

Output di Progetto IO4: eBook

MANUALE DELLE MIGLIORI PRASSI TESSILI BASATI SU SENSORI INTELLIGENTI DALLA GESTIONE DELLA PRODUZIONE ALL'UTENTE FINALE

A cura di:
Georgios Priniotakis (UNIWA)
Ioannis Chronis (UNIWA)

Il supporto della Commissione Europea per la produzione di questo ebook non costituisce un'approvazione dei contenuti che riflettono solo il punto di vista degli autori, e la Commissione non può essere ritenuta responsabile per qualsiasi uso che possa essere fatto delle informazioni in esso contenute.



CC BY 4.0; Partner del Consorzio DIGITEX.

Il riferimento dovrebbe includere: ; "Capitolo del libro", autori, "BOOK OF BEST PRACTICES SMART SENSORS BASED TEXTILES FROM PRODUCTION MANAGEMENT TO END-USER", Georgios Priniotakis e Ioannis Chronis, eds., DIGITEX Erasmus+ Project (2020-1-RO01-KA226-HE-095335) , 2021-2023, pp.

Tutti i marchi e gli altri diritti su prodotti di terzi citati o presentati in questo documento sono riconosciuti e di proprietà dei rispettivi titolari.



ABSTRACT

Il progetto DigiTEX mira a supportare approcci innovativi e tecnologie di apprendimento digitale per accelerare l'innovazione, l'insegnamento e l'apprendimento nel campo della progettazione, test e produzione di tessuti 3D medici, protettivi, sensoriali e intelligenti di prodotti avanzati innovativi per l'assistenza sanitaria (dispositivi di protezione, dispositivi di monitoraggio indossabili) nel contesto dell'economia digitale.

Questo libro è l'output intellettuale n. 4 del progetto DIGITEX. Copre una serie di migliori pratiche che sono state progettate e sviluppate nel campo dell'assistenza sanitaria e dei tessuti protettivi, fornendo anche la prospettiva dell'utente finale e il potenziale per il successo sul mercato.

Il libro ha lo scopo di fungere da introduzione all'area, una panoramica dei casi che sono già in atto e stimolare l'interesse nel settore, nonché un processo di innovazione che deve essere applicato per progettare e sviluppare tecnologie e applicazioni pertinenti .

Sommario

Capitolo 1 Evoluzione dei tessuti basati su sensori.....	8
<i>introduzione</i>	8
<i>Prima generazione di sensori tessili</i>	9
<i>Seconda generazione di sensori tessili</i>	10
<i>Terza generazione di sensori tessili</i>	11
<i>Conclusioni</i>	12
Capitolo 2 Requisiti dei materiali tessili per sensori, attuatori, batterie e dispositivi indossabili	14
<i>introduzione</i>	14
<i>Sensori</i>	14
<i>Attuatori</i>	15
<i>Batterie</i>	15
<i>Dispositivi indossabili flessibili</i>	17
<i>Applicazioni</i>	17
<i>Conclusioni</i>	17
Capitolo 3 Co-progettazione di sensori e integrazione nei prodotti DPI per la protezione antincendio e idrica.....	20
<i>introduzione</i>	20
<i>Sensori intelligenti per DPI fuoco/acqua</i>	21
<i>Co-design di dispositivi di protezione individuale antincendio/acqua</i>	22
<i>Integrazione del sensore nei DPI per la protezione antincendio</i>	23
<i>Integrazione del sensore nei DPI per la protezione dall'acqua</i>	23
<i>Conclusioni</i>	24
Capitolo 4 Co-progettazione di sensori intelligenti e integrazione nei dispositivi medici	26
<i>Introduzione</i>	26
<i>Sensori intelligenti per la sanità</i>	27

<i>Co-design di sensori biomedici intelligenti</i>	28
<i>Integrazione di sensori intelligenti nei dispositivi medici</i>	29
Capitolo 5 Co-design di tessuti basati su attuatori per la riabilitazione.....	33
<i>Introduzione</i>	33
<i>Attuatore e classificazione degli attuatori flessibili</i>	34
<i>Tessili basati su attuatori applicativi per la riabilitazione</i>	35
<i>Conclusioni</i>	40
Capitolo 6 Dispositivi di raccolta basati su elettrodi tessili	43
<i>Introduzione</i>	43
<i>Tipi di dispositivi di raccolta e fabbricazione</i>	43
<i>Conclusioni</i>	47
Capitolo 7 Richieste degli utenti finali e prospettive nella selezione dei prodotti intelligenti.....	48
<i>introduzione</i>	48
<i>Requisiti degli utenti finali e prospettiva dei prodotti intelligenti</i>	51
<i>Conclusioni</i>	53
CAPITOLO 8 Fattori in grado di influenzare l'usabilità e l'accettazione di componenti elettronici integrati nei prodotti tessili	56
<i>introduzione</i>	56
<i>Fattori di influenza per l'usabilità e l'accettabilità dei componenti elettronici integrati nei prodotti tessili</i>	57
<i>Conclusioni</i>	60
Capitolo 9 Comfort sensoriale intelligente: analisi oggettiva e soggettiva per tessuti intelligenti	62
<i>Introduzione</i>	62
<i>Fattori relativi al comfort sensoriale</i>	63
<i>Valutazione oggettiva del comfort sensoriale</i>	64
<i>Valutazione soggettiva del comfort sensoriale</i>	66
<i>Conclusione</i>	69

Capitolo 10 Etica e requisiti per sensori e attuatori intelligenti integrati nei prodotti tessili.....	72
<i>Regolamento UE sulla protezione dei dati – GDPR.....</i>	<i>72</i>
<i>Aspetti dei dati di sicurezza</i>	<i>73</i>
<i>Tecnologie tessili conduttive e sicurezza</i>	<i>74</i>
<i>Casi pratici</i>	<i>76</i>
<i>Conclusioni.....</i>	<i>76</i>
Capitolo 11 Promuovere l'innovazione nei sensori intelligenti, attuatori, dispositivi indossabili attraverso il co-design e il co-sviluppo	78
<i>Introduzione.....</i>	<i>79</i>
<i>SMARTEE</i>	<i>79</i>
<i>Progetto Galattica</i>	<i>83</i>
<i>Conclusioni.....</i>	<i>84</i>
Capitolo 12 Metodi creativi per il co-design del prodotto tessile intelligente.....	87
<i>Introduzione.....</i>	<i>87</i>
<i>Metodi creativi per il co-design</i>	<i>89</i>
<i>Materiali tessili per abbigliamento smart</i>	<i>92</i>
<i>Conclusioni.....</i>	<i>93</i>
Capitolo 13 Co-progettazione di sensori intelligenti e integrazione in prodotti DPI militari	95
<i>Introduzione.....</i>	<i>95</i>
<i>Sensori di deformazione</i>	<i>96</i>
<i>Conclusioni.....</i>	<i>99</i>
Capitolo 14 Co-design attuatori basati su materiali sensoriali.....	101
<i>Introduzione.....</i>	<i>101</i>
<i>Le proprietà del tessuto che influenzano il comfort sensoriale</i>	<i>102</i>
<i>Proprietà di trazione del tessuto</i>	<i>103</i>
<i>Taglio del tessuto.....</i>	<i>104</i>
<i>Spessore e compressione dei tessuti a navetta</i>	<i>104</i>

<i>Comfort sensoriale dei tessuti</i>	105
<i>Conclusioni</i>	105
Capitolo 15 Legislazione nazionale ed europea in materia di prodotti intelligenti, sensoriali e indossabili.....	107
<i>Raccomandazioni politiche</i>	107
<i>Adattamento del quadro normativo alla tecnologia indossabile</i>	107
<i>Regolamentazione dei costi di roaming</i>	109
<i>Incoraggiare l'integrazione della tecnologia indossabile nei dispositivi medici</i>	109
<i>Conclusioni</i>	110
Capitolo 16 Analisi sintetica: tessuti, sensori, dispositivi indossabili	112
<i>Introduzione</i>	112
<i>Analisi dei tessuti intelligenti</i>	112
<i>Un modello di design per tessuti intelligenti</i>	114
<i>Conclusione</i>	115
Capitolo 17 Dinamiche di mercato per i tessuti basati sull'elettronica intelligente	117
<i>Potenzialità del mercato</i>	117
<i>Potenziali sociali</i>	118
<i>Dinamiche della catena del valore</i>	121
Capitolo 18 Dinamiche di mercato per i tessuti sensoriali	124
<i>Recenti sviluppi degli indumenti intelligenti</i>	124
<i>Indumenti sensorizzati</i>	125
<i>Conclusioni</i>	129
Capitolo 19:Eco-design per sensori, batterie e attuatori	131
<i>introduzione</i>	131
<i>Selezione dei materiali</i>	131
<i>Progettazione circolare e valutazione del ciclo di vita</i>	132
<i>Efficienza energetica e fonti energetiche rinnovabili</i>	133



<i>Eco-design dei sensori indossabili.....</i>	<i>133</i>
<i>Eco-design di batterie indossabili, dispositivi di accumulo e raccolta di energia</i>	<i>134</i>
<i>Eco-design di attuatori indossabili</i>	<i>135</i>
<i>Conclusioni.....</i>	<i>135</i>
<i>Capitolo 20: Co-progettazione di sensori intelligenti e integrazione nei DPI per rischi chimici e biologici</i>	<i>137</i>
<i>introduzione.....</i>	<i>137</i>
<i>Concetti di progettazione di base</i>	<i>137</i>
<i>Applicazioni e caratteristiche dei sensori chimici intelligenti</i>	<i>138</i>
<i>Applicazioni e caratteristiche dei sensori biologici intelligenti.....</i>	<i>139</i>
<i>Conclusioni.....</i>	<i>139</i>
Capitolo 21: Produzione incentrata sull'utente finale di sensori intelligenti ed attuatori.....	141
<i>introduzione.....</i>	<i>141</i>
<i>Sfide nella produzione di componenti DPI intelligenti incentrati sull'utente finale</i>	<i>141</i>
<i>Tendenze recenti nella gestione del rischio OHS e linee guida per le tecnologie di produzione dei DPI.....</i>	<i>142</i>
<i>Conclusioni.....</i>	<i>143</i>

Capitolo 1 Evoluzione dei tessuti basati su sensori

Ioannis Chronis, Georgios Priniotakis, Athanasios Panagiotopoulos UNIWA, GRECIA

introduzione

Ricerca nel campo scientifico dei sensori tessili date indietro di qualche decennio, e accompagna l'evoluzione dei cosiddetti Smart Textiles, Wearables ed e-Textiles. L'inizio è stato quando nei filati o nei tessuti sono stati introdotti materiali non convenzionali che cambiavano proprietà a causa di stimoli esterni. I tessuti e l'abbigliamento sono i prodotti commerciali più utilizzati, utilizzati sul corpo umano e la capacità dell'indumento di trasmettere informazioni agli esseri umani è stata considerata non solo molto utile per i clienti, ma anche molto promettente e attraente dal punto di vista del marketing. I sensori tessili sono uno dei componenti vitali di un tessuto intelligente ed è inutile approfondire ulteriormente l'evoluzione dei sensori tessili va di pari passo con l'evoluzione dei tessuti intelligenti in generale.

Nel resto di questo capitolo, distinguiamo tre generazioni di sensori tessili (Figura 1.1), occorre chiarire che tutte queste generazioni di tecnologie sono ancora in evoluzione e le applicazioni sono ancora in via di sviluppo, con risultati promettenti per tutte e tre le generazioni descritte di sensori tessili.

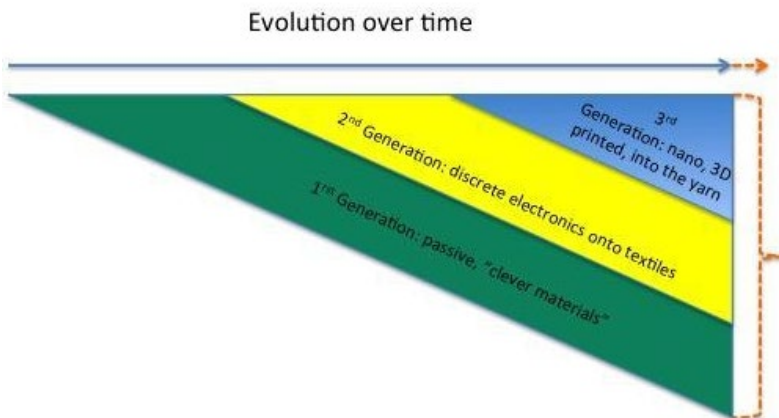


Figura 1.1. Evoluzione nel tempo dei sensori tessili

Prima generazione di sensori tessili

La prima generazione di sensori tessili è definita da materiali che potrebbero creare un segnale semplice e di bassa qualità/informazione, come un cambiamento della forma o del colore in base a un cambiamento nell'ambiente del tessuto (stimoli). Questa capacità di rilevamento è stata attribuita a nuovi, a quel tempo, materiali, i più tipici e semplici quali i polimeri a memoria di forma, i materiali cromatici e a cambiamento di fase, ecc. Questi materiali sono passivi: non richiedono alimentazione e non necessitano di un sistema di input/unità di elaborazione/uscita e fungono sia da sensore che da attuatore in termini di un tipico sistema di automazione.

I materiali a cambiamento di fase hanno la capacità di cambiare fase, in base alla temperatura, solitamente da solido a liquido e viceversa. I materiali più comunemente utilizzati per questo scopo sono gli idrocarburi solidi (cere), contenuti in schiume o microcapsule, che vengono aggiunti al tessuto mediante stratificazione o filatura a umido. Questi materiali possiedono sia la funzione di rilevamento che quella di azione e sono solitamente utilizzati per riscaldare indumenti in base alla temperatura ambientale [1], [2].

I Polimeri a Memoria di Forma sono polimeri organici che possono modificare la loro forma in base a uno stimolo come il calore, il pH, le radiazioni ecc. Sono una miscela di due polimeri (copolimero) con diversi punti di fusione, che è il meccanismo del cambiamento di forma. Il loro principale vantaggio è che possono essere filati in filato e creare un tessuto con azione Shape Memory [3].

Rientrano in questa categoria rientrano i tessuti Chromic che cambiano colore, le fibre ottiche, che trasmettono, rilevano e trasmettono la luce e i coloranti sensibili al pH, che cambiano colore in base al pH del liquido assorbito dalla superficie del tessuto. I coloranti contengono sostanze indicatrici di pH [4]. Devono essere fissati sul filo o sul tessuto. L'integrazione è buona, ma le capacità di rilevamento sono minime, quindi questi prodotti rimangono prototipi e non sono stati commercializzati.

I sensori di pressione capacitivi sono un'altra applicazione sviluppata in quest'epoca [5]. A differenza dei sensori di pressione piezoelettrici, possono essere integrati molto meglio in un tessuto con ricamo o addirittura cucito. Un'applicazione rilevante sono le tastiere ricamate, che utilizzavano una matrice di sensori di pressione di fili conduttivi e non conduttivi, al fine di creare un segnale binario (0/1, sì/no). Semplice, lavabile, realizzabile (ricamando), affidabile ma ovviamente di

bassa qualità/informazione come segnale elettronico. Sebbene le tastiere in genere non siano sensori di per sé, potrebbero essere incluse in questa categoria, poiché forniscono la comunicazione del tessuto con l'utente/chi lo indossa e fanno parte della parte intelligente dei tessuti intelligenti, come fanno i sensori [6].

Seconda generazione di sensori tessili

La seconda generazione di sensori tessili era basata su sensori elettronici convenzionali discreti, con connessione via cavo o wireless a microcontrollori o circuiti stampati (PCB). Queste applicazioni sono diventate popolari grazie alla produzione di massa e alla disponibilità di una vasta gamma di sensori, oltre che la digitalizzazione di elettronica e comunicazione. Questa generazione di sensori tessili raffigura la creazione di prototipi che potrebbero fornire davvero utili segnali e informazioni. Le applicazioni riguardavano principalmente la biometria del corpo umano e il monitoraggio della salute e del benessere. Ciò è abbastanza ragionevole data la natura sempre attiva dell'indumento e la natura non invasiva dei sensori biometrici.

Un esempio emblematico è l'ecosistema Arduino Lilypad, che grazie alle sue ridotte dimensioni può permettersi una migliore inclusione (cucitura, impuntura ecc.) nei substrati tessili convenzionali (tessuto, abbigliamento). L'Arduino Lilypad è stato introdotto nel 2007 ed è una scheda a microcontrollore della famiglia Arduino, progettata per i tessuti, il che significa che ha fori per cucire sugli indumenti e ha una forma simile a un fiore che può essere accettata esteticamente meglio come accessorio di un indumento [7]

L'ecosistema Arduino Lilypad include diversi sensori di piccole dimensioni, costo accessibile e per vari parametri: suono, temperatura, umidità, fiamma, foto residua, movimento, livello e molti altri. Erano collegati alla CPU (Arduino Lilypad) con fili conduttori ricamati o cuciti. Dal punto di vista tecnico, Arduino Lilypad non è una grande evoluzione, trattandosi di un ecosistema di componenti elettronici convenzionali, con una scarsa integrazione nei capi e un risultato esteticamente piuttosto scadente. Tuttavia, è stata una grande spinta agli sforzi e ai prototipi fai-da-te nel settore dei tessuti intelligenti e ha fornito un buon punto di partenza per diversi sforzi per i prototipi principalmente a causa di:

- l'handwear semplice ed economico (dispositivi di input e output come i sensori),

- l'ambiente di programmazione semplice e facile per programmatori non informatici e
- la grande comunità che ha supportato i creatori.

Sotto questo aspetto, è un ponte quasi ideale per i progettisti di sistemi intelligenti (elettronica) con i designer di moda di prodotti tessili. È una buona base per i novizi in questo settore, alcuni dei quali passeranno a creazioni più funzionali e alla moda.

Un'altra soluzione di questa generazione è l'ecosistema di sensori indossabili Smimmer®, che è stato introdotto nel 2006 e da allora si è sviluppato in una soluzione completa per applicazioni principalmente mirate a soluzioni mediche e per il benessere [8].

Applicazioni e prototipi di questa generazione di sensori intelligenti, avevano il problema della lavabilità delle parti elettroniche, soprattutto per l'alimentatore portatile (batteria) ma anche per i sensori. La soluzione era staccare la parte elettronica dell'indumento e lavare il substrato dell'indumento, quindi riattaccare la parte elettronica. In alternativa, le parti elettroniche sono state incapsulate in contenitori impermeabili, una soluzione tecnicamente giusta, ma ovviamente l'elemento alla moda è molto limitato. Il lavaggio a secco è la soluzione più preferita in questo caso, ma è costoso e non privo di problemi, dato che non si fa in casa, ma nei negozi. Dove le condizioni dello smart textile e delle sue parti/costituenti non possono essere garantite.

Terza generazione di sensori tessili

La terza generazione si basa su materiali tessili potenziati con proprietà di rilevamento intrinseche, dovute a rivestimenti di nanoparticelle o inclusi nel tessuto o nel filato durante il processo di filatura. È possibile creare strutture-sensori in tessuto tecnicamente più sofisticati con materiale multistrato di metalli elettroconduttivi o polimeri intrinsecamente conduttivi (ICP). L'integrazione è molto migliore e il prodotto ha l'aspetto e la sensazione di un normale prodotto tessile. [9]. L'espansione delle nanotecnologie è la base per questi nuovi sensori tessili e probabilmente segnerà l'inizio di prodotti reali che sarà massicciamente commercializzato, grazie alla disponibilità di massicce tecniche di produzione, nonché all'appeal del prodotto tessile intelligente che avrà l'aspetto e la sensazione di un prodotto convenzionale.



La stampa 3D di sensori tessili, sviluppato di recente, può permettere un massiccio processo di produzione, che rappresenta un grande passo avanti verso la commercializzazione di tessuti intelligenti. I sensori sono fabbricati da polimeri conduttivi e flessibili e in questo modo vengono integrati in modo migliore sul capo, evitando il problema dell'hard-on-soft dei componenti elettronici discreti sui tessuti intelligenti. [10]

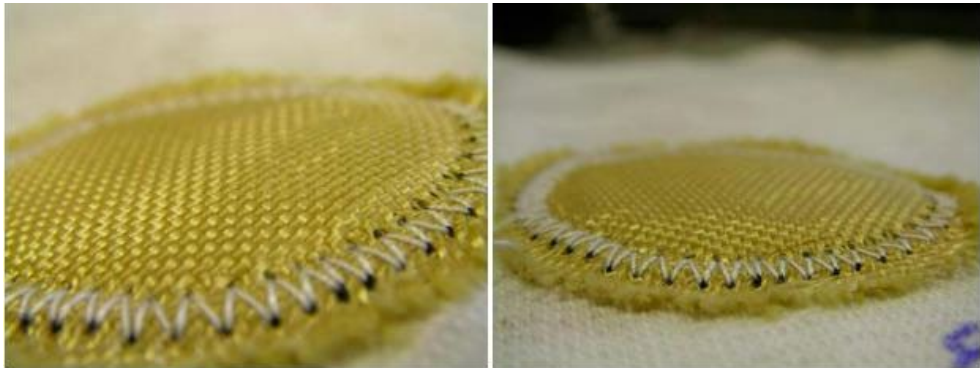


Figura 1.2. Elettrodi tessili in para-aramide rivestiti in oro (Tzerahoglou et al. 2011)

Conclusioni

L'evoluzione nel tempo dei tessuti intelligenti può essere suddivisa in tre generazioni. Sebbene questa classificazione sia basata sul tempo, ci sono differenze significative nella base tecnica e nell'approccio dei prodotti rilevanti e tutte e tre le generazioni sono ancora in fase di sviluppo, con diversi livelli di successo commerciale. I risultati più promettenti probabilmente verranno da sensori tessili che integrano in modo efficace il rilevamento e l'elemento tessile, in modo che possano essere realmente utilizzati in un prodotto considerato come un prodotto tessile dagli utenti finali.

Bibliografia

1. fibre2fashion, 2022, PCM in textiles <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/81/pcm-in-textiles>, accessed 1/12/2022



2. Mondal S., 2008, Phase change materials for smart textiles – An overview, *Applied Thermal Engineering* 28 (2008) 1536–1550,
3. Gök Mustafa O., Mehmet Z. Bilir, Banu H. Gürcüm, Shape-Memory Applications in Textile Design, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 195, 2015, Pages 2160-2169, ISSN 1877-0428, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.283>.
4. Halili Albana, Ilda Kazani, Genti Guxho, Nano-based Wearable Textile Sensors: a review on latest developments, *Journal of Natural and Technical Sciences (JNTS)*, No 43 / 2017 (XXII), pg. 144-161
5. Sergio M., N. Manaresi, M. Tartagni, R. Guerrieri and R. Canegallo, "A textile based capacitive pressure sensor," *SENSORS, 2002 IEEE*, Orlando, FL, USA, 2002, pp. 1625-1630 vol.2, doi: 10.1109/ICSENS.2002.1037367.
6. M. Rofouei, M. Potkonjak and M. Sarrafzadeh, "Energy efficient E-Textile based portable keyboard," *IEEE/ACM International Symposium on Low Power Electronics and Design*, Fukuoka, Japan, 2011, pp. 339-344, doi: 10.1109/ISLPED.2011.5993660.
7. Leah Buechley and Benjamin Mako Hill, 2010. LillyPad in the wild: how hardware's long tail is supporting new engineering and design communities. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems (DIS '10)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 199–207. <https://doi.org/10.1145/1858171.1858206>
8. <https://shimmersensing.com/>, accessed 115/1/2023
9. Anjali Bishnoi, T.S. Rajaraman, Charu Lata Dube, Nikita J. Ambegaonkar,, 3Smart nanosensors for textiles: an introduction, Chapter 2 In *Micro and Nano Technologies, Nanosensors and Nanodevices for Smart Multifunctional Textiles*, Andrea Ehrmann, Tuan Anh Nguyen, Phuong Nguyen Tri, editors, Elsevier, 2021,, Pages 7-25 .
10. Gandler M., F. Eibensteiner and J. Langer, "3D Printable Sensors for Smart Textiles," *2019 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT)*, Zilina, Slovakia, 2019, pp. 153-157, doi: 10.1109/DT.2019.8813686.
11. A. Tzerachoglou E. Kapsalis¹, I. Chronis, G. Priniotakis, G. Pikoulis, L. Karabarpas, D. Piromalis, D. Tseles Gold coated textile electrodes for wearable bio-potential monitoring systems, *FiberMed11* 28-30 June 2011, Tampere, Finland

Capitolo 2 Requisiti dei materiali tessili per sensori, attuatori, batterie e dispositivi indossabili

Athanasios Panagiotopoulos, Ioannis Chronis, Georgios Priniotakis

UNIWA, Grecia

introduzione

La combinazione di tessuti e proprietà di rilevamento ha portato alla creazione di quelli che chiamiamo sensori di tessuti intelligenti. Sono sensibili a molteplici stimoli fisici e chimici come cambiamenti di temperatura, pressione, forza e corrente elettrica, ecc. Gli elementi sensibili possono essere incorporati nei tessuti a qualsiasi livello a seconda dell'elemento strutturale del tessuto che viene modificato o sensibilizzato. Questi sensori di tessuti intelligenti possono essere considerati parte del termine più generale di trasduttori di tessuti intelligenti [1].

Possiamo dividere i trasduttori tessili intelligenti in tre categorie principali che sono sensori, attuatori e batterie.

Sensori

I materiali tessili spesso utilizzati nei sensori possono essere approssimativamente suddivisi in tessuti, filati e fibre. Per i sensori di pressione, al fine di rilevare o rilevare i cambiamenti di deformazione, tocco e pressione e convertirli in segnali elettrici, le fibre conduttive, come le fibre di acciaio inossidabile e le fibre di carbonio, sono generalmente necessarie per condurre l'elettricità [2].

Diversi materiali e tecniche utilizzate nella creazione di sensori basati su tessuti. Alcune tecniche che sono state utilizzate sono l'ammollo, la serigrafia, il rivestimento per immersione, l'elettrofilatura, la crescita in situ e la polimerizzazione in fase vapore [3-4].

Diversi tipi di combinazioni di materiali e procedure sono necessari per la fabbricazione di diversi tipi di sensori basati su tessuti. Questi sensori potrebbero includere sensori di pressione capacitivi, sensori piezoelettrici, sensori di pressione triboelettrici

Attuatori

Per classificare gli attuatori potremmo usare proprietà come sollecitazione, deformazione, velocità di deformazione, ciclo di vita e modulo elastico. Le diverse meccaniche di attuazione includono [5]:

- Attuazione del campo elettrico
- Attuazione basata su ioni
- Azionamento pneumatico
- Attuazione termica
- Altre meccaniche di attuazione

Mentre alcuni di questi meccanismi sono costituiti da componenti rigidi, altri ne consentono l'utilizzo in tessuti intelligenti. Gli attuatori polimerici sono stati utilizzati per tessuti intelligenti. gli attuatori sono azionati sotto il meccanismo di un cambiamento dimensionale del materiale che è causato dall'aggiunta o rimozione di carica dalla struttura polimerica [6].

In questa categoria sono inclusi i seguenti attuatori. Attuatori in nanotubi di carbonio [7], attuatori tessili basati su CNT [8], attuatori in lega a memoria di forma [9]. Attuatori in fibra sintetica intrecciata e arrotolata [10], filati CNT/spandex lavorati a maglia come tessuti intelligenti [11].

In generale, il meccanismo di azionamento dovrebbe essere selezionato ponendo l'accento sulle esigenze dell'utente finale. Per i tessuti intelligenti l'attenzione si è concentrata sugli attuatori azionati termicamente. Ciò può essere dovuto principalmente all'utilizzo del riscaldamento elettrotermico come fonte di energia affidabile e pulita.

Batterie

Anche con tutto il progresso tecnologico ei grandi passi compiuti, ci sono cose che non cambiano. E uno di questi è che le batterie sono ancora il modo per immagazzinare energia. Parlare di batterie flessibili richiede di esaminare i componenti di cui è composta una batteria.

Una batteria ha principalmente quattro componenti. Anodo, catodo, separatore ed elettrolita [12]. Per rendere flessibile una batteria dovremmo rendere flessibili i



suoi componenti. Un elettrodo flessibile può essere a base di carbonio, grafene o ossido di metallo.

Fino ad ora le batterie agli ioni di litio hanno attirato l'attenzione nelle batterie flessibili a base di fibra. Per un elettrodo in fibra di grafene o CNT sono le opzioni principali. Le tecniche per ciò includerebbero la doppia filatura e il rivestimento [13].

Un elettrolita flessibile è un altro aspetto importante di quella che sarebbe una batteria flessibile. Per le batterie flessibili sono stati segnalati elettroliti gel-polimero e allo stato solido [14].

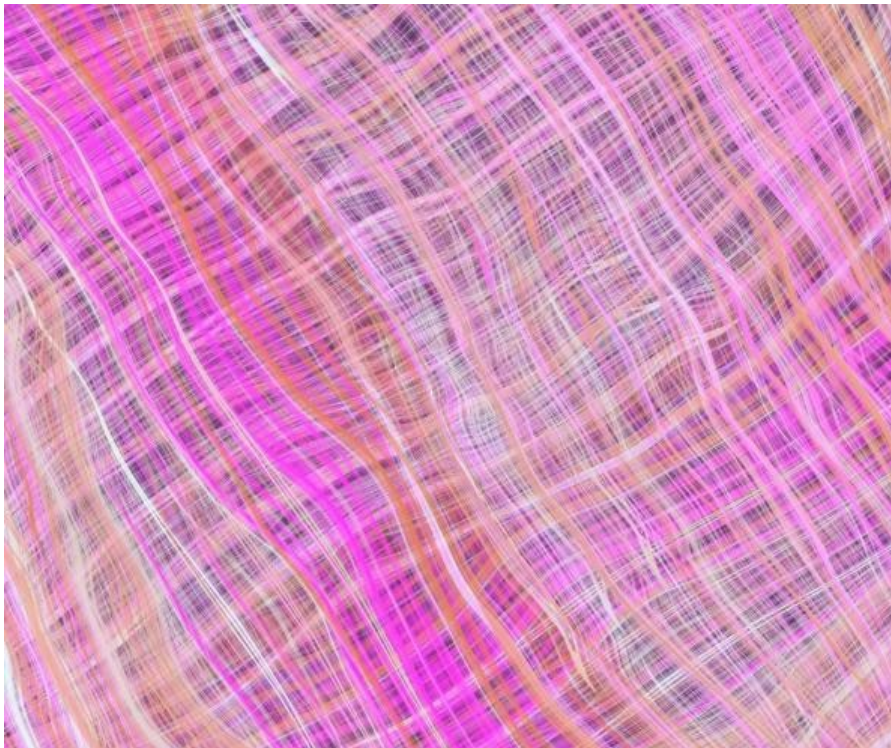


Figura 2.1 - Smart wearable basato sui tessuti



Dispositivi indossabili flessibili

Per la creazione di dispositivi indossabili che siano flessibili e abbiano il tessuto come base, le opzioni sono diverse fibre conduttive. Si tratta di fili metallici, fibre placcate in metallo, polimeri conduttori, fibre pulite CNT e fibre polimeriche CNT.

I fili metallici hanno un'elevata conducibilità elettrica ma anche un'elevata densità, sono facili da ossidare e hanno una bassa resistenza alla trazione. Le fibre placcate in metallo possono controllare la conduttività elettrica in base allo spessore dello strato rivestito, ma lo strato metallico è sottile, quindi c'è un'elevata resistenza. Inoltre, la durabilità dello strato metallico è debole. Per i polimeri conduttori le proprietà sono simili a quelle delle fibre convenzionali. Bassa conducibilità e lavorabilità sono i principali ostacoli per questa categoria. Per le fibre pulite CNT ci sono alcuni problemi di sicurezza per i nanomateriali, ma la presenza di un'elevata resistenza alla trazione e un'elevata conduttività elettrica sono promettenti. I compositi polimerici CNT hanno proprietà fisiche simili alle fibre convenzionali mentre la superficie è ruvida e presenta un'elevata resistenza [15].

Altre parti che potrebbero essere costituite da una qualche forma di fibra sono i circuiti stampati tessili [16], i transistor basati su fibra [17] e i circuiti elettronici nei tessuti [18].

Applicazioni

Tutti questi dispositivi o componenti di un dispositivo realizzati in una certa misura con tessuti potrebbero trovare azione in una varietà di campi come il monitoraggio della salute umana, lo sport, il militare, la vita quotidiana, le abitudini alimentari.

Conclusioni

sensori tessili. Il livello di integrazione nel substrato tessile è ora maggiore, grazie ai progressi nelle tecnologie micro e nano, così come nei metodi e materiali di rivestimento dei filati. Strutture flessibili che possono essere aggiunte a un capo

d'abbigliamento forniscono funzioni di rilevamento soddisfacenti, senza compromettere la natura flessibile e "cadente" del prodotto tessile.

Bibliografia

- [1] Castano, L. M., & Flatau, A. B. (2014). Smart fabric sensors and e-textile technologies: a review. *Smart Materials and Structures*, 23(5), 053001. doi:10.1088/0964-1726/23/5/053001
- [2] Zhang, J., Zhang, Y., Li, Y., & Wang, P. (2021). Textile-Based Flexible Pressure Sensors: A Review. *Polymer Reviews*, 1–31. doi:10.1080/15583724.2021.1901737
- [3] Wang, Z.; Si, Y.; Zhao, C.; Yu, D.; Wang, W.; Sun, G. Flexible and Washable Poly(Ionic Liquid) Nanofibrous Membrane with Moisture Proof Pressure Sensing for Real-Life Wearable Electronics. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2019, 11, 27200–27209. DOI: 10.1021/acsami.9b07786.
- [4] Zhou, Z.; Li, Y.; Cheng, J.; Chen, S.; Hu, R.; Yan, X.; Liao, X.; Xu, C.; Yu, J.; Li, L. Supersensitive All-Fabric Pressure Sensors Using Printed Textile Electrode Arrays for Human Motion Monitoring and Human-Machine Interaction. *J. Mater. Chem. C* 2018, 6, 13120–13127. DOI: 10.1039/C8TC02716A.
- [5] Kongahage, D., & Foroughi, J. (2019). Actuator materials: review on recent advances and future outlook for smart textiles. *Fibers*, 7(3), 21.
- [6] Kaneto, K. Research Trends of Soft Actuators based on Electroactive Polymers and Conducting Polymers. *J. Phys. Conf. Ser.* 2016, 704, 012004
- [7] Li, D.; Paxton, W.F.; Baughman, R.H.; Huang, T.J.; Stoddart, J.F.; Weiss, P.S. Molecular, supramolecular, and macromolecular motors and artificial muscles. *MRS Bull.* 2009, 34, 671–681.
- [8] Zhang, M.; Atkinson, K.R.; Baughman, R.H. Multifunctional Carbon Nanotube Yarns by Downsizing an Ancient Technology. *Science* 2004, 306, 1358–1361
- [9] Lan, C.-C.; Wang, J.-H.; Fan, C.-H. Optimal design of rotary manipulators using shape memory alloy wire actuated flexures. *Sens. Actuators A Phys.* 2009, 153, 258–266
- [10] Stegmaier, T.; Mavely, J.; Schneider, P. CHAPTER 6: High-Performance and High-Functional Fibres and Textiles. In *Textiles in Sports*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands; pp. 89–119.
- [11] Foroughi, J.; Spinks, G.M.; Aziz, S.; Mirabedini, A.; Jeiranikhameneh, A.; Wallace, G.G.; Kozlov, M.E.; Baughman, R.H. Knitted Carbon-Nanotube-



Sheath/Spandex-Core Elastomeric Yarns for Artificial Muscles and Strain Sensing. *ACS Nano* 2016, 10, 9129–9135.

