
Livello di confidenzialità	

Sommario

Partners.....	2
1 SOMMARIO	3
2 OBIETTIVI DEL PROGETTO	3
3 CONCLUSIONI	9
ALLEGATI	9

Partner

Ragione sociale	Abbreviazione
Calzaturificio Gal.men S.R.L.	Gal.men
Città Studi S.p.A.	Città Studi
CNR-DIITET (Dipartimento ICT, Ingegneria, Tecnologie per Energia e i Trasporti)	CNR
Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e Tecnologia dei Materiali	ISTM
COSMOB S.p.A.	COSMOB
G&P NEXT S.p.A.	G&P
Marchi & Fildi S.p.A. Industrie Italiane Filati	Marchi & Fildi
Morfeus S.p.A.	Morfeus
OTIR2020, Tuscany Fashion Cluster - NextTechnology Tecnotessile S.r.l.	OTIR2020-TFC
Università degli Studi di Firenze	UNIFI

1 SOMMARIO

Il grafene è un materiale costituito principalmente da atomi di carbonio, avente struttura inerte e che non tende a legarsi o unirsi con altri materiali. Le sue proprietà eccellenti possono essere sfruttate al massimo solo dopo aver superato questo ostacolo fondamentale, e può essere disperso correttamente e unito in modo covalente in matrici, come ad esempio gli inchiostri, attraverso un processo conosciuto come "funzionalizzazione".

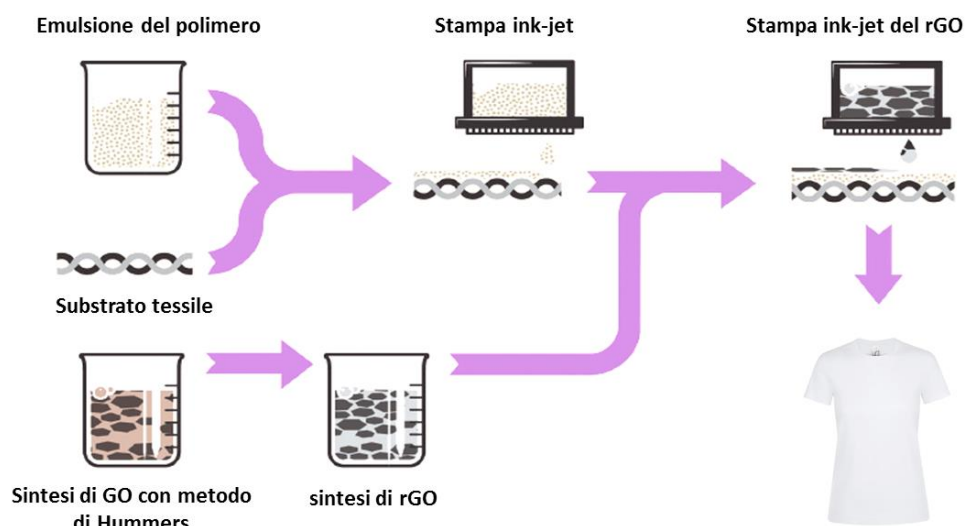
2 OBIETTIVI DEL PROGETTO

Studi recenti hanno evidenziato le potenzialità del graphene per la fabbricazione di e-textiles di prossima generazione. Tuttavia, tecnologie attuali, basate su immersione multipla, a secco o sottovuoto, e metodi di filtrazione, sono estremamente lenti. Anche l'uso di inchiostri composti grafene / metallo richiedono alte temperature di post riduzione. Inoltre, inchiostri a ossido di grafene ridotto (rGO) hanno il potenziale per produrre conduttivi durevoli e lavabili "e-textiles" a causa del legame idrogeno tra gruppi idrossilici in cotone e gruppi contenenti ossigeno residuo in rGO. Recenti studi sulla riduzione dell'ossido di grafene (GO) sui tessuti hanno tuttavia utilizzavano agenti riducenti tossici come l'acido idriodico, boroidruro di sodio e idrazina. Pertanto, resta un crescente interesse per sviluppare un processo rapido, scalabile e bassa temperatura.

Per la fabbricazione di "e-textile", la stampa a getto d'inchiostro offre una serie di vantaggi rispetto alle tecniche di produzione convenzionali, inclusi tessitura di filati conduttivi quali: la capacità di depositare quantità controllate di materiali in posizioni precise nel tessuto, unita ad una riduzione di entrambi gli sprechi di materiale e l'utilizzo dell'acqua. Tuttavia, la sfida principale con il getto d'inchiostro è la capacità di ottenere di stampare piste elettriche conduttive in modo continuo su un tessuto ruvido e poroso. I tessuti tessili dimostrano un'anisotropia planare intrinseca delle proprietà generali dovute all'orientamento delle fibre o dei filati. Inoltre, la morfologia della fibra cambia costantemente a causa allo scambio di molecole d'acqua con l'ambiente circostante, rendendo estremamente difficile la produzione di percorsi conduttivi in modo uniforme e continuo utilizzando inchiostri a getto d'inchiostro a bassa viscosità.

Nell'ambito del progetto è stato studiato un pre-trattamento della superficie tessile basato su nanoparticelle organiche che consente la stampa a getto d'inchiostro di tessuti elettronici indossabili a base di grafene che sono traspiranti, confortevoli e rispettosi dell'ambiente. Il vantaggio principale del getto d'inchiostro è la deposizione del pretrattamento superficiale solo dove richiesto sull'articolo.

Un tale pretrattamento funge da strato recettore per l'rGO a base acquosa inchiostri, che possono essere successivamente essiccati a bassa temperatura (100°C); riducendo così la possibilità di danneggiare i tessuti sensibili al calore. Il procedimento è il seguente: pre-trattamento tessile con nanoparticelle organiche mediante stampa a getto d'inchiostro sul tessuto tessile, seguita da una rGO a base d'acqua inchiostro preparato utilizzando un agente riducente non tossico (acido L-ascorbico in presenza di alcol polivinilico (PVA)).



Sintesi delle nanoparticelle (NP1)

Le nanoparticelle a base di stirene / divinilbenzene reticolato e funzionalizzato con idrossile sono state sintetizzate utilizzando un'emulsione convenzionale di polimerizzazione contenente l'1% in peso di idrossimetil metacrilato HEMA sulla base di monomero totale. 250 mL di acqua deionizzata e 20 mL di a 3,38 mmol, soluzione di sodio dodecilsofato sono stati aggiunti a un pallone flangiato da 500 mL dotato di condensatore, flusso di azoto, agitatore meccanico e termometro; mescolato per 15 min a 600 rpm sotto flusso di azoto. DVB (2,1 g, 16,1 mmol) e HEMA sono stati quindi aggiunti e agitati a 600 rpm mentre viene degasato per 1 ora e riscaldato a 80°C. Successivamente è stato aggiunto il persolfato di ammonio (1 g, 11,6 mmol), sciolto in 10 mL di acqua deionizzata e degassato per 30 min. La reazione è stata condotta per 24 ore; fermata e ripresa per un altro 2 ore per il raffreddamento. La sospensione risultante è stata filtrata attraverso una garza di nylon da 50 mm per rimuovere eventuali coaguli e sono state utilizzate nanoparticelle senza alcun ulteriore trattamento.



Figura 1 – Apparato per la sintesi delle nanoparticelle (NP1).

Sintesi dell'ossido di grafene ed ossido in forma ridotta

L'ossido di grafene è stato preparato utilizzando il metodo di Hummers. 80 mg di ossido di grafene sono stati aggiunti a 160 mL di acqua deionizzata e sonicato per 30 min per formare una dispersione marrone di ossido. Successivamente, 500 mg di acido polivinilico furono miscelati alla dispersione di grafene mediante agitazione vigorosa e trasferiti in un pallone di vetro all'interno di un bagno ad olio. Poi sono stati aggiunti 1.2 g di acido L-ascorbico ed ammoniaca (per correggere il pH nel range 9-10) sotto agitazione portando la temperatura a 90°C per 24 ore. In seguito all'aggiunta di acqua deionizzata il volume totale è stato portato a 200 mL ed il risultante rGO lavato con acqua per rimuovere eventuali residui di reazione e disperso in acqua. Gli spettri IR dell'ossido e della sua forma ossidata sono riportati in Figura 2.

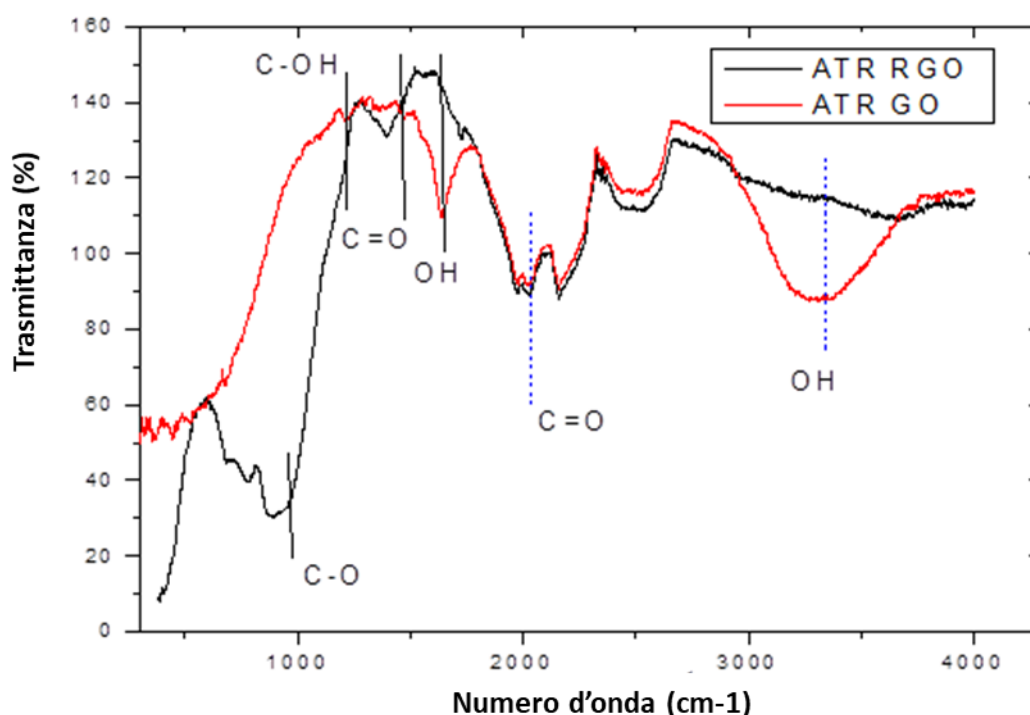


Figura 2 - Spettri IR del graphene ossido (GO) ed in forma ridotta (rGO).

Formulazione dell'inchiostro a getto d'inchiostro e stampa a getto d'inchiostro

La viscosità e la tensione superficiale delle nanoparticelle NP1 sono state corrette aggiungendo glicerolo (19.8% in peso) e Triton X-100 (1.2% in peso) come tensioattivo non ionico per raggiungere i 2.55 ± 0.05 mPa s e 31 mNm^{-1} , rispettivamente. Gli inchiostri sono stati filtrati attraverso un filtro di $2 \mu\text{m}$ per rimuovere le impurità e particelle grossolane che potrebbero bloccare gli ugelli della stampante.

La viscosità e la tensione superficiale dell'inchiostro rGO sono di 1.35 mPa s e 65 mNm^{-1} , rispettivamente. L'inchiostro rGO è stato stampato senza modifiche aumentando la tensione di accensione nel primo segmento di generazione di gocce per consentire un rapido aumento della pressione per l'espulsione a goccia. La tensione è stata ridotta lentamente nel secondo segmento per tagliare le code delle goccioline; formando così goccioline sferiche.

Una stampante a getto d'inchiostro dotata di una cartuccia usa e getta è stata utilizzata per i test.

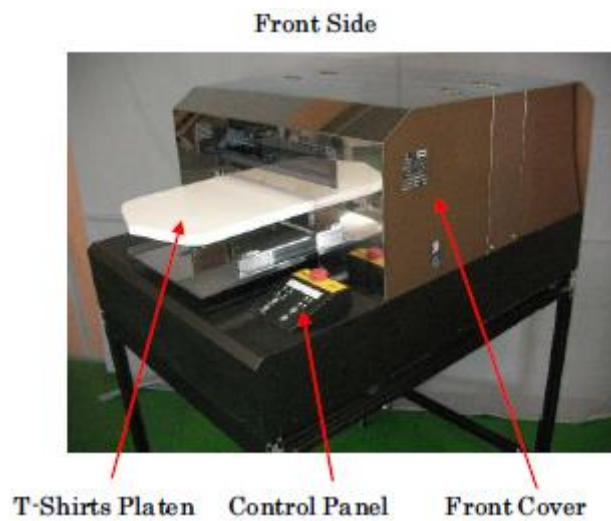


Figura 3 – Stampante a getto d'inchiostro.

Il pretrattamento con nanoparticelle organiche si basa su un'emulsione delle stesse con un polistirene funzionale (NP1) avente una dimensione media delle particelle di 63,12 nm (indice di polidispersione = 0,05) (Figura 4).

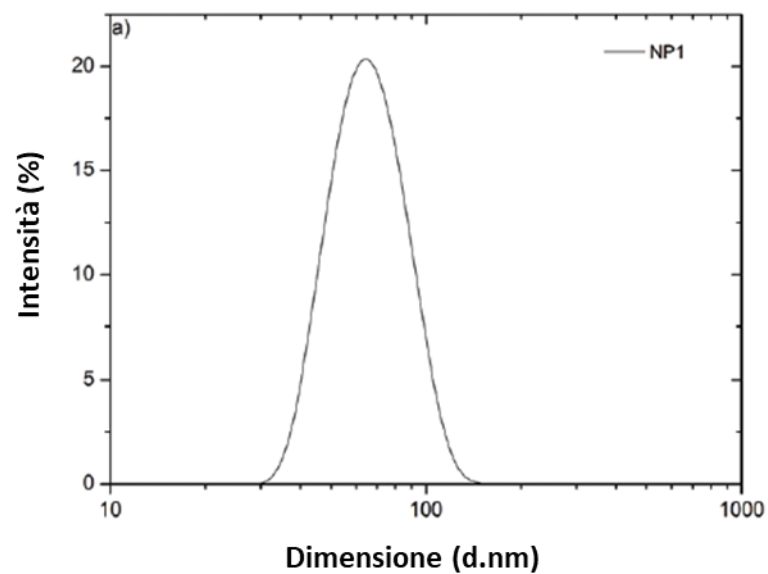


Figura 4 – Dimensione delle particelle NP1.

L'analisi statistica di 100 granuli di nanoparticelle utilizzando la microscopia (SEM) mostra che la dimensione laterale media di GO è 5,85 nm e quello di rGO è 4,86 nm (Figura 5).

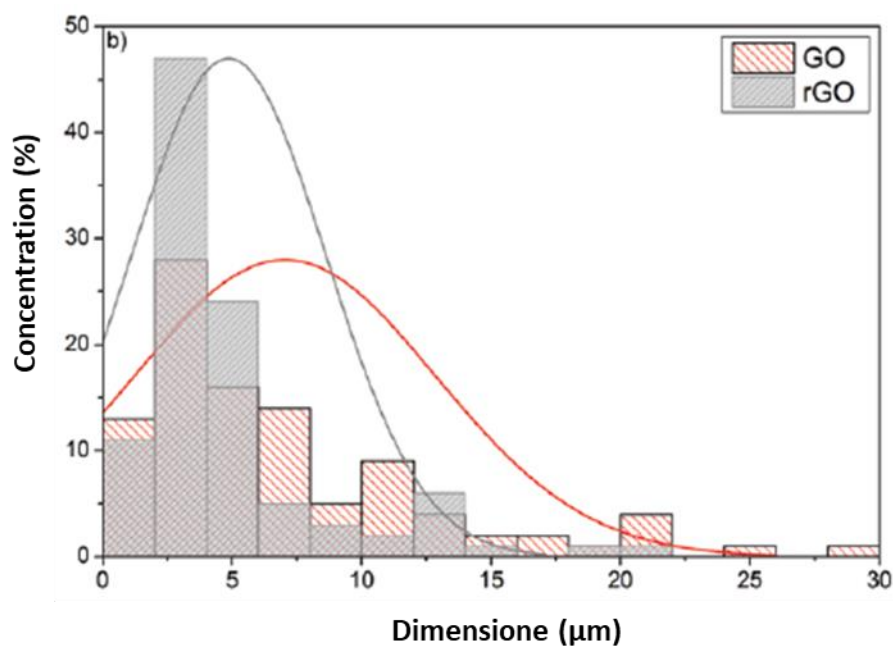


Figura 5 – Dimensione delle particelle GO ed rGO.

I test utilizzando tessuto 100% poliestere sono stati condotti per verificare il processo di stampa ink-jet con l'inchiostro sintetizzato.

I risultati ottenuti mediante microscopia a scansione elettronica hanno confermato il successo dell'attacco dell'ossido di grafene sulla superficie dei tessuti (Figura 6). L'interazione dell'ossido di graphene è stata verificata anche mediante spettroscopia infrarossa. Lo spettro presenta diversi gruppi di ossigeno (Fig. 7), che sono in accordo con quelli presenti in letteratura.

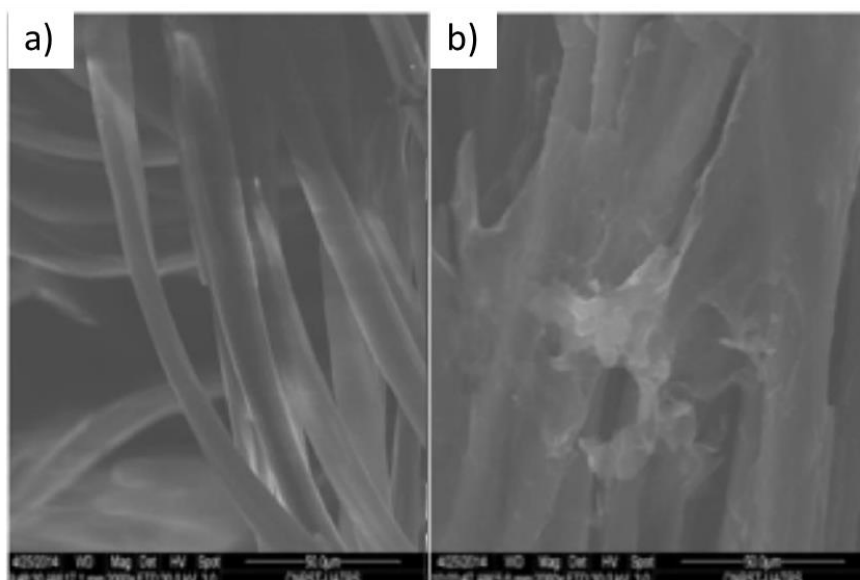


Figura 6 - Immagini SEM del tessuto 100% poliestere non trattato (a), trattato con GO (b)

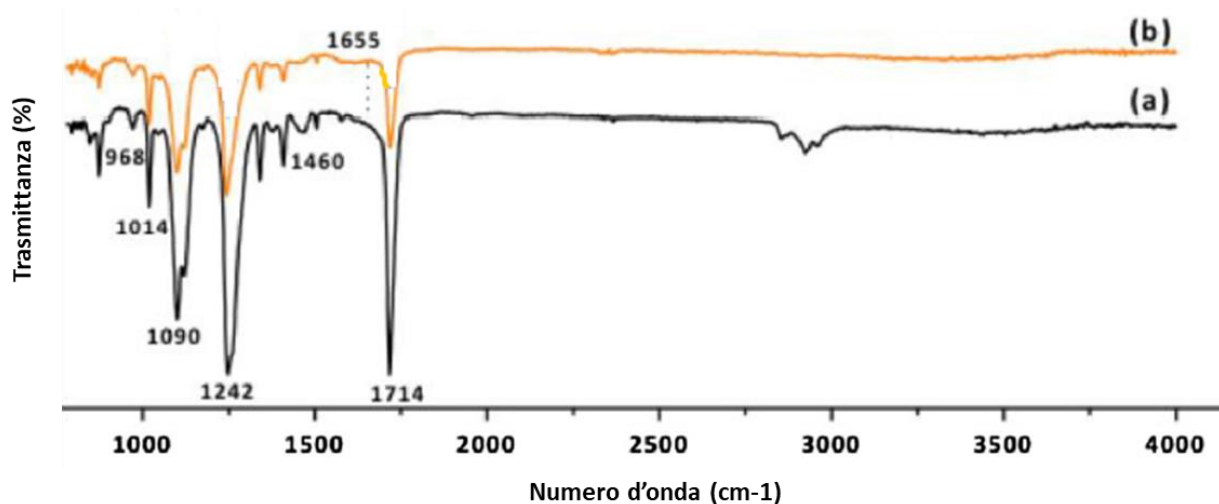


Figura 7 – Spettri IR del tessuto in poliestere tal quale (a) e funzionalizzato (b).

Nello spettro FT-IR del tessuto in poliestere non rivestito (Fig. 7a) le bande caratteristiche intorno a 968 e 1014 cm^{-1} corrispondono rispettivamente allo stiramento di C-O delle vibrazioni nel piano del glicole e del benzene. I picchi a 1090 e 1242 cm^{-1} rappresentano la vibrazione di stiramento C=O dell'estere; mentre il picco a 1714 cm^{-1} è assegnato al gruppo C=O dell'estere aromatico. I picchi di assorbimento nella regione da 1460 a 1650 cm^{-1} sono attribuiti alla vibrazione di stretching C=C. D'altra parte, gli spettri FT-IR dell'ossido di grafene rivestito di poliestere rivelano diversi cambiamenti rispetto a quello non rivestito (Fig. 7b), i cambiamenti includono: la comparsa di un nuovo picco a 1655 cm^{-1} corrispondente alla vibrazione di allungamento di C=C presente nei nanofogli di grafene ossido; la scomparsa di due picchi a 1460 e 2920 cm^{-1} ; e anche una diminuzione dell'intensità di tutte le bande di assorbimento. Allo stesso modo, la vibrazione di stiramento del carbonile osservata a 1732 cm^{-1} si sposta leggermente verso onde di numero inferiore e si sovrappone a quella del poliestere.

