

printed circuits

Gianandrea Mazzola

From nanotechnologies to printed electronics

Increasingly mature and ready to be industrialized, this technology, developed in Milan by Cnst, Center for Nano Science and Technology, one of the research centres of the net of the Italian Technology Institute, is suitable for being used transversally in several applications that involve more and more closely the household appliance sector, too.

Acronym of Flexible Large-area Electronics Enabling Platform, Fleep represents an innovative technology developed in the last years by the Center for Nano Science and Technology, one of the research centres of the net of Iit, Italian Technology Institute in Milan. It is an innovation in the printed electronics field and, in particular, in the integration of circuits fully printed on plastic substrates. A project that, compared to what existing at many universities, research centres and companies, has not focused on the development of printed displays, Oled displays, solar cells and photodetectors but on the implementation of integrated circuits and systems to interact with other elements fully printed or with other existing electronic devices.

"We are speaking of a technology - explains Giorgio Dell'Erba - based on the specific will of using direct printing techniques. A peculiarity that makes this project unique under several respects. Our target, in fact, does not consist in printing supports on which to apply other circuits but instead in printing the entire electronics directly".

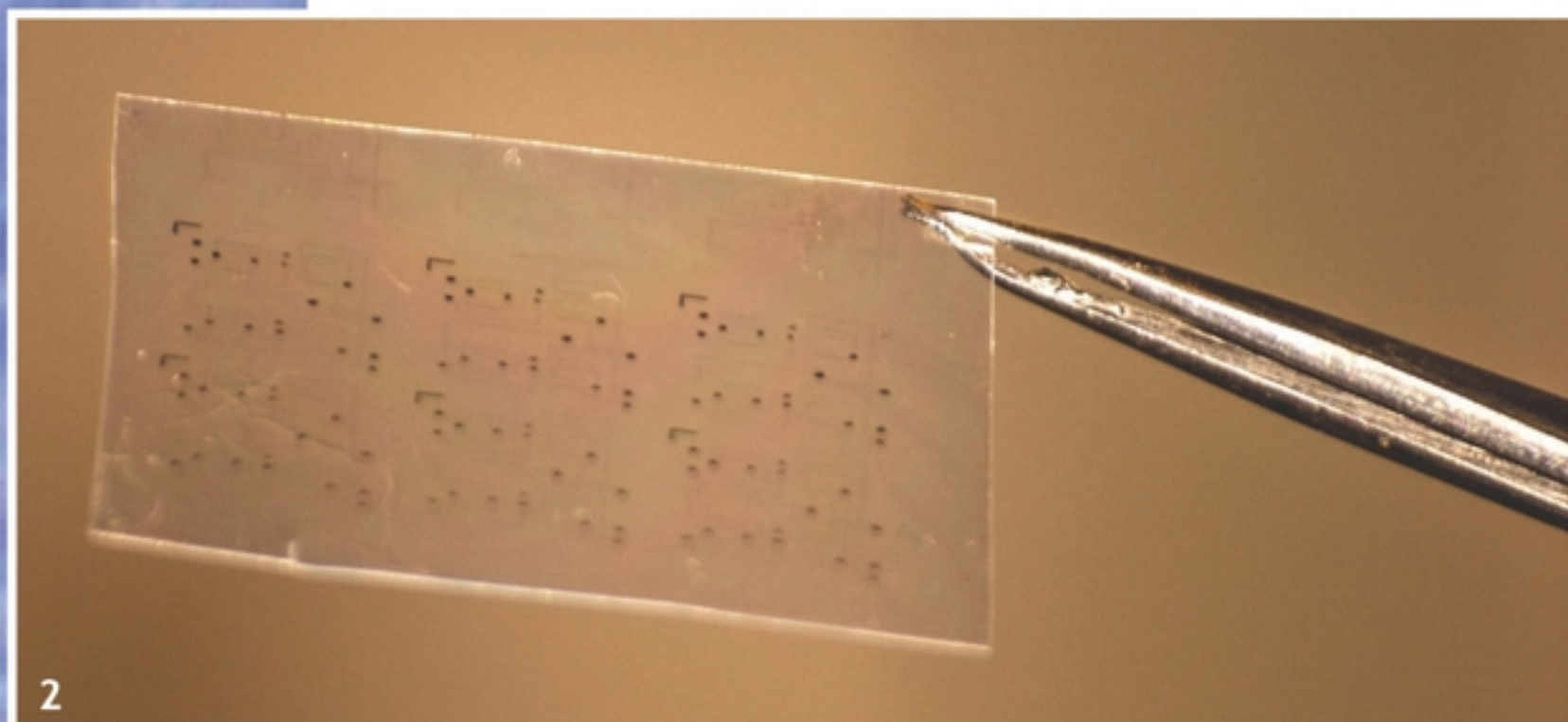
In other words, Mr Dell'Erba, under the management and supervision of Mr Mario Caironi, coordinator of PMEG (Printed and Molecular Electronics group), intends to exploit the properties of some plastics, polymers, with modified structure, so that they perform some particular functions as semi-conductors, conductors or dielectric.