[12] Khan, M. I., Hassan, M. M., Rahim, A., & Muhammad, N. (2020). Flexible Batteries. *Rechargeable Batteries*, 41–60. doi:10.1002/9781119714774.ch3

[13] Sun, C.-F., Zhu, H., Baker, E.B., III, Okada, M., Wan, J., Ghemes, A. et al., Weavable high-capacity electrodes. *Nano Energy*, 2, 987–94, 2013

[14] Yue, L., Ma, J., Zhang, J., Zhao, J., Dong, S., Liu, Z. et al., All solid-state polymer electrolytes for high-performance lithium ion batteries. *Energy Storage Mater.*, 5, 139–64, 2016

[15] Baeg, K., & Lee, J. (2020). Flexible Electronic Systems on Plastic Substrates and Textiles for Smart Wearable Technologies. *Advanced Materials Technologies*, 2000071. doi:10.1002/admt.202000071

[16] C. Kallmayer, R. Pisarek, A. Neudeck, S. Cichos, S. Gimpel, R. Aschenbrenner, H. Reichlt, presented at Proc. of 53rd Electronic Components and Technology Conference, 2003, May 2003.

[17] J. B. Lee, V. Subramanian, IEEE International Electron Devices Meeting 2003, Washington, DC, USA 2003, pp. 8.3.1–8.3.4

[18] Chuangchote, S., Sagawa, T., & Yoshikawa, S. (2011). Design of metal wires-based organic photovoltaic cells. *Energy Procedia*, 9, 553-558.

Capitolo 3 Co-progettazione di sensori e integrazione nei prodotti DPI per la protezione antincendio e idrica

Aileni Raluca Maria, Cristina Stroe, INCDTP, Romania

Abstract: La co-progettazione di sensori intelligenti e l'integrazione nei DPI per vigili del fuoco o immersioni include l'integrazione di diversi sensori contenenti microcontrollori, moduli di comunicazione e applicazioni software adeguate per l'elaborazione dei dati per misurare parametri biomedici (polso, temperatura, polso, livello di ossigeno) o ambientali (livello di ossigeno, profondità, pressione, temperatura, composizione del gas) per aiutare i lavoratori nella loro attività e garantire condizioni di lavoro sicure. L'integrazione di sensori intelligenti indossabili nei prodotti tessili si basa principalmente sulla flessibilità e sulla miniaturizzazione dei sensori, mentre l'integrazione di alcuni sensori intelligenti per immersioni o protezione antincendio consiste nell'integrare alcuni componenti rigidi.

introduzione

In condizioni normali, il sistema di termoregolazione del corpo umano funge da regolatore di temperatura o umidità. Tuttavia, in ambienti nocivi (sott'acqua, fuoco), purtroppo, il corpo umano non ha un controllo insufficiente per compensare l'aumento della pressione in profondità o l'eccessivo riscaldamento a causa del fuoco, che può portare a gravi incidenti e lesioni personali che possono mettere in pericolo la vita dei subacquei [1,2]. Di solito, per le immersioni, il sistema di monitoraggio che dovrebbe fornire informazioni su pressione, ritmo respiratorio e posizione è protetto da coperture di plastica e attaccato ai subacquei (Figura 1.1.a). In generale, le situazioni subacquee comportano l'immersione con computer piccoli e robusti in grado di elaborare informazioni su profondità dell'acqua, temperatura dell'acqua, pressione, livello di ossigeno, livello della batteria, ritmi respiratori o temperatura corporea. La pressione subacquea è influenzata dalla profondità di immersione e può essere monitorata utilizzando un computer subacqueo collegato a un sensore di pressione digitale che offre informazioni sulla profondità di immersione, il livello dell'acqua locale, i residui di gas nei serbatoi di respirazione e il tempo sicuro per un'immersione. Per tali sistemi in ambienti difficili, la resistenza alla corrosione (ad es. acqua salata) e il basso consumo energetico nelle applicazioni remote sono essenziali per un periodo prolungato [3,

4]. Per il monitoraggio subacqueo vengono utilizzati sensori piezo-resistivi perché resistenti e in grado di operare in tali condizioni, integrati in smartwatch (figura 1.1.b), boe sonar e serbatoi. In questo modo, possiamo osservare che questi sensori non possono essere integrati nei tessuti perché sono molto robusti, senza componenti flessibili [4]. **Principalmente tutti gli smartwatch e gli strumenti di profondità sono stati dispositivi analogici, ma i sensori di progettazione per la pressione hanno vantaggi significativi perché i componenti piezoelettrici e i trasduttori sono integrati e possono essere facilmente integrati con i computer rispetto a quelli analogici.**



a. Attrezzatura da sub



B. Sensori di merito basati su smartwatch

Figura 3.1. Sub dotato del sistema di registrazione e di una videocamera (sopra il braccio sinistro/destro) [3]

Sensori intelligenti per DPI fuoco/acqua

L'integrazione di sensori intelligenti nei DPI per acqua o fuoco è un requisito, garantendo autonomia e monitoraggio continuo di chi li indossa. Anche se i sensori analogici basati su elettrodi tessili flessibili (fibre, filati) possono essere integrati in un tessuto attraverso la tecnologia di cucito, ricamo, tessitura, lavorazione a maglia o tessuto non tessuto, per acqua e fuoco, DPI, i sensori intelligenti compatti hanno dimostrato resistenza in ambienti nocivi (ambiente corrosivo, alta temperatura, umidità). Inoltre, gli elettrodi di superficie tessile per sensori di temperatura o umidità del corpo umano possono essere utilizzati se non sono a diretto contatto con acqua o fuoco. In caso contrario, questi elettrodi possono essere distrutti e non possono garantire l'accuratezza del monitoraggio. I sensori intelligenti contengono diversi componenti, come un microprocessore, un sensore, una tecnologia di comunicazione wireless (ad es. WiFi) e tecnologie software (ADC, elaborazione dati), si interfacciano con l'utente tramite aggregatori (smartphone, tablet) e

generano segnali digitali quando viene monitorata una misura fisica (es. temperatura, pressione, umidità). I sensori intelligenti utilizzati nelle apparecchiature DPI possono offrire informazioni sullo stato di salute di chi lo indossa, sull'ambiente (composizione chimica dell'atmosfera (ad es. biossido di azoto (NO₂), ossido nitrico (NO) e monossido di carbonio (CO), temperatura, umidità, profondità, livello di radiazione) o sui dispositivi che assicurano la sopravvivenza in un ambiente tossico (livello di ossigeno sulla bombola) [4]. Ad esempio, nel caso delle immersioni, è fondamentale monitorare la pressione, la profondità e la concentrazione di O₂ perché può verificarsi una malattia da decompressione, generata da bolle intravascolari o extravascolari a causa di una riduzione della pressione ambientale [5, 6].

I sensori intelligenti per acqua o fuoco DPI contengono i seguenti componenti:

- sensori;
- microprocessore;
- modulo di comunicazione;
- software (ADC, elaborazione dati);
- aggregatori (smartphone, tablet).

Co-design di dispositivi di protezione individuale antincendio/acqua

Il metodo di co-progettazione dei dispositivi di protezione individuale antincendio/acqua (figura 1.2) con sensori integrati consiste nello stabilire gli obiettivi, le specifiche, le proprietà e i vincoli per i sensori utilizzando un gruppo di specialisti con competenze pertinenti:



UN. DPI per vigili del fuoco



B. DPI per immersioni



C. DPI per l'acqua

Figura 3.2. DPI per la protezione dall'acqua e dal fuoco

- ✓ Utenti finali - vigili del fuoco/sommozzatori/lavoratori con getti d'acqua (offrendo il punto di vista dell'utente, casi d'uso reali, esigenze, aspetti relativi al comfort e all'accettabilità del prodotto)
- ✓ Ingegneri con specializzazioni (laurea triennale, master e dottorato di ricerca) nel settore tessile (filatura, tessitura, maglieria e indumenti tessili) che offre informazioni sulla progettazione, produzione e standardizzazione;
- ✓ Ingegneri con specializzazioni (laurea triennale, magistrale e dottorato di ricerca) in informatica/informatica, offrendo informazioni sulle possibilità di sviluppare un software adeguato per l'hardware proposto (sensori + microcontrollori);
- ✓ Medici (offrendo una prospettiva medica: aspetti relativi ai parametri da valutare considerando i casi d'uso specifici (fuoco/acqua));
- ✓ Ingegneri con specializzazioni (laurea triennale, master e dottorato di ricerca) in elettronica che offre informazioni sulla progettazione, produzione e standardizzazione

La diversità degli approcci porterà alla progettazione di un prodotto completo considerando tutti i possibili rischi e le specifiche di progettazione per l'interfaccia in diverse condizioni complesse.

Integrazione del sensore nei DPI per la protezione antincendio

A seconda della flessibilità e del grado di miniaturizzazione, i sensori intelligenti possono essere integrati nei DPI per la protezione antincendio.

I sensori intelligenti dovrebbero essere integrati nei DPI per la protezione antincendio per il monitoraggio remoto:

- Sensore di pulsazioni;
- Sensore di gas (monitoraggio del livello di ossigeno);
- Termometro;
- Sensore di umidità;
- Modulo di localizzazione (GPS) e dispositivo audio (AD)
- Accelerometri/giroscopio

Integrazione del sensore nei DPI per la protezione dall'acqua

I DPI per il personale che lavora sott'acqua o a contatto con l'acqua dovrebbero integrare il monitoraggio remoto per prevenire l'ipossia o altre lesioni:

- sensori di temperatura;
- Livello e concentrazione di ossigeno;
- Sensori di umidità;
- Localizzazione (GPS) e moduli di comunicazione (dispositivo audio);
- Tempo di trasmissione
- Profondità
- Pressione

Conclusioni

L'integrazione di sensori intelligenti negli indumenti di protezione antincendio o antinfortunistici in acqua è un requisito perché può generare molteplici vantaggi per i lavoratori in ambienti pericolosi, come l'autonomia e il monitoraggio continuo del lavoratore. I sensori analogici basati su hardware compatto ed elettrodi tessili flessibili (fibre, filati) possono essere integrati in un tessuto tramite cucitura, ricamo, tessitura, maglieria o tecnologia non tessuta per i prodotti PPE per acqua e fuoco e presentano una buona resistenza in ambienti dannosi (ambiente corrosivo, alta temperatura, umidità). La progettazione congiunta di PPE antincendio/antinfortunistici con sensori integrati consiste nell'instaurare gli obiettivi, le specifiche, le proprietà e i vincoli per i sensori integrati utilizzando un gruppo adeguato di specialisti come vigili del fuoco, subacquei, lavoratori con getti d'acqua, ingegneri con competenze in tessile, scienza dei materiali, elettronica, informatica e personale medico per definire i casi d'uso appropriati.

Bibliografia

1. Dietrich, A.J., 1999. US Navy Diving Manual: Air Diving (Vol. 1). DIANE Publishing.
2. Andrew, B.T. and Doolette, D.J., 2020. Manned validation of a US Navy Diving Manual, Revision 7, VVal-79 schedule for short bottom time, deep air decompression diving. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 50(1), p.43.
3. Altepe, C., Egi, S.M., Ozyigit, T., Sinoplu, D.R., Marroni, A. and Pierleoni, P., 2017. Design and validation of a breathing detection system for scuba divers. *Sensors*, 17(6), p.1349.
4. Moon, R.E., 1999. Treatment of diving emergencies. *Critical care clinics*, 15(2), pp.429-456.
5. Yu, X., Xu, J., Huang, G., Zhang, K., Qing, L., Liu, W., Xu, W., 2017. Bubble-induced endothelial microparticles promote endothelial dysfunction. *PloS one*, 12(1), p.e0168881.



6. Vann, R.D., Butler, F.K., Mitchell, S.J., Moon, R.E., 2011. Decompression illness. *The Lancet*, 377(9760), pp.153-164.
7. Bosco, G., Rizzato, A., Moon, R.E. and Camporesi, E.M., 2018. Environmental physiology and diving medicine. *Frontiers in psychology*, 9, p.72.
8. Pendergast, D.R., Moon, R.E., Krasney, J.J., Held, H.E. and Zamparo, P., 2015. Human physiology in an aquatic environment. *Compr Physiol*, 5(4), pp.1705-50.
9. DeGorordo, A., Vallejo-Manzur, F., Chanin, K. and Varon, J., 2003. Diving emergencies. *Resuscitation*, 59(2), pp.171-180.



Capitolo 4 Co-progettazione di sensori intelligenti e integrazione nei dispositivi medici

Aileni Raluca Maria, Cristina Stroe, INCDTP, Romania

Abstract: La co-progettazione dei sensori intelligenti e l'integrazione nei dispositivi medici include l'opportuna integrazione dei diversi sensori contenenti microcontrollori, moduli di comunicazione e adeguate applicazioni software per l'elaborazione dei dati al fine di misurare i parametri biomedici (ritmo respiratorio, pressione sanguigna, polso, livello di ossigeno, glicemia), altri biomarcatori che possono essere utilizzati per diagnosticare o trattare (ad es., analisi del sudore mediante dispositivi microfluidici indossabili) diverse malattie, per assistere i pazienti nella riabilitazione. L'integrazione di sensori intelligenti indossabili nei prodotti tessili si basa sulla flessibilità e sulla miniaturizzazione dei sensori. Senza flessibilità o miniaturizzazione, questi sensori possono essere danneggiati da azioni meccaniche che possono verificarsi nei tessuti, considerando che il tessuto non è una superficie continua ma discreta.

Introduzione

Numerose piattaforme innovative indossabili che integrano sensori sono state sviluppate nella tecnologia microfluidica per l'analisi del sudore [1] per valutare i biomarcatori o agire come laboratorio sotto la pelle costituito da microaghi basati su sistemi multiplex con sensori transdermici per il monitoraggio di biomarcatori (metaboliti, elettroliti) [2, 3]. Tuttavia, queste tecniche richiedono materiali flessibili e trasparenti che non possono integrarsi adeguatamente nella superficie tessile. L'integrazione dei sensori intelligenti in articoli tessili (calze, camicie) da utilizzare per scopi medici include l'integrazione dei sensori flessibili nelle calze [4] mediante cucitura o l'integrazione dei sensori intelligenti come ECG, bioimpedenza e accelerazione mediante stampa sul tessuto [5].



Sensori intelligenti per la sanità

È auspicabile collegare dispositivi medici indossabili ai tessuti, garantendo autonomia e monitoraggio continuo. Tuttavia, i sensori analogici basati su elettrodi tessili flessibili (fibre, filati) possono essere integrati in un tessuto attraverso la tecnologia di cucito, ricamo, tessitura, lavorazione a maglia o tessuto non tessuto. Inoltre, può essere utilizzato il rivestimento della superficie tessile per ottenere elettrodi superficiali fungenti da elettrodi per sensori di pressione, temperatura o umidità. I sensori analogici generano segnali analogici (ad es. variazione di tensione) da una misura fisica monitorata. I sensori analogici più utilizzati includono sensori di suono, sensori di luce, sensori di temperatura e sensori di pressione. Un sensore intelligente (digitale) contiene diversi componenti (figura 1), come un microprocessore, un sensore, una tecnologia di comunicazione wireless (ad es. WiFi, LoRa) e tecnologie software (ADC, elaborazione dati), interfaccia utente tramite aggregatori (smartphone, tablet) e genera segnali digitali quando viene monitorata una misura fisica (es. temperatura, pressione, umidità). I sensori intelligenti vengono utilizzati nei dispositivi medici per diagnosticare, prevenire, monitorare fisiologicamente, assistere la riabilitazione, curare le malattie e convalidare i dispositivi medici.

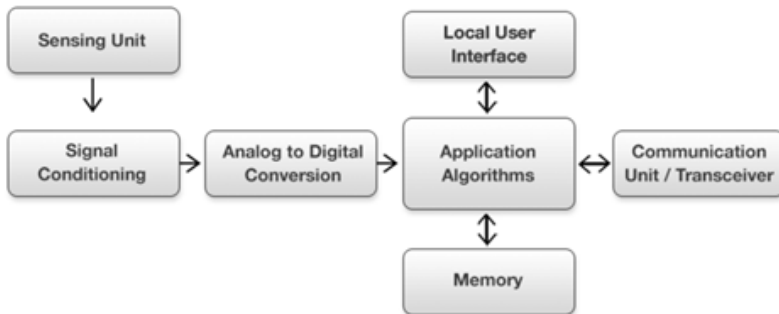


Figura 4.2 Elementi costitutivi del sensore intelligente (Immagine © Premier Farnell Ltd.) [6]

Co-design di sensori biomedici intelligenti

Il metodo di co-progettazione dei sensori biomedici intelligenti consiste nello stabilire gli obiettivi, le specifiche, le proprietà e i vincoli per i sensori nell'ambito di un gruppo di lavoro di specialisti con le relative competenze:

- ✓ Utenti finali (offrendo ai pazienti prospettive, esigenze, aspetti relativi al comfort e all'accettabilità del prodotto);
- ✓ Medici (prospettiva sanitaria dell'offerta: aspetti relativi ai parametri da valutare, posizione dei sensori);
- ✓ Ingegneri con specializzazioni (laurea triennale, master e dottorato di ricerca) nel settore tessile (filatura, tessitura, maglieria e indumenti tessili) che offre informazioni sulla progettazione, produzione e standardizzazione;
- ✓ Ingegneri con specializzazioni (laurea triennale, master e dottorato di ricerca) in elettronica che offre informazioni sulla progettazione, la produzione, la realizzazione e la standardizzazione di sensori
- ✓ Ingegneri con specializzazioni (laurea triennale, magistrale e dottorato di ricerca) in informatica/informatica, offrendo informazioni sulle possibilità di sviluppare un software adeguato per l'hardware proposto (sensori + microcontrollori)

Inoltre, queste diverse specializzazioni ed esperienze generano "prodotti" tangibili come specifiche di progettazione per sensori intelligenti e integrazione.

Integrazione di sensori intelligenti nei dispositivi medici

A seconda della flessibilità e del grado di miniaturizzazione, i sensori intelligenti possono essere integrati nei dispositivi medici. Sensori intelligenti integrati nei dispositivi medici per il monitoraggio biomedico:

- Sensori a impulsi (difficili da integrare nelle strutture tessili) [7, 8];
- Sensori di temperatura (figura 1.3 a.) [7];
- Sensori di umidità (figura 1.3 c) [9];
- Monitoraggio della respirazione (cinture di monitoraggio tessili) (figura 1.3 a) [7, 8];
- Monitoraggio ECG (con elettrodi tessili) (figura 1.3 b.) [10];
- sensori di ossimetria per il monitoraggio dei livelli di ossigeno (figura 1.3 d) [11];
- EMG per il monitoraggio dell'attività muscolare (figura 1.3 d) [11];
- Sensori di monitoraggio del cancello (integrazione della soletta intelligente accelerometro/giroscopio) [12-16].



Figura 4.3. Sensori intelligenti integrati per uso medico

Conclusioni

Lo sviluppo di tessuti medici con sensori intelligenti integrati include componenti (microcontrollori, moduli di comunicazione, applicazioni software), elaborazione del segnale al fine di misurare parametri biomedici (ritmo respiratorio, pressione sanguigna, polso, livello di ossigeno, glicemia) o biomarcatori (ad esempio, analisi del sudore utilizzando dispositivi microfluidici indossabili) e analisi dei dati al fine di stabilire i buoni modelli per diverse malattie, per assistere i pazienti nella riabilitazione.

L'integrazione dei sensori intelligenti indossabili con i prodotti tessili dipende dalla flessibilità e miniaturizzazione dei componenti elettronici. Con flessibilità o miniaturizzazione insufficiente, i sensori possono essere danneggiati dalle azioni meccaniche specifiche dei materiali discreti (tessuti).

Il metodo di progettazione congiunta per tessuti intelligenti che integrano sensori biomedici consiste nella collaborazione con diversi gruppi (pazienti, personale medico, ingegneri con esperienza in scienza dei materiali, tessili, integrazione elettronica e informatica) per definire gli obiettivi, le specifiche del prodotto e i vincoli per i sensori integrati.

Bibliografia

1. Li, S., Ma, Z., Cao, Z., Pan, L. and Shi, Y., 2020. Advanced wearable microfluidic sensors for healthcare monitoring. *Small*, 16(9), p.1903822.
2. Teymourian, H., Tehrani, F., Mahato, K. and Wang, J., 2021. Lab under the skin: microneedle based wearable devices. *Advanced healthcare materials*, 10(17), p.2002255.
3. Gowers, S.A., Freeman, D.M., Rawson, T.M., Rogers, M.L., Wilson, R.C., Holmes, A.H., Cass, A.E. and O'Hare, D., 2019. Development of a minimally invasive microneedle-based sensor for continuous monitoring of β -lactam antibiotic concentrations in vivo. *ACS sensors*, 4(4), pp.1072-1080.
4. Fraunhofer ISC enables wearable technology for technical textiles and medical devices, online available: www.indiantextilemagazine.in/fraunhofer-isc-enables-wearable-technology-for-technical-textiles-and-medical-devices
5. Wearable textile electronics, online available: www.2mel.nl/wearable-textile-electronics
6. Smart sensors – overview and latest technology, online available: at.farnell.com/smart-sensors-overview-and-latest-technology
7. Sensors woven into a shirt can monitor vital signs, online available: news.mit.edu/2020/sensors-monitor-vital-signs-0423
8. Fan, W., He, Q., Meng, K., Tan, X., Zhou, Z., Zhang, G., Yang, J. and Wang, Z.L., 2020. Machine-knitted washable sensor array textile for precise epidermal physiological signal monitoring. *Science advances*, 6(11), p.eaay2840.
9. Weremczuk, J., Tarapata, G. and Jachowicz, R., 2012. Humidity sensor printed on textile with the use of ink-jet technology. *Procedia engineering*, 47, pp.1366-1369.
10. EcgMove 4 – EKG- und Aktivitätssensor, online available: www.movisens.com/de/produkte/ekg-sensor
11. Di Giminiani, R., Cardinale, M., Ferrari, M. and Quaresima, V., 2020. Validation of fabric-based thigh-wearable EMG sensors and oximetry for monitoring quadriceps activity during strength and endurance exercises. *Sensors*, 20(17), p.4664.
12. Xu, W., Huang, M.C., Amini, N., Liu, J.J., He, L. and Sarrafzadeh, M., 2012, June. Smart insole: A wearable system for gait analysis. In *Proceedings of the 5th international conference on pervasive technologies related to assistive environments* (pp. 1-4).
13. Mustafa, Y.A., Barton, J., O'Flynn, B., Davies, R., McCullagh, P. and Zheng, H., 2015, June. Design of a smart insole for ambulatory assessment of gait. In *IEEE 12th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)* (pp. 1-5). IEEE.
14. Roden, T.E., LeGrand, R., Fernandez, R., Brown, J., Deaton, J. and Ross, J., 2014, May. Development of a smart insole tracking system for physical therapy and athletics. In *Proceedings of the 7th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments* (pp. 1-6).
15. Raghav, S., Singh, A., Mani, S., Anand, A., Pathak, S., Kandasamy, G. and Kumar, M., 2023. Role of Sensor-Based Insole as a Rehabilitation Tool in Improving Walking among



- the Patients with Lower Limb Arthroplasty: A Systematic Review. Intelligent Systems and Smart Infrastructure: Proceedings of ICISSI 2022, p.38.
16. da Rosa Tavares, J.E., Ullrich, M., Roth, N., Kluge, F., Eskofier, B.M., Gaßner, H., Klucken, J., Gladow, T., Marxreiter, F., da Costa, C.A. and da Rosa Righi, R., 2023. uTUG: An unsupervised Timed Up and Go test for Parkinson's disease. Biomedical Signal Processing and Control, 81, p.104394.

Capitolo 5 Co-design di tessuti basati su attuatori per la riabilitazione

Md. Reazuddin Repon, Daiva Mikucioniene, Dipartimento di Ingegneria della Produzione, Facoltà di Ingegneria Meccanica e Design, Kaunas University of Technology, Studentų 56, LT-51424, Kaunas, Lituania

Abstract:

I vantaggi degli attuatori flessibili sono la loro leggerezza, morbidezza e capacità di assumere qualsiasi forma pur mostrando una deformazione significativa in risposta a stimoli esterni. Anche se l'esperienza alla base degli attuatori flessibili utilizzati nei tessuti intelligenti è ancora agli inizi, la capacità dei tessuti basati su attuatori di generare forza e cambiare forma potrebbe portare ad alcune nuove funzionalità innovative e aumentare la loro intelligenza. Al momento, i tessuti intelligenti utilizzano solo molto raramente la tecnologia dell'attuatore flessibile. Tuttavia, quando si combinano attuatori flessibili e panno intelligente, è concepibile una varietà di applicazioni. Possono essere utilizzati in aree multidimensionali, comprese le applicazioni sanitarie. In questo capitolo viene esaminata e discussa la progettazione di tessuti basati su attuatori per la riabilitazione. Indubbiamente, il campo dei tessuti smart sarà notevolmente influenzato dall'uso della conoscenza dell'attuatore flessibile negli anni a venire.

Introduzione

I tessuti intelligenti sono tessuti che consentono l'incapsulamento di componenti elettronici, come micro alimentatori, computer per l'elaborazione, circuiti interconnessi e materiali intelligenti. I tessuti intelligenti passivi sono quelli che hanno una funzione sensoriale, mentre i tessuti intelligenti attivi sono quelli che hanno una funzione di attuazione perché notano gli stimoli ambientali e rispondono ad essi (Tao 2001). Nei tessuti intelligenti, il compito degli attuatori è rispondere al segnale inviato rispettivamente dal sensore o dall'unità di elaborazione dati. Una reazione potrebbe assumere la forma di movimento, rumore o emissione di un materiale. Sono in corso ricerche interessanti nell'area del funzionamento meccanico da utilizzare nei tessuti intelligenti. Diventerà significativamente più intelligente dopo essere stato elaborato con gli attuatori.

Le caratteristiche fondamentali dei tessuti sono l'adattabilità al corpo, il comfort al tatto, la morbidezza e la vestibilità. I materiali di attuazione tradizionali, come le leghe a memoria di forma, i materiali magnetostrittivi e le ceramiche

piezoelettriche, sono spesso rigidi e fragili e difficili da integrare nei tessuti. Un nuovo tipo di materiale di azionamento noto come attuatori flessibili è in aumento. Questi materiali sono morbidi e flessibili e hanno la capacità di trasformare l'energia elettrica in energia meccanica, che può quindi essere utilizzata per produrre una forza o un movimento. In ogni caso, la tecnologia dell'attuatore flessibile è uno sviluppo relativamente recente che si sta attualmente affermando in una varietà di applicazioni tessili. Gli attuatori flessibili possono essere intrecciati in un tessuto molto più facilmente rispetto agli attuatori standard.

Nel campo in rapida evoluzione dell'elettronica stampata, le tecniche di serigrafia convenzionale e di stampa digitale a getto d'inchiostro hanno acquisito un nuovo significato. Gli strati polimerici elettro attivi possono essere stampati su substrati flessibili come gli inchiostri oltre ad essere cuciti su un tessuto come toppe. Anche la connessione a componenti digitali tramite circuiti stampati flessibili è molto pratica. Al momento non ci sono molti usi specifici per la tecnologia degli attuatori flessibili nei tessuti intelligenti. Lo sviluppo di tessuti intelligenti è ancora agli inizi. Tuttavia, in questo campo, ci sono un numero enorme di potenziali applicazioni. L'uso della tecnologia degli attuatori flessibili nel prossimo futuro avrà sicuramente un impatto sostanziale nel campo della tessili smart.

Attuatore e classificazione degli attuatori flessibili

Un attuatore è un componente di una macchina o di un'apparecchiatura che aiuta a generare forza meccanica convertendo l'energia, spesso elettrica, pneumatica o idraulica. È, per dirla semplicemente, la parte di qualsiasi macchina che permette il movimento. Gli attuatori sono dispositivi in grado di produrre lavoro sotto controllo. La figura 1 indica i diversi tipi di attuatori.

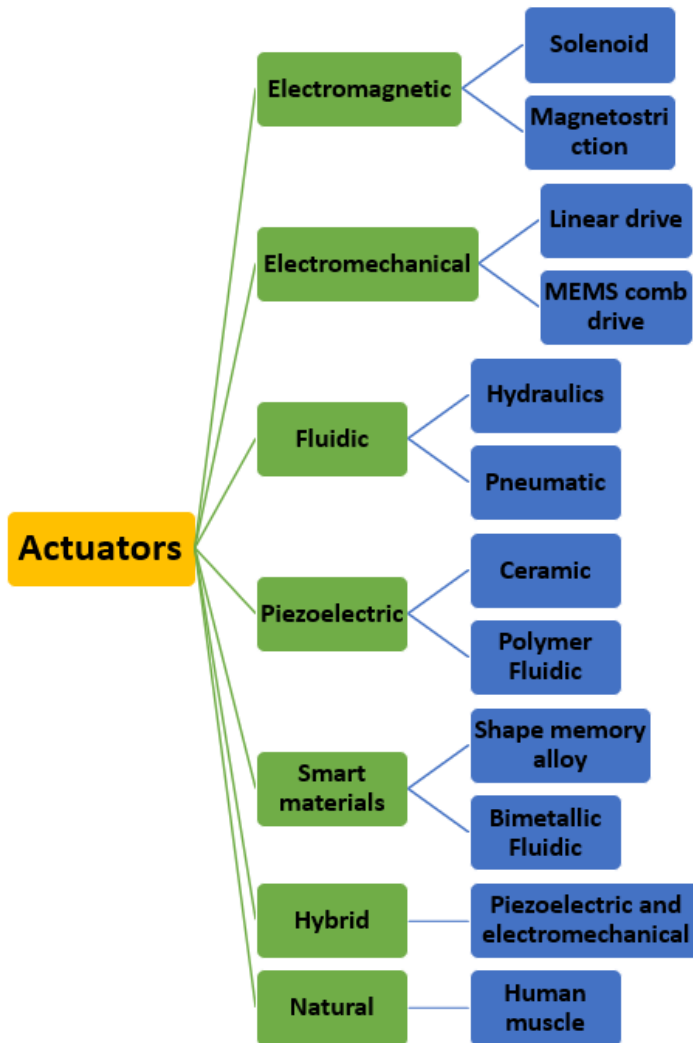


Figura 5.1. Classificazione degli attuatori.

Tessili basati su attuatori applicativi per la riabilitazione

I due scopi principali dell'abbigliamento tradizionale sono la protezione e l'attrattiva. E fino a questo punto, ai vestiti sono state aggiunte molte funzionalità aggiuntive, tra cui calore, comunicazione, rilevamento meccanico, ottico e chimico. La risposta degli attuatori può assumere la forma di deformazione significativa, movimento, vibrazione, forza significativa e scarico di materiale. Tipicamente, il termine "attuatore flessibile convenzionale" si riferisce a muscoli artificiali

pneumatici che sono stati creati per supportare apparecchiature mediche per la riabilitazione. Questi indossabili ingombranti e scomodi sono più simili ai dispositivi meccanici che tessili e hanno un grande volume. Attualmente ci sono pochi esempi di tessuti intelligenti impiegati come gli attuatori flessibili di cui sopra. È principalmente perché, rispetto agli attuatori pneumatici, hanno basse prestazioni di attuazione. Sono ancora in corso numerosi studi per migliorare la loro attività di attuazione. Inoltre, gli attuatori morbidi e simili a pellicole sono ottimi candidati per la lavorazione tessile.

Il numero di anziani nel mondo è in continuo aumento negli ultimi decenni. Sia i paesi sviluppati che quelli in via di sviluppo stanno sperimentando le stesse tendenze. L'invecchiamento determina un generale rallentamento dei processi biologici. L'interesse per le questioni correlate è cresciuto a seguito dell'aumento della popolazione anziana e della crescente domanda di terapia riabilitativa. Molte persone sperimentano lesioni cerebrali a causa di malattie che causano disturbi cognitivi e motori, oltre a difficoltà legate all'età. C'è un gran numero di persone che hanno bisogno di cure speciali, sia per la riabilitazione che per l'aiuto.

La maggior parte dei trattamenti riabilitativi si basa principalmente su due modalità. Uno è l'esercizio continuo che impedisce il peggioramento dello stato generale dei pazienti cronici; l'altro è l'esercizio continuo per i pazienti traumatizzati che può consentire loro di recuperare la funzione muscolare completa o parziale. I sistemi e i metodi per la riabilitazione possono variare notevolmente e devono essere adattati. Il risultato sono alti costi sociali. L'utilizzo di apparecchiature robotizzate per fornire supporto ed eseguire la riabilitazione è una soluzione ipotizzabile. Gli attuatori pneumatici sono stati creati per aiutare gli esseri umani utilizzando un telaio rigido, come un esoscheletro, o posizionando le cinghie nei punti giusti. Questi strumenti di riabilitazione sono per i seguenti scopi basati sui movimenti o sulle funzioni di attuazione svolte dagli attuatori pneumatici ([1]):

Azionamento manuale: I muscoli pneumatici, che sono attaccati al dorso delle dita, sono realizzati appositamente per piegare le dita. Un morbido guanto robotico con un attuttore fluidodinamico è stato in grado di aiutare il movimento di presa della mano. Per creare un movimento di presa convenzionale, sono state utilizzate diverse modalità di attuazione per il pollice e le altre dita (Figura 2a) [2]. Per gli individui con deficit della mano causati da condizioni neurologiche, il sistema di riabilitazione del pollice robotico morbido descritto in uno studio duplica e

recupera la corretta funzione motoria del pollice (Figura 2b) [3]. All'Università di Okayama, Sasaki e coautori hanno progettato un guanto di servoassistenza per la presa della mano per migliorare l'attività della vita quotidiana (ADL) in un approccio semplice e sicuro. Il pollice opponibile è mosso da due muscoli pneumatici di tipo lineare posti alla base del pollice, uno sul dorso della mano e uno sul palmo.

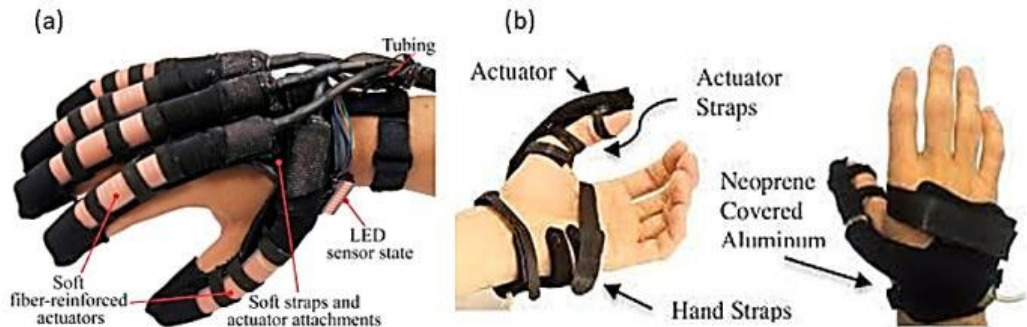


Figura 5.2 (a) Un guanto morbido idraulico per l'assistenza combinata e la riabilitazione domiciliare [2], (b) L'attacco manuale sviluppato con l'attuatore morbido segmentato incorporato[3].

Azionamento a gomito: I muscoli sono fatti per aiutare a muovere il gomito o aiutare l'articolazione a riprendere la funzione. Per una corretta articolazione dell'articolazione del gomito del paziente, è stato proposto un esoscheletro di riabilitazione medica che utilizza fili SMA come attuatore per il gomito. L'esoscheletro proposto è silenzioso e leggero, il che migliora la capacità dei pazienti di svolgere le attività quotidiane e il processo di riabilitazione medica [5]. È stato presentato un concetto innovativo per un attuatore basato su tessuto; è costituito da un tubo gonfiabile ripiegato all'interno di un involucro di tessuto. L'attuatore suggerito si comporta bene nella tenuta dei pesi; i test con un guanto indossabile e un flessore delle dimensioni del gomito hanno utilizzato carichi di 9 kg e 20 kg. Si suggerisce di utilizzare una struttura con curvatura variabile per alterare la forma dell'attuatore quando è pressurizzato ([6].



