

# Ricerca di Sistema elettrico



Materiali anodici nanostrutturati e da fonti alternative per  
batterie Li-ione e supercapacitori

F.A. Scaramuzzo, P. Atanasio, E. Gualtieri, R. Zampiva, M. Pasquali

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DI BASE  
E APPLICATE PER L'INGEGNERIA



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

## Materiali anodici nanostrutturati e da fonti alternative per batterie Li-ione e supercapacitori

F.A. Scaramuzzo, P. Atanasio, E. Gualtieri, R. Zampiva, M. Pasquali

Dipartimento SBAI "Sapienza" Università di Roma, Via del Castro Laurenziano 7, Roma

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica -ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: Tema di ricerca 1.2 – Progetto integrato Tecnologie di accumulo elettrochimico e termico.

Linea di attività: 13

Responsabile del Progetto: Margherita Moreno, ENEA.

Responsabile del Work Package: Margherita Moreno, ENEA.

Responsabile Linea di Attività: Francesca Anna Scaramuzzo

Mese inizio previsto: 18

Mese inizio effettivo: 18

Mese fine previsto: 36

Mese fine effettivo: 36

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione: Si ringrazia per la collaborazione alle attività svolte

## Indice

1	Risultati attesi .....	4
2	Risultati ottenuti .....	4
	2.1 .....	4
	2.2 .....	4
3	Prodotti attesi .....	4
4	Prodotti ottenuti .....	5
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati .....	5
6	Sintesi delle attività svolte .....	5
	6.1 .....	5
	6.2 .....	5
7	Dettaglio delle attività svolte .....	6
	7.1 Sintesi di nanocompositi carbonio-silicio e anodi a base carboniosa da fonti di scarto per batterie Li-ione e supercapacitori .....	6
	7.2 Sintesi di microanodi basati su membrane autoportanti di array di nanotubi di TiO <sub>2</sub> .....	9
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte .....	12
9	Pubblicazioni scientifiche .....	12
	9.1 .....	12
	9.2 .....	12
10	Eventi di disseminazione .....	12
	10.1 .....	12
	10.2 .....	12
	10.3 .....	12
	10.4 .....	12
	10.5 .....	12
	10.6 .....	13
	10.7 .....	13
	10.8 .....	13
	10.9 .....	13

## Indice delle figure

Figura 1. Voltammetria ciclica ottenuta per batteria Li-ione con nanocomposito C/SiO <sub>2</sub> , usando come elettrolita LP30.....	6
Figura 2. Capacità specifica (in blu) ed efficienza coulombica (in arancione) del nanocomposito C/SiO <sub>2</sub> in batterie Li-ione.....	7
Figura 3. Voltammetrie cicliche per il supercapacitore con elettrodi a base di CA a diverse velocità di scansione.....	7
Figura 4. Ciclazioni galvanostatiche di un supercapacitore con elettrodi a base di CA a diversi C rate.....	8
Figura 5. (a) Capacità specifica vs numero di cicli per un supercapacitore con elettrodi a base di CA, usando come elettrolita KOH 6M, in cui è evidenziata la ritenzione di capacità a partire dall'inizio della ciclazione e dal ciclo 500. (b) Particolare che evidenzia l'andamento della capacità specifica nei primi 1000 cicli.....	8
Figura 6. Andamento della curva di scarica/carica in condizioni galvanostatiche per un supercapacitore con elettrodi a base di GQD con elettrolita KOH 6 M a 0,1 A/g.....	9
Figura 7. Andamento della capacità specifica in funzione del numero di cicli per un supercapacitore a base di GQD con elettrolita KOH 6 M.....	9
Figura 8. Micrografie SEM della superficie (sinistra) e della sezione (destra) di un tipico campione di array di nanotubi di TiO <sub>2</sub> decorati con Ag tramite fotoriduzione. ....	10
Figura 9. Particolare dei diffrattogrammi degli arrays di nanotubi di TiO <sub>2</sub> prima (curva nera) e dopo (curva rossa) la decorazione con Ag.....	10
Figura 10. Curve potenziale vs tempo ottenute nel corso dei cicli di carica/scarica a C/10 per una membrana di (a) array di nanotubi di TiO <sub>2</sub> tal quali, (b) array di nanotubi di TiO <sub>2</sub> asciugati sottovuoto, (c) array di nanotubi di TiO <sub>2</sub> decorati con Ag in batterie Li-ione. In (d) è riportato un confronto tra l'andamento delle capacità specifiche durante la ciclazione per i tre diversi tipi di campioni: nanotubi di TiO <sub>2</sub> tal quali in rosso, nanotubi di TiO <sub>2</sub> asciugati sottovuoto in verde, nanotubi di TiO <sub>2</sub> decorati con Ag in blu. ....	11

## 1 Risultati attesi

- Sintesi di nanocompositi C/Si e anodi a base carboniosa da fonti di scarto per batterie Li-ione e supercapacitori.
- Sintesi di microanodi basati su membrane autoportanti di array di nanotubi di TiO<sub>2</sub>.

