



Ricerca di Sistema elettrico

Tecniche di imaging per la caratterizzazione dell'invecchiamento delle celle litio-ione

A. Bacaloni, M. A. Navarra, S. Insogna, G. Maresca

DIPARTIMENTO DI CHIMICA



TECNICHE DI IMAGING PER LA CARATTERIZZAZIONE DELL'INVECCHIAMENTO DELLE CELLE LITIO-IONE

A. Bacaloni, M. A. Navarra, S. Insogna, G. Maresca (Dipartimento di Chimica, Sapienza Università di Roma)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica

Progetto: Sistemi di accumulo di energia per il sistema elettrico

Obiettivo: Studio dei fenomeni di invecchiamento, sicurezza e second life

Responsabile del Progetto: Pier Paolo Prosini, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Tecniche di imaging per la caratterizzazione dell'invecchiamento delle celle litio-ione"

Responsabile scientifico ENEA: Natascia Andrenacci

Responsabile scientifico Università di Roma Sapienza: Prof. Alessandro Bacaloni

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	5
2.1 RASSEGNA BIBLIOGRAFICA	5
2.2 EFFETTUAZIONE DI PROVE PRELIMINARI	5
2.3 CONSIDERAZIONI IGIENISTICO/AMBIENTALI	14
2.4 PROVE PREVISTE PER IL PROSIEGUO DELLA RICERCA	14
3 CONCLUSIONI	14
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	14
APPENDICE: CURRICULA DEI COMPONENTI IL GRUPPO DI STUDIO	17

Sommario

Il punto di partenza è consistito in una necessaria ricerca bibliografica; sono reperibili numerosi lavori scientifici che forniscono diverse indicazioni sulla composizione di partenza delle batterie Li-ione e sui prodotti generati da abuso, accidentale o provocato, sino all'incendio o esplosione. Il problema è che le batterie prese in esame sono di tipologia e dimensione estremamente variegata (spesso non di esclusiva applicazione automotive) e non ci sono procedure operative omogenee o paragonabili, che vadano dall'apertura delle celle, alla raccolta di campioni (nello stato aerodisperso o di residuo solido) alle tecniche analitiche o comunque valutative. Gran parte dei lavori consultati, inoltre, non sono centrati sul cambiamento morfologico e strutturale delle celle, per uso o abuso, ma hanno altre finalità: non si riscontrano pertanto studi sistematici ed esaurienti sulla caratterizzazione chimica di batterie che evidenzino le variazioni di composizione o strutturali in funzione della età lavorativa o di eventuali stress subiti dalla batteria stessa. La problematica riveste interesse anche al fine di ottimizzare le metodiche di recupero/riciclaggio dei materiali (per le quali comunque la bibliografia reperibile è abbondante, pur con tutte le differenziazioni sopra ricordate).

Nel progetto complessivo si fa riferimento a prove che possano caratterizzare le modificazioni strutturali e di composizione delle batterie litio ione dall'inizio vita, durante la loro vita definibile normale e sino alla fine vita fisiologica, in assenza quindi di condizioni di abuso o stress traumatico di diversa origine.

Nelle prove ad oggi effettuate, si è proceduto alla caratterizzazione, con i metodi appresso descritti, di una cella vergine (EiG modello C020) in modo da avere, perlomeno nel caso specifico, una sorta di punto zero sul quale modulare le prove successive e sulle cui caratteristiche valutare i dati sperimentali ottenuti su celle usate o dismesse.

L'analisi della cella vergine ha comportato la messa a punto di una procedura specifica provvisoria per la sua apertura, che per motivi di sicurezza va effettuata a batteria scarica. Le caratteristiche della procedura sono descritte nel seguito; ovviamente, in questa fase iniziale, sono state prese precauzioni probabilmente sovradimensionate, ma l'eventuale eccesso di cautela potrà essere rimodulato in seguito, con l'acquisizione di ulteriori dati.

Per la caratterizzazione dei campioni ottenuti in questa prima tranches di prove, si è fatto ricorso alla tecnica SEM (Scanning Electron Microscope) che fornisce informazioni sulla morfologia, sulla natura chimica e sulle proprietà di superficie e degli strati sottostanti di campioni solitamente solido. Nel caso specifico, l'analisi di una cella nuova non evidenzia (e quindi non pone ulteriori problemi di campionamento) in tutta la superficie del catodo, dell'anodo e del polimero. Come accennato, questa tecnica analitica permette di stabilire un punto di inizio, in modo da poter studiare successivamente le differenze che si manifestano in una cella dello stesso tipo dopo un periodo di normale (o anormale) funzionamento o in prossimità della sua fine vita prevista.

Dal punto di vista ambientale, la ricerca può contribuire, come sopra detto, sia a definire modalità di utilizzo ottimale delle batterie, sia a caratterizzarla, al termine della sua vita normale o anticipata per malfunzionamenti, al fine di migliorare le procedure di smaltimento o di recupero.

L'attività da prevedere successivamente dovrebbe fra l'altro, comprendere:

- la ripetizione delle procedure analitiche come descritte su batterie dello stesso tipo nuove, usate ad intervallo di tempo programmato o a fine vita;

- analisi ulteriori mediante tecniche alternative, per la caratterizzazione dei diversi stadi della vita delle celle da punti di vista diversi, con quindi maggiori possibilità di valutazione complessiva della problematica.

Questa è anche la ragione per cui nel gruppo di ricerca confluiscono competenze complementari, come visibile in appendice.

1 Introduzione

In questo documento vengono presentate le attività di ricerca connesse all'Accordo di collaborazione relativo ad uno studio finalizzato all'analisi delle tecniche di imaging applicabili alle celle litio-ione. Lo scopo finale è di individuare e caratterizzare i principali cambiamenti chimico-fisici che si accompagnano al processo di invecchiamento (più o meno fisiologico) delle celle, in modo sia di individuare gli effetti dei singoli fattori di stress sull'evoluzione della struttura interna delle celle litio ione, sia di sfruttare questi dati per ottimizzare la gestione delle celle stesse, nella loro vita operativa e nel loro destino (smaltimento o recupero) a fine vita.

2 Descrizione delle attività svolte

2.1 *Rassegna bibliografica*

La rassegna bibliografica ha fornito diverse indicazioni sulla composizione di partenza delle batterie Li-ione e sui prodotti generati da abuso, accidentale o provocato, sino all'incendio o esplosione. Il problema è che le batterie prese in esame sono di tipologia e dimensione estremamente variegata (spesso non di applicazione automotive) e non ci sono procedure operative omogenee o paragonabili, che vadano dall'apertura delle celle, alla raccolta di campioni (nello stato aerodisperso o di residuo solido) alle tecniche analitiche o comunque valutative.

