

## L'occhio elettronico che apre nuovi mondi

### SEM, un innovativo strumento di ricerca e di divulgazione per il museo e lo *Science Center*

NICOLA ANGELI \*, ROMINA BELLI \*\*, MARINA GALETTO \* & LAURA TONIUTTI \*\*

\* Museo Tridentino di Scienze Naturali – Sezione di Limnologia – Sezione Didattica

\*\* Università di Trento, Dipartimento di Fisica, Via Sommarive 14, 38050 Povo - TN

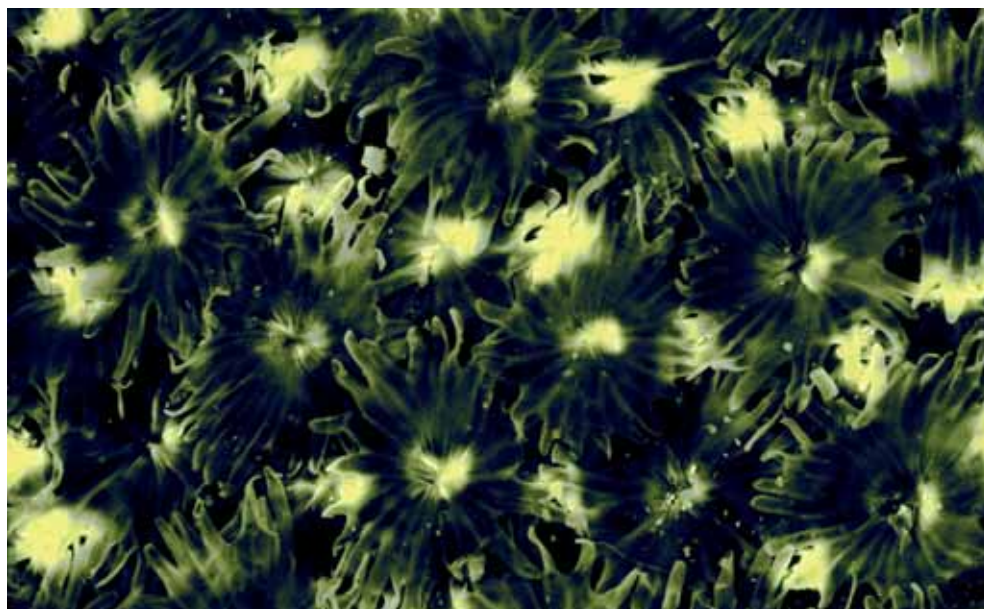


Fig.1 – Di primo acchito possono sembrare i polipi coloniali di una qualche madrepora di barriera corallina, ma si tratta dei peli scutati che ricoprono la lamina inferiore di una foglia di ulivo. Le immagini del SEM dischiudono all'occhio umano una dimensione assolutamente inattesa (quella ultrastrutturale tridimensionale) degli organismi viventi e non (foto: N. Angeli, elaborazione cromatica: O. Negra).

È arrivato! È la mattina del 5 aprile 2005 ed un grosso imballo di legno viene portato con molta precauzione all'interno del cortile di Palazzo Sardinia, nella sede del Museo Tridentino di Scienze Naturali.

A giudicare dalle dimensioni potrebbe sembrare un *exhibit* della mostra Einstein, al momento in corso presso il museo, arrivato con un po' di ritardo. È anche piuttosto pesante: poco più di mezza tonnellata e l'unico posto in cui può essere

alloggiato è a pian terreno, vicino all'edificio dell'ex albergo Posta. I solai, infatti, non riuscirebbero a sostenerlo. C'è molta curiosità tra il personale del museo e le scolaresche in visita alla mostra. Cosa ci sarà mai dentro quell'enorme cubo di legno?

Aperte le pareti dell'imballo, l'oggetto misterioso non sembra poi né così grande né così ingombrante e, grazie a una serie di stratagemmi, viene facilmente portato all'interno del museo.



Fig.2 – L'arrivo del SEM al MTSN (foto: N. Angeli).

Ebbene, si tratta nientepopodimeno che di un Microscopio Elettronico a Scansione (SEM, dall'inglese *Scanning Electron Microscopy*). Nello specifico, si tratta del modello EVO40 della ditta Zeiss, una marca molto nota nel campo della microscopia, rappresentata in Italia dalla ditta Assing di Milano.

Il SEM è uno strumento indispensabile nella ricerca scientifica, che ha il grande vantaggio, rispetto ai più comuni microscopi ottici, di poter

lavorare ad elevati ingrandimenti (mille volte superiori rispetto all'ottico) e di permettere quindi l'osservazione di particolari molto piccoli.

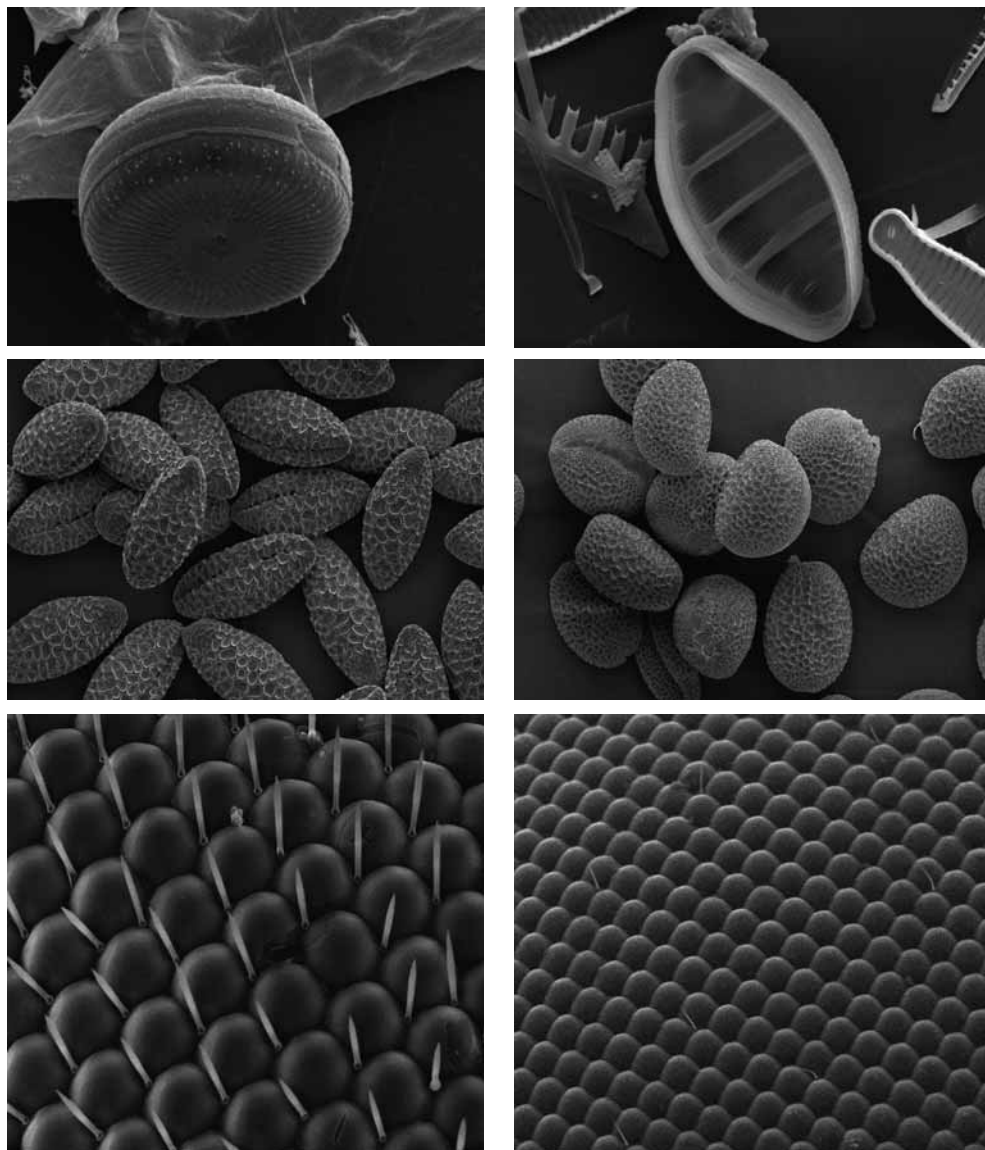
L'acquisizione di questa apparecchiatura è stata possibile grazie a un finanziamento straordinario da parte della Provincia Autonoma di Trento e grazie al crescente interesse del MTSN per la ricerca scientifica. Negli ultimi anni si sono infatti sviluppati anche grazie a numerosi progetti di indagine ambientale, come ad esempio il progetto *CRENO-DAT*, che si caratterizza in particolare per il dettagliato esame della biodiversità vegetale (cianobatteri, alghe, muschi, licheni, piante superiori) e animale (ciliati, idracari, crostacei, oligocheti, nematodi, chironomidi e altri gruppi dello *zoobenthos*) di un centinaio di sorgenti localizzate nel territorio della Provincia Autonoma di Trento. La microscopia elettronica a scansione è un mezzo di indagine molto versatile. Le problematiche che possono essere affrontate sono varie e spaziano dal mondo organico a quello inorganico, dal campo delle scienze naturali a quello delle scienze ingegneristiche, dalle ricerche in campo geologico a quelle in campo (paleo)climatico, dallo studio dei materiali più innovativi a quelli usati dall'uomo preistorico, in un range *infinito* di applicazioni.



Fig.3 - Un'immagine del SEM e del relativo piano di lavoro installati al MTSN (foto: N. Angeli).