## 2 Risultati ottenuti

### 2.1

A partire da lolla di riso, sono stati ottenuti nanocompositi C/SiO<sub>2</sub> tramite carbonizzazione diretta, C/Si tramite riduzione magnesiotermica utilizzando NaCl come scavenger di calore, e C/Si tramite riduzione magnesiotermica a bassa temperatura assistita da un eutettico di AlCl<sub>3</sub> e NaCl. I materiali hanno un rapporto atomico Si/C del 13-18%. Questi sono stati testati come anodi in batterie Li-ione. I materiali si comportano come hard carbon, e il silicio sembra poco accessibile all'elettrolita. Sempre a partire da lolla di riso, sono stati ottenuti materiali carboniosi di tipo carbon aerogel (CAs) e graphene quantum dots (GQDs), che sono stati testati come elettrodi in supercapacitori. I supercapacitori a base di CAs si sono dimostrati estremamente robusti, e con un ciclo di vita straordinariamente lungo: hanno capacità di circa 58 F/g dopo 800 cicli, al ciclo 10000 presentano una ritenzione di capacità di circa 81% rispetto al ciclo 500 e del 63% rispetto al ciclo iniziale. I GQDs non erano previsti nel capitolato. I supercapacitori a base di questi materiali mostrano una capacità che decade drammaticamente dopo circa 1000 cicli. Tale comportamento è stato attribuito ad una scarsa coesione tra i componenti elettrodici. D'altra parte, i GQDs si sono rivelati estremamente promettenti: le loro performances sono paragonabili a materiali analoghi riportati in letteratura, ed è necessario testarli insieme ad altri materiali attivi.

### 2.2

È stata sviluppata una metodologia robusta e riproducibile per la fabbricazione di membrane autoportanti di array di nanotubi di TiO<sub>2</sub> sintetizzati per via elettrochimica. Tali membrane sono state utilizzate come anodi per batterie Li-ione. I materiali hanno capacità di poco superiori a 100 mAh/g dopo 10 cicli, e perdita irreversibile di capacità tra 1° e 2° ciclo del 22%. Gli arrays sono stati anche decorati con nanostrutture di Ag. Sempre quando utilizzate come anodi in batterie Li-ione, le membrane di array decorati hanno mostrato capacità poco inferiori a 150 mAh/g, e perdita irreversibile di capacità tra 1° e 2° ciclo del 17%. Tale risultato è assolutamente rilevante, sia perché utilizzando le membrane è possibile determinare analiticamente la massa del materiale attivo, e dunque calcolarne in maniera diretta la capacità, sia perché le capacità ottenute non sono troppo distanti dalla capacità teorica di TiO<sub>2</sub>, pari a circa 185 mAh/g.

## 3 Prodotti attesi

- Nanocompositi C/SiO<sub>2</sub>, C/Si e anodi contenenti i suddetti materiali
- Aerogel a base carboniosa, carbon dots e anodi contenenti i suddetti materiali
- Membrane autoportanti di array di nanotubi di TiO<sub>2</sub> e TiO<sub>2</sub>/Ag.

## 4 Prodotti ottenuti

- Nanocompositi C/SiO<sub>2</sub>, C/Si, attualmente disponibili in laboratorio nell'ordine delle centinaia di milligrammi
- Anodi contenenti i suddetti materiali, attualmente disponibili in laboratorio 3 per ciascun materiale
- Aerogel a base carboniosa, attualmente disponibili in laboratorio nell'ordine dei grammi
- Graphene carbon dots, attualmente disponibili in laboratorio nell'ordine delle decine di milligrammi
- Elettrodi a base di aerogel, attualmente 5 disponibili in laboratorio
- Elettrodi a base di graphene quantum dots, attualmente 2 disponibili in laboratorio
- Membrane autoportanti di array di nanotubi di TiO<sub>2</sub>, attualmente 7 disponibili in laboratorio
- Membrane autoportanti di array di nanotubi di TiO<sub>2</sub>/Ag, attualmente 2 disponibili in laboratorio

## 5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Per quanto riguarda l'attività di sintesi di materiali carboniosi da scarti agricoli, la capacità ottenuta con gli elettrodi a base di carbon aerogel dopo 800 cicli è superiore a quella preventivata. La ritenzione di capacità più attendibile è quella calcolata dal ciclo 500 in poi, perché nei cicli iniziali il materiale mostra un andamento non monotono, imputabile alla sua attivazione. Dopo l'attivazione e conseguente stabilizzazione (ciclo 500) fino al ciclo 800 la ritenzione di capacità è del 96%, quindi superiore a quella preventivata. Gli elettrodi a base di graphene quantum dots, non preventivati inizialmente, non hanno le performances dei precedenti ma sono promettenti come materiale da coniugare ad altri materiali attivi.

## 6 Sintesi delle attività svolte

### 6.1

A partire da lolla di riso (RH) sono stati sintetizzati e caratterizzati nanocompositi C/SiO<sub>2</sub> e C/Si, che sono stati poi testati come anodi in batterie Li-ione. Sempre a partire da RH sono stati sintetizzati e caratterizzati materiali carboniosi di tipo carbon aerogel e graphene quantum dots. Entrambi sono stati utilizzati con successo come elettrodi per supercapacitori. I supercapacitori a base di carbon aerogel si sono rivelati particolarmente robusti, con ciclo di vita straordinariamente lungo e ottima ritenzione di capacità.