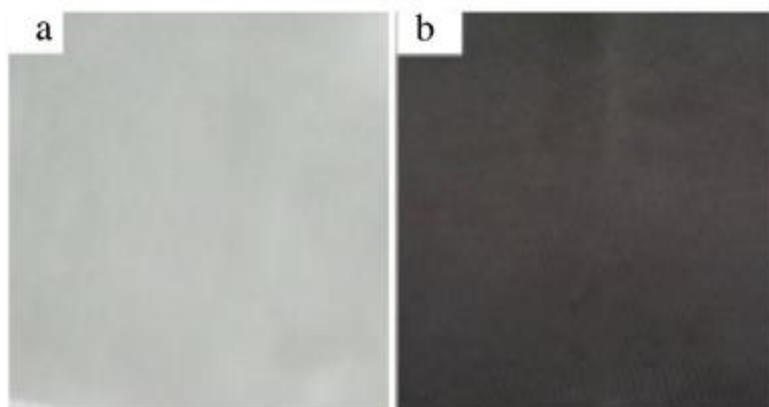


Figura 8 – Immagine del tessuto in poliestere tal quale (a) e funzionalizzato (b).

In seguito al processo di stampa, sono state verificate le proprietà meccaniche del tessuto trattato rispetto al non trattato. La resistenza alla trazione (N), gli allungamenti a rottura (%) ed il modulo di Young (MPa) sono stati ottenuti tramite test di trazione. I risultati sono rappresentati nella Tabella 1.

Tabella 1 – Proprietà meccaniche del tessuto in poliestere funzionalizzato e tal quale.

Campione	Resistenza alla trazione (N)	Allungamento a rottura (%)	Modulo di Young (MPa)
Poliestere tal quale	92.57	119.05	20.80
Poliestere funzionalizzato	87.90	122.36	18.90

3 CONCLUSIONI

Lo sviluppo del processo di stampa funzionalizzata al grafene su poliestere è stato condotto in linea con una possibile applicazione per abbigliamento sportivo.

In conclusione, abbiamo riportato un approccio facile ed efficiente che può dare la possibilità di stampare grafene su tessuti di poliestere con elevata uniformità e proprietà multifunzionali.

ALLEGATI

-

Cluster Tecnologico Nazionale Design, Creatività e Made in Italy

DESIGN NEXT MADE IN ITALY

CTN02_00053



PROGETTO FUNK-ITALY

Progettazione di prodotti 'Made in Italy' funzionalizzati, innovativi e sostenibili

CTN02_00053_10024434

D.2.2 - Relazione sulle proprietà termiche dei tessuti stampati

Versione deliverable:	1.0
Data	31/12/2018
Tipo di documento	Report
Stato del documento	Evaso
Autore/i	Ada Ferri, Francesca Dotti
Livello di confidenzialità	Riservato

Sommario

Partner.....	2
1 OBIETTIVI DEL PROGETTO.....	3
1.1 Introduzione	3
1.1.1 Materiali	3
1.1.2 Metodi	4
1.2 Risultati	7
1.2.1 Moisture Management Test.....	7
1.2.2 Permeabilità all'aria	8
1.2.3 Permeabilità al vapore	9
2 CONCLUSIONI.....	9
ALLEGATI	12
Appendice A.....	12
Appendice B.....	14

Partner

Ragione sociale	Abbreviazione
Calzaturificio Gal.men S.R.L.	Gal.men
Città Studi S.p.A.	Città Studi
CNR-DIITET (Dipartimento ICT, Ingegneria, Tecnologie per Energia e i Trasporti)	CNR
Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e Tecnologia dei Materiali	INSTM
COSMOB S.p.A.	COSMOB
G&P NEXT S.p.A.	G&P
Marchi & Fildi S.p.A. Industrie Italiane Filati	Marchi & Fildi
Morfeus S.p.A.	Morfeus
OTIR2020, Tuscany Fashion Cluster - NextTechnology Tecnotessile S.r.l.	OTIR2020-TFC
Università degli Studi di Firenze	UNIFI

1 OBIETTIVI DEL PROGETTO

1.1 Introduzione

Cinque campioni di tessuto sono stati sottoposti a specifiche prove per valutare l'influenza della stampa e del finissaggio su proprietà di gestione del liquido, traspirabilità all'aria e al vapore. Queste proprietà del tessuto sono quelle che maggiormente determinano il comfort termico del capo. I test effettuati sono:

- Moisture Management Test MMT, secondo norma AATCC TM195;
- Air Permeability secondo norma UNI EN ISO 9237:97
- Permeabilità al vapore (test effettuato presso CNR-ISMAL di Biella) secondo norma UNI EN 31092/96.

1.1.1 Materiali

I cinque tessuti sottoposti ad analisi sono tutti Poliammide con massa areica di 164 g/m². Si differenziano tra di loro per la presenza o meno della stampa contenente grafene, per il tipo di finissaggio effettuato e per aver eventualmente subito un lavaggio dopo il finissaggio.

Tutte le informazioni riportate sono riservate e devono essere utilizzate esclusivamente per le attività di monitoraggio del progetto Funk-Italy e non utilizzate al di fuori di questa finalità

N° campione	Stampa	Finissaggio	Lavaggio
Campione 1	NO	NO	NO
Campione 2	SI'	NO	NO
Campione 3	SI'	Finissaggio 1	NO
Campione 4	SI'	Finissaggio 2	NO
Campione 5	SI'	Finissaggio 1	SI'

Tabella 1: Tessuti testati.

Il lavaggio del Campione 5 è stato effettuato in un'apparecchiatura da laboratorio Mathis Labomat utilizzando detersivo standard ECE (4 g/l) a 40°C per 35 minuti con una rotazione di 50 rpm, invertendo la direzione di rotazione ogni minuto.

1.1.2 Metodi

1.1.2.1 Moisture Management Test

Il test valuta il "Liquid Moisture Management" di un tessuto secondo la norma americana AATCC 195-2009 "Liquid Moisture Management of Textile Fabrics" e prevede l'utilizzo dello strumento Moisture Management Tester (MMT) della SDL Atlas (Inghilterra).



Figura 1: Moisture Management Tester.

Il test ha lo scopo di valutare la capacità di un tessuto di assorbire il sudore prodotto durante l'attività fisica e di trasferirlo sul lato esterno del capo d'abbigliamento per facilitarne l'evaporazione. **Il tessuto ideale per lo sport dovrebbe avere una piccola superficie bagnata a contatto pelle, un'elevata velocità di trasferimento del liquido sulla faccia esterna del tessuto e una grande superficie bagnata sul lato esterno del tessuto, per massimizzare la velocità di evaporazione e di conseguenza quello che viene definito "evaporative cooling", cioè il raffreddamento del corpo dovuto all'evaporazione del sudore.**

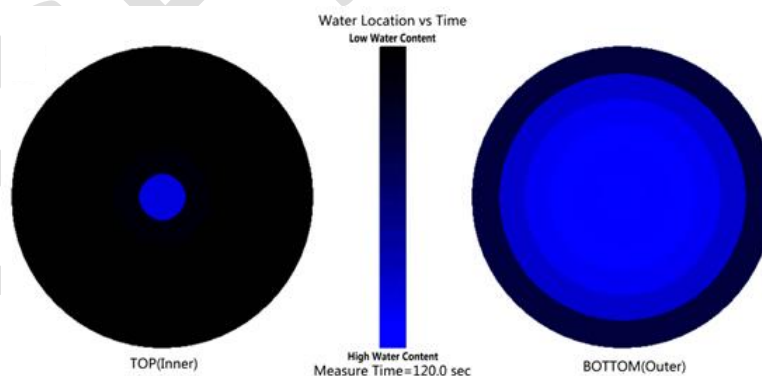


Figura 2: Esempio di tessuto "Moisture Management".

1.1.2.2 Permeabilità all'aria

La permeabilità all'aria è stata misurata secondo le indicazioni fornite dalla norma UNI EN ISO 9237:1997 su tessuti condizionati ($T=20^{\circ}\text{C}$, U.R.=65% per 24h), per mezzo del permeabilmetro Branca Air Permeability N°37/S, STA Branca Idealair S.a.s. (Italia).

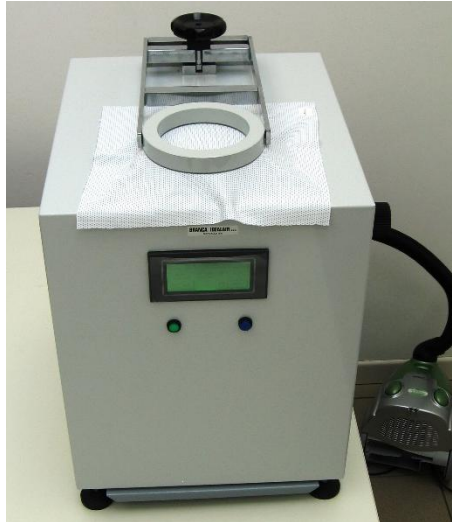


Figura 3: Air Permeability.

I parametri utilizzati per effettuare le misure sono:

- caduta di pressione: 100 Pa;
- volume di aria: 100 l;
- area di prova: 20 cm^2 .

I risultati derivano dalla media di 10 misure effettuate su aree diverse dello stesso campione, sono espressi in millimetri al secondo e rappresentano la velocità superficiale con cui l'aria attraversa perpendicolarmente il campione di tessuto.

I test di permeabilità al vapore sono stati effettuati presso il CNR-ISMAR di Biella per mezzo di uno Skin Model MTNW Sweating Guarded Hotplate (SGHP) 8.2 secondo la norma UNI EN 31092/96.



Figura 4: Skin model.

La resistenza al vapore d'acqua (Ret) è una quantità specifica dei materiali tessili e compositi che determina il flusso di calore latente di evaporazione attraverso una data superficie allorché sia applicato un gradiente di pressione di vapore d'acqua stabile nel tempo.

Il campione viene posizionato sopra una piastra porosa riscaldata elettricamente a 35°C e coperta da una membrana permeabile al vapore ma impermeabile all'acqua liquida, per simulare il comportamento della pelle umana. Il flusso di calore necessario per mantenere la piastra ad una temperatura costante è la misura del flusso di evaporazione dell'acqua. La misura di resistenza al passaggio di vapore viene effettuata confrontando il flusso di calore dalla piastra con e senza interposizione di tessuto. Le condizioni ambientali utilizzate durante i test sono: T = 35°C e R.H. = 40%. La resistenza al vapore d'acqua si misura in $\text{Pa} \times \text{m}^2 / \text{W}$. Nella tabella seguente, si riportano valori indicativi di Ret per valutare la traspirabilità di un tessuto:

Range Ret ($\text{Pa} \times \text{m}^2 / \text{W}$)	Valutazione
0 – 6	Tessuto estremamente traspirante
6 – 13	Tessuto molto traspirante
13 – 20	Traspirante
20 – 30	Appena traspirante

Tabella 2: Corrispondenza tra Ret e valutazione dei tessuti.

1.2 Risultati

1.2.1 Moisture Management Test

In Tabella 3 vengono riportati i parametri misurati dallo strumento MMT, espressi secondo una scala da 1 a 5, per tutti i tessuti analizzati. **Il valore 1 della scala rappresenta la prestazione peggiore e il valore 5 la prestazione migliore** per un tessuto per uso sportivo. In Appendice A è riportata la definizione dei parametri misurati dallo strumento.

I dati, per ogni tessuto, sono il risultato della media di 5 campioni ricavati dal tessuto stesso. In Appendice B, invece, si riportano tutti i dati relativi ai campioni analizzati per ciascun tessuto.

Nella tabella, "Top" si riferisce al lato interno del tessuto rivolto verso la pelle (il primo a bagnarsi), mentre "Bottom" si riferisce allo strato esterno.

	Wetting Time Top (s)	Wetting Time Bottom (s)	Top Absorption Rate (%/s)	Bottom Absorption Rate (%/s)	Top Max Wetted Radius (mm)	Bottom Max Wetted Radius (mm)	Top Spreading Speed (mm/s)	Bottom Spreading Speed (mm/s)	Accumulative One Way Transport	OMM C
Campione 1	4	3	4	4	1	1	1.5	1	4	1
Campione 2	5	5	2	3	5	5	4	3	3	1
Campione 3	4.5	3.5	2	3.5	5	5	3.5	3	4	1
Campione 4	4	3.5	2	3.5	5	5	3	2.5	3	1
Campione 5	5	4	2	4	5	5	3.5	3	4	1

Tabella 3: Dati MMT espressi in Grade.

In Tabella 4, si riporta la classificazione dei materiali testati, fornita dal software MMT sulla base dei valori dei parametri riportati in Tabella 3 (v. Appendice A).

N° Campione	Tessuto	Classificazione fornita dal sistema
Campione 1	Poliammide Classic tal quale	Water penetration fabric
Campione 2	Poliammide Classic stampa, No finissaggio	Moisture management fabric
Campione 3	Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1	Moisture management fabric
Campione 4	Poliammide Classic stampa, Finissaggio 2	Moisture management fabric
Campione 5	Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1, Lavaggio	Moisture management fabric

Tabella 4: Giudizio del sistema MMT sui materiali testati.

Nella tabella seguente (Tabella 5), come informazione complementare, si riportano la descrizione visiva del campione al termine del test e le relative immagini dei campioni testati.

N° Campione	Tessuto	Valutazione visiva	Immagine
Campione 1	Poliammide Classic tal quale	Liquido limitatamente assorbito dal tessuto e in larga misura permeato attraverso e depositato sul fondo dello strumento (Quantità sul fondo dello strumento: +++)	
Campione 2	Poliammide Classic stampa	Liquido quasi completamente assorbito dal tessuto e in minima quantità permeato attraverso il tessuto ed accumulato sul fondo dello strumento (Quantità sul fondo dello strumento: +) Liquido maggiormente diffuso in corrispondenza delle zone stampate	
Campione 3	Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1	Liquido quasi completamente assorbito dal tessuto e in minima quantità permeato attraverso il tessuto ed accumulato sul fondo dello strumento (Quantità sul fondo dello strumento: +) Liquido maggiormente diffuso in corrispondenza delle zone stampate	
Campione 4	Poliammide Classic stampa, Finissaggio 2	Liquido completamente assorbito dal tessuto, diffusione circolare	
Campione 5	Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1, Lavaggio	Liquido completamente assorbito dal tessuto, diffusione circolare	

Tabella 5: Valutazione visiva e immagine dei tessuti dopo test all'MMT.

1.2.2 Permeabilità all'aria

Di seguito, in tabella 6, vengono riportati i risultati della permeabilità all'aria. Per ogni campione analizzato è riportato il valore medio e la deviazione standard, relativi alle dieci misure effettuate.

N° Campione	Tessuto	Media (mm/s)	Deviazione Standard (mm/s)	Variazione rispetto al Campione 1 (%)
Campione 1	Poliammide Classic tal quale	430.4	26.9	-
Campione 2	Poliammide Classic stampa	338.6	22.1	- 21.3
Campione 3	Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1	393.5	27.1	- 8.6
Campione 4	Poliammide Classic stampa, Finissaggio 2	482.6	10.9	+ 12.1
Campione 5	Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1, Lavaggio	275.1	22.2	- 36.1

Tabella 6: Valori di permeabilità all'aria.

1.2.3 Permeabilità al vapore

In tabella 7 vengono riportati i risultati della permeabilità al vapore in termini di resistenza al passaggio di vapore acqueo (Ret). Per ogni campione analizzato è riportato il valore medio derivante dai risultati di tre provini.

N° Campione	Tessuto	Ret (Pa x m2 / W)
Campione 1	Poliammide Classic tal quale	2.20
Campione 2	Poliammide Classic stampa	3.36
Campione 3	Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1	3.63
Campione 4	Poliammide Classic stampa, Finissaggio 2	3.37
Campione 5	Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1, Lavaggio	4.53

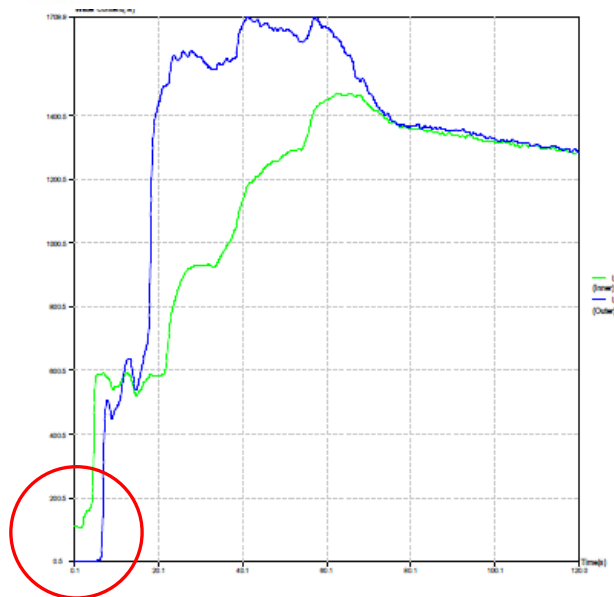
Tabella 7: Valori di resistenza al vapore.

2 CONCLUSIONI

Dai risultati ottenuti si deduce che:

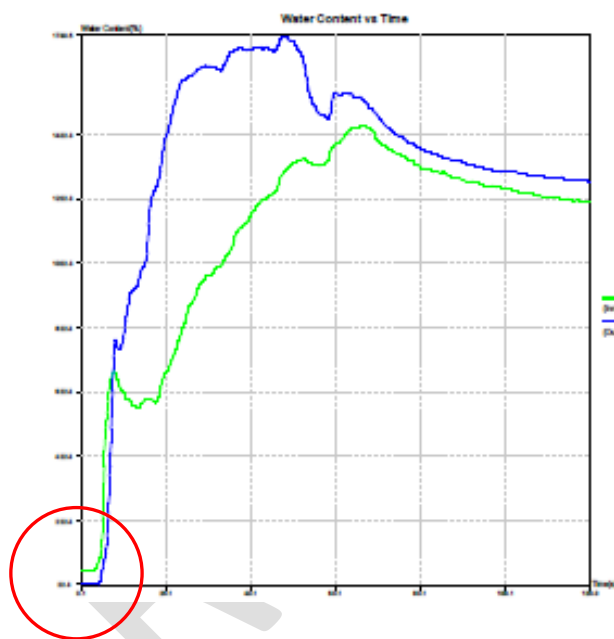
- **Moisture Management Test:** il tessuto Poliammide tal quale (Campione 1) risulta avere scarsa affinità per l'acqua con conseguente permeazione della stessa attraverso il tessuto (**Water penetration fabric**). Le altre tipologie di tessuto Poliammide sottoposte a ulteriori trattamenti (stampa e finissaggio) risultano avere buone proprietà di gestione del sudore o di liquidi acquosi. In particolar modo, i tessuti Poliammide con stampa e finissaggio 2 (Campione 4) e con finissaggio 1 dopo lavaggio (Campione 5), presentano un ampio alone di diffusione del liquido di forma circolare. Nelle altre due tipologie di tessuto Poliammide stampato senza finissaggio (Campione 2) e con finissaggio 1 (Campione 3), la zona di diffusione del liquido segue le aree stampate. Inoltre, tutti i tessuti presentano una velocità di diffusione del liquido leggermente maggiore sul lato interno rispetto all'esterno e zone bagnate che si equivalgono per dimensioni in entrambi i lati del tessuto. Tutti i tessuti stampati e finiti con Finissaggio 1 e 2 vengono classificati dallo strumento come **Moisture Management Fabric**, cioè adatti per il confezionamento di capi di abbigliamento sportivo per la loro capacità di convogliare il sudore sulla faccia esterna del tessuto e favorirne la rapida evaporazione.

Da segnalare sul grafico relativo al tessuto Poliammide Classic con stampa (Campione 2) la presenza di un disturbo iniziale, in cui lo strumento segnala la presenza del liquido sul lato interno prima dell'inizio del test. In realtà, l'effetto è dovuto alla conducibilità elettrica del grafene e all'interferenza delle piste create dalla stampa con il principio di misura dello strumento, basato sulla variazione di conducibilità elettrica di un tessuto quando viene bagnato con una soluzione salina.



Il grafico riporta nelle ascisse il tempo del test e nelle ordinate la quantità di liquido.

L'effetto scompare nei tessuti sottoposti a finissaggio, probabilmente perché la resina non conduttiva copre lo strato di grafene conduttivo mentre è di nuovo presente, ma in misura minore, sul tessuto lavato, a causa della presenza di sostanze ioniche presenti nel detergente e rimaste in forma residua sul tessuto (Campione 5).



- **Permeabilità all'aria:** in generale si evidenzia una diminuzione della permeabilità all'aria sui tessuti stampati (Campione 2, Campione 3 e Campione 5) rispetto al tessuto tal quale (Campione 1). Per il Campione 4 (finissaggio 2) si evidenzia un aumento di permeabilità all'aria del 12% rispetto al tessuto tal quale. Inoltre risulta essere il tessuto più omogeneo con una deviazione standard decisamente inferiore rispetto agli altri tessuti.

Da evidenziare la notevole diminuzione di permeabilità all'aria del tessuto lavato (Campione 5), il 36% meno permeabile del tal quale e il 30% meno permeabile rispetto al tessuto di partenza, prima del lavaggio.

L'interpretazione dei risultati è la seguente:

- la stampa riduce la permeabilità all'aria del 20% circa;
- il finissaggio effettuato in rameuse mette in tensione il tessuto e ne fissa la dimensione. Questa operazione determina maggiore apertura del tessuto, con conseguente recupero della permeabilità all'aria, più evidente nel finissaggio 2, in cui la permeabilità diventa addirittura maggiore rispetto al tessuto tal quale, ma

riscontrabile anche nel finissaggio 1, a seguito del quale il tessuto recupera permeabilità all'aria (393.5 mm/s) rispetto al tessuto stampato (338.6 mm/s)

- a seguito del lavaggio, l'effetto di tensione sul tessuto dovuto al finissaggio viene rimosso e il tessuto si restringe con conseguente riduzione di permeabilità all'aria.

