



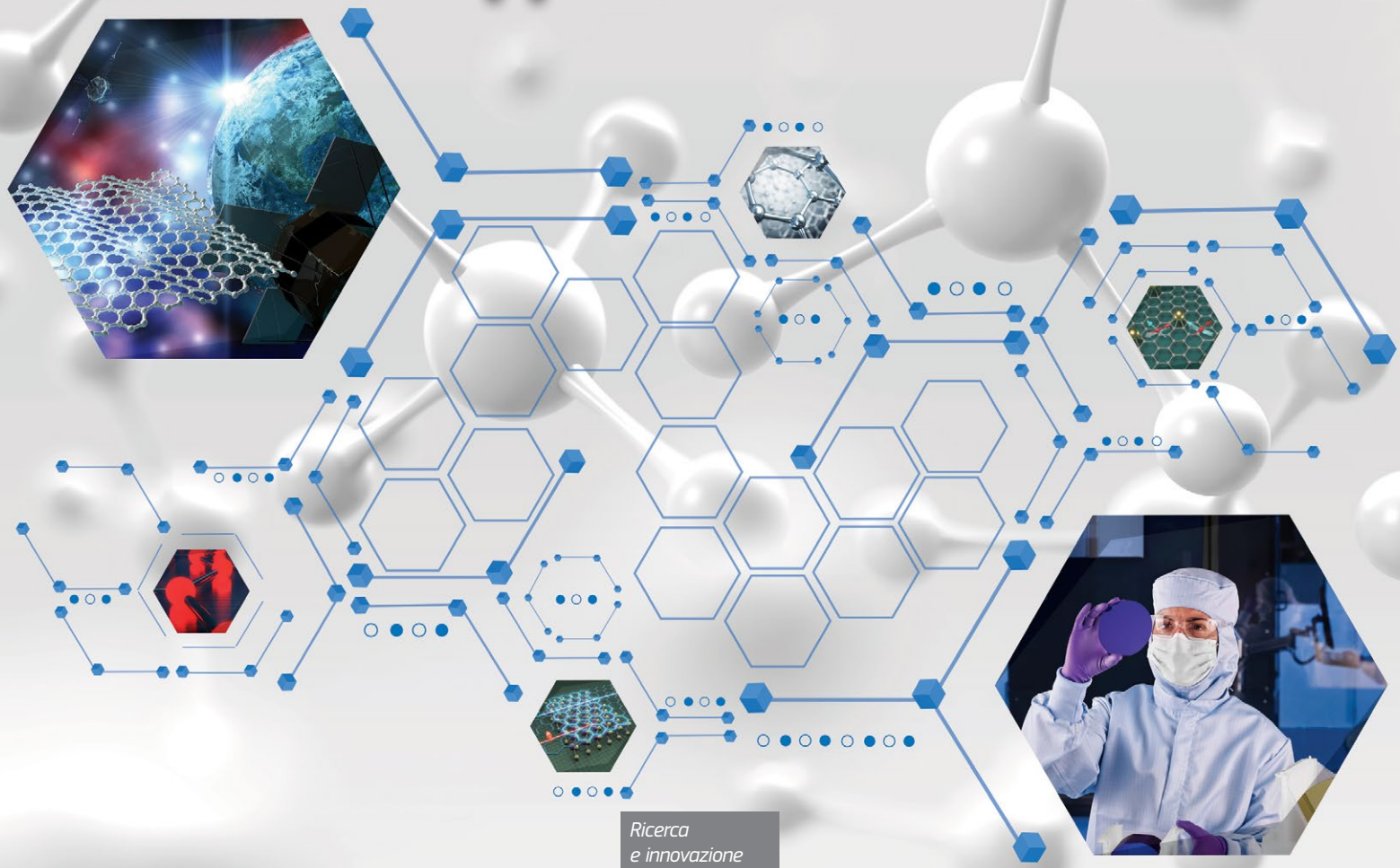
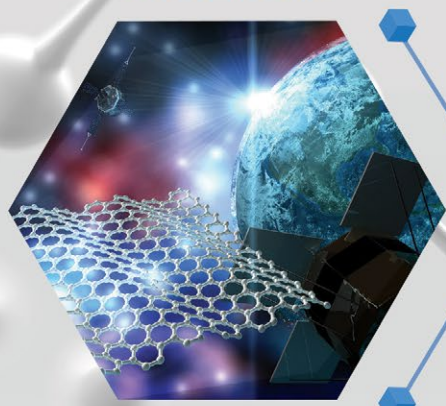
Commissione  
europea

# CORDIS Results Pack: grafene

Una raccolta tematica di risultati dei progetti di ricerca e innovazione finanziati dall'UE

Gennaio 2019

## Grafene e materiali 2D sulla strada giusta verso applicazioni innovative



Ricerca  
e innovazione

# Indice

3

L'investimento dell'Europa nel grafene

5

La versatilità del grafene si estende alle applicazioni spaziali

7

Le spettacolari prestazioni del grafene nelle comunicazioni ottiche ad alta velocità

9

Portare la produzione di massa del grafene alla fase successiva

11

Materiali innovativi basati sul grafene

13

Il grafene rende fattibile la spintronica su piccola scala a temperatura ambiente

15

Progressi in campo biomedico grazie all'uso del grafene

17

Rilevatori a punti quantici in grafene per la nuova generazione di dispositivi indossabili per il monitoraggio della salute

19

Usare il grafene come una lente d'ingrandimento sovralimentata

21

Usare il grafene per accelerometri a effetto tunnel perfetti

23

Tecnologia LbL applicata all'ossido di grafene

25

Polimeri rinforzati con grafene pronti per la commercializzazione

# Editoriale

Il grafene è un cristallo atomico bidimensionale composto da atomi di carbonio disposti in un reticolo esagonale. Con uno spessore di appena un atomo, il grafene è il più sottile composto noto oltre che quello più resistente mai scoperto (fra 100 e 300 volte più resistente dell'acciaio), il più leggero materiale conosciuto (con un metro quadro che pesa circa 0,77 milligrammi) ed è anche assai flessibile.

## Un materiale per il futuro

Questo CORDIS Results Pack presenta 12 articoli su 6 ambiziosi progetti di ricerca all'avanguardia dell'UE finanziati nell'ambito dei programmi di ricerca del 7° PQ e di Orizzonte 2020 dell'UE attinenti al grafene e ai materiali 2D. Tra questi, sette articoli trattano diversi aspetti dell'iniziativa faro Graphene Flagship.

Graphene Flagship è la più grande iniziativa di ricerca dell'UE, con un bilancio di 1 miliardo di euro, e rappresenta una nuova forma di ricerca congiunta e coordinata su una scala senza precedenti. Attraverso un consorzio combinato accademico-industriale, lo sforzo di ricerca copre l'intera catena del valore, dalla produzione dei materiali all'integrazione dei componenti e del sistema, con l'obiettivo di sfruttare le eccezionali proprietà del grafene.

Una introduzione al grafene delinea il lavoro svolto dall'iniziativa faro, inclusa la collaborazione con l'Agenzia spaziale europea circa gli usi del grafene in applicazioni spaziali, quali la propulsione della luce e la gestione termica. I ricercatori hanno inoltre usato dei sistemi di comunicazione optoelettronici per fornire dati veloci per il futuro. La produzione su larga scala del grafene per applicazioni del mercato commerciale ha coinvolto l'aumento di scala fino a giungere a quella industriale, pur mantenendo coerenza, alta qualità ed efficienza in termini di costi.

Gli scienziati hanno esaminato la lavorazione chimica e le applicazioni pratiche del grafene e dei materiali affini al grafene per ingegnerizzare nuove strutture molecolari con proprietà uniche. La spintronica basata sul grafene ha usato sia la carica che lo spin dell'elettrone a temperatura ambiente per creare nuove possibilità per l'elaborazione e la memorizzazione delle informazioni. Infine, l'iniziativa faro ha studiato l'uso del grafene per applicazioni biomediche al fine di sviluppare innovativi dispositivi medici e sensori per rilevare, trattare e gestire malattie del sistema nervoso.

La ricerca europea sul grafene non rientra integralmente fra le competenze dell'iniziativa faro e i ricercatori stanno utilizzando altri meccanismi di finanziamento dell'UE per intraprendere altri progetti. GRAPHEALTH ha prodotto la prossima generazione di sensori indossabili, mentre GRASP ha applicato le interazioni tra grafene e luce all'informatica quantistica e alla biomedicina. GRATA ha sviluppato accelerometri a effetto tunnel da usare nel monitoraggio delle vibrazioni delle macchine. HIGRAPHEN ha creato densi materiali compositi polimerici da usare nell'optoelettronica e nello stoccaggio dell'energia. PolyGraph, (lavorando a stretto contatto con Graphene Flagship), ha studiato i polimeri rinforzati con grafene da usare nel settore aeronautico e in quello automobilistico.

# L'investimento dell'Europa nel grafene

Il grafene, il primo materiale bidimensionale al mondo, possiede proprietà uniche ed eccezionali. Un'importante iniziativa finanziata dall'UE ha sviluppato il materiale e la sua applicazione in una miriade di nuove tecnologie.

Il grafene è un materiale conosciuto: la «mina» nelle matite è in effetti grafite, che è composta da molti strati di grafene impilati l'uno sull'altro. In seguito all'isolamento per la prima volta di un singolo strato atomico nel 2004 da parte di Andre Geim e Konstantin Novoselov all'Università di Manchester, gli scienziati hanno scoperto che i singoli strati di grafene possiedono proprietà eccezionali, fra cui la conduttività termica più alta rispetto a qualsiasi materiale conosciuto, oltre a un'elevata resistenza e conduttività elettrica. Per di più, il grafene è impermeabile, trasparente e flessibile e combinazioni di queste proprietà possono essere applicate a molti settori differenti.

L'obiettivo dell'iniziativa [Graphene Flagship](#), finanziata dall'UE, è portare il grafene e materiali affini (GRM) fuori dal laboratorio e nella società, sotto forma di nuovi prodotti stimolanti e versatili. L'iniziativa mira a contribuire alla crescita economica dell'Europa attraverso la creazione di nuove opportunità di lavoro.

## Un investimento significativo

Si tratta della più grande iniziativa di ricerca dell'UE: con una durata di 10 anni e un bilancio di 1 miliardo di euro, rappresenta una nuova forma di ricerca coordinata e congiunta su una scala senza precedenti. È finanziata congiuntamente da Commissione europea, Stati membri e paesi associati, con oltre 150 gruppi di ricerca in 23 paesi che coinvolgono mondo accademico, istituti di ricerca e settore industriale. «Le attività di ricerca coprono l'intera catena del valore dalla produzione dei materiali alle tecnologie dei componenti, fino all'integrazione del sistema spaziando da componenti elettronici oppure optoelettronici a materiali compositi, batterie e rivestimenti», osserva il dott. Jari Kinaret, direttore dell'iniziativa Graphene Flagship.