Gran parte dei lavori consultati (vedi bibliografia) riferiscono composizioni semiquantitative degli aerodispersi prodotti da differenti prove di abuso, principalmente CO₂, con contributi significativi di CO, C₂H₄ e H₂. Una percentuale minore di autori riferisce (in funzione delle diverse tipologie di celle e di abuso/danneggiamento) presenza di idrocarburi C₂ - C₄, di HF, NO, SO₂ e HCl, definendoli perlopiù fumi in modo erraneo, trattandosi di specie allo stato gassoso (si rammenta che per fumi va inteso particolato aerodisperso aerosol allo stato liquido o solido generato da combustioni anche incomplete).

Non si riscontrano però studi esaurienti sulla caratterizzazione chimica di batterie che evidenzino le variazioni di composizione o strutturali in funzione della età lavorativa o di eventuali stress subiti dalla batteria stessa.

La problematica riveste interesse anche al fine di ottimizzare le metodiche di recupero/riciclaggio dei materiali (per le quali comunque la bibliografia reperibile è abbondante, pur con tutte le differenziazioni sopra ricordate).

2.2 *Effettuazione di prove preliminari*

Nel progetto complessivo le prove verranno pertanto scaglionate nell'arco di tempo prevedibile della vita normale delle batterie litio ione. La batteria viene sottoposta a differenti stress nell'ambito delle procedure corrette di lavoro; in particolare, le prove vita vengono svolte con diverse intensità di corrente di scarica e di profondità di scarica

Sarà importante quindi definire le condizioni di uso nei vari step e controllare la loro sequenza, in modo da escludere che nel corso della loro vita non abbiano subito condizioni di abuso (classicamente termico, meccanico o elettrico).

Nelle prove ad oggi effettuate, si è proceduto alla caratterizzazione, con i metodi appresso descritti, di una cella vergine (EiG modello C020).

L'analisi della cella vergine ha comportato la messa a punto di una procedura specifica provvisoria per la sua apertura, che per motivi di sicurezza va effettuata a batteria scarica.

In questa fase iniziale sono state prese precauzioni probabilmente sovradimensionate, come ovvio in assenza di indicazioni specifiche, ma l'eventuale eccesso di cautela potrà essere rimodulato in seguito, con l'acquisizione di ulteriori dati.

La cella è stata portata ad una temperatura di 15°C e a queste condizioni la cella si è scaricata fino ad un potenziale pari a 3 Volt, con l'apparecchiatura e secondo le modalità ed il diagramma riportati in Figura 1 e Figura 2.



Figura 1 Procedura di scarica della cella vergine EiG modello C020.

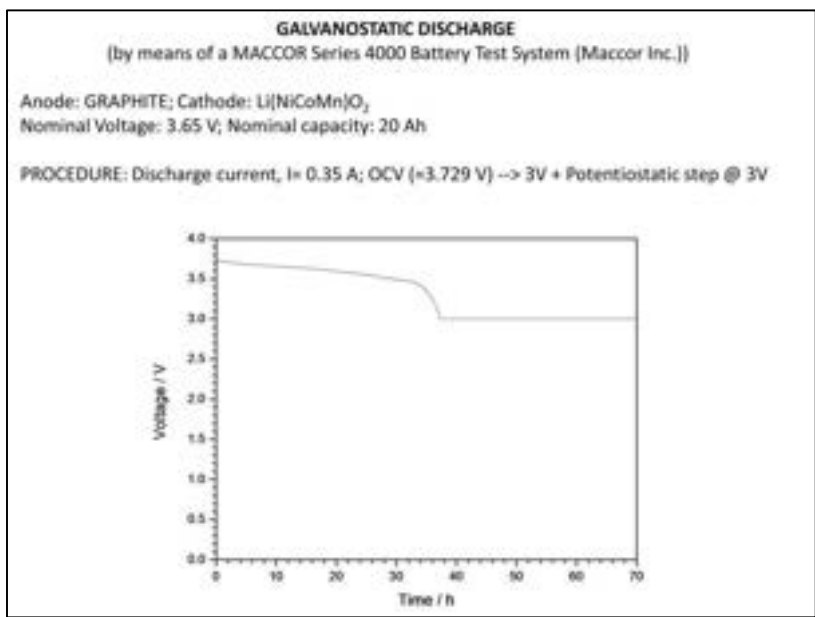


Figura 2 Diagramma di scarica della cella vergine EiG modello C020.

La apertura è stata eseguita all'interno di un glove-box chiuso (Figura 3) ad atmosfera controllata (Argon); Pressione 1,2 mbar, $O_2 < 1$ ppm, H_2O 1 ppm. Il box di lavoro è dotato di una precamera per l'introduzione e il recupero di strumenti, campioni e materiale di consumo in genere, mantenendo inalterata la composizione atmosferica del box stesso; per questioni di sicurezza è importante non ci sia ossigeno, che in caso di cortocircuito reagirebbe con il solvente organico innescando esplosioni.



Figura 3 Glove-box.

Nel caso specifico sono stati utilizzati strumenti per il taglio e la manipolazione in ceramica, polvere estinguente (zeoliti), panni in Teflon (isolante per evitare corto circuiti), DMC (dimetilcarbonato, solvente di lavaggio).

La sequenza di apertura e campionamento è sommariamente dettagliata nelle immagini seguenti (da Figura 4 a Figura 9).



Figura 4 Sequenza apertura cella.



Figura 5 Sequenza apertura cella.

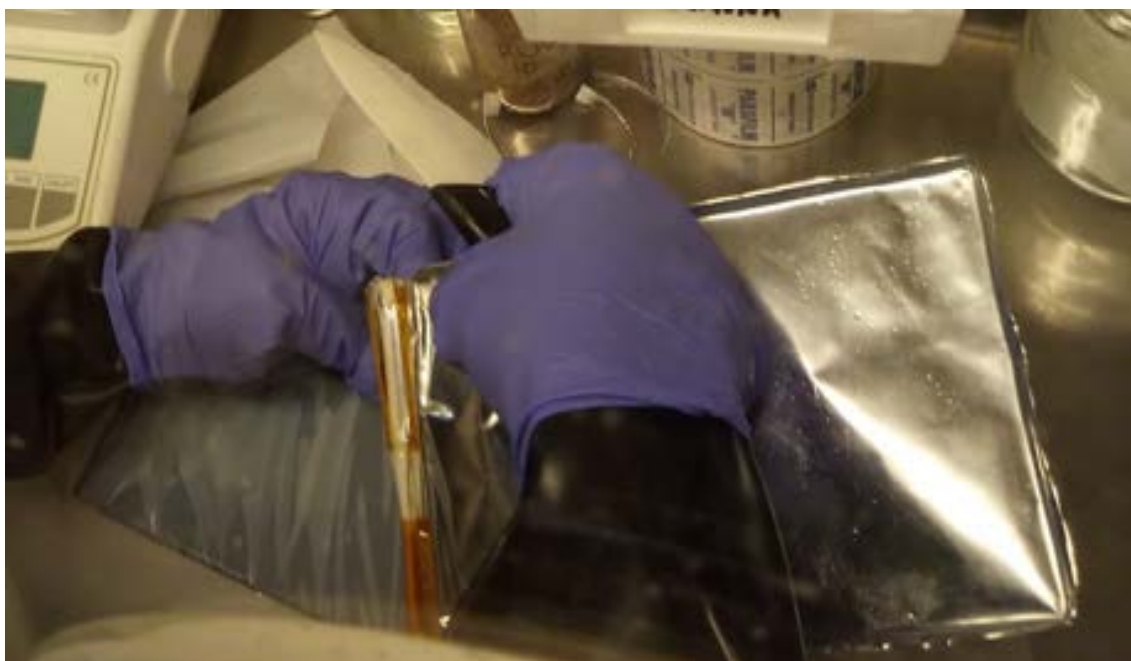


Figura 6 Sequenza apertura cella.