Dalle nanotecnologie all'elettronica stampata

Sempre più matura e pronta per essere industrializzata, questa tecnologia, sviluppata a Milano presso il Cnst, Center for Nano Science and Technology, uno dei centri di ricerca della rete dell'Istituto Italiano di Tecnologia, si propone per essere impiegata trasversalmente in numerose applicazioni che coinvolgono sempre più da vicino anche il comparto degli elettrodomestici.

Acronimo di Flexible Large-area Electronics Enabling Platform, Fleep rappresenta un'innovativa tecnologia sviluppata negli ultimi anni presso il Center for Nano Science and Technology, uno dei centri di ricerca della rete dell'Iit, Istituto Italiano di Tecnologia di Milano. Si tratta di un'innovazione nel campo della elettronica stampata e, in particolare, dell'integrazione di circuiti completamente stampati su substrati plastici.

Un progetto che, rispetto a quanto in essere presso molte università, centri



Thinner and thinner, complex logic circuits, printed on large areas

The outcome of the researches carried out has then resulted in the possibility of implementing, i.e. printing, complex logic and analogue circuits on substrates of paper, common plastic, Pet (plastic used for alimentary use bottles) or of Pen as well (Pet variant that features better properties, including a minor continuous flexing resistance), with different thicknesses.

"Standard thicknesses of 125 μm - specifies Mr Dell'Erba - with the possibility of acting in a range from 200 up to 1.4 μm .

A thickness, the latter, that permits "to crease" electronics literally, to open it again and to find it still perfectly running. It is worth underlining that all devices, the electronic devices integrated above the substrate, in the worst case reach a maximum thickness of one micron only".

Infinitesimal layers that nevertheless still show some small criticalities concerning the need of printing with utmost precision, both vertically and horizontally, where the alignment registers to which standard printing processes refer are not, just saying, so inclined and accustomed in standard manner. "Because, if a have to align a semi-conductor to an electrode - underlines Mr Dell'Erba - I need a register micron". On the other hand, the state of the art of technology allows printing on large areas that can even reach rolls with 15-100 cm width, with the possibility of extending these limits. Further highlight, the latter, in comparison with what is feasible with Silicon electronics.



3. Giorgio Dell'Erba, researcher of the Center for Nano Science and Technology in Milan.

di ricerca e aziende, non si è concentrato sullo sviluppo di display stampati, display Oled, celle solari e fotoreattori, bensì sulla realizzazione di circuiti e sistemi integrati per interagire con altri elementi completamente stampati, o con altri dispositivi elettronici esistenti.