### 6.2

È stata messa a punto una procedura per la sintesi di membrane autoportanti di arrays di nanotubi di TiO<sub>2</sub> e la loro decorazione con nanostrutture di Ag. Entrambe le tipologie di membrane sono state utilizzate come microanodi in batterie Li-ione. In questo modo è stato possibile determinare analiticamente la massa di materiale attivo e, quindi, la capacità, che - nel caso delle membrane decorate - si è rivelata prossima a quella teorica di TiO<sub>2</sub>.

## 7 Dettaglio delle attività svolte

### 7.1 Sintesi di nanocompositi carbonio-silicio e anodi a base carboniosa da fonti di scarto per batterie Li-ione e supercapacitori

La lolla di riso (RH) è stata utilizzata come materiale di partenza per ottenere sia nanocompositi che materiali puramente carboniosi. Sono stati ottenuti materiali C/SiO<sub>2</sub> tramite carbonizzazione diretta in atmosfera di Ar a 800 e 1000°C, e materiali C/Si tramite riduzione magnesiotermica a 700 °C utilizzando NaCl come scavenger di calore, e a bassa temperatura con un eutettico di AlCl<sub>3</sub> e NaCl. I materiali ottenuti sono stati utilizzati per fabbricare elettrodi per batterie Li-ione assemblate in configurazione di semicella, utilizzando come elettrolita LP30. I materiali C/SiO<sub>2</sub> sono risultati completamente amorfi (XRD), con un rapporto atomico Si/C tra il 13 e il 18% (stimato via XPS), e una area superficiale specifica (SSA) tra i 38 e i 44 m<sup>2</sup>/g (stimata via BET). Le voltammetrie cicliche (CV) mostrano il comportamento tipico di un carbonio disordinato, con unico picco sotto 0,2 V attribuibile alla litiazione, suggerendo quindi che la silice presente non è elettrochimicamente attiva, almeno non nei primi cicli (Fig.1).

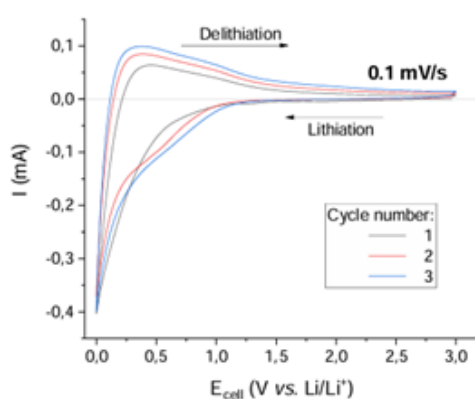


Figura 1. Voltammetria ciclica ottenuta per batteria Li-ione con nanocomposito C/SiO<sub>2</sub>, usando come elettrolita LP30.

Le celle sono state sottoposte a ciclazioni galvanostatiche come segue: 10 cicli a C/10, 10 cicli a C/2, 5 cicli a 1C. Infine, sono state lasciate ciclare a lungo termine a C/10 (Fig.2). In tutti i casi nei primi cicli a C/10 si osserva una perdita costante di capacità. Aumentando la densità di corrente la capacità diminuisce, ma tornando a C/10 le prestazioni tornano ad essere paragonabili a quelle iniziali, il che indica una certa robustezza degli elettrodi, confermata dai loro lunghi cicli di vita.

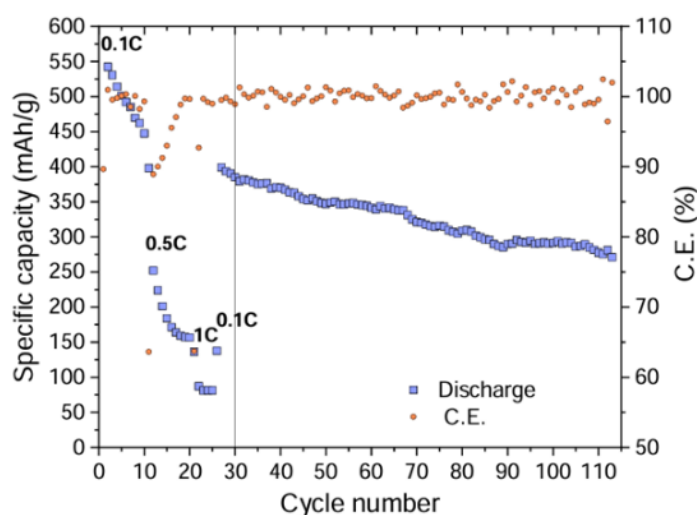


Figura 2. Capacità specifica (in blu) ed efficienza coulombica (in arancione) del nanocomposito C/SiO<sub>2</sub> in batterie Li-ione.