*Le attività di ricerca coprono l'intera catena del valore dalla produzione dei materiali alle tecnologie dei componenti, fino all'integrazione del sistema spaziando da componenti elettronici oppure optoelettronici a materiali compositi, batterie e rivestimenti.*

Nella fase attuale del programma Flagship (chiamata Core2), che si svolge tra il 2018 e il 2020, sono in fase di svolgimento sei progetti di punta che si concentrano su un'ampia gamma di settori di applicazione, ma mirano tutti a sviluppare prodotti nuovi o migliorati con GRM. Il movimento verso un livello superiore di maturità tecnologica risulta evidente dopo il lancio da parte delle organizzazioni partner di sei imprese spin-off basate sul loro lavoro, che garantiscono così più di 20 milioni di euro in fondi di capitale di rischio.

«È abbastanza difficile scegliere i punti salienti tra i singoli risultati», afferma il dott. Kinaret, «ma citerei i sistemi di comunicazione estremamente rapidi, quali ad esempio i fotorivelatori molto veloci e un commutatore fotonico per i sistemi di comunicazione 5G». Ulteriori esempi includono una combinazione di diverse tecnologie scalabili verso l'alto per

produrre fiocchi di grafene mediante procedimento elettrochimico o esfoliazione con forze di taglio, che sono già stati commercializzati entrambi.

## Importanti benefici

L'iniziativa promuove anche la sostenibilità, dato che i ricercatori sono al lavoro su molte tecnologie connesse con l'energia rinnovabile. «Per esempio, stiamo sviluppando una fattoria solare a Creta e tecnologie per lo stoccaggio dell'energia fondamentali per la mobilità elettrica», spiega il dott. Kinaret. «Più in generale,

molte delle tecnologie su cui stiamo lavorando riducono il consumo di energia rendendo possibile la produzione di automobili e aeroplani più leggeri. Per di più, stiamo sviluppando un'ampia gamma di sensori per applicazioni ambientali e mediche».

Le eccezionali proprietà termiche e di resistenza del grafene lo rendono ideale per migliorare le prestazioni di applicazioni nel settore aerospaziale e dei satelliti. Quando è combinato con compositi o plastiche, il grafene ha prestazioni estremamente buone in termini di robustezza generale, resistenza del materiale e conduttività termica. Il grafene risulta anche utile in innovative applicazioni per la diagnosi e il trattamento, come ad esempio la somministrazione dei farmaci e i biosensori.

L'Europa è adesso un soggetto importante nella rivoluzione del grafene. «Portando il grafene dal campo dei laboratori accademici fino a quello della società, la Graphene Flagship mira a generare crescita economica, nuovi posti di lavoro e nuove opportunità per gli europei, sia come investitori che come dipendenti», conclude il dott. Kinaret.

---

### PROGETTO

**Graphene Flagship**

---

### COORDINATO DA

Chalmers University of Technology, Svezia

---

### FINANZIATO DA

H2020

---

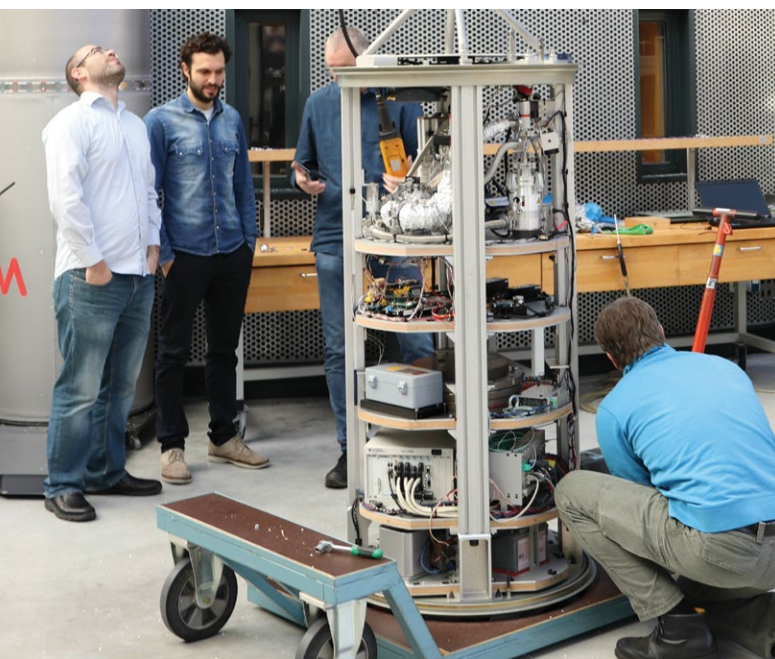
### SITO WEB DEL PROGETTO

[graphene-flagship.eu](http://graphene-flagship.eu)



# La versatilità del grafene si estende alle applicazioni spaziali

In una serie ingegnosa di esperimenti, alcuni gruppi di ricerca europei hanno testato per la prima volta il grafene in condizioni di microgravità. Gli eccitanti risultati forniscono una base preziosa per lo sviluppo di dispositivi in grafene da usare nello spazio.



© Graphene Flagship

Il grafene possiede proprietà meccaniche, elettriche e termiche uniche, che stimolano i ricercatori a esaminare l'utilità di questo reticolo bidimensionale di carbonio puro.

Ricercatori e studenti nell'ambito dell'iniziativa di ricerca Graphene Flagship, in collaborazione con l'Agenzia spaziale europea (ESA), hanno scoperto ulteriori potenzialità per il materiale che lo rende adatto all'uso in applicazioni spaziali, tra cui la propulsione grazie alla luce e la gestione termica. I risultati prodotti da questa sinergia ben orchestrata rappresentano il primo passo verso l'ampliamento delle frontiere della ricerca sul grafene.

## Veleggiare nello spazio con il grafene

Breakthrough Starshot è un progetto di ricerca e ingegneria che fa parte delle Breakthrough Initiatives e che mira a sviluppare una prova del concetto della flotta di veicoli spaziali con vele solari che raggiungerà il sistema stellare Alfa Centauri entro 20 anni dal suo lancio.

Un gruppo di dottorandi della Graphene Flagship proveniente dall'Università tecnica di Delft nei Paesi Bassi che partecipa al programma [Drop Your Thesis!](#) di [ESA Education](#) ha compiuto il primo passo verso questo ambizioso obiettivo. Il programma ha offerto loro la possibilità di effettuare un esperimento in condizioni di microgravità alla Drop Tower del Centro di Tecnologia spaziale applicata e microgravità (ZARM) a Brema, allo scopo di testare il potenziale del grafene come materiale per una vela solare nella propulsione spaziale.

Per creare le condizioni di microgravità, una capsula contenente telecamere, laser e grafene è stata lasciata cadere da una torre alta 150 metri, portando a 4,5 secondi di assenza di peso. La pressione di radiazione proveniente dalla brillante luce laser ad alta potenza sulla membrana di grafene ha fatto muovere la vela. Il gruppo ha misurato questo spostamento con un microscopio per determinare la spinta sulle vele di grafene.

«Per una propulsione efficace, la vela solare deve avere una superficie ampia ed essere quanto più possibile leggera. Il grafene soddisfa questi requisiti, visto che è molto leggero e robusto, e lo si può espandere su una grande superficie», evidenzia il prof.



*Gli esperimenti hanno dimostrato che il grafene migliorava la pressione capillare del fluido nello stoppino metallico del 40 % e il tasso di evaporazione dell'800 %.*

Andrea Ferrari dell'Università di Cambridge (Regno Unito), responsabile per scienza e tecnologia dell'iniziativa Graphene Flagship.

## Il grafene diffonde il calore

Ricercatori provenienti dagli istituti partner di Graphene Flagship, ovvero la Libera Università di Bruxelles (ULB) (Belgio), l'Università di Cambridge (Regno Unito), l'unità di Bologna del Consiglio nazionale delle ricerche (CNR) (Italia) e Leonardo (Italia), hanno ideato un esperimento per testare il modo in cui i rivestimenti basati sul grafene possono migliorare l'efficienza dei sistemi di raffreddamento dei satelliti sfruttando le eccezionali proprietà termiche del materiale.

Spiega il prof. Ferrari: «Il grafene è utilizzato in quelli che vengono chiamati tubi di calore, che sono delle pompe in grado di muovere un fluido senza bisogno di nessuna parte meccanica. Ciò è molto importante per le operazioni spaziali, dal momento che non c'è usura e nemmeno bisogno di manutenzione. Per esempio, i tubi di calore possono trasferire il calore da sistemi elettrici surriscaldati nei satelliti verso l'esterno, nello spazio».

Il materiale è stato portato a bordo di un volo parabolico nell'aeromobile Novespace Zero-G, dove si creano condizioni di

microgravità per periodi di circa 24 secondi alla volta. Il gruppo ha effettuato sei voli, compiendo in ognuno 31 archi parabolici, per un totale di oltre un'ora in condizioni di microgravità.

«Il grafene a bordo ha resistito all'ambiente con buone prestazioni. Gli esperimenti hanno dimostrato che il grafene migliorava la pressione capillare del fluido nello stoppino metallico del 40 % e il tasso di evaporazione dell'800 %», sottolinea il prof. Ferrari.

Entrambi gli esperimenti sono stati una dimostrazione eccezionale del multiforme potenziale del grafene, che ha ora ampliato i suoi confini mostrando la sua utilità nello spazio. Sulla base dei confortanti risultati, l'iniziativa Flagship sta continuando a sviluppare e ottimizzare i dispositivi in grafene per applicazioni in condizioni spaziali reali.

---

### PROGETTO

**Graphene Flagship**

---

### ISTITUZIONE INTERVISTATA

Università di Cambridge, Regno Unito

---

### FINANZIATO DA

H2020

---

### SITO WEB DEL PROGETTO

[graphene-flagship.eu](http://graphene-flagship.eu)




# Le spettacolari prestazioni del grafene nelle comunicazioni ottiche ad alta velocità

L'integrazione di strati di grafene nella fotonica del silicio potrebbe costituire la base per le comunicazioni dati di prossima generazione. Alcuni ricercatori dell'iniziativa Graphene Flagship hanno portato la tecnologia più vicina al suo impiego pratico dimostrando la prima comunicazione dati ad alta velocità basata sul grafene, con una velocità di trasmissione dati di 50 Gb/s.

Il programma Graphene Flagship intende fungere da catalizzatore per lo sviluppo di applicazioni all'avanguardia, mettendo insieme il mondo accademico e quello industriale per portare questo materiale versatile alla gente entro 10 anni. L'importanza dell'integrazione del grafene nella fotonica del silicio era evidente nei risultati comuni prodotti dalla collaborazione tra i partner dell'iniziativa Flagship AMO GmbH (Germania), Consorzio nazionale interuniversitario per le telecomunicazioni (CNIT) (Italia), Ericsson (Svezia), Università di Gand (Belgio), Istituto di Scienze fotoniche (ICFO) (Spagna), imec (Belgio), Nokia (Germania e Italia), Università tecnica di Vienna (TU Wien) (Austria) e Università di Cambridge (Regno Unito).

la sua capacità di emettere, modulare e rilevare il segnale, può essere la prossima tecnologia di rottura a ottenere questo risultato.