Figura 7 Sequenza apertura cella.

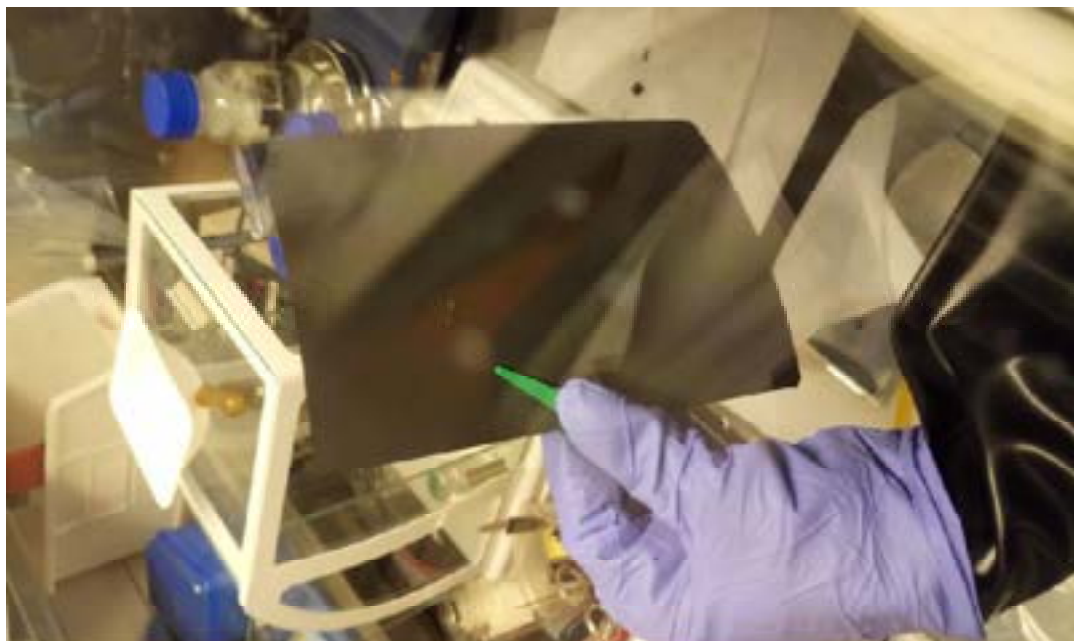


Figura 8 Campionamento componenti cella.

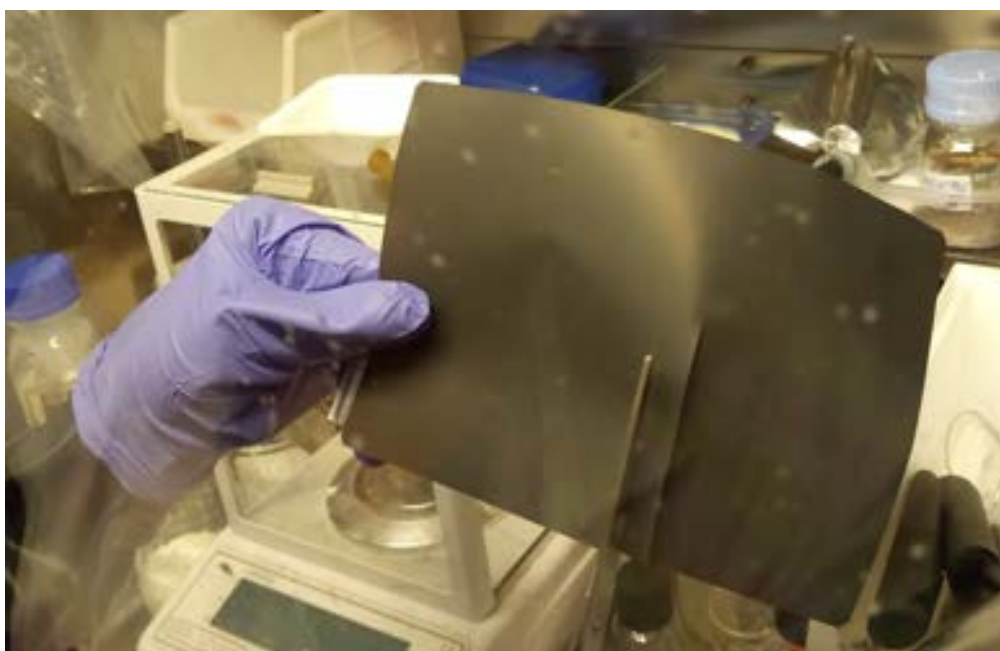


Figura 9 Campionamento componenti cella.

Per la caratterizzazione dei campioni ottenuti si è fatto ricorso alla tecnica SEM (Scanning Electron Microscope) che fornisce informazioni sulla morfologia, sulla natura chimica e sulle proprietà di superficie e degli strati sottostanti di campioni allo stato solido. Per ottenere un'immagine al microscopio elettronico, la superficie di un campione solido è percorsa con un fascio elettronico, ciò genera due tipi di segnali: gli elettroni secondari e quelli retrodiffusi (backscattered). Gli elettroni secondari, o segnale SE (Secondary Electron), sono gli elettroni uscenti dal campione con energia minore o uguale a 50 eV. Essi sono prodotti dal fascio primario e dall'interazione degli elettroni retrodiffusi con gli elettroni di valenza del campione in esame.

Nel caso specifico, l'analisi di una cella nuova non evidenzia difformità morfologiche (e quindi non pone ulteriori problemi di campionamento) in tutta la superficie del catodo, dell'anodo e del polimero (vedi immagini con gli spettri EDS della composizione chimica da Figura 10 a Figura 15). Questa analisi rappresenta una sorta di punto zero, in modo da poter studiare successivamente le differenze che si manifestano in una cella dello stesso tipo dopo un periodo di normale funzionamento, in caso di un malfunzionamento (abuso) o in prossimità della sua fine vita prevista.