Una delle più note applicazioni del SEM nel campo delle scienze biologiche è l'osservazione di dettagli anatomici microscopici, che consentono ai ricercatori di determinare specie vegetali o animali da campioni molto piccoli e/o molto degradati.

In ambito naturalistico si può citare ad esempio lo studio di diatomee e dinoflagellati (microscopiche alghe diffuse negli ambienti acquatici), di granuli pollinici, di insetti o, sconfinando in campo archeologico, l'analisi di antiche essenze legnose e di fibre naturali.



Figg.4, 5, 6, 7, 8, 9 – La finezza delle immagini del SEM ne fa un potente strumento d'indagine nella determinazione e distinzione di specie, consentendo un confronto delle diverse morfologie a livello ultrastrutturale, qui due differenti diatomee, i pollini di due piante diverse, gli occhi composti di due specie di insetti appartenenti all'ordine dei Ditteri (foto: N. Angeli).

La natura ha creato delle superfici incredibilmente complesse ed affascinanti che sono *facilmente* osservabili al SEM. Grazie al forte contrasto dei dettagli, all'elevata profondità di campo e alla grande risoluzione spaziale di questo strumento, l'identificazione e la documentazione di spine, di squame, di peli o di pori di microrganismi animali e vegetali raggiunge decisamente livelli molto superiori rispetto a quelli del microscopio ottico. Le possibilità di indagine offerte dalla microscopia elettronica a scansione permettono ad esempio di acquisire maggiori informazioni utili ad identificare la specie di microrganismi, come le diatomee, oppure di evidenziare con maggior dettaglio le tracce di scalfittura rinvenibili su reperti archeologici.

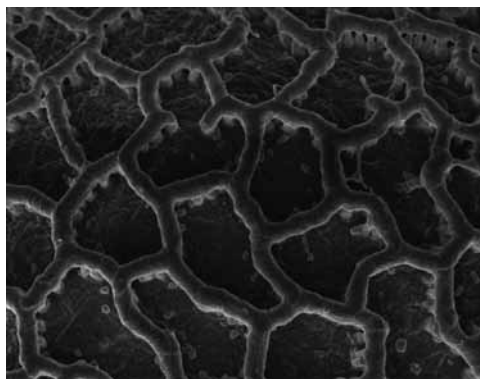


Fig.10 – La superficie finemente reticolata di un granulo pollinico (foto: N. Angeli).

Un uso analogo nel campo delle scienze geologiche è lo studio di campioni di roccia e di minerali, per determinare ad esempio la simmetria dei cristalli, la loro struttura o la presenza di particolari alterazioni e trasformazioni degli stessi, riconoscere le differenze tra gli elementi che compongono un campione di roccia e, disponendo di un sistema di microanalisi, determinare l'esatta composizione chimica del campione stesso.

Toccano un campo di estrema attualità, il SEM può anche essere utilizzato per studiare l'inquinamento dell'aria. Esaminando infatti il tipo e le dimensioni delle particelle solide, sedimentabili e non, presenti nell'aria (come le famose PM10) si può incrementare la conoscenza sulla presenza di inquinanti pericolosi, non solo per la salute del-

l'uomo e degli altri organismi viventi, ma anche per l'ambiente fisico stesso. Tali sostanze possono tra l'altro essere artefici del degrado superficiale del materiale lapideo, che si ritrova frequentemente nel campo dei beni culturali. L'uso sinergico del SEM e delle tecniche di microanalisi permettono di risalire inoltre alla composizione chimica di questi inquinanti.

Un'applicazione che si è venuta sempre più affermando negli ultimi anni è data dall'osservazione di reperti archeologici. Il Trentino conserva un ricco patrimonio archeologico e queste analisi (cosiddette archeometriche) consentono di integrare le informazioni ottenibili direttamente dal sito di ritrovamento. Lo studio delle tracce di usura lasciate sugli utensili preistorici permette di capire meglio le dinamiche legate alla sopravvivenza umana e trarre quindi informazioni sulle fonti di approvvigionamento delle materie prime, sugli spostamenti e sui contatti delle popolazioni preistoriche e di risalire al loro grado di conoscenza tecnica. Spostandoci in epoche più recenti, la microscopia elettronica a scansione è utile nello studio di oggetti metallici, per ripercorrere ad esempio il loro processo di lavorazione o risalire, in base alla composizione chimica, al loro aspetto originario.

Un uso parallelo avviene anche in campo paleontologico, con l'analisi della morfologia di svariati gruppi di organismi fossili quali Conodonti, Briozoi, Ostracodi, Brachiopodi, Antozoi, Poriferi, Trilobiti, Graptoliti...

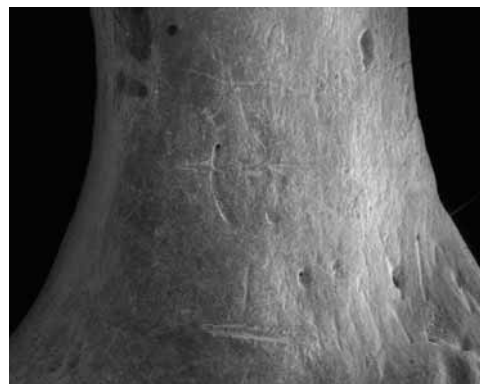


Fig.11 – Scalfitture sulla superficie di un reperto osseo: l'accuratezza con cui il SEM le evidenzia lo rendono un prezioso strumento d'indagine nelle ricerche archeologiche (foto: N. Angeli).



## Ma come funziona un microscopio elettronico a scansione?

Il microscopio elettronico a scansione (SEM) riesce a produrre l'ingrandimento di un oggetto sfruttando un fascio di elettroni, le stesse particelle che vengono usate per produrre le immagini sul tradizionale televisore a tubo a raggi catodici. Gli elettroni, generati da una sorgente e focalizzati sulla superficie da osservare, interagiscono con il campione originando una serie di segnali per ogni punto colpito. Questi segnali sono opportunamente raccolti e rielaborati e la loro intensità viene utilizzata per produrre un'immagine ingrandita del campione, comodamente visibile su un *monitor*.

Il SEM è composto fondamentalmente da due parti: la colonna e la camera dei campioni.

La colonna, lunga circa 1 metro, costituisce la parte superiore dello strumento, ed è proprio al suo interno che avviene la generazione e la focalizzazione del fascio elettronico.

Gli elettroni vengono prodotti grazie al riscaldamento di un materiale emettitore, che comunemente è un filamento di tungsteno simile a quello delle lampadine ad incandescenza. Questi elettroni, che senza opportuno controllo sarebbero molto "indisciplinati", sono accelerati lungo l'asse della colonna e, sfruttando una serie di lenti condensatrici e di diaframmi, focalizzati su un'area molto piccola del campione, fino a 1.5 nanometri di diametro - [1 nanometro (nm) = 0.000001 millimetri (mm)]. Grazie all'utilizzo di opportuni



Fig.12 – Il "cuore" del SEM, l'obiettivo, da un *detector* e parte della camera portacampioni (foto: N. Angeli).

campi magnetici, il fascio elettronico può essere indirizzato su un punto qualunque della superficie del campione e, quindi, costretto ad eseguire la scansione di una certa porzione di superficie secondo un percorso a linee parallele ed equidistanti. La dimensione dell'area su cui viene fatto scorrere il fascio determina l'ingrandimento finale dell'immagine osservata: l'ingrandimento è dato dal rapporto fra la dimensione dello schermo sul quale si osserva l'immagine e la dimensione reale della porzione di campione su cui avviene la scansione dal fascio: più piccola è l'area scandita più alto sarà l'ingrandimento! Inoltre, più lenta è la scansione, ovvero più tempo il fascio si ferma su ogni punto della superficie, più nitida risulta l'immagine stessa del campione osservato.

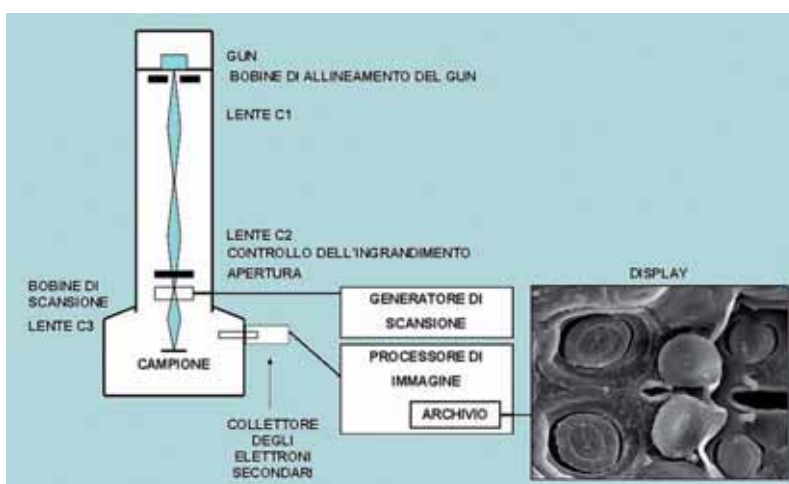


Fig.13 – Schema generale di funzionamento di un SEM.