Figura 5.3 (a) Un esoscheletro di riabilitazione medica per una corretta articolazione dell'articolazione del gomito del paziente [5]; (b) Progettazione della morbida manica robotica del gomito [8]; Configurazioni del braccio durante l'uso della morbida ginocchiera robotica. (c) Configurazione flessibile e (d) Configurazione estesa [7].

Azionamento degli arti superiori: La spalla, il braccio e l'avambraccio del dispositivo di assistenza alla mobilità dell'arto superiore sono uniti da due articolazioni motorizzate [9]. La stecca assistita per la parte superiore del braccio, creata da un gruppo di ricerca dell'Università di Okayama, alimenta le articolazioni del polso e del gomito per aiutare con il movimento dell'arto superiore. Un materiale morbido come un guanto non è sufficiente in questa situazione per fungere da interfaccia con il paziente. È necessaria una maggiore rigidità perché gli attuatori trasmettono forze più forti agli arti [10]. Il ricercatore, Ciaran dell'Università di Harvard, ha sviluppato robot indossabili morbidi basati su tessuti per la riabilitazione e l'assistenza degli arti superiori [11]. Per cominciare, sono stati costruiti attuatori pneumatici dispiegabili basati su tessuto per trasferire le coppie direttamente al giunto bersaglio, e sono stati usati una varietà di prototipi fisici per modellare e valutare i processi di attuazione degli attuatori. Sono stati studiati diversi tipi distinti di dispositivi di assistenza per gli arti superiori. I muscoli alimentano il movimento dell'articolazione del gomito.

Azionamento del tronco e della vita: L'apparato atto a favorire il movimento della vita è costituito da due pezzi rigidi uniti tra loro da una cerniera e attaccati a muscoli pneumatici che hanno un aspetto ricurvo[12]. Il corpo umano è dotato di un dispositivo di assistenza elettrica indossabile per aiutare i muscoli a funzionare in modo più efficiente. Questo dispositivo aiuta le attività quotidiane, la riabilitazione, il lavoro pesante, l'allenamento e altri compiti [13].

Azionamento degli arti inferiori: I muscoli paralleli utilizzati nell'arto inferiore attivo alimentano l'articolazione del ginocchio. Il dispositivo è progettato per dare a una persona anziana o disabile che può camminare, ma ha difficoltà a sedersi e ad alzarsi da una posizione seduta, maggiore indipendenza [14]. Le tre sfide principali nella progettazione di questo tipo di dispositivi indossabili sono il peso, la potenza e la deformabilità. I muscoli pneumatici hanno ancora un'enorme capacità e richiedono una fonte di gas pressurizzato per essere guidati in un dispositivo indossabile. Per raggiungere questi obiettivi sono necessari attuatori sicuri, piccoli, leggeri e agili. Per le persone con disabilità, un dispositivo di riabilitazione indossabile dovrebbe essere essenziale quanto l'abbigliamento di tutti i giorni. L'opzione ottimale è un attuttore flessibile del tipo a foglio, come quelli discussi sopra. La Fig. 14 mostra una tuta per ausilio riabilitativo indossabile con attuatori DE stack predisposti per varie attivazioni di aiuto.

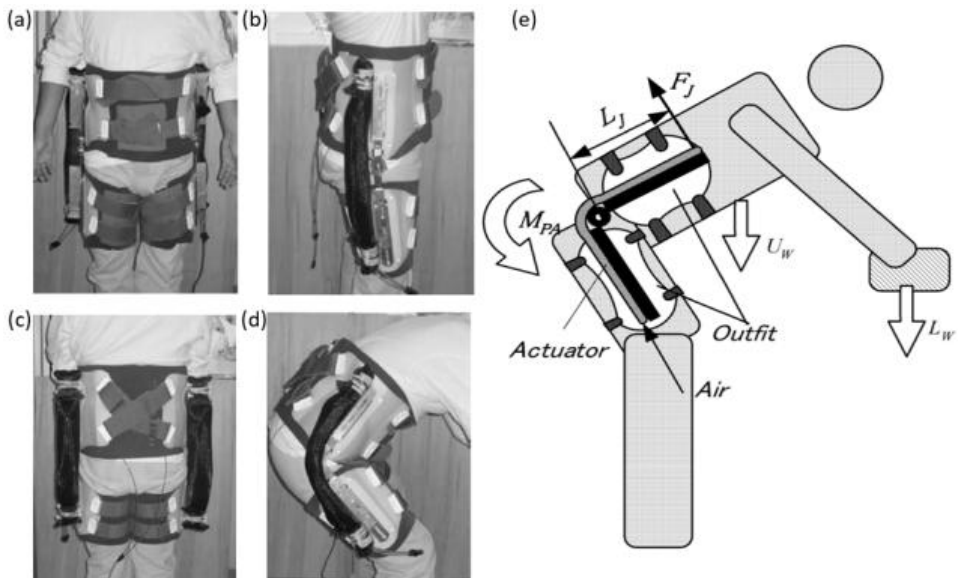


Figura 5.4. (a) lato anteriore, (b) lato del fianco (eretto), (c) lato posteriore, (d) lato del fianco (antiflessione) e (e) principio di funzionamento del power assist in vita [12].

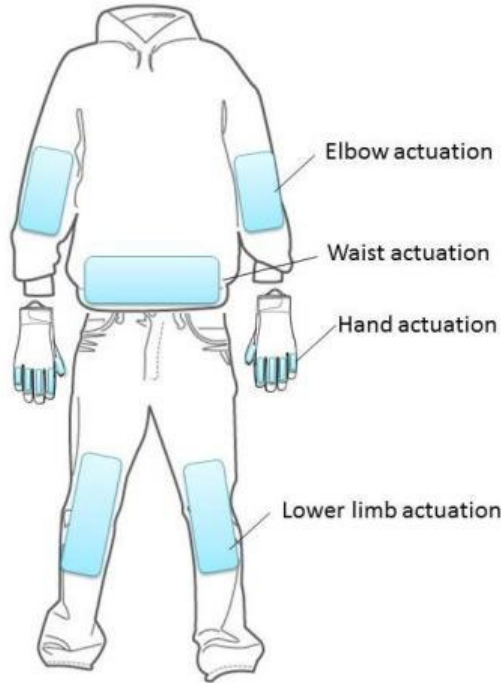


Figura 5.5: tuta per la riabilitazione indossabile basata su Stack DE [15].

Conclusioni

Negli ultimi anni si è assistito a una crescita nello sviluppo di tessuti con attuatori da utilizzare in applicazioni indossabili, in particolare per la riabilitazione. Gli attuatori flessibili possono essere utilizzati per l'assistenza sanitaria e le apparecchiature mediche indossabili. Possono aiutare a realizzare questi gadget incorporando indumenti con caratteristiche che saranno molto utili per massaggi terapeutici, riabilitazione e assistenza. Tuttavia, poiché è difficile prevedere il comportamento morbido e cedevole dei tessuti, la progettazione di questi attuatori tessili è spesso un processo iterativo. Un tessuto o un capo di abbigliamento diventerà più intelligente se queste caratteristiche sono incluse in esso. Mentre c'è ancora molta strada da fare e una strada difficile da percorrere, la tecnologia dell'attuatore flessibile è essenziale per renderli realtà.

Bibliografia

1. Belforte G, Quaglia G, Testore F, et al (2007) Wearable textiles for rehabilitation of disabled patients using pneumatic systems. In: Smart textiles for medicine and healthcare: Materials, systems and applications. pp 221–252
2. Polygerinos P, Wang Z, Galloway KC, et al (2015) Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation. *Rob Auton Syst* 73:135–143. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2014.08.014>
3. Maeder-York P, Clites T, Boggs E, et al (2014) Biologically inspired soft robot for thumb rehabilitation. *J Med Devices, Trans ASME* 8:2014–2016. <https://doi.org/10.1115/1.4027031>
4. Sasaki D, Noritsugu T, Takaiwa M, Yamamoto H (2004) Wearable power assist device for hand grasping using pneumatic artificial rubber muscle. *Proc - IEEE Int Work Robot Hum Interact Commun* 655–660. <https://doi.org/10.1109/roman.2004.1374840>
5. Copaci D, Cano E, Moreno L, Blanco D (2017) New Design of a Soft Robotics Wearable Elbow Exoskeleton Based on Shape Memory Alloy Wire Actuators. *Appl Bionics Biomech* 2017:. <https://doi.org/10.1155/2017/1605101>
6. Nassour J, Hamker FH, Cheng G (2020) High-Performance Perpendicularly-Enfolded-Textile Actuators for Soft Wearable Robots: Design and Realization. *IEEE Trans Med Robot Bionics* 2:309–319. <https://doi.org/10.1109/TMRB.2020.3012131>
7. Koh TH, Cheng N, Yap HK, Yeow CH (2017) Design of a soft robotic elbow sleeve with passive and intent-controlled actuation. *Front Neurosci* 11:1–12. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00597>
8. Thalman CM, Lam QP, Nguyen PH, et al (2018) A Novel Soft Elbow Exosuit to Supplement Bicep Lifting Capacity. *IEEE Int Conf Intell Robot Syst* 6965–6971. <https://doi.org/10.1109/IROS.2018.8594403>
9. Chakarov D, Veneva I, Tsveov M, Venev P (2018) Powered upper limb orthosis actuation system based on pneumatic artificial muscles. *J Theor Appl Mech* 48:23–36. <https://doi.org/10.2478/jtam-2018-0002>
10. Sasaki D, Noritsugu T, Takaiwa M, Kataoka Y (2005) Development of Pneumatic Wearable Power Assist Device for Human Arm “ASSIST.” In: Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power. pp 202–207
11. O’Neill C (2021) Textile-based Soft Wearable Robots for Upper-Limb Rehabilitation and Assistance. Harvard University
12. Noritsugu T, Gao L (2005) Development of Wearable Waist Power Assist Device Using Curved Pneumatic Artificial Rubber Muscle. *Trans Japan Fluid Power Syst Soc* 36:143–151. <https://doi.org/https://doi.org/10.5739/jfps.36.143>



13. Noritsugu T (2015) Development of Power Assist Wear driven with Pneumatic Rubber Artificial Muscle. *J Robot Soc Japan* 33:222–227. <https://doi.org/10.7210/jrsj.33.222>
 14. Raparelli T, Zobel PB, Durante F (2004) Powered Lower Limb Orthosis for Assisting Standing Up and Sitting Down Movements. In: *Designing a More Inclusive World*. pp 205–214
 15. Tao X (2015) *Handbook of smart textiles*. Springer Singapore, Hung Hom, Hong Kong
- Tao X (2001) *Smart Fibres, Fabrics and Clothing, Fundamentals and Applications*, 1st edn. Woodhead Publishing

Capitolo 6 Dispositivi di raccolta basati su elettrodi tessili

Aileni Raluca Maria, Cristina Stroe, INCDTP, Romania

Abstract: I dispositivi di energy harvesting basati su tessuti rappresentano un'alternativa alla classica batteria con file ed energia limitati perché possono ottenere energia da diverse fonti (energia solare, energia cinetica, energia termica, energia chimica e onde elettromagnetiche). Questo capitolo presenta gli aspetti principali dei dispositivi indossabili per la raccolta di energia, i materiali tessili utilizzati e le tecnologie utilizzate per lo sviluppo dei dispositivi di raccolta.

Introduzione

Un'alternativa alle batterie che hanno una capacità di accumulo di energia limitata sono i dispositivi di raccolta perché varie fonti di energia come cinetica, termica, elettromagnetica e persino chimica si trovano in quantità illimitate e possono essere utilizzate per essere trasformate in energia elettrica e immagazzinate per garantire l'energia fornitura di vari dispositivi autonomi indossabili. I principi generali (elettromeccanici, termoelettrici, elettromagnetici, piezoelettrici) sono punti di partenza per lo sviluppo di dispositivi di raccolta. Numerosi studi indagano la realizzazione di questi dispositivi utilizzando materiali tessili costituiti da fibre/fili elettroconduttivi o mediante deposizione di film polimerici con proprietà magnetoelettriche (es. PVDF).

Tipi di dispositivi di raccolta e fabbricazione

I dispositivi di raccolta di energia (EHD) possono risolvere il problema dell'approvvigionamento energetico nel caso di dispositivi indossabili autonomi (attuatori o sensori basati su sistemi indossabili). Questa alimentazione indipendente è particolarmente essenziale in un ambiente difficile o per gli impianti indossabili (pacemaker) perché, ad esempio, l'autonomia della batteria per i pacemaker è di circa 12-13 anni. L'energia in ingresso (termica, elettrostatica, meccanica, elettromagnetica, solare) proveniente da diverse fonti (calore del corpo umano, movimento del corpo umano, ambiente, sole, vento) per essere catturata

e convertita in energia elettrica per l'alimentazione di dispositivi indossabili autonomi, ha richiesto la utilizzo di materiali/dispositivi termoelettrici, piezoelettrici o triboelettrici integrati in sistemi indossabili. Un sistema di raccolta pneumatico può recuperare un massimo di 3W di potenza e superare prestazioni elettromagnetiche, piezoelettriche, e l'efficienza energetica della conversione triboelettrica del 20%. I raccoglitori sono costituiti da materiali/sistemi (ad es. microcavi tessili per la raccolta simultanea di energia solare e meccanica) in grado di convertire un altro tipo di energia (meccanica, luminosa, termica, ecc.) in energia elettrica)

l'induzione elettrostatica e l'effetto triboelettrico generano piccole quantità di energia dal movimento meccanico. Nella figura 1.1. viene presentato il nanogeneratore triboelettrico 3D a doppia faccia in tessuto interlock (3DFIF-TENG) basato su tessuto a maglia interlock in grado di produrre elettricità piegando e allungando il tessuto [1].

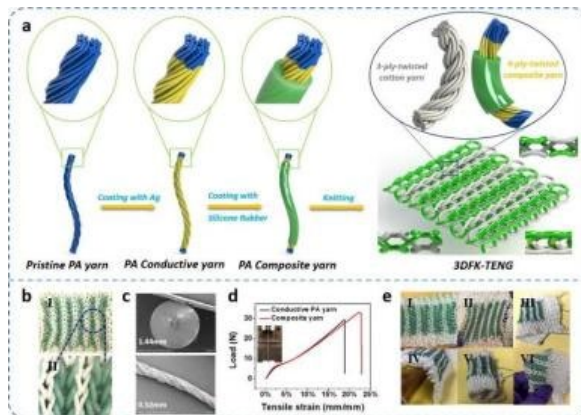


Figura 6.1 Processo di fabbricazione e meccanica comportamentodel nanogeneratore triboelettrico 3DFIF-TENG [1]

La generazione di elettricità in corrente continua (DC) da segnali wireless ambientali può essere ottenuta utilizzando materiali tessili conduttivi e dielettrici (fibre, fili) lavorati mediante filatura, tessitura, lavorazione a maglia, ricamo e deposizione di inchiostri conduttivi su materiali isolanti, antenne patch per l'energia la raccolta può essere effettuata applicazioni [2]. Inoltre, l'ottenimento di corrente elettrica da onde elettromagnetiche (RF) può essere ottenuto utilizzando un'antenna patch e un raddrizzatore fabbricati utilizzando il ricamo di filo conduttivo sui substrati isolanti tessili [3].

La generazione di elettricità dall'energia termica può essere ottenuta utilizzando materiali di tipo p e di tipo n a base di fili d'argento e filati tessili funzionalizzati mediante deposizione di polimeri conduttivi (PEDOT: PSS) e cucitura/ricamo per realizzare generatori tessili termoelettrici [4, 5] (figura 2).

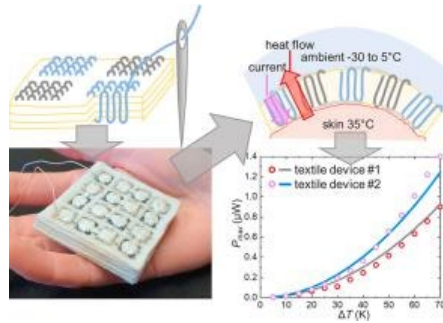
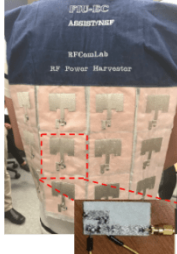

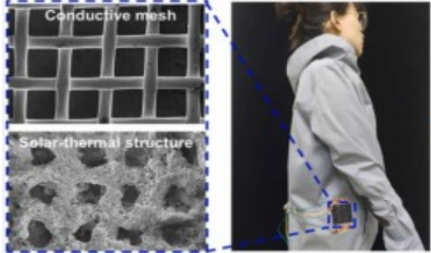


Figura 6.2 Materiali utilizzati nel nostro tessuto termoelettrico [4]

Per essere utilizzati per alimentare dispositivi indossabili, gli accumulatori [6] (Tabella 1) dovrebbero trasformare i diversi tipi di energia (termica, meccanica, RF e solare) in elettricità basata su diversi effetti (Seebeck, accumulatori di energia EM, Piezoelectric, Fotoelettrico).

Tabella 6.1 Tipo di accumulatori

Tipo di accumulatore	Effetto	Immettere energia	Fonte d'energia	Tipo di dispositivo indossabile e integrazione	Dominio*	Esempio
Termoelettrico (TEG)	Seebeck	Termico	Calore del corpo umano	Sistema su chip (SoC); Polso [7] 	M, P, LA, S	Trasformare il calore in elettricità
Piezoelettrico (PE)	Piezoelettrico	Meccanico	Movimento del corpo umano	Mietitrice basata sul sistema pneumatico [8] 	M, P, LA, S	Piezoelettrico per tessuti sensibili al movimento Raccoglitore di energia pneumatico a base tessile Fibrano-generatori triboelettrici

<p>Radiofrequenza (RF)</p>	<p>Energia di scavenging nelle bande RF (GSM (900 MHz); WiFi, ISM (2,4 GHz)</p>	<p>Elettromagnetico</p>	<p>Ambiente</p>	<p>Camicia indossabile per la raccolta di potenza RF[9]</p> 	<p>M, P, LA, S</p>	
<p>Solare</p>	<p>Fotoelettrico</p>	<p>Solare</p>	<p>Ambiente</p>	<p>Raccoglitori solari indossabili integrati nella giacca [10]</p> 	<p>M, P, LA, S</p>	<p>Energia fotovoltaica dal tessile</p>
<p>Nanogeneratore ibrido</p>	<p>Fotoelettrico e piezoelettrico</p>	<p>Meccanico e solare</p>	<p>Corpo umano e ambiente</p>	<p>Giacca con generatore solare e piezoelettrico [10]</p> 	<p>M, P, LA, S</p>	<p>Attuatore a filo ritorto</p>

Conclusioni

L'utilizzo dei tessuti per dispositivi di raccolta energetica rappresenta una sfida per i ricercatori al fine di sostituire le classiche batterie con vita ed energia limitate con energia ottenuta mediante la conversione di diversi tipi di energia (energia solare, energia cinetica, energia termica, energia chimica ed onde elettromagnetiche).

I dispositivi di raccolta trasformano i diversi tipi di energia (termica, meccanica, RF e solare) in elettricità basandosi su diversi effetti (effetto Seebeck, raccolta di energia EM, piezoelettrico, fotoelettrico).

Nel caso di elettronica di piccole dimensioni (sensori e attuatori basati su sistemi), i dispositivi di raccolta energetica indossabili (EHD) possono risolvere il problema di alimentazione energetica.

Bibliografia

1. Chen, C., Chen, L., Wu, Z., Guo, H., Yu, W., Du, Z. and Wang, Z.L., 2020. 3D double-faced interlock fabric triboelectric nanogenerator for bio-motion energy harvesting and as self-powered stretching and 3D tactile sensors. *Materials Today*, 32, pp.84-93.
2. Yamada, Y., 2022. Textile Materials for Wireless Energy Harvesting. *Electronic Materials*, 3(4), pp.301-331.
3. Vital, D., Bhardwaj, S. and Volakis, J.L., 2019. Textile-based large area RF-power harvesting system for wearable applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 68(3), pp.2323-2331.
4. Lund, A., Tian, Y., Darabi, S. and Müller, C., 2020. A polymer-based textile thermoelectric generator for wearable energy harvesting. *Journal of Power Sources*, 480, p.228836.
5. Tian, Z., Lee, S. and Chen, G., 2014. Comprehensive review of heat transfer in thermoelectric materials and devices. *Annual review of heat transfer*, 17.
6. Hudak, N.S. and Amatucci, G.G., 2008. Small-scale energy harvesting through thermoelectric, vibration, and radiofrequency power conversion. *Journal of Applied Physics*, 103(10), p.5.
7. Alhawari, M., Mohammad, B., Saleh, H. and Ismail, M., 2018. Energy harvesting for self-powered wearable devices. Springer International Publishing.
8. Shveda, R.A., Rajappan, A., Yap, T.F., Liu, Z., Bell, M.D., Jumet, B., Sanchez, V. and Preston, D.J., 2022. A wearable textile-based pneumatic energy harvesting system for assistive robotics. *Science Advances*, 8(34), p.eabo2418.
9. Radio Frequency Harvesting, online available: assistcenter.org/radio-frequency-rf-harvesting
10. Chen, J., Huang, Y., Zhang, N., Zou, H., Liu, R., Tao, C., Fan, X. and Wang, Z.L., 2016. Micro-cable structured textile for simultaneously harvesting solar and mechanical energy. *Nature Energy*, 1(10), pp.1-8.



Capitolo 7 Richieste degli utenti finali e prospettive nella selezione dei prodotti intelligenti

*Md. Reazuddin Repon, Daiva Mikucioniene, Dipartimento di Ingegneria della
Produzione, Kaunas University of Technology, Studentų 56, LT-51424, Kaunas,
Lituania*

Abstract:

L'economia mondiale e le richieste del mercato sono rapidamente in evoluzione negli ultimi anni, e la domanda di prodotti intelligenti è in aumento. Di conseguenza, sono stati progettati prodotti intelligenti con nuove strutture grazie a recenti tecniche avanzate. Tuttavia, produrre prodotti smart richiede modifiche significative alle procedure di sviluppo del prodotto, che hanno visto numerosi progressi negli ultimi anni in termini di teoria, metodologie e approcci. I prodotti intelligenti possono raccogliere, elaborare e fornire le informazioni. Questo capitolo analizza le richieste dell'utente finale e le prospettive nella selezione dei prodotti intelligenti.

introduzione

Il "prodotto intelligente" ha guadagnato popolarità nel passato 10 anni tra esperti di tecnologia e accademici. All'inizio del decennio, i prodotti intelligenti erano principalmente usati per promuovere tecnologie all'avanguardia nel corso delle fiere. Ma come risultato delle scoperte tecnologiche, i prodotti intelligenti sono già una realtà e, in alcuni casi, hanno già contribuito a sconvolgere le aziende consolidate all'inizio di una nuova era segnata dall'Internet of Things (IoT) e dal marketing e dall'innovazione tecnologizzati [1],[2] [3]. I sistemi cyber-fisici (CPS) che impiegano e integrano anche servizi basati su Internet per svolgere le funzionalità necessarie sono indicati come prodotti intelligenti [4];[5]. I CPS sono descritti come dispositivi o sistemi mecatronici "intelligenti" che possono interagire e comunicare con altri CPS tramite vari canali di comunicazione, come la LAN wireless o Internet ;[6], [5].

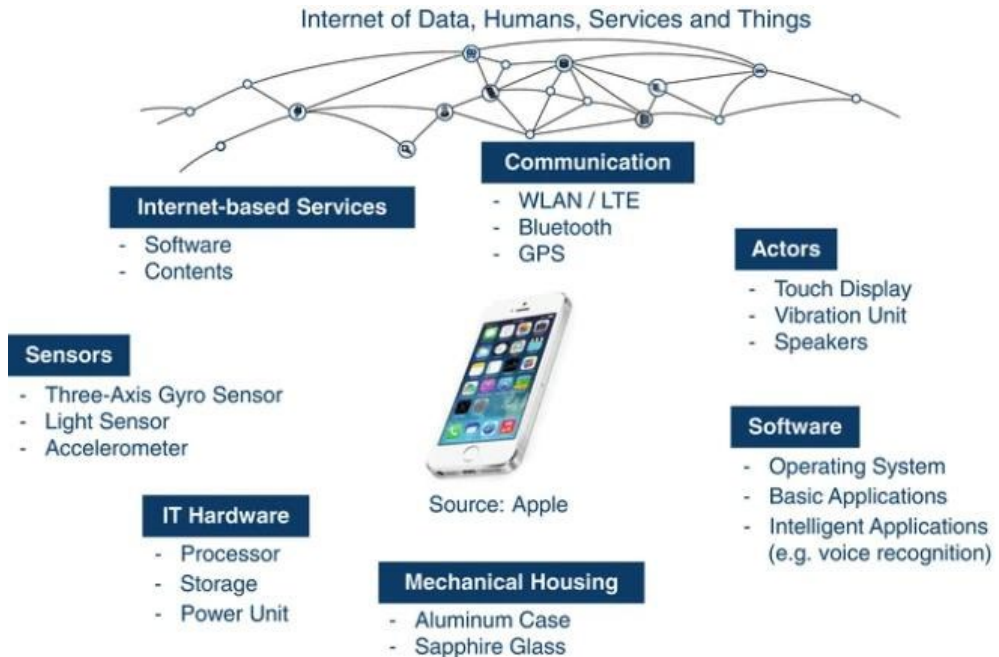


Figura 7.1. Elementi essenziali di un prodotto intelligente utilizzando l'esempio di uno smartphone [5].

Componenti fisiche e virtuali, così come prodotti e servizi basati su Internet, sono tutti dissolti da prodotti intelligenti. La Figura 1 illustra gli elementi essenziali di un prodotto intelligente utilizzando l'esempio del prodotto intelligente più noto, lo smartphone. La Figura 2 illustra le applicazioni e le principali caratteristiche dei prodotti intelligenti [5], [7].

(UN



(B)

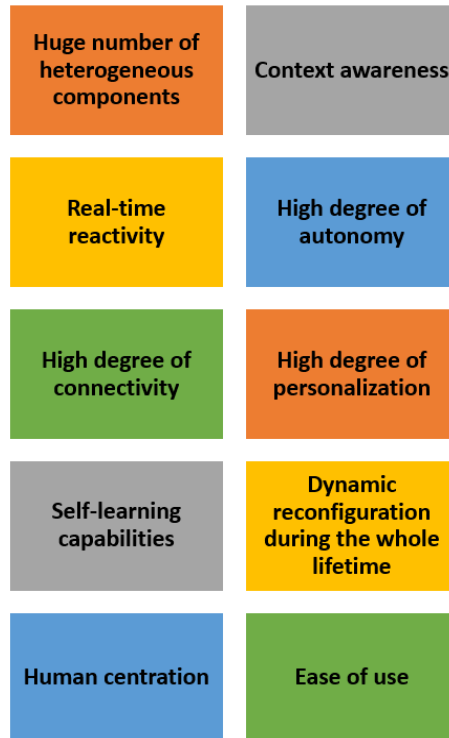


Figura 7.2. Applicazioni (a) e principali caratteristiche (b) dei prodotti intelligenti.

Requisiti degli utenti finali e prospettiva dei prodotti intelligenti

I prodotti intelligenti differiscono dai prodotti ordinari in quanto condividono alcune abilità funzionali. Questi includono autonomia, affidabilità e personalizzazione, nonché interazioni intelligenti con gli utenti umani. Queste abilità funzionali sono il risultato di una serie di proprietà tecniche, tra cui resilienza, intelligenza e connettività supportate dal rilevamento e dalla riconfigurabilità. Una delle caratteristiche chiave dei prodotti intelligenti è la loro intelligenza, che comprende capacità come il riconoscimento (parola, visione, linguaggio, ecc.), il ragionamento e l'apprendimento. Le interazioni utente intelligenti sono il primo significato del termine "intelligente" in relazione ai prodotti. Il secondo componente è quello che viene definito controllo intelligente, che va oltre il controllo di feedback convenzionale. Terzo, altri aspetti, come ad esempio autonomia e riconfigurabilità, beneficio dell'intelligenza [8], [9].

I prodotti intelligenti dovrebbero avere sensori intelligenti e capacità di rilevamento. I prodotti intelligenti possono percepire gli stimoli esterni e accumulare le informazioni attraverso il sensore. I dati raccolti possono essere utilizzati per scopi a lungo e breve termine. I sensori di identificazione a radiofrequenza e i chip IoT lo hanno reso ampiamente possibile [10], [11], [12], [13].

Le modalità di coinvolgimento verbale, visivo, tattile e di altro tipo sono tutte necessarie per interazioni umane intelligenti. Il miglior prodotto intelligente, tuttavia, dovrebbe essere inteso come quello che comunica con gli utenti in modi molto intelligenti, richiedendo il minimo indispensabile di interazione umana. L'interfaccia utente dello schermo consente comunicazioni bidirezionali, ma non tradizionali [8], [9].

I sistemi prodotto-servizio dovrebbero essere inclusi nei prodotti intelligenti. Attraverso l'uso di sensori, essi raccolgono dati operativi e utilizzarli al meglio per la manutenzione e la gestione del ciclo di vita. Per i veicoli intelligenti utilizzati per i servizi MaaS autonomi, queste caratteristiche possono essere essenziali. Tecnicamente parlando, ciò indica che sono richieste affidabilità e affidabilità sostanzialmente più elevate. Le nuove tecniche di erogazione dei servizi, come il monitoraggio continuo dello stato in tempo reale, la manutenzione proattiva e la manutenzione predittiva, sono più veloci ed efficienti [14], [15].

Tutte le caratteristiche dei prodotti intelligenti sono costruite sulla base della connettività ad altri agenti Internet. Renderà possibile la raccolta dei dati, ma renderà anche più facile l'autoidentificazione e la determinazione della posizione. I

limiti della comunicazione wireless sono attualmente spinti al 5G e oltre dagli sviluppi nelle tecnologie di comunicazione wireless [16]. Molte applicazioni avranno anche la possibilità di passare dal local al cloud computing, edge computing, o fog computing. Se l'ecosistema di prodotti smart è realmente incentrato sui dati o guidato dai dati, una velocità di connessione elevata risulta fondamentale [17].

I prodotti intelligenti devono possedere un alto grado di autonomia. In diverse discipline, l'interesse per l'autonomia è crescente. I sistemi autonomi hanno la capacità di percepire le informazioni dall'esterno, prendere decisioni intelligenti senza l'aiuto degli esseri umani e intraprendere azioni appropriate [18]. Un drone o un sottomarino robotico di acque profonde è spesso in grado di volare o nuotare da solo senza l'uso di un telecomando. Non devono ferire terzi o disorientarsi durante lo svolgimento della loro missione. Un sistema autonomo può anche mostrare un comportamento non deterministico attraverso l'autoapprendimento. Un prodotto modulare che si configura dopo che i moduli sono stati assemblati è un esempio di autoapprendimento autonomo [19], [2], [20].



Figura 7.3. Alcuni esempi di prodotti intelligenti: smartphone (a) [21]; orologio intelligente (b) [22]; pannello intelligente (f) [23]; occhiali intelligenti (g) [24]; robot intelligente (d) [25]; auto intelligente a guida autonoma (e) [26]; smart TV (c) [27] e smart container (h) [28].

La personalizzazione, l'individualizzazione o la personalizzazione sono essenziali per fornire al cliente un valore aggiunto. La riconfigurabilità potrebbe essere utilizzata

per facilitare la personalizzazione, l'individualizzazione o la personalizzazione di prodotti intelligenti per soddisfare i requisiti espliciti o impliciti dell'utente [29], [30]; [31]. La riconfigurazione dei prodotti intelligenti può verificarsi in qualsiasi momento della loro vita. Contrariamente alla riconfigurazione in fase di esecuzione, che può assumere qualsiasi forma di controllo per adattare la macchina al cambiamento degli ambienti esterni e al peggioramento delle circostanze interne, la riconfigurazione in fase di progettazione comporta la modifica del design della macchina per adattare un vecchio modello alle nuove esigenze dell'utente [32], [4], [32].

I prodotti intelligenti hanno il potenziale per ottenere prestazioni migliori in termini di manutenibilità, trattamento di fine vita e consumo energetico monitorando lo stato e le caratteristiche ambientali e analizzando successivamente i dati raccolti utilizzando l'analisi dei dati. Ciò potrebbe contribuire a promuovere la sostenibilità. La Figura 3 mostra gli esempi di alcuni prodotti intelligenti disponibili sul mercato.

Conclusioni

La definizione di prodotti intelligenti, cioè CPS che includono servizi Internet al cliente, sta diventando più specifico. Ciò suggerisce intensità di software, guida ai dati e multidisciplinarietà. Ma la creazione di dispositivi intelligenti implica qualcosa di più della semplice aggiunta di ulteriori funzionalità relative al software. Rispetto a come si sono sviluppate le generazioni precedenti, è molto diverso. I servizi intelligenti aggiungono valore ai prodotti, accrescendo il valore delle esperienze degli utenti. Questo capitolo ha fornito una rapida panoramica di diversi prodotti smart, per poi parlare delle caratteristiche comuni e delle richieste dell'utente finale.