"Stiamo parlando di una tecnologia - spiega il dottor Giorgio Dell'Erba - alla cui base risiede la specifica volontà di impiegare tecniche di stampa diretta. Una particolarità che rende per certi aspetti unico questo progetto. Infatti, il nostro obiettivo non è stampare supporti per poi apporci sopra altri circuiti ma stampare direttamente tutta l'elettronica".

In altre parole il Dott. Dell'Erba, con la direzione e supervisione del Dott. Mario Caironi coordinatore del PMEG (Printed and Molecular Electronics group), intende sfruttare le proprietà di alcune plastiche, polimeri, modificate nella loro struttura affinché

possano svolgere delle funzioni particolari come semi-conduttori, conduttori o dielettrici.

"Utilizzando in modo opportuno queste macro-famiglie di polimeri - aggiunge Dell'Erba - declinate e modificate nelle loro possibili configurazioni, le stesse vengono sciolte in appositi solventi e impiegate come normale inchiostro nelle comuni macchine da stampa bidimensionali, ovvero stampanti digitali a getto d'inchiostro, rotative flessografiche ecc.

Col silicio questa libertà operativa non è possibile, se non intervenendo sulla tecnologia di fabbricazione". Approccio, questo, che consente l'uso di tutte quelle tecniche di produzione 2D (e non come erroneamente potrebbe essere inteso stampa 3D) a basso costo, comunemente impiegate per le arti grafiche.

Circuiti logici complessi sempre più sottili, stampati su grandi aree

Il risultato delle ricerche effettuate si è così concretizzato nella possibilità di realizzare, ovvero stampare, circuiti logici e analogici complessi su substrati di carta, di comune plastica, di Pet (plastica utilizzata per bottiglie per uso alimentare) o ancora di Pen (variante del Pet che presenta proprietà migliori, tra cui una minore resistenza alla flessione continua), con diversi spessori. "Spessori standard di 125 μm - precisa lo stesso Dott. Dell'Erba - con la possibilità di agire in un range da 200 fino a 1,4 μm . Uno spessore, quest'ultimo, che permette di stropicciare letteralmente l'elettronica per poi riapirla e trovarla ancora perfettamente funzionante. Da sottolineare che tutti i device, i dispositivi elettronici integrati sopra il substrato, nel caso peggiore raggiungono uno spessore massimo di un solo micron". Strati infinitesimali che tuttavia mostrano ancora qualche piccola criticità riguardante la necessità di stampare con la massima precisione, sia in verticale, sia in orizzontale, dove i registri di allineamento ai quali i normali processi di stampa fanno riferimento, non sono per così dire ancora così inclini e abituati in modo standard.

1. Fleep, Flexible Large-area Electronics Enabling Platform, represents an innovative technology developed in the last years by the Center for Nano Science and Technology.

2. The result of the researches carried out by the Cnst, Center for Nano Science and Technology, has given birth to the possibility of realizing, i.e. printing, complex logic and analogue circuits on substrates of paper, of common plastic, of Pet or of Pen as well, with different thicknesses.

"Opportunely using these macro-families of polymers - adds Mr Dell'Erba - structured and modified in their possible configurations, the same are dissolved into apposite solvents and used as standard ink of common bi-dimensional printing machines, i.e. digital inkjet printers, flexographic rotary etc. Silicon does not provide this operational freedom, unless we intervene on the manufacturing technology". Approach, the latter, that allows the use of all those low-cost 2D production techniques (and not as might be wrongly meant 3D printing), commonly used for graphic arts.

printed circuits

"Implementing a Silicon digital X-ray plate - points out Mr Dell'Erba - is absolutely feasible but, to obtain the wished sensor matrix, involving necessary costs not comparable with our technology".

One of the main reasons of industrial interest in printed electronics is in fact the above-mentioned notable reduction of production costs in comparison with the current technologies used for electronics, which need high-temperature processes (up to 1,400°C) and very high (or very low) pressures. The printed electronics avoids this process typology, since it can be developed with temperatures not only under 150°C but, in certain cases, even at environmental temperature, then in favour of an even very "green" and conservative impact on the environment.