Gli elettroni che bombardano il campione hanno una velocità molto elevata (centinaia di migliaia di metri al secondo) e riescono quindi a produrre l'emissione di vari segnali, la cui intensità è caratteristica del punto colpito. L'interazione tra il fascio ed il campione interessa una regione molto superficiale del materiale, dell'ordine di pochi micrometri [1 micrometro ( $\mu\text{m}$ )=0.001 millimetro (mm)]. I segnali generati sono moltissimi, ma quelli usati nella microscopia elettronica a scansione sono:

- gli elettroni secondari (abbrev. SE) che trasportano solo informazioni legate alla conformazione del campione e permettono di ricostruirne l'immagine. La scansione operata dal fascio elettronico sui vari punti del campione provoca l'emissione di elettroni secondari, il cui numero è funzione delle caratteristiche morfologiche della zona colpita. I segnali provenienti da ciascun punto vengono opportunamente raccolti ed elaborati, consentendo di ottenere una ricostruzione dell'immagine in scala di grigi (contrasto): più alto è il numero di elettroni secondari emessi, più chiaro risulta il particolare nell'immagine e viceversa;
- gli elettroni retrodiffusi (abbrev. BE) che trasportano informazioni legate sia alla morfologia che alla composizione del campione.

I moderni strumenti permettono di gestire separatamente i due segnali, consentendo sia di ricostruire l'immagine dell'area indagata che di evidenziarne l'eventuale disomogeneità chimica. In quest'ultimo caso si ottiene ancora un'immagine in scala di grigi in cui il bianco è sempre legato a zone che emettono molti elettroni, ma questa volta il loro numero dipende dalla dimensione dell'atomo: gli elementi relativamente più pesanti emettono un segnale più intenso, per cui più luminoso e chiaro, rispetto a zone con elementi più leggeri che nell'immagine risulteranno come aree più scure.

Questi segnali sono quindi raccolti da un detector e la loro intensità viene sfruttata per produrre un'immagine del campione, modulando la luminosità dei pixel equivalenti sul *monitor*. A differenza del microscopio ottico che mostra immagini a colori, il SEM presenta immagini in bianco e nero: non è quindi possibile avere direttamente informazioni sull'aspetto cromatico del campione. Di conseguenza, le immagini a colori realizzate al SEM pubblicate spesso su riviste scientifiche divulgative sono state acquisite in bianco e nero e, successivamente, colorate in "falsi colori" con i comuni software di elaborazione d'immagini. Tali colori si definiscono "falsi", anche se magari somiglianti a quelli reali, perché sono applicati in modo del tutto soggettivo da chi elabora l'immagine.



Figg.14, 15 – A confronto, un'immagine in "bianco e nero"ottenuta dal SEM e la sua trasformazione in falsi colori per meglio rendere l'aspetto "naturale" della formica ritratta (foto: N. Angeli, elaborazione cromatica: O. Negra).

Le immagini osservate sul *monitor* del SEM possono essere quindi memorizzate, elaborate o stampate, come qualsiasi immagine o foto digitale.

Ritornando allo strumento, all'interno del SEM viene mantenuto un certo grado di vuoto (da  $10^{-4}$  Pa a  $750$  Pa<sup>1</sup>), il cui valore dipende dalla tipologia di campione che si desidera osservare.

Lavorare in alto vuoto permette:

- di avere una focalizzazione migliore del fascio, e quindi di ottenere immagini più nitide, e di arrivare ad ingrandimenti molto alti;
- di avere un libero cammino medio degli elettroni<sup>2</sup> superiore e di avere quindi meno elettroni che deviano la rotta e più elettroni che raggiungono il campione;
- di introdurre in camera meno aria e umidità, aumentando così la vita media del filamento che genera gli elettroni e mantenendo lo strumento più pulito. Di contro però più aumentiamo la pressione e ci avviciniamo a quella atmosferica, più ampio diventa il ventaglio dei campioni osservabili. Siccome le condizioni di lavoro interne del microscopio risultano così meno severe, si possono osservare, a discapito della qualità delle immagini, campioni molto sensibili agli sbalzi di pressione, come quelli vegetali che contengono acqua.

In generale quindi, i campioni devono da una parte sopportare la pressione di esercizio e dall'altra, lavorando con elettroni, essere dei buoni conduttori elettrici. Questi limiti vengono in parte superati nei moderni strumenti (come il SEM posseduto dal MTSN), con degli stratagemmi<sup>3</sup> che rendono meno rigide le condizioni di lavoro e ampliano il ventaglio dei campioni osservabili fino a comprendere ogni tipologia di solido.

<sup>1</sup>  $1 \text{ Pa} = 0,0000098 \text{ atm}$

<sup>2</sup> Il libero cammino medio è la distanza che un elettrone percorre prima di collidere, in questo caso, con una molecola di aria o di vapor d'acqua.

<sup>3</sup> Il trucco consiste nell'introdurre aria in camera (la colonna rimane sempre in alto vuoto), rendendo meno severe le condizioni di lavoro. Tale stratagemma consente di ridurre notevolmente gli effetti legati ad una scarsa o nulla conducibilità elettrica attraverso la ionizzazione delle molecole d'aria e l'attrazione degli ioni generati verso poli di segno opposto. L'eventuale introduzione nella camera di acqua (sotto forma di vapor acqueo) rallenta inoltre la disidratazione di quei campioni contenenti acqua e aiuta a mantenerne la forma.

L'acquisizione di buone immagini al SEM dipende comunque dalla capacità dell'operatore di saper valutare di volta in volta ogni parametro in base al campione analizzato. Ovviamente bisogna sempre scendere a compromessi e l'abilità si vede proprio nella scelta del compromesso che consente di ottenere le massime prestazioni possibili anche con campioni molto delicati, come quelli organici.

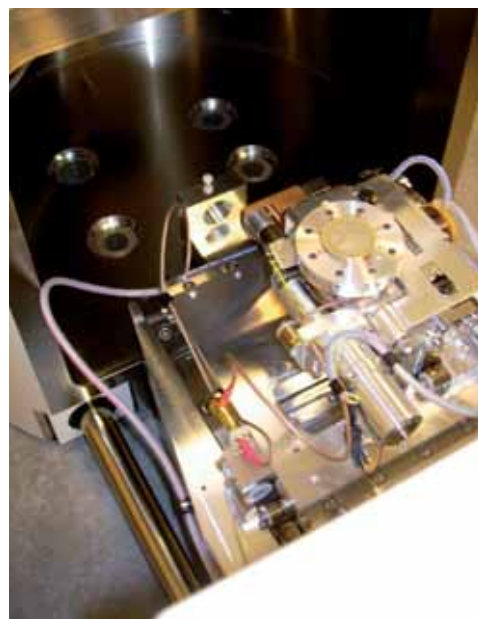


Fig.16 – Un dettaglio del tavolino portacampioni (foto: N. Angeli)

In pratica, il campione da esaminare viene fissato su un portacampioni metallico, è posizionato all'interno del microscopio. Le dimensioni massime dei campioni sono legate allo spazio disponibile nello strumento e al numero di campioni che si vogliono introdurre contemporaneamente, quindi dire da pochi fino a 4-5 cm circa.

Il SEM è uno strumento molto versatile che consente la movimentazione del portacampioni lungo i tre assi X, Y e Z e la sua inclinazione e rotazione, in modo da ottenere un'immagine del campione dall'angolazione più appropriata. Una volta inserito il campione nella camera all'interno del microscopio tutte le operazioni vengono condotte via computer tramite un apposito *software*, mentre un *joystick* permette di spostare in più direzioni il campione durante l'osservazione.

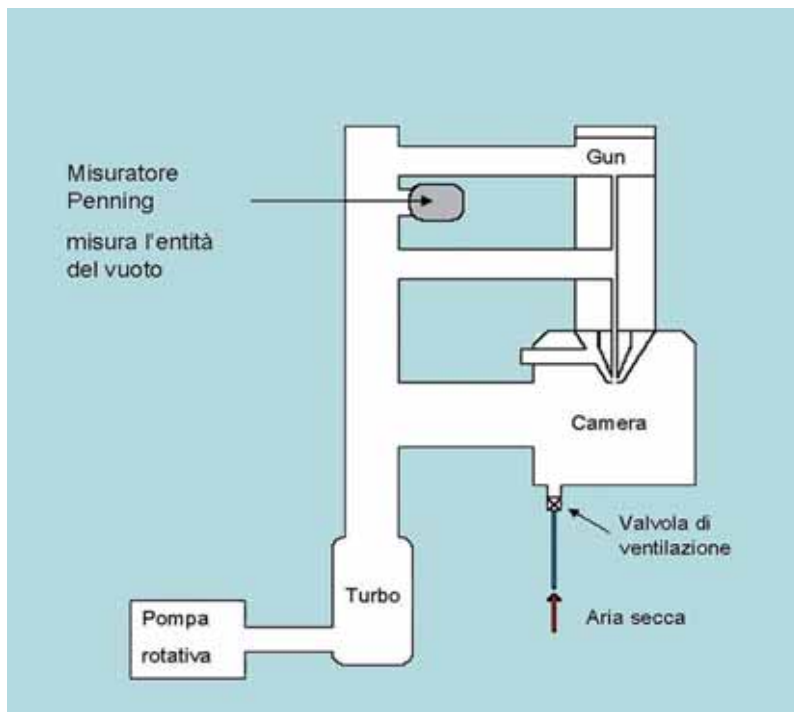


Fig.17 – Schema del sistema che permette di generare una pressione variabile all'interno della camera del SEM.

L'installazione di un particolare *optional* (EDS, dall'inglese *Energy Dispersion Spectroscopy*; WDS, *Wavelength Dispersion Spectroscopy*) consente inoltre di raccogliere e rielaborare un ulteriore segnale emesso dal campione, i fotoni X, tale segnale permette di identificare in modo univoco gli elementi che lo costituiscono e di risalire alla regione del campione da cui provengono. Come visto in precedenza, una generica indicazione sul grado di omogeneità sulla composizione si ottiene anche attraverso la rivelazione degli elettroni retrodiffusi.