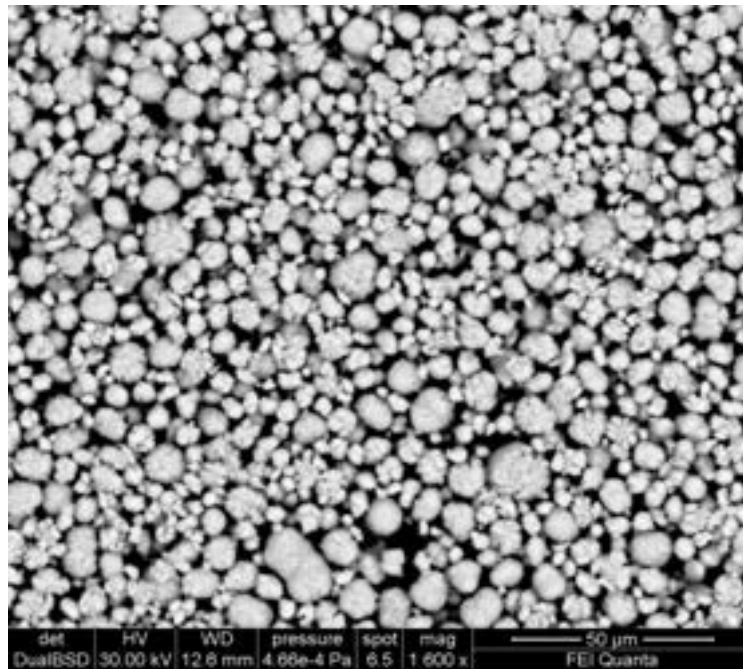


Figura 10 Catodo della cella vergine EiG modello C020. Immagine SEM-BSD.

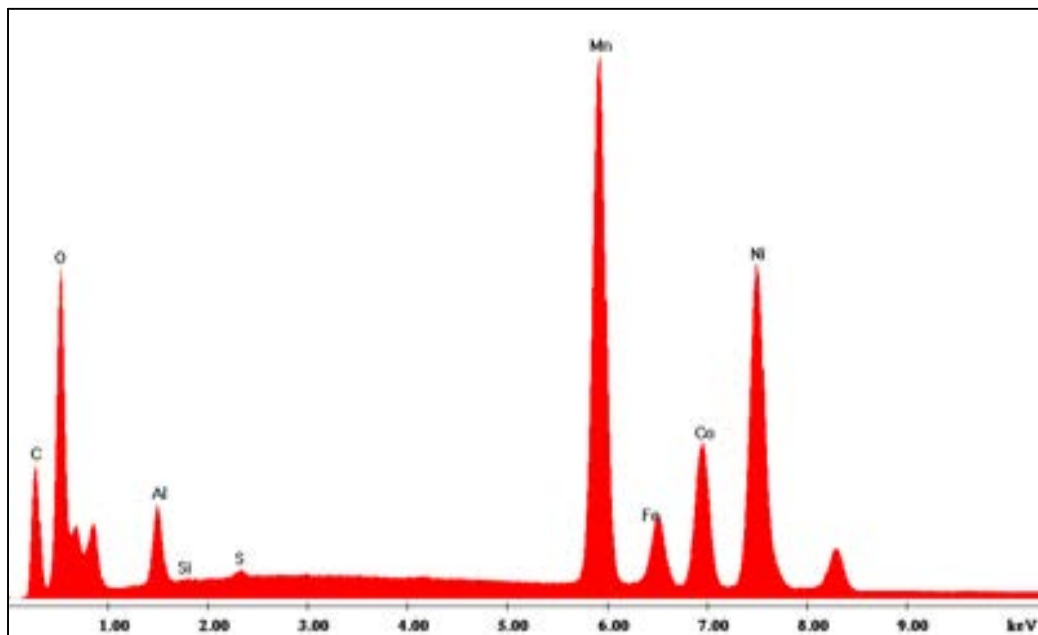


Figura 11 Catodo della cella vergine EiG modello C020. Analisi microscopica SEM-EDS.

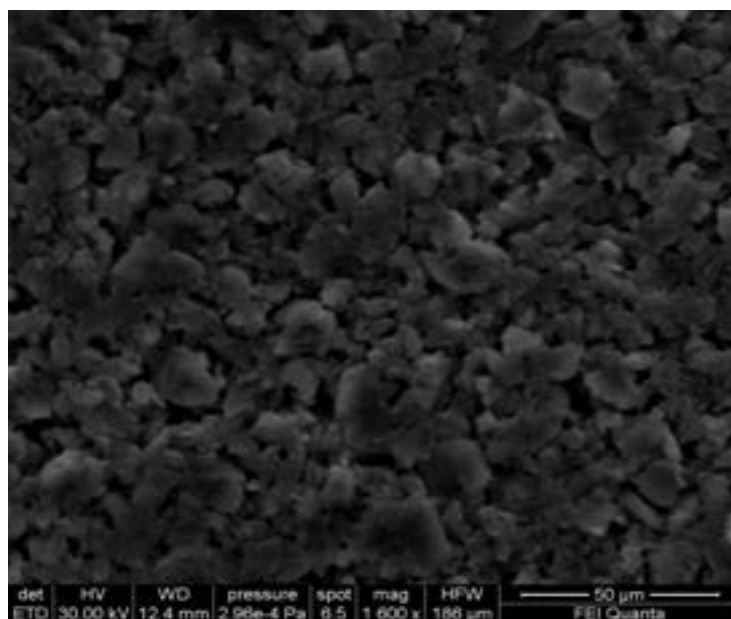


Figura 12 Anodo della cella vergine EiG modello C020. Immagine SEM-ETD.

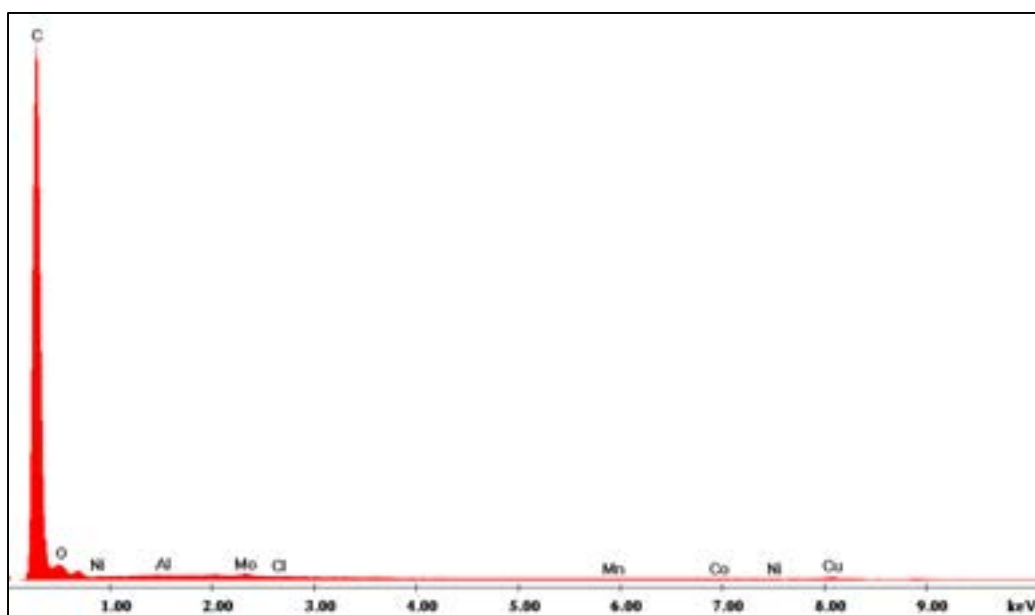


Figura 13 Anodo della cella vergine EiG modello C020. Analisi microscopica SEM-EDS.