Per poter spiegare i risultati ottenuti è stata misurata la massa areica:

N° Campione	Tessuto	Massa areica (g/m ²)
Campione 1	Poliammide Classic tal quale	165
Campione 2	Poliammide Classic stampa	175
Campione 3	Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1	172
Campione 4	Poliammide Classic stampa, Finissaggio 2	171
Campione 5	Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1, Lavaggio	181

Tabella 8: Massa areica.

Dal peso dei campioni risulta evidente che il Campione 5 ha subito una variazione dimensionale durante la fase di lavaggio che ha portato un incremento di peso per unità di superficie con conseguente compattazione della struttura. Inoltre i trattamenti di finissaggio determinando una diminuzione della massa areica rispetto al tessuto solo stampato (Campione 2) probabilmente per effetto del tensionamento della struttura del tessuto durante il finissaggio o per la rimozione di residui del processo di stampa.

- Permeabilità al vapore: come per la permeabilità all'aria, si evidenzia una diminuzione della permeabilità al vapore sui tessuti stampati (Campione 2, Campione 3, Campione 4 e Campione 5) rispetto al tessuto tal quale (Campione 1). La diminuzione è causata dalla deposizione della stampa (Campione 2) ma anche dal trattamento di finissaggio (Finissaggio 1 – Campione 3). Il finissaggio 2 (Campione 4), invece, mantiene le caratteristiche di permeabilità al vapore inalterate rispetto al solo stampato senza finissaggio (Campione 2). Analogamente alla permeabilità all'aria, la permeabilità al vapore risulta diminuire nel tessuto dopo il lavaggio (Campione 5), a causa della compattazione del tessuto stesso.

In conclusione, **il tessuto stampato con finissaggio 2 presenta le migliori caratteristiche di gestione del liquido e di permeabilità all'aria e al vapore.**

ALLEGATI

Appendice A

Moisture Management Test (MMT)

Il test serve per valutare il "liquid moisture management" di un tessuto secondo il metodo AATCC 195-2009 e prevede l'utilizzo del Moisture Management Tester (MMT) della SDL Atlas (Inghilterra). In particolare, l'MMT è in grado di valutare la capacità del tessuto di trasferire una soluzione salina in tre direzioni differenti:

- 1) trasporto radiale sulla superficie interna (top);
- 2) trasferimento dalla superficie interna a quella esterna;
- 3) trasporto radiale sulla superficie esterna (bottom).

Per quantificare questi tre processi, il sistema fornisce una serie di indici:

- **absorption rate (AR)**: velocità media di assorbimento del liquido da parte dell'interno (top) e dell'esterno (bottom) durante la fase iniziale del test;
- **wetting time (WT)**: tempo impiegato dal 'top' e dal 'bottom' per iniziare a bagnarsi dopo la partenza del test. Un tempo di 120s, pari al tempo totale del test, significa che la superficie è rimasta asciutta;
- **spreading speed (SS)**: velocità di trasporto radiale dal punto di caduta della soluzione salina al massimo raggio di bagnatura del tessuto;
- **accumulative one-way transport capability (R)**: trasporto del liquido dall'interno all'esterno, sulla base della differenza dell'area bagnata delle due superfici (Area bottom-Area top) rispetto al tempo;
- **overall liquid moisture management capability (OMMC)**: indice della capacità complessiva di un tessuto di trasportare il liquido, calcolata dal sistema sulla base dei risultati ottenuti da 3 dei parametri misurati: AR bottom, SS bottom e R.

Per tutti questi indici il sistema fornisce sia i valori numerici che i corrispettivi 'grade', calcolati rapportando i dati numerici in una scala da 1 a 5, dove 1 è la prestazione peggiore e 5 quella migliore. La seguente tabella (tratta dal manuale dello strumento) riassume le correlazioni tra i valori numerici delle misure e i grade attribuiti dal sistema:

Index		Grade				
		1	2	3	4	5
Wetting time (s)	Top	≥ 120	20 - 119	5 - 19	3 - 5	< 3
		<i>No wetting</i>	<i>Slow</i>	<i>Medium</i>	<i>Fast</i>	<i>Very fast</i>
	Bottom	≥ 120	20 - 119	5 - 19	3 - 5	< 3
		<i>No wetting</i>	<i>Slow</i>	<i>Medium</i>	<i>Fast</i>	<i>Very fast</i>
Absorption rate (%/s)	Top	0 - 9	10 - 29	30 - 49	50 - 100	> 100
		<i>Very slow</i>	<i>Slow</i>	<i>Medium</i>	<i>Fast</i>	<i>Very fast</i>
	Bottom	0 - 9	10 - 29	30 - 49	50 - 100	> 100
		<i>Very slow</i>	<i>Slow</i>	<i>Medium</i>	<i>Fast</i>	<i>Very fast</i>
Max wetted radius (mm)	Top	0 - 7	8 - 12	13 - 17	18 - 22	> 22
		<i>No wetting</i>	<i>Small</i>	<i>Medium</i>	<i>Large</i>	<i>Very large</i>

	Bottom	0 - 7	8 - 12	13 - 17	18 - 22	> 22
		<i>No wetting</i>	<i>Small</i>	<i>Medium</i>	<i>Large</i>	<i>Very large</i>
Spreading speed (mm/s)	Top	0.0 - 0.9	1.0 - 1.9	2.0 - 2.9	3.0 - 4.0	> 4.0
		<i>Very slow</i>	<i>Slow</i>	<i>Medium</i>	<i>Fast</i>	<i>Very fast</i>
	Bottom	0.0 - 0.9	1.0 - 1.9	2.0 - 2.9	3.0 - 4.0	> 4.0
		<i>Very slow</i>	<i>Slow</i>	<i>Medium</i>	<i>Fast</i>	<i>Very fast</i>
One-way transport capability (R)		< -50	-50 - 99	100 - 199	200 - 400	> 400
		<i>Poor</i>	<i>Fair</i>	<i>Good</i>	<i>Very good</i>	<i>Excellent</i>
Overall Moisture Management Capability (OMMC)		0.00 - 0.19	0.20 - 0.39	0.40 - 0.59	0.60 - 0.80	> 0.80
		<i>Poor</i>	<i>Fair</i>	<i>Good</i>	<i>Very good</i>	<i>Excellent</i>

Tabella 4: Correlazione tra i valori numerici e i 'grade'.

I valori ottenuti rappresentano la media di 5 campioni provenienti dallo stesso tessuto.

Le misure vengono eseguite in condizioni standard (T=20°C e U.R.=65%), su tessuti climatizzati per almeno 24 ore.

I parametri di prova utilizzati prevedono un tempo di bagnatura di 20 s e una durata totale del test di 120 s.

In relazione ai risultati ottenuti, il sistema fornisce una rappresentazione grafica (Finger Print) e un giudizio del materiale testato, suddividendo i tessuti in 7 categorie differenti, così identificate:

- Water proof fabric
- Water repellent fabric
- Slow absorbing and slow drying fabric
- Fast absorbing and slow drying fabric
- Fast absorbing and quick drying fabric
- Water penetration fabric
- Moisture management fabric

Lo strumento, inoltre, fornisce il grafico del contenuto di umidità all'interno e all'esterno del campione nel tempo e una rappresentazione grafica degli aloni che si sono formati sul tessuto al termine della prova.

Appendice B

B.1 Dati completi (dati numerici misurati dallo strumento ed espressi nelle relative unità di misura)

B.1.1 Campione 1 – Poliammide Classic tal quale

	Wetting Time Top (s)	Wetting Time Bottom (s)	Top Absorption Rate (%/s)	Bottom Absorption Rate (%/s)	Top Max Wetted Radius (mm)	Bottom Max Wetted Radius (mm)	Top Spreading Speed (mm/s)	Bottom Spreading Speed (mm/s)	Accumulative One Way Transport	OMMC
F-1	3.281	10.313	82.6418	63.3751	5	5	1.4413	0.4762	259.1492	0
F-2	3.657	10.313	73.5493	60.9963	5	5	1.3007	0.4762	280.6503	0
F-3	4.125	4.219	76.4099	64.8687	5	5	1.1593	1.1346	408.9357	0
F-4	4.688	4.875	114.3006	52.8103	5	5	1.0256	0.9876	378.1842	0
F-5	4.5	17.156	89.3554	73.5236	5	5	1.0666	0.2883	287.9345	0
Mean	4.0502	9.3752	87.2514	63.1148	5	5	1.1987	0.6726	322.9708	0
S.Deviation	0.5833	5.2235	16.2989	7.4525	0	0	0.1719	0.3666	66.2009	0
CV	0.144	0.5572	0.1868	0.1181	0	0	0.1434	0.545	0.205	0

B.1.2 Campione 2 – Poliammide Classic stampa, No finissaggio

	Wetting Time Top (s)	Wetting Time Bottom (s)	Top Absorption Rate (%/s)	Bottom Absorption Rate (%/s)	Top Max Wetted Radius (mm)	Bottom Max Wetted Radius (mm)	Top Spreading Speed (mm/s)	Bottom Spreading Speed (mm/s)	Accumulative One Way Transport	OMMC
F-1	2.063	2.625	17.9671	37.1982	20	25	2.7971	2.5124	176.6848	0
F-2	1.687	2.812	21.5902	35.4857	25	25	3.5864	2.6498	154.9921	0
F-3	1.593	3.937	22.0717	46.7176	25	25	3.7395	3.7633	142.6536	0
F-4	1.406	1.781	25.6873	40.8145	25	25	4.1651	3.7346	164.2831	0
F-5	1.313	5.25	22.1153	75.9067	25	25	5.4598	2.0488	187.5235	0
Mean	1.6124	3.281	21.8863	47.2245	24	25	3.9496	2.9418	165.2274	0
S.Deviation	0.2921	1.3423	2.7378	16.6007	2.2361	0	0.9787	0.7698	17.6325	0
CV	0.1811	0.4091	0.1251	0.3515	0.0932	0	0.2478	0.2617	0.1067	0

B.1.3 Campione 3 – Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1

	Wetting Time Top (s)	Wetting Time Bottom (s)	Top Absorption Rate (%/s)	Bottom Absorption Rate (%/s)	Top Max Wetted Radius (mm)	Bottom Max Wetted Radius (mm)	Top Spreading Speed (mm/s)	Bottom Spreading Speed (mm/s)	Accumulative One Way Transport	OMMC
F-1	3.093	7.312	13.1236	84.7557	30	30	2.8385	2.7969	317.6078	0
F-2	2.719	7.594	13.5852	45.3529	30	30	3.2489	2.3249	324.5374	0
F-3	2.438	3.657	15.511	55.8049	30	30	3.333	2.934	362.5168	0
F-4	3.844	6.469	15.9516	29.9884	25	25	2.2086	1.8486	345.8831	0
F-5	3.281	4.031	16.2554	29.8509	30	30	2.9021	2.7397	341.1307	0
Mean	3.075	5.8126	14.8854	49.1506	29	29	2.9062	2.5288	338.3352	0
S.Deviation	0.5401	1.8489	1.4318	22.7271	2.2361	2.2361	0.4446	0.4429	17.8153	0
CV	0.1756	0.3181	0.0962	0.4624	0.0771	0.0771	0.153	0.1752	0.0527	0

B.1.4 Campione 4 – Poliammide Classic stampa, Finissaggio 2

	Wetting Time Top (s)	Wetting Time Bottom (s)	Top Absorption Rate (%/s)	Bottom Absorption Rate (%/s)	Top Max Wetted Radius (mm)	Bottom Max Wetted Radius (mm)	Top Spreading Speed (mm/s)	Bottom Spreading Speed (mm/s)	Accumulative One Way Transport	OMMC
F-1	4.406	6.656	31.3456	88.4891	25	30	2.3749	2.5323	167.9988	0
F-2	2.438	5.813	23.5371	52.8499	25	25	2.9635	2.2462	202.8824	0
F-3	4.313	8.532	24.6822	48.9986	25	25	1.9291	1.5103	151.2669	0
F-4	4.219	6.656	25.2993	46.1397	25	25	2.3735	2.2022	153.6561	0
F-5	4.313	5.813	24.194	34.3569	25	30	1.873	1.8174	116.5667	0
Mean	3.9378	6.694	25.8116	54.1669	25	27	2.3028	2.0617	158.4742	0
S.Deviation	0.841	1.1106	3.1604	20.392	0	2.7386	0.439	0.3997	31.2018	0
CV	0.2136	0.1659	0.1224	0.3765	0	0.1014	0.1907	0.1939	0.1969	0

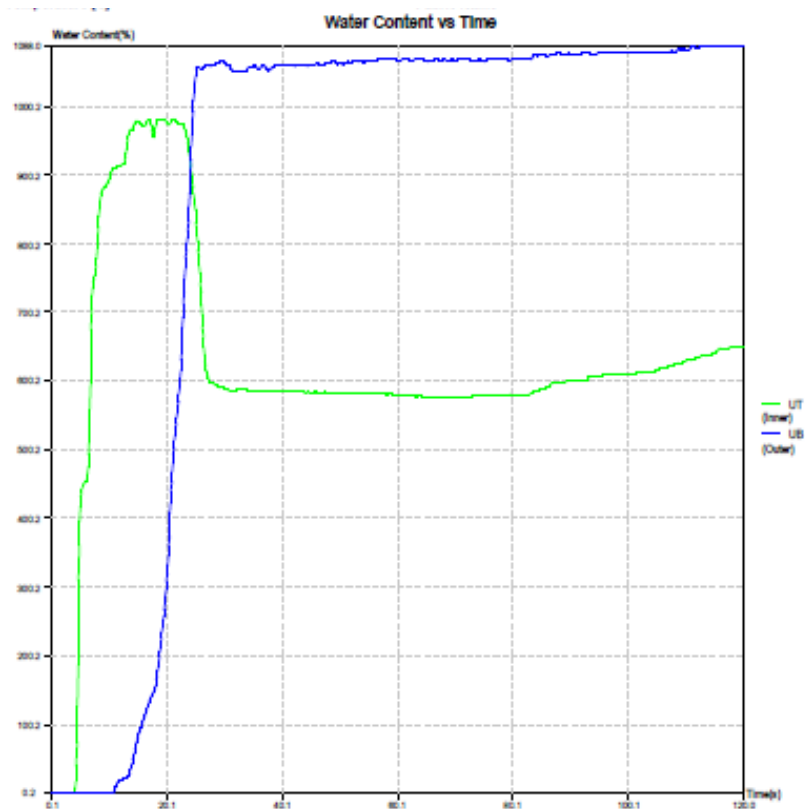
B.1.5 Campione 5 – Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1, Lavaggio

	Wetting Time Top (s)	Wetting Time Bottom (s)	Top Absorption Rate (%/s)	Bottom Absorption Rate (%/s)	Top Max Wetted Radius (mm)	Bottom Max Wetted Radius (mm)	Top Spreading Speed (mm/s)	Bottom Spreading Speed (mm/s)	Accumulative One Way Transport	OMMC
F-1	3	3.656	25.6878	62.082	25	25	2.8676	2.6643	232.7322	0
F-2	3.656	4.125	21.6754	59.7693	30	25	4.4518	1.9722	307.0635	0
F-3	2.062	2.437	21.7751	65.8004	25	25	2.6279	2.6586	311.6985	0
F-4	1.5	2.625	24.3195	71.6268	25	25	3.7853	2.8877	269.4298	0
F-5	4.687	4.968	23.402	77.4459	25	25	2.0442	1.784	252.7726	0
Mean	2.981	3.5622	23.372	67.3449	26	25	3.1554	2.3934	274.7393	0
S.Deviation	1.2653	1.0543	1.7096	7.2083	2.2361	0	0.9583	0.4839	34.2278	0
CV	0.4245	0.296	0.0731	0.107	0.086	0	0.3037	0.2022	0.1246	0

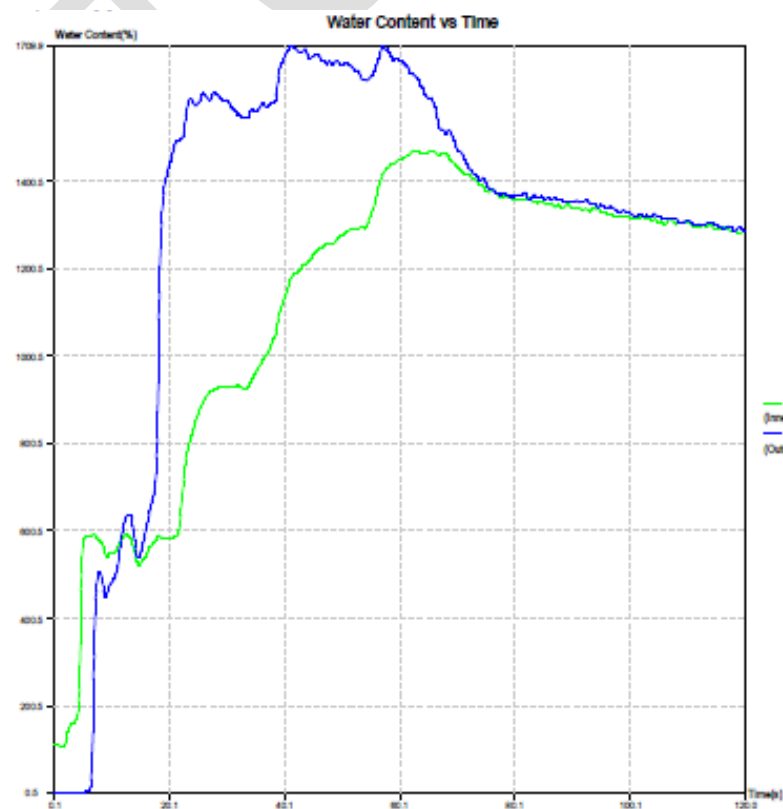
B.2 Grafici

La linea verde rappresenta la quantità d'acqua presente sull'interno del tessuto (il primo lato ad essere bagnato), mentre la linea blu rappresenta la quantità d'acqua sulla faccia esterna del tessuto.

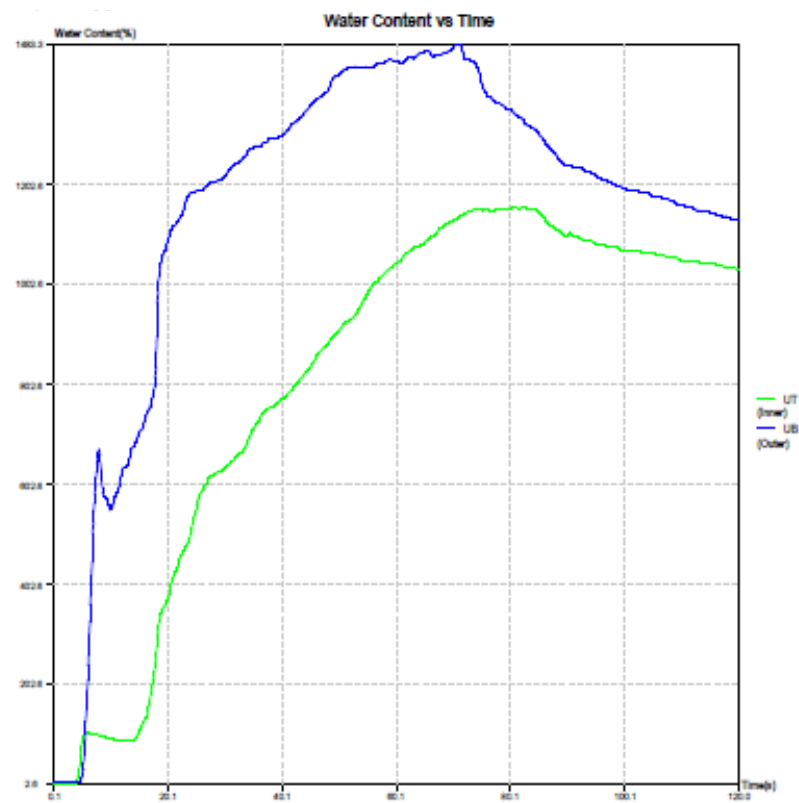
B.2.1 Campione 1 – Poliammide Classic tal quale

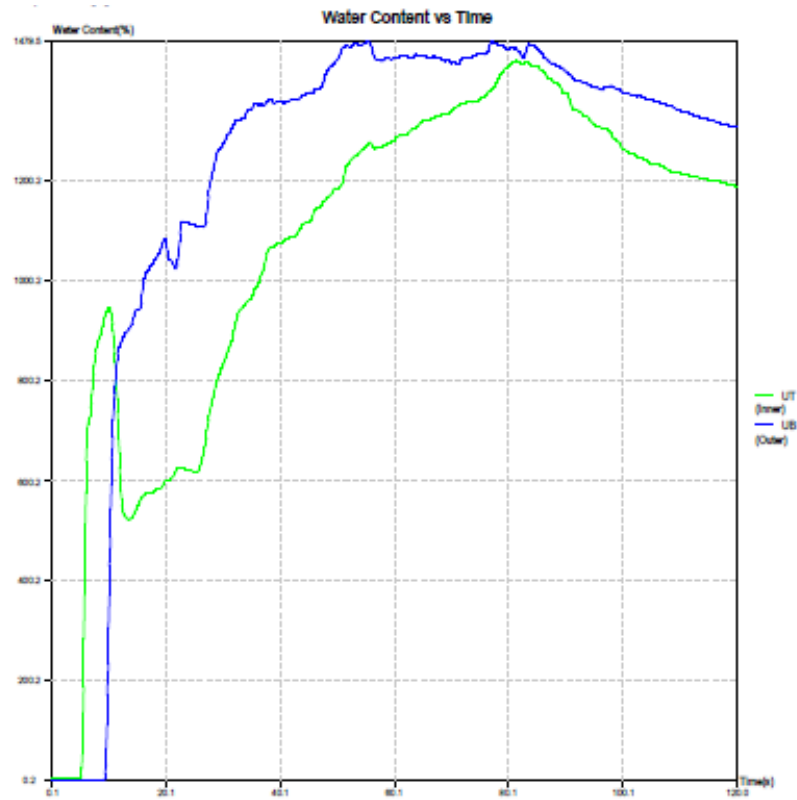


B.2.2 Campione 2 – Poliammide Classic stampa

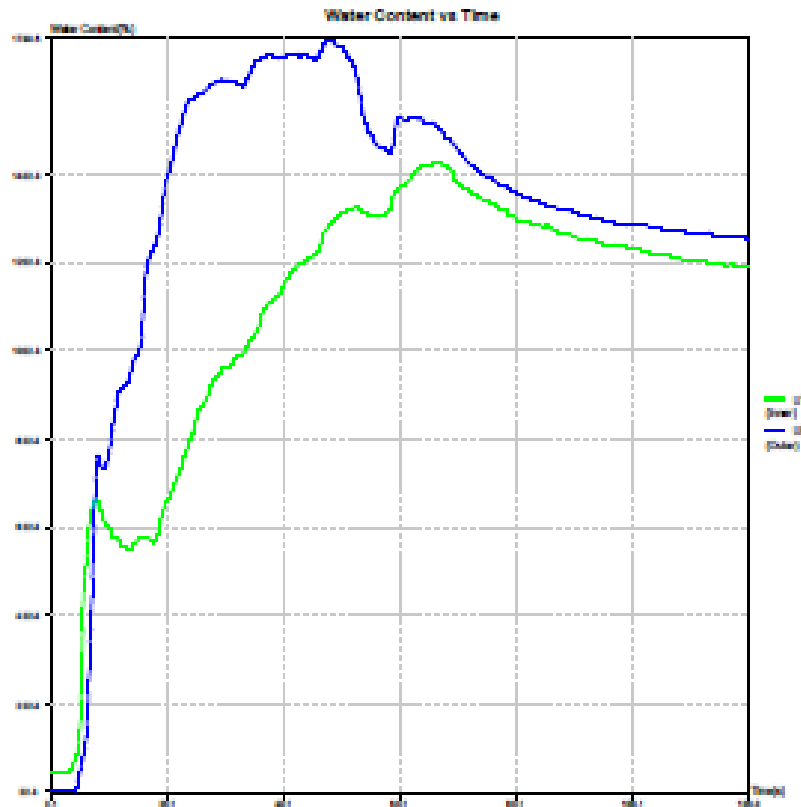


RISERVATO





B.2.5 Campione 5 – Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1, Lavaggio



B.3 Visualizzazione grafica

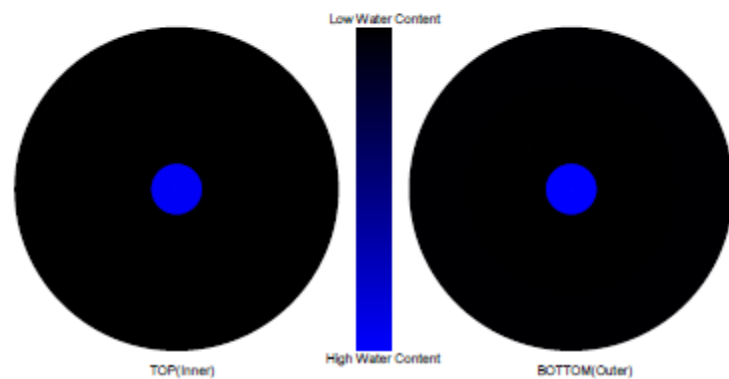
La zona blu descrive l'area bagnata. Il cerchio a sinistra rappresenta il lato interno del tessuto, mentre quello di destra il lato esterno.