La diretta identificazione e quantificazione degli elementi chimici è invece possibile attraverso i fotoni X che essendo emessi a seguito della diseccitazione degli atomi presenti nel materiale osservato sono caratteristici di ogni particolare elemento chimico. È inoltre possibile conferire a ciascun elemento un colore del tutto arbitrario, creando una "mappa" della zona analizzata.

I campioni da osservare al SEM sono solitamente sottoposti ad un'ideale preparazione per cercare di lavorare alla più bassa pressione possibile in modo da migliorare le prestazioni dello strumento.

Ove possibile, dopo un'appropriata pulizia, i campioni da esaminare sono appositamente trattati<sup>4</sup> e poi collocati nella camera alla base della colonna del microscopio.

Alcuni SEM, come quello posseduto dal MTSN, permettono di lavorare a pressione variabile e quindi, al bisogno, di non disidratare o trattare la superficie, coi grandi vantaggi che si possono ben immaginare (attenzione però alla diminuzione delle prestazioni!).

Una volta inserito il campione nel SEM, si estrae quindi l'aria dallo strumento portando tutto il sistema alle condizioni di pressione prescelta (la colonna è sempre in alto vuoto, la camera può essere anche in basso vuoto; la presenza di apposite aperture consente di mantenere la differenza di pressione e allo stesso tempo di far passare il fascio di elettroni generati dalla sorgente).

<sup>4</sup> In base al tipo di materiale (organico, inorganico, isolante, etc.), i campioni possono essere disidratati e resi conduttivi attraverso la deposizione di un sottilissimo strato uniforme di un materiale conduttore, come oro e carbonio.



## Perchè e quando usare il SEM...

Quali sono i vantaggi di lavorare al SEM rispetto al microscopio ottico? Senza dubbio il fatto di poter ottenere ingrandimenti, risoluzione e profondità di campo di gran lunga maggiori.

Nonostante si possa venir colpiti dal fatto che gli **ingrandimenti** possibili di un SEM siano dell'ordine di alcune centinaia di migliaia (e non è poca cosa se pensate che con i normali microscopi ottici solitamente non si superano i 1000-3000 ingrandimenti), questo non è però il parametro fondamentale; un elemento più cruciale risulta infatti essere la **risoluzione**: un microscopio elettronico a scansione, grazie al suo fascio di elettroni molto collimato, consente di raggiungere risoluzioni spaziali<sup>5</sup> enormemente superiori a quelle dei normali microscopi ottici (*vedi tabella*).

È proprio questa la caratteristica che ci colpisce quando guardiamo un'immagine al SEM: ci sono molti più dettagli.

Nella microscopia ottica un altro fattore limitante è la ridotta **profondità di campo** che si traduce in pratica con la necessità di continuare a spostare il fuoco<sup>6</sup> dell'immagine se si vogliono osservare punti diversi di un oggetto con una superficie molto irregolare.

Se confrontiamo la profondità di campo tra un microscopio ottico e un SEM ad un ingrandimento di 10 volte (10x), si passa da una profondità media di 0,1 mm per l'ottico a quella di 10 mm per il SEM. Si può quindi paragonare l'immagine all'ottico ad una foto in cui solo il soggetto in primo piano risulta a fuoco e l'immagine al SEM ad una foto in cui sono a fuoco sia il soggetto in primo piano che lo sfondo.

Concludendo, Il SEM è indispensabile quando si osservano particolari molto piccoli, superfici morfologicamente irregolari e quando si desiderano avere informazioni sugli elementi costituenti il materiale analizzato.

<sup>5</sup> La risoluzione spaziale di ogni microscopio è definita come la distanza minima percepibile tra due punti che consente di distinguere i due punti come entità separate.

<sup>6</sup> Si definisce fuoco il punto, lungo l'asse ottico, ove tutti gli elettroni convergono verso un'area ristretta. Per poter osservare l'immagine dell'oggetto analizzato questo punto deve trovarsi esattamente sulla superficie dell'oggetto stesso.

	OM	SEM
Sorgente	fotoni (vis)	elettroni
Ingrandimenti	da 1 a 1000	da 10 a 300.000
Risoluzione spaziale	1 $\mu\text{m}$ (0,001 mm)	3 nm (0.000003 mm)
Profondità di campo	0,1 mm (10x)	10 mm (10x)

Tab.1 – In sintesi le principali differenze tra un microscopio ottico (OM) e un microscopio elettronico a scansione (SEM).

## L'attività del Laboratorio di Microscopia Elettronica a Scansione del MTSN

Il MTSN sta attualmente promuovendo attività di collaborazione con altri enti provinciali, agevolando quelle con soggetti e società che, in modo particolare, si occupano di ricerche rientranti nei campi d'interesse del museo stesso (archeologia, mineralogia, geologia, tassonomia delle diatomee, entomologia, erpetologia).

La microscopia elettronica a scansione insieme alle tecniche di microscopia digitale ottica saranno poi presenti in un'area dedicata ai micro-macromondi all'interno del nuovo museo della scienza (MUSE). Fra pochi anni sarà quindi possibile mettersi personalmente ai comandi di un SEM e provare l'esperienza di compiere un vero e proprio viaggio nell'universo dell'infinitamente piccolo. È inoltre in corso un progetto di divulgazione e formazione dedicato al mondo scolastico (*vedi capitolo seguente*).

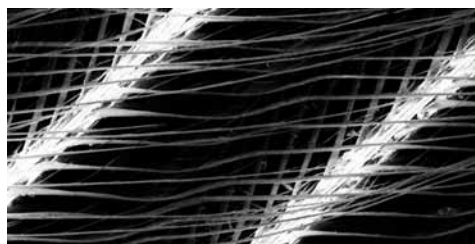
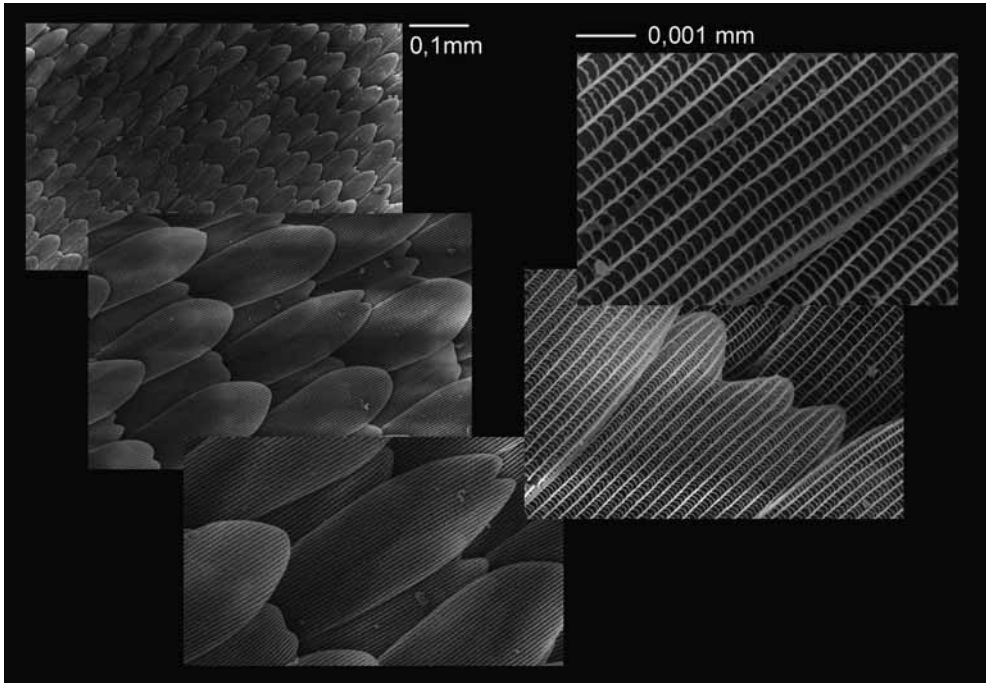
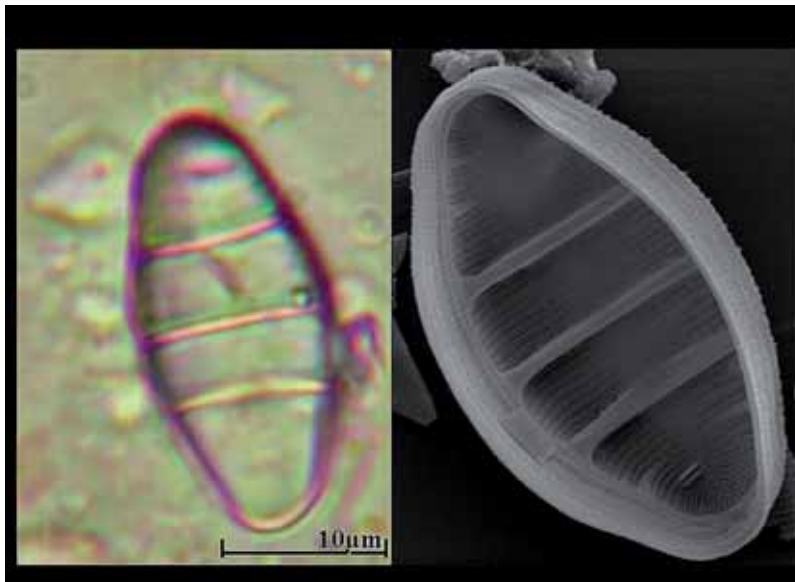