"A technology scalable in time - further adds Mr Dell'Erba - which does not impose investments comparable to Silicon plants. In addition, with the possibility of customizing printing heads according to the requirements". Moreover, since it is a type of electronics based on Carbon, it does not need particular disposal procedures when it becomes a waste, with possible recycling as plastic.

The added-value of hybrid technology

"At the current state of the art, the Fleep project- states Dell'Erba - due to the above mentioned reasons, does not boast suitable performances for competing with Silicon technologies but, in some applicative ambits, it can become a valid alternative to solve some determinate problems and/or criticalities otherwise unsolvable". At the state of the art, it is not possible, in fact, to obtain performances of the single devices (transistors), yet, which are comparable with those of the monocrystalline Silicon technology used for the production of integrated circuits and microprocessors. Concerning this, the main limitation resides in the work frequency of single devices (transistors), which succeeds in reaching 10-100 MHz. Value that exerts a direct repercussion on the maximum operational frequency of circuits.

"Even if in the target applications of printed electronics - adds Mr Dell'Erba - high operating frequencies are unnecessary, we expect that through a targeted product-oriented scientific research, the work frequency can be notably improved".

Temporary solution for this limitation might be the use of a hybrid technology with the

"Anche perché se devo allineare un semi-conduttore a un elettrodo - rileva il Dott. Dell'Erba - ho bisogno di un micron di registro". Per contro, lo stato dell'arte della tecnologia permette di stampare su grandi aree che possono arrivare tranquillamente a rotoli da 15 a 100 cm di larghezza, con possibilità di ampliare questi limiti. Ulteriore punto di forza, questo, rispetto a quanto possibile fare con l'elettronica in Silicio.

"Realizzare una lastra radiografica digitale in Silicio - sottolinea il Dott. Dell'Erba - è assolutamente fattibile, ma con costi necessari per ottenere la matrice di sensori voluta non comparabile con la nostra tecnologia".

Uno dei principali motivi d'interesse industriale nell'elettronica stampata è infatti la già menzionata sensibile riduzione dei costi di produzione rispetto alle attuali tecnologie utilizzate per l'elettronica, che richiedono processi ad alta temperatura (fino a 1.400°C) e altissime (o bassissime) pressioni.

The state of the art of the Fleep technology allows printing on large areas that can reach even rolls with variable width from 15 to 100 cm, with possible further extension of these limits.

L'elettronica stampata evita questa tipologia di processi, potendo essere sviluppata con temperature non solo inferiori a 150°C ma, in alcuni casi, addirittura a temperatura ambiente, quindi a favore di un impatto sull'ambiente anche molto "green" e conservativo.

"Una tecnologia scalabile nel tempo - continua il Dott. Dell'Erba - che non impone investimenti paragonabili con impianti al Silicio. In aggiunta, con la possibilità di poter customizzare le teste di stampa a seconda delle necessità". Inoltre, poiché si tratta di un tipo di elettronica basata sul Carbonio, non necessita di particolari procedure di smaltimento quando diventa un rifiuto, con la possibilità di essere riciclata come plastica.