B.3.1 Campione 1 – Poliammide Classic tal quale

Fabric Moisture Management Capability Test Report

.080	: F-1	Relative Humidity	: 70%
0,25 0,50 0,25	: MMT-	Pump Time (sec)	: 20
Date / Time	: 15:12:07 12/14/17	Test Time (sec)	: 120,0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0	: SDL-	Fabric Weight (g)	: 18,000
Temperature [C]	: 22	Fabric Name	: MMT0000-00

Water Location vs Time

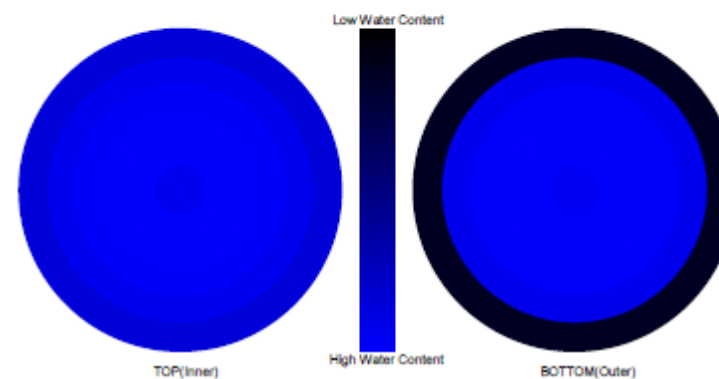


B.3.2 Campione 2 – Poliammide Classic stampa

Fabric Moisture Management Capability Test Report

.080	: F-5	Relative Humidity	: 70%
0,25 0,50 0,25	: MMT-	Pump Time (sec)	: 20
Date / Time	: 18:04:28 12/18/17	Test Time (sec)	: 120,0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0	: SDL-	Fabric Weight (g)	: 18,000
Temperature [C]	: 22	Fabric Name	: MMT0000-00

Water Location vs Time

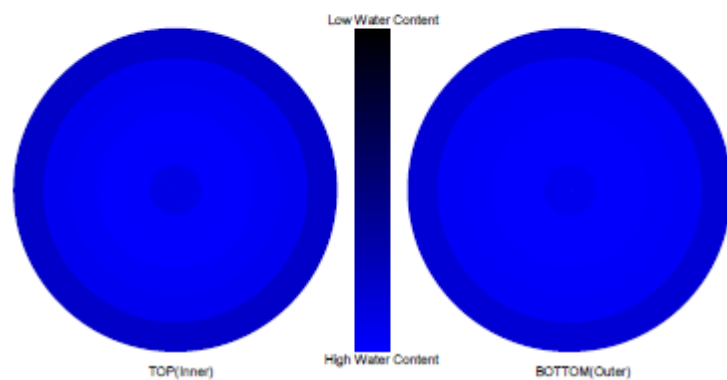


B.3.3 Campione 3 – Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1

Fabric Moisture Management Capability Test Report

.080	: F-3	Relative Humidity	: 70%
0,25 0,50 0,25	: MMT-	Pump Time (sec)	: 20
Date / Time	: 10:07:11 12/14/17	Test Time (sec)	: 120.0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0	: SDL-	Fabric Weight (g)	: 18.000
Temperature [C]	: 22	Fabric Name	: MMT0000-00

Water Location vs Time

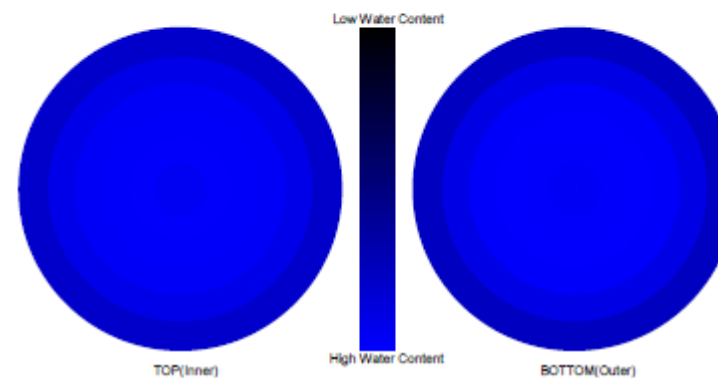


B.3.4 Campione 4 – Poliammide Classic stampa, Finissaggio 2

Fabric Moisture Management Capability Test Report

.080	: F-4	Relative Humidity	: 70%
0,25 0,50 0,25	: MMT-	Pump Time (sec)	: 20
Date / Time	: 16:22:57 12/14/17	Test Time (sec)	: 120.0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0	: SDL-	Fabric Weight (g)	: 18.000
Temperature [C]	: 22	Fabric Name	: MMT0000-00

Water Location vs Time

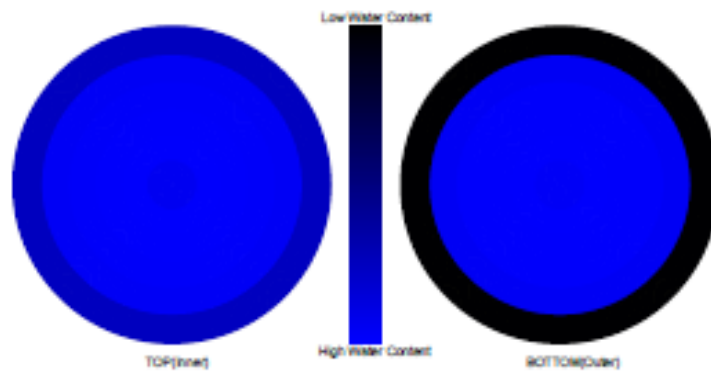


B.3.5 Campione 5 – Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1, Lavaggio

Fabric Moisture Management Capability Test Report

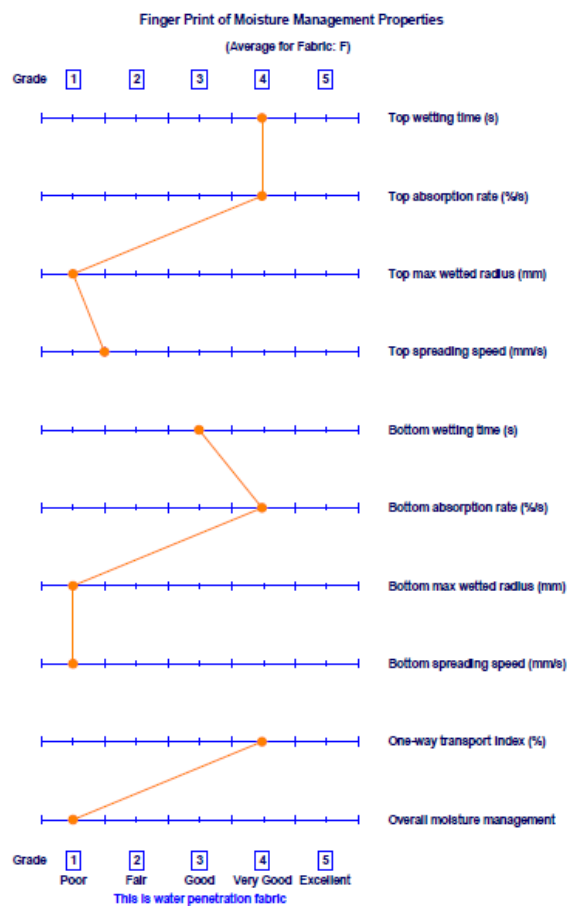
.JMS	P-1	Relative Humidity	: 70%
6,25 6,50 6,25	MWT	Pump Time (sec)	: 20
Date / Time	: 120630 011818	Test Time (sec)	: 1200
1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0	WCL	Fabric Weight (g)	: 16.000
Temperature [C]	: 22	Fabric Name	: NMT0000.00

Water Location vs Time

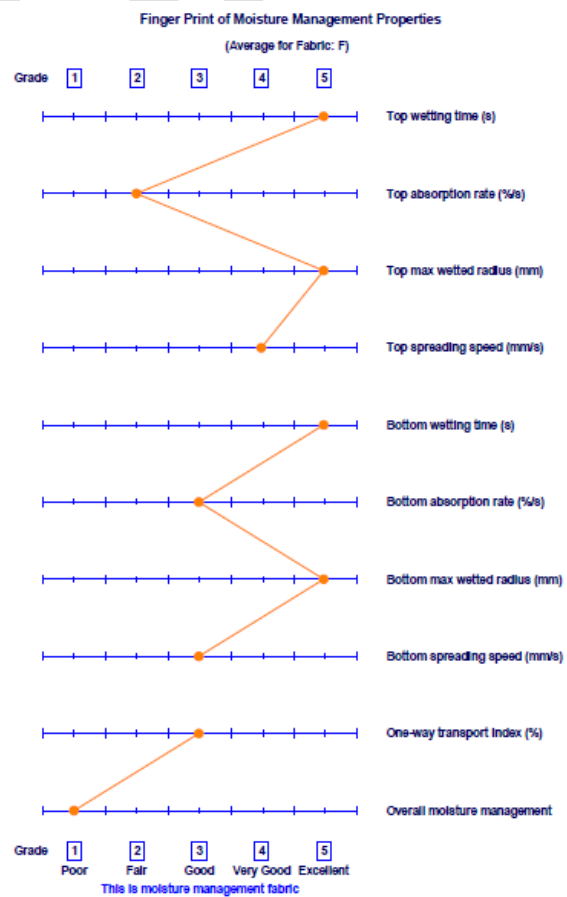


B.4 Finger Print

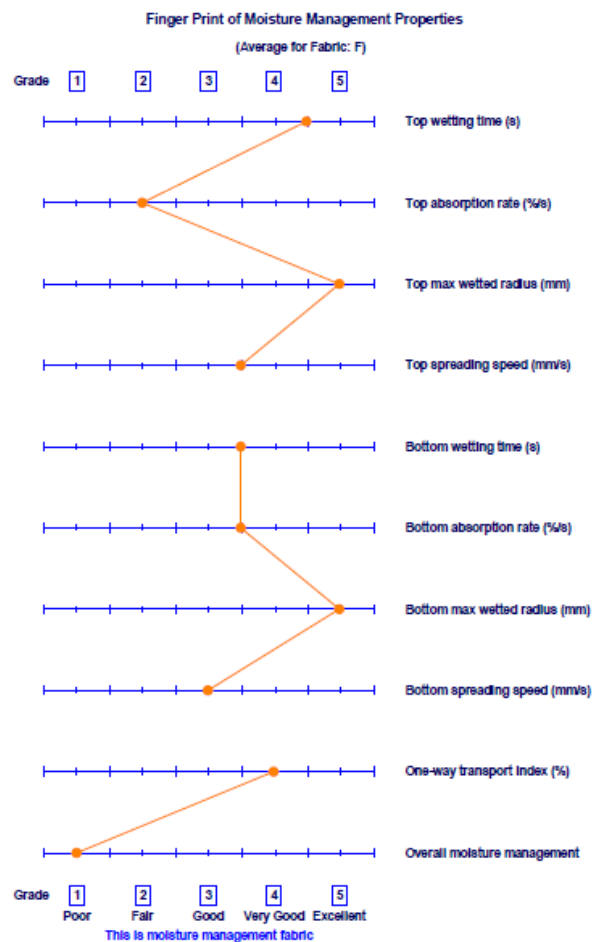
B.4.1 Campione 1 – Poliammide Classic tal quale



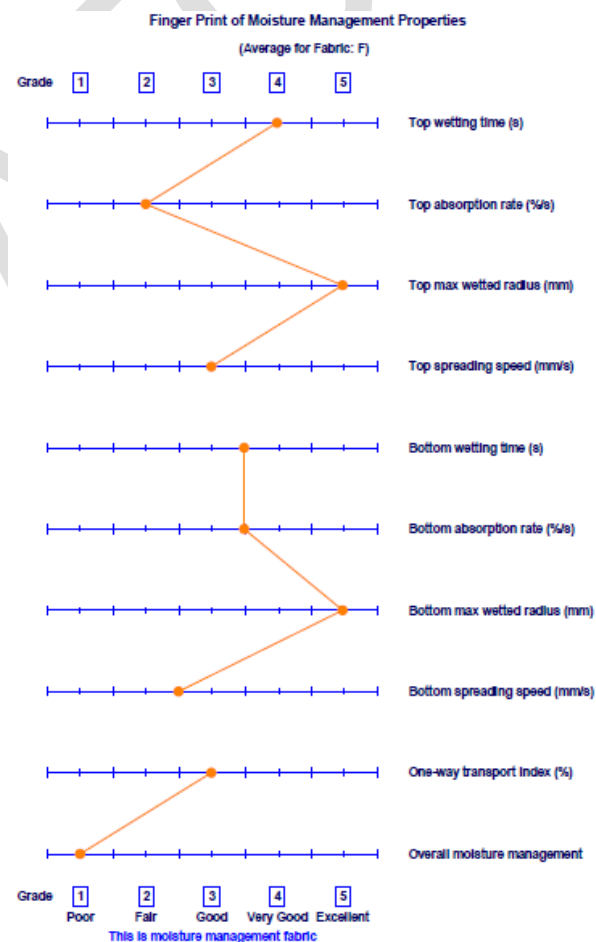
B.4.2 Campione 2 – Poliammide Classic stampa



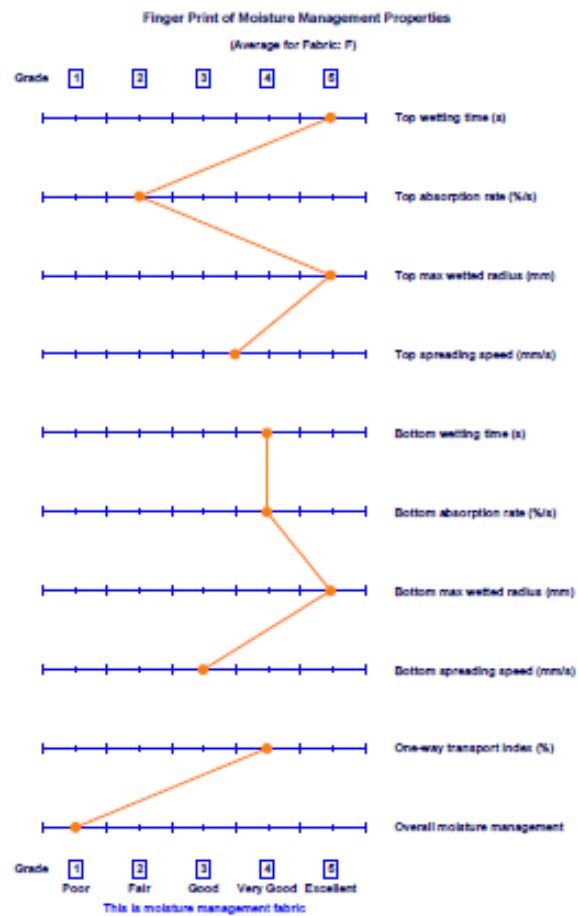
B.4.3 Campione 3 – Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1



B.4.4 Campione 4 – Poliammide Classic stampa, Finissaggio 2



B.4.5 Campione 5 – Poliammide Classic stampa, Finissaggio 1, Lavaggio



RISERVATO

Cluster Tecnologico Nazionale Design, Creatività e Made in Italy

DESIGN NEXT MADE IN ITALY

CTN02_00053



PROGETTO FUNK-ITALY

Progettazione di prodotti 'Made in Italy' funzionalizzati, innovativi e sostenibili

CTN02_00053_10024434

D.2.3 - Capo prototipo con distribuzione ottimizzata della stampa

Versione deliverable:	1.0
Data	31/03/2020
Tipo di documento	Report
Stato del documento	Evaso
Autore/i	Ada Ferri, Francesca Dotti
Livello di confidenzialità	Riservato

Sommario

Partner.....	2
1 OBIETTIVI DEL PROGETTO	3
1.1 Introduzione.....	3
1.2 Sviluppo del modello di sistema di termoregolazione del corpo umano	3
1.3 Modello di termoregolazione a 65 nodi	5
1.4 Equazioni di bilancio di calore in un modello a 65 nodi.....	6
2 CONCLUSIONI.....	9

Partner

Ragione sociale	Abbreviazione
Calzaturificio Gal.men S.R.L.	Gal.men
Città Studi S.p.A.	Città Studi
CNR-DIITET (Dipartimento ICT, Ingegneria, Tecnologie per Energia e i Trasporti)	CNR
Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e Tecnologia dei Materiali	INSTM
COSMOB S.p.A.	COSMOB
G&P NEXT S.p.A.	G&P
Marchi & Fildi S.p.A. Industrie Italiane Filati	Marchi & Fildi
Morfeus S.p.A.	Morfeus
OTIR2020, Tuscany Fashion Cluster - NextTechnology Tecnotessile S.r.l.	OTIR2020-TFC
Università degli Studi di Firenze	UNIFI

1 OBIETTIVI DEL PROGETTO

1.1 Introduzione

Lo studio ha riguardato la definizione di un modello di comfort termico attraverso l'utilizzo di un software di simulazione al fine di predire gli scambi di calore e umidità attraverso l'abbigliamento.

Il modello ha permesso di variare l'estensione e la posizione della stampa contenente grafene, simulando gli scambi termici attraverso i capi di abbigliamento allo scopo di ottimizzare il flusso termico attraverso i tessuti, bilanciando la migliorata conducibilità dovuta al grafene con la diminuita permeabilità all'aria, conseguenza della stampa.

L'implementazione del modello è avvenuta attraverso tre fasi fondamentali:

1. Sviluppo del modello di termoregolazione del corpo umano;
2. Definizione delle proprietà di scambio termico e di massa dell'abbigliamento partendo dalla sua morfologia, dalla geometria e dalle proprietà fisiche del tessuto;
3. Modellazione degli effetti di tipologie diverse di abbigliamento sul comfort in differenti condizioni ambientali.

Al termine dell'attività, sono stati prodotti tre capi d'abbigliamento prototipo per uso tecnico-sportivo, in particolare per utilizzo nel ciclismo:

- Una T-shirt senza stampa (CTR);
- Una T-shirt con stampa contenente grafene con pattern 1 (Type 1);
- Una T-shirt con stampa contenente grafene con pattern 2 (Type 2).

I due pattern di stampa sono stati sviluppati secondo le indicazioni fornite dalla simulazione.

1.2 Sviluppo del modello di sistema di termoregolazione del corpo umano

L'equilibrio termico del corpo umano è influenzato dalle condizioni ambientali locali e dalle caratteristiche fisiologiche individuali.

I parametri ambientali (temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria e umidità relativa) e gli input fisiologici umani (tasso metabolico, altezza, peso, percentuale di grasso, flusso sanguigno, sesso, superficie cutanea ecc.) servono come input del modello.

Come output, i modelli sono in grado di prevedere la temperatura e l'umidità della pelle.