«Il grafene offre una soluzione omnicomprensiva per le tecnologie optoelettroniche», fa notare Daniel Neumaier di AMO GmbH, a capo della divisione della Graphene Flagship riguardante l'integrazione di elettronica e fotonica. Le sue proprietà ottiche modulabili, l'alta mobilità elettrica, il funzionamento spettralmente in banda larga e la compatibilità con la fotonica del silicio consentono l'integrazione monolitica di modulatori, commutatori e fotorivelatori di fase e assorbimento. L'integrazione su un singolo chip può incrementare le prestazioni del dispositivo e ridurre notevolmente l'impronta e il costo di fabbricazione.

  
*Offrendo velocità e tassi elevati di trasmissione dati, i dispositivi fotonici basati sul grafene sono fondamentali per il trasferimento dati di prossima generazione.*

## Il chip delle meraviglie

Il silicio è stato accolto con favore da molti in quanto adatto all'integrazione monolitica nel campo della fotonica. Tuttavia, l'obiettivo di aumentare la velocità e ridurre la potenza e l'impronta dei componenti chiave della tecnologia della fotonica del silicio non è stato ancora raggiunto in un singolo chip. Ma il grafene, con

## Non del tutto attaccato sul silicio

La modulazione e il rilevamento della luce sono operazioni chiave nei circuiti fotonici integrati. Dal momento che non presenta una banda proibita, il grafene rende possibile il rilevamento della luce a banda larga con un solo materiale, visto che assorbe in modo uniforme all'interno di un'ampia gamma nello spettro visi-

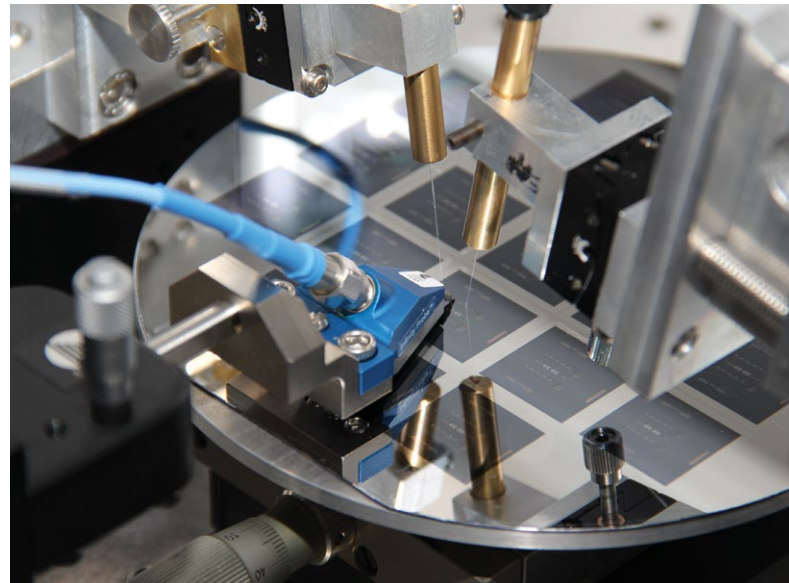
bile e infrarosso. Il materiale 2D mostra anche effetti di elettro-assorbimento ed elettro-rifrazione che possono essere usati per una modulazione ultra veloce.

Invece di fare affidamento sulla costosa tecnologia a wafer del silicio su isolante largamente usata nella fotonica del silicio, i ricercatori dell'iniziativa Graphene Flagship hanno proposto una configurazione più vantaggiosa, che consisteva in un paio di strati di grafene a singolo strato (SLG) e in un condensatore formato da una pila SLG-isolante-SLG sopra una guida d'onda passiva. «Una simile disposizione presenta diversi vantaggi rispetto ai modulatori fotonici al silicio», spiega Neumaier. Scendendo nei dettagli, la fabbricazione del modulatore non dipende dal materiale della guida d'onda o dai meccanismi di modulazione con elettro-assorbimento ed elettro-rifrazione. Inoltre, la sostituzione dei fotorecettori al germanio con l'SLG elimina la necessità degli alquanto costosi moduli della deposizione epitassiale del germanio e dei relativi procedimenti specializzati di drogaggio.

Il nitruro di silicio (SiN) ha fornito un valido substrato per la sintesi del grafene, rendendo possibile un'elevata mobilità del portatore, trasparenza nella regione visibile e in quella infrarossa e perfetta compatibilità con la tecnologia del silicio e con quella dei semiconduttori metallo-ossidi complementari (CMOS). In quanto piattaforma della guida d'onda passiva, il SiN facilita l'integrazione laser e l'accoppiamento delle fibre alla guida d'onda, consentendo quindi la progettazione di dispositivi miniaturizzati.

## Un futuro luminoso per la fotoelettronica basata sul grafene

Sfruttando il potenziale del grafene, i ricercatori hanno dimostrato con successo la comunicazione dati con componenti fotonici al grafene fino a velocità di 50 Gb/s. Un modulatore basato sul grafene ha elaborato i dati dalla parte che trasmetteva della



rete, codificando un flusso elettronico di dati in un segnale ottico. Dalla parte che riceveva, un fotorecettore basato sul grafene ha convertito la modulazione ottica in un segnale elettronico. «Questi risultati sono un inizio promettente per l'utilizzo di dispositivi fotonici basati sul grafene nelle comunicazioni dati di prossima generazione», conclude Neumaier.

---

**PROGETTO**  
**Graphene Flagship**

---

**ISTITUZIONE INTERVISTATA**  
AMO GmbH, Germania

---

**FINANZIATO DA**  
H2020

---

**SITO WEB DEL PROGETTO**  
[graphene-flagship.eu](http://graphene-flagship.eu)



# Portare la produzione di massa del grafene alla fase successiva

L'eccezionale combinazione di proprietà del grafene apre la strada a un'ampia varietà di applicazioni, a partire da energia ed elettronica fino a dispositivi biomedicali e aeronautica. Per soddisfare queste domande in crescita, i ricercatori devono aumentare la produzione del grafene, portandola su scala industriale.

Tradizionalmente, la produzione del grafene avviene mediante la lavorazione della grafite o metodologie di deposizione chimica in fase di vapore (CVD), che portano ciascuna a differenti proprietà e qualità del materiale. Anche se la CVD è un approccio scalabile, essa genera soltanto monostrati di grafene di alta qualità adatti per applicazioni in semiconduttori.

Il pacchetto di lavoro Produzione della Graphene Flagship, guidato dal dott. Alex Jouvray di [Aixtron Ltd](#) nel Regno Unito, si concentra sulla produzione di massa del grafene per applicazioni commerciali sul mercato. L'idea è di portare su scala industriale il processo di fabbricazione della CVD e del grafene in grande quantità in una maniera che sia efficace in termini di costi, mantenendo al contempo consistenza e alta qualità. «Il nostro obiettivo finale è stabilire una catena di fornitura industriale per il grafene in Europa che possa supportarne le diverse applicazioni», spiega il dott. Jouvray. I partner del pacchetto di lavoro includono un fabbricante di attrezzature industriali (Aixtron Ltd), produttori commerciali di grafene (Avanzare Innovacion Tecnologica SL, Graphenea SA e Grupo Antolin-Ingenieria SA) e utenti finali del grafene quali ad esempio Airbus Operations SL e Aernnova.

## Metodologie di produzione

I metodi di lavorazione del grafene, quali ad esempio esfoliazione, sonicazione e trattamento al plasma, rompono la grafite in maniera controllata per generare fiocchi di grafene. Il metodo dell'esfoliazione può produrre fiocchi di grafene di qualità estremamente elevata, ma non è scalabile. D'altro canto, il trattamento al plasma e la sonicazione sono in grado di produrre

quantità molto grandi di ossido di grafene, ossido di grafene ridotto e nanolamelle di grafene che fungono da additivi nei materiali plastici e possono essere aggiunti in polimeri rinforzati con fibre di vetro o nel calcestruzzo per conferire robustezza e conduttività termica. Inoltre, questi materiali affini al grafene sono adatti per applicazioni in rivestimenti e stampa.

I ricercatori hanno sviluppato con successo una metodologia per la deposizione su larga scala di grafene sopra una lamina insieme a una tecnologia di piastrellatura che trasferisce grafene di alta qualità sopra substrati con un'ampia superficie. Inoltre, Avanzare ha incrementato la produzione di grafene portandola nell'ordine delle tonnellate all'anno, fungendo da fornitore per altri partner di Graphene Flagship.

## Prodotti innovativi basati sul grafene

Oltre che ai sistemi di produzione e deposizione del grafene, un notevole sforzo è stato dedicato anche alla certificazione di prodotti basati sul grafene in condizioni reali. Diversi prodotti contenenti grafene sono stati lanciati sul mercato, come per esempio racchette da tennis, rivestimenti del padiglione per automobili e un'ampia gamma di materiali affini al grafene. Il pacchetto di lavoro Produzione si concentra in modo specifico su industrie come quella automobilistica, quella aerospaziale e quella optoelettronica.



*Il nostro obiettivo finale è stabilire una catena di fornitura industriale per il grafene in Europa che possa supportarne le diverse applicazioni.*



Aggiungendo grafene in un composito polimerico, gli scienziati hanno generato una plastica ritardante di fiamma con potenziali applicazioni nell'industria automobilistica e in quella delle costruzioni. L'aggiunta di questi materiali intelligenti insieme a sistemi efficienti di rilevazione di incendi possono indubbiamente migliorare la sicurezza degli edifici. Allo stesso tempo, visto il crescente problema degli incendi ai veicoli stradali, i materiali ritardanti di fiamma aiuteranno a migliorare anche la sicurezza sulle strade.

Lo sviluppo di strutture rinforzate con il grafene per applicazioni aerospaziali è particolarmente significativo. Il grafene conferisce proprietà meccaniche e conduttività migliorate ai compositi. Usando materiali compositi basati sul grafene, ingegneri e scienziati

provenienti da Airbus, Aernnova e Grupo Antolin hanno sviluppato il prototipo di un componente aeronautico con peso ridotto che fornisce protezione dai fulmini.

Fino a poco tempo fa, il grafene era confinato principalmente agli ambienti della ricerca. «Nel pacchetto di lavoro Produzione, lo sviluppo del grafene è interamente guidato dall'industria e i produttori del materiale e delle attrezzature devono rispettare rigidi protocolli per lo sviluppo e il controllo di qualità», sottolinea il dott. Jouvray.

Dato che il grafene sta diventando rapidamente il materiale del XXI secolo, l'industria deve tenersi aggiornata sui processi di produzione. Il dott. Jouvray crede che la Graphene Flagship «creerà un ecosistema guidato dall'industria per il grafene e i suoi materiali affini, ampliando in tal modo le potenziali applicazioni».

---

**PROGETTO**

**Graphene Flagship**

---

**ISTITUZIONE INTERVISTATA**

Aixtron Ltd, Regno Unito

---

**FINANZIATO DA**

H2020

---

**SITO WEB DEL PROGETTO**

[graphene-flagship.eu](http://graphene-flagship.eu)



# Materiali innovativi basati sul grafene

L'inquinamento rappresenta un grave problema in molte regioni del mondo, in particolare nelle aree urbane. Usando innovativi materiali basati sul grafene, i ricercatori del pacchetto di lavoro Schiume e rivestimenti funzionali dell'iniziativa Graphene Flagship hanno fornito soluzioni per affrontare la contaminazione ambientale, oltre ad altre possibili applicazioni.