Per ottenere materiali a base carboniosa, il RH è stato opportunamente pretrattato, gelificato, liofilizzato e carbonizzato. Sono stati così ottenuti aerogel (CA), a partire dai quali, tramite ball milling, sono stati ottenuti materiali nanostrutturati OD tipo graphene carbon dots (GQD). I materiali sono stati completamente caratterizzati dal punto di vista chimico-fisico: si rimanda agli allegati 1 e 2 per i dettagli riguardanti rispettivamente CA e GQD. Sia i CA che i GQD sono stati impiegati per preparare elettrodi per supercapacitori. Il materiale attivo è stato mescolato con PVDF e *carbon black* o *acetylene black* (80:10:10). Nel caso dei GQD, la polvere è stata sospesa in N-metil-2-pirrolidone, colando poi la sospensione goccia a goccia su collettori di corrente di platino. Come elettrolita è stato usato KOH 6 M, e le celle sono state assemblate in configurazione simmetrica.

Per quanto riguarda gli elettrodi preparati con CA, le curve CV a diverse velocità di scansione mostrano una forma quasi rettangolare (Fig.3).

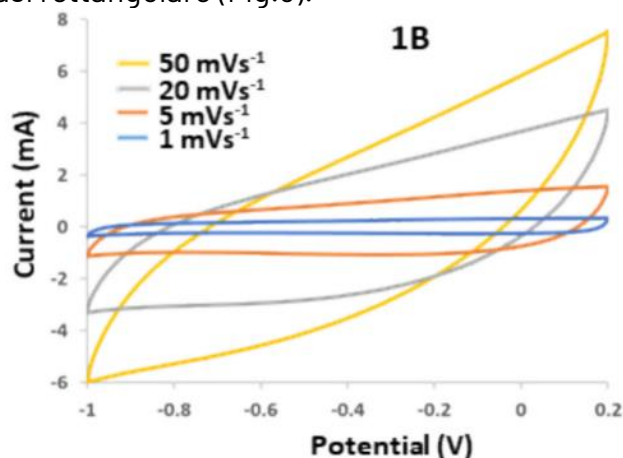


Figura 3. Voltammetrie cicliche per il supercapacitore con elettrodi a base di CA a diverse velocità di scansione.

Ciò è indicativo di un comportamento capacitivo e suggerisce che gli elettrodi abbiano elevata area superficiale accessibile agli ioni dell'elettrolita, consentendo così un efficiente accumulo di carica. La capacità specifica diminuisce all'aumentare della velocità di scansione, a causa del movimento più breve degli ioni all'interno dei materiali elettrodici altamente porosi.

Questo ritardo nel trasporto degli ioni provoca una riduzione delle prestazioni capacitive. Le misure galvanostatiche di carica/scarica sono state effettuate a diverse densità di corrente: i

migliori risultati sono stati ottenuti a 0.1 A/g. Le curve ottenute (Fig.4) hanno forma quasi triangolare, il che indica la reversibilità dei processi di adsorbimento e desorbimento degli ioni.

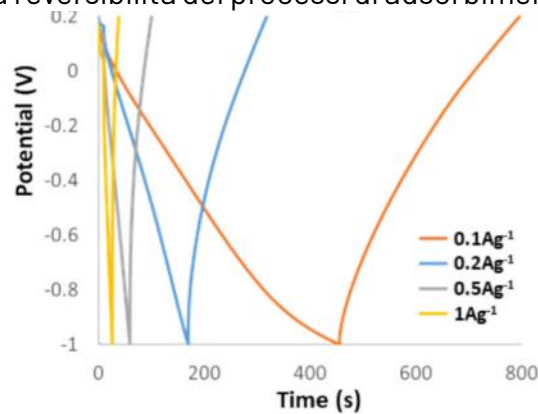


Figura 4. Ciclazioni galvanostatiche di un supercapacitore con elettrodi a base di CA a diversi C rate.

La capacità specifica diminuisce all'aumentare della densità di corrente, e ciò può dipendere dal fatto che il processo è limitato dalla diffusione. Tuttavia, il significativo recupero della capacità tornando a densità di corrente inferiori indica che il materiale è stabile in condizioni di stress. Il sistema si è dimostrato robusto, efficiente e con un ciclo di vita straordinariamente lungo. All'inizio della ciclazione la capacità aumenta fino a 75 Fg<sup>-1</sup> dopo 200 cicli. Successivamente, il sistema subisce una notevole perdita di capacità fino a circa 500 cicli, quando inizia a stabilizzarsi. La robustezza dell'elettrodo risulta evidente confrontando i valori di capacità durante la ciclazione, che sono circa 58 Fg<sup>-1</sup> dopo 1000 cicli e quasi 48 Fg<sup>-1</sup> dopo 10.000 cicli: complessivamente, dopo 10.000 cicli l'elettrodo mostra una ritenzione di capacità del 63% rispetto al valore massimo, e una ritenzione di ben 81,2% rispetto al valore a 500 cicli (Fig. 5).