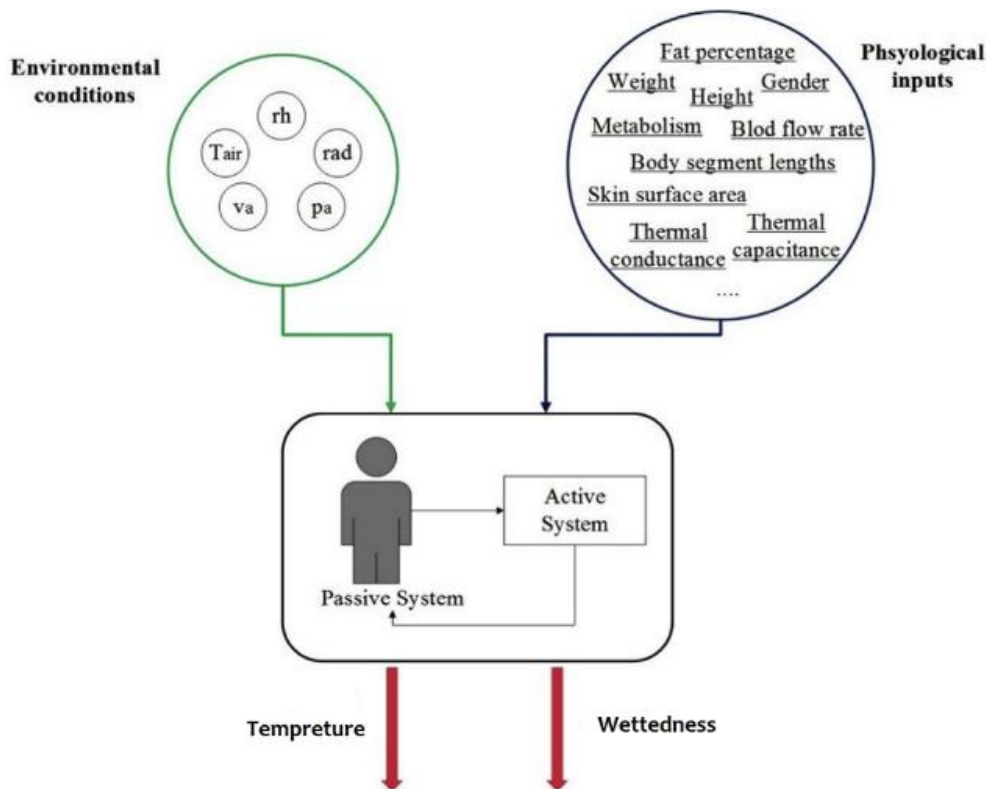


Figura 1 Schema relativo agli input e agli output del modello di termoregolazione.

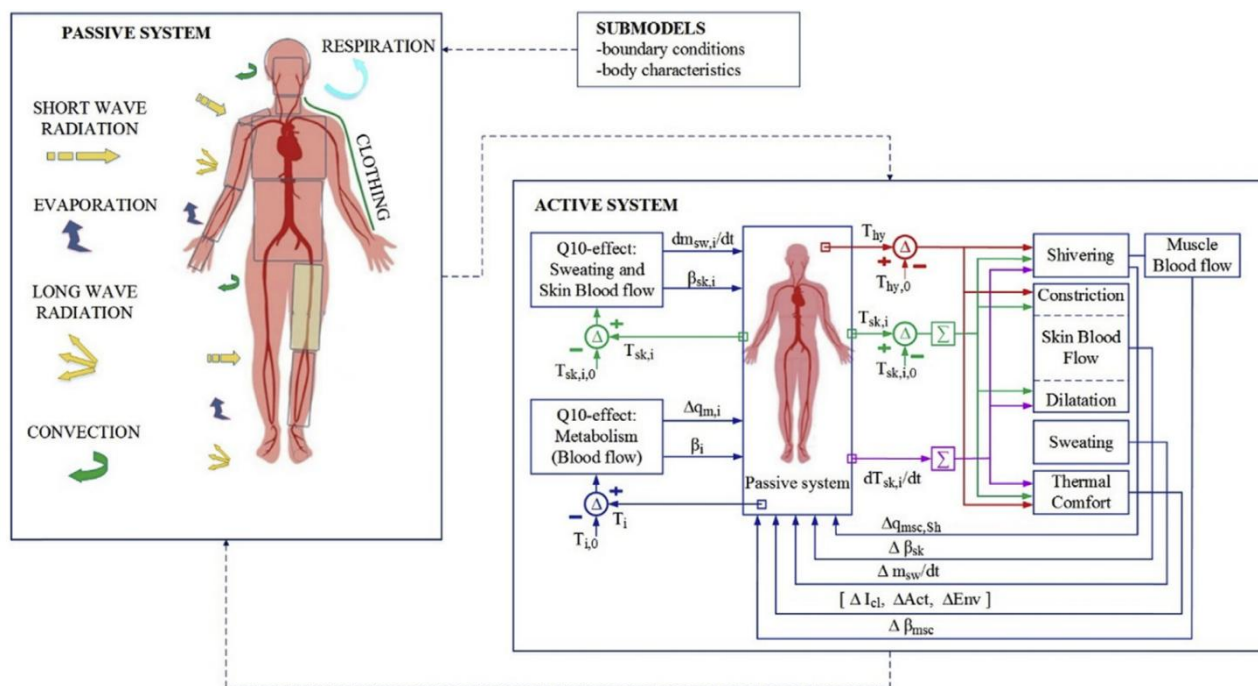


Figura 2 Diagramma del modello di termoregolazione.

1.3 Modello di termoregolazione a 65 nodi

Per la definizione del modello, il corpo umano è stato suddiviso in 16 segmenti: testa, torace, schiena, bacino, spalla sinistra, spalla destra, braccio sinistro, braccio destro, mano sinistra, mano destra, coscia sinistra, coscia destra, gamba sinistra, gamba destra, piede sinistro e piede destro. Ogni segmento è costituito da una parte centrale, dal muscolo, da uno strato di grasso e da uno strato di pelle. In questo modo si ottengono 64 nodi. Il nodo 65 è costituito dalla circolazione sanguigna centrale.

Il modello rappresenta i dati antropometrici di un uomo standard con un peso corporeo di 74 kg e con un'area superficiale di $1,87 \text{ m}^2$.

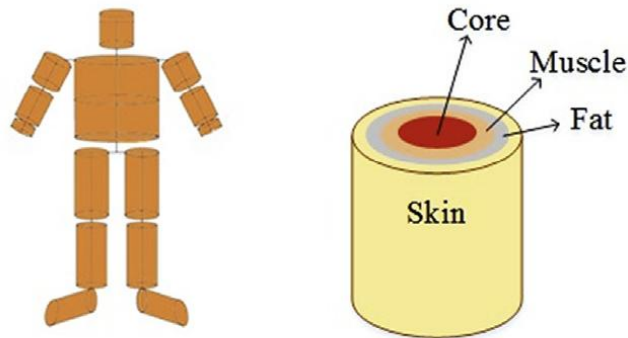


Figura 3 Modello di corpo umano a 65 nodi.

Il calore viene trasmesso per conduzione attraverso gli strati costituenti i 16 segmenti. Lo scambio di calore tra tessuti periferici e flusso sanguigno è semplificato, così come lo scambio con la circolazione sanguigna centrale.

Il corpo e l'ambiente, invece, scambiano calore attraverso i processi di convezione, radiazione, evaporazione del sudore e per mezzo della respirazione.

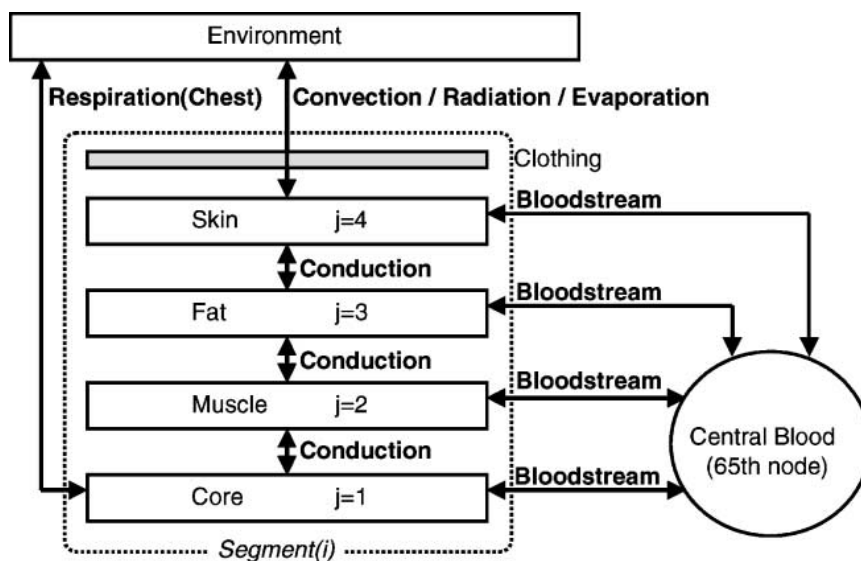
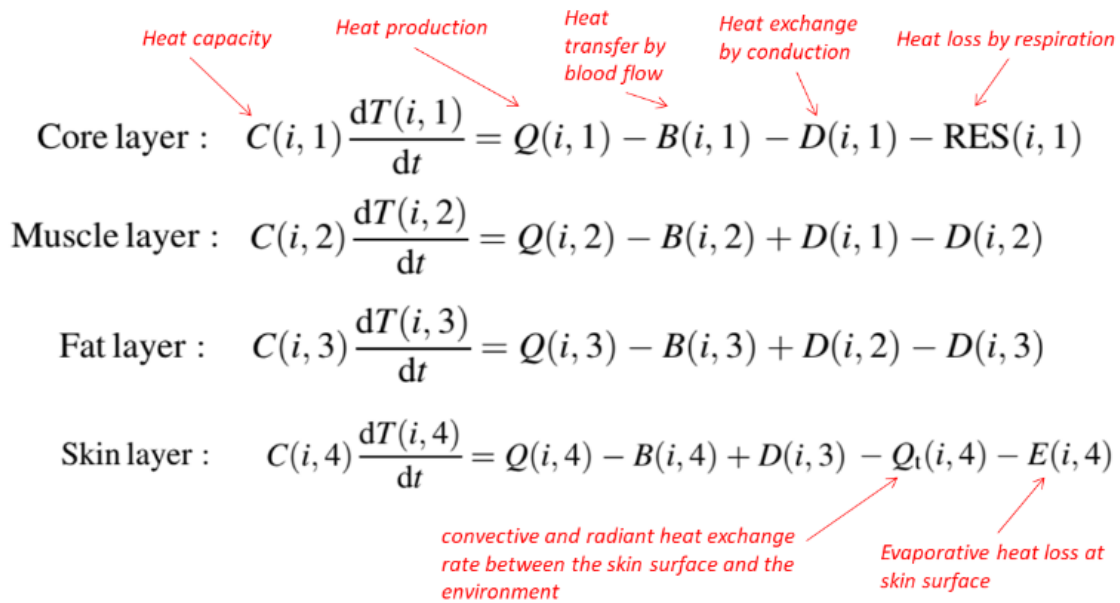


Figura 4 Modello di scambio di calore all'interno del corpo e con l'ambiente esterno.

1.4 Equazioni di bilancio di calore in un modello a 65 nodi



Heat capacity Heat production Heat transfer by blood flow Heat exchange by conduction Heat loss by respiration

Core layer : $C(i, 1) \frac{dT(i, 1)}{dt} = Q(i, 1) - B(i, 1) - D(i, 1) - \text{RES}(i, 1)$

Muscle layer : $C(i, 2) \frac{dT(i, 2)}{dt} = Q(i, 2) - B(i, 2) + D(i, 1) - D(i, 2)$

Fat layer : $C(i, 3) \frac{dT(i, 3)}{dt} = Q(i, 3) - B(i, 3) + D(i, 2) - D(i, 3)$

Skin layer : $C(i, 4) \frac{dT(i, 4)}{dt} = Q(i, 4) - B(i, 4) + D(i, 3) - Q_t(i, 4) - E(i, 4)$

convective and radiant heat exchange rate between the skin surface and the environment Evaporative heat loss at skin surface

$$\text{Err}(i, j) = (T(i, j) - T_{\text{set}}(i, j)) + \text{RATE}(i, j)F(i, j)$$

The error signal The setpoint temperature to control target temperature

RATE(*i, j*) is the dynamic sensitivity of the thermo-receptor and **F**(*i, j*) is the temperature change rate. Since quantitative analysis of the value for **RATE**(*i, j*) is not clear yet, it is set to be 0

$$\text{Wrm}(i, j) = \text{Err}(i, j), \quad \text{Cld}(i, j) = 0$$

$$\text{Cld}(i, j) = -\text{Err}(i, j), \quad \text{Wrm}(i, j) = 0$$

Warm signal **Wrm**(*i, j*) and cold signal **Cld**(*i, j*) corresponding to warm and cold receptors, respectively.

$T_{\text{set}}(i, j) \text{ (W/}^{\circ}\text{C)}$

i	Segment (i)	Core	Muscle	Fat	Skin
1	Head	36.9	36.1	35.8	35.6
2	Chest	36.5	36.2	34.5	33.6
3	Back	36.5	35.8	34.4	33.2
4	Pelvis	36.3	35.6	34.5	33.4
5	L-shoulder	35.8	34.6	33.8	33.4
6	R-shoulder	35.8	34.6	33.8	33.4
7	L-arm	35.5	34.8	34.7	34.6
8	R-arm	35.5	34.8	34.7	34.6
9	L-hand	35.4	35.3	35.3	35.2
10	R-hand	35.4	35.3	35.3	35.2
11	L-thigh	35.8	35.2	34.4	33.8
12	R-thigh	35.8	35.2	34.4	33.8
13	L-leg	35.6	34.4	33.9	33.4
14	R-leg	35.6	34.4	33.9	33.4
15	L-foot	35.1	34.9	34.4	33.9
16	R-foot	35.1	34.9	34.4	33.9
	Central blood (initial temperature, $^{\circ}\text{C}$)	36.7	36.7	36.7	36.7

Tabella 1 Risultati di una simulazione.

Si suppone che i segnali dei sensori integrati dai termocettori cutanei siano usati come variabile di controllo.

$$W_{\text{rms}} = \sum_{i=1}^{16} (\text{SKINR}(i) \times W_{\text{rm}}(i, 4)) \quad \text{Integrated warm signal (} W_{\text{rms}}, ^{\circ}\text{C)}$$

$$C_{\text{lds}} = \sum_{i=1}^{16} (\text{SKINR}(i) \times C_{\text{ld}}(i, 4)) \quad \text{integrated cold signal (} C_{\text{lds}}, ^{\circ}\text{C)}$$

the weighting coefficient for integration

i	Segment (i)	SKINR(i)	SKINS(i)	SKINV(i)	SKINC(i)	Chit(i)
1	Head	0.070	0.081	0.32	0.022	0.020
2	Chest	0.149	0.146	0.098	0.065	0.258
3	Back	0.132	0.129	0.086	0.065	0.227
4	Pelvis	0.212	0.206	0.138	0.065	0.365
5	L-shoulder	0.023	0.051	0.031	0.022	0.004
6	R-shoulder	0.023	0.051	0.031	0.022	0.004
7	L-arm	0.012	0.026	0.016	0.022	0.026
8	R-arm	0.012	0.026	0.016	0.022	0.026
9	L-hand	0.092	0.016	0.061	0.152	0.000
10	R-hand	0.092	0.016	0.061	0.152	0.000
11	L-thigh	0.050	0.073	0.092	0.022	0.023
12	R-thigh	0.050	0.073	0.092	0.022	0.023
13	L-leg	0.025	0.036	0.023	0.022	0.012
14	R-leg	0.025	0.036	0.023	0.022	0.012
15	L-foot	0.017	0.018	0.050	0.152	0.000
16	R-foot	0.017	0.018	0.050	0.152	0.000
	Total	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Tabella 2 Variabili di controllo.

Tutte le equazioni di controllo sono costituite da tre termini. Uno è correlato al segnale del nucleo della testa, un altro al segnale della pelle e il terzo termine è correlato a entrambi. Il sistema di termoregolazione è costituito da quattro processi di controllo: vasodilatazione, vasocostrizione, sudorazione e produzione di calore da brividi.

VASOMOZIONE

$$BF(i, 4) = \frac{BFB(i, 4) + (SKINV(i) \times DL)}{1 + (SKINC(i) \times ST)} \times km(i, 4)$$

skin blood flow (pointing to $BF(i, 4)$)

basal blood flow rate (pointing to $BFB(i, 4)$)

D_L and S_T are the signals, respectively, for vasodilation and vasoconstriction :

$$D_L = C_{dl}Err(1, 1) + S_{dl}(W_{rms} - Clds) + P_{dl}W_{rm}(1, 1)W_{rms}$$

$$S_T = -C_{st}Err(1, 1) - S_{st}(W_{rms} - Clds) + P_{st}Cld(1, 1)Clds$$

is called the "local multiplier", a factor for incorporating the effect of local skin temperature on vasomotion and perspiration, defined by :

$$km(i, 4) = 2.0^{Err(i, 4)/RT(i, 4)}$$

the temperature width required for $km(i, 4)$ to be 2. In this paper, value of $RT(i, 4)$ was considered to be 10 °C for all segments.

PERSPIRAZIONE: calore perso per evaporazione del sudore

$$E_{sw}(i, 4) = \{C_{sw}Err(1, 1) + S_{sw}(W_{rms} - Clds) + P_{sw}W_{rm}(1, 1)W_{rms}\}SKINS(i)km(i, 4)$$

$$C_h(i, 2) = \{-C_{ch}Err(1, 1) - S_{ch}(W_{rms} - Clds) + P_{ch}Cld(1, 1)Clds\}Chlf(i)$$

*the distribution coefficient of individual muscle layer
for the shivering heat production as shown in the table
in last slide*

Control coefficients

	Core (C)	Skin (S)	Core × skin (P)
Sweat (sw, W/°C)	$C_{sw} = 371.2$	$S_{sw} = 33.6$	$P_{sw} = 0.0$
Shivering (ch, W/°C)	$C_{ch} = 0.0$	$S_{ch} = 0.0$	$P_{ch} = 24.4$
Vasodilation (dl, l/h °C)	$C_{dl} = 117.0$	$S_{dl} = 7.5$	$P_{dl} = 0.0$
Vasoconstriction (st, l/°C)	$C_{st} = 11.5$	$S_{st} = 11.5$	$P_{st} = 0.0$

Tabella 3 Risultati di una simulazione.

Per ragioni di segreto industriale non si riportano i dati specifici derivanti dalle simulazioni inerenti diverse tipologie di pattern di stampa, confrontate anche con un tessuto tal quale.

2 CONCLUSIONI

Un modello matematico di comfort per prevedere gli scambi termici attraverso i capi di abbigliamento è stato messo a punto. Il modello è stato utilizzato per effettuare delle simulazioni di scambio di calore e di umidità su tessuti con differenti tipi di stampa contenente grafene in confronto con il tessuto tal quale. Tra i vari modelli di tessuto studiati, ne sono stati scelti due, differenti per il pattern di stampa utilizzato. I due pattern di stampa selezionati risultano essere il giusto compromesso tra l'incremento di conducibilità termica dovuto alla presenza del grafene e il decremento di permeabilità all'aria derivante dal processo di stampa.

Tre tipologie di T-shirt da ciclismo sono state prodotte al termine del processo di simulazione: una T-shirt con il tessuto tal quale e due T-shirt funzionalizzate con una stampa contenente grafene, applicata secondo i due pattern selezionati. Le tre T-shirt saranno sottoposte a test di indosso, in ambiente controllato, per verificarne le caratteristiche di comfort termo-fisiologico.

Cluster Tecnologico Nazionale Design, Creatività e Made in Italy

DESIGN NEXT MADE IN ITALY

CTN02_00053



PROGETTO FUNK-ITALY

Progettazione di prodotti 'Made in Italy' funzionalizzati, innovativi e sostenibili

CTN02_00053_10024434

D.2.3 - Capo prototipo con distribuzione ottimizzata della stampa

Versione deliverable:	1.0
Data	31/03/2020
Tipo di documento	Report
Stato del documento	Evaso
Autore/i	Ada Ferri, Francesca Dotti
Livello di confidenzialità	Riservato

Sommario

Partner	3
1 OBIETTIVI DEL PROGETTO	4
1.1 Introduzione	4
1.2 Materiali	5
1.3 Permeabilità all'aria.....	5
1.4 Tester.....	5
1.5 Protocollo sperimentale.....	6
1.5.1 Temperatura media cutanea e umidità relativa della pelle	7
1.5.2 Temperatura e umidità del microclima	9
1.5.3 Quantità di sudore.....	9
1.5.4 Frequenza cardiaca e potenza.....	9
1.5.5 Analisi termografica.....	9
1.5.6 Questionario	10
1.6 Risultati.....	11
1.6.1 Permeabilità all'aria.....	11
1.6.2 Temperatura media cutanea.....	12
1.6.3 Temperatura media cutanea del Torso	13
1.6.4 Umidità relativa cutanea	15
1.6.5 Umidità relativa cutanea del Torso	16
1.6.6 Temperatura del microclima tra pelle e T-shirt davanti.....	17
1.6.7 Umidità relativa del microclima tra pelle e T-shirt davanti.....	18
1.6.8 Temperatura del microclima tra pelle e T-shirt dietro.....	19
1.6.9 Umidità relativa del microclima tra pelle e T-shirt dietro	20
1.6.10 Quantità di sudore prodotta	21
1.6.11 Frequenza cardiaca e potenza.....	23
1.6.12 Analisi termografica.....	25
1.6.13 Questionari	25
2 CONCLUSIONI	28

Partner

Ragione sociale	Abbreviazione
Calzaturificio Gal.men S.R.L.	Gal.men
Città Studi S.p.A.	Città Studi
CNR-DIITET (Dipartimento ICT, Ingegneria, Tecnologie per Energia e i Trasporti)	CNR
Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e Tecnologia del Materiali	INSTM
COSMOB S.p.A.	COSMOB
G&P NEXT S.p.A.	G&P
Marchi & Fildi S.p.A. Industrie Italiane Filati	Marchi & Fildi
Morfeus S.p.A.	Morfeus
OTIR2020, Tuscany Fashion Cluster - NextTechnology Tecnotessile S.r.l.	OTIR2020-TFC
Università degli Studi di Firenze	UNIFI

1 OBIETTIVI DEL PROGETTO

1.1 Introduzione

Due T-shirt da ciclismo con stampa contenente grafene applicata con due pattern differenti sono state oggetto di uno studio relativo al comfort termo-fisiologico per mezzo di test di indosso condotti in camera climatica, in condizioni ambientali e metaboliche controllate.