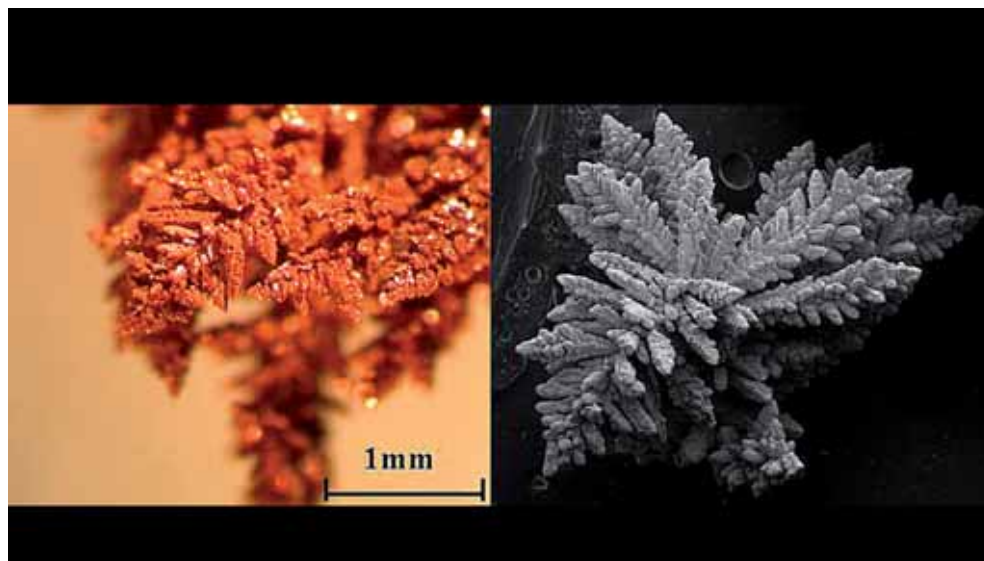
Fig.18 – In una “banalissima” penna di un pappagallo del gen. *Agapornis* il SEM evidenzia l'ultrastruttura delle barbe con le sottili barbule laterali dotate di piccoli uncini (*amuli*) che permettono l'agganciamento e l'ancoraggio reciproco (*foto: N. Angeli*).



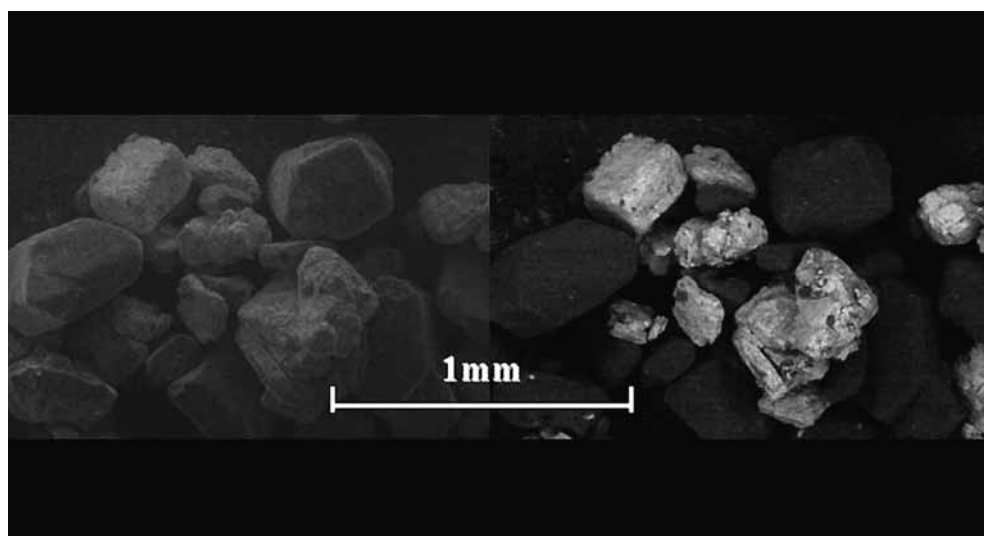
Figg. 19,20, 21, 22, 23 – Il SEM si caratterizza per un'estrema versatilità del range degli ingrandimenti consentiti, in questo caso un dettaglio dell'ala di una farfalla ingrandito da 300x (estrema sn) a 10.000x (estrema dx) – (foto: N. Angeli).



Figg.24, 25 – Altro elemento di eccellenza del SEM è la sua elevatissima risoluzione, che consente di ottenere rappresentazioni alquanto dettagliate, in questo caso una *Diatoma mesodon*, la cui immagine al microscopio elettronico (a dx) è posta a confronto con quella ad analogo ingrandimento ottenuta da un microscopio ottico (a sn) – (foto: N. Angeli).



Figg. 26, 27 – La maggior profondità di campo del SEM rispetto al microscopio ottico ben si apprezza in queste immagini a confronto relative a cristalli dendritici di rame (foto: N. Angeli).



Figg. 28, 29 - Gestendo opportunamente l'informazione portata dagli elettroni retrodiffusi, il SEM può rivelare la composizione elementare del campione, fornendo immagini estremamente accurate (in questo caso di una miscela di cristalli di sale e zucchero), dove le diverse gradazioni di grigio (a dx) sono legate al diverso numero atomico (foto: N. Angeli).

**Il SEM e il mondo scolastico:  
Progetto “SEM, microscopio elettronico  
a scansione: tecnologia d’avanguardia  
a disposizione della scuola trentina”**

Potevano, in questa occasione, i Servizi Educativi lasciarsi sfuggire l’opportunità di consolidare e implementare il collegamento tra scuola e ricerca? No, certamente!

Il MTSN, orientato alla divulgazione e alla diffusione di informazioni puntuali e aggiornate sui progressi della scienza e della ricerca in ambito provinciale, sensibile alle richieste del mondo scolastico e nello stesso tempo soggetto di riferimento nell’ambito di una didattica innovativa, legata ad un apprendimento attivo, si è sempre proposto ai docenti come luogo “da usare” e non solo da visitare.

La presenza di un nuovo Laboratorio di Microscopia Elettronica a Scansione presso le sezioni scientifiche ha dato quindi l’imperdibile opportunità di sviluppare un interessante progetto collaborativo con il mondo scolastico che ha visto il prezioso supporto del Servizio per lo Sviluppo e l’Innovazione del Sistema Scolastico e Formativo della Provincia Autonoma di Trento.

Il progetto è nato dalla volontà di perseguire la nuova *mission* del museo che, oltre all’aspetto prevalentemente naturalistico, promuove nella scuola anche l’interesse verso temi legati alle scienze di base e alle applicazioni tecnologiche, ed ha rappresentato l’occasione di avvicinare, in modo concreto, la contemporaneità nel campo della ricerca scientifica.

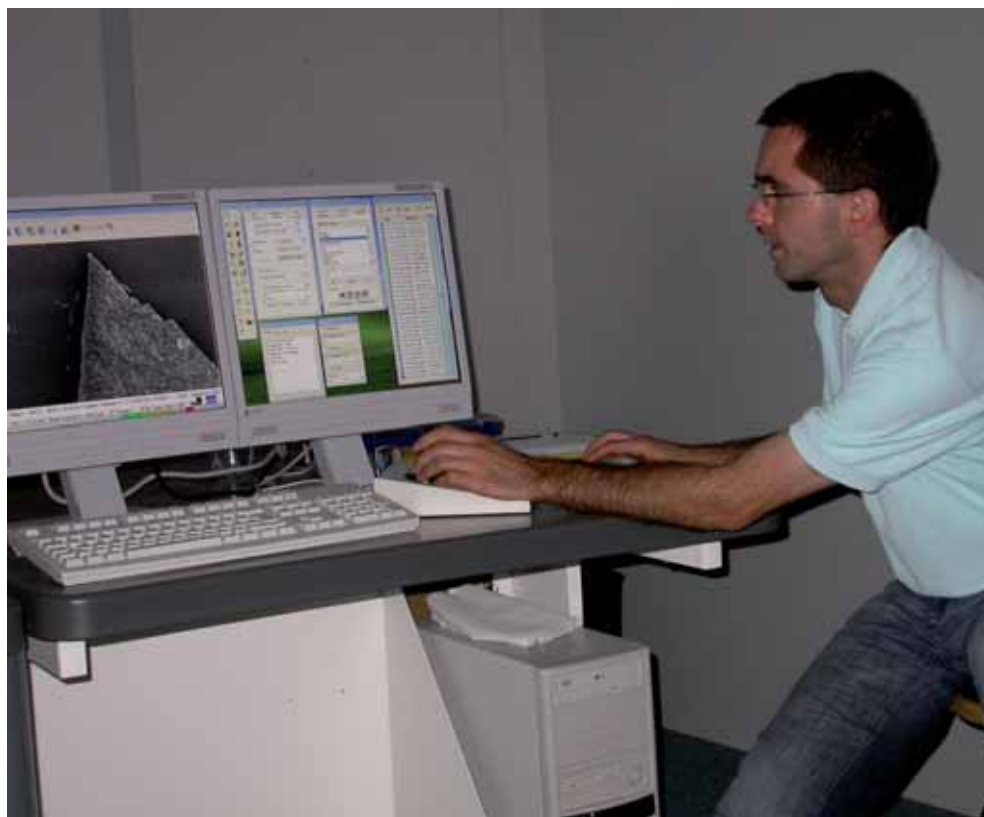


Fig. 30 – La calibrazione di un’immagine digitale ottenuta dal SEM ad opera del dott. Nicola Angeli, responsabile della gestione di questo strumento al MTSN (foto: O. Negra).





Fig. 31 – I primi contatti degli insegnanti con il SEM del MTSN guidati dalla dott. Romina Belli del Dipartimento di Fisica dell'Università di Trento (foto: O. Negra).