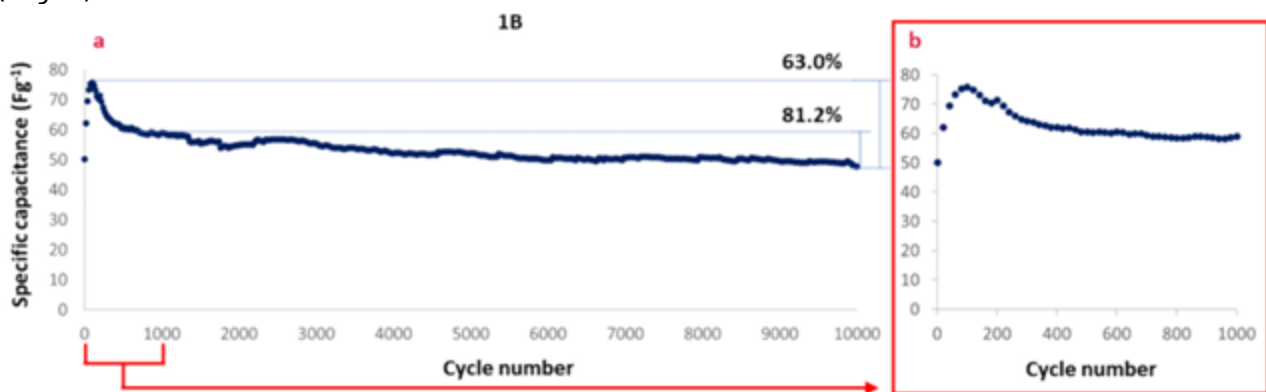


Figura 5. (a) Capacità specifica vs numero di cicli per un supercapacitore con elettrodi a base di CA, usando come elettrolita KOH 6M, in cui è evidenziata la ritenzione di capacità a partire dall'inizio della ciclazione e dal ciclo 500. (b) Particolare che evidenzia l'andamento della capacità specifica nei primi 1000 cicli.

Per ulteriori dettagli si rimanda all'allegato 1.

Anche i supercapacitori con elettrodi a base di GQD, non previsti dal capitolato, mostrano curve di CV a diverse velocità di scansione di forma quasi rettangolare, simmetriche rispetto all'asse orizzontale: il processo appare totalmente capacitivo. L'andamento del potenziale durante il primo ciclo di scarica e carica in condizioni galvanostatiche (Fig. 6) mostra che viene mantenuta una forma quasi triangolare, che conferma l'assenza di reazioni faradiche.

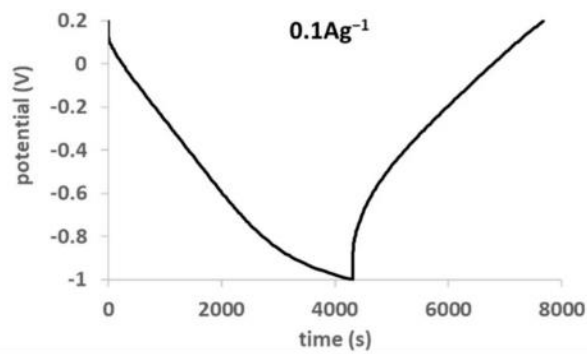


Figura 6. Andamento della curva di scarica/carica in condizioni galvanostatiche per un supercapacitore con elettrodi a base di GQD con elettrolita KOH 6 M a 0,1 A/g.

Tuttavia, fin dall'inizio si verifica una progressiva perdita di capacità irreversibile, che determina una vita complessiva dell'elettrodo di circa 1000 cicli (Fig. 7).

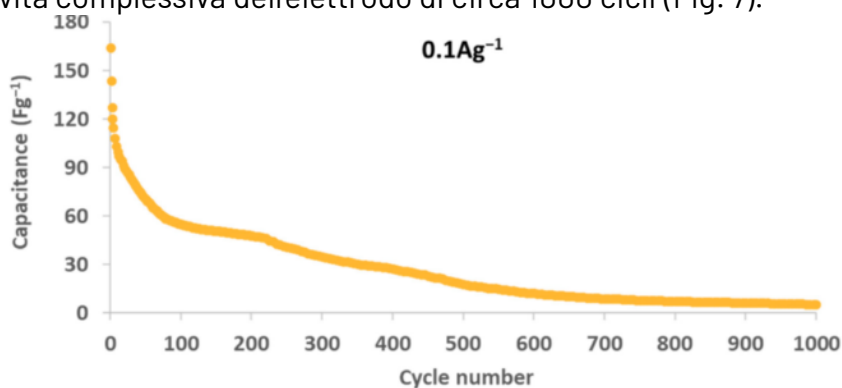


Figura 7. Andamento della capacità specifica in funzione del numero di cicli per un supercapacitore a base di GQD con elettrolita KOH 6 M.

Sebbene sia chiaro che questi GQD tal quali non siano adatti per applicazioni commerciali, i risultati ottenuti sono comparabili, e persino superiori, a quelli riportati in letteratura per elettrodi GQD monocomponenti con una dimensione media delle particelle simile. I GQD sono stati testati anche in batterie Li-ione, effettuando cicli galvanostatici a  $C/10$ . Pur avendo incluso un legante all'interno della polvere dell'elettrodo, i GQD sembrano tendere a staccarsi dal resto del materiale, esponendo così la superficie sottostante, con un effetto diretto sulle prestazioni. I risultati ottenuti sono ovviamente lontani dal valore di capacità della grafite, ma comunque incoraggianti. GQD simili, infatti, sono raramente utilizzati come tali, ma più spesso dopati o in combinazione con altri materiali attivi. Di conseguenza, quanto ottenuto fino ad ora rappresenta un ottimo punto di partenza. Per ulteriori dettagli si rimanda all'allegato 2.