Un diffuso entusiasmo relativo alle applicazioni del grafene nel settore industriale è stato smorzato dalle strozzature legate a costo elevato, scalabilità e qualità. Sono state testate varie metodologie, che lasciano però dei difetti nel materiale risultante oppure hanno una resa limitata. Di conseguenza, vi è una pressante esigenza di produrre grafene di alta qualità con innovative funzionalità e su larga scala.

Il pacchetto di lavoro Schiume e rivestimenti funzionali, guidato dal prof. Xinliang Feng dell'Università tecnica di Dresda in Germania, si concentra sulla lavorazione chimica e sulle applicazioni funzionali del grafene e dei materiali affini al

grafene (GRM, Graphene-Related Material). «Intendiamo creare strutture porose, quali ad esempio schiume e membrane, principalmente per la filtrazione, e film sottili funzionali per varie applicazioni», spiega il dott. Martin Lohe, leader del gruppo per l'innovazione e l'industria all'Università di Dresda.



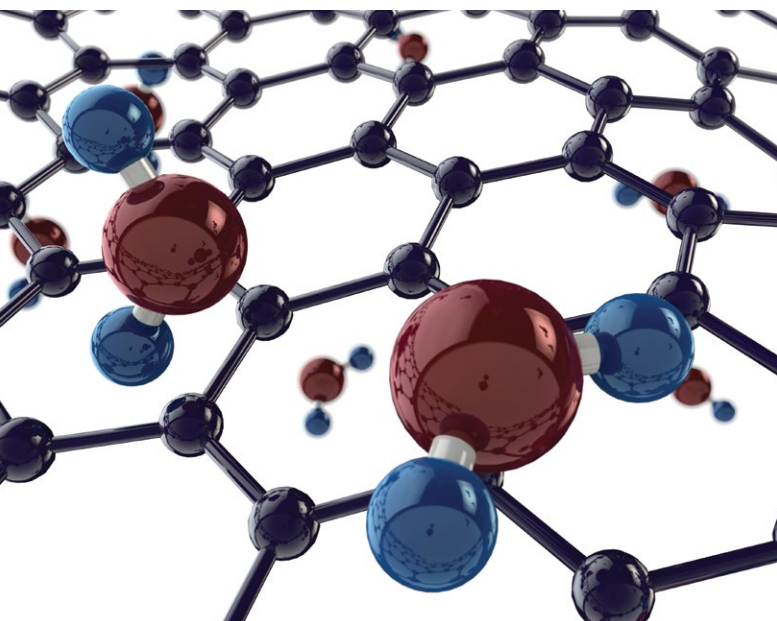
*L'esfoliazione elettrochimica e la funzionalizzazione della grafite aiuteranno a colmare il divario tra scienza dei materiali e applicazioni pratiche.*

## Portare su scala industriale la produzione del grafene

I ricercatori hanno sviluppato con successo un processo di produzione del grafene basato sull'esfoliazione elettrochimica, che genera grafene di alta qualità con una resa notevolmente maggiore. Questo processo prevede l'uso di un elettrolita e di una corrente elettrica che porta all'espansione strutturale nel giro di minuti o di ore in condizioni ambientali. L'esfoliazione elettrochimica è inoltre rispettosa dell'ambiente e può essere adattata alle risorse naturali di carbonio.

Il vantaggio più significativo di questo metodo è che permette di produrre grafene con proprietà modulabili semplicemente cambiando il materiale di partenza e le condizioni del processo. Di conseguenza, il grafene può essere fatto su misura, a seconda della specifica applicazione.

Gli scienziati hanno dovuto superare alcuni ostacoli, associati principalmente alla tendenza del grafene di alta qualità a ricompattarsi. Per affrontare questo problema hanno usato



degli agenti funzionalizzanti, che hanno portato a ottenere un grafene altamente conduttivo ma anche disperdibile in acqua. Allo stesso tempo, questo approccio ha aumentato la resa e la stabilità del materiale.

## Applicazioni innovative del grafene

La funzionalizzazione del grafene lo rende adatto per un'ampia gamma di applicazioni, quali ad esempio fotocatalisi al chiuso e all'aperto, desalinazione e depurazione, stoccaggio dell'energia e sensori chimici. I partner del pacchetto di lavoro Schiume e rivestimenti funzionali hanno prodotto inchiostri al grafene utilizzati in sensori totalmente stampati e dispositivi per lo stoccaggio dell'energia.

Le applicazioni innovative dei GRM nell'ambito della Graphene Flagship includono strategie di depurazione dell'acqua quali filtrazione e desalinazione. Quest'ultima offre prospettive promettenti per una produzione sostenibile ed efficiente, in termini di consumo energetico e costi, di acqua pulita a partire da acque salmastre e di mare. I GRM sono inoltre adatti per essere usati in sistemi catalitici per la produzione di idrogeno e sotto forma di schiume per scopi legati all'illuminazione e come elementi a riscaldamento veloce. Ma soprattutto, il grafene viene utilizzato anche per potenziare la capacità dell'ossido di titanio di degradare alcuni inquinanti. Materiali compositi grafene-cemento con ossido di titanio possono essere utilizzati come rivestimenti fotocatalitici negli edifici intelligenti che sono in grado di pulire l'aria nelle nostre città ed eliminare gli inquinanti dell'acqua.

I numerosi risultati scientifici del pacchetto di lavoro sono evidenziati dal numero di domande di brevetto, premi e pubblicazioni scientifiche. Vale la pena sottolineare le 25 attuali collaborazioni con partner industriali e le due imprese spin-off che sono emerse, che hanno promosso dal punto di vista commerciale le metodologie di produzione e i prodotti basati sul grafene.

Inoltre, i risultati e i materiali nanocompositi prodotti in questo pacchetto di lavoro sono condivisi con altre parti dell'iniziativa Graphene Flagship, per essere usati in dispositivi da lavoro quali componenti elettronici stampati, sensori, combustibile e celle solari. Ciò farà progredire ulteriormente le applicazioni del grafene, oltre le tecnologie attuali. Commentando l'esfoliazione elettrochimica e la funzionalizzazione della grafite, il prof. Feng è sicuro che «aiuteranno a colmare il divario tra scienza dei materiali e applicazioni pratiche».

---

### PROGETTO

**Graphene Flagship**

---

### ISTITUZIONE INTERVISTATA

TU Dresda (TUD), Germania

---

### FINANZIATO DA

H2020

---

### SITO WEB DEL PROGETTO

[graphene-flagship.eu](http://graphene-flagship.eu)



# Il grafene rende fattibile la spintronica su piccola scala a temperatura ambiente

Alcuni ricercatori dell'iniziativa Graphene Flagship hanno prodotto dispositivi spintronici basati sul grafene che utilizzano sia la carica che lo spin dell'elettrone a temperatura ambiente. Dimostrando la fattibilità dell'uso dello spin per colmare distanze che raggiungono diversi micrometri, i risultati offrono nuove possibilità per integrare l'elaborazione delle informazioni e la memorizzazione in un singolo chip.

Fin dall'inizio, il programma Graphene Flagship ha colto il potenziale dei dispositivi spintronici fabbricati con grafene e materiali affini. Ricercatori provenienti da diverse università sono riusciti a dimostrare che è possibile manipolare le proprietà dello spin del grafene in maniera controllata a temperatura ambiente. Questi risultati suggeriscono nuove direzioni nello sviluppo di dispositivi basati sulla logica dello spin e sull'informatica quantistica. «Dato che la miniaturizzazione rappresenta un'importante forza propulsiva per l'industria elettronica, il grafene apre la strada a nuove possibilità per compattare le operazioni basate sulla logica dello spin con elementi di memoria magnetica in una singola piattaforma», rileva il professor Stephan Roche, ricercatore all'Istituto catalano di ricerca e studi avanzati (ICREA), che ha guidato il pacchetto di lavoro Spintronica dell'iniziativa Graphene Flagship fin dal suo inizio.

## Non si può più dare la colpa ai difetti del materiale

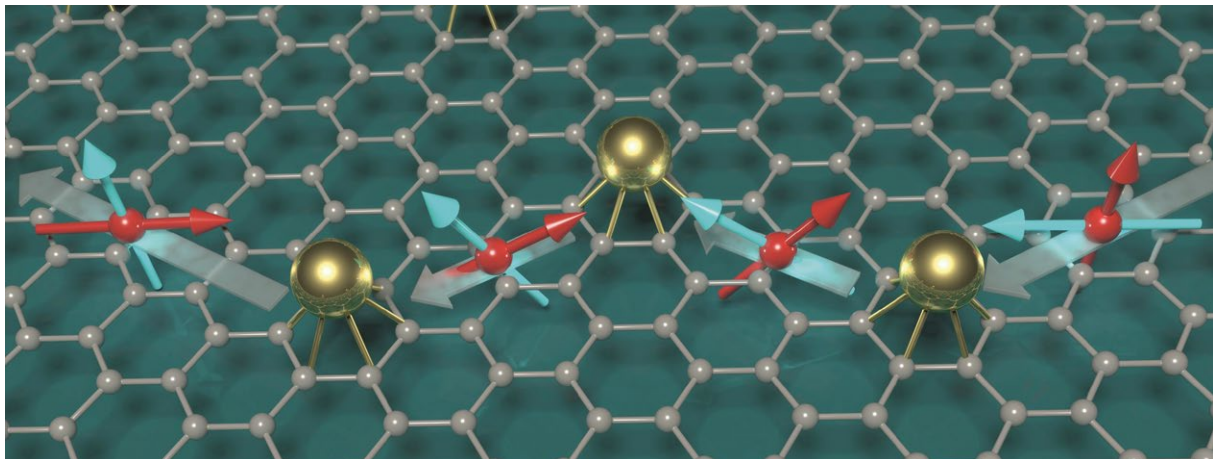
Il grafene amplia il campo della comunicazione spintronica tra dispositivi, portandola dai nanometri ai micrometri con un basso costo energetico. Anche se le previsioni teoriche iniziali avevano calcolato durate dello spin di circa un microsecondo

nel materiale, esperimenti precedenti hanno dimostrato che nel migliore dei casi esse sono pari a pochi nanosecondi. Questa sorprendente discrepanza aveva inizialmente suggerito che le impurità e i difetti del materiale fossero i principali responsabili del rilassamento dello spin. Tuttavia, i ricercatori dell'iniziativa Flagship hanno messo alla prova questi meccanismi del rilassamento dello spin concepiti in modo convenzionale e ne hanno proposti molti altri nuovi, specifici per il grafene.

In particolare, hanno osservato che la velocità alla quale gli spin si rilassano in sistemi composti da grafene e dicalcogenuri dei metalli di transizione (TMDC) dipende fortemente dal loro orientamento verso l'interno o l'esterno del piano del grafene. «Il grafene interfacciato con un TMDC potrebbe servire da filtro dello spin, visto che il trasferimento delle informazioni di quest'ultimo dipende dall'iniziale polarizzazione dello spin degli elettroni immessi, rendendo possibili nuovi concetti di spin-transistor a bassa potenza», spiega il prof. Roche.