Il percorso progettuale è stato suddiviso in tre fasi:

- *I fase* (da settembre a dicembre 2006) - ha visto la realizzazione di un corso di aggiornamento e formazione per i docenti, con lo scopo di far conoscere lo strumento e le sue molteplici potenzialità da sfruttare anche nell'ambito della programmazione dei *curricula* scolastici;
- *II fase* (da settembre 2006 a giugno 2007) - tuttora in corso, ha visto il reale utilizzo dello strumento (con il supporto del referente museale specializzato) da parte dei docenti stessi che hanno potuto osservare, fotografare e utilizzare i propri campioni, realizzando così del materiale didattico personalizzato, di chiaro valore scientifico e d'avanguardia. Questa seconda fase, tutt'ora in corso potrà trasformarsi in prassi durevole per la scuola nel corso dei futuri anni scolastici.
- *III fase* - in via di sperimentazione, vede alcune classi venire al museo e osservare direttamente i propri campioni al SEM, dopo aver seguito una breve introduzione tecnica sul suo funzionamento e utilizzo nella ricerca scientifica.

Il corso di aggiornamento, rivolto ai docenti di Scuola Secondaria di I e II grado, si è articolato in 4 moduli per un totale di 11 ore complessive ed ha registrato un notevole interesse: si sono iscritti infatti 62 docenti, distribuiti equamente fra i due ordini di scuole.

Nel primo incontro sono state presentate le caratteristiche del microscopio elettronico a scansione in dotazione al museo, con riferimento alle leggi della fisica implicate nel suo funzionamento (luce, elettricità, ottica geometrica, ecc.). Relatrice del modulo è stata la dott. Romina Belli del Dipartimento di Fisica dell'Università di Trento.

Nel secondo incontro, si è proseguito con l'approfondimento nel campo delle scienze di base e si è osservata direttamente la struttura interna del microscopio con le sue componenti. Sono stati mostrati, a scopo esemplificativo, alcuni esempi di ingrandimenti riferiti al mondo microscopico naturale e al mondo microscopico dei materiali creati dall'uomo. I relatori sono stati la dott. Romina Belli e il referente responsabile SEM del Museo, dott. Nicola Angeli.



Fig.32 – La raccolta dei campioni al lago di Tovel (foto: M. Galetto).

Il terzo incontro ha previsto un'escursione sul campo, presso il Lago di Tovel e la Stazione Limnologica del MTSN, per meglio contestualizzare l'uso del microscopio nel campo della ricerca.

Sono stati infatti esposti brevemente i programmi di ricerca in atto presso le Sezioni scientifiche del Museo che utilizzano il SEM per le loro indagini. I docenti hanno potuto eseguire campionamenti

con modalità differenziate (*benthos e plancton*) e sono stati presentati i vari metodi di preparazione dei campioni da osservare in seguito con il SEM. I relatori sono stati il dott. Massimiliano Tardio e dott. Nicola Angeli della Sezione di Algologia e Limnologia.

Nel quarto e ultimo incontro, è stata eseguita l'analisi morfologica al SEM dei campioni prelevati e preparati a Tovel, ai quali si sono aggiunti altri campioni portati dai docenti stessi. Le fotografie degli ingrandimenti sono state consegnate a ciascun docente su CD. Il ruolo di relatore è ricaduto ancora una volta sul dott. Nicola Angeli, referente responsabile del SEM.

Dal questionario di gradimento, distribuito agli insegnaenti a conclusione del corso, è emerso chiaramente l'interesse e l'apprezzamento per questa tipologia di formazione che ha visto l'avvicinamento a strumenti tecnologici particolarmente sofisticati, resi disponibili all'utilizzo e presentati come indispensabile chiave per esplorare e descrivere la realtà naturalistica del mondo dell'"infinitamente piccolo".

Apprezzato anche il carattere pluridisciplinare del corso che ha messo in contatto il mondo delle scienze fisiche con quello delle scienze naturali facendone emergere la forte compenetrazione in campo applicativo.



Fig. 33, 34 – Lo smistamento dei campioni e la loro prima osservazione al microscopio ottico presso la Stazione Limnologica del MTSN a Tovel (foto: M. Galetto).

Particolarmente gradita è stata anche l'opportunità di essere messi a contatto con il mondo dei modelli scientifici, per comprendere come i ricercatori rappresentano la realtà che li circonda, quali mezzi usano, quali difficoltà strumentali e concettuali incontrano nel progredire delle conoscenze.

Tutti i docenti hanno infine dichiarato di aver gradito il coinvolgimento nel campionamento delle acque del Lago di Tovel, vivendo in prima persona, anche solo per un pomeriggio, l'esperienza

dei ricercatori.

La seconda fase del progetto, che terminerà in maggio 2007, ha registrato un notevole interesse e alcuni docenti si sono presentati più volte con diversi campioni da visionare.

Ora sul sito del MTSN, nella pagina per la scuola, è presente uno spazio protetto, a cui può accedere chi ha seguito il corso e dove sono a disposizione tutte le fotografie dei campioni visionati finora al SEM.

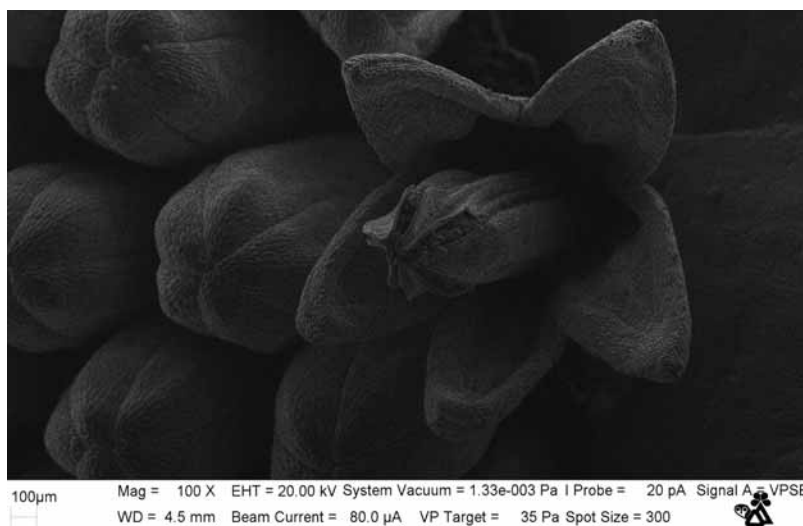


Fig. 35 – Uno dei numerosi fiori ermafroditi del capolino di una pianta della famiglia *Compositae* rivela gli innumerevoli granuli pollinici al suo interno (foto: N. Angeli).

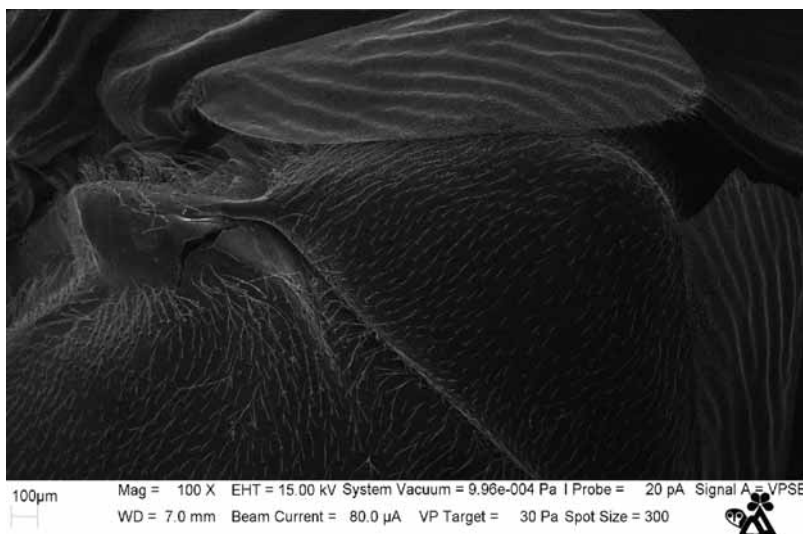
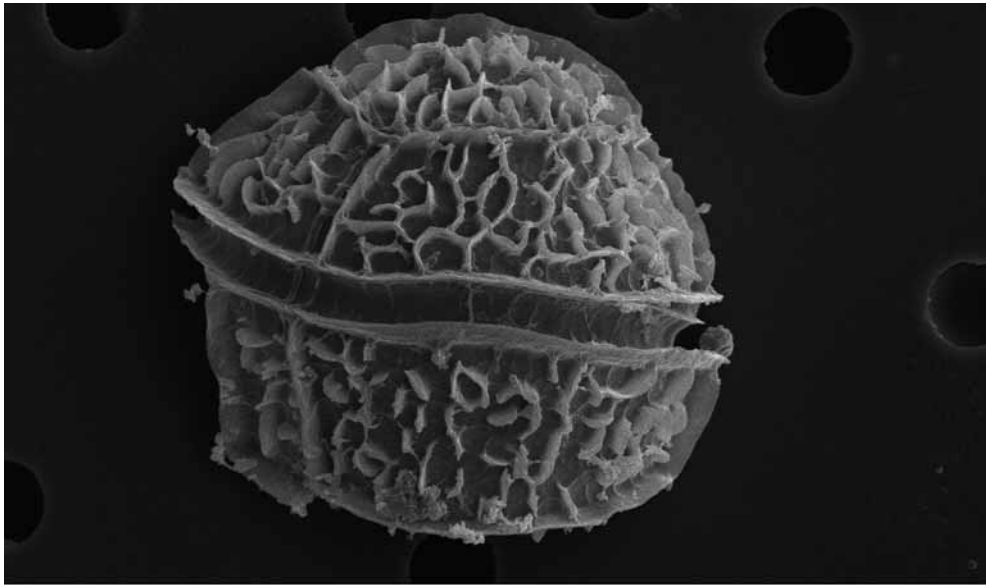
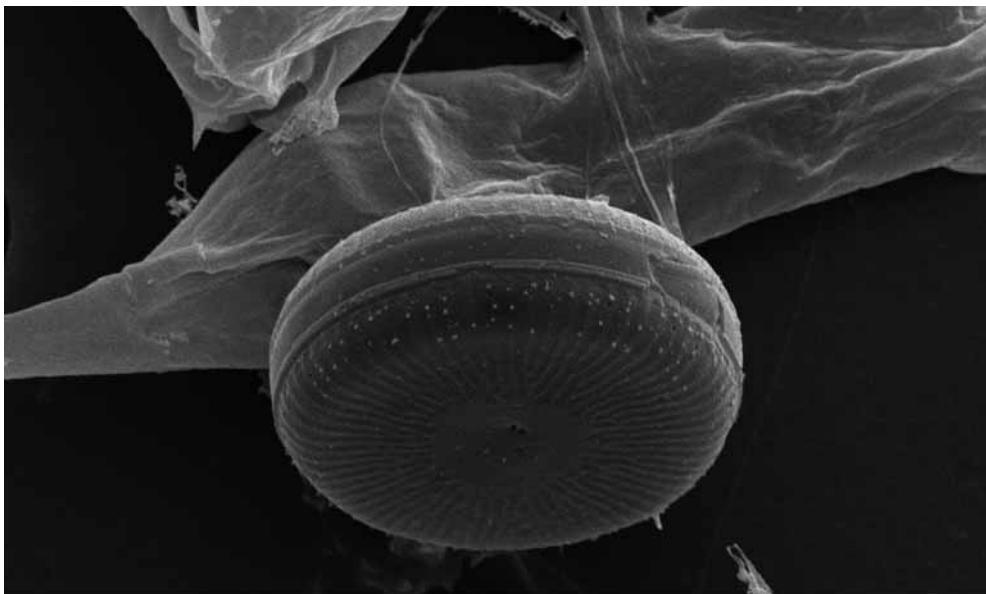


