

SMARt Design: un workshop didattico

Le leghe a memoria di forma
nel progetto di artefatti connessi

Agnese Piselli Politecnico di Milano, Dipartimento di Design

agnese.piselli@polimi.it

Barbara Del Curto Politecnico di Milano, Dipartimento di Chimica, Materiali
e Ingegneria Chimica "Giulio Natta"

barbara.delcurto@polimi.it

L'impiego di materiali funzionali nel design spinge verso una progettazione basata sulla possibilità di conferire al prodotto capacità di "sentire" e "reagire". La diffusione di sistemi *smart* in oggetti di uso comune sta configurando un nuovo approccio al design: il designer assume i materiali intelligenti come elementi di un linguaggio progettuale che pone al centro l'esperienza soggettiva con il prodotto. Un workshop accademico condotto nella Scuola del Design, del Politecnico di Milano, si è rivelato un'esperienza efficace per avvicinare gli studenti alla conoscenza diretta e concreta delle proprietà di una famiglia di *smart materials*, le leghe a memoria di forma, ispirando la progettazione di artefatti connessi con utente e ambiente.

Materiali intelligenti, Interazione utente-prodotto, Dispositivi indossabili, Oggetti connessi, Educazione nel Design

The use of functional materials in product design opens to the opportunity of giving the artifact the ability to "feel" and "react". The spread of smart systems in everyday objects contributes to the development of a new design approach: the designer assumes smart materials as key elements in the development of an original product design language. Smart materials convey the subjective user-product experience. An educational experience of one-week – conducted at the School of Design, Politecnico di Milano –, demonstrated to be an effective instrument to introduce students to a real and direct knowledge of shape memory alloys' (SMA) properties. It inspired the design of smart artifacts, connected with the user and the environment.

Smart materials, User-product interaction, Wearable devices, Connected objects, Design education

Gli *smart materials* nel design di prodotto

I materiali funzionali o *smart materials* (SM) sono materiali che “ricordano” diverse configurazioni e sono in grado di richiamarle in risposta a specifici stimoli esterni [1]. Per questo motivo, tali materiali sono anche detti intelligenti o adattativi, poiché si auto-adevano in maniera ripetibile e reversibile a seconda del contesto in cui sono applicati (Tzou et al., 2004). A determinare il cambiamento di una o più proprietà di tali materiali possono essere diversi stimoli chimico-fisici: luminoso [fig. 01], termico, meccanico [fig. 02], magnetico [fig. 03], elettrico o chimico (Addington, Schodek, 2005).

L'impiego degli *smart materials* spinge verso una progettazione basata sulla possibilità di conferire alla materia, comunemente inerte, la capacità di “sentire” e “reagire”, animandola e dotandola di alcuni attributi propri del mondo vivente (Cardillo, Ferrara, 2008). Se finora l'applicazione di tali materiali nell'industria del design è stata frenata soprattutto da limiti economici, la massiva diffusione di dispositivi e sistemi *smart* in prodotti d'uso comune [fig. 04], sta configurando una nuova realtà artificiale: oggetti e superfici si relazionano con i sensi, migliorando le prestazioni e l'esperienza d'interazione col prodotto (Piselli et al., 2015).

I materiali intelligenti diventano, dunque, elementi chiave di un nuovo linguaggio progettuale: non è più l'insieme delle diverse componenti di un oggetto a determinare lo svolgimento di differenti funzioni, ma il comportamento dinamico del materiale *smart* a permettere di svolgere queste funzioni in maniera integrata.

Molti materiali intelligenti, infatti, possono fungere di per sé da sensori, trasduttori o attuatori. I materiali termocromici, che cambiano colore in risposta ad una variazione di temperatura, per esempio, possono essere impiegati nel progetto direttamente come sensori. Ovviamente, questi “dispositivi” sono di tipo analogico: il loro output è percepibile, ma non modificabile a valle e, pertanto, il loro utilizzo funzionale in aggregati complessi e controllabili è limitato (Lefebvre et al., 2014). Altri materiali *smart*, invece, sono in grado di svolgere, per loro natura, entrambe le funzioni di sensore e attuttore: le leghe a memoria di forma.