## 7.2 Sintesi di microanodi basati su membrane autoportanti di array di nanotubi di $\text{TiO}_2$ .

Gli array di nanotubi di  $\text{TiO}_2$  sono stati sintetizzati per via elettrochimica, in condizioni già note, utilizzando come elettrolita  $\text{NH}_4\text{F}$  in glicole etilenico, e successivamente sono stati cristallizzati in forma anatasio a  $450^\circ\text{C}$ . Gli arrays sono stati decorati con nanostrutture di Ag tramite una procedura innovativa rapida, economica e sostenibile, che prevede l'impregnazione con una soluzione acquosa di  $\text{AgNO}_3$  e la successiva fotoreduzione sotto luce UV. I nanotubi ottenuti sono della lunghezza di alcuni micron, e le nanostrutture di Ag sono omogeneamente distribuite su tutta la superficie del campione, di cui costituiscono mediamente il 14% w/w. Le nanostrutture più piccole del diametro medio dei nanotubi

penetrano anche all'interno, e si ritrovano distribuite su tutta la lunghezza dei nanotubi, fino a costituire il 2,6% w/w del campione (Fig. 8).

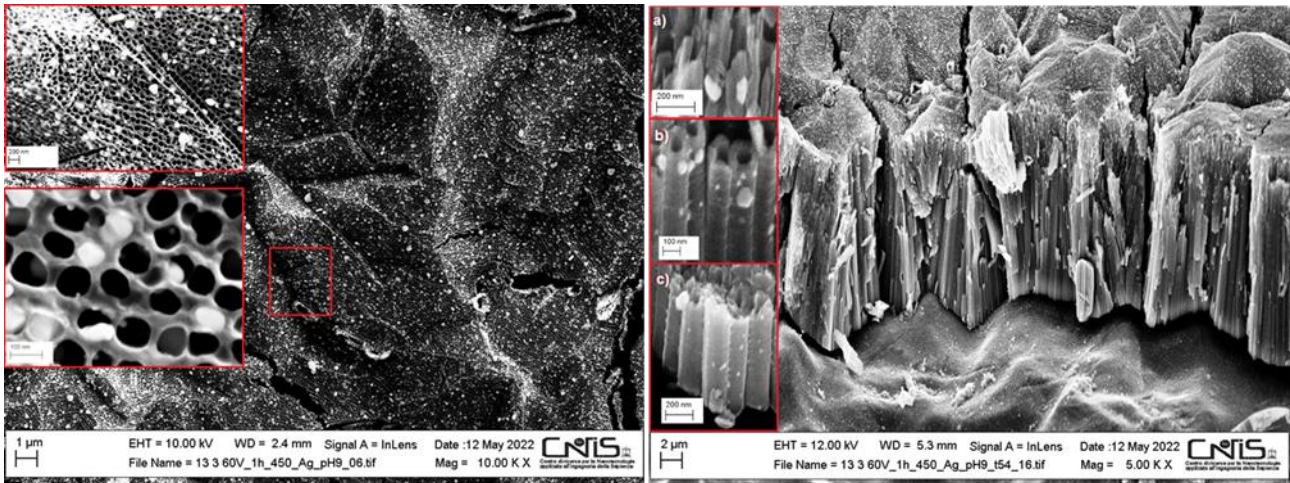


Figura 8. Micrografie SEM della superficie (sinistra) e della sezione (destra) di un tipico campione di array di nanotubi di  $\text{TiO}_2$  decorati con Ag tramite fotoriduzione.

I diffrattogrammi mostrano i picchi tipici dell'anatasio (101) a  $25^\circ$ , e a  $38^\circ$  la convoluzione del segnale di Ti (002) e anatasio (004). In presenza di Ag, mentre il picco a  $25^\circ$  resta costante, il picco a  $38^\circ$  aumenta di intensità per via del segnale dovuto alla presenza di Ag (111) (Fig. 9).

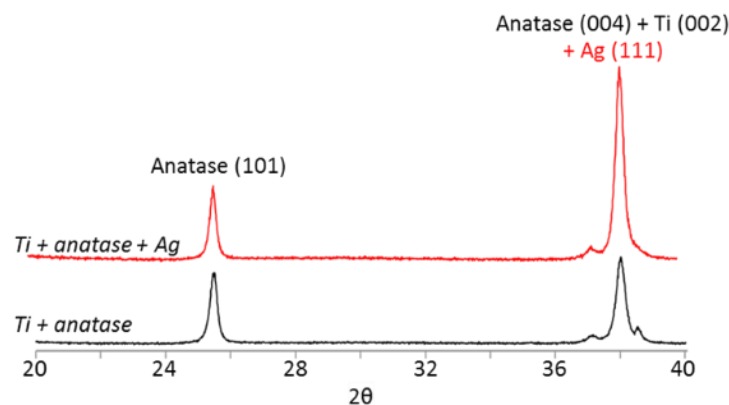


Figura 9. Particolare dei diffrattogrammi degli arrays di nanotubi di  $\text{TiO}_2$  prima (curva nera) e dopo (curva rossa) la decorazione con Ag.