Le condizioni ambientali sono le seguenti: **temperatura dell'aria (T_a) $22,7 \pm 0,1^\circ\text{C}$ e umidità relativa (RH_a) $50,8 \pm 1,1\%$.**

Sono stati effettuati **nove test di indosso** così suddivisi:

- tre test con **T-shirt con stampa contenente grafene con pattern 1 (Type 1)**;
- tre test con **T-shirt con stampa contenente grafene con pattern 2 (Type 2)**;
- tre test con **T-shirt da ciclismo senza stampa (CTR)**.

I **Tester** hanno svolto un'attività fisica controllata su bike secondo le modalità riportate nel paragrafo 'Protocollo Sperimentale'. Ciascun Tester ha svolto tre test di indosso:

- uno con la T-shirt da ciclismo con stampa contenente grafene Type 1;
- uno con la T-shirt da ciclismo con stampa contenente grafene Type 2;
- uno con la T-shirt da ciclismo senza stampa, CTR.

Prima del test è stata valutata la permeabilità all'aria dei materiali.

Durante i test sono stati acquisiti i seguenti *parametri fisiologici*:

- temperatura e umidità medie della pelle;
- temperatura e umidità del microclima tra pelle e T-shirt, sia in posizione anteriore che posteriore (torace e schiena);
- quantità di sudore prodotto;
- quantità di sudore residuo sulla T-shirt;
- frequenza cardiaca
- potenza erogata sui pedali.

E' stata inoltre effettuata un'analisi termografica della superficie esterna delle T-shirt indossate.

Sono stati infine acquisiti i *giudizi soggettivi* relativi alla condizione termo-fisiologica percepita, per mezzo di un questionario.

1.2 Materiali

	T-shirt Type 1	T-shirt Type 2	T-shirt da ciclismo senza stampa CTR
Foto			
Peso T-shirt (g)	141.8	142.8	134.9

Figura 1 T-shirt da ciclismo sottoposto al test: a sinistra quella con la stampa contenente grafene Type 1, al centro quella con la stampa contenente grafene Type 2 e a destra quella senza stampa (CTR).

1.3 Permeabilità all'aria

La permeabilità all'aria è stata misurata secondo le indicazioni fornite dalla norma UNI EN ISO 9237:1997 su tessuti condizionati ($T=20^{\circ}\text{C}$, U.R.=65% per 24h), per mezzo del permeabilmetro Branca Air Permeability N°37/S, STA Branca Idealair S.a.s. (v.Figura 2).

I parametri utilizzati per effettuare le misure sono:

- caduta di pressione: 100 Pa;
- volume di aria: 10 l;
- area di prova: 20 cm^2

I risultati derivano dalla media di 10 misure effettuate su aree diverse dello stesso campione, sono espressi in millimetri al secondo e rappresentano la velocità superficiale con cui l'aria attraversa perpendicolarmente il campione di tessuto.

1.4 Tester

Tre Tester di sesso maschile hanno partecipato alla sperimentazione. I Tester hanno un'età compresa tra i 23 e i 25 anni.

	Età (anni)	Altezza (cm)	Peso (kg)	Indice di massa corporea	Classificazione
Tester 1	23	178	67	21.1	Normopeso
Tester 2	25	170	57	19.7	Normopeso
Tester 3	25	180	69	21.3	Normopeso

Tabella 1 Dati biometrici dei Tester.

1.5 Protocollo sperimentale

I test di indosso, per ogni Tester, sono stati effettuati in tre giorni ravvicinati e alla stessa ora, in modo da minimizzare gli effetti dei cicli circadiani sulla fisiologia umana. L'ordine dei test è stato casuale.

Durante la prova, il Tester indossava slip, pantaloncini da ciclismo, calze corte sportive, scarpe da ciclismo e infine la T-shirt oggetto dell'indagine (Type 1, Type 2 o CTR).

Le T-shirt sono state ambientate in camera climatica prima dell'indosso. La preparazione dei Tester è stata effettuata già all'interno della camera climatica (circa 20 minuti durante i quali sono stati posizionati i sensori di temperatura e umidità).

I Tester, dopo aver indossato l'abbigliamento completo, hanno trascorso 15 minuti seduti a riposo con leggera ventilazione (2 km/h), in modo da potersi acclimatare alle condizioni ambientali senza sudare.

La prova è stata suddivisa nelle seguenti fasi:

Fase 1- Prima pedalata leggera (100 rpm e 67* W) per 15 minuti con ventilazione a 15 km/h;

Fase 2- Prima pedalata intensa (85 rpm e 124* W) per 10 minuti con ventilazione a 6 km/h;

Fase 3- Seconda pedalata leggera (100 rpm e 66* W) per 10 minuti con ventilazione a 20 km/h;

Fase 4- Seconda pedalata intensa (85 rpm e 116* W) per 10 minuti con ventilazione a 6 km/h;

Fase 5- Fase di recupero pedalata (100 rpm e 65 W) per 15 minuti con ventilazione a 10 km/h.

* valori medi dei nove test effettuati

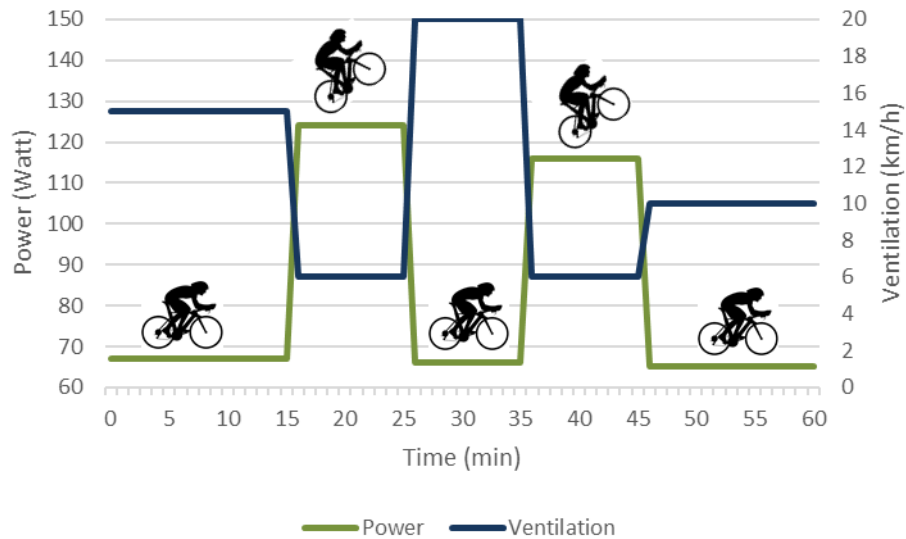


Figura 2 Training test e velocità del vento.

1.5.1 Temperatura media cutanea e umidità relativa della pelle

La temperatura media cutanea è stata misurata, in accordo con la norma UNI EN ISO 9886, con la seguente formula:

$$T_{sk} = T_{forehead} * 0,07 + T_{scapula\ dx} * 0,175 + T_{chest\ sx} * 0,175 + T_{deltoid\ dx} * 0,07 + T_{elbow\ sx} * 0,07 + T_{hand\ sx} * 0,05 + T_{tigh\ dx} * 0,19 + T_{calf\ sx} * 0,20 \quad (1)$$

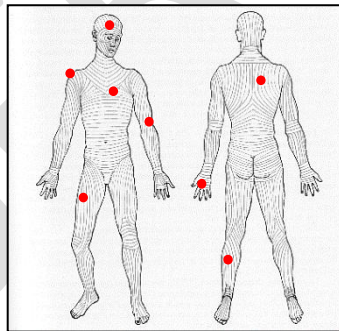


Figura 3 Posizione dei sensori di temperatura per la valutazione della temperatura media cutanea (norma UNI EN ISO 9886).

La formula richiede l'acquisizione della temperatura di otto distretti cutanei (scapola destra, pettorale sinistro, deltoide destro, gomito sinistro, mano sinistra, coscia destra, polpaccio sinistro e fronte). Le temperature sono state acquisite ogni 10 secondi per mezzo dei sensori wireless I-button Maxim Integrated DS1923, fissati sulla pelle tramite un cerotto traspirante e anallergico.

E' stata inoltre calcolata la *temperatura media cutanea del distretto corporeo coperto dalla T-shirt (Torso)*, tramite la formula:

$$T_{skin_Torso} = T_{scapula\ dx} * 0,4167 + T_{chest\ sx} * 0,4167 + T_{deltoid\ dx} * 0,1667 \quad (2)$$

La formula (2), che non fa riferimento ad una norma internazionale, è stata ricavata mantenendo la stessa proporzione tra i pesi della scapola, petto e deltoide dell'Eq.1. In altre parole, i coefficienti dell'Eq. 2 tengono conto dell'estensione relativa della superficie dei distretti cutanei coperti dalla T-shirt.

Le stesse formule multilineari sono state utilizzate per esaminare l'andamento dell'umidità relativa della pelle, sia media che nel comparto al di sotto della T-shirt.

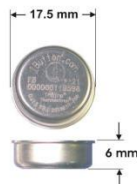


Figura 4 Sensore wireless di temperatura e umidità I-Button Maxim Integrated DS1923



Figura 5 Tester dopo l'applicazione dei sensori sul Torso.

1.5.2 Temperatura e umidità del microclima

La temperatura e l'umidità del microclima sono stati monitorati durante il test attraverso due sensori wireless I-button Maxim Integrated DS1923 fissati all'interno della T-shirt sia in posizione anteriore (in corrispondenza dello sterno) sia posteriore (in corrispondenza della zona lombare), con acquisizioni ogni 10 secondi.

1.5.3 Quantità di sudore

Per valutare la quantità di sudore prodotta durante il test e quella rimasta sulla T-shirt al termine del test, sono stati misurati i seguenti parametri:

- *Peso dei Tester*, prima e dopo il test (Bilancia elettronica, risoluzione 5g)
- *Peso della T-shirt* prima e dopo il test (Bilancia scientifica, risoluzione 1 mg)

1.5.4 Frequenza cardiaca e potenza

La frequenza cardiaca e la potenza sono state monitorate per mezzo dell'acquisitore Garmin Edge 520 durante l'intera durata del test (circa un'acquisizione ogni secondo).

1.5.5 Analisi termografica

Le termografie sono state acquisite ogni 5 minuti per mezzo della termocamera Nec G100ex, fissata su cavalletto in modo da inquadrare la schiena del Tester nel corso del test.

Le fasi del test e i tempi delle termografie sono riportati in Tabella 2.

	Descrizione	Tempo di acquisizione
<i>T0</i>	Alla fine dell'acclimatamento	t0
<i>Fase 1 (T5)</i>	Dopo 5 min della prima fase di pedalata leggera	t5'
<i>Fase 1 (T10)</i>	Dopo 10 min della prima fase di pedalata leggera	t10'
<i>Fase 1 (T15)</i>	Al termine della prima fase di pedalata leggera	t15'
<i>Fase 2 (T20)</i>	Dopo 5 min della prima fase di pedalata intensa	t20'
<i>Fase 2 (T25)</i>	Al termine della prima fase di pedalata intensa	t25'
<i>Fase 3 (T30)</i>	Dopo 5 min della seconda fase di pedalata leggera	t30'
<i>Fase 3 (T35)</i>	Al termine della seconda fase di pedalata leggera	t35'
<i>Fase 4 (T40)</i>	Dopo 5 min della seconda fase di pedalata intensa	t40'
<i>Fase 4 (T45)</i>	Al termine della seconda fase di pedalata intensa	t45'
<i>Fase 5 (T50)</i>	Dopo 5 min di recupero pedalato	t50'
<i>Fase 5 (T55)</i>	Dopo 10 min di recupero pedalato	t55'
<i>Fase 5 (T60)</i>	Al termine del recupero pedalato	t60'
<i>Fase 5 (T60)</i>	Alla fine del test sul davanti della T-shirt	t60'

Tabella 2 Fasi del test, descrizione e tempi di acquisizione delle immagini termografiche

1.5.6 Questionario

Per valutare il comfort termo-fisiologico percepito da ciascun soggetto (*comfort soggettivo*) è stato elaborato un questionario idoneo a monitorare le sensazioni termiche e di umidità.

Il questionario è stato somministrato al Tester sei volte nel corso del test, in corrispondenza delle fasi riportate in Tabella 3.

	<i>Descrizione</i>	<i>Tempo di somministrazione</i>
Q 1	Al termine della prima fase di pedalata leggera	t15'
Q 2	Al termine prima fase di pedalata intensa	t25'
Q 3	Al termine della seconda fase di pedalata leggera	t35'
Q 4	Al termine della seconda fase di pedalata intensa	t45'
Q 5	A metà della fase di recupero a riposo	t52
Q 6	Al termine della fase di recupero a riposo	t60'

Tabella 3 Tempi di somministrazione del questionario.

Le domande del questionario sono le seguenti:

QUESTIONARIO

(1) Sei in una condizione di comfort termico?

- ☐ SI' ☐ NO

(2) La tua sensazione termica globale è di:

- ☐ Molto freddo
☐ Freddo
☐ Leggermente freddo
☐ Neutro
☐ Leggermente caldo
☐ Caldo
☐ Molto caldo

(3) La tua sensazione sulla pelle è di:

- ☐ Asciutto
☐ Leggermente umido
☐ Umido
☐ Bagnato

(4) Altre considerazioni? _____

La scala bipolare per la valutazione del comfort termico percepito a sette step (molto freddo, freddo, leggermente freddo, neutro, leggermente caldo, caldo, molto caldo) è la stessa della norma UNI EN ISO 28802:2012 "Ergonomics Of The Physical Environment - Assessment Of Environments By Means Of An Environmental Survey Involving Physical Measurements Of The Environment And Subjective Responses Of People".

Alla fine del test è stato chiesto al Tester di dare un voto da 1 a 10 all'abbigliamento indossato.



Figura 6 Due immagini del test.

1.6 Risultati

1.6.1 Permeabilità all'aria

Di seguito, in tabella 4, vengono riportati i risultati della permeabilità all'aria eseguita sulle T-shirt. Per ogni campione analizzato è riportato il valore medio e la deviazione standard, relativi alle dieci misure effettuate.

Tessuto	Media (mm/s)	Deviazione Standard (mm/s)
Type 1	668.1	± 24.8
Type 2	581.9	± 34.5
CTR	538.9	± 22.6

Tabella 4 Permeabilità all'aria dei tessuti.

1.6.2 Temperatura media cutanea

In Figura 9 si riportano i grafici relativi alla MEDIA dei valori registrati per i tre Tester e le relative deviazioni standard (DS) per la temperatura media cutanea (**Formula 1 pag. 7**) con indosso la T-shirt con stampa contenente grafene con pattern Type 1 e Type 2 e quello senza stampa (CTR). Le linee grigie verticali indicano le varie fasi del test. Nella figura successiva (Figura 10) è riportato il valore medio della temperatura media cutanea e la variazione per le tre T-shirt testate.

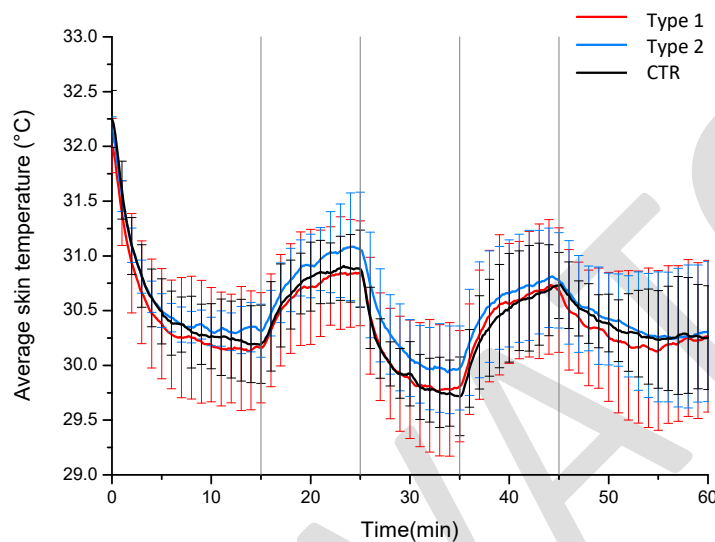


Figura 7 Temperatura media cutanea dei 3 Tester e relative deviazioni standard.

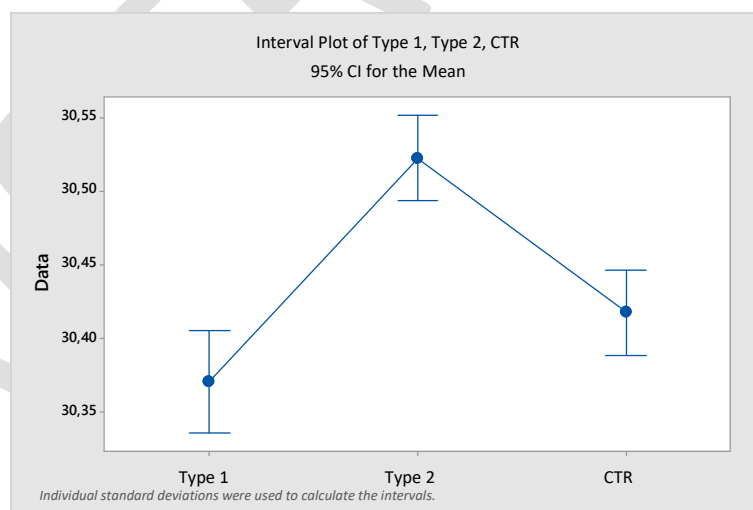


Figura 8 Temperatura media cutanea (MEDIA e DS 3 Tester) per le tre T-shirt.

	p-value
Type 1 vs Type 2	0.000
Type 1 vs CTR	0.044
Type 2 vs CTR	0.000

1.6.3 Temperatura media cutanea del Torso

In Figura 11 si riportano i grafici relativi alla MEDIA dei valori registrati per i tre Tester e le relative deviazioni standard (SD) per la temperatura media del distretto cutaneo del Torso coperto dalla T-shirt (**Formula 2 pag. 7**). Le linee grigie verticali indicano le varie fasi del test. Nella figura successiva (Figura 12) è riportato il valore medio della temperatura media del Torso e la variazione per le tre T-shirt testate.

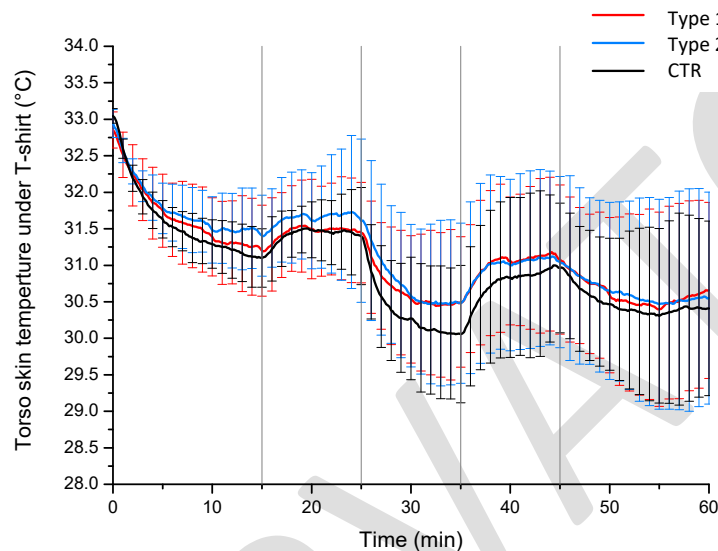


Figura 9 Temperatura media del Torso dei 3 Tester e relative deviazioni standard.

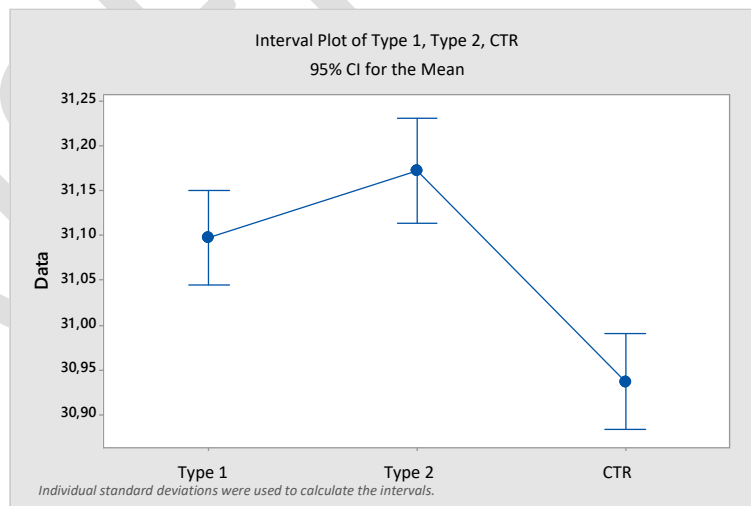


Figura 10 Temperatura cutanea distretto del Torso (MEDIA e DS 3 Tester) per le tre T-shirt.

	<i>p-value</i>
Type 1 vs Type 2	0.066
Type 1 vs CTR	0.000

RISERVATO

1.6.4 Umidità relativa cutanea

In Figura 13 si riportano i grafici relativi alla MEDIA dei valori registrati per i tre Tester e le relative DS per l'umidità media cutanea (calcolata in modo analogo alla temperatura media cutanea, tramite la Formula 1 pag. 7). Le linee grigie verticali indicano le varie fasi del test. Nella figura successiva (Figura 14) è riportato il valore medio dell'umidità media cutanea e la variazione per le tre T-shirt testate.