Metalli animati: le leghe a memoria di forma

Le leghe a memoria di forma (*Shape Memory Alloys*) sono una famiglia di metalli non ferrosi capaci di recuperare una configurazione originaria, impressa in fase di produzione, dopo essere stati deformati in una forma transitoria [fig. 05]. Il materiale deformato riacquista la

forma predefinita se soggetto ad uno stimolo di tipo termico, meccanico, magnetico, elettrico o chimico, rispondendo con trasformazioni cristallografiche reversibili e programmabili (Del Curto, 2008). Tra le classi di leghe più comunemente impiegate in campo ingegneristico si distinguono le leghe titanio-nichel, conosciute anche come *NiTi*ol, acronimo derivato dalla sua composizione (Ni-Ti) e dal suo luogo di scoperta (*Naval Ordnance Laboratory*) [2]. A seconda delle funzionalità richieste, le SMA permettono di adattare alcune loro caratteristiche – forma, rigidità, resistenza, frequenza e altre proprietà sia statiche che dinamiche –, fungendo sia da sensori che da attuatori (Otsuka, Wayman, 1998). Il recupero della configurazione genitrice può avvenire in due modi: per memoria di forma o per superelasticità. Se deformato meccanicamente al di sotto di una certa temperatura, le SMA sono in grado di recuperare, completamente o parzialmente, la loro forma originale mediante il riscaldamento al di sopra di una temperatura caratteristica di trasformazione. In questo caso si parla di effetto memoria di forma (*SME, Shape Memory Effect*), che può essere utilizzato per generare una forza o un movimento. Si definisce, invece, un comportamento superelastico o pseudoeelastico (*SE, Superelastic Effect*) quando, a seguito di una deformazione meccanica al di sopra di una certa temperatura, le SMA recuperano totalmente la configurazione indotta dalla sollecitazione per tornare a quella originaria (Stoeckel, 1995).

01



01

Lenti fotocromatiche
Sensity, Hoya.
sensitylenses.eu/it



02

In particolare, le leghe a memoria di forma trovano applicazione in segmenti di mercato avanzati, caratterizzati da una grande disponibilità di investimenti nella ricerca (Del Curto, 2008). Nell'automotive, ad esempio, gli attuatori in SMA rappresentano una valida alternativa a quelli di tipo elettromagnetico in una vasta gamma di componenti (specchi retrovisori, valvole di aspirazione, ecc.). Nel settore biomedicale, al fine di ridurre l'invasività delle pratiche mediche, le SMA trovano utilizzo soprattutto in microchirurgia (*stent* vascolari e filtri per emboli), ortopedia (protesi, placche e memo-cambre) e ortodonzia (Schetky, 2000). Anche se in maniera meno capillare, le leghe a memoria di forma, soprattutto negli ultimi anni, sono state impiegate in edilizia in sistemi antincendio e dispositivi antisismici (Indirli, Castellano, 2008). Nel campo del design di prodotto, le leghe a memoria di forma sono ancora scarsamente applicate. Nonostante i vantaggi del loro impiego in termini funzionali (flessibilità di progettazione, integrazione, silenziosità) (Cederstrøm, Van Humbeek, 1995) ed espressivo-sensoriali (interazione e con l'utente attraverso nuovi stimoli), i li-

02
Pavimento
piezoelettrico
installato nella
discoteca Watt
di Rotterdam.
synchronia.
com/alchimag-
magazine

03
Ferrollic, il
display dinamico
realizzato con
ferrofluidi
e magneti.
ferrollic.com

03





miti legati alla complessità tecnica del materiale e al suo costo elevato, hanno fatto in modo che le potenzialità di tali materiali siano ancora quasi sconosciute tra progettisti tecnici e designer (Lefebvre et al., 2015).

SMA + Design = Smart design

La divulgazione delle proprietà e delle potenzialità espressive offerte dalle leghe a memoria di forma alla comunità dei futuri progettisti industriali rappresenta il primo passo verso la progettazione e realizzazione di prodotti innovativi, interattivi ed emozionali. Per favorire l'acquisizione di una conoscenza concreta delle proprietà delle SMA e per avvicinare gli studenti di design alle interessanti caratteristiche di questi materiali, è stato adottato lo strumento accademico del workshop in collaborazione con un'azienda, leader nella produzione e applicazione di leghe a memoria di forma. Tale approccio metodologico, non solo è stato utilizzato per rafforzare le "connessioni" tra Scuola, professione e industria, ma ha permesso di creare "sinapsi" fra materiali intelligenti e design. In base all'esperienza acquisita nell'insegnamento della scienza e tecnologia dei materiali nella Scuola del Design - Politecnico di Milano (Piselli et al., 2015; Lefebvre et al., 2015; Piselli et al., 2016), si è potuto constatare, infatti, che l'utilizzo di casi studio provenienti dal contesto industriale permette di

colmare il divario tra teoria e pratica, motivando l'interesse dello studente e incoraggiando un apprendimento attivo dell'argomento (Davis, Wilcock, 2003).