*Dato che la miniaturizzazione rappresenta un'importante forza propulsiva per l'industria elettronica, il grafene apre la strada a nuove possibilità per compattare le operazioni basate sulla logica dello spin con elementi di memoria magnetica in una singola piattaforma.*



© Dámaso Torres, CNZ

Tuttavia, il fatto più rilevante è che gli esperimenti sono stati effettuati a temperatura ambiente e sono particolarmente importanti per manipolare dall'esterno gli spin dell'elettrone nel grafene.

## Il commutatore definitivo

Visto che il grafene è in grado di mantenere coerenza di spin per distanze sufficientemente lunghe, la sua integrazione con un altro materiale stratificato in cui lo spin si mantiene per un tempo notevolmente inferiore può portare alla fabbricazione di un dispositivo simile a un transistor a effetto di campo basato sullo spin. Combinando il grafene con il bisolfuro di molibdeno (MoS<sub>2</sub>) (in cui lo spin dura picosecondi), i ricercatori dell'iniziativa Flagship hanno dimostrato che è possibile controllare dove lo spin può andare mediante l'utilizzo di una tensione di porta. «Questa combinazione del grafene con un altro materiale 2D sottile con proprietà spintroniche contrastanti consente la creazione di un commutatore di spin», osserva il prof. Roche.

I ricercatori hanno scelto il MoS<sub>2</sub> in virtù della breve durata del suo spin, che deriva dal forte accoppiamento spin-orbita, ma soprattutto perché questa miscela di materiali funzionava a temperatura ambiente.

## Incrementare i segnali dello spin

Dagli studi della letteratura in materia, la discrepanza nella conduttanza è stata identificata come un fattore chiave che potrebbe ridurre notevolmente l'iniezione di spin dai ferromagneti nei semiconduttori.

Il gruppo di ricerca dell'iniziativa Flagship ha dimostrato di essere in grado di migliorare l'efficienza dell'iniezione e del rilevamento

di elettroni con spin nel grafene, usando un sandwich di materiali formato da uno strato di nitrato di boro isolante posto tra lo strato di grafene e gli elettrodi ferromagnetici per iniezione/rilevamento dello spin.

Nel dispositivo prodotto, l'incremento della polarizzazione ha raggiunto il 70 % con la tensione elettrica, mettendo in dubbio il sapere contenuto nei libri di testo secondo cui solo i ferromagneti possono influenzare la polarizzazione dello spin. Si è invece scoperto che l'effetto tunnel influisce sulla polarizzazione dello spin nei dispositivi. In particolare, lo spin ha coperto una distanza di 10 micrometri in più di 3 nanosecondi a temperatura ambiente.

«L'uso del grafene e di altri materiali 2D anche per far avanzare le memorie di prossima generazione basate sul momento angolare di spin (come per esempio STT-MRAM e SOT-MRAM) è estremamente interessante e ha spronato imec a mettersi alla guida del consorzio e lavorare sulla loro integrazione su larga scala nell'ambiente fab», dice Kevin Garelo, leader del pacchetto di lavoro e ricercatore di imec che guida la ricerca sui concetti di memoria magnetica avanzata emergenti.

---

**PROGETTO**  
**Graphene Flagship**

---

**ISTITUZIONE INTERVISTATA**  
imec, Belgio

---

**FINANZIATO DA**  
H2020

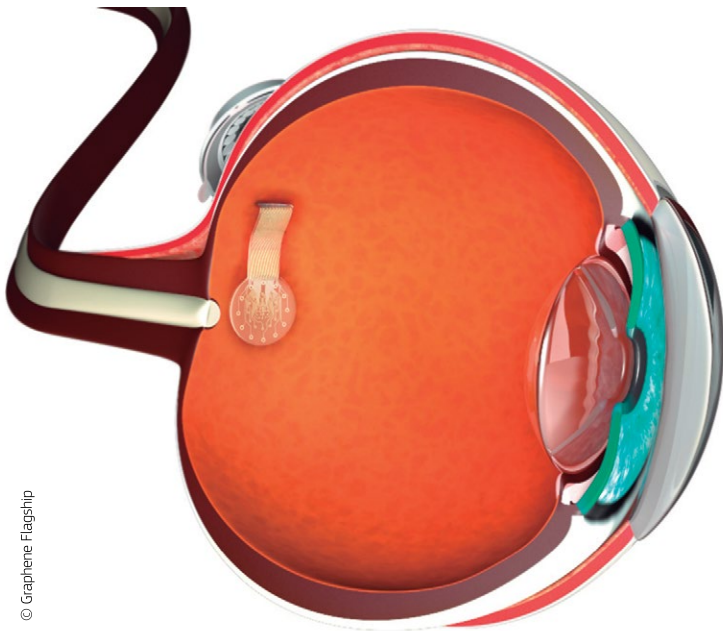
---

**SITO WEB DEL PROGETTO**  
[graphene-flagship.eu](http://graphene-flagship.eu)



# Progressi in campo biomedico grazie all'uso del grafene

La crescente domanda di servizi sanitari richiede soluzioni innovative. Il grafene sta spianando la strada, con tecnologie capaci di rilevare, trattare e gestire malattie del sistema nervoso con l'aiuto di impianti neurali.



© Graphene Flagship

Lab dell'Università di Manchester (Regno Unito) e il prof. José A. Garrido dell'Istituto catalano di Nanoscienze e nanotecnologia (Spagna), esamina l'utilizzo di grafene e materiali affini nella progettazione di dispositivi per impianti neurali per registrare e stimolare l'attività elettrica, in combinazione con una somministrazione mirata di farmaci. Come spiega il prof. Kostarelos, «l'obiettivo di questo pacchetto di lavoro è sviluppare la prossima generazione di impianti neurali che combina funzionalità di registrazione e stimolazione insieme a capacità terapeutiche».

Gli impianti neurali sono emersi quale promettente approccio per il rilevamento, monitoraggio e trattamento (mediante stimolazione elettrica) di una serie di disturbi sensoriali e motori differenti del sistema nervoso centrale e periferico. Questi impianti fungono da interfaccia tra tessuto neurale, fibre nervose o singoli neuroni e i dispositivi esterni, usati per registrare, monitorare e stimolare l'attività cerebrale a intervenire nelle funzioni del sistema nervoso centrale.

## Dispositivi innovativi basati sul grafene

Il grafene è la sostanza più sottile e più resistente, ma allo stesso tempo la più leggera, è impermeabile alle molecole ma può essere sottoposto a modifica chimica. Insieme all'ampia area superficiale e alla biocompatibilità, queste proprietà uniche rendono il grafene un materiale di partenza molto promettente per un'ampia gamma di applicazioni biomedicali.

Il pacchetto di lavoro Tecnologie Biomediche della Graphene Flagship, guidato dal prof. Kostas Kostarelos presso il [Nanomedicine](#)

Le attività di ricerca di eminenti scienziati in tutta Europa coinvolti nel progetto Graphene Flagship si sono concentrate su ingegneria dei materiali, tecnologia dell'impianto e funzionalità per applicazioni nei campi della neurologia, dell'oftalmologia e della chirurgia. Il loro obiettivo è mettere in campo questi dispositivi per la diagnosi e il trattamento di varie malattie quali epilessia, morbo di Parkinson, cecità, artrite reumatoide e diabete.



*L'obiettivo di questo pacchetto di lavoro è sviluppare la prossima generazione di impianti neurali che combina funzionalità di registrazione e stimolazione insieme a capacità terapeutiche.*

Il grafene è un substrato versatile che può assumere molte forme con differenti proprietà e risulta eccellente per generare materiali 2D che possono essere usati in dispositivi di registrazione e stimolazione. La conduttività elettrica e la flessibilità di nanofogli di grafene a singolo strato facilita notevolmente la registrazione dell'attività elettrica nel tessuto neuronale con grande precisione.

Per la stimolazione elettrica del sistema nervoso, come nel caso di pazienti colpiti dal morbo di Parkinson che sono insensibili alla levodopa, gli scienziati hanno selezionato l'ossido di grafene ridotto, che produce dei substrati su nanoscala flessibili ma porosi con

elevata capacità, in grado di fornire la stimolazione per periodi più lunghi. I partner in questo pacchetto di lavoro stanno esaminando la tecnologia per sviluppare un impianto retinico per soggetti che hanno perso la vista a causa di una malattia della retina. Una fotocamera raccoglie immagini provenienti dall'ambiente e le converte in una stimolazione elettrica, trasmessa attraverso microelettrodi di grafene.

Inoltre, le caratteristiche modulabili del grafene in sospensione e la sua capacità di essere funzionalizzato con ossigeno possono essere sfruttate per la somministrazione dei farmaci. Farmaci antinfiammatori, neurotrasmettitori o sostanze attraenti neurali sono uniti a fogli di grafene rivestiti da idrogel e rilasciati a diverse velocità subito dopo l'impianto.

## Il futuro del grafene nel campo biomedicale

La ricerca riguardante l'uso del grafene e di materiali 2D per applicazioni biomedicali si sta espandendo in diversi campi, che vanno dai dispositivi indossabili di monitoraggio alla somministrazione dei farmaci e alla diagnosi del cancro. Il lavoro di ricerca nel pacchetto di lavoro Tecnologie Biomediche si basa sulle straordinarie proprietà del grafene, che lo rendono ideale per registrare e stimolare i tessuti neurali in malattie patologiche come il morbo di Parkinson e l'epilessia.

«Indubbiamente, il grafene sta spianando la strada a diagnosi e trattamenti innovativi, aiutando a migliorare la qualità della vita di milioni di pazienti in tutto il mondo», conclude il prof. Kostarelos. Guardando al futuro, il professore sottolinea che «la collaborazione con l'industria è fondamentale per guidare le innovazioni e indirizzare gli sforzi della ricerca verso le applicazioni più promettenti dal punto di vista commerciale».

---

### PROGETTO

**Graphene Flagship**

---

### ISTITUZIONE INTERVISTATA

Università di Manchester, Regno Unito

---

### FINANZIATO DA

H2020

---

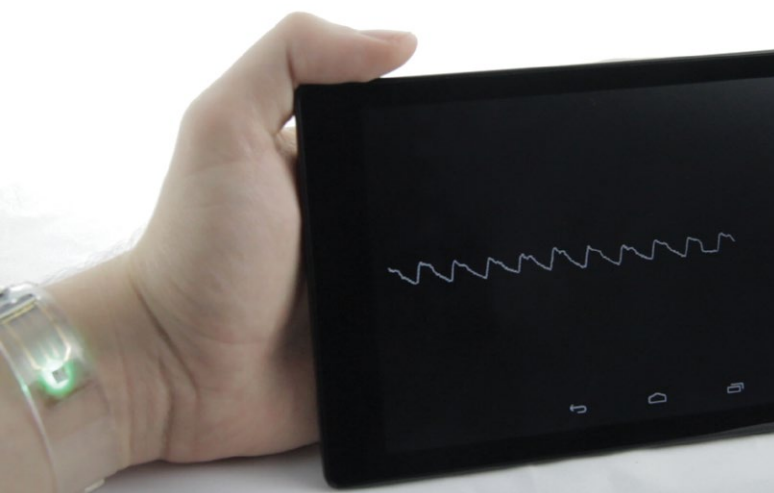
### SITO WEB DEL PROGETTO

[graphene-flagship.eu](http://graphene-flagship.eu)



# Rilevatori a punti quantici in grafene per la nuova generazione di dispositivi indossabili per il monitoraggio della salute

Gli ingombranti sistemi di monitoraggio della salute potrebbero presto diventare un ricordo del passato grazie ai nuovi dispositivi sviluppati nell'ambito del progetto GRAPHEALTH. Di fatto questi dispositivi potrebbero contribuire a plasmare l'elettronica flessibile del futuro e il mercato dei dispositivi indossabili intelligenti.



rapidamente ingombrante. Questo significa che, finora, gli ingegneri hanno dovuto trovare il miglior compromesso tra funzionalità e comfort: solo un numero limitato di componenti può essere integrato, rendendo l'intero sistema molto meno attraente di quanto potrebbe esserlo.