Fig. 36 – Il secondo paio di ali (praticamente vestigiali), dette *bilancieri* di un tafano – *Diptera, Tabanidae* - (foto: N. Angeli).



10µm Mag = 4.00 K XEHT = 10.00 kV System Vacuum = 1.53e-003 Pa I Probe = 8 pA Signal A = SE1  
 WD = 11.5 mm Beam Current = 80.0 µA VP Target = 10 Pa Spot Size = 250

Fig. 37 - Un dinoflagellato del gruppo *Thecata* con ben evidente la scanalatura mediana, detta *cingolo*, circonda il corpo cellulare dividendolo in un *epicono* superiore ed un *ipocorno* inferiore (foto: N. Angeli).



1µm Mag = 10.00 K XEHT = 10.00 kV System Vacuum = 1.57e-003 Pa I Probe = 8 pA Signal A = SE1  
 WD = 11.0 mm Beam Current = 80.0 µA VP Target = 10 Pa Spot Size = 250

Fig. 38 - Una diatomea del gruppo delle *Centrales* con il suo rivestimento siliceo esterno a doppia valva, detto *frustulo*, che ha simmetria radiale ed una struttura paragonabile a quella di una capsula Petri (foto: N. Angeli).



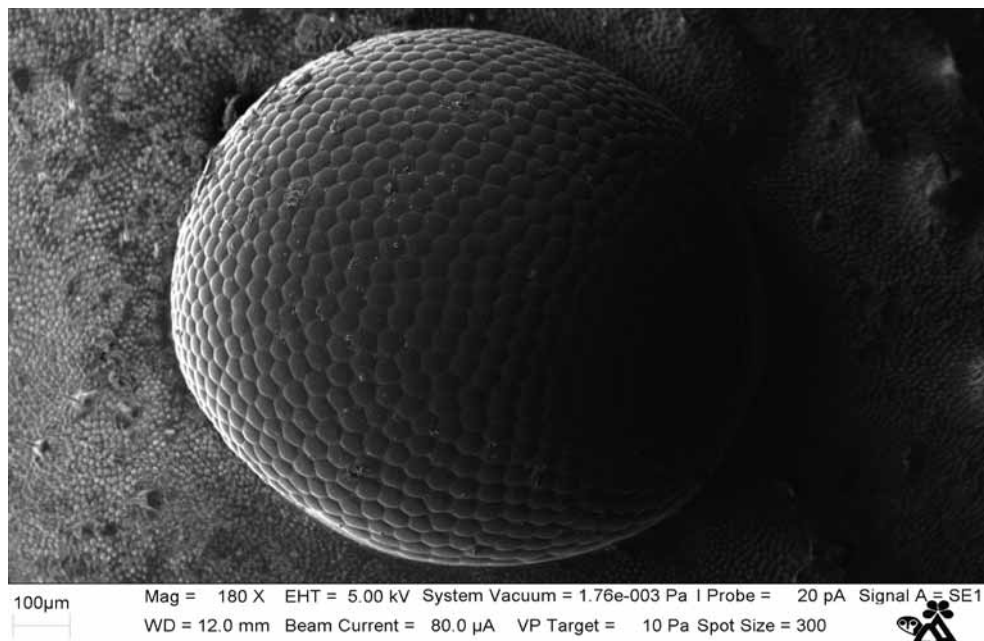


Fig. 39 – La superficie ricoperta di ommatidi dell’occhio composto relativamente “arcaico” di un insetto-stecco – *Phasmoidea, Phasmidae* - (foto: N. Angeli).

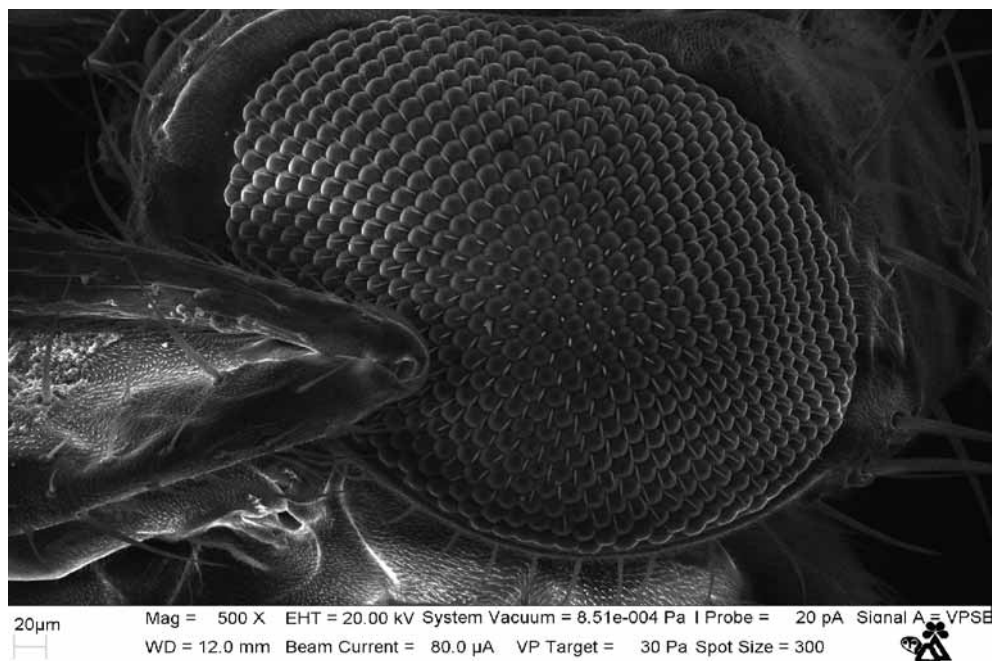


Fig. 40 – La superficie ricoperta di ommatidi dell’occhio composto relativamente “più evoluto” di una drosophila o moscerino della frutta – *Diptera, Drosophilidae* - (foto: N. Angeli).

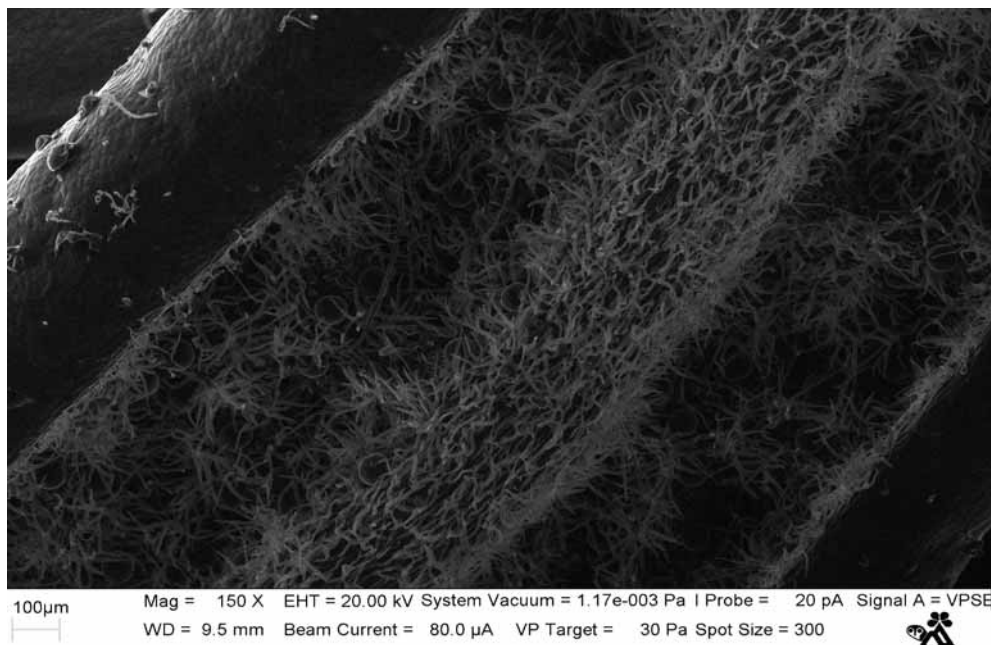


Fig .41 – La lamina inferiore di una foglia di rosmarino ricoperta di una fine peluria in cui si riconoscono numerosi peli ghiandolari contenenti le sostanze responsabili delle esalazioni odorose essenziali (foto: N. Angeli).