Il workshop accademico, della durata complessiva di cinque giorni, è stato organizzato in quattro fasi: introduzione dell'oggetto di studio (0), scelta e analisi di un campo di applicazione (1), proposta di alcune idee progettuali (2), e sviluppo del concept di prodotto più promettente (3). I partecipanti al workshop, 45 studenti al 3° anno di laurea triennale in Design del Prodotto, sono stati divisi in 12 gruppi.

Cosa sono le SMA? Fase 0 Per permettere un confronto diretto con l'oggetto del caso studio, l'azienda è stata invitata a contribuire attivamente durante la settimana di workshop in università. Attraverso una lezione introduttiva, il responsabile aziendale dell'area innovazione ha fornito le informazioni tecniche di base (proprietà funzionali delle leghe a memoria di forma e loro attuale applicazione in prodotti commerciali). Inoltre, fornendo diverse tipologie di campioni fisici del materiale [fig. 06], è stata effettuata una dimostrazione pratica del cambiamento di forma a seguito dell'applicazione di diversi stimoli. Questo contributo è stato ben accolto dagli studenti, che nel corso della settimana di workshop hanno potuto confrontarsi con la controparte aziendale anche nello sviluppo del concept di prodotto.

Futuri campi d'applicazione. Fase 1 Tra diversi settori merceologici proposti (automotive, elettrodomestico, robotica, illuminotecnica, attrezzatura sportiva, biomedicale, sistemi di sicurezza e fashion design), i partecipanti si sono concentrati nella scelta e analisi di un settore applicativo specifico. La scelta è stata guidata sia dalla ricerca di problematiche che l'introduzione delle leghe a memoria di forma avrebbe permesso di risolvere, sia dall'incremento di funzionalità o d'interazione con l'utente di cui il prodotto avrebbe beneficiato attraverso l'impiego di tali materiali funzionali.

05



05

Il filo in Nitinol è deformato meccanicamente (sx): dopo il riscaldamento, recupera la configurazione originaria (dx). www.teachersource.com



06

06
I materiali
oggetto dello
studio: fili
e molle in lega
a memoria
di forma.
www.
technology.grc.
nasa.gov

Proposte di concept. Fase 2 Le caratteristiche principali di due o tre idee di progetto e il motivo per cui l'applicazione delle SMA nei concept rappresentava un vantaggio competitivo rispetto alle soluzioni attualmente in commercio, sono stati presentati da ciascun gruppo nel terzo giorno. Dopo la presentazione, la docenza, insieme alla controparte aziendale, ha valutato, tra le diverse proposte, il concept di prodotto potenzialmente più innovativo.

Elaborazione dello "SMArt concept". Fase 3 Nell'ultima fase del workshop, gli studenti hanno presentato nel dettaglio le caratteristiche del concept elaborati: attraverso disegni e rendering, i concept sono stati descritti a livello funzionale, formale e dimensionale.