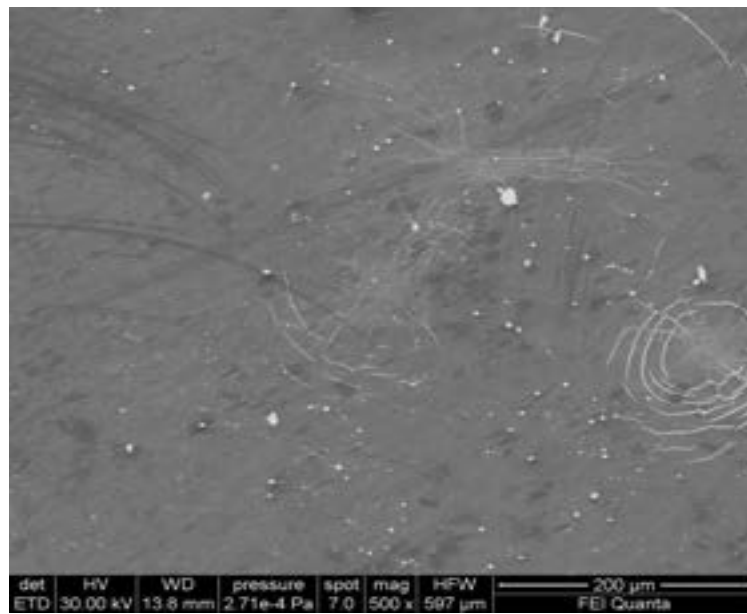


Figura 14 Polimero della cella vergine EIG modello C020. Immagine SEM-ETD.

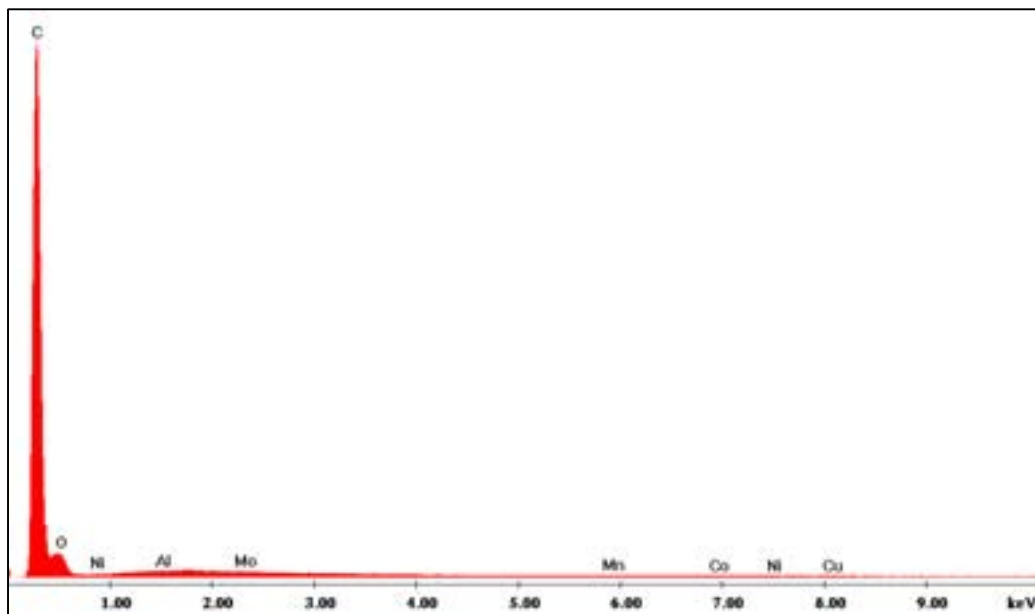


Figura 15 Polimero della cella vergine EIG modello C020. Analisi microscopica SEM-EDS.

2.3 Considerazioni igienistico/ambientali

Dal punto di vista ambientale, la ricerca può contribuire, come sopra detto, a definire un utilizzo ottimale della batteria e a caratterizzarla, al termine della sua vita normale o anticipata per malfunzionamenti, per una procedura di smaltimento o di recupero ottimale.

Questo vale anche per individuare eventuali problemi di esposizione a residui tossici per il personale professionalmente esposto nelle operazioni suddette.

2.4 Prove previste per il prosieguo della ricerca

L attività da prevedere successivamente dovrebbe fra l altro, comprendere:

- la ripetizione delle procedure analitiche come descritte su batterie dello stesso tipo nuove, usate ad intervallo di tempo programmato o a fine vita;
- analisi ulteriori mediante tecniche alternative, per la caratterizzazione dei diversi stadi della vita delle celle da punti di vista diversi, con quindi maggiori possibilità di valutazione complessiva della problematica. In particolare, già si ritiene opportuno ricorrere anche alla tecnica ICP/MS (spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente, Inductively coupled plasma mass spectrometry) per una determinazione quantitativa delle specie in gioco più accurata.

3 Conclusioni

Le tecniche utilizzate ed i risultati preliminari ottenuti appaiono promettenti per gli scopi della ricerca; la combinazione con altre tecniche analitiche, come accennato, potrà fornire dati utili alla gestione ottimale del normale utilizzo delle batterie Li-ione

4 Riferimenti bibliografici

1. R. Spotnitz, J. Franklin, "Abuse behavior of high-power, lithium-ion cells", J. Power Sources. 113 (2003) 81 100. doi:10.1016/S0378-7753(02)00488-3.
2. E.P. Roth, C.C. Crafts, D.H. Doughty, J. McBreen, "Advanced technology development program for lithium-ion batteries : thermal abuse performance of 18650 Li-ion cells.", Albuquerque, NM, and Livermore, CA, 2004. doi:10.2172/918751.
3. Q. Wang, J. Sun, G. Chu, "Lithium Ion Battery Fire And Explosion", Fire Saf. Sci. 8 (2005) 375 382. doi:10.3801/IAFSS.FSS.8-375.
4. S.-W. Eom, M.-K. Kim, I.-J. Kim, S.-I. Moon, Y.-K. Sun, H.-S. Kim, "Life prediction and reliability assessment of lithium secondary batteries", J. Power Sources. 174 (2007) 954 958. doi:10.1016/j.jpowsour.2007.06.208.
5. P. Ribière, S. Grugeon, M. Morcrette, S. Boyanov, S. Laruelle, G. Marlair, "Investigation on the fire-induced hazards of Li-ion battery cells by fire calorimetry", Energy Environ. Sci. 5 (2012) 5271 5280. doi:10.1039/C1EE02218K.
6. A.W. Golubkov, D. Fuchs, J. Wagner, H. Wiltsche, C. Stangl, G. Fauler, G. Voitic, A. Thaler, V. Hacker, "Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes", RSC Adv. 4 (2014) 3633 3642. doi:10.1039/C3RA45748F.
7. F. Larsson, B.-E. Mellander, "Abuse by External Heating, Overcharge and Short Circuiting of Commercial Lithium-Ion Battery Cells", J. Electrochem. Soc. 161 (2014) A1611 A1617. doi:10.1149/2.0311410jes.