Una soluzione, secondo il dott. Frank Koppens dell'Istituto spagnolo di Scienze fotoniche (ICFO), risiede nelle proprietà intrinseche dei rilevatori a punti quantici in grafene (GQD), dei fotorilevatori con caratteristiche derivate da grafeni e punti quantici semiconduttori. I rilevatori GQD consentirebbero infatti lo sviluppo di un sistema flessibile, compatto e indossabile per il monitoraggio costante della salute dei consumatori e della salute muscolare degli atleti durante l'esercizio o dopo un infortunio.

Il monitoraggio della salute, specialmente durante l'esercizio fisico, è stato una delle primissime applicazioni che ha consentito ai dispositivi indossabili intelligenti di passare da un'idea tecnologica accattivante a prodotti effettivamente commercializzabili. Tuttavia, un monitoraggio della salute esteso, in grado di rilevare tutti i tipi di indicatori di salute, tende a diventare

«Il nostro fotorilevatore è molto sensibile alla luce per un intervallo di lunghezze d'onda molto ampio, da 300 a 2200 nm. Ma soprattutto, è flessibile», sottolinea il dott. Koppens. «Ciò è reso possibile dal fatto che il rilevatore può essere posizionato praticamente su qualsiasi substrato flessibile. È spesso solo poche centinaia di nanometri, quindi è eccellente per l'integrazione nei sensori indossabili».

L'uso del grafene è fondamentale in quanto fornisce un conduttore ultrasottile con proprietà di conducibilità estremamente elevate, in particolare per la mobilità elettronica. Inoltre, il grafene può essere facilmente trasferito su substrati flessibili e può coprire aree relativamente grandi.

«Funziona così», spiega il dott. Koppens. «La luce, proveniente da un dispositivo LED o dall'ambiente, entra nella pelle e poi interagisce con il tessuto e i vasi sanguigni. Qui una parte viene assorbita e una parte rimbalza sulla pelle, nel qual caso può essere raccolta dal rilevatore. Quindi, se le vene si espandono e si contraggono a causa del battito cardiaco, anche il segnale di fotorilevamento si modula. In altre parole, il battito cardiaco è direttamente visibile dal segnale di fotorilevamento».



*Il nostro fotorilevatore è molto sensibile alla luce per un intervallo di lunghezze d'onda molto ampio, da 300 a 2 200 nm. Ma soprattutto, è flessibile.*

Questo, ovviamente, è solo un esempio. La tecnologia, sviluppata nell'ambito del progetto GRAPHEALTH (Hybrid quantum dot and graphene wearable sensor for systemic hemodynamics and hydration monitoring) ha dimostrato la sua capacità di essere utilizzata anche per il monitoraggio dell'ossigeno. Presto saranno individuati anche altri importanti indicatori di salute. Il fotorilevatore GRAPHEALTH è compatibile con gli attuali processi di produzione elettronica flessibile, il che significa che l'industria non si dovrebbe aspettare grandi costi di investimento.

«Abbiamo realizzato diversi prototipi di dispositivi indossabili, incluso uno per il polso e una specie di cerotto, e abbiamo dimostrato che questi possono essere prodotti con grafene di grandi dimensioni scalabile», afferma con entusiasmo il dott. Koppens.

Ora che il progetto è giunto al termine, il dottor Koppens e il suo team intendono rendere il sistema GRAPHEALTH più versatile integrando più indicatori di salute. Vogliono anche sviluppare un cerotto sanitario completamente integrato, che includa non solo il cerotto, ma anche l'elettronica, il trasferimento di potenza wireless e il trasferimento dati wireless.

«È difficile fare previsioni sulla potenziale commercializzazione, perché l'elettronica flessibile e i dispositivi indossabili sono mercati ancora molto giovani. Siamo in grado di creare una gamma molto ampia di dispositivi indossabili diversi, e possiamo prendere in considerazione anche l'integrazione in dispositivi indossabili esistenti, come la combinazione con un orologio intelligente. La sfida ora è prendere scelte sagge in merito all'esatta applicazione su cui concentrarsi», conclude il dottor Koppens.

---

#### PROGETTO

**GRAPHEALTH - Hybrid quantum dot and graphene wearable sensor for systemic hemodynamics and hydration monitoring**

---

#### COORDINATO DA

Università Degli Studi Di Napoli Federico II, Italia

---

#### FINANZIATO DA

H2020

---

#### SITO WEB DEL PROGETTO

N/A



# Usare il grafene come una lente d'ingrandimento sovralimentata

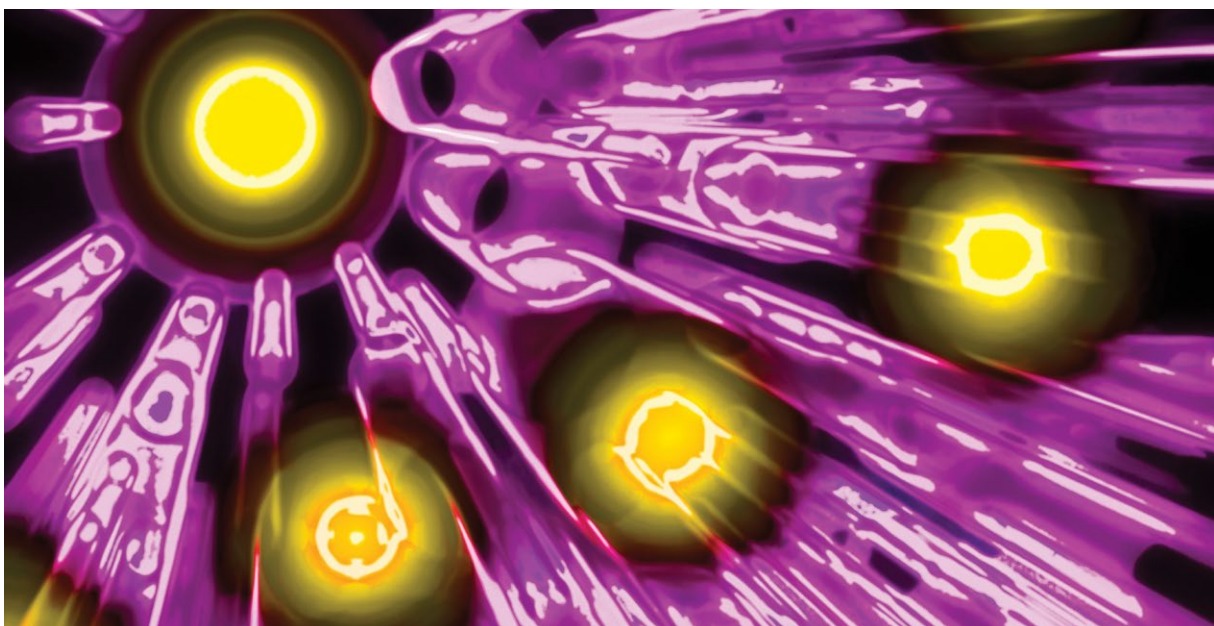
Le complesse interazioni tra il grafene e la luce sono state ora comprese molto meglio grazie al lavoro svolto nell'ambito del progetto GRASP. I risultati di questa ricerca, durata quattro anni, rappresentano le fondamenta per tecnologie future che sfruttano gli effetti ottici non lineari.

Oltre alla loro importanza nella comprensione della fisica fondamentale, gli effetti ottici non lineari sono anche un fattore chiave per applicazioni fondamentali come per esempio informatica quantistica, biomedicina o commutazione tutto ottica. Ma ci sono ancora molti ostacoli per riuscire a sfruttare il loro pieno potenziale, tra cui l'attivazione di effetti ottici non lineari a potenze ultra basse e su dispositivi nella stessa scala dei microprocessori.

«Questa è sicuramente una delle sfide in sospeso nel campo dell'ottica», afferma il professor Darrick Chang, responsabile del

gruppo di Theoretical Quantum-Nano Photonics presso ICFO. «Per realizzare effetti ottici non lineari sono tipicamente necessari laser ad alte intensità, e il conseguente consumo energetico (o le dimensioni delle fonti di energia necessarie) spesso li rende poco pratici da realizzare su piccole scale, come ad esempio per i dispositivi portatili».

L'obiettivo finale sarebbe quello di vedere effetti non lineari al livello delle singole particelle quantistiche della luce, e vale veramente la pena perseguire questo obiettivo. In particolare questo consentirebbe le migliori prestazioni possibili e un ampio



impiego di classici dispositivi non lineari, facilitando allo stesso tempo protocolli perturbatori di informazioni quantistiche che non possono essere realizzati su piattaforme classiche.

Il progetto GRASP è stato avviato nel 2014 pensando a questo obiettivo. «L'obiettivo del progetto era quello di esaminare se un materiale relativamente nuovo e insolito, ovvero il grafene, poteva consentire a impulsi di luce di interagire tra loro a una potenza molto più bassa», egli spiega. La strada del grafene è fondamentalmente nuova nell'ottica non lineare, ma il professor Chang e la sua squadra credevano che le eccezionali proprietà del materiale avrebbero permesso persino a singole particelle di luce di raggiungere le intensità richieste per attivare processi non lineari.

«Una delle eccezionali proprietà del grafene, che è stata sia prevista in teoria sia poi osservata sperimentalmente, era che potesse di fatto concentrare o limitare spazialmente la luce fino a scale di lunghezza estremamente piccole. Potremmo utilizzare l'analogia di una lente d'ingrandimento, che rende possibile concentrare la luce del sole in un piccolo punto, facendo diventare la luce abbastanza intensa persino da incendiare un pezzo di carta», spiega il professor Chang.

In questa analogia, il grafene potrebbe essere considerato come una lente d'ingrandimento sovralimentata. Esso può far entrare a forza la luce in uno spazio milioni di volte più piccolo di quanto potrebbero fare le migliori lenti d'ingrandimento in assoluto, e le risultanti intensità sarebbero abbastanza alte da attivare processi ottici non lineari.