I risultati. Prodotti connessi al futuro

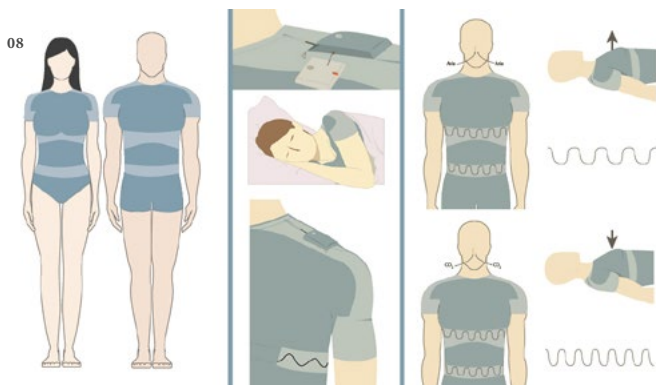
L'approccio pratico adottato nella divulgazione di un argomento caratterizzato da un alto livello di complessità teorica, come quello delle proprietà funzionali delle leghe a memoria di forma, è stato giudicato molto efficace. Gli studenti, motivati anche dalla presenza del partner aziendale, hanno mostrato un coinvolgimento proattivo nell'esperienza didattica, sviluppando alcuni concept di alto contenuto innovativo (sei su dodici). Nella maggior parte dei casi, l'applicazione delle leghe a memoria di forma è stata coerente con gli obiettivi di progetto: aumentare l'interazione tra utente e artefatto, garantire la multifunzionalità del prodotto, favorire l'integrazione della tecnologia (*wearable devices*), rafforzare il contenuto emozionale del prodotto. Il partner industriale, ha manifestato vivo interesse nella partecipare a questa esperienza didattica, raccogliendo feedback molto positivi. Ha giudicato alcune idee sviluppate nel workshop come innovative e promettenti, caratterizzate da potenzialità di sviluppo (cinque su dodici), ha inoltre riconosciuto che la reiterazione di

tale attività didattica, con la partecipazione di altri partner dell'industria del design, potrebbe favorire ancora di più la realizzazione di concept innovativi. La prova che il workshop abbia facilitato l'acquisizione di una conoscenza concreta delle proprietà delle SMA, e abbia ispirato la progettazione di nuovi artefatti connessi con l'utente e l'ambiente, viene fornita attraverso la descrizione di due proposte di concept: un dispositivo indossabile per l'automonitoraggio e un prodotto per la gestione e comunicazione dei consumi energetici nell'ambiente domestico.

Wearable device per l'automonitoraggio Le leghe a memoria di forma hanno avuto, e avranno in futuro, grande impiego nel campo biomedico, con una crescita nelle applicazioni commerciali. Memoria di forma, superelasticità e biocompatibilità, infatti, rendono le SMA un materiale perfettamente adatto a questo segmento di mercato. Focalizzando l'attenzione sulla sindrome da apnea notturna, alcuni studenti hanno sviluppato un concept di prodotto che applica le SMA come sensori, al fine di mi-



07 Storyboard illustrativo delle fasi di monitoraggio del paziente durante il sonno. Credit: Samuele Nucaro, Manuel Piva, Anna Rigillo, Carolina Rocca



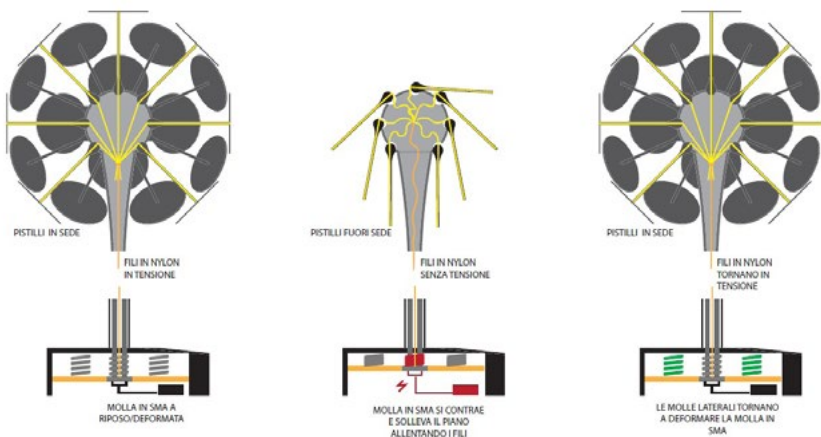
08 Storyboard illustrativo del funzionamento del wearable device. Credit: Samuele Nucaro, Manuel Piva, Anna Rigillo, Carolina Rocca

nimizzare l'invasività del monitoraggio del paziente durante il sonno. Analizzando le problematiche riscontrate nei *device* attualmente utilizzati per effettuare l'esame cardine nella diagnosi dell'apnea notturna, la polisonnografia [fig. 07], gli studenti hanno elaborato la proposta di un *wearable device* in grado di garantire il massimo contatto con il corpo del paziente sfruttando la caratteristica di superelasticità delle leghe a memoria di forma.