Per ottenere membrane autoportanti, sono stati sintetizzati due strati successivi di nanotubi, di cui quello superiore cristallizzato in fase anatasio e quello inferiore amorfo. I campioni sono stati trattati con HF, sfruttando la sua proprietà di *etching* selettivo del  $\text{TiO}_2$ , che ha permesso di ottenere la dissoluzione del solo strato amorfo e il conseguente distacco dell'array cristallino sotto forma di membrana autoportante. Il metodo applicato è risultato efficace sia sui campioni di ossido tal quale sia sui campioni decorati con Ag. Le membrane autoportanti sono state utilizzate come anodi in batterie Li-ione, assemblate come celle a T in configurazione di semicella, utilizzando come elettrolita una soluzione 1 M di  $\text{LiPF}_6$  in EC/DMC 1:1. In Fig. 10 sono riportati l'andamento del potenziale in funzione del tempo durante la ciclazione a C/10 e l'andamento della capacità specifica nel corso dei cicli.

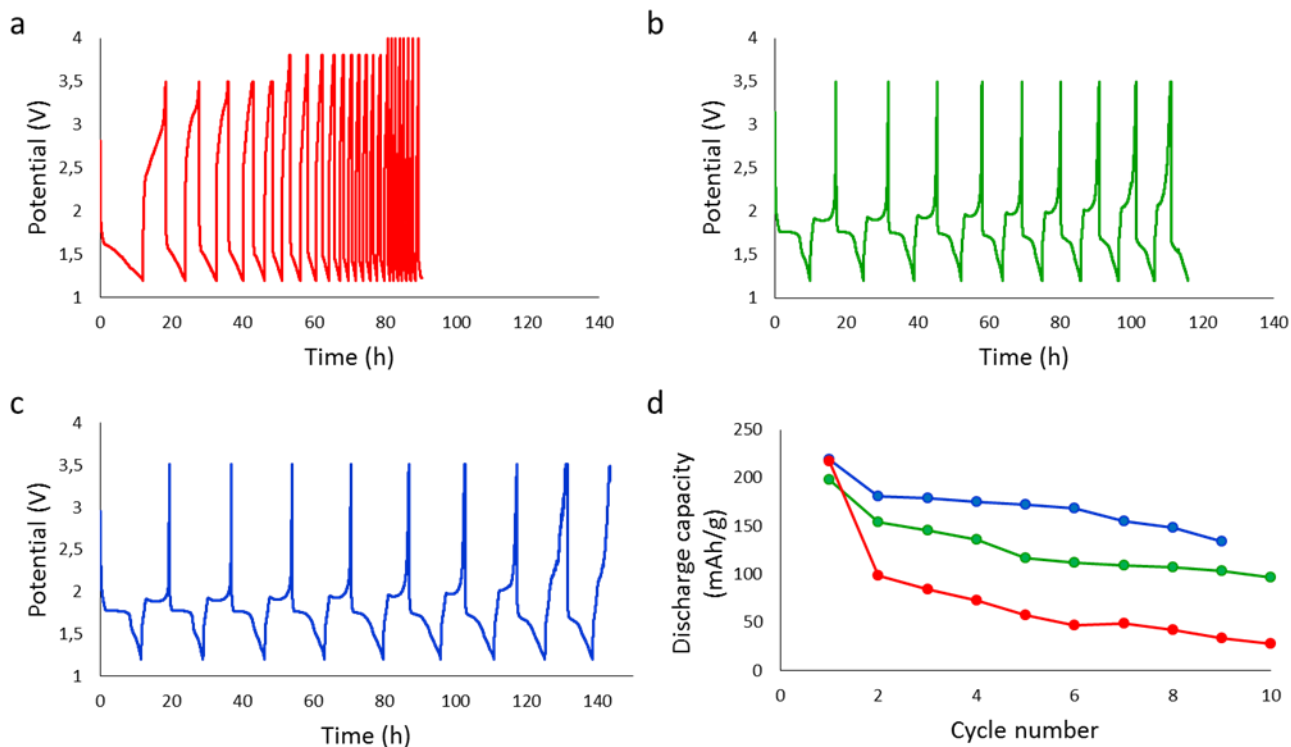
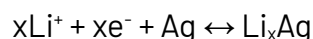


Figura 10. Curve potenziale vs tempo ottenute nel corso dei cicli di carica/scarica a C/10 per una membrana di (a) array di nanotubi di  $\text{TiO}_2$  tal quali, (b) array di nanotubi di  $\text{TiO}_2$  asciugati sottovuoto, (c) array di nanotubi di  $\text{TiO}_2$  decorati con Ag in batterie Li-ione. In (d) è riportato un confronto tra l'andamento delle capacità specifiche durante la ciclizzazione per i tre diversi tipi di campioni: nanotubi di  $\text{TiO}_2$  tal quali in rosso, nanotubi di  $\text{TiO}_2$  asciugati sottovuoto in verde, nanotubi di  $\text{TiO}_2$  decorati con Ag in blu.