8. N. Ponchaut, F. Colella, K. Marr, Q. Horn, "Thermal Runaway and Safety of Large Lithium-Ion Battery Systems Single Cell Failure", in: Battcon International Stationary Battery Conference, Exponent Inc. Natick, Orlando, FL, 2015: pp. 1 10.
9. A.W. Golubkov, S. Scheikl, R. Planteu, G. Voitic, H. Wiltsche, C. Stangl, G. Fauler, A. Thaler, V. Hacker, "Thermal runaway of commercial 18650 Li-ion batteries with LFP and NCA cathodes impact of state of charge and overcharge", *RSC Adv.* 5 (2015) 57171 57186. doi:10.1039/C5RA05897J.
10. F. Larsson, P. Andersson, B.-E. Mellander, "Lithium-Ion Battery Aspects on Fires in Electrified Vehicles on the Basis of Experimental Abuse Tests", *Batteries.* 2 (2016) 9. doi:10.3390/batteries2020009.
11. A. Lecocq, M. Bertana, B. Truchot, G. Marlair, "Comparison of the Fire Consequences of an Electric Vehicle and an Internal Combustion Engine Vehicle", in: International Conference on Fires in Vehicles, 2012: pp. 183 194.
12. A. Rahman, R. Afroz, M. Safrin, "Recycling and disposal of lithium batteries : an economical and environmental approach", *IJUM Eng. J.* 18 (2017) 238 252.
13. C. Mikolajczak, M. Kahn, K. White, R.T. Long, "Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment", Springer US, Boston, MA, 2011. doi:10.1007/978-1-4614-3486-3.
14. M. Cellura, S. Longo, A. Orioli, D. Panno, "Life Cycle Assessment di sistemi per le auto elettriche, Report RdS/2012/ 093", 2011.
15. C. Di Bari, E. Conigli, F. Rossi, R. Calvigioni, C. Manni, I. Morriello, F. Messale, "Rapporto tecnico sul calcolo del carico di fuoco, sulla metodologia di prova adottata e presentazione dei risultati delle prove di incendio ed estinzione effettuate su Litio metallico e su celle Litio-ione, Report RdS/PAR2015/199", 2016.
16. C. Di Bari, V. Sglavo, "Batterie Litio-ione: sulla catena degli eventi termici che può condurre a esplosione ed incendio, Report RdS/PAR2015/200", 2016.
17. 19. D. De Angelis, "Caratterizzazione dei materiali di celle litio-ione da trattare e opzioni tecnologiche attualmente esistenti per il loro recupero, Report RdS/PAR2013/195", 2014.
18. 20. F. Larsson, P. Andersson, P. Blomqvist, B.-E. Mellander, "Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires", *Sci. Rep.* 7 (2017) 10018. doi:10.1038/s41598-017-09784-z.
19. 21. K.J. Nicoll, A.M. Rose, M.A.A. Khan, O. Quaba, A.G. Lowrie, "Thigh burns from exploding e-cigarette lithium ion batteries: First case series", *Burns.* 42 (2016) e42 e46. doi:10.1016/j.burns.2016.03.027.
20. 22. K. Tanong, J. Blais, G. Mercier, "Metal Recycling Technologies for Battery Waste", *Recent Patents Eng.* 8 (2014) 13 23. doi:10.2174/1872212108666140204004041.
21. 23. J. Sun, J. Li, T. Zhou, K. Yang, S. Wei, N. Tang, N. Dang, H. Li, X. Qiu, L. Chen, "Toxicity, a serious concern of thermal runaway from commercial Li-ion battery", *Nano Energy.* 27 (2016) 313 319. doi:10.1016/j.nanoen.2016.06.031.
22. 24. J. Quintiere, S.B. Crowley, R.N. Walters, R.E. Lyon, D. Blake, "Fire Hazards of Lithium Batteries, Report DOT/FAA/TC-TN15/17", 2016.
23. 25. J. Jaguemont, L. Boulon, Y. Dubé, "A comprehensive review of lithium-ion batteries used in hybrid and electric vehicles at cold temperatures", *Appl. Energy.* 164 (2016) 99 114. doi:10.1016/j.apenergy.2015.11.034.
24. 26. J. Ordoñez, E.J. Gago, A. Girard, "Processes and technologies for the recycling and recovery of spent lithium-ion batteries", *Renew. Sustain. Energy Rev.* 60 (2016) 195 205. doi:10.1016/j.rser.2015.12.363.
25. 27. J. Wolfenstine, J.L. Allen, J. Read, D. Foster, "Chemistry and Structure of Sony s Nexelion Li-ion Electrode Materials, Report ARL-TN-0257", 2006.
26. 28. L. Ahmadi, S.B. Young, M. Fowler, R.A. Fraser, M.A. Achachlouei, "A cascaded life cycle: reuse of electric vehicle lithium-ion battery packs in energy storage systems", *Int. J. Life Cycle Assess.* 22 (2017) 111 124. doi:10.1007/s11367-015-0959-7.

27. 29. M. Chen, J. Liu, Y. He, R. Yuen, J. Wang, "Study of the fire hazards of lithium-ion batteries at different pressures", *Appl. Therm. Eng.* 125 (2017) 1061 1074. doi:10.1016/j.applthermaleng.2017.06.131.
28. 30. M. Chen, R. Yuen, J. Wang, "An experimental study about the effect of arrangement on the fire behaviors of lithium-ion batteries", *J. Therm. Anal. Calorim.* 129 (2017) 181 188. doi:10.1007/s10973-017-6158-y.
29. 31. M.R. Mancini, S. Frangini, C. Alvani, "Recupero eco-sostenibile di materiali da batterie litio-ione esauste: studi preliminari, Report RdS/2013/256", 2013.
30. 32. M.R. Mancini, S. Frangini, "Recupero di componenti da batterie al litio-ione esauste: processo eco-sostenibile e innovativo, Report RdS/PAR2014/184", 2015.
31. 33. M. Held, R. Brönnimann, "Safe cell, safe battery? Battery fire investigation using FMEA, FTA and practical experiments", *Microelectron. Reliab.* 64 (2016) 705 710. doi:10.1016/j.microrel.2016.07.051.
32. 34. N. Nitta, F. Wu, J.T. Lee, G. Yushin, "Li-ion battery materials: present and future", *Mater. Today.* 18 (2015) 252 264. doi:10.1016/j.mattod.2014.10.040.
33. 35. N.P. Lebedeva, L. Boon-Brett, "Considerations on the Chemical Toxicity of Contemporary Li-Ion Battery Electrolytes and Their Components", *J. Electrochem. Soc.* 163 (2016) A821 A830. doi:10.1149/2.0171606jes.
34. 36. P.J. Mankowski, J. Kanevsky, P. Bakirtzian, S. Cugno, "Cellular phone collateral damage: A review of burns associated with lithium battery powered mobile devices", *Burns.* 42 (2016) e61 e64. doi:10.1016/j.burns.2015.10.012.
35. 37. S.J. An, J. Li, C. Daniel, D. Mohanty, S. Nagpure, D.L. Wood, "The state of understanding of the lithium-ion-battery graphite solid electrolyte interphase (SEI) and its relationship to formation cycling", *Carbon N. Y.* 105 (2016) 52 76. doi:10.1016/j.carbon.2016.04.008.
36. 38. V. Ekermo, *Recycling opportunities for Li-ion batteries from hybrid electric vehicles*, Chalmers University of Technology, 2009.
37. 39. V. Ruiz, A. Pfrang, A. Kriston, N. Omar, P. Van den Bossche, L. Boon-Brett, "A review of international abuse testing standards and regulations for lithium ion batteries in electric and hybrid electric vehicles", *Renew. Sustain. Energy Rev.* 81 (2018) 1427 1452. doi:10.1016/j.rser.2017.05.195.
38. 40. X. Zeng, J. Li, N. Singh, "Recycling of Spent Lithium-Ion Battery: A Critical Review", *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 44 (2014) 1129 1165. doi:10.1080/10643389.2013.763578.