Il valore aggiunto della tecnologia ibrida

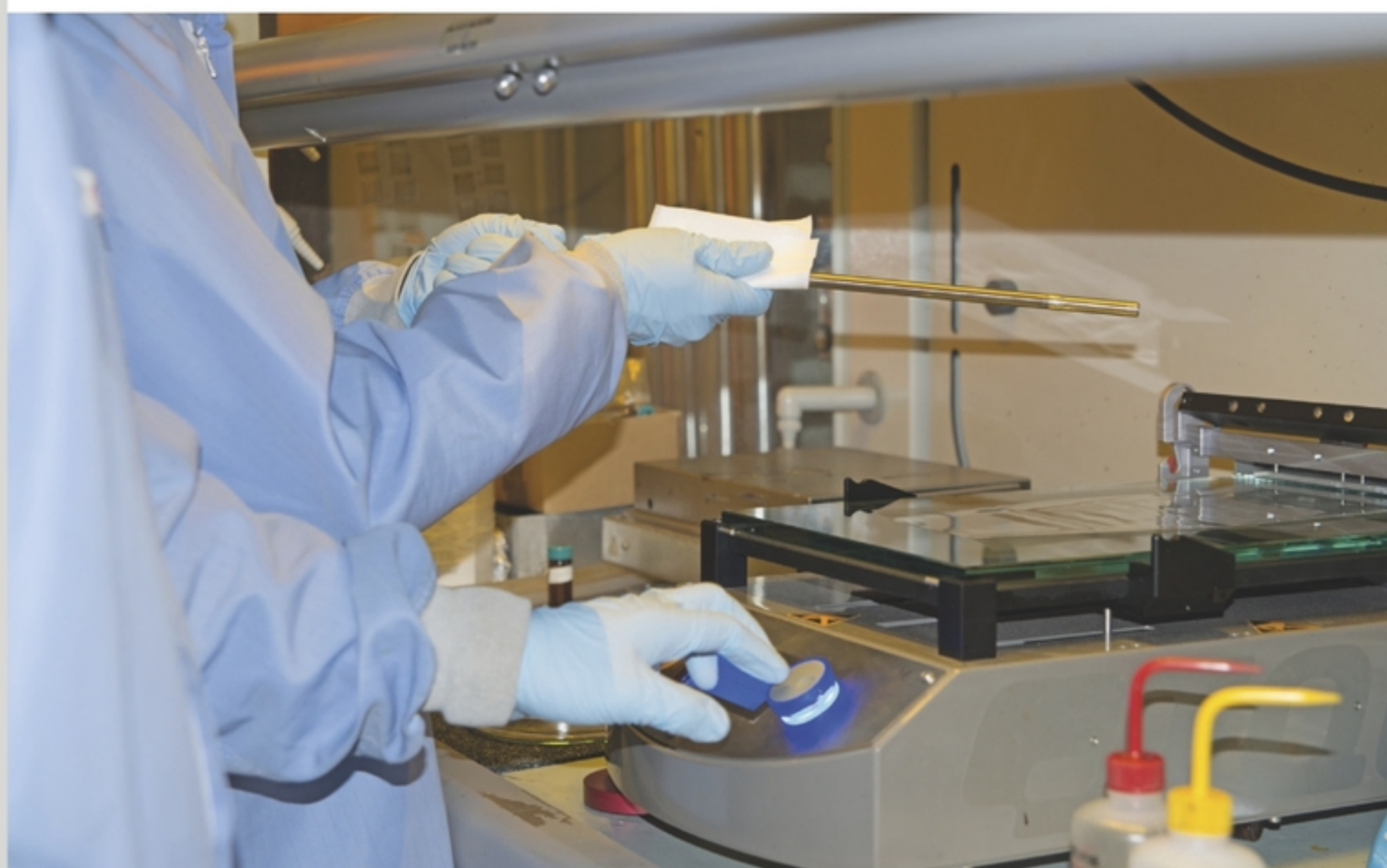
"Il progetto Fleep - sostiene Dell'Erba - per i motivi di cui sopra, non vanta allo stato attuale prestazioni tali da porsi in competizione con le tecnologie al Silicio, ma può divenire, in alcuni ambiti applicativi, una valida alternativa in risoluzione di determinati problemi e/o criticità altrimenti irrisolvibili".

Allo stato dell'arte, non è infatti possibile ancora ottenere performance dei singoli dispositivi (transistor) che siano equiparabili con quelle della tecnologia al Silicio monocristallino utilizzata per la produzione di circuiti integrati e microprocessori. In questo senso, la principale limitazione risiede nella frequenza di lavoro dei singoli dispositivi (transistor), che riesce a raggiungere i 10-100 MHz.