Bibliografia

1. Ng ICL, Wakenshaw SYL (2017) The Internet-of-Things: Review and research directions. *Int J Res Mark* 34:3–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2016.11.003>
2. Tomiyama T, Lutters E, Stark R, Abramovici M (2019) Development capabilities for smart products. *CIRP Ann* 68:727–750. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.05.010>
3. Li CZ, Chen Z, Xue F, et al (2021) A blockchain- and IoT-based smart product-service system for the sustainability of prefabricated housing construction. *J Clean Prod* 286:125391. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125391>



4. Abramovici M, Göbel JC, Savarino P (2017) Reconfiguration of smart products during their use phase based on virtual product twins. *CIRP Ann - Manuf Technol* 66:165–168. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.042>
5. Zheng P, Wang Z, Chen CH, Pheng Khoo L (2019) A survey of smart product-service systems: Key aspects, challenges and future perspectives. *Adv Eng Informatics* 42:100973. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100973>
6. Abramovici M (2015) Smart Products. In: Chatti S, Tolio T (eds) *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 1-5
7. Shao S, Xu G, Li M (2019) The design of an IoT-based route optimization system: A smart product-service system (SPSS) approach. *Adv Eng Informatics* 42:101006. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.101006>
8. Nee AYC, Ong SK, Chrystolouris G, Mourtzis D (2012) Augmented reality applications in design and manufacturing. *CIRP Ann - Manuf Technol* 61:657–679. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.010>
9. Choi S, Jung K, Noh S Do (2015) Virtual reality applications in manufacturing industries: Past research, present findings, and future directions. *Concurr Eng Res Appl* 23:40–63. <https://doi.org/10.1177/1063293X14568814>
10. Teti R, Jemielniak K, O'Donnell G, Dornfeld D (2010) Advanced monitoring of machining operations. *CIRP Ann - Manuf Technol* 59:717–739. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.05.010>
11. Gubbi J, Buyya R, Marusic S, Palaniswami M (2013) Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Futur Gener Comput Syst* 29:1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
12. Ungurean I, Gaitan NC, Gaitan VG (2014) An IoT architecture for things from industrial environment. *IEEE Int Conf Commun*. <https://doi.org/10.1109/ICComm.2014.6866713>
13. Yasuura, Hiroto Kyung, Chong-Min Liu, Yongpan Lin Y-L (2017) *Smart Sensors at the IoT Frontier*. Springer Cham
14. Zhong RY, Xu X, Klotz E, Newman ST (2017) Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering* 3:616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>
15. Liu Y, Zhang Y, Ren S, et al (2020) How can smart technologies contribute to sustainable product lifecycle management? *J Clean Prod* 249:119423. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119423>
16. Palattella MR, Dohler M, Grieco A, et al (2016) Internet of Things in the 5G Era: Enablers, Architecture, and Business Models. *IEEE J Sel Areas Commun* 34:510–527. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2016.2525418>
17. Agiwal M, Roy A, Saxena N (2016) Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Commun Surv Tutor* 18:1617–1655. <https://doi.org/10.1109/COMST.2016.2532458>



18. Lucia-Palacios L, Pérez-López R (2021) How can autonomy improve consumer experience when interacting with smart products? *J Res Interact Mark.* <https://doi.org/10.1108/JRIM-02-2021-0031>
19. Zhang EM (2010) Understanding the Acceptance of Mobile SMS Advertising among Young Chinese Consumers. *Psychol Mark* 30:461–469. <https://doi.org/10.1002/mar>
20. Raff S, Wentzel D, Obwegeser N (2020) Smart Products: Conceptual Review, Synthesis, and Research Directions. *J Prod Innov Manag* 37:379–404. <https://doi.org/10.1111/jpim.12544>
21. Apple iPhone (2019) <https://istore.it/apple-iphone-xr-smart-battery-deklas-white.html>
22. Smartwatch (2022) <https://www.yescart.com/hifuture-futurefit-ultra-smart-watch>
23. Iwano M (2020) <https://asia.nikkei.com/Business/Technology/From-gamers-to-dogs-Japan-forges-ahead-in-smart-clothing>
24. Appleglass (2022) <https://www.nextpit.com/device/apple-glass>
25. smart robots (2016) <https://internetofbusiness.com/eu-vote-manufacturing-robots/>
26. Zac Estrada (2017) <https://www.theverge.com/2017/8/30/16226514/smart-vision-eq-electric-future-car2go>
27. Sencor (2022) <https://www.sencor.com/smart-uhd-television/sle-55us800tcsb>
28. Reidy S (2020) <https://arviem.com/a-smart-container-or-smart-device-for-containers-what-fulfill-your-organizations-need-for-real-time-cargo-monitoring/>
29. Tseng MM, Jiao RJ, Wang C (2010) Design for mass personalization. *CIRP Ann - Manuf Technol* 59:175–178. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.097>
30. Zawadzki P, Zywicki K (2016) Smart product design and production control for effective mass customization in the industry 4.0 concept. *Manag Prod Eng Rev* 7:105–112. <https://doi.org/10.1515/mper-2016-0030>
31. Huikkola T, Kohtamäki M, Ylimäki J (2022) Becoming a smart solution provider: Reconfiguring a product manufacturer's strategic capabilities and processes to facilitate business model innovation. *Technovation.* <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102498>
32. Basten, Twan Hamberg, Roelof Reckers, Frans Verriet J (2013) *Model-Based Design of Adaptive Embedded Systems.* Springer New York
33. Savarino P, Abramovici M, Göbel JC, Gebus P (2018) Design for reconfiguration as fundamental aspect of smart products. *Procedia CIRP* 70:374–379. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.01.007>

CAPITOLO 8 Fattori in grado di influenzare l'usabilità e l'accettazione di componenti elettronici integrati nei prodotti tessili

David Gómez, AEI Tèxtils, Sviluppo aziendale, carrer Sant Pau nº6, Terrassa, Barcellona.

introduzione

Un tessuto intelligente è un tessuto di materiale funzionale che reagisce attivamente con il suo ambiente e risponde attivamente e automaticamente agli input ricevuti dall'ambiente. Questi tessuti reagiscono a stimoli esterni (luce, temperatura, umidità, pressione, ecc.) e possono comunicare con altri dispositivi, condurre energia, trasformarsi in altri materiali e proteggere chi li indossa dai rischi ambientali.

I tessuti intelligenti apportano funzioni ai prodotti finali e sono utilizzati in settori ad alto valore aggiunto come l'industria sanitaria e medica; automobilistico e aeronautico; equipaggiamento per la protezione personale; gli sport; costruzione; e interior design, tra molti altri settori.

I componenti elettronici integrati nei prodotti tessili aprono una gamma di infinite applicazioni in molti campi, avendo un enorme potenziale per rendere la nostra vita migliore e più facile. Mentre alcuni hanno incorporato dispositivi elettronici nel tessuto, altri hanno stratificato l'elettronica conduttiva nei tessuti, come vedremo nel prototipo qui sotto.

I tessuti intelligenti sono un prodotto relativamente nuovo nell'industria tessile. Anche se questi tessuti hanno un futuro promettente, non sono esenti da sfide. L'integrazione di materiali elettronici nel filo centrale dei tessuti intelligenti è

tecnicamente molto complicata e richiede ancora ricerche da svolgere. Molte aziende potrebbero non disporre dell'infrastruttura per fabbricare questi tessuti e sono tenute a riprogrammare i propri processi di produzione. Gli alti costi di produzione sono probabilmente una barriera all'ingresso per molte piccole-medie imprese.

L'ambito dei tessuti intelligenti affrontato qui si riferisce a prodotti tessili con componenti elettronici incorporati, indipendentemente dal fatto che questi componenti siano fili conduttivi o sensori. Questi tipi di prodotti sono importanti e rappresentano un'opportunità per il settore tessile di evolversi ed entrare nel dominio dei prodotti intelligenti.

Esistono esempi di prodotti smarty tessili, molti ancora sotto forma di prototipo o prototipo avanzato. Ad esempio, una divisa da vigile del fuoco dotata di un sensore di battito cardiaco in grado di inviare questi dati a distanza, o un lavoratore che indossa una tuta in grado di rilevare posture scorrette emettendo un segnale di allarme. L'aspetto che è importante in questi esempi è il servizio a valore aggiunto che può integrare il prodotto, che in molti casi può essere la base di un nuovo modello di business.

Questa è l'opportunità per il settore tessile e dell'abbigliamento di espandersi in altre aree di business e di attrarre persone con abilità e competenze diverse, come l'elettronica e la programmazione.

Fattori di influenza per l'usabilità e l'accettabilità dei componenti elettronici integrati nei prodotti tessili

Lo Smart-horse-riding è un buon esempio dei fattori di influenza per l'usabilità e l'accettabilità dei componenti elettronici integrati nei prodotti tessili.

L'intelligente mezzo cuscinetto si inserisce nella strategia del portafoglio prodotti POLISILK di diversificazione dell'uso finale del tessuto verso prodotti a più alto valore aggiunto che integrano elettronica flessibile.

Questa innovativa iniziativa consiste in un mezzo pad intelligente per il mercato del dressage (una disciplina equestre). Questo nuovo prodotto integra un'elettronica flessibile attraverso fili conduttivi stampati e sensori di pressione all'interno del pad (coperta posta tra il cavallo e la sella). Anche un'app virtuale sviluppata di nuova creazione monitora i diversi punti di pressione generati dal cavaliere.

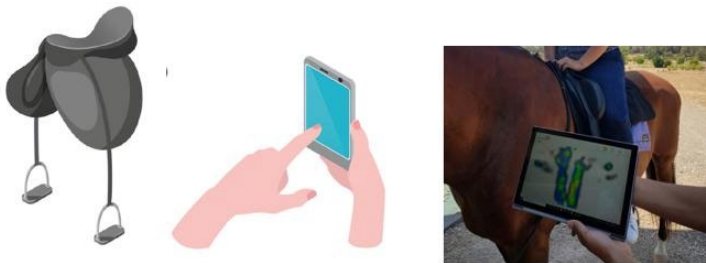


Figura 8. 1- Prodotto intelligente per l'equitazione

Di seguito, vorremmo evidenziare la proposta di valore della Smart-horse-riding:

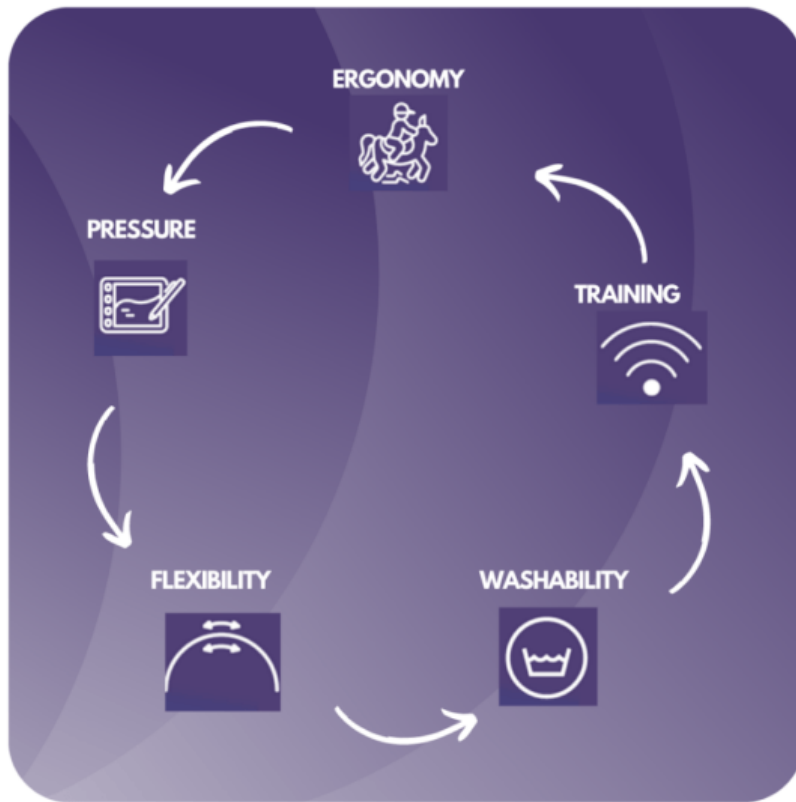


Figura 8.2- Fasi di equitazione intelligente

1. La sua forma ergonomica aiuta a evitare lesioni alla schiena del cavallo e del cavaliere dovute a un errato montaggio della sella.
2. Con la sua connettività Wi-fi, l'equitazione intelligente invia in tempo reale i dati raccolti dall'allenatore che migliorano le prestazioni durante l'allenamento.
3. **Lavabilità: tessuti protettivi resistenti che possono essere rimossi e lavati in lavatrice.**

4. Essendo una flessibilità mezzo pad, è un'alternativa specifica che fornisce un allungamento del 10% del mezzo pad evitando che i sensori vengano danneggiati. Permette anche la dinamica dell'equitazione e una maggiore durata.
5. Ha mappe di pressione molto precise. Significa che con il suo numero molto elevato di sensori (+500) che scoprono punti di pressione eccessivi, è molto ottimale per l'allenamento e la prevenzione di lesioni a cavallo e cavaliere.

Conclusioni

Il prototipo Smart-horse-riding ci ha mostrato come vengono implementati i filati conduttivi per l'integrazione di sensori e altri dispositivi elettronici che integrano tessuti tessili. È un buon esempio vedere come i componenti elettronici integrati nei prodotti tessili aprano una vasta gamma di usi in molti campi.

Consiste in un mezzo pad intelligente per il mercato del dressage. Questo prototipo avanzato è integrato da un'elettronica flessibile attraverso fili conduttivi stampati e sensori di pressione all'interno di un mezzo cuscinetto e i diversi punti di pressione generati dalla posizione del cavaliere sul cavallo sono visualizzati attraverso un'app personalizzata sviluppata durante la fase del prototipo. L'equitazione intelligente offre una proposta di alto valore come menzionato sopra per entrambi: il cavallo e il cavaliere.

Bibliografia

1. Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), September 6th 2022. Available online: <https://smartees.eu/smartees2-application-experiments/>
2. Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), "POLISILK presents its first SMART-HORSE-RIDING prototype", September 6th 2022. Available online: <https://www.textils.cat/en/polisilk-presents-its-first-smart-horse-riding-prototype-4/>



3. Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), "CONTEXT organizes a webinar to present funding opportunities and success stories for the development of smart textiles", September 6th 2022. Available online: <https://www.context-cost.eu/2021/04/06/context-organizes-a-webinar-to-present-funding-opportunities-and-success-stories-for-the-development-of-smart-textiles/>



Capitolo 9 Comfort sensoriale intelligente: analisi oggettiva e soggettiva per tessuti intelligenti

Md. Reazuddin Repon, Daiva Mikucioniene, Kaunas University of Technology, Studentų 56, LT-51424, Kaunas, Lituania

Astratto:

Il comfort è una caratteristica essenziale dei tessuti intelligenti per massimizzare la loro efficacia pratica. L'uso di tessuti intelligenti è aumentato grazie al progresso della funzionalità elettronica per una varietà di applicazioni. I tessuti intelligenti pongono ancora problemi di comfort durante l'usura. L'abbigliamento comodo è un requisito fondamentale per gli articoli tessili che entrano in contatto intimo con la pelle. Questo capitolo ha fornito una breve panoramica dell'analisi soggettiva e oggettiva utilizzata per valutare il comfort sensoriale dei tessuti intelligenti. La motivazione per il requisito della valutazione sensoriale per i tessuti intelligenti è stata dichiarata.

Introduzione

L'abbigliamento è una delle necessità fondamentali di cui tutti hanno bisogno per coprire il proprio corpo e proteggerlo da fattori ambientali difficili come il tempo. Sebbene l'abbigliamento di oggi funzioni come protezione, aggiunge funzionalità aggiuntive e viene utilizzato per il monitoraggio della salute, il supporto negli eventi sportivi e come canale di comunicazione a causa delle diverse esigenze dell'essere umano [1], [2]. I tessuti intelligenti stanno crescendo rapidamente e le richieste sono in aumento, ma c'è anche insoddisfazione per l'uso a causa del loro peso elevato e della loro natura rigida. Possono essere premuti sul corpo e avere creste, che possono essere scomode. I tessuti intelligenti hanno la capacità di alterare il loro comportamento abituale in risposta a segnali ambientali come caratteristiche periferiche o stimoli tecnici [3].

L'alterazione può essere influenzata da fonti meccaniche, termiche, elettriche, chimiche o altre fonti esterne. Sebbene siano avanzati ben oltre i loro inizi, l'elettronica indossabile di consumo è ancora agli inizi. Una delle cause può essere problemi di comfort sotto diversi aspetti. Tuttavia, contrariamente alla ricerca sull'innovazione e la promozione della tecnologia indossabile, il campo della ricerca sulla valutazione del comfort dei tessuti intelligenti non si sta espandendo così rapidamente. La maggior parte della ricerca nell'elettronica indossabile si concentra su alcuni argomenti come sensori, attuatori e piattaforme di

condivisione di cartelle cliniche elettroniche. L'utente è più interessato ai vantaggi dei tessuti intelligenti che al comfort di utilizzo [4].

La caratteristica più importante dei materiali che entrano in contatto diretto con la pelle è il comfort. Esistono tre tipi di comfort dell'abbigliamento: sensoriale, psicologico e termofisiologico. Mentre il comfort psicologico riguarda l'essere in pace con se stessi, il comfort termofisiologico riguarda l'equilibrio termico del corpo durante i vari livelli di sforzo. La capacità di un tessuto di gestire il tatto, l'umidità, la pressione e le sensazioni di calore è nota come comfort sensoriale [5] [6]. Se il processo di produzione di tessuti intelligenti non fosse vincolato e gestito in modo chiaro, il comfort di chi li indossa potrebbe essere compromesso. Gli impatti sul comfort del tessuto durante l'uso non possono essere ignorati perché la funzionalità può essere aggiunta meccanicamente (tramite tessitura, ad esempio), chimicamente (attraverso la stampa, ad esempio) o entrambi [2] [7]. È vero che l'integrazione di materiali o processi potrebbe influire sul benessere dell'utente. Quando tocchiamo un panno, possiamo sperimentare un comfort sensoriale come morbidezza, rigidità, viscosità, levigatezza, rugosità e formicolio. Prurito e pizzicore indicano dolore e disagio. Le sensazioni termiche come il calore, il fresco, la traspirabilità, il caldo e il freddo possono anche essere percepite al tatto allo stesso modo. Vengono discusse l'analisi oggettiva e soggettiva del comfort sensoriale per i tessuti intelligenti.

Fattori relativi al comfort sensoriale

Le proprietà della fibra influenzano le proprietà e la mano del filato e di conseguenza sul tessuto. Per quanto riguarda il comfort sensoriale del tessuto finale, tutte queste qualità sono correlate. Anche la tintura, la finitura e tutti gli altri parametri di lavorazione influiscono sul comfort sensoriale [8], [9], [10]. I componenti chiave dei prodotti tessili che possono alterare in modo significativo la sensazione del tessuto sono elencati nella figura 9.1.

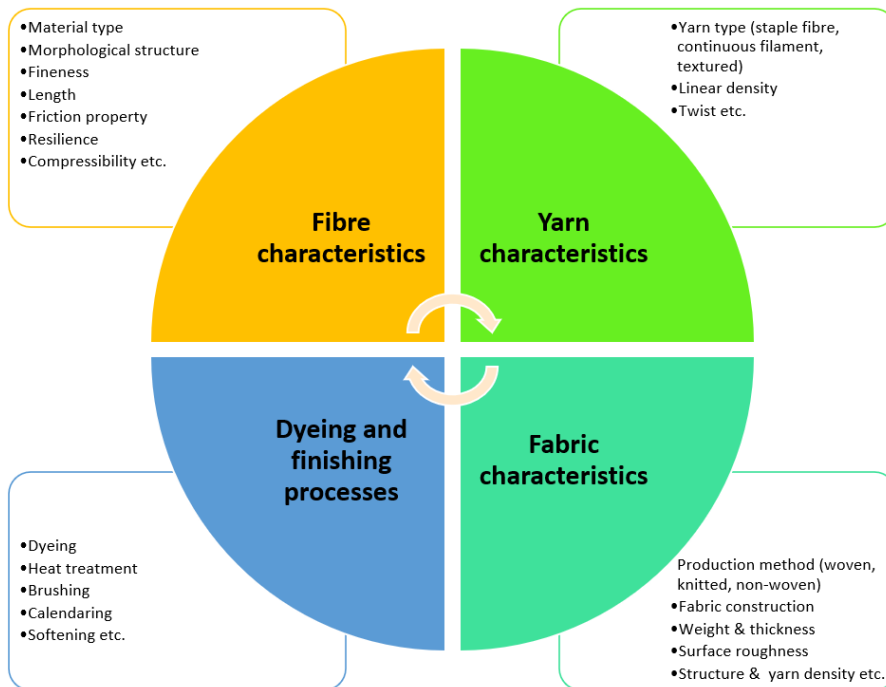


Figura 9.1. Fattori riguardanti il comfort sensoriale dei prodotti tessili.

Valutazione oggettiva del comfort sensoriale

Le procedure oggettive basate su apparecchiature forniscono la possibilità di coerenza e riproducibilità dei risultati, che sono difficili da ottenere utilizzando tecniche soggettive. Le misurazioni della conducibilità termica, della resistenza termica, della diffusione termica e della relativa permeabilità al vapore acqueo sono state utilizzate per prevedere le caratteristiche di comfort dei tessuti funzionali. Un approccio alla misurazione del comfort che applicava strumenti oggettivi era la prognosi del comfort termico, resa possibile misurando le proprietà termiche relative ai tessuti funzionali [11].

Il sistema di valutazione di Kawabata (KES) è stato introdotto per determinare il comfort sensoriale del prodotto tessile insieme alle proprietà meccaniche a basso stress, come trazione, taglio, flessione, compressione, spessore, peso, superficie e proprietà di attrito da Kawabata e dai suoi colleghi. [12]. La levigatezza è l'elemento più cruciale nel giudizio della mano. Pertanto, quando si valutano i tessuti intelligenti con mezzi sensoriali, è necessario tenere conto della levigatezza. Anche i metodi di garanzia del tessuto mediante semplice test (FAST) [13] e Fabric Touch

Tester (FTT) [14] sono stati ampiamente raggiunti per misurare efficacemente la presa del prodotto a base tessile. Diversi metodi di valutazione oggettiva del comfort tessile sono indicati nella Figura 9.2.

In uno studio, ha scoperto che la stampa ha un impatto significativo sul comfort dell'abbigliamento. Gli autori hanno esaminato come le percezioni del comfort dell'abbigliamento da parte dei partecipanti umani fossero influenzate dal modello e dal colore utilizzando un gruppo descrittivo qualificato di esperti [15]. In un altro studio è stato scoperto che la rifinitura può influire negativamente sulla mano dei prodotti tessili. Utilizzando le metodologie KES, gli autori hanno osservato come la finitura influisse sulle caratteristiche di manipolazione del tessuto. Hanno scoperto che il processo di finitura ha avuto un impatto significativo sulla capacità del tessuto di piegarsi. Ciò ha dimostrato una connessione tra le qualità meccaniche a basso stress e la manipolazione del tessuto [16].

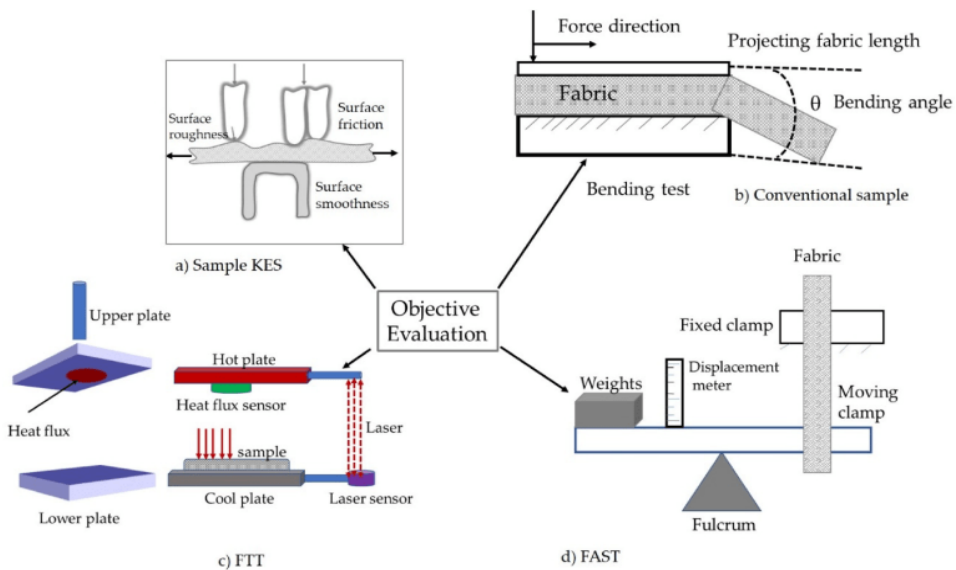


Figura 9.2. Sistemi di valutazione oggettiva del comfort dei tessuti. (a) KES [13], (b) misurazione della flessionevs. comfort [7], (c) FTT [17]) e (d) FAST [18].

Yoo et al. hanno esplorato il modo in cui le circostanze di utilizzo finale e le caratteristiche termofisiologiche e sensoriali dell'abbigliamento da lavoro protettivo resistente al calore hanno influenzato la risposta di comfort di chi lo indossa. I materiali per indumenti da lavoro resistenti al calore con contenuto di fibre, qualità del filato, tipi di trama e finiture funzionali variabili vengono valutati per le loro capacità termofisiologiche e sensoriali. È possibile effettuare confronti

più distinti utilizzando le qualità sensoriali misurate che derivano dalle proprietà meccaniche, superficiali e di gestione dell'umidità liquida del tessuto. I risultati dell'analisi dell'aderenza a umido, dell'area di contatto e della rugosità superficiale dimostrano che i filati più morbidi, le fibre più fini e le armature in twill producono tessuti notevolmente più lisci con un contatto ridotto [19]. In un documento, il comfort sensoriale dell'abbigliamento funzionale protettivo, secondo gli autori, può essere fortemente influenzato dalla resilienza del tessuto, che ha anche un impatto sulla proprietà della superficie del tessuto [20].

Il dispositivo tattile PhilaU, utilizzato per fornire una risposta tattile/sensibile, il tester di rigidità Shirley e i misuratori di drappaggio per il drappaggio, gli spessimetri per esaminare lo spessore e le prestazioni di compressione e un sistema robotico vengono utilizzati anche per analizzare le qualità del comfort sensoriale. Diversi modelli sono stati creati e convalidati per determinare le qualità del manico utilizzando tali approcci oggettivi [21]. Il metodo Handfeel Spectrum Descriptive Analysis (HSDA) consente di confrontare in modo pratico le caratteristiche sensoriali dei tessuti. L'approccio HSDA, utilizzato nelle uniformi militari statunitensi, britanniche, canadesi e australiane, è stato impiegato in una ricerca su 13 tessuti per analizzare la sensazione sensoriale della mano [22].

Valutazione soggettiva del comfort sensoriale

Il mercato dei tessuti elettronici indossabili è sempre alla ricerca di nuove innovazioni per migliorare la soddisfazione degli utenti nell'uso continuato di tessuti funzionali per la qualità della vita. Ma la facilità di indossare i vestiti ha un impatto sulla frequenza con cui vengono utilizzati tessuti funzionali. Pertanto, la valutazione del comfort è un primo passo fondamentale. Un'alternativa alla misurazione oggettiva del comfort nei tessuti funzionali è la valutazione soggettiva. Lo sviluppo di diverse frasi bipolari sensoriali per valutare il comfort dei tessuti funzionali può essere utilizzato per studiare i sentimenti soggettivi delle persone [16]. Per valutare il comfort dei tessuti funzionali utilizzando metodologie cieche e visive, sono state ideate parole sensoriali specifiche relative al contatto del tessuto con la pelle e i risultati hanno dimostrato che la valutazione soggettiva può essere una valida alternativa. La Figura 9.3 mostra la valutazione soggettiva del comfort sensoriale.

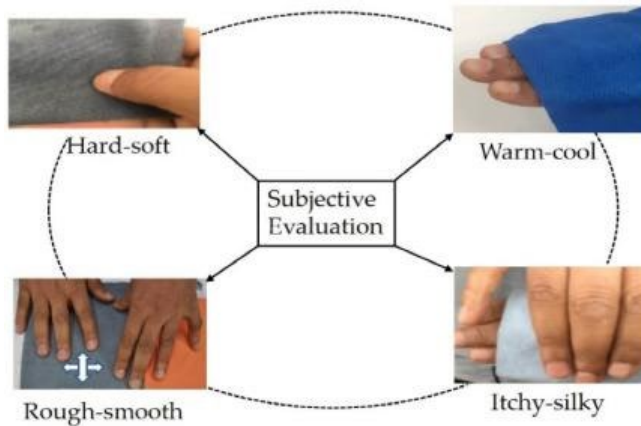


Figura 9.3 Valutazione soggettiva del comfort sensoriale.

A causa della sensazione del tatto, l'analisi soggettiva collega la mano di un panno con un risultato psicologico (Bakar 2004). Quando una persona fa scorrere la punta delle dita su una superficie di tessuto, si verifica una successione di reazioni sensoriali, che induce la persona a sentire e pensare. Un parametro specifico della mano è dato alla sensazione che si percepisce. Questa scelta può essere influenzata da variabili come la personalità, l'ambiente, il pregiudizio (come i risultati desiderati o previsti), le emozioni e i criteri di classificazione o di scala (Aliouche e Vialter 2000). Giudici indipendenti hanno valutato soggettivamente la movimentazione dei tessuti nei settori tessili. Le decisioni dipendono fortemente dagli standard del personale (Yick et al. 1995). È fondamentale scegliere le espressioni appropriate per descrivere un parametro di maniglia del tessuto per garantire la validità delle valutazioni soggettive. Numerosi autori hanno individuato varie qualità sensoriali; menzionato nella Figura 9.4 [23].



Figura 9.4. Vari attributi sensoriali.


Trovare una correlazione tra misurazioni oggettive al fine di esaminare la valutazione statistica richiede la conversione dei risultati della valutazione soggettiva in valori numerici. Di conseguenza, si raccomanda di utilizzare la scala e il tempo per la valutazione sensoriale; menzionato nella Tabella 9.1 .

Tabella 9.1.Scala e tempo per la valutazione sensoriale [1], [23].

Attributo sensoriale	Scala			Tempo (i)
Spessore/sottile	1	5	10	15
	più sottile	medio	più spessa	
Morbidezza/rigidità	1	5	10	20
	più morbido	medio	più rigido	
Rugosità/levigatezza	1	5	10	15
	più liscio	medio	più ruvido	
Maniglia totale	1	3	5	15
	non corretto	medio	più appropriato	

Sono necessari anni di esperienza per la valutazione soggettiva della mano, che può anche essere chiaramente influenzata dalle preferenze del valutatore. Un panno può sembrare liscio, croccante, pesante, ruvido, ruvido, peloso, sfocato o morbido come lanugine. Può anche sembrare leggero, gentile, morbido o morbido. Pertanto, è necessario sostituire la valutazione soggettiva del tessuto da parte dell'esperto con un approccio oggettivo basato sulla macchina che produrrà risultati coerenti e ripetibili. La tabella 9.2 indica le qualità valutate in base alle tecniche di manipolazione.

Tabella 9.2. Gestionetecniche (Moody et al. 2001).

Tecnica di manipolazione	Immagine	Proprietà valutate
Tocco		Qualità della superficie (struttura), temperatura

Azione a coppa rotante		Rigidità, peso, temperatura, comfort, consistenza complessiva, cordonatura
Pizzico multiplo delle dita: rotazione tra le dita con una mano (pollice e 1 o 2 dita)		Trama, rigidità, temperatura, struttura del tessuto, entrambi i lati di un tessuto, attrito, elasticità (force-feedback)
Azione di rotazione a due mani		Allungamento, trasparenza

Conclusiones

I ricercatori si stanno concentrando sulla valutazione del comfort sensoriale per valutare le prestazioni durante l'uso. Il comfort dei prodotti può essere valutato soggettivamente da specialisti in materia o valutato oggettivamente valutando le caratteristiche meccaniche con una varietà di strumenti. Sono state utilizzate strategie matematiche e di soft computing/intelligenti per integrare i dati soggettivi e oggettivi. Nell'ambito della scienza del comfort, si prevede che i sistemi intelligenti continueranno ad essere impiegati nell'integrazione della conoscenza umana e dei dati strumentali. Alcuni sofisticati algoritmi potrebbero eventualmente sostituire le tradizionali tecniche di modellazione del comfort per i prodotti tessili. È probabile che gli studi futuri si concentrino sull'uso di vari metodi di soft computing intelligente nell'area della modellazione del comfort tessile intelligente.

Bibliografia

1. Sular V, Okur A (2007) Sensory evaluation methods for tactile properties of fabrics. J Sens Stud 22:1–16. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2007.00090.x>

2. Barker RL (2002) From fabric hand to thermal comfort: The evolving role of objective measurements in explaining human comfort response to textiles. *Int J Cloth Sci Technol* 14:181–200. <https://doi.org/10.1108/09556220210437158>
3. Tadesse MG, Harpa R, Chen Y, et al (2019) Assessing the comfort of functional fabrics for smart clothing using subjective evaluation. *J Ind Text* 48:1310–1326. <https://doi.org/10.1177/1528083718764906>
4. Tao X (2001) Smart technology for textiles and clothing – introduction and overview. In: Tao X (ed) *Smart Fibres, Fabrics and Clothing: Fundamentals and Applications*. Woodhead Publishing, pp 1–6
5. Aliouche D, Viallter P (2000) Mechanical and Tactile Compression of Fabrics: Influence on Handle. *Text Res J* 70:939–944. <https://doi.org/10.1177/004051750007001101>
6. Bakar BA (2004) Subjective and objective evaluation of fabric handle characteristics. The University of Leeds
7. Deng YM, Wang SF, Wang SJ (2016) Study on antibacterial and comfort performances of cotton fabric finished by chitosan-silver for intimate apparel. *Fibers Polym* 17:1384–1390. <https://doi.org/10.1007/s12221-016-6277-2>
8. Behery HM (2005) Effect of Mechanical and Physical Properties on Fabric Hand
9. Shanmugasundaram OL (2008) Objective Measurement Techniques for Fabrics. *Asian Text J* 17:63–67
10. Özçelik Kayseri G, Özdil N, Megüç GS (2012) Sensorial Comfort of Textile Materials. In: *Woven Fabrics*. pp 235–240
11. Crina B, Blaga M, Luminita V, Mishra R (2013) Comfort properties of functional weft knitted spacer fabrics. *Tekst ve Konfeksiyon* 23:220–227
12. Kawabata S (2005) The Standardization and Analysis of Hand Evaluation. In: Behery HM (ed) *Effect of Mechanical and Physical Properties on Fabric Hand*. Woodhead Publishing, pp 389–443
13. Namligöz ES, Bahtiyari MI, Körlü AE, Çoban S (2008) Evaluation of finishing processes for linen fabrics using the Kawabata evaluation system. *J Test Eval* 36:384–391. <https://doi.org/10.1520/jte101461>
14. Hu JY, Hes L, Li Y, et al (2006) Fabric Touch Tester: Integrated evaluation of thermal-mechanical sensory properties of polymeric materials. *Polym Test* 25:1081–1090. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2006.07.008>
15. Robinson KJ, Chambers E, Gatewood BM (1997) Influence of Pattern Design and Fabric Type on the Hand Characteristics of Pigment Prints. *Text Res J* 67:837–845. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177%2F004051759706701108>
16. Tadesse MG, Nagy L, Nierstrasz V, et al (2018) Low-stress mechanical property study of various functional fabrics for tactile property evaluation. *Materials (Basel)* 11:. <https://doi.org/10.3390/ma11122466>
17. Musa A BH, B M, S V, Langenhove L V (2018) Practical Considerations of the FTT Device for Fabric Comfort Evaluation. *J Fash Technol Text Eng* s4:1–4. <https://doi.org/10.4172/2329-9568.s4-003>



18. Tokmak O, Berkalp OB, Gersak J (2010) Investigation of the mechanics and performance of woven fabrics using objective evaluation techniques. part I: The relationship between FAST, KES-F and cusick's drape-meter parameters. *Fibres Text East Eur* 79:55–59
19. Yoo S, Barker RL (2005) Comfort Properties of Heat-Resistant Protective Workwear in Varying Conditions of Physical Activity and Environment. Part I: Thermophysical and Sensorial Properties of Fabrics. *Text Res J* 75:523–530. <https://doi.org/10.1177/0040517505053949>
20. Nawaz N, Troynikov O, Watson C (2011) Evaluation of surface characteristics of fabrics suitable for skin layer of firefighters' protective clothing. *Phys Procedia* 22:478–486. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2011.11.074>
21. Wang H, Mahar TJ, Hall R (2012) Prediction of the handle characteristics of lightweight next-to-skin knitted fabrics using a fabric extraction technique. *J Text Inst* 103:691–697. <https://doi.org/10.1080/00405000.2011.602230>
22. Cardello AV (2008) The sensory properties and comfort of military fabrics and clothing. In: *Military Textiles*. Woodhead Publishing, Cambridge, pp 71–106
23. Sular V, Okur A (2008) Objective Evaluation of Fabric Handle by Simple Measurement Methods. *Text Res J* 78:856–868. <https://doi.org/10.1177/0040517508090785>
24. Moody W, Morgan R, Dillon P, et al (2001) Factors Underlying Fabric Perception. 1st Eurohaptics Conf Proc 1–10
25. Yick KL, Cheng KPS, How YL (1995) Subjective and objective evaluation of men's shirting fabrics. *Int J Cloth Sci Technol* 7:17–29. <https://doi.org/10.1108/09556229510094832>

Capitolo 10 Etica e requisiti per sensori e attuatori intelligenti integrati nei prodotti tessili

David Gómez, AEI Tèxtils, Sviluppo aziendale, carrer Sant Pau nº6, Terrassa, Barcellona.

Abstract

L'etica legata ai tessuti intelligenti ha molto da affrontare. L'etica, intesa come il modo in cui le nuove e intelligenti applicazioni fornite dai tessuti intelligenti, è un argomento delicato. Ed è sensibile perché la maggior parte di quelle applicazioni gestisce non solo i dati personali e privati della persona che utilizza il wearable, ma anche dati vitali (fisiologici), soprattutto quando si parla di dispositivi di protezione intelligenti.

Inoltre, non solo la gestione dei dati è un fattore chiave da considerare per garantire un uso sicuro dei tessuti intelligenti, ma anche i problemi di sicurezza direttamente correlati alla salute e/o ai potenziali danni alla salute che un indossabile potrebbe generare sull'uomo.