Il progetto GRASP è riuscito a osservare per la prima volta degli effetti non lineari che avevano origine da questo effetto a lente d'ingrandimento. Questo è particolarmente degno di nota se si considera che il grafene è spesso un solo atomo, mentre i dispositivi ottici non lineari standard prevedono materiali molto spessi. Anche se l'obiettivo finale di sviluppare una generazione del tutto nuova di tecnologie basate su dispositivi ottici non lineari in grado di funzionare a potenze ultra basse è ancora abbastanza



*Una delle eccezionali proprietà del grafene, che è stata sia prevista in teoria sia poi osservata sperimentalmente, era che potesse di fatto concentrare o limitare spazialmente la luce fino a scale di lunghezza estremamente piccole.*

lontano, il lavoro del consorzio rappresenta un passo significativo in questa direzione.

«Sebbene, naturalmente, occorra lavorare ancora molto affinché il grafene diventi una tecnologia matura per l'ottica non lineare, abbiamo innalzato molti mattoni importanti che preparano il terreno per ulteriori lavori. Questo include l'aver visto per la prima volta effetti ottici non lineari nel grafene dovuti a un forte confinamento della luce, l'aver imparato a fabbricare grafene con una qualità più alta del materiale, l'aver costruito nuovi dispositivi che possono confinare campi non milioni, ma miliardi di volte migliori rispetto alle migliori lenti e l'aver ottenuto una migliore comprensione delle complesse interazioni tra grafene e luce», afferma il professor Chang.

Anche se è probabilmente troppo presto per ipotizzare strade specifiche verso la commercializzazione, è adesso molto più plausibile l'uso del grafene per tecnologie ottiche non lineari quantistiche e classiche, ampiamente impiegabili e nella stessa scala dei microprocessori. Il che spiega perché il professor Chang intenda proseguire questo lavoro: «Dopo aver innalzato gli importanti mattoni necessari, il nostro obiettivo è quello di proseguire lungo questa entusiasmante linea di ricerca e di iniziare a mettere insieme questi mattoni fondamentali e realizzare dispositivi elementari ma reali nei prossimi anni».

---

#### PROGETTO

**GRASP - Graphene-Based Single-Photon Nonlinear Optics**

---

#### COORDINATO DA

Institute of Photonic Sciences (ICFO), Spagna

---

#### FINANZIATO DA

FP7-ICT

---

#### SITO WEB DEL PROGETTO

[grasp-fet.eu](http://grasp-fet.eu)



# Usare il grafene per accelerometri a effetto tunnel perfetti

Una borsa di studio Proof of Concept del Consiglio europeo della ricerca (CER) sta consentendo all'Università di Aalto di lavorare su un nuovo concetto per un accelerometro a effetto tunnel usando le proprietà uniche del grafene. In caso di successo, il progetto potrebbe interessare quei settori industriali che producono applicazioni ad alta precisione.

Gli accelerometri vengono utilizzati per un'ampia gamma di applicazioni, dai sistemi di navigazione degli aeromobili al rilevamento del movimento nelle automobili, fino ai dispositivi elettronici portatili. Le applicazioni più impegnative, tuttavia, richiedono accelerometri ad alta risoluzione, molto ingombranti ed estremamente costosi da produrre.

Per questo tipo di applicazioni, come per esempio le misurazioni di microgravità, le misurazioni acustiche e la sismologia, l'uso di accelerometri a effetto tunnel potrebbe sembrare una conseguenza logica. Un enorme passo avanti rispetto alle loro

controparti convenzionali è rappresentato dal fatto che possono essere prodotti a un costo molto più basso e con una precisione senza uguali. Tuttavia, la loro commercializzazione è ancora ostacolata dal complesso processo di fabbricazione e dall'instabilità a lungo termine.

Qui entra in gioco il progetto GraTA (Graphene Tunneling Accelerometer), che sta sviluppando il design di un accelerometro a effetto tunnel unico nel suo genere (e già brevettato) utilizzando il grafene. I suoi vantaggi tecnici, tra cui le dimensioni più piccole, la larghezza di banda più ampia, la fabbricazione più semplice e la stabilità naturale, lasciano già a bocca aperta gli esperti del settore. Tra le altre cose, questo tunnel potrebbe permettere la produzione di sensori di alta gamma basati sul grafene.

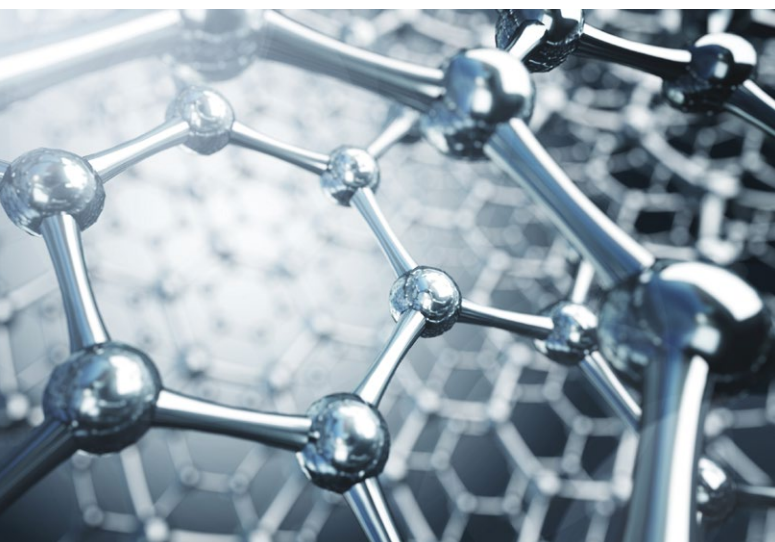
Il prof. dott. Pertti Hakonen, responsabile del progetto, ha illustrato il suo concetto di accelerometro a effetto tunnel, il processo di sviluppo e le prospettive di commercializzazione.

*Quali lacune degli accelerometri a effetto tunnel intendevate colmare grazie a questo progetto?*

La principale lacuna che abbiamo cercato di superare è la mancanza di una stabilità a lungo termine dei sensori a effetto tunnel basati sul silicene e ricoperti da metallo. Anche la sensibilità e la larghezza di banda verranno migliorate.



*Con l'archiviazione dei principali DPI e la raccolta di un maggior numero di dati sul campo, siamo sulla buona strada verso l'obiettivo della commercializzazione.*



*Perché pensa che il grafene possa offrire una soluzione adeguata per raggiungere questo obiettivo?*

Il grafene è noto per le sue proprietà meccaniche superiori (è un cristallo di carbonio leggero, resistente e robusto) e una buona conducibilità elettrica (non è necessario alcun rivestimento metallico). Abbiamo esperienza nel trattare questioni come la tensione nelle strutture in grafene dei microsistemi elettromeccanici. La natura del materiale e le nostre competenze rendono l'accelerometro a grafene una potenziale soluzione.

*Quali sono state le principali difficoltà incontrate nel realizzare questi nuovi accelerometri a grafene?*

La producibilità (e riproducibilità) è la sfida principale quando si passa dai campioni di laboratorio ai futuri accelerometri che potranno essere considerati un prodotto a tutti gli effetti.

*Quali, secondo lei, sono stati i risultati più importanti finora conseguiti?*

Abbiamo dimostrato che il piccolo interstizio non è soggetto a collasso, nemmeno in aria, il che è cruciale per la sua affidabilità. Il brevetto di base è stato depositato e un altro con i relativi materiali è in procinto di esserlo.

*Che cosa resta ancora da fare prima del termine del progetto?*

Dobbiamo costruire più prototipi che siano adeguatamente confezionati e raccogliere più dati dal laboratorio.

*Quali tipi di applicazioni avete in mente per il sensore?*

Il monitoraggio della vibrazione dei macchinari, ossia il metodo più diffuso per determinare il buon funzionamento delle attrezzature rotanti, è uno dei possibili esempi. Questa è un'applicazione importante per la sicurezza e la manutenzione intelligente nell'industria moderna, soprattutto nell'era dell'Internet degli oggetti.

*Quanto pensate di essere vicini alla potenziale commercializzazione?*

Difficile a dirsi. La commercializzazione richiede molto più tempo e altri mezzi rispetto a quelli a nostra disposizione per il lavoro di ricerca in laboratorio. Tuttavia, con l'archiviazione dei principali DPI e la raccolta di un maggior numero di dati sul campo, siamo sulla buona strada verso l'obiettivo della commercializzazione.

---

**PROGETTO**

**GraTA - Graphene Tunneling Accelerometer**

---

**COORDINATO DA**

Università di Aalto, Finlandia

---

**FINANZIATO DA**

H2020

---

**SITO WEB DEL PROGETTO**

N/A



# Tecnologia LbL applicata all'ossido di grafene

Un progetto finanziato dall'UE ha dimostrato con successo che l'ossido di grafene può essere assemblato con altri materiali per produrre compositi polimerici densi. Questa scoperta potrebbe portare, tra le altre, ad applicazioni nell'optoelettronica e nella conversione di energia.

Il grafene viene spesso presentato come un supermateriale per la sua straordinaria forza, sottigliezza, conduttività e proprietà ottiche. Ma il suo potenziale va ancora oltre se combinato con altri materiali di diversa natura. Creando questi materiali ibridi, le proprietà del grafene possono essere ottimizzate. Ciò può fornire ai ricercatori nuove ed eccitanti possibilità di applicazioni e garantire altresì una migliore integrazione del grafene nei dispositivi.

Forte di queste prospettive, il dott. Sergio Moya del Centro di ricerca collaborativa sui biomateriali (CIC biomaGUNE) ha dato il via al progetto HIGRAPHEN (Hierarchical Functionalization of Graphene for Multiple device fabrication) nel marzo 2014. Utilizzando la tecnologia layer-by-layer, una semplice procedura per la funzionalizzazione delle superfici basata sulla deposizione graduale di molecole o materiali a carica opposta, ha puntato a sviluppare una procedura generale e versatile per la fabbricazione di dispositivi ibridi che uniscono il grafene a materiali polimerici, organici e inorganici.

«La forza dell'assemblaggio layer-by-layer (LbL) è l'interazione elettrostatica fra i componenti assemblati», spiega il dott. Moya. «Inizialmente questa tecnica è stata sviluppata per l'assemblaggio di polielettroliti, cioè polimeri con monomeri a gruppi multipli carichi. Ma da allora è stata estesa a più componenti: i polielettroliti a pellicola LbL possono essere combinati con nanoparticelle, lipidi, cellule, ossido di grafene, ecc. Offrono un modo semplice e potente per creare interfacce evitando la chimica covalente e possono essere usate per molteplici applicazioni, dalle membrane di nanofiltrazione ai dispositivi optoelettronici, fino ai rivestimenti intelligenti e alla somministrazione di farmaci».

Il progetto vuole andare oltre concentrandosi specificamente sulla combinazione di ossido di grafene con nanoparticelle di metallo e ossido di metallo, nonché di polielettroliti, mentre si contemplan potenziali applicazioni nell'immagazzinamento di energia e nella catalisi. Sebbene la tecnica LbL sia ampiamente



© BONNINSTUDIO, Shutterstock

utilizzata nell'ingegneria delle superfici e nella produzione di pellicole sottili, l'uso di LbL di HIGRAPHEN per assemblare componenti eterogenei con ossido di grafene è particolarmente innovativo.