Appendice: curricula dei componenti il gruppo di studio

Come accennato, la scelta del gruppo di ricerca è stata fatta sulla base della complementarità delle competenze, in modo da poter affrontare le problematiche proposte dall'accordo di collaborazione sfruttando il massimo delle sinergie possibili e disponibili all'interno del Dipartimento di Chimica della Sapienza.

Prof. Alessandro Bacaloni

Professore Associato di Chimica Analitica (CHIM 01) - Dipartimento di Chimica, Facoltà di Scienze MMFFNN della Sapienza - Università degli Studi di Roma, è laureato in Chimica Industriale. Componente della Giunta di Facoltà di Scienze MMFFNN (2010-2012) e della Giunta di Dipartimento di Chimica (2013-2016). Vicedirettore della Scuola di Specializzazione in Medicina del Lavoro dall'a.a. 2001/2002 al 2010/2011.

Socio dell'Associazione Italiana degli Igienisti Industriali (AIDII) dagli anni '80; Presidente della sezione Lazio, Abruzzo, Marche, Umbria e Sardegna dal 2000 al 2009; Igienista Industriale Certificato dal 1993, dal 2010 Accredia n. IA0307010025.

Ha rappresentato il MIUR in seno alla Commissione Consultiva, di cui al D.Lgs. 52/97 di attuazione della Direttiva 92/32/CEE concernente classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose, quale esperto di problematiche connesse con la ricerca scientifica (1997 - 2002)

Responsabile negli ultimi anni dell'effettuazione di diversi incarichi affidati al Dipartimento di Chimica della Sapienza per l'accertamento del rischio chimico e della esposizione a cancerogeni per i lavoratori da parte della Banca d'Italia e della RAI-Radiotelevisione Italiana. Responsabile della informazione e formazione di base sul rischio chimico per il personale docente e tecnico del Dipartimento di Chimica della Sapienza dal 2004 e docente sugli stessi argomenti nei corsi per gli RLS di Ateneo. Responsabile per il Dipartimento di Chimica dei contratti per l'effettuazione di consulenze di Igiene Industriale presso Enti esterni (Banca d'Italia, RAI Radio Televisione Italiana, ecc.).

È tuttora titolare dei seguenti insegnamenti: Chimica Analitica della Sicurezza (C.L. Magistrale in Chimica Industriale dall'a.a. 2009/2010) Ambiente e Salute (C.L. Magistrale in Chimica dall'a.a. 2013/2014) Igiene Industriale (C.L. Triennale in Tecnico della Prevenzione nell'ambiente e nei luoghi di lavoro dall'a.a. 2003/2004; sede di Rieti)

Nell'ambito della ricerca e della produzione scientifica, si è dedicato inizialmente a problematiche inerenti alla messa a punto ed applicazione di metodiche analitiche per l'individuazione e la determinazione di contaminanti chimici in aria ed in altre matrici di interesse ambientale (pubblicazioni dalla fine degli anni '70 agli anni '80). Successivamente, l'attività scientifica sfociava in aspetti multidisciplinari, volta alla caratterizzazione degli effetti sulla salute di operatori professionalmente esposti agli agenti suddetti, anche al fine di individuare criteri scientificamente validi per la prevenzione delle patologie e la protezione degli esposti; questo ha comportato la collaborazione con altre competenze scientifiche (medici, biologi, fisici), fornendo il necessario supporto chimico e chimico-analitico, rintracciabile nelle pubblicazioni successive (dagli anni '80 ad oggi). Parallelamente, a partire dalla fine degli anni '90, la ricerca è stata rivolta alla determinazione in matrici ambientali di tracce di pesticidi o altri residui chimici classificabili come "endocrine disruptors" (interferenti endocrini) mediante la messa a punto di innovative tecniche di estrazione ed analisi. Tale attività si è concretizzata, fra l'altro, nella produzione di oltre 100 fra articoli scientifici su riviste internazionali o nazionali, atti di congresso internazionali o nazionali pubblicati a stampa, libri o capitoli di libro.

È stato responsabile scientifico di numerosi progetti di ricerca, quali: U.O. Roma per il Progetto MIUR PNRA 2009/A2.10 "Contaminazione Ambientale in Antartide: livelli ed andamenti degli inquinanti organici persistenti (POPS)" durata 24 mesi; Progetto di ricerca ISPESL C15/DIL/02 "Determinazione del rischio ambientale connesso all'utilizzo di farmaci nell'industria zootecnica" 2003-2004 durata 24 mesi; Progetto di ricerca ISPESL B73/DIL/03 "Tecniche ifenate del tipo cromatografia-spettrometria di massa nella determinazione della esposizione professionale ad isocianati" 2005-2006 durata 24 mesi; Progetto di ricerca ISPESL DIL "Standardizzazione di metodologie di rilevazione di 10 sostanze scelte tra le più diffuse come inquinanti inorganici in ambienti di lavoro (metalli pesanti e gas permanenti)" 1990-1991 durata 24

mesi; ISPEL DIL "Messa a punto di metodologie di rilevazione di inquinanti organici (antiparassitari carbammati, tiocarbammati, erbicidi)" 1991-1992 durata 24 mesi; Progetto di ricerca ISPEL B50/DIPIA/02 "Messa a punto di tecniche analitiche sperimentali per la validazione del contenuto informativo prodotto da tecniche GIS e da telerilevamento ad alta definizione in aree caratterizzate dalla presenza di insediamenti industriali e altre attività produttive" durata 24 mesi; Progetto di ricerca ISPEL B55/DIPIA/03 "Individuazione e studio del ciclo idrogeologico di prodotti tossici pericolosi derivanti da attività industriali" durata 24 mesi; PRIN 2004 "Metodi Multidimensionali per lo Studio di Sostanze di Natura Biotica per la Sicurezza e Qualità nella Filiera Agroalimentare" durata 24 mesi; Progetto ISPEL B1-32/DIL/04 "Caratterizzazione dell'esposizione a ritardanti di fiamma aerodispersi in particolari tipologie di ambienti lavorativi" durata 12 mesi; Progetto ISPEL B06/2007 "Produzione di una metodologia per la determinazione, il monitoraggio e la valutazione della pericolosità degli inquinanti organici persistenti di origine industriale (POPs) dispersi nella risorsa idrica, anche tramite la realizzazione di un GIS. Valutazione e modellazione del fato e dell'impatto sulla salute umana della popolazione residente e degli addetti e della mitigazione degli effetti" durata 24 mesi.