Questo documento tenta di spiegare come sia i dati che la cura fisica siano fattori cruciali di cui prendersi cura quando si utilizzano prodotti tessili intelligenti al fine di garantirne la sicurezza in tutte le sue dimensioni, non solo durante l'utilizzo ma anche dopo. In particolare, l'articolo si concentrerà sulla normativa sulla protezione dei dati nell'Unione Europea e su alcuni casi teorici e pratici di sicurezza fisica ed etica.

Regolamento UE sulla protezione dei dati – GDPR

La legislazione sul regolamento generale sulla protezione dei dati (GDPR) adottata dall'Unione Europea (UE) è la norma principale e più alta sulla protezione e la gestione dei dati che tutti i membri dell'UE devono seguire. Si tratta di una questione non superficiale, in quanto la Carta dei diritti fondamentali dell'UE stabilisce che tutti i cittadini dell'UE hanno il diritto alla protezione dei propri dati personali [1].

Questa direttiva è stata approvata nel 2016 e non solo tenta di proteggere i dati menzionati, ma anche di stabilire gli stessi standard di protezione dei dati per tutti i membri dell'UE e i loro cittadini.

In questo campo, i dati diventano particolarmente importanti se parliamo di dati fisiologici e sanitari, che è quello affrontato in questo documento in quanto strettamente legato ai tessuti intelligenti e ai dispositivi elettronici indossabili.

Se parliamo degli Stati Uniti d'America (USA), le normative sulla privacy passano attraverso HIPAA. E in entrambi i casi, UE e USA, queste norme mirano a prevenire scandali di uso improprio dei dati, mitigare l'impatto delle fughe di dati e approvare le normative legali sulla privacy con un quadro comune [3]. Tuttavia, non è mai stato concordato un regolamento mondiale su questo problema [5].

Queste informazioni vengono applicate nel campo dei tessuti intelligenti in diversi aspetti legati al rapporto dell'utente con l'elettronica. È implementato dall'accettazione dell'informativa sulla privacy in un sito Web al campo dei tessuti intelligenti.

Aspetti dei dati di sicurezza

In quest'ultimo caso e, considerando che alcuni dati sono considerati molto sensibili, devono essere progettati e implementati alcuni meccanismi preventivi. Ridurrebbero o meno al minimo gli attacchi informatici o altri tipi di minacce da parte di attori esterni. L'affidabilità di questi meccanismi è un fattore chiave per proteggere questi dati sensibili.

Ad esempio, il monitoraggio delle metriche - e se sono anormali o meno - può facilitare il rilevamento della qualità del servizio e se è sotto attacco e i dati sono minacciati.

Poi, il fattore di autenticazione per accedere ai dati (attraverso un dispositivo o uno smart wearable) è diventato negli ultimi anni un elemento determinante. Questa autenticazione va da elementi classici come una password, con anche requisiti classici come evitare quelli semplici, all'incorporazione di nuovi elementi come quelli di possesso (carte) e l'accesso biometrico. La combinazione di tutti questi elementi avallerà il sistema con robustezza fino alla prima porta in cui è possibile accedere, rubare, interrompere i dati...

In questo senso, la tracciabilità è un altro fattore da considerare. Ciò significa la capacità di rilevare, l'impronta dell'attaccante una volta che l'attacco è stato effettuato e nel modo in cui è possibile, determinarne la provenienza, la sua identità, le sue finalità e, in generale, la massima quantità possibile di informazioni utili che aiutano per riparare il danno nel caso in cui successivamente si svolga un'indagine.

Inoltre, è importante sottolineare che la vulnerabilità dei dati può manifestarsi in diversi momenti in cui viene gestita. Dalla sua generazione, in tempo reale, al suo trasferimento o all'archiviazione. Per questo motivo, gli elementi e le azioni preventive menzionati dovrebbero essere progettati e preparati per evitare minacce in ognuna di queste fasi.

Tabella 10.1. Sintesi e classificazione delle soluzioni di sicurezza nei sistemi sanitari intelligenti [4]

Type	Solution	Actor	TCP/IP Layer	Requirements Protected
Secure communications	Lightweight cryptography	Nodes Communications HIS	Network interface	Confidentiality Integrity Non-repudiation Authentication
	Key management	Nodes HIS	Network interface	Confidentiality Authentication
Always-on systems	Secure routing	Communications	Network	Availability
	DDoS countermeasures	Nodes Communications HIS	Network	Availability
Trust management	Authentication protocols	Nodes HIS	Transport Application	Authentication Confidentiality Privacy
	Access control mechanisms	HIS	Application	Authentication Confidentiality Privacy
	Intrusion detection systems	Communications HIS	Network Transport Application	Confidentiality Integrity Availability Authentication Privacy
	Traceability of digital evidence	HIS	Application	Integrity
Data protection	Privacy protection models	HIS	Application	Privacy
	Awareness programmes	Users	-	Privacy

Tecnologie tessili conduttive e sicurezza

Un altro aspetto di cui parlare nel campo della sicurezza e dei tessuti intelligenti è la sicurezza di un tessuto con proprietà conduttive.

I sensori non possono avere alcun impatto sulla pelle in alcun modo, e lo stesso vale per la salute e la sicurezza umana. Dal punto di vista della funzionalità e dell'utente, i sensori e gli attuatori devono essere affidabili, altrimenti i loro utenti non possono fare affidamento su allarmi e avvisi forniti dall'APP o da altri dispositivi.

Per produrre un tessuto con proprietà conduttive, esistono due principali metodi comuni:

Trafilatura Secondo A. Angelucci, et al., la trafilatura è un processo meccanico che trasforma la materia prima in microfilamenti [...] applicando forze con macchine industriali. Dopo la trafilatura, il microfilamento viene ricotto ad una temperatura elevata di 600–900 °C per ripristinarne le proprietà meccaniche ed elettriche. Successivamente, il filo viene raffreddato e avvolto in un cilindro rotante. I metalli più utilizzati per questo processo sono il rame, l'argento, il bronzo, l'acciaio e il rame argentato [4].

Rivestimento in fibra. Il rivestimento in fibra consiste nell'applicare metalli o polimeri conduttivi sulla superficie di un substrato non metallico per renderlo conduttivo [...]. Il substrato può essere una fibra, un filato o un tessuto. Nella revisione presentata, la fibra è considerata come un'unità conduttiva a fini di chiarezza. Le diverse tecniche utilizzate per realizzare fibre conduttive sono lo sputtering, la polimerizzazione chimica, l'elettrodeposizione e il rivestimento per immersione [3].

L'aspetto importante a questo punto è che entrambi i metodi finiscono per creare tessuti elettronici sicuri nel senso di precedenti test dei sensori da utilizzare. In questo modo, possiamo essere sicuri che i dispositivi elettrici diventino sicuri e che il prodotto possa essere utilizzato.



Figura 10.1. Tecniche di produzione più comuni di tessuti conduttivi: maglieria, tessitura, ricamo; metodi di rivestimento; stampa [3]

Casi pratici

Un esempio di prototipo recentemente sviluppato che è stato progettato seguendo le linee guida del GDPR è il progetto di SmartWorkwear [5]. È stato confezionato da CP Aluart e incorpora diversi sensori in grado di monitorare le costanti fisiche della persona che indossa il prodotto. In questo caso, i sensori testati e convalidati vengono integrati in una maglietta funzionale.

In particolare, raccoglie dati su temperatura, umidità, frequenza cardiaca e altri dati relativi alla salute che sono considerati sensibili e che possono prevenire, in questo caso, il lavoratore da un rischio legato all'ambiente come ad esempio lo svenimento.



Figura 10.2 SMART-WORKWEAR [5]

Conclusioni

Negli ultimi decenni, la generazione di dati personali è aumentata con l'implementazione e l'estensione della virtualità e di Internet. In particolare, quelle relative alla salute, sono informazioni sensibili suscettibili di essere rubate e utilizzate per scopi disonesti. Quindi, diventa fondamentale tenerlo al sicuro.

Finora, questa esigenza è stata affrontata dall'UE e dagli USA attraverso la creazione di un quadro generale per ciascun territorio. Tuttavia, non sono contrastati tra loro e il resto del mondo, principalmente, non ha implementato in modo estensivo tale regolamento.

Inoltre, devono essere presi in considerazione più aspetti relativi alla sicurezza dell'utente. E vanno dalla cybersecurity dove saranno necessari continui miglioramenti per affrontare l'evoluzione e l'adattamento dei fili virtuali, a quelli fisici, che devono garantire che i dispositivi elettronici inseriti in qualsiasi wearable siano sicuri per l'utente.

Bibliografia

[1]EUR-Lex, Access to European Union Law. Document 12012P/TXT, "Charter of Fundamental Rights of the European Union". September 15th. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:12012P/TXT>

[2] European Commission, Data protection in the EU, "The General Data Protection Regulation (GDPR), the Data Protection Law Enforcement Directive and other rules concerning the protection of personal data". September 15th. Available online: https://ec.europa.eu/info/law/law-topic/data-protection/data-protection-eu_en

[3]Batista, M.; Moncusi, A.M.; López-Aguilar, P.; Martínez-Ballesté, A.; Solanas, A. Sensors for Context-Aware Smart Healthcare: A Security Perspective. *Sensors* 2021, 21, 6886. <https://doi.org/10.3390/s21206886>

[4] Angelucci, A.; Cavicchioli, M.; Cintorrino, I.A.; Lauricella, G.; Rossi, C.; Strati, S.; Aliverti, A. Smart Textiles and Sensorized Garments for Physiological Monitoring: A Review of Available Solutions and Techniques. *Sensors* 2021, 21, 814. <https://doi.org/10.3390/s21030814>

[5] Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), September 15th, 2022. Available online: <https://www.textils.cat/en/c-p-aluart-presents-its-smart-textile-prototype-for-personal-protection/>

Capitolo 11 Promuovere l'innovazione nei sensori intelligenti, attuatori, dispositivi indossabili attraverso il co-design e il co-sviluppo

David Gómez, AEI Tèxtils, Sviluppo aziendale, carrer Sant Pau nº6, Terrassa, Barcellona.

Abstract:

La carta cluster nel campo della promozione dell'innovazione non è rilevante ma determinante. I cluster consigliano le aziende nel loro percorso per scoprire e sfruttare le loro capacità, la loro direzione strategica e migliorare i loro punti deboli. Al giorno d'oggi, questi obiettivi sono direttamente in linea con la trasformazione del settore, con l'aggiornamento dell'industria tessile dal XX secolo al XXI secolo. Nello specifico, questo miglioramento riguarda due pilastri chiave dell'innovazione (tra gli altri), la sostenibilità e la digitalizzazione.

I cluster si avvicinano a questi obiettivi anche agendo come un ecosistema ottimale per l'interazione delle imprese, facilitando la simbiosi, lo scambio di esperienze e la fiducia tra di loro.

Alcuni esempi di questo tipo di attività di facilitazione sono la collaborazione aziendale o la semplice partecipazione -ognuno per conto proprio- a diversi programmi per lo sviluppo di nuovi prodotti o il miglioramento delle proprie aziende e fabbriche.

Inoltre, alcuni programmi di finanziamento sono rivolti a diverse aziende per trovare un modo per introdurre un'applicazione intelligente in un prodotto esistente o direttamente per progettare un nuovo prodotto che nasce dalle idee delle aziende.

In molti casi, il risultato di queste iniziative guidate dai cluster finisce per produrre nuovi prodotti e nuove applicazioni che coinvolgono sensori, attuatori e molte altre forme di innovazione sul mercato.

Questo documento tenta di spiegare la particolare esperienza del Cluster catalano di Advance Textile Materials, AEI Tèxtils, e le iniziative di innovazione delle loro aziende come esempio per illustrare come un cluster promuova l'innovazione e come esso e le sue aziende fungano da ecosistema facilitatore per la co-progettare e co-sviluppare l'innovazione nel settore.

Introduzione

AEI Tèxtils, il Cluster catalano di materiali tessili avanzati, negli ultimi anni ha consigliato ad alcune delle sue aziende associate di sviluppare progetti che sarebbero stati presentati a diversi bandi "dedicati ad aiutare le aziende innovative a digitalizzare le loro attività grazie a test elettronici flessibili e indossabili, sperimentazione e supporto alla produzione.[1]

Il cluster supporta regolarmente le sue aziende in termini di pre-consulenza e valutazione dei loro progetti innovativi prima che vengano inviate alla chiamata di valutazione.

In particolare, è stato attivo in due tipi di programmi di finanziamento che stimolano l'innovazione tra le aziende e sostengono economicamente lo sviluppo di prodotti come attuatori, sensori e dispositivi indossabili in generale: il programma SMARTEES [2] e il progetto GALACTICA [3].

È evidente che il tasso di successo di tale attività è molto importante, poiché nell'invito a presentare proposte di las SMARTEES tre membri sono stati autorizzati a sviluppare i loro progetti.

SMARTEE

SMARTEES è un progetto che invita a presentare proposte per "aiutare le aziende innovative a digitalizzare le loro attività grazie a test, sperimentazione e supporto alla produzione di elettronica flessibile e indossabile (FWE). È stato fondato dal programma Horizon 2020 dell'Unione Europea e ha consentito lo sviluppo di molteplici progetti innovativi nel settore tessile.

Si concentra su "Tecnologie elettroniche flessibili e indossabili" ed "è uno dei Digital Innovation Hub (DIH) che sono ecosistemi costituiti da PMI, grandi industrie, start-up, ricercatori, acceleratori e investitori".

Tra i suoi obiettivi, possiamo trovare l'obiettivo di a) aiutare le aziende dell'UE nella loro digitalizzazione aziendale, b) supportare le aziende dell'UE nei prototipi di test e sperimentazione prima che decidano di investire su di essi e lanciare un nuovo prodotto e c) creare un Digital Innovation Hub che agisce come una rete che fomenta la digitalizzazione tra le parti interessate dell'UE.

L'ultima edizione di questo programma ha riguardato il periodo 2020-2022 e, come accennato, alcune aziende aderenti al cluster ne sono state beneficiarie in quanto i

loro progetti sono stati valutati come altamente competitivi e innovativi. Inoltre, nelle edizioni precedenti c'erano state sovvenzioni per l'industria catalana.

Arpe [3] è l'azienda che ha sviluppato il primo esempio di indossabile co-progettato che il cluster fornirà. Di fronte alle difficoltà delle pandemie COVID-19 e alle evidenti sfide relative al processo di lavaggio delle mascherine riutilizzabili (necessariamente da lavare ad alte temperature e con un grande consumo di acqua), Arpe ha sviluppato una Smart-Facemask [4].

Consiste in una maschera elaborata con un motivo a filato che aggiunge interconnessioni elettriche all'interno per consentire l'autoriscaldamento per eliminare la potenziale presenza di virus.



Figura 11.1. Spiegazione

del concetto di Smart-Facemask

infografica

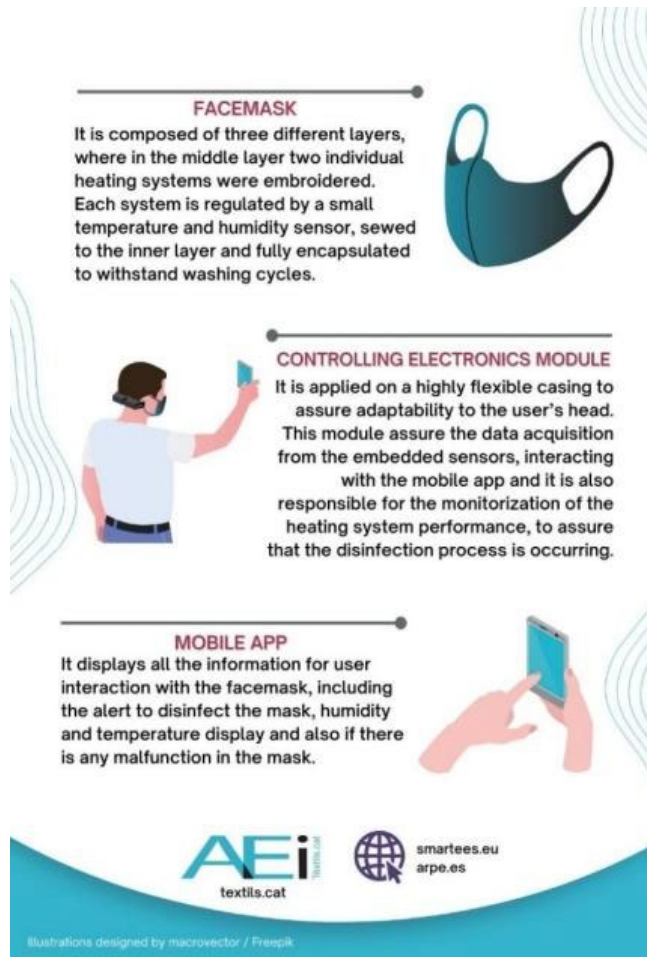


Figura 11.2.Spiegazione infografica del concetto di Smart-Facemask

Polisilk [5], nel suo progetto, ha proposto di realizzare un prototipo chiamato Smart-horse-riding [6].

Questo concetto consiste in un mezzo fondello intelligente per il mercato del dressage all'interno della disciplina equestre. "Questo prodotto è composto da elettronica flessibile attraverso fili conduttivi stampati e sensori di pressione all'interno di un mezzo pad (coperta posizionata sotto la sella del cavallo). I diversi punti di pressione generati dalla posizione del cavaliere sul cavallo vengono visualizzati attraverso un'app personalizzata sviluppata durante la fase di prototipazione".

Questi miglioramenti aggiunti ad un prodotto classico avallano la nuova versione con numerosi vantaggi legati all'ergonomia, prevenendo possibili lesioni al cavaliere e alla schiena del cavallo; con l'allenamento, permettendo di tracciare in tempo reale alcuni dati per migliorare le prestazioni del ciclista; con la sua lavabilità, che consente di lavare il prodotto in una lavatrice convenzionale e con la qualità della flessibilità, tra gli altri.

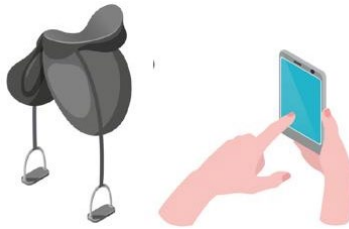


Figura 11.3 Disegno del concetto di equitazione intelligente



Figura 11.4 Prestazioni reali a cavallo intelligente

Infine, CP Aluart [7] ha sviluppato un'altra idea mirata alle condizioni dei lavoratori. Attraverso sensori multipli e flessibili integrati in un normale indumento da lavoro, l'azienda ha prototipato un indumento intelligente a contatto con la pelle che misura le condizioni fisiologiche degli utenti in tempo reale.

In questo modo è possibile misurare in ogni momento le condizioni alle quali il lavoratore è esposto all'esterno (temperatura, umidità,...) e determinare gli eventuali rischi a cui può andare incontro come affaticamento o colpi di calore.

Il nome di questo prodotto è SMART-WORKWEAR [8].



Figura 11.5SMART WORKWEAR

Progetto Galattica

Galactica Project è un'altra iniziativa finanziata dal programma Horizon 2020, dall'Unione Europea che mira a sostenere le PMI attraverso meccanismi di sostegno principalmente finanziario - oltre ad altri - sull'innovazione. In particolare, quei progetti che implementano dinamiche intersettoriali nei settori del tessile, dell'aerospaziale e dell'avanzamento manifatturiero.

Secondo il Cluster, "GALACTICA è un progetto strategico chiave di AEI Tèxtils per promuovere l'innovazione tecnologica e nuovi modelli di business come motore di

crescita e competitività delle PMI del settore. Serve a promuovere la cooperazione tra i partner e con altri sistemi innovativi come l'aerospaziale e la produzione avanzata. Il suo forte approccio intersettoriale consente la generazione di opportunità commerciali e innovazione intersettoriale, promuovendo la cooperazione trasversale per sviluppare nuove applicazioni e mercati [9].

Grazie a questa iniziativa, e grazie al sostegno del cluster, cinque aziende associate sono riuscite a ottenere una sovvenzione che avrebbe aiutato a finanziare le loro idee innovative e i loro prototipi. Questi sono Cinpasa [10], E.Cima [11], Texfire [12], Maccion [13], Fello [14] e Triturats la Canya [15].

Tra le altre, le società menzionate si sono sviluppate da un sistema tessile di raffreddamento attivo per prevenire lo stress da calore nei lavoratori all'aperto [16] a un nastro trasmettitore di dati dirompente ed ecologico per l'industria aeronautica [17] o un nastro tessile intelligente con soluzioni in fibra ottica integrate appassire una maggiore precisione e flessibilità per le applicazioni nel monitoraggio della salute strutturale delle strutture aeronautiche composite [18].

Conclusioni

Promuovere l'innovazione e creare capacità di co-progettazione e co-sviluppo non è facile.

Naturalmente, le aziende possono condurre autonomamente i propri progetti, ma studiare, progettare, testare, prototipare e lanciare un nuovo prodotto non è solo un'attività che richiede molto tempo, ma richiede anche ingenti somme di denaro.

Le aziende del settore tessile sono più che in grado di guidare questa rivoluzione sul paradigma dell'innovazione, ma è necessario creare l'ambiente adatto per raggiungere un obiettivo così ambizioso.

Per fare ciò, la cooperazione e la consulenza all'interno del settore sono fondamentali e determinante è l'esistenza di linee di finanziamento, in quanto un piccolo gruppo di aziende sarebbe in grado di permettersi indagini così costose per sviluppare prodotti nuovi e innovativi.

Attraverso quel finanziamento economico e un buon ruolo svolto dai distretti, la spinta all'innovazione è più ampia e profonda che se questi fattori non esistessero o non funzionassero correttamente.

Bibliografia

- [1] Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), September 15th 2022. Available online: <https://www.textils.cat/en/aei-textils-members-to-start-innovative-projects-enabled-by-the-cluster-support/>
- [2] Smartees project, September 19th,2022. Available online: <https://smartees.eu/>
- [3] Galactica project, September 16th,2022. Available online: <https://galacticaproject.eu/>
- [4] ARPE company. September 16th,2022. Available online: <https://arpe.es/en>
- [5] Twitter post. Consulted on September 19th, 2022. Available online: <https://twitter.com/SmartEEsEU/status/1485564863590064129>
- [6] Polisilk company. September 16th,2022. Available online: <https://www.polisilk.com/home>
- [7] Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), September 15th, 2022. Available online: <https://www.textils.cat/en/polisilk-presents-its-first-smart-horse-riding-prototype-4/>
- [8] C.P. Aluart company. September 16th,2022. Available online: <https://cpaluart.com/en/cpaluart-sl/>
- [9] Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), September 15th, 2022. Available online: <https://www.textils.cat/en/c-p-aluart-presents-its-smart-textile-prototype-for-personal-protection/>
- [10] Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), September 15th, 2022. Available online: <https://www.textils.cat/en/5-members-of-aei-textils-awarded-180ke-in-funding-from-the-2nd-call-of-galactica-for-their-innovation-projects/>
- [11] Cinpasa company. September 16th,2022. Available online: <https://cinpasa.com/>
- [12] E. Cima company. September 16th,2022. Available online: <https://ecima.com/en/>
- [13] Texfire company. September 16th,2022. Available online: <https://texfire.net/es/>
- [14] Maccion company. September 16th,2022. Available online: <https://www.maccion.com/>
- [15] Fello company. September 16th,2022. Available online: <https://fellosporthwear.com/>
- [16] Triturats la Canya company. September 16th,2022. Available online: <http://trituratslacanya.com/>
- [17] Galactica project, September 16th,2022. Available online: <https://galacticaproject.eu/orbital-beneficiaries/>



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Digitalizzazione tessile basata sull'educazione
Digitale e strumenti elettronici innovativi
2020-1-RO01-KA226-HE-095335



[18] Galactica project, September 16th,2022. Available online:
<https://galacticaproject.eu/pioneer-beneficiaries/>

Capitolo 12 Metodi creativi per il co-design del prodotto tessile intelligente

*Farima Daniela, Iovan Dragomir Alina, Bodoga Alexandra, Gheorghe Asachi
Technical University, Romania*

Introduzione

Il co-design è un processo. La possibilità di approcciare il processo di codesign in diversi modi crea l'opportunità di utilizzare diversi metodi, principi e modelli. Tutto questo, potendo essere applicato a persone diverse.

Non esiste un approccio unico, ma ci sono modelli e principi che possono essere applicati in modi diversi con persone diverse.

Gli elementi di interdipendenza della co-progettazione sono: produzione, consegna, progettazione, valutazione, pianificazione (figura 12.5). Il co-design si riferisce alla creatività collettiva dei designer che collaborano.

Il posto del co-design nel processo di progettazione è presentato nella figura 12.1 [5].

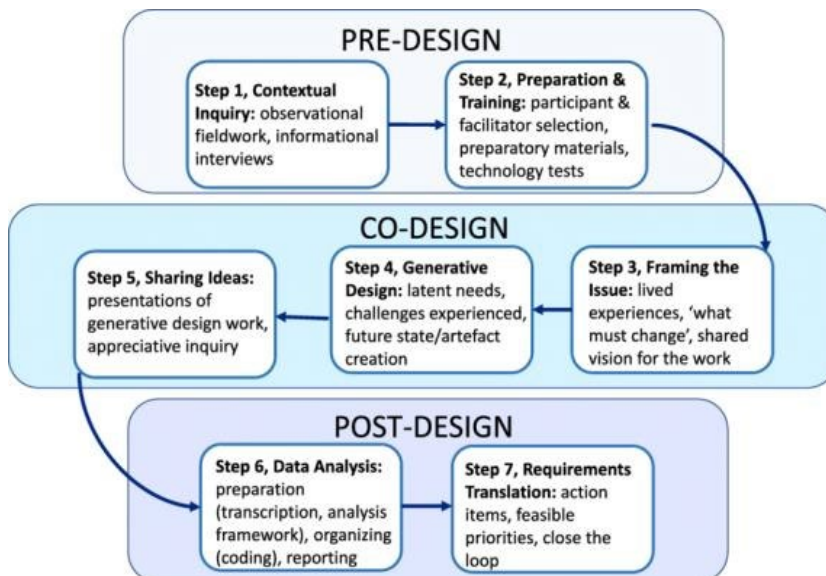


Figura 12.1 Il posto del co-design nel processo progettuale

Dalla figura 12.1 si può osservare che ci sono tre livelli nel processo di progettazione:

1. pre-progettazione che contiene due fasi: indagine contestuale e preparazione e formazione;
2. co-design che racchiude tre passaggi: condivisione delle idee, design generativo e inquadramento del problema;
3. post-progettazione che contiene due fasi: analisi dei dati e traduzione dei requisiti.

Il co-design è come un puzzle formato da due pezzi: utenti e progettisti (figura 12.2). Quando i due pezzi si incastrano perfettamente, il risultato è il co-design.



Figura 12.2 Collaborazione tra utenti e progettisti

La differenza tra co-design e altri approcci al design

La differenza tra co-design e design classico è presentata nella figura 12.3 [4].

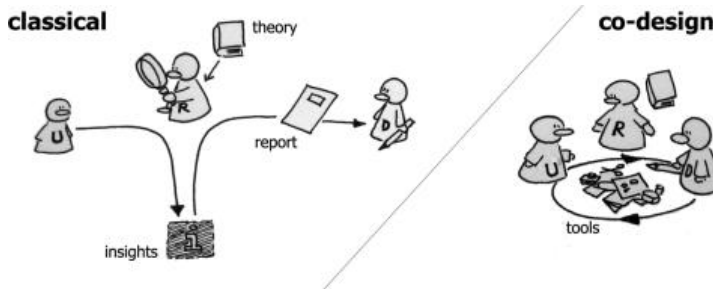


Figura 12.3 Confronti tra co-design e design classico

I componenti del processo di co-design sono presentati nella figura 12.4.

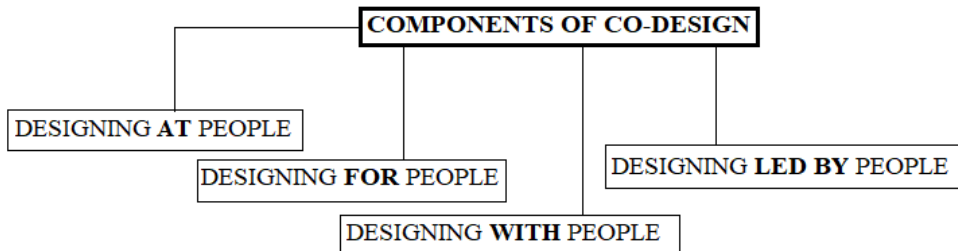


Figura 12.4 Le componenti del co-design

Mentre nel design classico il ricercatore è un traduttore tra gli 'utenti' e il designer, nel co-design il ricercatore (che può essere un designer) è un facilitatore.

Metodi creativi per il co-design

I metodi creativi per il co-design sono presentati nella figura 12.5 [3].

1. La progettazione partecipata, come metodo creativo di co-progettazione, consiste nel coinvolgimento attivo nel processo progettuale di tutti coloro che sono coinvolti in questo processo. (figura 12.5) [3].

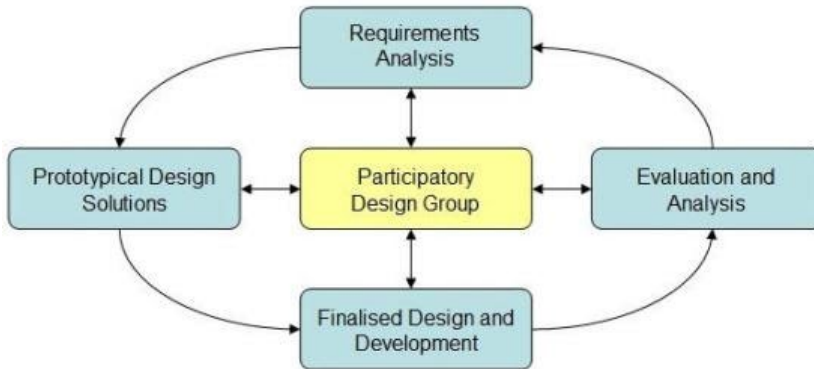


Figura 12.5 La classificazione dei metodi creativi per il co-design

2. Le possibilità di applicare il metodo di progettazione in collaborazione con gli utenti [1] sono presentate nella figura 12.6.

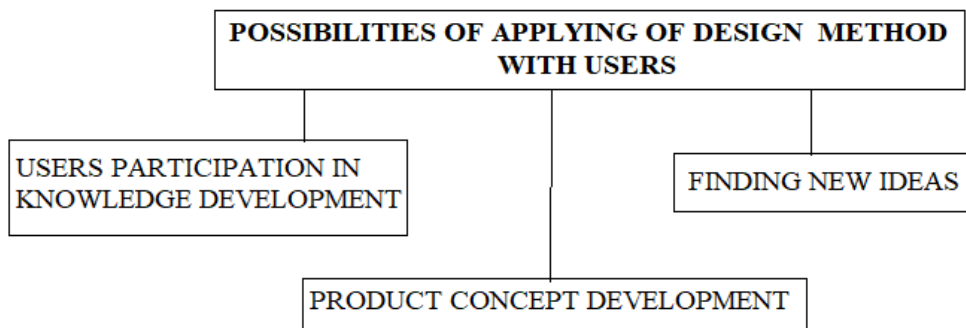


Figura 12.6 Metodo di progettazione con gli utenti

3. Il contenuto di **metodo di ricerca auto-riflessione** [1] e possibilità di applicazione sono presentati nella figura 12.7.

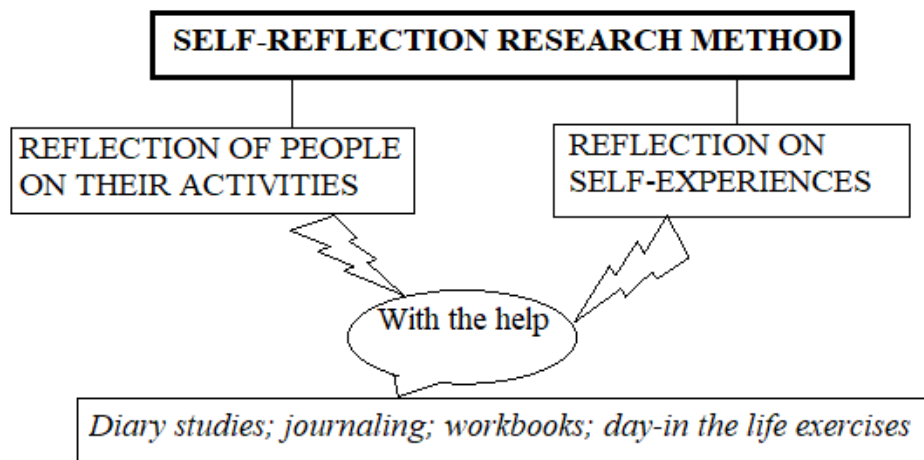


Figura 12.7 Metodo di ricerca autoriflessivo

I principi per la co-progettazione sono presentati in modo suggestivo nella figura 1.8.

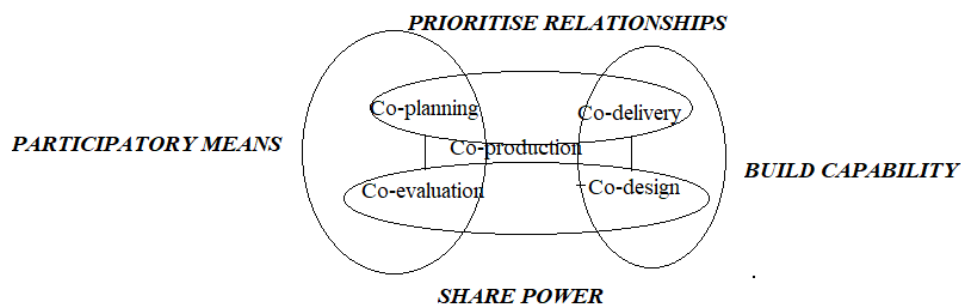


Figura 12.8I principi del co-design

Materiali tessili per abbigliamento smart

Quando per l'ottenimento di capi di abbigliamento intelligenti si applicano metodi creativi di co-design, bisogna conoscere i materiali tessili (figura 1.9) [6] dalla sua struttura.

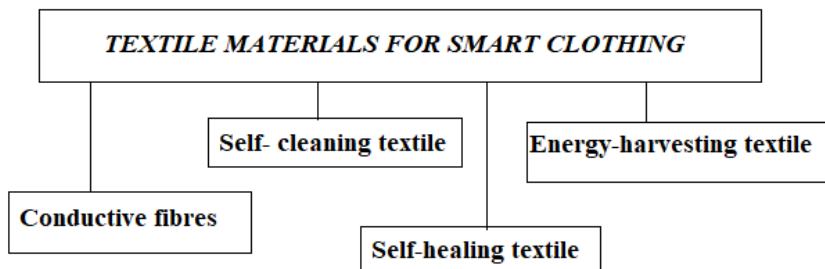


Figura 12.9I principali materiali tessili per l'abbigliamento intelligente

Utilizzando fibre ad alta capacità conduttiva, si possono ottenere effetti di assorbimento antistatico, EMI, IR [2].

Tessili autopulenti (rame 3D, nanostrutture d'argento) attraverso il loro meccanismo (nanostrutture, eccitazione di atomi di metallo con la luce) sono utilizzati per ottenere camicie, giacche, ecc. [2].

In medicina e non solo, si possono utilizzare tessuti autorigeneranti (a base di inchiostro magnetico, polvere di carbone), che hanno la capacità di rilasciare lentamente l'agente curativo.

Le funzioni dello smart textile sono presentate nella figura 1.10 [2].



Figura 12.10 Le funzioni del tessile intelligente

I tessuti intelligenti richiedono nuove tecnologie, nuove fibre e nuovi tessuti.

Conclusioni

Attualmente, a causa dello sviluppo della società umana, l'attenzione è rivolta alla comparsa di nuovi tessuti intelligenti (sviluppo delle tecnologie tessili, nuovi materiali, nanotecnologie ed elettronica) per l'abbigliamento intelligente, che porterà ad un aumento della qualità della vita. Quindi, i tessuti di nuova generazione sono tessuti intelligenti.

Ma il requisito principale dell'abbigliamento intelligente rimane il comfort nell'indossare l'abbigliamento.