Il dott. Moya e il suo staff hanno prima proceduto a sintetizzare diversi nanomateriali come i punti quantici in seleniuro di zinco (ZnSe), la nanoparticella magnetica e i polimeri elettroatti-



*E possono essere usate per molteplici applicazioni, dalle membrane di nanofiltrazione ai dispositivi optoelettronici, fino ai rivestimenti intelligenti e alla somministrazione di farmaci.*

vi come il poliamminobenzilammine (PABA), prima di integrarli in pellicole LbL a più componenti, compreso l'ossido di grafene. Il team HIGRAPHEN ha poi integrato gli assemblaggi in rivestimenti e dispositivi anticorrosivi macroscopici per applicazioni optoelettroniche e per la conversione di energia.

«Una delle principali sfide che abbiamo dovuto affrontare è stata quella di ottenere un denso aggregato di ossido di grafene in combinazione con i polimeri. Ciò ha portato allo sviluppo di diversi approcci per rivestire l'ossido di grafene e combinarlo con le nanoparticelle»,

afferma il dott. Moya.

Nel complesso, il risultato più importante del progetto è la dimostrazione che l'ossido di grafene può essere assemblato per

produrre un composito polimerico denso e che può essere facilmente integrato con nanoparticelle metalliche per la catalisi. HIGRAPHEN si concluderà solo nel marzo 2018, ma secondo il dott. Moya i partner del progetto stanno già perseguendo interessanti nuove linee di ricerca sulla base dei risultati del progetto per la fabbricazione di dispositivi e applicazioni catalitiche.

---

#### **PROGETTO**

**HIGRAPHEN - Hierarchical Functionalization of Graphene for Multiple device fabrication**

---

#### **COORDINATO DA**

Center for Cooperative Research in Biomaterials (CIC biomaGUNE), Spagna

---

#### **FINANZIATO DA**

FP7-PEOPLE

---

#### **SITO WEB DEL PROGETTO**

[personal.cicbiomagune.es/smoya/higraphen/index.html](http://personal.cicbiomagune.es/smoya/higraphen/index.html)



# Polimeri rinforzati con grafene pronti per la commercializzazione

Un processo di sviluppo quadriennale ha portato all'individuazione dei materiali e delle tecniche di produzione più adatte per rivestimenti, adesivi e materiali compositi a base di grafene. Quando il mercato dei grafene sarà maturo, questi nuovi prodotti potrebbero attrarre una vasta gamma di settori.



aziende, università e un centro di ricerca, il progetto mirava a fornire quantitativi di polimeri termoindurenti rinforzati con grafene su scala industriale.

«Abbiamo cercato di esaminare diversi modi per migliorare le proprietà termomeccaniche ed elettriche di rivestimenti, additivi e materiali compositi», spiega Maria Konstantakopoulou, Ingegnere di sviluppo presso la società di coordinamento del progetto, Coventive Composites. Una volta definite le prestazioni che volevamo ottenere, il team ha selezionato i polimeri adatti, ha delineato una serie di classi di grafite e grafene e ha individuato le tecniche idonee di esfoliazione e dispersione che avrebbero consentito loro di aumentare la produzione garantendo al tempo stesso che il grafene rimanesse ben distribuito nel prodotto finale.

Ad oggi, il grafene è ancora troppo caro per essere integrato su larga scala in prodotti commerciali. Ma questo non ha impedito ai ricercatori di tutta Europa di continuare a sviluppare materiali e tecniche di produzione in grado di stimolare l'interesse dell'industria, man mano che quantitativi sempre maggiori di grafene si rendono disponibili a un costo inferiore.

Il progetto POLYGRAPH (Up-Scaled Production of Graphene Reinforced Thermosetting Polymers for Composite, Coating and Adhesive Applications) è una di queste imprese pionieristiche. Riunendo 14 partner, tra cui piccole e medie imprese (PMI),

*Abbiamo cercato di esaminare diversi modi per migliorare le proprietà termomeccaniche ed elettriche di rivestimenti, additivi e materiali compositi.*

Come spiega Ben Hargreaves, coordinatore di POLYGRAPH, l'idea era di produrre «su una scala riproducibile per altre aziende, consentendo loro di prendere in considerazione l'integrazione della nostra soluzione nei propri prodotti attuali o futuri». La conversione su larga scala di materiali compositi rimane in effetti un ostacolo all'adozione del mercato. Una volta che i partner del progetto sono riusciti a produrre fino a 100 kg di grafite e 25 kg di grafene per lotto, si sono aperti nuovi orizzonti.

Molti materiali compositi diversi sono stati prodotti dal consorzio del progetto e sono stati quindi valutati per la loro conduttività elettrica

e le proprietà meccaniche. I rivestimenti, gli adesivi e i materiali compositi più promettenti sono stati utilizzati in oggetti dimostrativi, rispettivamente un elemento strutturale aerospaziale, un elemento di radome/carenatura aerospaziale rivestita e un pannello posteriore di un sedile posteriore per automobili. I vantaggi includono un migliore comportamento strutturale, riduzione del peso, proprietà estetiche, elettriche e ritardo di combustione.

«Uno dei principali vantaggi dei compositi rinforzati con grafene derivanti da questo processo di ricerca e sviluppo risiede nelle loro proprietà elettriche, che li rendono adatti alla schermatura elettromagnetica o per lo sghiacciamento delle turbine eoliche», sottolinea Konstantakopoulou.

## In attesa della giusta opportunità

Gary Foster, che ha lavorato come responsabile di progetto in POLYGRAPH, spiega che le prospettive commerciali variano fortemente per ciascuno dei tre materiali. «Per quanto riguarda il rivestimento, il partner del progetto HMG Paints può andare direttamente in produzione perché ciò che abbiamo sviluppato non è troppo lontano dai prodotti che attualmente vendono. Gli adesivi, d'altra parte, sono un po' più sensibili al prezzo. Ciò non significa che i nostri partner non utilizzeranno questi materiali, ma che stanno solo aspettando il momento giusto in cui la gente vorrà quel prodotto».

Il terzo prodotto, una fibra composita preimpregnata o pre-preg, è stato particolarmente importante per la Coventive Composites, come sottolinea Hargreaves: «Lo sviluppo del pre-preg non era originariamente programmato per rientrare nel progetto tanto quanto è alla fine avvenuto. Abbiamo anche esaminato altre tecniche di produzione come l'infusione, ma i primi studi hanno evidenziato che

il pre-preg sarebbe stata la tecnica ottimale». Sia lui che Foster concordano sul fatto che l'azienda debba ora concentrarsi sulla ricerca del giusto mercato di nicchia per questo composito, e che gli sforzi futuri dovrebbero concentrarsi sulla scoperta di ciò di cui i potenziali clienti hanno bisogno e su come il prodotto può essere perfezionato per soddisfare le loro aspettative.

Fino ad allora, il team esaminerà l'evoluzione del grafene. «C'è bisogno di un certo livello di generalizzazione», spiega Foster. «Ad esempio, se vogliamo utilizzare il nostro prodotto nel settore aerospaziale, i clienti avranno bisogno di alcuni dati fondamentali dai produttori di grafene, che al momento non sono in grado di fornire. Questi sono ostacoli che, da parte nostra, non è possibile superare».

In considerazione di ciò, il consorzio POLYGRAPH ha lavorato a stretto contatto con la Graphene Flagship, creando un legame tra accademici e industria in modo che la ricerca dei primi corrispondesse meglio alle esigenze del settore. In ultima analisi ciò consentirebbe a Coventive Composites di portare sul mercato soluzioni innovative per le schermature elettromagnetiche o lo sghiacciamento delle pale delle turbine eoliche.

---

### PROGETTO

**PolyGraph - Up-Scaled Production of Graphene Reinforced Thermosetting Polymers for Composite, Coating and Adhesive Applications**

---

### COORDINATO DA

NetComposites Limited, Regno Unito

---

### FINANZIATO DA

FP7-NMP

---

### SITO WEB DEL PROGETTO

[polygraphproject.eu](http://polygraphproject.eu)



# CORDIS Results Pack

Disponibile online in 6 lingue: [cordis.europa.eu/article/id/401207](https://cordis.europa.eu/article/id/401207)

## **Pubblicato**

da CORDIS per conto della Commissione europea presso  
l'Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea  
2, rue Mercier  
L-2985 Lussemburgo  
LUSSEMBURGO

[cordis@publications.europa.eu](mailto:cordis@publications.europa.eu)

## **Coordinamento editoriale**

Zsófia TÓTH, Silvia FEKETOVÁ

## **Liberatoria**

Le informazioni relative ai progetti e i collegamenti pubblicati online nell'attuale numero del CORDIS Results Pack sono corretti al momento della stampa dell'edizione. L'Ufficio delle pubblicazioni non può essere ritenuto responsabile della presenza di informazioni non aggiornate o di siti web non più attivi. L'Ufficio delle pubblicazioni ed eventuali persone che agiscono per suo conto non sono responsabili dell'utilizzo che può essere fatto delle informazioni contenute nella presente pubblicazione, o di eventuali errori che possano essere riscontrati nei testi, nonostante la cura impiegata per la loro redazione.

Le tecnologie presentate in questa pubblicazione possono essere oggetto di diritti di proprietà intellettuale.

Questo Results Pack è una collaborazione tra CORDIS e la Direzione generale delle Reti di comunicazione, dei contenuti e delle tecnologie (DG CONNECT)

*Printed by the Publications Office of the European Union in Luxembourg*

PRINT	ISBN 978-92-78-41905-9	doi:10.2830/476866	ZZ-AK-18-005-IT-C
PDF	ISBN 978-92-78-41899-1	doi:10.2830/015555	ZZ-AK-18-005-IT-N

Lussemburgo: Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, 2019  
© Unione europea, 2019

Riutilizzo autorizzato previa indicazione della fonte.

La politica sul riutilizzo dei documenti della Commissione europea è regolamentata dalla decisione 2011/833/UE (GU L 330 del 14.12.2011, pag. 39).

Per qualsiasi utilizzo o riproduzione di foto o di altro materiale non protetto dal diritto d'autore dell'UE, è necessario richiedere l'autorizzazione direttamente ai titolari dei diritti d'autore.

Foto di copertina © Kid A, Shutterstock

# NUOVO CORDIS RESULTS PACK SULL'INNOVAZIONE IDRICA

Tuffatevi nel nostro ultimo Results Pack sull'innovazione idrica, incentrato su 10 progetti finanziati dall'UE che hanno sviluppato tecnologie innovative per garantire all'Europa una sicurezza idrica sostenibile nel lungo periodo.



Consulta il Pack su:  
[cordis.europa.eu/article/id/401167](http://cordis.europa.eu/article/id/401167)



Ufficio delle pubblicazioni  
dell'Unione europea



Seguici anche sui social media!  
[facebook.com/EULawandPublications](https://facebook.com/EULawandPublications)  
[twitter.com/CORDIS\\_EU](https://twitter.com/CORDIS_EU)  
[youtube.com/CORDISdotEU](https://youtube.com/CORDISdotEU)

IT