Coautore di collane editoriali: IPSOA-INDICITALIA - IGIENE E SICUREZZA DEL LAVORO - CD ROM ad aggiornamento bimestrale (dal 1997 al 2001); IPSOA INDICITALIA (WOLTERS KLUWER ed.) - TUTTO SICUREZZA E AMBIENTE - Opera su DVD e online ad aggiornamento bimestrale. Autore o coautore di opere su carta o su supporto informatico per l'IPSOA (Wolters Kluwer Italia) nel campo dell'igiene e sicurezza sul lavoro e ambientale, e relativamente all'utilizzo, alla determinazione in matrici ambientali ed allo smaltimento di sostanze pericolose.

Dr.ssa Maria Assunta Navarra

Ricercatore T.D. presso il Dipartimento di Chimica della Sapienza, settore scientifico disciplinare Chimica Fisica dal Gennaio 2010. Professore aggregato dall'a.a. 2012/2013. Ottiene l'Abilitazione Scientifica Nazionale (2012 e 2013) come Professore Associato in Chimica Fisica (Chim/02- 03/A2) e Fondamenti chimici delle Tecnologie (Chim/07 - 03/B2).

Si laurea in Chimica con lode presso l'Università degli Studi di Roma La Sapienza nell'A.A. 2000/2001. Nel Gennaio 2006 consegue il titolo di Dottore di Ricerca in Scienza dei Materiali presso lo stesso Ateneo.

Nel 2008 partecipa alla fondazione della società Eco Recycling, primo SPIN OFF di trasferimento tecnologico, nel settore dello smaltimento dei rifiuti speciali, dell'Università di Roma La Sapienza.

Membro (dal 2002) di: Ordine Interregionale dei Chimici di Lazio, Umbria, Abruzzo e Molise (LUAM) e Consiglio Nazionale dei Chimici (CNC); Società Chimica Italiana (SCI): Divisioni di Elettochimica e Chimica Fisica, Gruppo Interdivisionale di Chimica per le Energie Rinnovabili (EnerCHEM) membro del consiglio di amministrazione; Electrochemical Society (ECS); International Society of Electrochemistry (ISE).

Riceve due importanti riconoscimenti: il Premio di Dottorato 2007 Fondazione Oronzio e Niccolò De Nora, assegnato dalla Divisione di Elettrochimica della Società Chimica Italiana e il Premio Eni Italgas Debutto nella Ricerca, XIX edizione, per gli studi condotti su nuove tecnologie applicate alle celle a combustibile.

Svolge lunghi periodi di formazione presso università ed istituti esteri, quali Chalmers University of Technology (Göteborg, Svezia), Hunter College of City University of New York (New York City, USA), Case Western Reserve University (Cleveland, USA), Center for Solar Energy and Hydrogen Research (ZSW, Ulm, Germania), instaurando proficue e durature collaborazioni.

È stata titolare dell'insegnamento "Ambiente e Beni Culturali" della Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie per la Conservazione dei Beni Culturali presso La Sapienza; attualmente è titolare dell'insegnamento "Chimica dei Beni Culturali e Metodi Elettrochimici" nello stesso corso di laurea. È afferente al Centro di Ricerca HYDRO-ECO Hydrogen as an alternative and ecological energy carrier della Sapienza. L'attività di ricerca è focalizzata in: sintesi e caratterizzazione di materiali per dispositivi elettrochimici avanzati volti alla conversione e all'accumulo di energia. Sviluppo di nuove componenti elettrodiche e, principalmente, elettrolitiche (e.g. liquidi ionici, membrane polimeriche a conduzione ionica) sia per batterie al litio che per celle a combustibile alimentate ad idrogeno. Utilizzo delle più sofisticate tecniche di indagine elettrochimica (spettroscopia d'impedenza, ciclazioni galvanostatiche, metodi potenziometrici/amperometrici) e chimico-fisica (e.g. analisi termiche, strutturali e morfologiche,

spettroscopia Raman/IR, NMR). Autore di circa 60 pubblicazioni a stampa sui temi suddetti in riviste scientifiche internazionali.

Dott.ssa Susanna Insogna

Titolare di Assegno di Ricerca nel settore scientifico disciplinare CHIM/01 dal 2008 al 2016 presso il Dipartimento di Chimica dell'Università degli studi di Roma La Sapienza . Titolare di Contratto di Collaborazione dal 2016 presso lo stesso Dipartimento.

Laureata con lode in Chimica presso l'Università degli studi di Roma La Sapienza nel settembre 2003; indirizzo chimica analitica e chimica ambientale. Nel febbraio 2008 consegue il Dottorato di ricerca in Igiene Industriale ed Ambientale presso lo stesso Ateneo, con una ricerca dal titolo "Idrocarburi clorurati volatili in aria. Determinazione del rapporto di concentrazione atmosfera/ambiente acquatico" .

Membro di un'unità di ricerca nell'ambito del Progetto Nazionale di Ricerche in Antartide dal 2005.

Docente a Contratto per gli insegnamenti "Chimica e analisi dell'inquinamento atmosferico con laboratorio" (corso di laurea magistrale in Scienze e Tecnologie per la Conservazione dei Beni Culturali), dall'A.A. 2010/2011, e "Scienze Ambientali - Chimica ambientale e beni culturali" (corso di laurea triennale in Tecniche della prevenzione nell'ambiente e nei luoghi di lavoro), dall'A.A. 2014/2015, presso l'Università degli studi di Roma La Sapienza .

Le sue attività di ricerca si focalizzano principalmente su: - Sviluppo di metodologie innovative per la determinazione di composti organici volatili a livello di tracce in matrici ambientali - Messa a punto di tecnologie per il campionamento di aria in condizioni ambientali estreme - Monitoraggio di idrocarburi clorurati volatili in aria e matrici acquose in Antartide per lo studio dei meccanismi di trasporto e diffusione su scala globale di contaminanti di origine antropica - Valutazione di inquinanti aerodispersi nell'ambiente e nei luoghi di lavoro; tali ricerche sono state oggetto di numerose pubblicazioni a stampa su riviste scientifiche internazionali e nazionali, atti di comunicazioni in congressi.