Il materiale tal quale già tra 1° e 2° ciclo mostra una rilevante perdita irreversibile di capacità, a causa di residue tracce di umidità. Dopo trattamento sottovuoto a  $70^\circ\text{C}$ , tale perdita scende dal 54% al 22%, e dopo 10 cicli la capacità si mantiene sopra i 100 mAh/g. Risultati ancora migliori sono stati ottenuti utilizzando le membrane decorate con Ag, per le quali la perdita irreversibile di capacità tra 1° e 2° ciclo è solo del 17%, mentre la capacità specifica dopo 10 cicli è poco inferiore a 150 mAh/g. Tale risultato è molto interessante, considerando che la capacità teorica del  $\text{TiO}_2$  è di 185 mAh/g. Nel caso delle membrane asciutte, sia tal quali che decorate, il grafico della curva galvanostatica potenziale vs tempo mostra due plateau, a 1,7 V nella curva di scarica e 2,0 V nella curva di carica, rispettivamente corrispondenti al processo di litiazione e delitiazione, che si restringono fino a scomparire nel corso delle ciclizzazioni. Le CV a 0,05 mV/s su campioni non decorati mostrano un picco in ossidazione a 2,1 V attribuito alla de-intercalazione del litio, e due picchi in riduzione rispettivamente a 1,46 e 1,7 V. In aggiunta a questi picchi, nel caso di campioni decorati compaiono un picco in ossidazione a 1,8 V e uno in riduzione a 1,3 V. Questi ultimi sono stati attribuiti proprio alla presenza dell'argento, in grado di formare leghe con il litio secondo la reazione:



dove x dipende dalla fase cristallina dell'argento. La bassa intensità dei picchi può essere ascrivibile alla bassa quantità di Ag effettivamente depositata ed elettrochimicamente attiva.

## 8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

All'interno della LA non sono state utilizzate consulenze.

## 9 Pubblicazioni scientifiche

### 9.1

P. Atanasio, R.Y.S. Zampiva, A. Fornari, C. Mancini, A. Aurora, A.G. Marrani, M. Rossi, M. Pasquali, F.A. Scaramuzzo, Green synthesis of carbon aerogels derived from rice husk for advanced supercapacitors, *Journal of Energy Storage*, 116(2025) 115901.

### 9.2

P. Atanasio, R.Y.S. Zampiva, L. Buccini, C. Di Conzo, A. Proietti, F. Mura, A. Aurora, A.G. Marrani, D. Passeri, M. Rossi, M. Pasquali, F.A. Scaramuzzo, Graphene Quantum Dots from Agricultural Wastes: Green Synthesis and Advanced Applications for Energy Storage, *Molecules*, 29(2024) 5666.

## 10 Eventi di disseminazione

### 10.1

F.A. Scaramuzzo, P. Atanasio, R. Zampiva, M. Pasquali, *Electrode materials from alternative sources for supercapacitors*, Comunicazione orale nell'ambito di *NanoInnovation 2024*.

### 10.2

F.A. Scaramuzzo, P. Atanasio, E. Gualtieri, M. Pasquali, *Rice Husk recycling for electrode materials: a waste-to-energy story*, Comunicazione orale nell'ambito di *3rd Italian Workshop on Energy Storage IWES 2024*.

### 10.3

F.A. Scaramuzzo, M. Pasquali, *Self-standing Membranes of TiO<sub>2</sub> Nanotube Arrays: Fabrication, Decoration and Use in Li-Ion Batteries*, Comunicazione orale nell'ambito di *XIII Congresso Nazionale AICInG - Il Congresso Nazionale della Divisione di Chimica per le Tecnologie della Società Chimica Italiana, 2023*.

### 10.4

P. Atanasio, F.A. Scaramuzzo, M. Pasquali, M. Rossi, *Structural and electrochemical characterization of cellulose derived Carbon aerogels*, Comunicazione orale nell'ambito di *Giornate dell'Elettrochimica Italiana GEI 2023*.

### 10.5

F.A. Scaramuzzo, P. Atanasio, R. Zampiva, M. Pasquali, *C-based materials for supercapacitors from agricultural wastes*, Comunicazione poster nell'ambito di *International Symposium on Beyond Li-Ion Batteries 2024 BeLi2024*.

## 10.6

E. Gualtieri, C. Leibing, F.A. Scaramuzzo, M. Pasquali, A. Balducci, *Rice husk derived anodes for Li-ion batteries and beyond*, Comunicazione poster nell'ambito di *FEMS Euromat 2023*.

## 10.7

P. Atanasio, F.A. Scaramuzzo, M. Pasquali, M. Rossi, *Facile synthesis of carbon aerogels for supercapacitors from RH agricultural wastes*, Comunicazione poster nell'ambito di *FEMS Euromat 2023*.

## 10.8

E. Gualtieri, F.A. Scaramuzzo, M. Pasquali, C. Leibing, *Rice husk as anode material for Li-Ion batteries and beyond*, Comunicazione poster nell'ambito di *Second Italian Workshop on Energy Storage IWES 2023*.

## 10.9

M. Pasquali, F. Maturo, F.A. Scaramuzzo, *Self-standing membranes of TiO<sub>2</sub> nanotube arrays as anodes for Li-ion batteries*, Comunicazione poster nell'ambito di *Second Italian Workshop on Energy Storage IWES 2023*.