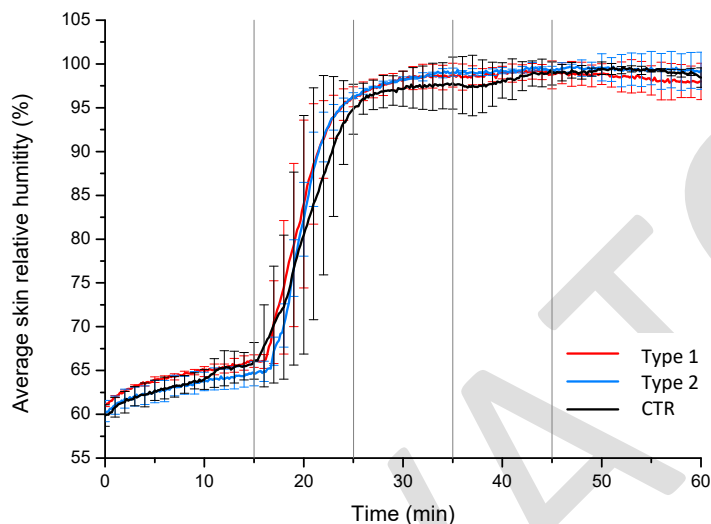


Figura 11 Umidità relativa media cutanea dei 3 Tester e relative deviazioni standard.

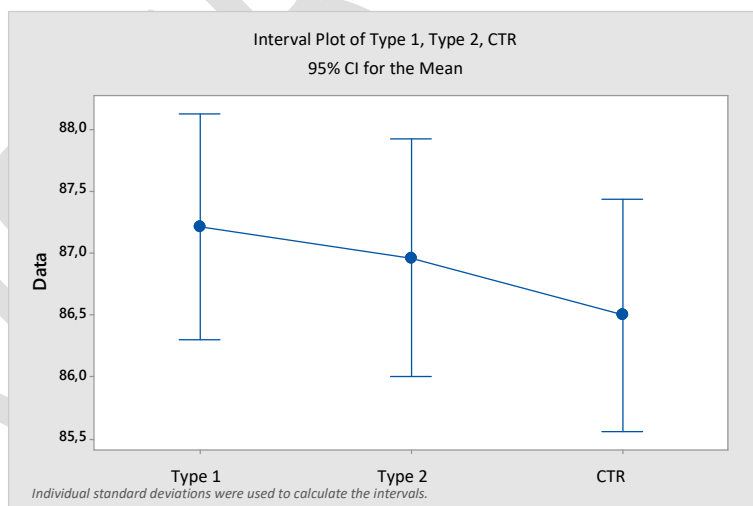


Figura 12 Umidità cutanea (MEDIA e DS 3 Tester) per le tre T-shirt.

	<i>p-value</i>
Type 1 vs Type 2	0.711
Type 1 vs CTR	0.288
Type 2 vs CTR	0.502

1.6.5 Umidità relativa cutanea del Torso

In Figura 15 si riportano i grafici relativi alla MEDIA dei valori registrati per i tre Tester e le relative DS per l'umidità media del distretto cutaneo del Torso coperto dalla T-shirt (calcolata in modo analogo alla temperatura media cutanea, tramite la Formula 2 pag. 7). Le linee grigie verticali indicano le varie fasi del test. Nella figura successiva (Figura 16) è riportato il valore medio dell'umidità media del Torso e la variazione per le tre T-shirt testate.

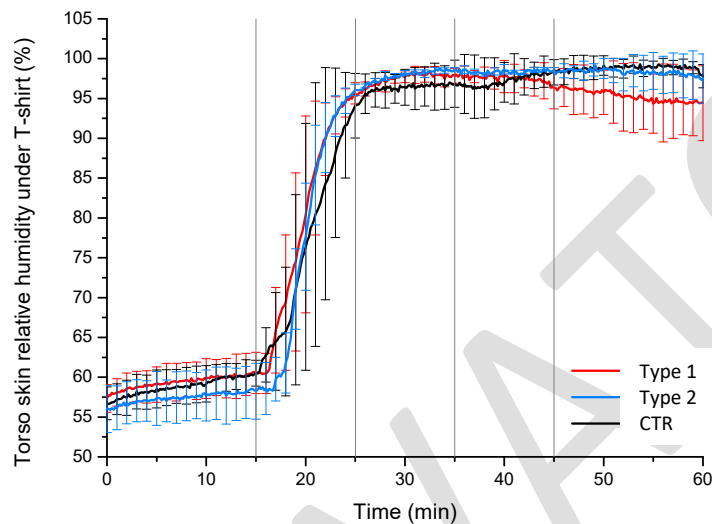


Figura 13 Umidità relativa media del Torso dei 3 Tester e relative deviazioni standard.

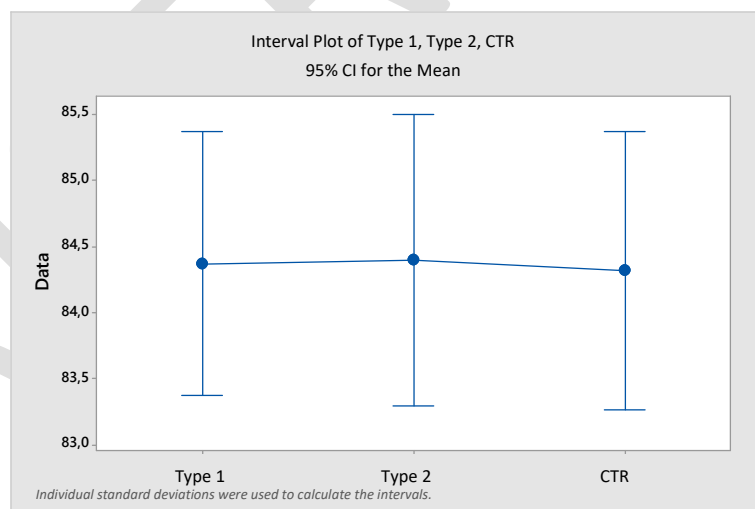


Figura 14 Umidità cutanea distretto del Torso (MEDIA e DS 3 Tester) per le tre T-shirt.

	<i>p-value</i>
Type 1 vs Type 2	0.969
Type 1 vs CTR	0.941
Type 2 vs CTR	0.913

1.6.6 Temperatura del microclima tra pelle e T-shirt davanti

Si riportano in Figura 17 i grafici relativi alla MEDIA dei valori registrati per i tre Tester e le relative DS per la temperatura del microclima tra pelle e tessuto (sensore in posizione anteriore sul torace). Le linee grigie verticali indicano le varie fasi del test.

Nella figura successiva (Figura 18) è riportato il valore medio della temperatura del microclima e la variazione per le tre T-shirt testate.

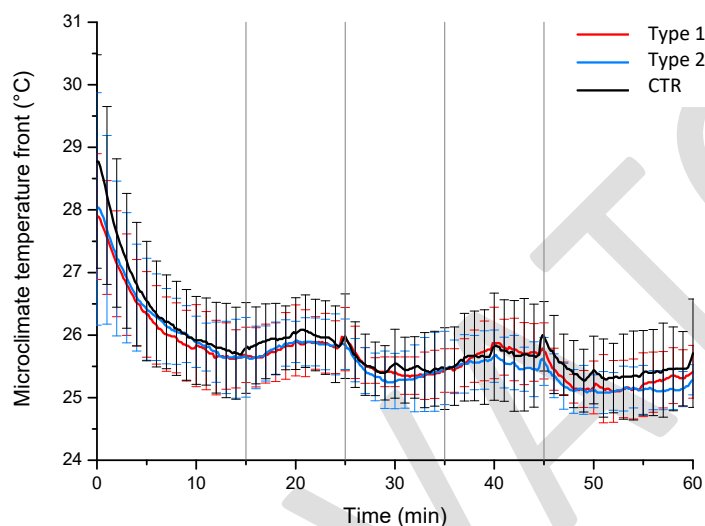


Figura 15 Temperatura del microclima tra pelle e T-shirt anteriore dei 3 Tester e relative deviazioni standard.

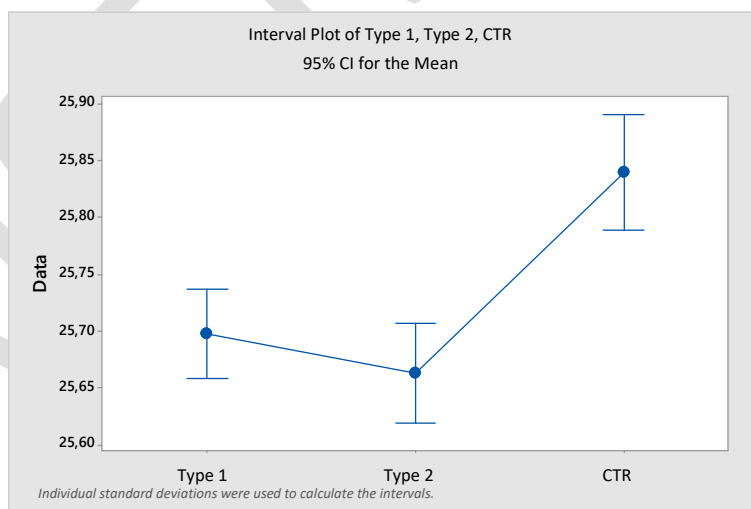


Figura 16 Temperatura del microclima tra pelle e T-shirt anteriore (MEDIA e DS 3 Tester) per le tre T-shirt.

	<i>p-value</i>
Type 1 vs Type 2	0.245
Type 1 vs CTR	0.000
Type 2 vs CTR	0.000

1.6.7 Umidità relativa del microclima tra pelle e T-shirt davanti

Si riportano in Figura 19 i grafici relativi alla MEDIA dei valori registrati per i tre Tester e relative deviazione standard DS per l'umidità relativa del microclima tra pelle e tessuto (sensore in posizione anteriore). Le linee grigie verticali indicano le varie fasi del test.

Nella figura successiva (Figura 20) è riportato il valore medio dell'umidità del microclima e la variazione per le tre T-shirt testate.

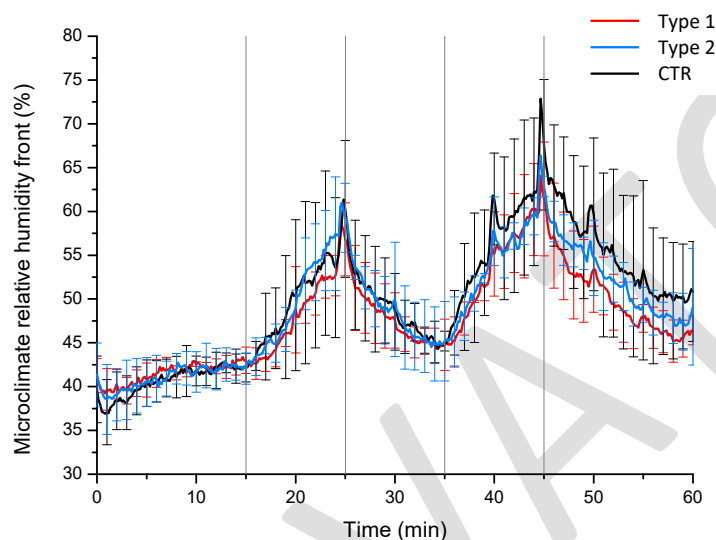


Figura 17 Umidità del microclima tra pelle e T-shirt anteriore dei 3 Tester e relative deviazioni standard.

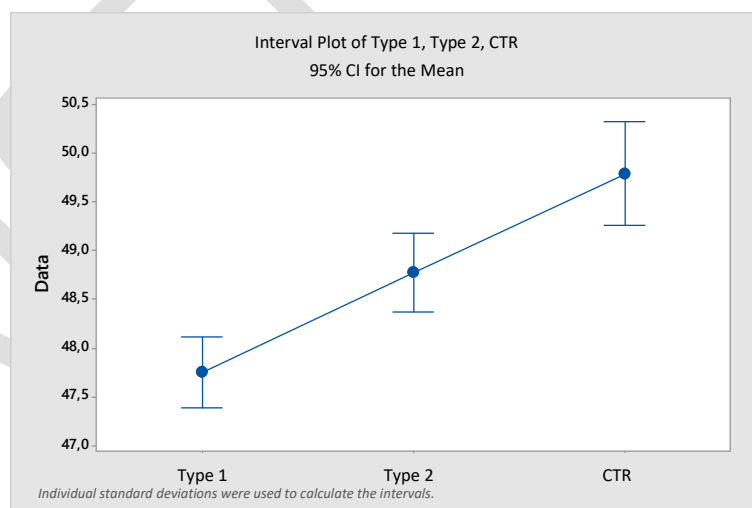


Figura 18 Umidità del microclima tra pelle e T-shirt anteriore (MEDIA e DS 3 Tester) per le tre T-shirt.

	<i>p-value</i>
Type 1 vs Type 2	0.000
Type 1 vs CTR	0.000
Type 2 vs CTR	0.003

1.6.8 Temperatura del microclima tra pelle e T-shirt dietro

Si riportano in Figura 21 i grafici relativi alla MEDIA dei valori registrati per i tre Tester e le relative DS per la temperatura del microclima tra pelle e T-shirt in posizione posteriore sulla schiena. Le linee grigie verticali indicano le varie fasi del test.

Nella figura successiva (Figura 22) è riportato il valore medio della temperatura del microclima tra pelle e tessuto e la variazione per le tre T-shirt testate.

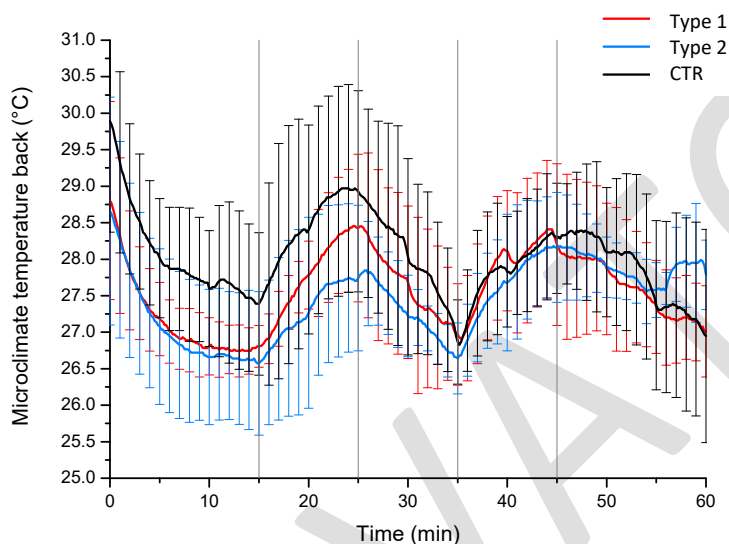


Figura 19 Temperatura del microclima tra pelle e T-shirt posteriore dei 3 Tester e relative deviazioni standard.

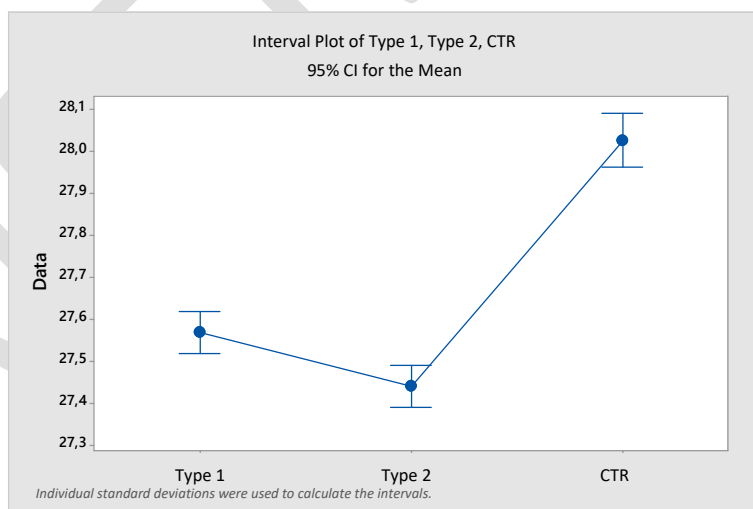


Figura 20 Temperatura del microclima tra pelle e T-shirt posteriore (MEDIA e DS 3 Tester) per le tre T-shirt.

	<i>p-value</i>
Type 1 vs Type 2	0.000
Type 1 vs CTR	0.000
Type 2 vs CTR	0.000

1.6.9 Umidità relativa del microclima tra pelle e T-shirt dietro

Si riportano in Figura 23 i grafici relativi alla MEDIA dei valori registrati per i tre Tester e relative DS per l'umidità relativa del microclima tra pelle e T-shirt in posizione posteriore sulla schiena. Le linee grigie verticali indicano le varie fasi del test.

Nella figura successiva (Figura 24) è riportato il valore medio dell'umidità del microclima tra pelle e tessuto e la variazione per le tre T-shirt testate.

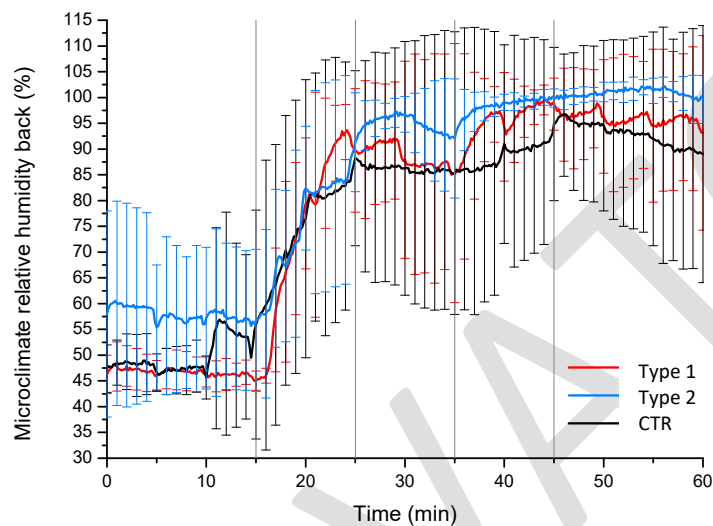


Figura 21 Umidità del microclima tra pelle e T-shirt posteriore dei 3 Tester e relative deviazioni standard.

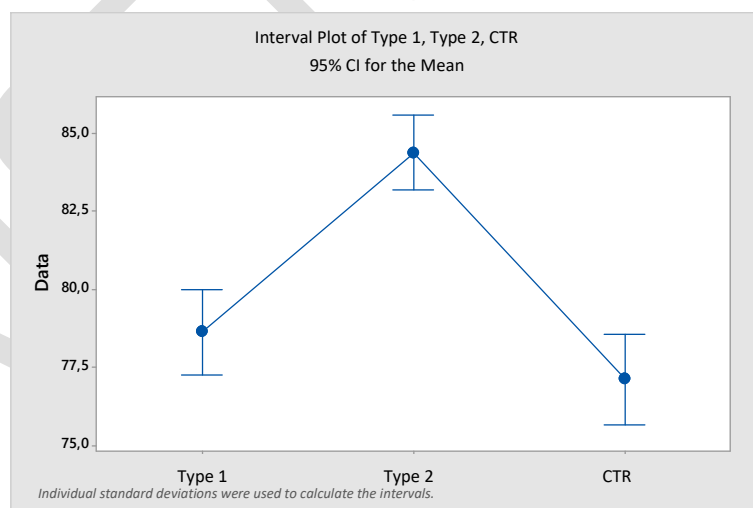


Figura 22 Umidità del microclima tra pelle e T-shirt posteriore (MEDIA e DS 3 Tester) per le tre T-shirt.

	<i>p-value</i>
Type 1 vs Type 2	0.000
Type 1 vs CTR	0.136
Type 2 vs CTR	0.000

1.6.10 Quantità di sudore prodotta

Si riportano di seguito le quantità di sudore prodotte per ciascun Tester con indosso le tre T-shirt testate (Tabella 5) e le quantità di sudore residuo sulle T-shirt (Tabella 6).