Bibliografia

1. <https://uxmag.com/articles/creativity-based-research-the-process-of-co-designing-with-users>

2 Dilan Canan Çelikel, *Smart E-Textile Materials*,
<https://www.intechopen.com/chapters/73836>, Submitted: November 18th,
2019 Reviewed: April 9th, 2020 Published: October 30th, 2020

DOI: 10.5772/intechopen.92439

3. https://www.researchgate.net/publication/281901079_Evaluating_the_Role_of_Prior_Experience_in_Inclusive_Design/



4. <https://www.google.com/search?q=The+difference+of+codesign+and+classical+design&tbm>
5. <https://www.google.com/search?q=design%2C+pre-design+and++co-design+&tbm>
6. <https://www.google.com/search?q=smart%20textile%20product.images&tbm=isch&tbs=ring:>

Capitolo 13 Co-progettazione di sensori intelligenti e integrazione in prodotti DPI militari

*Farima Daniela, Iovan Dragomir Alina, Bodoga Alexandra Gheorghe Asachi
Technical University, Romania*

Introduzione

Per un soldato le capacità fisiologiche e fisiche sono molto importanti per le attività svolte. Per questo motivo, queste capacità devono essere monitorate, utilizzando sistemi indossabili e abiti intelligenti [1].

I principali requisiti dell'abbigliamento intelligente [2] sono presentati nella figura 13.1

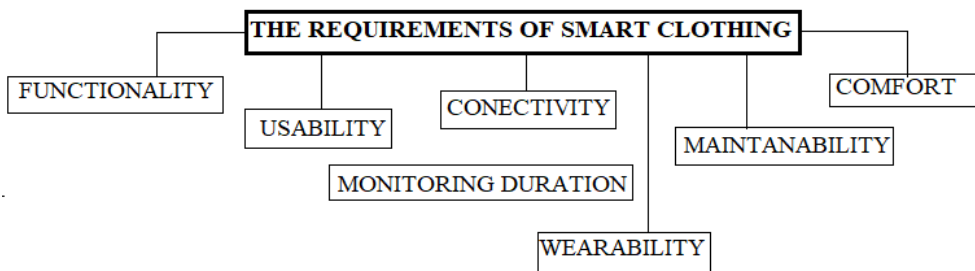


Figura 13.1 Richiede abbigliamento elegante

La Figura 13.1 mostra il requisito relativo al comfort dell'abbigliamento intelligente. Questo requisito è molto importante nell'uso delle tecnologie di monitoraggio del sistema indossabile [3].

I sistemi portatili interagiscono fisicamente, fisiologicamente e funzionalmente con il corpo umano.

I due campi coinvolti nella progettazione di un indumento intelligente sono presentati nella figura 31.2) [1].

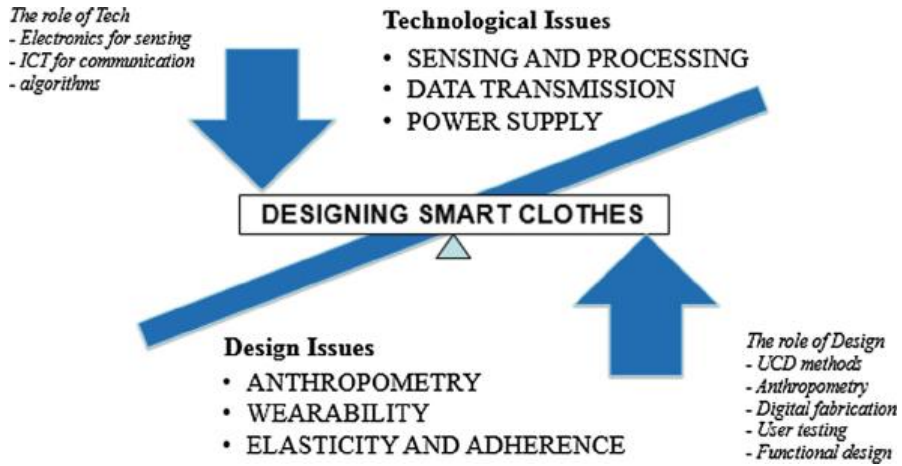


Figura 13.2 La progettazione di abiti intelligenti

Affinché il processo di progettazione funzioni senza intoppi, è necessario innanzitutto conoscere i requisiti di chi lo indossa [1] (Figura 13.3) [4].

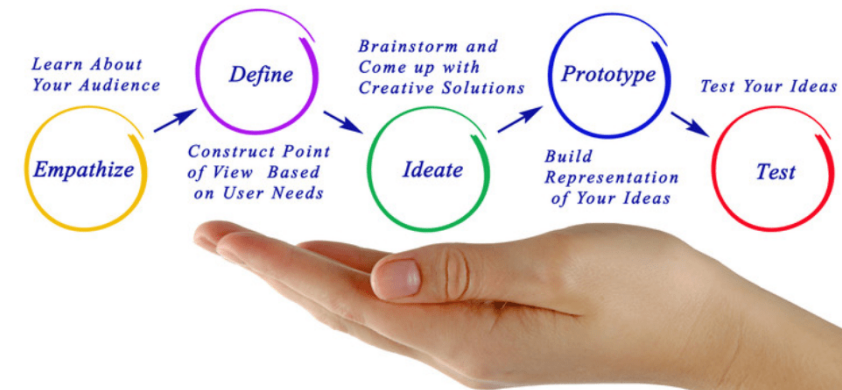


Figura 13.3 Il processo di pensiero progettuale

Sensori di deformazione

La deformazione (meccanica o termica) è dovuta a una forza, quando la lunghezza di un elemento cambia relativamente (allungamento o compressione).

Ad esempio, la deformazione meccanica viene misurata con l'ausilio di sensori, che registrano indirettamente la forza di deformazione.[5]

Dalla figura 13.4 si vede che la deformazione può essere: positiva e negativa [5]

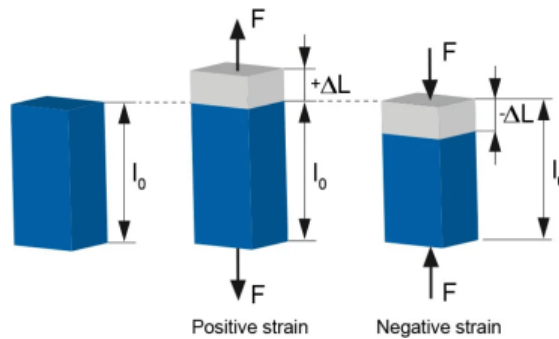


Figura 13.4I tipi di sforzo

La misura della forza con sensori di deformazione è presentata in figura 13.5 [5]

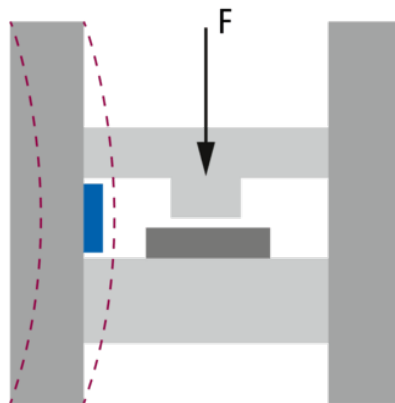


Figura 13.5 Misura indiretta della forza con sensori di deformazione

I tipi di sensore di deformazione sono presentati nelle figure 1.6, 1.7, 1.8, 1.9 [4].



Figura 13.6 Sensore di deformazione miniaturizzato



Figura 13.7 Prestazioni del sensore di deformazione



Figura 13.8 Sensore di deformazione standard



Figura 13.9 Sensore robusto per ambienti esterni difficili

Poiché questo tipo di sensore di deformazione viene applicato in uno spazio limitato, verrà utilizzato per ambienti industriali difficili oltre che come sensore plug-in passivo (figura 13.6).

Le caratteristiche delle prestazioni del sensore di deformazione (figura 13.7) [5] sono:

- ottimizzato per campi di misura piccoli e grandi;
- elettronica di amplificazione integrata per applicazioni specifiche
- applicazione interna industriale.

Nei DPI militari ci sono molti e complessi e diversi tipi di sensori (figura 13.10) [6,7]



Figura 13.10I militari del DPI

Conclusioni

La co-progettazione di sensori intelligenti e l'integrazione nei prodotti DPI militari presuppone la conoscenza dei requisiti del campo dell'indossare DPI militari e il comfort percepito da chi li indossa.



Bibliografia

1. Sofia Scataglini, Giuseppe Andreoni, and Johan Gallant, *Smart Clothing Design Issues in Military Applications*, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2019 T. Ahram (Ed.): AHFE 2018, AISC 795, pp. 1–11, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94619-1_15
2. Gilsoo, C.: *Smart Clothing: Technology and Applications*. CRC Press, Boca Raton (2009)
3. Tharion, W.J., Buller, M.J., Karis, A.J., Muller, S.P.: Acceptability of a wearable vital sign detection system. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society* (2007)
4. <https://www.baumer.com/ch/en/service-support/function-principle/function-of-strain-sensors/a/function-strain-sensors>
5. <https://www.baumer.com/ch/en/service-support/function-principle/function-of-strain-sensors/a/function-strain-sensors>
6. <https://safety.army.mil/ON-DUTY/Workplace/Personal-Protective-Equipment>
7. G. Shaw, A.M. Siegel, T. Opar, *Warfighter physiological and Environmental Monitoring: A Study for the U.S. Army Research Institute in Environmental Medicine and the Soldier Systems Center*, Computer Sci



Capitolo 14 Co-design attuatori basati su materiali sensoriali

Farima Daniela, Iovan Dragomir Alina, Bodoga Alexandra, Gheorghe Asachi
Technical University, Romania

Introduzione

Per creare materiali con maggiori prestazioni, vengono utilizzati materiali sensoriali. È necessaria l'identificazione dei materiali e la valutazione sensoriale, insieme alle specifiche tecniche (resistenza, caratteristiche prestazionali, flessibilità, elasticità, comfort) [1].

La classificazione delle sensazioni è presentata nella figura 14.1.

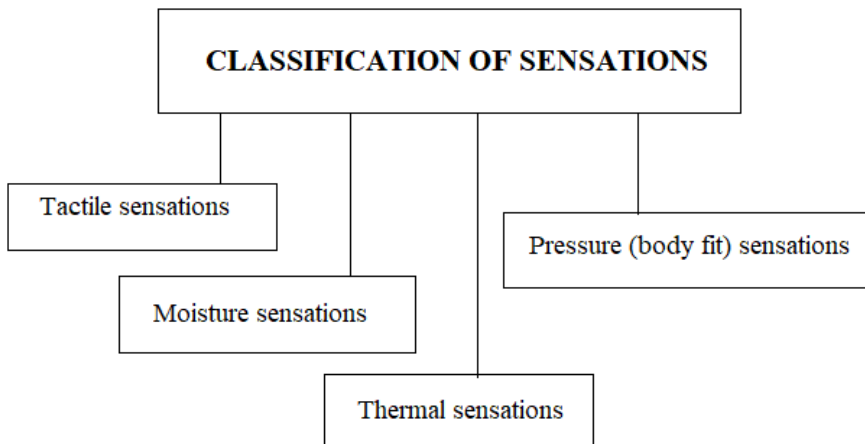


Figura 14.1 Classificazione delle sensazioni

I principali fattori che influenzano il comfort sensoriale del tessuto sono:

- Caratteristiche della fibra;
- Caratteristiche del filato;
- Caratteristiche del tessuto;
- Processi di finissaggio, metodi e tipi di tintura.

Per ottenere materiali tessili con diverse caratteristiche di comfort sensoriale è necessario scegliere, prima di tutto, la natura delle materie prime.

Il comfort sensoriale di un materiale tessile può essere migliorato applicando trattamenti chimici. Attraverso questi trattamenti si riduce l'attrito fibra-fibra, ottenendo un materiale dalla trama particolare [1].

Il tipo di filato (filato semplice, filo continuo, testurizzato, torsione, densità lineare) è molto importante per la capacità sensoriale dei tessuti.

Le proprietà di flessione, rigidità e taglio sono influenzate dal grado di torsione dei filati [2].

I fattori che influenzano il comfort sensoriale sono presentati in figura 14.2.

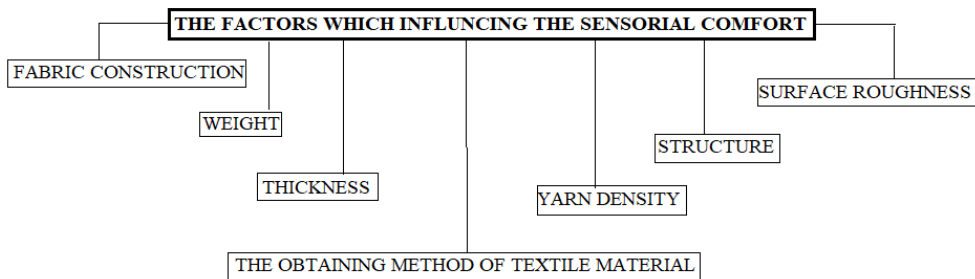


Figura 14.2 I fattori di influenza del comfort sensoriale

Per ridurre il coefficiente di attrito statico e dinamico vengono applicati trattamenti di addolcimento e irrigidimento.

Le proprietà del tessuto che influenzano il comfort sensoriale

Il comfort sensoriale dei materiali tessili è influenzato dalle loro proprietà superficiali (texture) e dalle loro proprietà meccaniche (figura 1.3, figura 1.4).

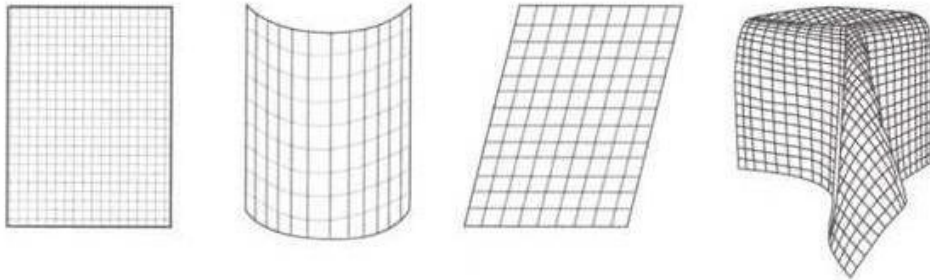


Figura 14.3 La deformazione del tessuto (Hu, 2004)

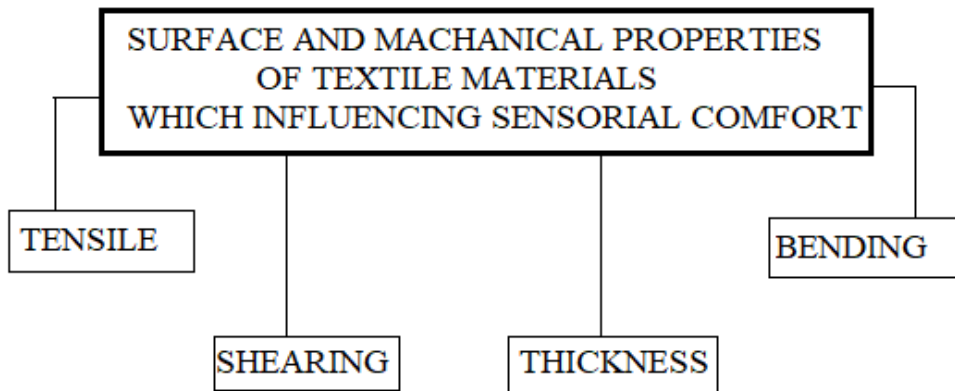


Figura 14.4I fattori di influenza del comfort sensoriale

Proprietà di trazione del tessuto

La trazione è la più importante perché, indipendentemente dal tipo di deformazione, causerà un certo movimento delle fibre e dei filati (Hu, 2004) [1].

Durante l'estensione del tessuto compaiono tre fasi:

1. L'attrito tra le fibre;
2. Orientamento del filato nella direzione di applicazione del carico;

3. La curva di estensione del carico dovuta all'estensione del filo (figura 1.5) [4].

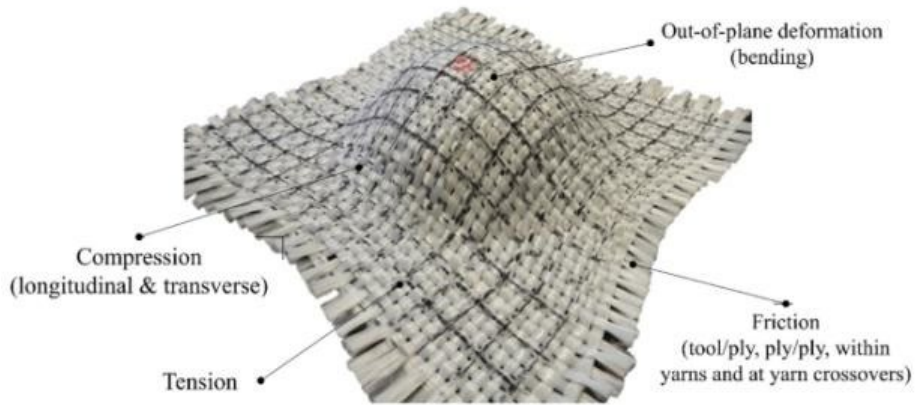


Figura 14.5 Proprietà del tessuto

Le proprietà di flessione di un tessuto (rigidità alla flessione e isteresi di flessione) sono determinate dai filati e dal trattamento di finitura del tessuto (Schwartz, 2008).

La rigidità alla flessione è definita dalla resistenza del materiale tessile alla flessione (Pavlinić & Geršak, 2003).

Taglio del tessuto

Le proprietà di taglio influenzano la capacità di gocciolamento, flessibilità e manipolazione dei tessuti (Schwartz, 2008).

Quando indossiamo gli indumenti, a causa dei movimenti del corpo, si verifica una deformazione di taglio (Hu, 2004).

Spessore e compressione dei tessuti a navetta

Il principale fattore che influenza la compressione è la struttura del tessuto (Mukhopadhyay et al., 2002).

Quando si indossa un abbigliamento, lo spessore di un tessuto offre informazioni sul suo isolamento termico, pesantezza o rigidità.

Comfort sensoriale dei tessuti

Ci sono molti attributi sensoriali della manipolazione dei tessuti (tabella 1).

Tabella 14.1 Attributi sensoriali dei tessuti

Stiffness/crispness/pliability/flexibility/limpness	Anti-drape/spread/fullness
Softness/harshness/hardness	Tensile deformation/ bending/surface friction/sheer
Thickness/bulkiness/sheerness/thinness	Compressibility
Weight/heaviness/lightness	Snugness/loosenes
Warmth/coolness/coldness (thermal characteristics)	Clinginess/flowing
Dampness/dryness/wetness/clamminess	Quietness/noisiness
Prickliness/scratchiness/roughness/coarseness/itch iness/tickliness/stickiness/	Smoothness/fineness/silkiness
Looseness/tightness	

A seconda del tipo di caratteristica, i metodi di valutazione sono approcci oggettivi o soggettivi.

Conclusioni

I materiali sensoriali sono caratterizzati dalla loro capacità di auto-rilevamento e risposta attiva. Grazie alle capacità adattive e sensoriali, questi materiali saranno utilizzati sempre di più per ottenere prodotti di abbigliamento multifunzionali.

Per descrivere la maniglia in tessuto si possono utilizzare i seguenti termini [ASTM Standard D123 (2003)]:

- la flessibilità si riferisce alla facilità di piegatura;
- la densità descrive la massa/unità di volume;
- la resilienza è la capacità di riprendersi dalla deformazione;
- la compressibilità consiste nella facilità di schiacciamento;



- l'estensibilità per riferirsi alla facilità di allungamento;
- la superficie è caratterizzata da resistenza allo scivolamento;
- il contorno della superficie – divergenza della superficie dal piano del tessuto;
- il carattere termico definito dall'apparente differenza di temperatura tra tessuto e pelle.

La conoscenza fondamentale delle relazioni tra la struttura e le proprietà di questi materiali è la chiave del successo nell'ottenere nuovi prodotti multifunzionali.

Bibliografia

1. Gonca Özçelik Kayseri, Nilgün Özdil and Gamze Süpüren Mengüç, *Sensorial Comfort of Textile Materials*, <https://www.intechopen.com/chapters/36908>
2. Shanmugasundaram, 2008
3. Namligöz et al, 2008
4. Reza Sourki, Bryn Crawford, Reza Vaziri, Abbas S. Milani, *Orientation Dependency and Hysteresis Nature of Inter-Ply Friction in Woven Fabrics, Applied Composite Materials* volume 28, pages113–127 (2021)

Capitolo 15 Legislazione nazionale ed europea in materia di prodotti intelligenti, sensoriali e indossabili

Veronica Guagliumi, Ciape, Italia

Raccomandazioni politiche

Diverse raccomandazioni politiche possono essere formulate sulla base dell'analisi dei driver e degli ostacoli che possono contribuire a creare un ambiente aziendale più favorevole allo sviluppo e all'adozione della tecnologia indossabile. Gli imprenditori che operano nel campo della tecnologia indossabile potrebbero beneficiare di un quadro normativo più adatto alle loro esigenze, in particolare per quanto riguarda i problemi di privacy associati alla raccolta e all'archiviazione dei dati personali da parte dei dispositivi indossabili. [1].

Inoltre, il miglioramento della regolamentazione dei costi di roaming dei dati mobili potrebbe portare a una maggiore adozione della tecnologia indossabile. Infine, i responsabili politici potrebbero incoraggiare l'integrazione della tecnologia indossabile nei dispositivi medici per promuoverne lo sviluppo e l'adozione. [2]

Adattamento del quadro normativo alla tecnologia indossabile

Con l'aumento del numero di dispositivi personali, l'archiviazione e la privacy dei dati stanno diventando sempre più importanti. Tuttavia, l'attuale quadro normativo in Europa potrebbe non essere attrezzato per gestire le complesse questioni di privacy che potrebbero derivare da questi sviluppi. Le aziende e le organizzazioni pubbliche possono archiviare a tempo indeterminato i dati personali raccolti dai dispositivi tecnologici indossabili nei cloud digitali per l'analisi dei modelli dei dati dei clienti. [3] Mentre le compagnie di assicurazione sanitaria premiano i loro partecipanti per l'utilizzo di dispositivi tecnologici indossabili che migliorano la salute, l'archiviazione permanente dei dati può anche generare la possibilità di utilizzare in modo improprio i dati raccolti. La direttiva 95/46/CE sulla protezione dei dati personali e il relativo movimento dovrebbe essere riesaminata per determinare se i dati raccolti tramite dispositivi indossabili siano adeguatamente coperti dall'attuale quadro normativo. Inoltre, il crescente utilizzo della tecnologia durante la guida, inclusi smartphone e smartwatch, è una delle principali cause di distrazione del conducente e di incidenti prevenibili. [4] Le leggi e le regolamentazioni devono essere riviste per includere l'uso di dispositivi indossabili

durante la guida, in quanto anche i dispositivi a mani libere possono ridurre la capacità del conducente di reagire a situazioni pericolose in strada.

È probabile che l'industria della moda subirà l'impatto del nuovo quadro normativo dell'RGPD, poiché i dispositivi indossabili e l'abbigliamento intelligente acquisiranno maggiore importanza negli anni a venire. Mentre alcuni problemi di protezione dei dati sono comuni a tutte le aziende e ai dispositivi moderni, altri sono esclusivi dei dispositivi indossabili. In particolare, la gestione dei big data di clienti e lavoratori [5] raccolti attraverso questi dispositivi, la profilazione e l'attività commerciale volta a raffinare questi dati, costituiranno un problema importante in futuro. Sebbene questo elemento non sia limitato all'industria della moda, la stretta relazione tra dati e individuo sarà un tratto distintivo del rapporto tra moda e sicurezza dei dati. Per la prima volta, l'abbigliamento dell'utente fungerà anche da sensore e raccoglierà una grande quantità di dati in tempo reale, che possono essere considerati invadenti e che richiedono una regolamentazione legale. La sensibilità dei dati deve essere presa in considerazione non solo per il loro valore commerciale, ma anche per la loro stretta associazione con l'individuo. Lo sviluppo di una politica di sicurezza e di privacy specifica per l'industria della moda sta diventando sempre più importante, proprio come lo è in altri settori come banche, assicurazioni, telecomunicazioni e governo.

L'obiettivo è implementare una politica in grado di affrontare efficacemente le violazioni della sicurezza dei dati. Questa politica comporterebbe la comprensione di ciò che costituisce una violazione dei dati, inclusi difetti interni o debolezze che potrebbero causare la diffusione incontrollata dei dati.

Una volta rilevata una violazione, è essenziale agire rapidamente e fornire le informazioni necessarie per valutare la gravità della situazione, consentendo al contempo una comunicazione trasparente con le autorità di regolamentazione e i clienti. Anche limitare i danni è fondamentale e una soluzione consiste nell'utilizzare dati anonimi o crittografati. [6]

È importante capire come gestire i dati all'interno dell'azienda, in particolare quando si tratta di analizzare il comportamento e le preferenze dei clienti nelle interazioni offline e online. Le tecnologie mobili sono particolarmente rilevanti, poiché i dati raccolti attraverso di esse possono essere integrati nell'intelligenza artificiale per offrire consigli personalizzati. [7]

Mentre molte case di moda stanno assumendo data scientist per analizzare questi dati, è necessario concentrarsi sull'assunzione di professionisti legali e di sicurezza informatica. La sfida è che la vera anonimizzazione è sempre più difficile, poiché le tecnologie indossabili raccolgono dati intimi relativi al comportamento e alla salute di una persona, rendendoli uno strumento senza precedenti dall'enorme potenziale pubblicitario. [8]

Regolamentazione dei costi di roaming

Per aumentare l'utilizzo di dispositivi indossabili tramite la connettività internet mobile, è fondamentale ridurre le tariffe di roaming in Unione europea (UE) e in altre parti del mondo. Secondo i rapporti, i fornitori di rete realizzano profitti elevati con margini fino al 90%. [9] Per affrontare questo problema, la Commissione europea ha implementato il tetto dell'eurotariffa, che ha portato a una riduzione dell'80% dei prezzi per chiamate telefoniche, SMS e dati rispetto al 2007. Il Parlamento europeo ha anche votato per vietare completamente le tariffe di roaming a partire dal dicembre del 2015. [10] Nonostante queste misure, è necessario esercitare ulteriori pressioni sui fornitori di telecomunicazioni affinché adeguino le tariffe di roaming globale.

Incoraggiare l'integrazione della tecnologia indossabile nei dispositivi medici

I sistemi sanitari di tutto il mondo stanno affrontando sfide significative a causa dell'aumento dei costi e della domanda, insieme ai progressi nel trattamento di condizioni complesse. La quota crescente del PIL [2] destinata all'assistenza sanitaria è insostenibile e la tecnologia potrebbe costituire la soluzione più praticabile per affrontare questa sfida. I responsabili politici possono promuovere l'integrazione della tecnologia indossabile nei dispositivi medici, consentendo agli imprenditori di passare dalla fornitura di elettronica di consumo a dispositivi medici regolamentati che offrono dati accurati e possono essere integrati nelle cartelle cliniche dei pazienti. [3] I responsabili politici possono anche incoraggiare dimostrazioni del valore della tecnologia indossabile nei dispositivi medici per convincere gli operatori sanitari e gli assicuratori dei vantaggi che offrono. Tuttavia, il quadro normativo deve essere sufficientemente flessibile da promuovere una rapida innovazione salvaguardando al tempo stesso la salute pubblica, mentre le affermazioni fatte dai fornitori di dispositivi indossabili o dagli sviluppatori di app devono essere esaminate a fondo, poiché solo una piccola parte delle app sanitarie

che affermano di trattare o curare problemi medici è stata testata o approvata clinicamente. [11]

Conclusioni

La prima conclusione tratta è che è fondamentale elaborare i dati in modo da mantenere l'anonimato. Il secondo aspetto chiave è la crittografia dei dati, che costituisce lo strumento tecnologico più efficace per salvaguardare i dati raccolti, in particolare quando si comunica con le aziende della moda tramite dispositivi indossabili. L'RGPD e altri standard sottolineano l'importanza di proteggere i clienti che utilizzano tali dispositivi. Inoltre, Allday individua quattro aree di interesse che collegano i dispositivi indossabili, le migliori prassi per la sicurezza informatica e l'RGPD. La prima area consiste nel garantire che i membri del personale siano consapevoli di ciò che costituisce una violazione dei dati e di come prevenirla e segnalarla [12]. La seconda area riguarda il miglioramento della gestione delle relazioni con i clienti per fornire un punto di contatto umano per i clienti con domande e per mantenere il coinvolgimento. Le violazioni dei dati rappresentano la maggiore minaccia per i dati raccolti dai dispositivi indossabili, pertanto è essenziale adottare misure in grado di prevenirle.

Il secondo aspetto discusso in questo contesto riguarda la protezione dei dati del consumatore, di cui inoltre si discute in molti regolamenti e requisiti dell'RGPD. È fondamentale essere trasparenti con i clienti sui loro diritti, su come richiedere maggiori informazioni e su come far cancellare i loro dati. La trasparenza e l'onestà sono essenziali per fidelizzare i clienti e garantire la loro sicurezza su Internet, soprattutto alla luce di scandali passati, come Cambridge Analytica e Facebook. È inoltre importante rispondere tempestivamente a tutte le richieste dei clienti riguardo ai dati, in particolare le richieste di rimozione delle informazioni. Infine, il marketing e la pubblicità sui social media dovrebbero concentrarsi sulla fornitura di contenuti personalizzati che coinvolgano i singoli clienti senza compromettere i loro dati o sfruttarli. È importante bilanciare la necessità di proteggere i dati e la necessità del trattamento degli stessi.

Bibliografia

1. PwC, 2014, The Wearable Future, Consumer Intelligence Series, Available at: http://www.pwc.com/es_MX/mx/industrias/archivo/2014-11-pwc-the-wearable-future.pdf [Accessed on 20 December 2014].
2. MD+DI, 2015, Wearable Tech Regulated as Medical Devices Can Revolutionize Healthcare, Available at: [Wearable Tech Regulated as Medical Devices Can Revolutionize Healthcar \(mddionline.com\)](http://www.mddionline.com)
3. Business Innovation Observatory case study 46 on Smart Health, ef. Ares (2015)4620622 - 27/10/2015: Diederik Verzijl & Kristina Derojeda, PwC Netherlands and Laurent Probst & Laurent Frideres, PwC Luxembourg.
4. Smartwatches are a bigger distraction to drivers than mobile phones - Pierre-Majorique Léger, HEC Montréal and Sylvain Senecal, RSC College of New Scholars, HEC Montréal May 19, 2021.
5. (Allery 2019) Allery, Charlotte 2019. Wearable Technology in the Workplace and Data Protection Law, retrieved from ComputerWeekly.com, February.
6. Ziccardi, G., 2020. Werable technologies and smart clothes in the fashion business: some issues concerning cybersecurity and data protection. *Laws*, 9(2), p.12.
7. Luce, Leanne. 2019. Artificial Intelligence for Fashion: How AI is Revolutionizing the Fashion Industry. San Francisco: Apress.
8. Kamarinou, Dimitra, Millard Christopher, and Singh Jatinder. 2016. Machine Learning with Personal Data. Queen Mary School of Law Legal Studies Research Paper No. 247/2016. Amsterdam: Elsevier.
9. eWeek, 2015, -Mobile eSIM Cuts Data Roaming Fees for Connected Devices, Michelle Maisto - February 18, 2014.
10. European Commission, 2015, Mobile roaming costs, [End of roaming charges: Council confirms agreement with EP - Consilium \(europa.eu\)](http://europa.eu)
11. Many health apps are based on flimsy science at best, and they often do not work By Rochelle Sharpe | New England Center for Investigative Reporting - November 12, 2012.
12. (Allday 2018) Allday, Florence 2018. Is the Fashion Industry ready for GDPR? London: Euromonitor International. Available online: <https://blog.euromonitor.com/fashion-industry-ready-gdpr/> (accessed on 25 May 2018).

Capitolo 16 Analisi sintetica: tessuti, sensori, dispositivi indossabili

Ioannis Chronis, Georgios Priniotakis, Athanasios Panagiotopoulos UNIWA, GRECIA

Introduzione

Il tessile intelligente è un nuovo settore che sembra stia per raggiungere la sua fase di maturità. Finora il settore si è dedicato allo sfruttamento dei progressi dell'elettronica e delle comunicazioni, senza però riuscire ad integrarli in un prodotto che soddisfi i requisiti di un tessuto. I prototipi stanno diventando sempre più "tessuti", grazie allo sviluppo di nuovi materiali tessili conduttivi e/o con funzioni intrinseche.

Analisi dei tessuti intelligenti

I dispositivi indossabili sono indumenti o accessori per il corpo umano che possono svolgere alcune funzioni. Sotto questo aspetto, il modello per un tessuto indossabile dovrebbe essere un'integrazione di un indumento o di un accessorio, con il modello classico di un sistema di automazione:

- Dispositivi di input del segnale: sensori
- Microcontrollore di elaborazione dell'input (dati), PCB, smartphone
- Segnale di output: attuatori, LED, schermi, input (segnale) a un'applicazione software
- Archiviazione dati: smartphone, cloud tramite app
- Comunicazione tra le parti: elettronica, wireless, ottica
- Alimentazione: batteria, pannelli fotovoltaici, cinetica, triboelettrica

Tutte le parti di cui sopra dovrebbero essere integrate perfettamente, per quanto possibile. Infatti, l'evoluzione dei tessuti intelligenti è suddivisa in tre categorie, a seconda del livello di integrazione delle parti sul prodotto. Nella prima e nella seconda generazione dei tessuti intelligenti, questi erano semplici indumenti con materiali attivi discreti o dispositivi elettronici convenzionali attaccati all'indumento. Il tessuto dovrebbe poter essere il substrato che ospiterà le altre parti, o almeno alcune di esse. Questa configurazione ha dato vita ad alcuni prodotti come l'iconica giacca Levi's® Trucker [1] e diversi prodotti per la raccolta di dati biometrici (gilet intelligenti), ma non ha generato un grande successo.

Un'altra tecnologia abbastanza di successo e tipica di questa generazione è rappresentata dagli ecosistemi di Arduino [2] e Adafruit [3]: piccole CPU (schede) e

sensori facilmente programmabili in un semplice ambiente di sviluppo integrato (IDE).

La terza generazione, in cui i componenti funzionanti sono integrati nell'indumento senza soluzione di continuità, sembra promettente.

È vero che finora non esiste un mercato per i tessuti intelligenti. Qian Xu et al. [4], sulla base dei dati dei brevetti, hanno analizzato il metodo di analisi del ciclo di vita della tecnologia e della rete. Lo studio ha rivelato che la convergenza tecnologica nei tessuti intelligenti raggiungerà il suo apice nel 2030, il che significa che il settore sta ora raggiungendo la sua fase matura. Inoltre, questo studio presenta i principali settori tecnologici coinvolti nell'ambito dei tessuti intelligenti: elettronica (il settore trainante), ingegneria meccanica e chimica, informatica e design del prodotto.

Nei recenti prototipi e prodotti, molte delle parti di cui sopra sono state sostituite dallo smartphone, dato che esso può fornire l'archiviazione dei dati e l'elemento di elaborazione dei dati e lo schermo può fungere da dispositivo di output.

Un'incompatibilità è fondamentale nei dispositivi indossabili: devono essere flessibili come lo sono gli indumenti, ma l'elettronica è dura. Ciò influisce principalmente sull'aspetto estetico, poiché danno l'immagine di un indumento strano. Questo riguarda anche il comfort dell'articolo. La soluzione a questo problema può essere la progettazione e la produzione di parti elettroniche tessili o l'inserimento di microelettronica (o anche nano) nel substrato tessile. Entrambe le opzioni sono state applicate a prototipi e prodotti e ambedue possono dare risultati promettenti, ma il problema della mancanza di metodi di produzione di massa non è ancora stato risolto.