Il *device* pensato utilizza la tecnica di monitoraggio respiratorio della pletismografia a induttanza variabile, basata sulla misurazione delle variazioni di volume polmonare tramite la registrazione del movimento di alcuni punti del torace e dell'addome. I fili in SMA, della dimensione di 100 micron e isolati da un rivestimento in teflon o silicone, sono integrati in due fasce di tessuto elastico. Essi seguono le forme di un normale pletismografo ma sono caratterizzati da una maggiore aderenza al profilo addominale e toracico del paziente, rilevando la variazione del volume polmonare attraverso circuiti oscillatori contenuti all'interno di un trasmettitore. I fili in SMA fungono da veri e propri sensori: quando vengono deformati dal gonfiaggio polmonare, la loro resistività elettrica si modifica [fig. 08]. Lo "SMARt" *wearable device* permette la dematerializzazione dei sistemi di monitoraggio attualmente

09
Fase di consumo energetico accettabile (sx) e non "sostenibile" (dx). Credit: Maccarana Riccardo, Parenti Davide, Pietra Enrico, Ravano Andrea





10

in uso, garantendo una facile indossabilità e migliorando l'analisi dei dati in tempo reale attraverso un processore di calcolo che invierà i dati al server via wireless.

Prodotto dinamico domestico Il secondo concept è un “prodotto dinamico” che si propone come alternativa al paradigma della comunicazione iconica, garantita da freddi e imparziali display. L'obiettivo è quello di sensibilizzare verso l'utilizzo responsabile delle risorse accessibili nella propria abitazione, instaurando contemporaneamente una relazione più intensa e personale fra l'oggetto della comunicazione (informazione sui consumi energetici) e il suo destinatario. Gli studenti hanno sfruttato il potenziale interattivo delle leghe a memoria di forma, realizzando un oggetto dinamico che funge contemporaneamente da sensore e attuttore, elaborando visivamente l'informazione percepita attraverso la trasformazione fisica del prodotto [fig. 09].

L'idea alla base del concept è quella del *taraxacum* (o soffione), simbolo di vita e fragilità, che comunica con la sua forma, appassita o rigogliosa, se stiamo eccedendo con i consumi energetici domestici o se siamo all'interno di una soglia accettabile.

Una molla in SMA tiene in tensione un filo di nylon a cui sono collegati i pistilli del fiore, mentre una seconda molla permette il rilascio della tensione del filo [fig. 10]. La molla, infatti, agisce come un attuttore: essa è compressa quando riceve un impulso elettrico dalla centralina elettronica posta alla base dell'oggetto. La centralina è collegata ad un sistema di monitoraggio dei consumi domestici.

10
Meccanismo interno dell'oggetto in cui è integrata la molla in SMA. Credit: Maccarana Riccardo, Parenti Davide, Pietra Enrico, Ravano Andrea

Verso le interfacce smart

Gli studenti hanno mostrato interesse nella conoscenza dei materiali *smart* e grande capacità di integrare le leghe a memoria di forma nel progetto al fine di migliorare sia le prestazioni che l'esperienza soggettiva derivante dall'interazione utente-prodotto. I risultati promettenti riscontrati nell'esperienza accademica permettono di immaginare nuovi paradigmi di interazione. La ricerca, quindi, si spinge verso l'analisi dei diversi comportamenti che mostrano i materiali intelligenti. L'obiettivo è quello di fornire al designer un vocabolario utile nella progettazione delle proprietà dinamiche dei prodotti. Ciò si avvicina al concetto di "superficie programmabile" [4] come aggregato di unità materiche, che fungono da sensori, trasduttori e attuatori, e formano un sistema interconnesso che può essere attivato e controllato per determinare diverse caratteristiche reattive (Rasmussen et al., 2012; Coelho, 2013). Lo sviluppo di superfici programmabili e interfacce materiche tangibili, in grado di consentire un'interazione fisica e dinamica tra utente e informazioni, è immaginabile sfruttando le proprietà dei materiali *smart* di cui sono costituite.

NOTE

[1] La NASA definisce gli *smart materials* come «Materials that 'remember' configurations and can conform to them when given a specific stimulus» (Addington, Schodek, 2005, p. 8).

[2] La scoperta delle proprietà di memoria di forma delle leghe titanio-nichel, è stata scoperta nel 1961 presso il Naval Ordnance Laboratory, nel Maryland, USA (Duering et al., 1990).