	<i>Quantità sudore prodotto Type 1 (g)</i>	<i>Quantità sudore prodotto Type 2 (g)</i>	<i>Quantità di sudore CTR (g)</i>
<i>Tester 1</i>	215	250	190
<i>Tester 2</i>	170	365	340
<i>Tester 3</i>	285	305	205

Tabella 5 *Quantità di sudore prodotta durante il test.*

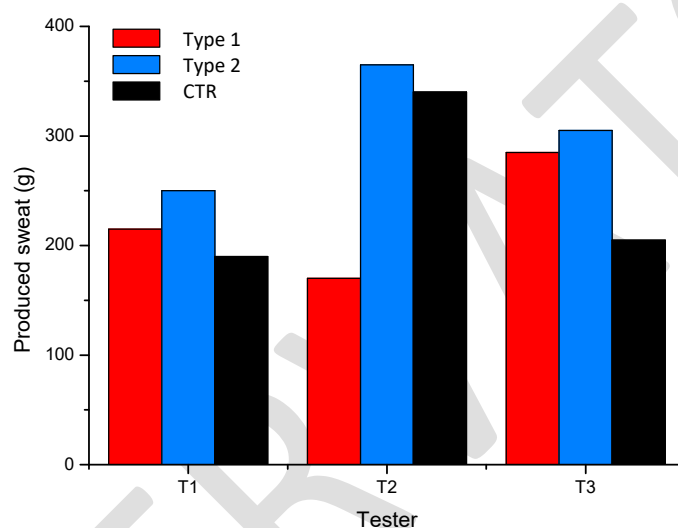


Figura 23 *Sudore prodotto dai 3 Tester in ciascuna prova.*

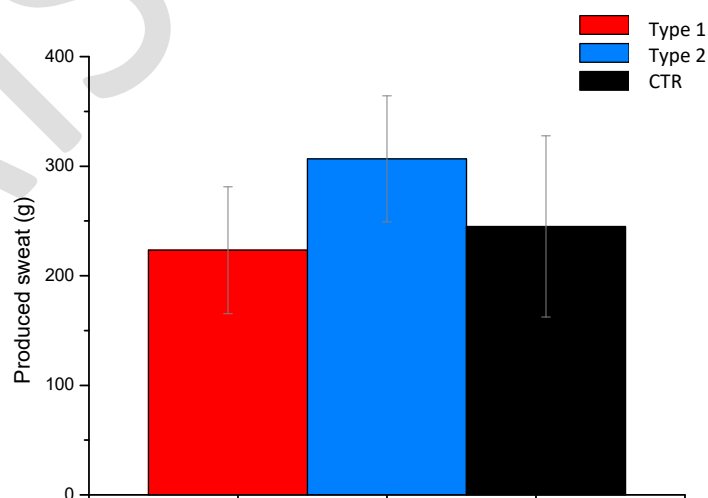


Figura 24 *Quantità di sudore prodotta in media con le tre T-shirt.*

	<i>Quantità sudore residuo Type 1 (g)</i>	<i>Quantità sudore residuo Type 2 (g)</i>	<i>Quantità sudore residuo CTR (g)</i>
<i>Tester 1</i>	0	0	0.02
<i>Tester 2</i>	0.17	0.24	0.13
<i>Tester 3</i>	0.6	0.43	0.38

Tabella 6 *Quantità di sudore residuo sulle T-shirt.*

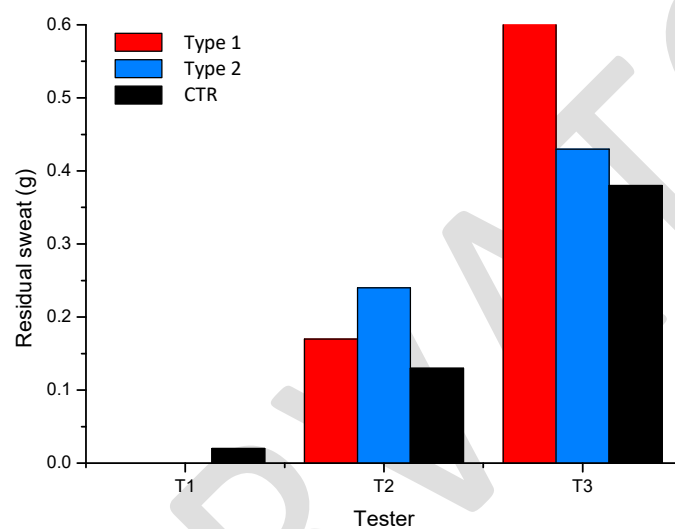


Figura 25 *Sudore residuo sulle T-shirt per i 3 tester in ciascuna prova.*

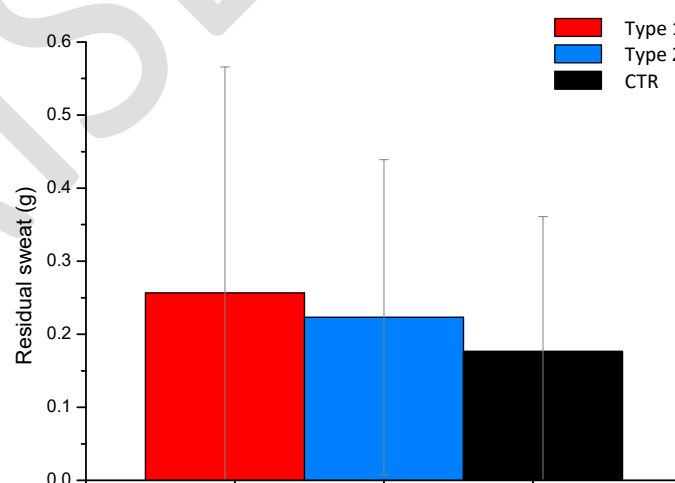


Figura 26 *Quantità di sudore residuo medio sulle T-shirt.*

1.6.11 Frequenza cardiaca e potenza

Si riportano i grafici della frequenza cardiaca e della potenza media. Nella tabella successiva, si riportano le medie relative ad ogni fase del test.

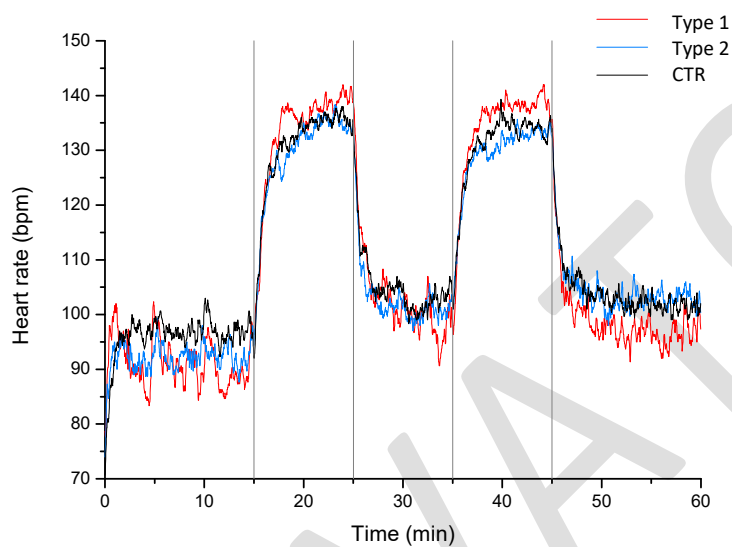


Figura 27 Frequenza cardiaca media.

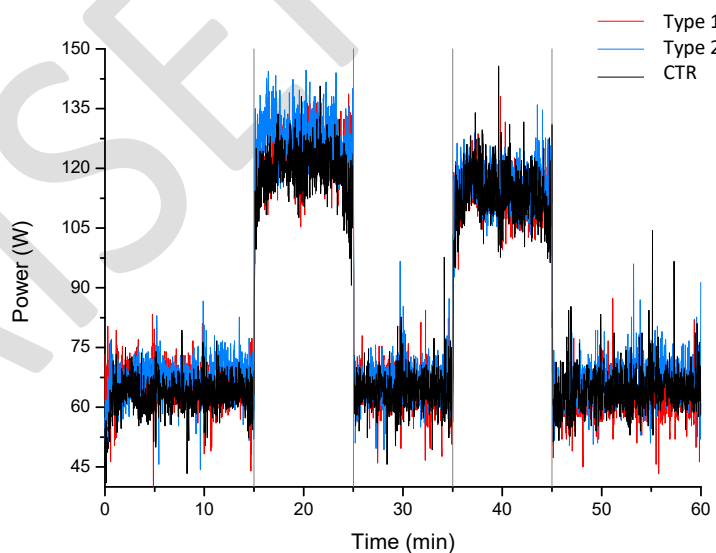


Figura 28 Potenza media sviluppata dai Tester.

	Tester 1			Tester 2			Tester 3		
	<i>Type 1</i>	<i>Type 2</i>	<i>CTR</i>	<i>Type 1</i>	<i>Type 2</i>	<i>CTR</i>	<i>Type 1</i>	<i>Type 2</i>	<i>CTR</i>
Frekuensi cardiaca									
Fase 1	107.7	101.6	100.6	82.9	86.0	89.2	82.7	88.9	98.3
Fase 2	134.2	137.5	132.5	132.5	132.1	137.3	132.6	118.2	121.3
Fase 3	118.0	116.0	113.4	96.2	97.6	100.2	96.1	95.5	102.2
Fase 4	137.4	136.0	134.4	132.2	132.8	136.6	132.3	118.8	121.1
Fase 5	117.0	115.0	111.2	90.3	98.8	96.8	89.7	99.5	104.0
Media	122.9	121.2	118.4	106.8	109.5	112.0	106.7	104.2	109.4

Potenza									
Fase 1	54.9	64.0	53.7	54.5	50.6	58.1	90.0	87.3	76.7
Fase 2	99.8	118.9	107.0	138.7	135.3	138.5	125.2	128.5	111.8
Fase 3	57.0	64.1	51.3	64.9	68.6	69.4	72.5	67.3	72.6
Fase 4	94.5	101.8	100.5	131.6	130.0	134.7	112.3	112.5	104.2
Fase 5	59.0	61.8	49.9	61.1	68.7	67.2	65.1	70.1	75.7
Media	73.0	82.1	72.5	90.2	90.6	93.6	93.0	93.2	88.2

Tabella 7 Frequenza cardiaca e potenza per ogni Tester suddivise per fasi.

1.6.12 Analisi termografica

Le termografie sono state acquisite nei tempi riportati in Tabella 2.

In termini quantitativi, è stata valutata la temperatura media di un rettangolo contenente la parte superiore della schiena, ovvero l'area al di sopra delle tasche. Il seguente grafico riporta l'andamento medio della temperatura superficiale e le relative deviazioni standard.

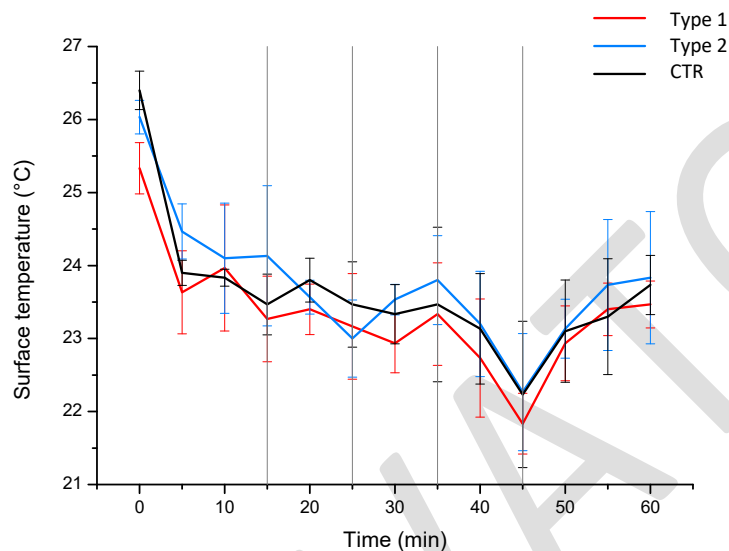


Figura 29 Andamento della temperatura superficiale sulle tre tipologie di T-shirt ricavato dalle termografie.

1.6.13 Questionari

Si riportano di seguito le frequenze delle risposte relative ai tre parametri indagati (*sensazione termica*, *sensazione di umidità*, *comfort termico*) nelle diverse fasi del test.

Il grafico a colori fornisce l'informazione visiva della frequenza delle sensazioni associate a ciascun colore: quanto più l'area di ciascun colore è estesa, tanto più la sensazione è frequente nelle risposte dei Tester. Per il comfort termico non viene riportato il grafico poiché tutti i Tester in tutte le fasi dei test sono sempre rimasti in una situazione di comfort generale.

In coda ai grafici, sono riportate le tabelle con le singole risposte suddivise per Tester e per fase. I colori evidenziano le diverse sensazioni percepite.

La votazione media dei quattro Tester è pari a **7,3** per le due T-shirt con stampa contenente grafene e **8** per la T-shirt di controllo.

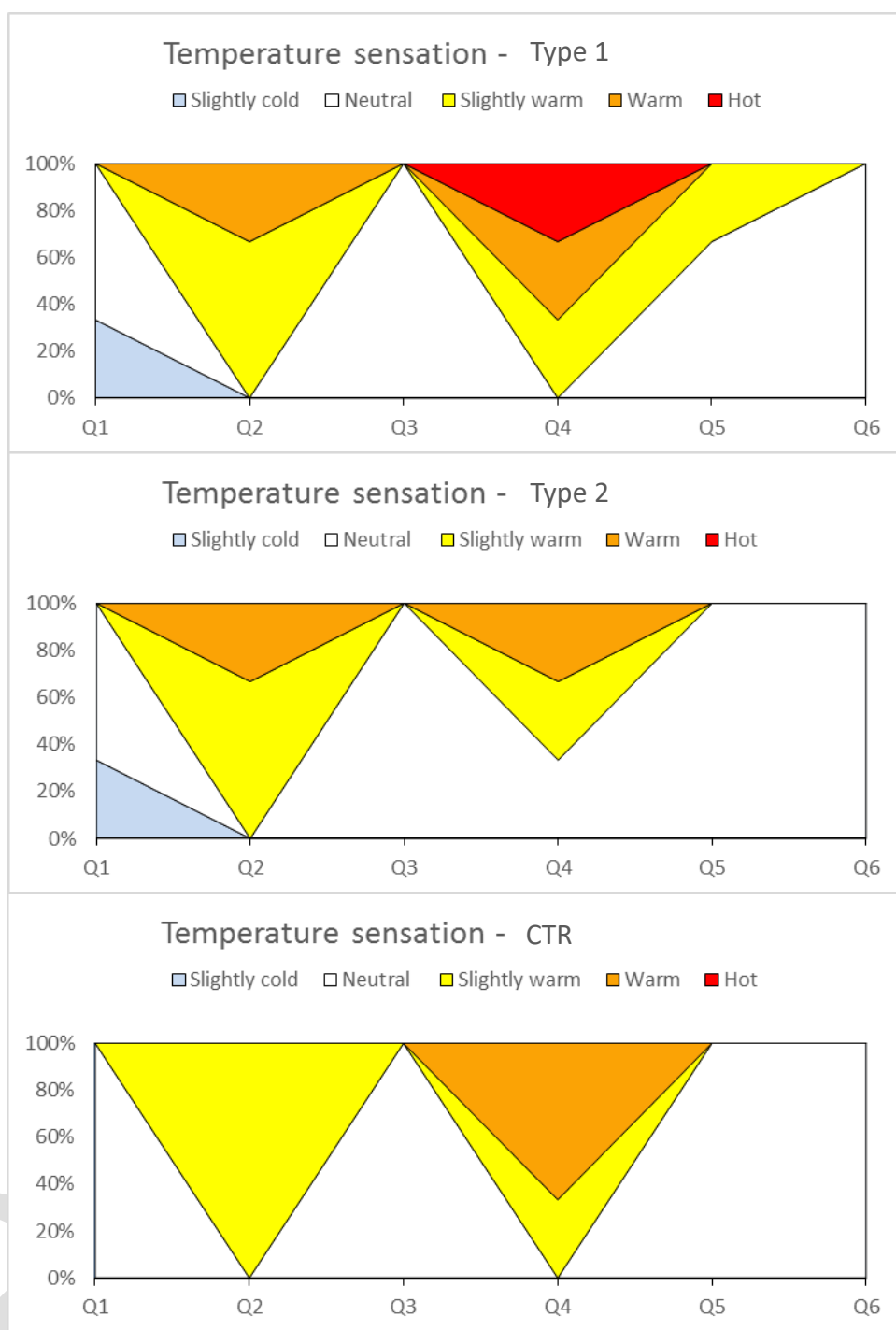


Figure 30 Sensazione termica con i tre tipi di T-shirt.

3	Leggermente freddo	4	Neutro	3	Leggermente caldo	2	Caldo	1	Molto caldo
---	--------------------	---	--------	---	-------------------	---	-------	---	-------------

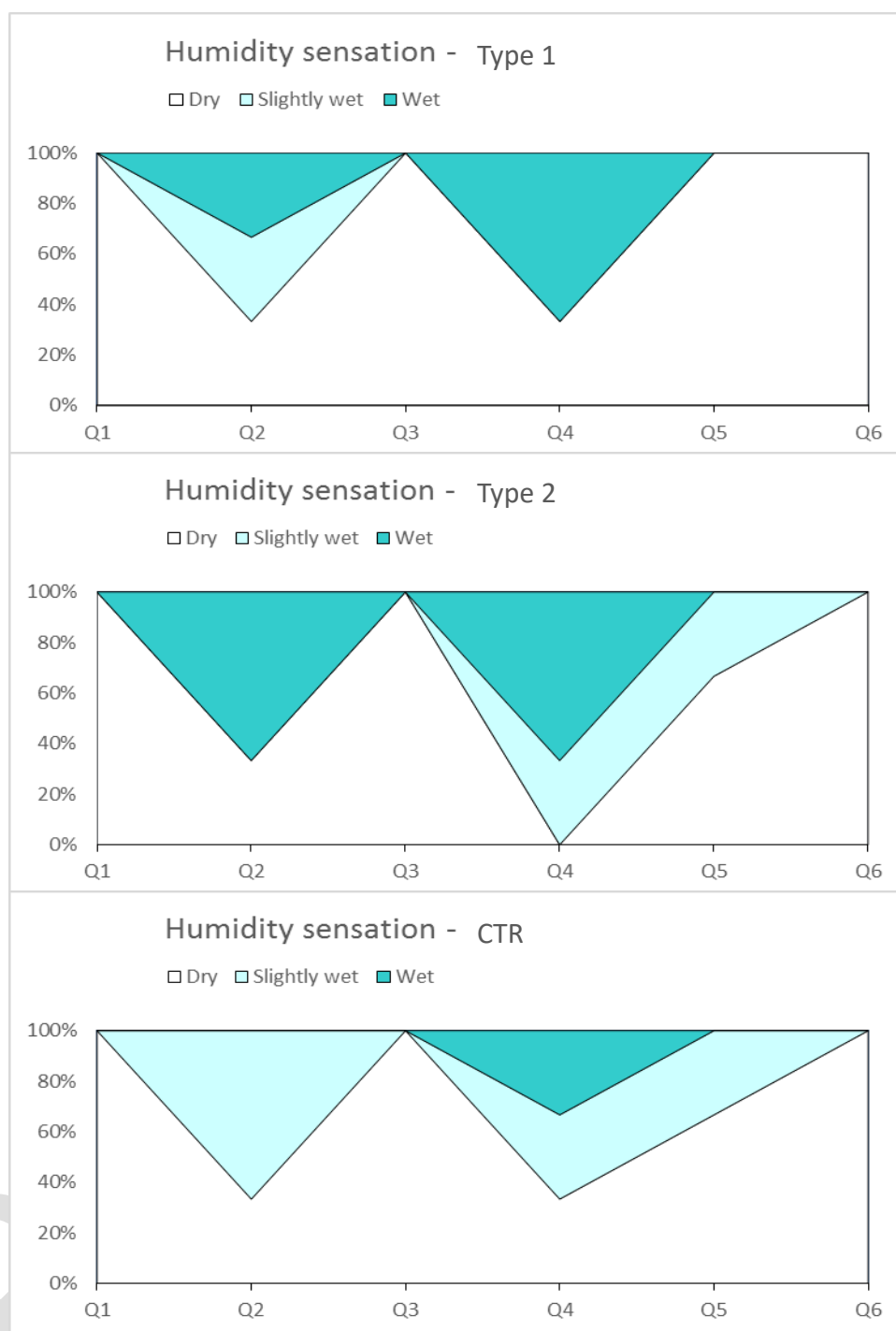


Figure 31 Sensazione di umidità con le tre tipologie di T-shirt.

3	Asciutto	2	Leggermente umido	1	Umido
---	----------	---	-------------------	---	-------

2 CONCLUSIONI

Il lavoro è stato eseguito secondo le tempistiche e le modalità previste. I Tester hanno eseguito le prove senza presentare problemi particolari. Il monitoraggio della *frequenza cardiaca* e della *potenza* mostrano la ripetibilità dei test eseguiti (**Figure 27 e 28**).

L'ordine di esecuzione è stato casuale.

Sulla base dei risultati ottenuti, si possono fare le seguenti osservazioni:

- La permeabilità all'aria risulta superiore nella T-shirt Type 1 (668.1 ± 24.8 mm/s) rispetto alla T-shirt Type 2 (581.9 ± 34.5 mm/s) e alla T-shirt di CTR (538.9 ± 22.6 mm/s).
- La *temperatura media cutanea* (**Figura 7**) risulta inferiore indossando la T-shirt Type 1, media con il CTR e maggiore con Type 2. Ciononostante, le differenze sono minime e l'andamento simile per tutte e tre le T-shirt oggetto dello studio.
- La *temperatura cutanea del distretto del Torso coperto dalla T-shirt* (**Figura 9**) risulta complessivamente inferiore con il CTR mentre è simile con Type 1 e Type 2.
- L'*umidità relativa della pelle*, calcolata sia come media cutanea complessiva (**Figura 11**) che al di sotto della T-shirt oggetto dei test (**Figura 13**) risulta paragonabile per tutte e tre le T-shirt. Il risultato risulta particolarmente positivo poiché la stampa contenente grafene non va ad inficiare la permeabilità al vapore del tessuto.
- La *temperatura del microclima anteriore* (**Figura 15**), misurata con un sensore posto sul torace, risulta inferiore con entrambe le T-shirt stampate rispetto al CTR.
- La *temperatura del microclima posteriore* (**Figura 19**), misurata con un sensore posto sulla schiena nella zona lombare, risulta decisamente inferiore con entrambe le T-shirt stampate rispetto al CTR.
- L'*umidità del microclima anteriore* (**Figura 17**), misurata con un sensore posto sul torace, risulta inferiore con la T-shirt Type 1, media con la T-shirt Type 2 e maggiore con il CTR. L'andamento, considerando la totale esposizione della zona anteriore all'aria generata dall'unità ventilante, è perfettamente in linea con i valori di permeabilità all'aria. L'elevata permeabilità all'aria della T-shirt Type 1 permette un elevato scambio traducendosi in una bassa umidità presente nel microclima anteriore.
- L'*umidità del microclima posteriore* (**Figura 21**), misurata con un sensore posto sulla schiena nella zona lombare, risulta inferiore con la T-shirt Type 1 e CTR. La zona della schiena è caratterizzata da assenza di ventilazione e da un microclima ridotto poiché il tessuto rimane quasi aderente al corpo.
- La *quantità di sudore* prodotta è mediamente maggiore indossando la T-shirt Type 2 (**Figura 24**).
- Non ci sono differenze significative sulla *quantità di sudore* residua sulle T-shirt (**Figura 26**). I valori sono molto bassi e al termine dei test tutte le T-shirt sono risultate praticamente asciutte.
- L'*indagine termografica* mostra una temperatura superficiale mediamente inferiore con la T-shirt Type 1 (**Figura 29**).
- Dall'analisi dei questionari si evidenzia un andamento simile delle sensazioni riscontrate sia per la temperatura che per l'umidità. Nella tabella seguente si riportano le frequenze delle risposte positive ("Neutro" per la sensazione termica ed "Asciutto" per la sensazione di umidità).

<i>Frequenza risposte</i>	Type 1	Type 2	CTR
<i>Sensazione termica (NEUTRO)</i>	10	11	12
<i>Sensazione di umidità (ASCIUTTO)</i>	14	12	13

RISERVATO