Valore che presenta una diretta ripercussione sulla massima frequenza operativa dei circuiti.

"Sebbene nelle target application dell'elettronica stampata - aggiunge l'ing. Dell'Erba - non siano necessarie frequenze di lavoro elevate, si prevede che attraverso una ricerca scientifica mirata e finalizzata al prodotto, la frequenza di lavoro possa essere sensibilmente migliorata".

Soluzione temporanea a questa limitazione, potrebbe essere quella di impiegare una tecnologia ibrida con l'utilizzo di dispositivi all-printed per tutte quelle



FROM THEORY TO PRACTICE AND INDUSTRIALIZATION

Among the possible applications of the Fleep technology, stands out also the household appliance sector. If, in fact, it is difficult to think of replacing the entire control electronics of a washing machine, absolutely feasible is for instance the printing of the front panel with the control electronics of the power electronics (entrusted then with controlling the motor etc.). In that case, the matter would be to print a touch-screen, combined with a display (which can be pre-printed, as generally it already happens) and all available sensors developed according to the logic of the building-block platform. Another possible example regards the implementation of timers for household appliances of various kinds, case in which emerges the high added value of low production costs, even satisfying all performance requisites. If in fact, with equal performances, the standard electronics fixes the cost of unit/production to a value of 3, for the development of the same timer with mechanical components we drop to a value of 2. To implement the same with printed electronics, we do not exceed the value of 0.3, i.e. one tenth.

DALLA TEORIA ALLA PRATICA, ALL'INDUSTRIALIZZAZIONE

Tra le possibili applicazioni della tecnologia Fleep spicca anche il comparto dell'elettrodomestico. Se infatti risulta difficile pensare di sostituire tutta l'elettronica di controllo di una lavatrice, assolutamente fattibile risulta per esempio la stampa del pannello frontale con l'elettronica di comando all'elettronica di potenza (deputata poi a comandare il motore ecc.). In tal caso si tratterebbe di stampare un touch-screen, abbinato a un display (che può essere pre-stampato come già normalmente avviene) e a tutta la sensoristica disponibile e messa a punto secondo la logica della piattaforma building-block. Altro possibile esempio riguarda la realizzazione di timer per elettrodomestici di vario tipo, caso in cui emerge l'elevato valore aggiunto dei bassi costi di produzione, pur soddisfacendo tutti i requisiti prestazionali. Se infatti a parità di prestazioni, l'elettronica tradizionale fissa il costo di costruzione/pezzo a un valore pari 3, per lo sviluppo del medesimo timer con componentistica meccanica si passa a un valore 2. Per realizzare lo stesso con elettronica stampata non viene superato il valore di 0,3, ovvero un decimo.

exploitation of all-printed devices for all those applications that do not need high work frequencies, like for instance sensors, and standard silicon integrated systems wherever requisites impose it, like for instance in the challenging segment of wireless communication protocols.

From the "building-block" to the integrated system

Due to the intrinsic properties and peculiarities of the printing electronics just illustrated, several are the possible applications. Today, some of them are not completely mature, yet, from the point of view of the process efficiency for a device production on industrial scale (such as the production of flexible displays based on both Oled and electrophoretic technology). Not the same happens instead for the development of smart-tags, Rfid tags and distributed sensors. "In this case - explains Mr Dell'Erba - the possibility of printing suitable devices on large scale at a very low cost proves to be of great interest. The use of a hybrid technology, partly organic and partly inorganic, allows in fact attaining excellent performances without giving up the advantages of a flexible, transparent and competitive technology in terms of costs borne". In this context, the Fleep project is aimed at supplying some building blocks, i.e. sensors (of temperature, of wetness and of light etc.), circuits (optimized to interpret the results given by sensors, to pilot them etc.) and