Heitor Luiz Ornaghi Junior et al. [5] forniscono una panoramica completa dei metodi e dei materiali che sono stati applicati alla produzione di prodotti tessili intelligenti. Secondo questo documento, le principali categorie di fabbricazione sono:

- Utilizzo di filati tessili conduttivi
- Tessitura e maglieria
- Ritocchi finali sul tessuto, dove una capacità specifica è incorporata nel tessuto dopo la fabbricazione

Le principali categorie di tessuti intelligenti sono:

- Tessuti intelligenti che cambiano colore
- Tessuti per il controllo della temperatura
- Tessuti a memoria di forma

➤ Tessili elettronici

Un modello di design per tessuti intelligenti

Le caratteristiche richieste in un dispositivo indossabile sono il comfort, la protezione, la durata, la lavabilità e un'estetica alla moda. Tuttavia, la loro progettazione prevede molti più requisiti.

Il modello di progettazione di un dispositivo indossabile è piuttosto complicato, ma non è stato ancora definito. Un buon modello è quello proposto da Francés-Morcillo et al, [6], che consolida i requisiti di progettazione in un modello di ruota di 9 gruppi. Oltre a quelli fisici, il modello introduce i requisiti dell'ergonomia e dell'interazione dell'utente, che ne rappresentano l'aspetto innovativo. Il modello di ruota è mostrato nella figura 16.1 sottostante. Va detto però che ciò che manca a questo modello è il nuovo aspetto dell'eco-progettazione, che sta diventando sempre più importante e che prima o poi costituirà un requisito obbligatorio per i dispositivi indossabili, nonché per l'elettronica e gli indumenti.

Il modello di ruota manca è privo un altro requisito, ovvero la producibilità, un aspetto molto importante perché riguarda la commercializzazione di tessuti intelligenti, che non è ancora una realtà. Sono necessari metodi di produzione automatizzati, che garantiscano affidabilità e una produzione di massa a costi accessibili. È molto probabile che nuove tecniche di produzione tessile, come la lavorazione a maglia 3D e la stampa 3D convenzionale, prenderanno piede al posto di quelle a breve termine. In ogni caso, il prodotto deve essere progettato di conseguenza e devono essere sviluppati materiali adeguati (fili conduttivi flessibili e leggeri). Finora e secondo le nostre conoscenze, gli sforzi per ottenere nuovi materiali innovativi puntano a nuove funzioni e comfort, mentre tralasciano l'elemento della producibilità. Per questo motivo, i tessuti intelligenti non esistono oltre il livello 2 di Maturità tecnologica, che delinea essenzialmente i prototipi [7].

È chiaro che ciò richiede un team di progettazione multidisciplinare. Finora i capi sono stati progettati da stilisti di moda, ponendo l'attenzione su costi, estetica e comfort. D'altra parte, i tessuti sono progettati da ingegneri che mirano alla funzionalità e all'affidabilità della funzione. La distanza tra questi due team di designer è descritta molto bene dal termine *"United Intention with Divided Focus"* (*"Intenzione comune, obiettivo diverso"*) di Rebecca R. Ruckdashel, et al. [7]

Ad esempio, Natascha M. van der Velden et al. [8] evidenziano l'importanza della selezione dei materiali. Come esempi di materiali a ridotto impatto ambientale e con un carattere più ecologico, suggeriscono il rame per i conduttori l'acrilico per il substrato.

Conclusion

Un'analisi sintetica dei tessuti intelligenti rivela che non esiste un paradigma stabilito per la loro progettazione e la loro produzione. Il settore è guidato da significativi progressi disponibili nei materiali e nelle tecnologie intelligenti, ma è anche limitato dalla mancanza di un'integrazione efficiente in un prodotto tessile. I tessuti elettronici possono rappresentare una soluzione a questo problema, purché siano disponibili anche tecnologie di fabbricazione e produzione di massa.



Figure 3. Wearable design requirements wheel model.

Figura 16.1 Wheel model dei requisiti di progettazione indossabile [6]



Bibliografia

1. Jacquard, available by <https://atap.google.com/jacquard/>, accessed 3/4/2023.
2. Arduino, 2023, available by <https://www.arduino.cc/>, accessed 3/4/2023.
3. Adafruit, 2023, <https://www.adafruit.com/>, accessed 3/4/2023.
4. Xu, Q.; Yu, Y.; Yu, X., 2022, Analysis of the Technological Convergence in Smart Textiles. *Sustainability* 2022, 14, 13451. <https://doi.org/10.3390/su142013451>.
5. Júnior, Heitor Luiz Ornaghi, Roberta Motta Neves, Francisco Maciel Monticeli, and Lucas Dall Agnol. 2022. "Smart Fabric Textiles: Recent Advances and Challenges" *Textiles* 2, no. 4: 582-605. <https://doi.org/10.3390/textiles2040034>.
6. Francés-Morcillo, Leire, Paz Morer-Camo, María Isabel Rodríguez-Ferradas, and Aitor Cazón-Martín, 2020. "Wearable Design Requirements Identification and Evaluation" *Sensors* 20, no. 9: 2599. <https://doi.org/10.3390/s20092599>.
7. Ruckdashel, Rebecca R., Ninad Khadse, and Jay Hoon Park. 2022. "Smart E-Textiles: Overview of Components and Outlook" *Sensors* 22, no. 16: 6055. <https://doi.org/10.3390/s22166055>.
8. Natascha M. van der Velden, Kristi Kuusk, Andreas R. Köhler, 2015, Life cycle assessment and eco-design of smart textiles: The importance of material selection demonstrated through e-textile product redesign, *Materials & Design*, Volume 84, 2015, Pages 313-324, ISSN 0264-1275, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.06.129>.

Capitolo 17 Dinamiche di mercato per i tessuti basati sull'elettronica intelligente

Veronica Guagliumi, Ciape, Italia

Potenzialità del mercato

La crescita del mercato dei tessuti intelligenti è determinata dalla tendenza alla miniaturizzazione dell'elettronica e dalla crescente integrazione dei tessuti intelligenti nei dispositivi indossabili. Nei settori della salute e dello sport, i tessuti intelligenti vengono utilizzati più frequentemente per monitorare le vibrazioni muscolari, regolare la temperatura corporea e proteggere dai pericoli. Lo sviluppo di componenti elettronici compatti come sensori, batterie e pannelli di controllo ha anche reso più semplice l'integrazione di tessuti intelligenti in dispositivi indossabili ed elettronici. Inoltre, il settore della difesa sta introducendo più prodotti, il che contribuisce anche alla crescita del mercato. [1]

Si prevede che i dispositivi sanitari indossabili, che consentono ai consumatori di tenere traccia delle informazioni sanitarie vitali sia all'interno sia all'esterno degli ospedali, rimarranno un settore importante favorito dalla connettività cellulare. [2]

Si prevede inoltre che il mercato del tessile intelligente raggiungerà i 30,45 miliardi di dollari entro il 2029, con un tasso di crescita annuo del 28,4%, in particolare nel settore del tessile attivo/ultra-intelligente. [3]

Il settore nordamericano del tessile intelligente ha dominato il mercato nel 2021, spinto dalla forte domanda in vari settori come quello militare, protezione, sanità, fitness e sport, in particolare negli Stati Uniti. La regione ospita degli importanti produttori di tessuti intelligenti come DuPont (USA), Gentherm (USA), Sensoria (USA), Alphabet (USA) e Jabil (USA), che stanno contribuendo attivamente alla crescita del mercato. I principali attori come Google, Apple, Samsung, Qualcomm e Microsoft sono già fortemente coinvolti nel settore delle tecnologie indossabili, in particolare nel settore della salute e del fitness. Con gli attuali sviluppi del settore, il settore della tecnologia indossabile dovrebbe essere caratterizzato da un'intensa concorrenza. Un recente studio di ABI Research mostra che il numero di dispositivi indossabili spediti nel mondo nel 2020 ha raggiunto quota 259,63 milioni, di cui 112,15 milioni di tracker per sport, fitness e benessere e 74,30 milioni di smartwatch. Il mercato delle cuffie wireless, il principale accessorio smart, ha raggiunto i 502,7 milioni di spedizioni entro la fine del 2021 e si prevede che

supererà i 700 milioni entro il 2026, con un tasso di crescita annuale composto (CAGR) del 7,6%. [4]

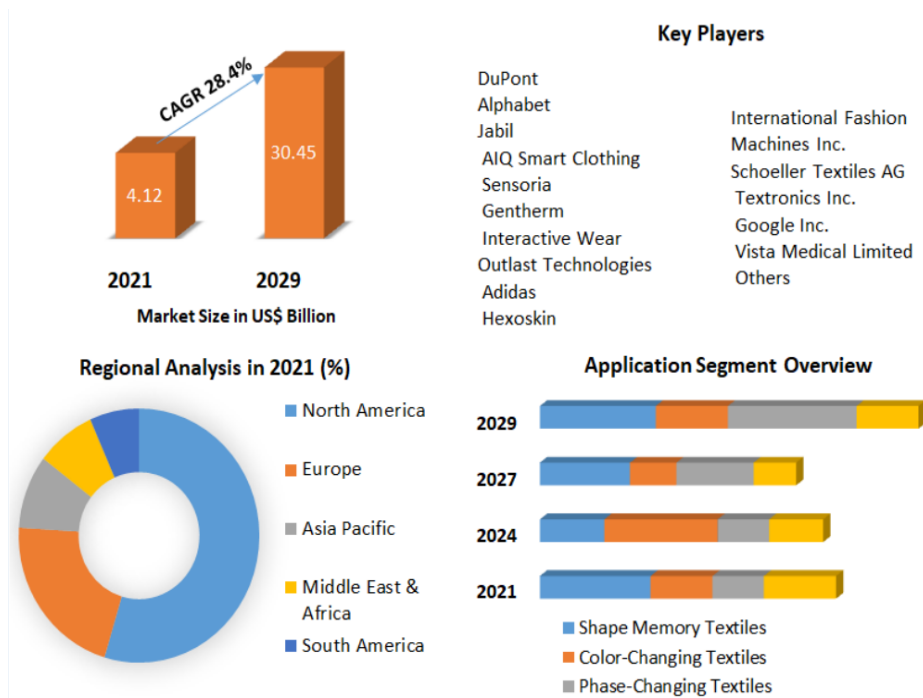


Figura 17.1. Mercato globale dei tessuti intelligenti – Ma Maximise Market ResearchPVT. LTD. [2]

Potenziali sociali

I dispositivi indossabili hanno una serie di vantaggi socioeconomici che abbracciano diversi settori. Ad esempio, questi dispositivi possono essere utilizzati come strumenti di formazione per facilitare l'inserimento di nuovi dipendenti. Nel settore retail, i dispositivi indossabili possono migliorare i servizi di vendita aumentando la velocità degli acquisti, mentre in quello manifatturiero possono supportare il processo produttivo fornendo strumenti di orientamento gratuiti. I dispositivi indossabili possono anche migliorare l'accuratezza delle informazioni e razionalizzare le procedure nel settore sanitario, accelerare le sperimentazioni cliniche e ridurre i costi medici se utilizzati insieme alle attrezzature per il fitness e ai giusti incentivi per incoraggiare gli utenti a fare esercizio. Tutti questi esempi



evidenziano come la tecnologia indossabile possa avvantaggiare sia le aziende sia gli utenti.

Si prevede inoltre che l'adozione diffusa di dispositivi indossabili creerà nuove opportunità di lavoro. Uno studio condotto da Wanted Analytics ha rilevato che, a maggio 2014, erano attivi 1.018 annunci di lavoro specificamente correlati alla tecnologia indossabile, con un aumento del 150% rispetto a maggio 2013. La domanda di esperti di tecnologia indossabile proveniva principalmente da aziende con sede negli Stati Uniti e la maggior parte delle offerte di lavoro relative a questa tecnologia provenivano da Intel. Anche Nike, Zoll e Microsoft risultavano tra le aziende con la più alta domanda di candidati qualificati nella tecnologia indossabile. Il sondaggio ha rilevato che la maggior parte delle offerte di lavoro riguardava sviluppatori di software e web, responsabili del marketing e ingegneri elettrici. Attualmente, i responsabili marketing con esperienza nei dispositivi indossabili sono i più ricercati e relativamente difficili da reclutare rispetto agli sviluppatori di software e agli ingegneri elettrici. [6]

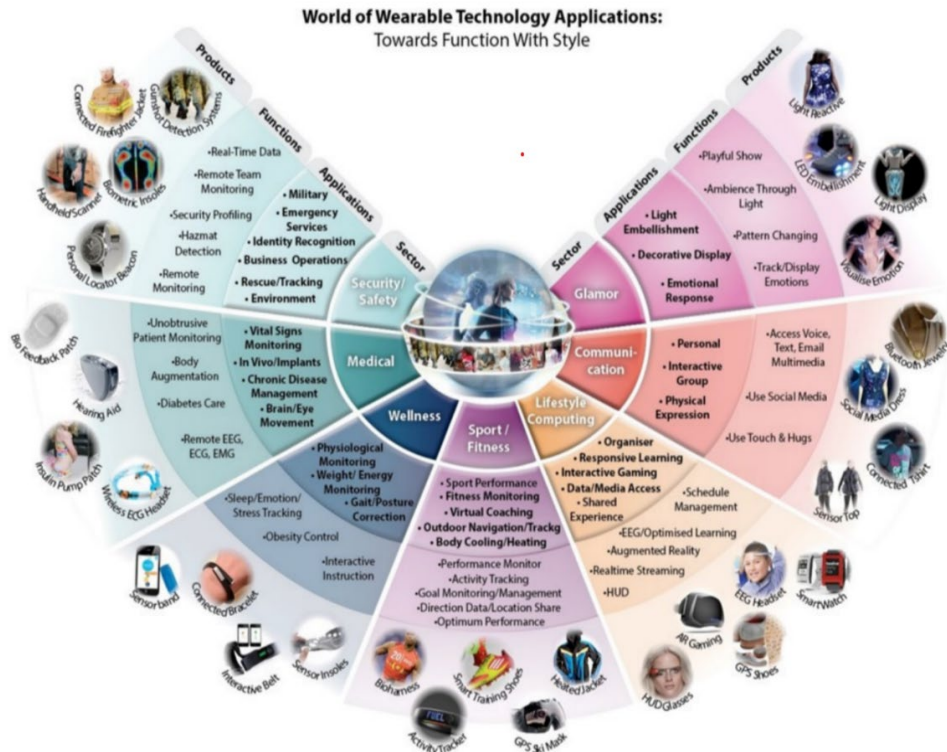


Figura 17.2. Applicazioni della tecnologia indossabile nel mercato di consumo - Beecham Research Ltd. [5]

L'integrazione della tecnologia indossabile sta guidando l'innovazione in settori tradizionali come la moda e la gioielleria. In passato, l'obiettivo principale dei gioielli era quello di avere un bell'aspetto, mentre la funzionalità veniva spesso trascurata. Tuttavia, con l'emergere di dispositivi indossabili come i fitness tracker Jawbone e gli occhiali abilitati Wi-Fi GlassUp, i gioielli tradizionali stanno affrontando la concorrenza. Sebbene non sia chiaro se gli smartwatch sostituiranno completamente gli orologi tradizionali, è evidente che sia gli orologiai tradizionali sia i nuovi concorrenti come Apple si contendono il posto al polso dei consumatori. [7]

Di conseguenza, le aziende per competere devono sviluppare delle strategie efficaci, come incorporare la tecnologia indossabile nei loro prodotti o enfatizzare la funzionalità rispetto all'estetica. [8]

La convergenza di moda, gioielleria e tecnologia indossabile potrebbe anche portare a nuove partnership tra produttori di moda e gioielleria e fornitori di tecnologia indossabile. Ad esempio, Nike ha già creato una linea di abbigliamento sportivo che integra la tecnologia indossabile, consentendo l'interazione con smartphone e lettori MP3.

Dinamiche della catena del valore

La catena del valore dei tessuti intelligenti comprende tre industrie, vale a dire quella tessile, quella delle ICT (Tecnologie dell'informazione e della comunicazione) e quella elettronica, ciascuna con attori diversi. Pertanto, i partenariati intersettoriali sono essenziali per combinare competenze e strategie. Le aziende tessili spesso mancano di conoscenze specialistiche in elettronica, il che ostacola la loro partecipazione attiva all'espansione dell'industria tessile intelligente.

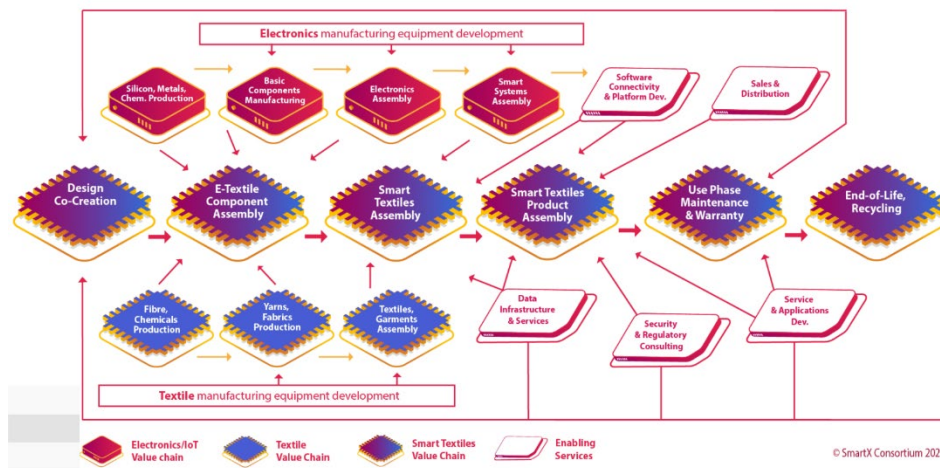


Figura 17.3. Catena del valore tessile intelligente. Consorzio SmarteX 2021 (9)

I partner di SmarteX Europe hanno sviluppato una mappa completa della catena del valore dei tessuti intelligenti, come mostrato nella figura 17.3. Questa catena del valore intersettoriale include i componenti hardware, software, tessili e del prodotto finale. I dispositivi o sistemi intelligenti vengono creati unendo i prodotti tessili intelligenti e un software aggiuntivo. Questi dispositivi fanno parte di una

"rete intelligente" più ampia che consiste in dispositivi intelligenti interconnessi, che utilizzano dati archiviati nel cloud per la sicurezza, l'analisi dei dati e l'elaborazione. Queste reti e questi dispositivi vengono quindi integrati in "applicazioni intelligenti". [9]

Si prevede che il mercato dei dispositivi indossabili crescerà rapidamente, con una spesa stimata di 21,5 miliardi di euro in compositi e materiali per la tecnologia indossabile entro il 2025. [10]

Le imprese che cercano di conquistare maggiori quote di mercato dovranno sviluppare nuovi design che offrano i vantaggi di dispositivi più piccoli, flessibili e comodi che possono essere indossati con discrezione o addirittura impiantati, realizzati con materiali trasparenti o progettati per il monouso. La capacità di raccogliere e immagazzinare energia sarà anche un aspetto importante nei futuri progetti per i dispositivi indossabili. Lungo la catena del valore, il rapporto tra fornitori di soluzioni di prodotto e fornitori di servizi sta avendo un impatto significativo sul settore. Ad esempio, i ritardi nel lancio di Google Glass e del suo ecosistema di app hanno portato molti sviluppatori di app ad abbandonare i loro progetti e a cercare alternative come GlassUp. [11]

Le dinamiche della catena del valore possono essere indicate anche dall'interconnessione tra la rete dati mobile e i fornitori di soluzioni di prodotto. A differenza degli smartphone, in genere i produttori di prodotti indossabili o i fornitori di servizi integrano nelle loro soluzioni le disposizioni di rete per i servizi di dati mobili. Di conseguenza, i fornitori di soluzioni e i fornitori di rete negoziano il prezzo del trasferimento dei dati. Yepzon, l'azienda finlandese responsabile del dispositivo indossabile per la localizzazione dei bambini, ne fornisce un buon esempio. Utilizzando la tecnologia machine-to-machine (m2m) [12], Yepzon gestirà gli abbonamenti per i suoi prodotti in tutti i mercati, consentendo al gruppo Yepzon di entrare in nuovi mercati e gestire volumi sostanziali di abbonamenti attraverso un'unica interfaccia utente. La piattaforma consente inoltre a Yepzon di offrire un unico dispositivo interconnesso che funzionerà negli Stati Uniti, in Russia e in tutta l'Europa. Inoltre, le due più grandi piattaforme applicative, Android e iOS, stanno gareggiando per diventare la piattaforma principale per la creazione di app, proprio come hanno fatto per i mercati dei tablet e dei dispositivi mobili. Poiché la domanda di un gadget indossabile dipende in parte dalle app che lo utilizzeranno, questo potere ha un impatto sugli attori a monte e a valle della catena del valore.

Conclusioni

Ci si aspetta che il settore dei tessuti intelligenti cresca nei prossimi anni, principalmente trainato dal segmento dei tessuti attivi/ultra-intelligenti. I settori della sanità, militare e dello sport rappresentano i settori in cui la domanda è più elevata.

Per sostenere questa tendenza, è importante costruire nuove e più solide partnership per facilitare l'integrazione di componenti tessili, ICT ed elettronici e creare economie di scala.

Sostenere la crescita del mercato dei tessuti intelligenti non solo consentirà la creazione di nuovi posti di lavoro altamente qualificati, ma creerà anche importanti esternalità sociali, come possibilità di formazione, miglioramento dei servizi di vendita e precisione delle informazioni.

Bibliografia

1. Smart Textiles Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2022 - 2027 - imarcgroup.com.
2. ABI Research 5G wearable devices and accessories will enter the market by 2023, though attach rates to remain low until 2026 – Jan 2022.
3. Smart Textile Market: Global Challenges, Market Analysis and Forecast 2029 - www.maximizemarketresearch.com.
4. SABI Research - Mobile Accessories and Wearables Market Share and Forecasts – 10 Dic 2021.
5. Beecham Research Ltd. & Wearable Technologies AG, 2013.
6. Wanted Analytics, 2015, Demand for Wearable Technology Skills Grows, Available at: <https://www.wantedanalytics.com/analysis/posts/demand-for-wearable-technology-skills-grows> [Accessed on 6 January 2015].
7. Business Innovation Observatory – Internet of Things – Wearable Technologies Case Study 44 - Fabian Nagtegaal, Diederik Verzijl & Kristina Dervojeda, PwC Netherlands, and Laurent Probst, Laurent Frideres & Bertrand Pedersen, PwC Luxembourg – European Union, February 2015.
8. New York Times, 2015, Jewellers enter the wearable technology market.
9. Smart Textile Value Chain: A Roadmap - SmartX the European Smart Textiles Accelerator, 2021.
10. IDTechEx, Wearable technology: a materials goldmine, Dr Peter Harrop, 2015.
11. TECH2, As Google Glass launch postponed to 2015, app developers losing interest, 2014.
12. Teliosonera, Wearable technology developer chose Teliosoneras m2m solution, 2014.

Capitolo 18 Dinamiche di mercato per i tessuti sensoriali

Veronica Guagliumi, Ciape, Italia

Recenti sviluppi degli indumenti intelligenti

Le dinamiche della catena del valore possono essere indicate anche dall'interconnessione tra la rete dati mobile e i fornitori di soluzioni di prodotto. A differenza degli smartphone, in genere i produttori di prodotti indossabili o i fornitori di servizi integrano nelle loro soluzioni le disposizioni di rete per i servizi di dati mobili. Di conseguenza, i fornitori di soluzioni e i fornitori di rete negoziano il prezzo del trasferimento dei dati. Yepzon, l'azienda finlandese responsabile del dispositivo indossabile per la localizzazione dei bambini, ne fornisce un buon esempio. Utilizzando la tecnologia machine-to-machine (m2m) [12], Yepzon gestirà gli abbonamenti per i suoi prodotti in tutti i mercati, consentendo al gruppo Yepzon di entrare in nuovi mercati e gestire volumi sostanziali di abbonamenti attraverso un'unica interfaccia utente. La piattaforma consente inoltre a Yepzon di offrire un unico dispositivo interconnesso che funzionerà negli Stati Uniti, in Russia e in tutta l'Europa. Inoltre, le due più grandi piattaforme applicative, Android e iOS, stanno gareggiando per diventare la piattaforma principale per la creazione di app, proprio come hanno fatto per i mercati dei tablet e dei dispositivi mobili. Poiché la domanda di un gadget indossabile dipende in parte dalle app che lo utilizzeranno, questo potere ha un impatto sugli attori a monte e a valle della catena del valore.

Il progetto PROeTEX ha creato indumenti intelligenti E-Textile avanzati che monitorano i parametri fisiologici dei lavoratori in situazioni di emergenza. Sono stati sviluppati tre prototipi: un indumento interno (IG), un indumento esterno (OG) e un paio di stivali. L'IG misura la frequenza cardiaca, il movimento respiratorio, il sudore, la disidratazione, gli elettroliti, gli indicatori di stress, l'ossigeno, l'anidride carbonica e la temperatura interna, mentre l'OG e gli stivali misurano l'attività, l'ambiente chimico e la temperatura esterna. Il PEB, ospitato nell'OG, raccoglie tutti i dati e li trasmette tramite Wi-Fi a una workstation di coordinamento locale utilizzando due antenne tessili e una scheda PC incorporata. Viene inviato un allarme immediato ai responsabili dell'intervento in caso di grave pericolo. [1] Anche il monitoraggio del sistema cardiorespiratorio dei bambini sta acquisendo importanza e infatti si sta sviluppando un abbigliamento specifico per neonati e bambini. [2]

L'emergere della tecnologia 5G consente un uso più sistematico dei sensori indossabili e dell'abbigliamento sensorizzato per applicazioni di telemedicina e sport, come la maglietta intelligente Astroskin.[3]

Il 5G consente la raccolta simultanea dei dati da parte di più sensori e di aumentare le soluzioni a grandi gruppi senza degrado delle prestazioni con l'architettura two-hop, un design tipico per un sistema di telemonitoraggio abilitato al 5G [4], come è mostrato nella figura 18.1.

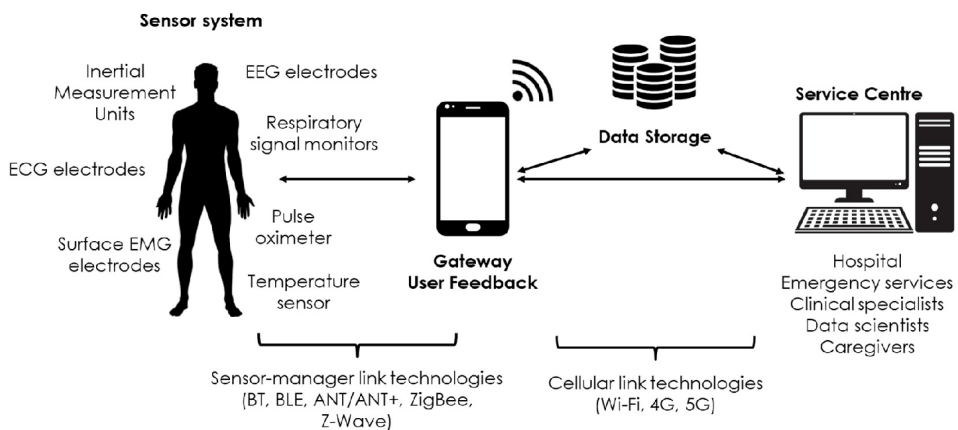


Figura 18.1. Sistema di telemonitoraggio con architettura two-hop di trasmissione dati. [5]

Le tecnologie elettriche epidermiche flessibili offrono un'alternativa promettente ai tradizionali elettrodi in tessuto grazie alla loro elevata trasparenza e resistenza alla deformazione meccanica. [6] Queste proprietà le rendono adatte al monitoraggio continuo e a lungo termine di segnali fisiologici essenziali, come la frequenza cardiaca, la pressione del polso, la temperatura, il flusso sanguigno e l'ossigeno nel sangue durante le attività quotidiane.

Indumenti sensorizzati

L'abbigliamento può essere classificato in cinque aree in base alla relativa area di utilizzo, compreso l'abbigliamento per:

- Assistenza sanitaria, per monitorare i disturbi della salute.

- Sport, per il monitoraggio delle prestazioni atletiche durante gli allenamenti o le gare e il monitoraggio dei marcatori fisiologici.
- Fitness, per educare i clienti ordinari e fornire loro una migliore comprensione del loro benessere generale.
- Social, per aiutare gli utenti nelle attività ricreative.
- Lavoro, per supportare le prestazioni e fornire assistenza per la sicurezza quando gli utenti sono impegnati in attività lavorative.

Gli indumenti indossabili sul mercato si concentrano principalmente sull'assistenza sanitaria, lo sport e il fitness, sebbene vi siano alcuni esempi di componenti di rilevamento utilizzati sulla testa e sugli arti inferiori. L'architettura del sistema include sottosistemi come interconnessione e software, controllo, comunicazione, posizione, alimentazione, archiviazione, visualizzazione, rilevamento e attuatore. Il sensore e l'attuatore possono essere non tessili e integrate nella scheda elettronica, oppure possono essere a base tessile e collegate alla scheda elettronica. [7]

I dati del sensore corporeo vengono trasmessi a un computer palmare (PDA) tramite nodi di comunicazione a corto raggio come ANT+, NFC o Bluetooth. Il PDA, che dispone di algoritmi di memorizzazione ed elaborazione dei dati, può essere uno smartphone, un computer o un FPGA. I dati possono essere inviati a un server medico remoto attraverso un altro nodo di connessione.[8]

Le tecnologie tessili vengono utilizzate in varie categorie di abbigliamento, per esempio nella salute e nello sport/fitness. Uno di questi esempi sono gli indumenti intelligenti Hexoskin di Carré Technologies Inc. a Montreal, in Canada.

Questi comodi indumenti per uomo, donna e bambino sono integrati con sensori tessili per un monitoraggio accurato e continuo dei dati cardiaci, respiratori, dell'attività e del sonno. L'elettrocardiografo riporta metriche come la frequenza cardiaca, la variabilità della frequenza cardiaca, il monitoraggio dello stress e le valutazioni della fatica, mentre la ventilazione respiratoria viene misurata continuamente con sensori pletismografici di induttanza respiratoria toracica e addominale. Gli indumenti monitorano anche l'intensità dell'attività, l'accelerazione di picco, i passi, il ritmo, le posizioni e il sonno con un accelerometro a 3 assi. [9] Il dispositivo intelligente Hexoskin, una maglietta commerciale realizzata con elettrodi tessili, raccoglie un ECG a derivazione singola e dispone di sensori di respirazione e movimento, con una durata della batteria di oltre 36 ore e ricaricabile con un cavo USB. Il gilet di accompagnamento è realizzato in tessuto a maglia antibatterico, protettivo UV, ad asciugatura rapida, traspirante, antiodore e

lavabile. Il dispositivo Hexoskin può essere connesso all'app Hexoskin tramite Bluetooth, consentendo all'utente di visualizzare, gestire e interpretare i dati raccolti. I dati possono essere visualizzati anche sulla dashboard online di Hexoskin, mentre operatori sanitari, ricercatori e tecnici possono utilizzare il software di analisi VivoSense per importare/esportare dati, eseguire elaborazioni batch e creare grafici adatti alla pubblicazione. [10]

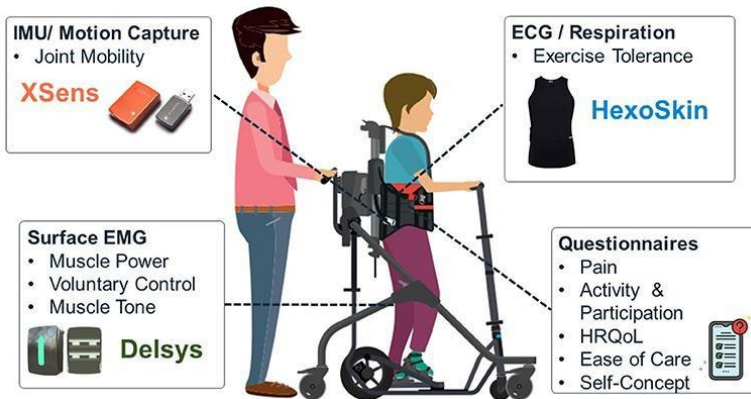


Figura 18.2. Domini di interesse prioritari per l'utente e tecnologia dei sensori selezionata [11]

Il secondo esempio illustra Sensoria, un'azienda che offre prodotti progettati per aiutare i corridori professionisti e dilettanti nelle loro attività di allenamento e coaching. Gli articoli di abbigliamento disponibili includono calzini, reggiseno e maglietta intelligenti lavabili in lavatrice, comodi e traspiranti. Le calze sono dotate di un sensore di pressione tessile incorporato che comunica con una cavigliera rimovibile e ricaricabile tramite Bluetooth. Questa cavigliera tiene traccia dei passi dell'utente, del tempo di percorrenza, della distanza, della velocità, delle calorie bruciate, dell'altitudine, del ritmo e dello stile di atterraggio del piede durante l'allenamento. Il reggiseno e la maglietta forniscono un monitoraggio accurato e affidabile della frequenza cardiaca [12] e funzionano perfettamente con l'E-modulo sensoria HRM (cardiofrequenzimetro), che ha una durata della batteria superiore a 8 mesi e si connette tramite Bluetooth Smart e ANT+ a Sensoria Run 2.0 per smartphone e Sensoria Virtual Coach. Inoltre, questi strumenti offrono ai corridori

esperti consigli sulle corrette posture e meccaniche di corsa per aiutarli a perfezionare il loro stile di corsa.

Il terzo esempio presenta la maglia intelligente sviluppata da L.I.F.E. Italia Srl, che offre due varianti, una per l'atletica e un'altra per scopi medici. L'indumento compressivo medicale BWell di L.I.F.E. Italia Srl include un accelerometro, cinque sensori di deformazione respiratoria e dodici elettrodi a secco a base di inchiostro per il monitoraggio dell'ECG. Gli elettrodi sono composti da uno strato adesivo, uno strato di inchiostro conduttivo, uno strato di legante, uno strato di solvente, uno strato di ispessimento e un'area gradiente tra lo strato adesivo e quello di inchiostro conduttivo. La superficie anteriore dell'indumento ospita i cinque sensori di respirazione, costruiti utilizzando un nastro elastico infuso con inchiostro conduttivo, connettori elettrici a ciascuna estremità e una copertura in tessuto compressivo. Invece, la versione sportiva Performer Wearware di L.I.F.E. Italia Srl, si concentra sul monitoraggio delle prestazioni e presenta due derivazioni ECG, due sensori di respirazione circonferenziale e dieci accelerometri. Questa versione include una maglietta e dei pantaloncini che monitorano il movimento delle cosce dell'utente. [13]



Figura 18.3. Calzini intelligenti Sensoria [12]



Figura 18.4. (a) Vista anteriore e (b) posteriore dell'indumento compressivo medico (BWell) di L.I.F.E.. La vista posteriore (a destra) mostra la posizione della spina quando l'indumento è indossato. Entrambe le visualizzazioni mostrano una cuffia per eseguire l'EEG, attualmente in fase di sviluppo da parte dell'azienda. (c) Un esempio di adattamento di BWell quando è indossato. (d) Dashboard di visualizzazione dei dati in tempo reale. La figura è stata adattata dal sito web dell'azienda che produce il capo. [13]

Conclusioni

L'integrazione delle disposizioni di rete dati mobili nelle loro soluzioni da parte dei produttori di prodotti indossabili e dei fornitori di servizi influisce sulla dinamica della catena del valore.

Yepzon, un'azienda finlandese, rappresenta la negoziazione tra fornitori di soluzioni e fornitori di rete sui prezzi di trasferimento dei dati, consentendo loro di entrare in nuovi mercati e offrire dispositivi interconnessi in diverse regioni.

I tessuti intelligenti stanno anche guidando la creazione di nuove applicazioni per l'interazione degli utenti e, di conseguenza, la competizione tra attori forti come Android e IOS per dominare il mercato.

In questo contesto, un segmento importante è rappresentato principalmente dagli indossabili.