[3] La variazione della resistività elettrica delle leghe a memoria di forma durante prove termiche o meccaniche è stata ampiamente indagata in letteratura (Novák et al., 2008).

[4] Surfex è una superficie programmabile per la progettazione e visualizzazione di forme fisiche, che integra le proprietà dei materiali funzionali per applicazioni nel campo della *human computer interaction* (Coelho et al., 2008).

REFERENCES

Duering Tom, Melton Keith, Stöckel Dieter, Wayman Clarence Marvin, "Ni-Ti Based Shape Memory Alloys", *Engineering Aspects of Shape Memory Alloys*, London, Butterworth-Heinemann, 1990, pp. 499.

Cederström Jan, Van Humbeeck Jeremy, "Relationship Between Shape Memory Material Properties and Applications", pp. 335-341, *Journal de Physique IV* (5), 1995.

Stöckel Dieter, "The Shape Memory Effect-Phenomenon, Alloys and Applications", pp. 1-13, *Proceedings of the Shape Memory Alloys for Power Systems (EPR1)*, 1995.

Otsuka Kazuhiro, Wayman Clarence Marvin, *Shape Memory Materials*, Cambridge, Cambridge University Press, 1998, pp. 284.

Schetky Laurence McDonald, "The Industrial Applications of Shape Memory Alloys in North America", pp. 9-16, in *Material Science Forum*, **2000**.

Davis Claire, Wilcock Elizabeth, *Teaching Materials Using Case Studies*, Liverpool, UK Centre for Materials Education, **2003**, pp. 152.

Tzou Horn-Sen, Lee H.-J., Arnold Steven M., "Smart Materials, Precision Sensors/Actuators, Smart Structures, and Structronic Systems", pp. 367- 393, *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, n. 11, **2004**.

Addington Michelle, Schodek Daniel, *Smart Materials And Technologies For The Architecture And Design Professions*, Amsterdam, Elsevier Architectural Press, **2005**, pp. 254.

Indirli Maurizio, Castellano Maria Grazia, "Shape Memory Alloy Devices for the structural improvement of masonry heritage structures", pp. 93-119, *International Journal of Architectural Heritage*, n. 2, **2007**.

Cardillo Marco, Ferrara Marinella, *Materiali intelligenti, sensibili, interattivi*, Milano, Lupetti, **2008**, pp. 216.

Coelho Marcelo, Ishii Hiroshi, Maes Pattie, "Surflex: a programmable surface for the design of tangible interfaces", pp. 3429-3434, *Proceeding of CHI EA '08*, (April 05-10, 2008, Florence, Italy), **2008**.

Del Curto Barbara, *Nanotecnologie e materiali funzionali. Strumenti per una nuova progettualità*, Milano, Epitesto, **2008**, pp. 161.

Novák Vít, Sittner Petr, Dayananda Gidnahlali N., Braz Fernandes Francisco Manuel, Mahesh Karimbi Koosappa, "Electric resistance variation of NiTi shape memory alloy wires in thermomechanical tests: Experiments and simulation", pp. 127-133, *Materials Science and Engineering: A*, **2008**.

Coelho Marcelo, "Materializing interaction", Ph.D. Thesis in Media Arts and Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Boston, **2013**.

Lefebvre Esther, Piselli Agnese, Faucheu Jenny, Delafosse David, Del Curto Barbara, "Smart materials: development of new sensory experiences through stimuli responsive materials", pp. 367-382, *Proceedings of the 5th STS Italian Conference A Matter of Design*, (June, 12-14, 2014, Milano, Italy), **2014**.

Lefebvre Esther, Piselli Agnese, Del Curto Barbara, "Smartdesign: A Workshop On Shape Memory Alloys", pp. 5381-5388, *Proceedings of EDULEARN15*, (July 06-08, 2015, Barcelona, Spain), **2015**.

Piselli Agnese, Garbagnoli Paola, Del Curto Barbara, pp. 3748-3758, "Innovative light shapes: an educational experience on materials and manufacturing technologies' selection tools", *Proceedings of the INTED2015*, (March 02-04, 2015, Madrid, Spain), **2015**.

Piselli Agnese, Simonato Michele, Del Curto Barbara, "Improving the learning process in materials selection: the role of context in choosing material solutions", pp. 6713-6722, *Proceedings of INTED2016*, (March 07-09, 2016, Valencia, Spain), **2016**.