optimized actuators (piezoelectric, Oled, electrochromic displays etc.). "A platform- ends Mr Dell'Erba - with two application ambits. The first concerns the constant improvement and widening directly carried out by our research team. The second involves instead companies, for which a complete process line of printed electronics can be developed, supplied and installed. Otherwise, the supply of determinate tools (i.e. the said building blocks, editor's note) with which customers can autonomously create their integrated system, followed by our validation or modification in co-design, according to the prefixed results. To the ends of the highest competitiveness, it is in fact fundamental to identify not only the best printing technique but also the choice of polymers and a process optimization oriented to the type of wished integrated system". How is it possible, anyway, to fuel this flexible electronics? Among the possible modalities, the most innovative one belongs to Ribes Technologies, start-up born from a collaboration between Omet (Lecco company that produces rotary printing machines) and the Center for Nano Science and Technology itself, of the Italian Technology Institute in Milan. A synergy between scientific and industrial competences that have allowed developing an innovative process to manufacture photovoltaic panels through the printing deposition of special inks.

applicazioni che non richiedono elevate frequenze di lavoro, come per esempio la sensoristica, e di classici integrati al silicio laddove i requisiti lo rendano indispensabile, come per esempio nell'esigente segmento dei protocolli di comunicazioni wireless.

Dal "building-block" al sistema integrato

Per le intrinseche proprietà e peculiarità dell'elettronica stampata illustrate, sono svariate le possibili applicazioni. Alcune di queste non sono ad oggi ancora completamente mature dal punto di vista della resa di processo per una produzione di dispositivi su scala industriale (come la produzione di display flessibili basati sia su tecnologia Oled che elettroforetica). Non così invece per lo sviluppo di smart-tag, Rfid tag e sensoristica distribuita. "In questo caso - spiega l'ing. Dell'Erba - la possibilità di stampare dispositivi idonei su larga area a un bassissimo costo, si rivela di grande interesse. L'impiego di una tecnologia ibrida, in parte organica e in parte inorganica, permetterebbe infatti di ottenere ottime performance senza rinunciare ai vantaggi di un'elettronica flessibile, trasparente e competitiva in termini di costi da sostenere". In questo contesto, il progetto Fleep ha così come obiettivo quello di fornire dei building block, ovvero sensori (di temperatura, di umidità, di luce ecc.), circuiti (ottimizzati per interpretare i risultati restituiti dai sensori, pilotarli ecc.) e attuatori (piezoelettrici, Oled,

display elettrocromici ecc.) ottimizzati.

"Una piattaforma - conclude l'ing. Dell'Erba - con due ambiti d'impiego. Il primo riguarda il continuo miglioramento e ampliamento effettuato direttamente dal nostro team di ricerca. Il secondo coinvolge invece le aziende, per le quali può essere messa a punto, fornita e installata una completa linea di processo di elettronica stampata. Oppure la fornitura di determinati tool (ovvero i citati building block ndr) coi quali il cliente può autonomamente crearsi il proprio sistema integrato, a cui segue la nostra validazione o modifica in co-design in base ai risultati prefissati. Ai fini della massima competitività è infatti fondamentale individuare non solo la migliore tecnica di stampa, ma anche la scelta dei polimeri e un'ottimizzazione di processo finalizzata al tipo di sistema integrato voluto". Ma come si può alimentare questa elettronica flessibile? Tra le modalità possibili, quella più innovativa fa capo a Ribes Technologies, start-up nata da una collaborazione tra Omet (azienda di Lecco che si occupa della produzione di macchine rotative per la stampa) e lo stesso Center for Nano Science and Technology dell'Istituto Italiano di Tecnologia di Milano. Una sinergia tra competenze scientifiche e industriali che ha permesso di sviluppare un processo innovativo per realizzare pannelli fotovoltaici tramite la deposizione per stampa di inchiostri speciali.