I dati dei sensori sul corpo possono essere trasmessi a un Assistente Digitale Personale (PDA) attraverso nodi di comunicazione a corto raggio come ANT+, NFC o Bluetooth. Esempi di capi d'abbigliamento indossabili includono gli Hexoskin Smart Garments, i Sensoria smart socks, reggiseno e maglietta, e la smart shirt di L.I.F.E. Italia Srl per scopi medici e sportivi. Questi capi d'abbigliamento incorporano sensori tessili per il monitoraggio di vari parametri fisiologici.

Bibliografia

1. Curone, D.; Secco, E.L.; Tognetti, A.; Loriga, G.; Dudnik, G.; Risatti, M.; Whyte, R.; Bonfiglio, A.; Magenes, G. Smart garments for emergency operators: The ProeTEX project. *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* 2010, 14, 694–701.
2. Sayem, A.S.M.; Teay, S.H.; Shahariar, H.; Fink, P.L.; Albarbar, A. Review on smart electro-clothing systems (SeCSs). *Sensors* 2020, 20, 587.
3. Andreev, E.; Radeva, V.; Nikolova, M. Innovative biomonitring systems in the aerospace industry. In *Proceedings of the Communications, Electromagnetics and Medical Applications Conference 2019, Sofia, Bulgaria, 17 October–19 October 2019*.
4. Gerhardt, U.; Breitschwerdt, R.; Thomas, O. mHealth Engineering: A Technology Review. *J. Inf. Technol. Theory Appl.* 2018, 19, 5.
5. Angelucci, A.; Aliverti, A. Telemonitoring systems for respiratory patients: Technological aspects. *Pulmonology* 2020, 26, 221–232.
6. Huang, S.; Liu, Y.; Zhao, Y.; Ren, Z.; Guo, C.F. Flexible electronics: Stretchable electrodes and their future. *Adv. Funct. Mater.* 2019, 29, 1805924.
7. Sayem, A.S.M.; Teay, S.H.; Shahariar, H.; Fink, P.L.; Albarbar, A. Review on smart electro-clothing systems (SeCSs). *Sensors* 2020, 20, 587.
8. Majumder, S.; Mondal, T.; Deen, M.J. Wearable sensors for remote health monitoring. *Sensors* 2017, 17, 130.
9. Hexoskin Health Sensors & all <https://www.hexoskin.com>
10. Angelucci, A.; Cavicchioli, M.; Cintorrino, I.A.; Lauricella, G.; Rossi, C.; Strati, S.; Aliverti, A. Smart Textiles and Sensorized Garments for Physiological Monitoring: A Review of Available Solutions and Techniques. *MDPI Sensors* 2021, 21, 814. <https://doi.org/10.3390/s21030814>.
11. Andrew Ennis, Laura Finney and Claire Kerr; Systematic Multidisciplinary Process for User Engagement and Sensor Evaluation: Development of a Digital Toolkit for Assessment of Movement in Children With Cerebral Palsy, *Frontiers in Digital Health*, Lisa Kent, Ian Cleland, Catherine Saunders, June 2021 Vol.3 article 692112.
12. Sensoria Socks™ (sensoriahealth.com).
13. L.I.F.E. Multipurpose Wearable Computers. Available online: <https://www.x10y.com/>.



Capitolo 19: Eco-design per sensori, batterie e attuatori

Michail Delagrammatikas, CRETHIDEV, Grecia

Abstract: Adottando design eco-centrici, i dispositivi indossabili intelligenti e sensoriali e i dispositivi di protezione individuale possono ridurre efficacemente l'impatto ambientale e mitigare la sfida legata al loro smaltimento al termine della vita utile, nel quadro di un'economia circolare. In questo capitolo verranno brevemente illustrati gli aspetti principali dell'eco-design. Vengono affrontati punti chiave specifici incentrati sulla progettazione ecocompatibile per sensori indossabili, batterie (e altri dispositivi di accumulo di energia) e attuatori.

introduzione

L'approccio eco-design per sensori, batterie e attuatori per dispositivi indossabili mira a minimizzare l'impatto ambientale dell'intero ciclo di vita dei prodotti, dall'origine delle materie prime allo smaltimento. L'eco-progettazione di sensori, batterie e attuatori indossabili comporta la considerazione di alcuni punti chiave, che comprendono la selezione dei materiali, l'efficienza energetica durante l'intero ciclo di vita, lo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili, la durata del prodotto, la riduzione al minimo dell'imballaggio, la valutazione del ciclo di vita e la progettazione dello smaltimento a fine vita.

L'eco-progettazione di sensori, batterie e attuatori indossabili dovrebbe basarsi su un approccio olistico in grado di creare prodotti che riducano al minimo l'impatto ambientale complessivo e raggiungano prestazioni elevate promuovendo al tempo stesso un modello di economia circolare.

Selezione dei materiali

La selezione del materiale è uno dei passaggi più importanti nell'eco-design, poiché molti materiali utilizzati in sensori, batterie e attuatori possono avere un impatto ambientale significativo. I progettisti dovrebbero considerare l'intero impatto ambientale dei materiali scelti, tra cui:

- Estrazione e lavorazione, che possono comportare il deterioramento dell'ambiente naturale e la distruzione degli ecosistemi, il rilascio di sostanze tossiche e la minaccia alla biodiversità, l'uso eccessivo di energia non rinnovabile e le emissioni di gas serra.

- Trasporto e catena di approvvigionamento, che possono determinare una notevole impronta ambientale, che potrebbe essere evitata se si utilizzassero materie prime alternative, locali o tracciabili.
- Tossicità dei materiali. Dovrebbero essere selezionati materiali non tossici. Le batterie a base di metalli pesanti come piombo, mercurio e cadmio dovrebbero essere evitate a favore di soluzioni di stoccaggio dell'energia più rispettose dell'ambiente.
- L'uso di materiali riciclati, riciclabili e biodegradabili può ridurre efficacemente i rischi ambientali associati alla produzione di materie prime e allo smaltimento a fine vita.

Progettazione circolare e valutazione del ciclo di vita

Oltre all'utilizzo di materiali sostenibili ed ecologici, è altrettanto importante progettare i prodotti, i sensori, le batterie e gli attuatori, nonché i dispositivi indossabili (abbigliamento, scarpe, accessori, dispositivi di protezione individuale ecc.) tenendo conto del loro intero ciclo di vita, del possibile riutilizzo e dello smaltimento a fine vita. Il design circolare mira a creare prodotti che non producano rifiuti durante la fabbricazione o dopo l'uso. Alcuni punti chiave includono:

- Creare prodotti dal design facilmente assemblabile e disassemblabile. Ciò consente di riutilizzare componenti come sensori, dispositivi di accumulo di energia e attuatori se il dispositivo indossabile si deteriora. Consentendo inoltre la separazione dei materiali riciclabili in diversi flussi di riciclaggio.
- Fornire informazioni sui materiali e su come gestirli a fine vita. Istruzioni e linee guida chiare per gli utenti sono molto importanti per raggiungere gli obiettivi della progettazione circolare. Condurre una valutazione del ciclo di vita attraverso la catena di approvvigionamento e utilizzare materie prime tracciabili.
- Utilizzare materiali durevoli e tecniche di fabbricazione di alta qualità per prolungare la durata del prodotto. E' importante cercare di evitare l'uso di materiali che hanno una durata significativamente più breve rispetto al resto del prodotto, a meno che non si tratti di parti sostituibili.

Efficienza energetica e fonti energetiche rinnovabili

E' importante progettare dispositivi indossabili tenendo presente l'ottimizzazione del consumo energetico lungo tutta la catena di fornitura del prodotto e la durata della vita. Ridurre al minimo il consumo energetico può comportare l'utilizzo di componenti a basso consumo, l'ottimizzazione dei circuiti e l'implementazione di tecniche di gestione dell'alimentazione. E' inoltre fondamentale utilizzare batterie ricaricabili o altri dispositivi di accumulo di energia, come i supercondensatori, e favorire l'energy harvesting rispetto alla ricarica dalla rete elettrica. I dispositivi indossabili per la raccolta di energia possono essere basati su fotovoltaico (PV), generatori piezoelettrici (PEG), nanogeneratori triboelettrici (TENG), generatori termoelettrici (TEG), raccolta di energia cinetica tramite magneti, raccolta di energia elettromagnetica tramite antenne e altri.

Eco-design dei sensori indossabili

Considerazioni specifiche sulla progettazione ecocompatibile dei sensori indossabili dovrebbero includere i seguenti punti:

- Riduzione delle dimensioni e del peso: i sensori compatti e leggeri riducono sia il consumo di materiale che il fabbisogno energetico. Sono anche più comodi e più facili da integrare.
- Preferenza per i sensori passivi a quelli attivi. In caso di utilizzo di sensori attivi, si dovrebbe preferire la progettazione per il consumo minimo di energia e la raccolta di energia rispetto alla ricarica esterna.
- Utilizzo di substrati flessibili: i substrati flessibili consentono una comoda integrazione con abbigliamento o accessori, aumentando le probabilità di utilizzo del prodotto. Una migliore ergonomia incoraggia l'uso a lungo termine e riduce al minimo gli sprechi dovuti a sensori scartati prematuramente.
- Design per un facile smontaggio, riparazione e gestione della fine del ciclo di vita: il facile smontaggio e la riparazione dei sensori indossabili prolungheranno la durata del prodotto. I design modulari che consentono la sostituzione dei singoli componenti ridurranno gli sprechi, promuoveranno la riparabilità, promuoveranno il riciclaggio e faciliteranno il riutilizzo dei sensori.

Eco-design di batterie indossabili, dispositivi di accumulo e raccolta di energia

Considerazioni specifiche sulla progettazione ecocompatibile dei dispositivi di accumulo e raccolta dell'energia dovrebbero includere i seguenti punti:

- Selezione di materiale non tossico: evitare metalli pesanti pericolosi come piombo, mercurio e cadmio. Occorre prestare attenzione anche ai nanomateriali che se sfuggono alla loro matrice diventano tossici in quanto possono penetrare nei tessuti biologici.
- Ottimizzazione della densità energetica e dell'efficienza che consente di massimizzare la capacità riducendo al minimo le dimensioni e il peso della batteria. L'efficienza energetica viene migliorata riducendo le perdite di energia dovute alla resistenza e ai tassi di autoscarica.
- Utilizzo di dispositivi di accumulo di energia ricaricabili abbinati a dispositivi di raccolta di energia: le esigenze di consumo energetico e di energia dei sensori o degli attuatori integrati possono sfruttare l'energia prodotta dal movimento e dal calore corporeo dell'utente indossabile. Le tecnologie di raccolta dell'energia possono essere utilizzate per caricare le batterie, quando l'energia deve essere immagazzinata per periodi più lunghi, o i supercondensatori quando i dispositivi richiedono una rapida erogazione dell'energia.
- Durata delle batterie e dei superconduttori: un'altra considerazione per la selezione del corretto accumulo di energia/metodo di ricarica/sensore attivo o sistema di attivatore è la gestione dell'accumulo di energia e l'ottimizzazione dei cicli di carica/scarica in base alle esigenze di energia e consumo di energia al fine di evitare sovraccarichi o scarichi eccessivi che possono ridurre la durata del dispositivo di accumulo di energia.
- Progettazione di dispositivi di accumulo di energia modulari: un approccio di progettazione modulare per la sostituzione di singole celle o unità, promuovendo la riparabilità.
- Smaltimento e riciclo a fine vita: le batterie possono contenere materiale tossico come metalli pesanti o materiali con un impatto ambientale molto importante come il litio, anche i supercondensatori producono rifiuti tossici, quindi è imperativo che possano essere facilmente separati e riciclati nei flussi specifici che esistono per le batterie e l'elettronica.

Eco-design di attuatori indossabili

Considerazioni specifiche sulla progettazione ecocompatibile degli attuatori indossabili dovrebbero includere i seguenti punti:

- Focus sull'efficienza energetica: l'ottimizzazione dell'efficienza energetica degli attuatori indossabili dovrebbe ridurre al minimo il consumo energetico e prolungare la durata della batteria. Si raccomanda l'uso di design del motore efficienti e algoritmi di controllo che riducono lo spreco di energia.
- Design compatto, leggero e riparabile: gli attuatori compatti e leggeri riducono il consumo di materiale e il fabbisogno energetico, consentendo al tempo stesso una più facile integrazione nel dispositivo indossabile. Il design modulare rende i componenti facilmente riparabili e sostituibili, riducendo gli sprechi e prolungando la durata della vita.
- Design orientato all'utente: gli attuatori devono essere progettati per soddisfare le diverse esigenze dei diversi utenti, in modo da incoraggiarne l'utilizzo ed evitare la possibilità di uno smaltimento prematuro dell'indossabile o di un utilizzo insufficiente.
- Smaltimento e riciclo: come nel caso dei sensori e dei dispositivi di accumulo di energia, la progettazione specifica per il riciclo a fine vita degli attuatori indossabili in flussi specifici o un piano specifico per il riutilizzo dovrebbe essere un punto centrale.

Conclusioni

I concetti di base dell'eco-design di sensori, attuatori e sistemi di accumulo di energia indossabili riguardano:

(i) la selezione di materie prime non tossiche, riutilizzabili e riciclabili e una progettazione generale che consenta il disassemblaggio a fine vita e una gestione sostenibile dei rifiuti.

(ii) sistemi che offrono efficienza energetica.

(iii) tecnologie che garantiscono una lunga durata e una facile riparazione.

(iv) caratteristiche regolabili e definite dall'utente che consentano una comoda integrazione con indumenti e dispositivi di protezione individuale

Bibliografia

1. Kong L, et.al., 2022, A life-cycle integrated model for product eco-design in the conceptual design phase, *J. Cleaner Production*, 362, 132516.
2. Van der Velden, N., Kuusk, K. and Kohler, A., 2015. Life cycle assessment and eco-design of smart textiles: The importance of material selection demonstrated through e-textile product redesign, *Materials and design*, 84, p.p. 313-324.
3. Kohler, a., Hilty, L., and Bakker, C., 2011. Prospective Impacts of Electronic Textiles on Recycling and Disposal, *J. Ind. Ecology* 15(4), p.p. 496-511.
4. Kohler, A., et. al., 2012. Life cycle assessment and eco-design of a textile-based large-area sensor system, *Joint International Conference and Exhibition on Electronics Goes Green 2012+*, ECG 2012, 9-12 September 2012, Code 94718, Article number 6360445
5. Liman, Md.L.R., and Islam, M.T., 2022, "Emerging washable textronics for imminent e-waste mitigation: Strategies, reliability, and perspectives", *J. of Materials Chemistry*, 10(6), pp.2697-2735.
6. Schischke, K., Nissen, N.F., and Schneider-Ramelow, M., 2020. Flexible, stretchable, conformal electronics, and smart textiles: Environmental life cycle considerations for emerging applications, *MRS Communications*, 10(1), p.p. 69-82.
7. Dulal, M. et.al., 2022, Toward Sustainable Wearable Electronic Textiles, *ACS Nano*, 16(12), (p.p. 19755-19788).
8. Qing, L. et.al., 2022, The Status Quo and Prospect of Sustainable Development of Smart Clothing, *Sustainability*, 14(2), 990.
9. Butturi, M.A., et.al., 2021, Circular design options for wearables integrated sportswear to be employed in adverse outdoor conditions, *Proceedings of the Summer School Francesco Turco2021*, 26th Summer School Francesco Turco, 8-10 September 2021, Code 271549
10. Bagherzadeh R. et al. Wearable and flexible electrodes in nanogenerators for energy harvesting, tactile sensors, and electronic textiles: novel materials, recent advances, and future perspectives. *Materials Today Sustainability*. 2022, 20, 100233.

Capitolo 20: Co-progettazione di sensori intelligenti e integrazione nei DPI per rischi chimici e biologici

Olga Papadopoulou, CRETHIDEV, Grecia

Abstract: Questo capitolo espone gli aspetti fondamentali coinvolti nella co-progettazione di sensori intelligenti ad alta selettività adattati ai DPI, impiegati per il rilevamento di rischi chimici e biologici in diversi ambienti di lavoro. Sono state delineate diverse tipologie di sensori chimici e biologici per DPI (maschere facciali, respiratori, guanti e indumenti), al fine di evidenziare il progresso tecnologico, i criteri e le potenzialità di selezione e valutazione di particolari categorie di materiali funzionali e tecniche di rilevamento.

introduzione

La co-progettazione di sensori intelligenti integrati nei dispositivi di protezione individuale (DPI) sfrutta il rapido sviluppo dell'ingegneria dei materiali, nonché dell'Internet of Things, dell'informatica, degli algoritmi, dell'intelligenza ambientale, dell'apprendimento automatizzato e dell'intelligenza artificiale [1, 2]. Le innovazioni introdotte nei DPI migliorano le condizioni di sicurezza e salute per molte categorie di lavoratori che sono esposti a rischi di salute e di vita nella loro attività lavorativa quotidiana. I professionisti impiegati nel settore manifatturiero dell'industria pesante e leggera, nel settore della ricerca e dell'industria chimica, farmaceutica e biotecnologica, nel settore agroalimentare, nel settore medico, nel settore della sicurezza e nel settore forense sono alcune categorie indicative di utenti finali di DPI intelligenti con particolare necessità di tecnologie di rilevamento che li proteggano contro i rischi chimici e biologici. Oltre ai dispositivi di rilevamento portatili.

Concetti di progettazione di base

Le indagini mirate sia a gruppi specifici di professionisti (ad es. vigili del fuoco, minatori, personale sanitario) che ad esperti di sicurezza o valutatori esterni che sono a conoscenza delle ultime tecnologie, evidenziano esigenze che dovrebbero essere prese in considerazione dai progettisti di DPI e servono anche alla valutazione in laboratorio e sul campo nonché al collaudo dei prodotti [3].

Materiali di rilevamento flessibili e reattivi appositamente selezionati possono fornire funzionalità meccaniche, termiche, elettriche, ottiche, chimiche, biologiche e anti-radiazioni per DPI [4, 5]. Nel caso di sensori chimici e biologici, i pericoli sul posto di lavoro che devono

essere affrontati sono rappresentati da sostanze chimiche e tossiche (solidi, liquidi, gas), particelle contaminanti, fluidi biologici, agenti patogeni e tossine. La tecnologia di integrazione dei sensori nei DPI è un passo importante verso lo sviluppo del prodotto, che coinvolge trattamenti tessili e processi di produzione avanzati. L'approvvigionamento e lo stoccaggio di energia dei sensori intelligenti autoalimentati è forse l'aspetto progettuale più impegnativo [6]. Questi sistemi dovrebbero essere compatibili con i tessuti e i materiali dei sensori selezionati e fornire un'autonomia sufficiente. Altri importanti criteri di progettazione menzionati da Basodan et al [3] sono l'ergonomia, nonché l'esperienza, l'interfaccia e l'interazione degli utenti e la facilitazione della connessione e della comunicazione con un ambiente di lavoro intelligente. Gli autori esaminano molti sistemi di sensori intelligenti insieme al loro design tecnologico. Le prestazioni dei sensori progettati sono valutate in termini di selettività, accuratezza e precisione entro determinati limiti di rilevamento e, naturalmente, ci si aspetta che offrano una ripetibilità soddisfacente [6].

Applicazioni e caratteristiche dei sensori chimici intelligenti

I tipi di sensori chimici più comunemente utilizzati sono quelli in miniatura: sistemi di rilevamento e monitoraggio ottici, elettrochimici, sensibili alla massa, elettrici, paramagnetici incorporati o fissati su DPI. In letteratura si possono trovare molteplici suddivisioni di queste categorie, ciascuna delle quali è correlata al principio di un fenomeno fisico/chimico o al cambiamento di una proprietà fisico-chimica/elettrica misurata mediante una particolare tecnica [6]. Circuiti elettrici, microdispositivi elettrici con energy harvester e filtri con piezoelettrici o tribogeneratori sono frequentemente impiegati per la rilevazione di gas tossici e composti organici volatili (CO, CO₂, H₂S, SO₂, NO_x, NH₃, HCN, acetone, metanolo, etanolo ecc.) o particolato.

I sensori integrati nei guanti facilitano il campionamento da varie superfici e forniscono risultati rapidi tramite indicazioni ottiche o analisi in situ con dispositivi palmari o portatili. I campioni legati ai sensori elettrochimici - che fungono da elettrodo di lavoro - sono collegati a una configurazione a tre elettrodi e potenziostato miniaturizzato, fornendo voltammogrammi. Entrambi i sensori ottici ed elettrochimici sui guanti sono stati sviluppati per il rilevamento di sostanze chimiche tossiche (come fentanil e trifluralin) e pesticidi sulle superfici di frutta e verdura. Appositi adesivi idrofilici sui polpastrelli dei guanti con indicatori di colore sono in grado di rilevare gli oligoelementi Cu²⁺, Ni²⁺, Cr⁶⁺ nei campioni di acqua [2]. Kazemi et al. [7] hanno progettato un sistema di rilevamento DPI indossabile per il rilevamento di goccioline di soluzioni chimiche acquose pericolose. Il sensore è costituito da un'antenna fissata in tessuto idrofobo e da un'unità di monitoraggio remoto. Gli autori sottolineano che, dopo opportune modifiche, questo principio di rilevamento potrebbe essere utilizzato per il rilevamento di altre sostanze chimiche solide, liquide e gassose pericolose. Una vasta gamma di sistemi di sensori simili per guanti, le loro caratteristiche, le relative applicazioni e prospettive future sono state delineate da Tsong et al. al. [2]. I

progressi tecnologici della generazione e dello stoccaggio di energia nei sensori chimici intelligenti sono stati esaminati da Aaryashree et al. [6]. I sensori chimici di dispositivi indossabili elettricamente autonomi raccolgono e convertono l'energia con vari metodi, tra cui batterie e supercondensatori, celle solari,

Applicazioni e caratteristiche dei sensori biologici intelligenti

L'applicazione più semplice della protezione antimicrobica per i DPI è il rivestimento di materiali polimerici e fibre con nanoparticelle di Ag o macromolecole di azoto-alogeno (come N-alamina) che disinfettano le superfici esposte dei DPI. Shi et al. nella loro revisione [4] hanno anche incluso materiali funzionali reattivi che sono in grado di generare specie reattive dell'ossigeno che distruggono o disattivano i patogeni. Un'interessante adozione di questo tipo di filtro, presentata nel periodo della pandemia di COVID-19, utilizza nanofili di TiO_2 , la cui attività è catalizzata dalla luce visibile [8]. Il sensore può essere integrato per produrre mascherine protettive riutilizzabili.

Sensori biologici intelligenti ad alta selettività integrati sui DPI, consentono il monitoraggio della progressione delle malattie e, soprattutto, dell'esposizione ai rischi biologici [9]. Le principali categorie di pericoli biologici sono virus, batteri e tossine. In base al tipo di pericolo, la progettazione di sensori biologici intelligenti implementa tecniche come i saggi di immunoassorbimento enzimatico (ELISA) e la reazione a catena della polimerasi (PCR) che consentono lo screening di agenti patogeni specifici. I sensori elettrochimici intelligenti sui guanti sono stati sviluppati per il rilevamento rapido di *Pseudomonas aeruginosa*, mentre i sensori ottici possono rilevare batteri come *Escherichia coli* [2]. Nguyen et al. [9] ha sviluppato un sistema di rilevamento biologico - adatto ai dispositivi indossabili - per il rilevamento di acidi nucleici correlati a specifici agenti patogeni, nonché metaboliti.

Conclusioni

L'approccio progettuale per un particolare sistema di rilevamento integrato ai DPI dipende sia dal tipo di pericolo che viene affrontato sia dalle caratteristiche dell'ambiente di lavoro e dagli standard di sicurezza. Il prodotto finale dovrebbe essere comodo e personalizzato in base alle esigenze dei singoli lavoratori e offrire un rilevamento rapido e accurato. Per raggiungere questo obiettivo, sono necessarie diverse fasi: indagini prima della progettazione e durante la valutazione delle prestazioni, selezione di materiali per sensori adatti che siano compatibili con i tessuti del substrato DPI e metodi di integrazione, nonché l'incorporazione di sistemi di generazione di energia efficaci. Per lo sviluppo dei prodotti commerciali finali sono necessarie diverse fasi di approfonditi test di laboratorio e sul campo. La produzione di massa di sensori chimici e biologici altamente selettivi è fattibile per diversi tipi di pericoli e numerosi promettenti sistemi di rilevamento sono stati sviluppati

su scala di laboratorio negli ultimi tre anni e sono in fase sperimentale. La progettazione e la produzione di sensori biologici intelligenti per DPI è generalmente considerata più impegnativa ed era meno avanzata prima dello scoppio della pandemia di COVID-19.

Bibliografia

1. D. Podgórski, K. Majchrzycka, A. Dąbrowska, G. Gralewicz, M. Okrasa (2017), Towards a conceptual framework of OSH risk management in smart working environments based on smart PPE, ambient intelligence and the Internet of Things technologies, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 23(1), pp.1-20, doi:10.1080/10803548.2016.1214431.
2. J. L. Tsong, R. Robert, S. M. Khor (2023), Emerging trends in wearable glove-based sensors: A review, *Analytica Chimica Acta*, 1262, 341277, doi: 10.1016/j.aca.2023.341277
3. R. A. M. Basodan, B. Park, H.-J. Chung (2021), Smart personal protective equipment (PPE):current PPE needs, opportunities for nanotechnology and e-textiles, *Flexible and Printed Electronics*, 6, 043004, doi:10.1088/2058-8585/ac3a9.
4. J. Shi, H. Li, F. Xu, X. Tao (2021), Materials in advanced design of personal protective equipment: a review, *Material Today Advances*, 12, 100171, doi: 10.1016/j.mtadv.2021.100171.
5. L. Chang, J. Li, F. Wang, J. Shi, W. Chen, X. Tao (2021), Flexible stimuli-responsive materials for smart personal protective equipment, *Materials Science & Engineering R*, 146, , 100629, doi:10.1016/j.mser.2021.100629.
6. Aaryashree , S. Sahoo, P. Walke, S. K. Nayak, C. S. Rout, D. J. Late (2021), Recent developments in self-powered smart chemical sensors for wearable electronics, *Nano-research*, 14(11), pp. 3669-3689, doi:10.1007/s12274-021-3330-8.
7. K. K. Kazemi, T. Zrifi, M. Mohseni, R. Narang, K. Golovin, M. H. Zarifi (2021), Smart superhydrophobic textiles using a long-range antenna sensor for hazardous aqueous droplet detection plus prevention, *ACS Applied Materials & Interface*, 13(29), pp.34877-34888. Doi:10.1021/acscami.1c07880.
8. E. Horváth, L. Rossi, C. Mercier, C. Lehmann, A. Sienkiewicz, L. Forró (2020), Photocatalytic Nanowires-Based Air Filter: Towards Reusable Protective Masks, *Advanced Functional Materials*, 30(40), 2004615, doi: 10.1002/adfm.202004615.
9. P. Q. Nguyen, L.R. Soenksen, N. M. Donghia, N. M. Angenent-Mari, H. De Puig, A. Huang, R. Lee, S. Slomovic, T. Galbersanini, G. Lansberry, H. M. Sallum, E. M. Zhao, J. B. Niemi, J. J. Collins (2021), Wearable materials with embedded synthetic biology sensors for biomolecule detection, *Nature Biotechnology*, 39, pp.1366-1374, doi:10.1038/s41587-021-00950-3.



Capitolo 21: Produzione incentrata sull'utente finale di sensori intelligenti ed attuatori

Olga Papadopoulou, CRETHIDEV, Grecia

Abstract: I principi di base della progettazione incentrata sull'utente finale di sensori e attuatori intelligenti nei DPI sono delineati insieme alla cultura della sicurezza sul lavoro e alla gestione del rischio. Vengono evidenziate le prospettive di integrazione dell'intelligenza ambientale e le problematiche legate a tecnologie produttive complesse e poco sviluppate.

introduzione

L'emergere e l'evoluzione dei sensori e attuatori intelligenti, la produzione di prototipi di DPI intelligenti e la progettazione di strumenti computazionali avanzati e sistemi di monitoraggio e integrazione, sono stati notevoli negli ultimi anni. D'altro canto, i processi di produzione industriale basati su un approccio centrato sull'utente finale non sono ancora ben consolidati e la relativa letteratura scientifica e tecnica è limitata. Questo capitolo presenta brevemente le linee guida in base alle quali dovrebbero essere sviluppate le tecnologie di produzione dei componenti indossabili e le caratteristiche attese dei DPI intelligenti personalizzati in un contesto di ambiente di lavoro intelligente.

Sfide nella produzione di componenti DPI intelligenti incentrati sull'utente finale

Come già descritto nei capitoli precedenti, la progettazione di tutti i tipi di sensori intelligenti per DPI dovrebbe basarsi principalmente sui requisiti di sicurezza e salute sul lavoro e sulle condizioni dell'ambiente di lavoro dei gruppi professionali considerati utenti finali.

Inoltre, un design centrato sull'utente finale dovrebbe raggiungere il comfort (mediante un'ergonomia su misura), consentire impostazioni personalizzate in base alle esigenze personali, alle preferenze e al rischio di esposizione, facilitando la comunicazione interattiva con i sistemi di monitoraggio e controllo. La pandemia di COVID-19 ha accelerato i progressi nei DPI intelligenti per gli operatori sanitari. Manciana et al. [1] con il loro lavoro forniscono un esempio di DPI regolabili tramite sensore per i singoli utenti. Una maschera facciale centrata sull'utente finale è stata realizzata combinando la tecnologia di stampa 3D e gli strumenti di rilevamento IoT.

L'integrazione di sensori e attuatori centrati sull'utente finale in ambienti di intelligenza ambientale è il prossimo passo verso un ambiente di lavoro intelligente. Vale la pena citare esempi indicativi di sistemi e reti computazionali che sono stati progettati per monitorare i dati trasmessi da dispositivi indossabili, interconnettere componenti intelligenti, elaborare dati e valutare i rischi ambientali. Bernal et al. [2] ha sviluppato e presentato una piattaforma di sicurezza per l'industria energetica, che garantisce il monitoraggio e l'interazione in tempo reale con i componenti DPI indossabili. Questo sistema è stato progettato per supportare i dispositivi indossabili intelligenti incentrati sull'utente. Un'altra pubblicazione di Adjiski et al. [3] ha introdotto un sistema di sicurezza sviluppato per soddisfare le esigenze dell'industria mineraria e proteggere da condizioni di lavoro sotterranee difficili e potenziali incidenti prevenibili. È composto da:

- DPI (indumenti, occhiali di sicurezza, elmetti) con più sensori collegati per rilevare i rischi ambientali (fumo, livelli di calore e rumore, gas tossici) e telecamere.
- uno smartwatch per il monitoraggio di indicatori vitali di salute, posizione e velocità di movimento, con metal detector magnetico incorporato,

il tutto connesso tramite sensori bluetooth ad uno smartphone. Gli autori hanno descritto l'architettura del prototipo e la sicurezza e le informazioni personalizzate che aiuterebbero l'evacuazione e il salvataggio in caso di incidente.

Il design di DPI funzionali che adatta tutte le innovazioni su tessuti intelligenti, sensori e attuatori e tecnologie di fabbricazione e integrazione all'avanguardia mostra una complessità crescente. Una chiara conferma di questo fatto è la sostituzione della precedente direttiva UE 89/686/CEE che descrive le specifiche, i requisiti tecnici e le procedure di certificazione per i DPI di produzione commerciale [4], con l'attuale regolamento UE 2016/425 [5]. È comprensibile che la produzione di DPI intelligenti personalizzati ponga ulteriori sfide tecniche e computazionali che devono essere affrontate adattando concetti di design sofisticati e priorità diverse.

Tendenze recenti nella gestione del rischio OHS e linee guida per le tecnologie di produzione dei DPI

Podgorski et al. [6] nel loro studio hanno descritto la trasformazione in corso delle tradizionali strategie di approccio alla gestione della sicurezza e della salute sul lavoro.

Le attuali priorità della gestione della salute e sicurezza sul lavoro (SSL) – riflesse anche sulle tecnologie di produzione di tutte le tipologie di sensori e attuatori DPI intelligenti – sono orientate verso:

- Valutazione dinamica e in tempo reale del rischio nell'ambiente di lavoro e minimizzazione del rischio

- Protezione personalizzata per i singoli lavoratori, tenendo conto dei livelli di esposizione a particolari pericoli.

Secondo Stephanidis [7], il concetto chiave del design centrato sull'utente è la creazione di un prodotto intuitivo e interattivo che ottimizzi l'esperienza dell'utente.

A tal fine, il progettista dovrebbe procedere secondo il seguente algoritmo di lavoro:

- 'Immersione' nel contesto dell'utilizzo del prodotto e raccolta di informazioni dirette sui profili professionali degli utilizzatori e sulle loro particolari esigenze.
- Determinazione della funzionalità, delle specifiche e dei requisiti del prodotto da parte di potenziali clienti (organizzazioni) e utenti finali.
- Produzione di una serie di prototipi
- Valutazione e feedback da parte degli utenti.

Al fine di supportare la progettazione e la produzione di massa di sensori e attuatori intelligenti, i concetti di cui sopra dovrebbero essere digeriti e incorporati in modo creativo nelle future tecnologie di produzione di DPI intelligenti personalizzati. Un prodotto finale incentrato sull'utente finale dipende fortemente da: (i) sondaggi e sessioni di interviste durante le diverse fasi del prototipo, nonché la progettazione, la produzione e la sperimentazione del prodotto commerciale (scala di laboratorio e industriale), (ii) fasi consecutive di test e sviluppo del prodotto, (iii) procedure di formazione e (iv) sistemi di supporto temporanei e accessibili per ogni posto di lavoro e ogni singolo professionista [6].

Conclusioni

Le procedure di progettazione e le tecnologie di produzione disponibili non sono sufficientemente mature per sostenere la produzione di massa di DPI intelligenti multicomponente incentrati sull'utente finale che soddisferebbero i severi requisiti OHS di una serie di settori economici e professionisti della sicurezza. I principali punti deboli sono:

- la difficoltà nell'effettiva incorporazione di ulteriori sistemi computazionali e meccanici, necessari per supportare la personalizzazione per i singoli utenti.
- la mancanza di tecnologie di integrazione consolidate che garantiscano la compatibilità tra più componenti DPI (materiali intelligenti, dispositivi miniaturizzati ed elettronica varia).
- il quadro tecnico e legale incompleto per i test standard e l'autorizzazione alla produzione di prodotti commerciali.

Bibliografia

1. A. Manchanda, K. Lee, G. D. Poznanski, A. Hassani (2023), Automated adjustment of PPE masks using IoT sensor fusion, *Sensors*, 23, 1711, doi: 10.3390/s23031711.
2. G. Bernal, S. Colombo, M. Al Ai Baky, F. Vasalegno, *Safety++: Designing IoT and Wearable Systems for Industrial Safety through a User Centered Design Approach*, PETRA '17: Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, June 2017, pp. 163–170, doi:10.1145/3056540.3056557.
3. V. Adjiski, Z. Despodov, D. Mirakovski, D. Serafimovski (2019), *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, pp.37-44, doi:10.17794/rgn.2019.14.
4. J. Geršak, M. Marčič (2013), *The complex design concept for functional protective clothing*, *Tekstil*, 62(1-2), pp.38-44
5. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/425/oj>
6. D. Podgórski, K. Majchrzycka, A. Dąbrowska, G. Gralewicz, M. Okrasa (2017), *Towards a conceptual framework of OSH risk management in smart working environments based on smart PPE, ambient intelligence and the Internet of Things technologies*, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 23(1), pp.1-20, doi:10.1080/10803548.2016.1214431.
7. C. Stephanidis, *Human factors in ambient intelligence environments*, In: G. Salvendy (ed.), *Handbook of human factors and ergonomics*, Hoboken, New Jersey & Canada: Wiley, 2012, pp. 1354–1373.



kauno
technologijos
universitetas



cre thi dev
creativity, technology, innovation, development