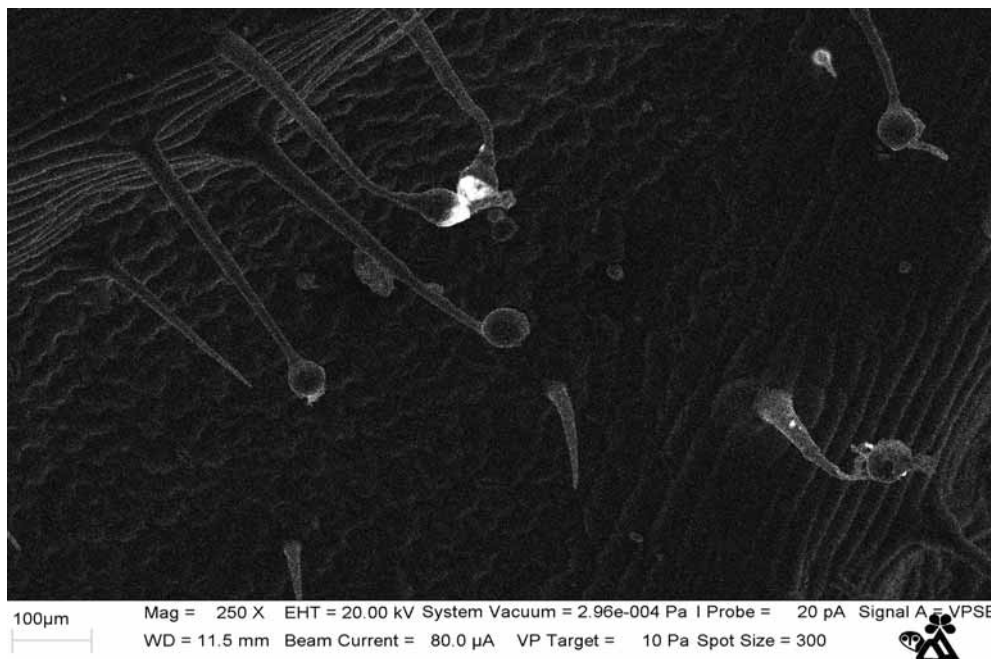


Fig. 42 – Alcuni grandi peli ghiandolari alla superficie di una foglia di geranio - *Pelargonium sp.* – (foto: N. Angeli).



Fig. 43 – L’aspetto quasi “floreale” di un ammasso di cristalli di eritrite (foto: N. Angeli).

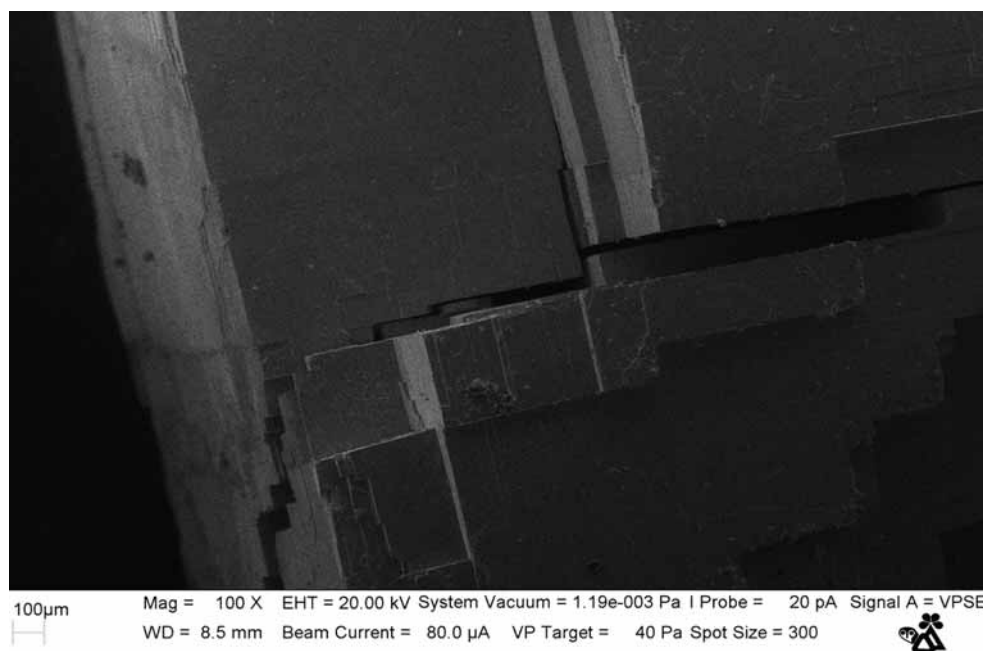


Fig. 44 – Le superfici levigate di un cristallo cubico di galena (foto: N. Angeli).

Riguardo alla terza fase, un primo gruppo di studenti dell'ITG "Pozzo" di Trento ha già avuto modo di conoscere il SEM e in marzo aspettiamo una seconda classe dell'Istituto "Filzi" di Rovereto che verrà a portare i propri campioni botanici, relativi ad un particolare percorso didattico che sta seguendo durante questo anno scolastico.

### E per il futuro...

Il MTSN, che già da anni ha dimostrato di essere in grado di offrire al pubblico scolastico un ventaglio di attività didattiche e di formazione incentrate sui temi scientifici più vari, intende quindi ora proseguire nello sviluppare le proprie capacità di dialogo e confronto con la comunità mettendo a disposizione le proprie tecnologie per potenziare e arricchire le competenze dei docenti.

Gli obiettivi individuati sono quelli di:

- favorire nei docenti un approccio partecipato, "in prima persona" con la cultura della natura e della scienza e le sue applicazioni
- creare consapevolezza sull'importanza della

cultura tecnico scientifica e sull'importanza del progresso scientifico-tecnologico nel mondo scolastico

- orientare verso i curricula tecnico-scientifici fornendo nuovi stimoli applicativi
- evidenziare il nesso tra scienze, tecnologia e impegno etico nella conservazione del patrimonio naturalistico
- potenziare la rete di rapporti territoriali con le scuole e gli enti pubblici legati al mondo della formazione e sviluppo del sistema scolastico stesso
- creare maggiori conoscenze riguardo la rappresentatività museale/tecnologica nella ricerca condotta in Trentino, mantenendo l'aggiornamento con i diversi progetti di ricerca in atto nelle Sezioni museali.

Tutte queste finalità da perseguire si pongono in piena linea con le direttive europee indirizzate allo sviluppo e al rafforzamento delle attività nel campo dell'educazione scientifica e dell'educazione permanente.

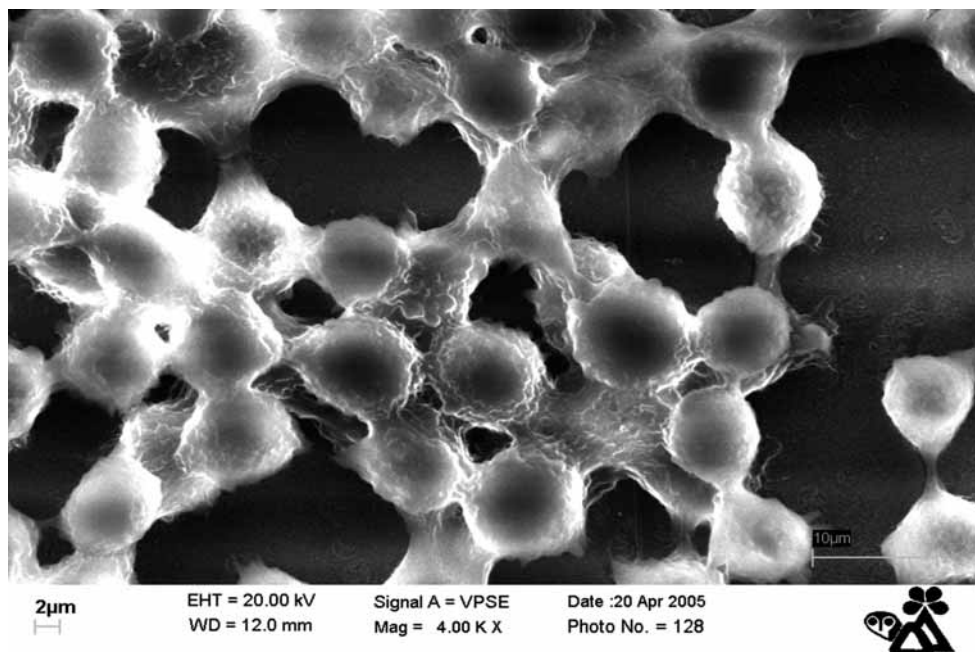


Fig. 44 – Quest'immagine di cellule di un tessuto in fase di aggregazione è emblematica delle elevate potenzialità del SEM anche con campioni molto delicati, come quelli organici (foto: N. Angeli).