



Giuseppe Cernuto¹, Federico Rusconi^{1,2},
Norberto Masciocchi¹, Antonietta Guagliardi^{1,3},
Gian Maria Colonna²

¹Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia (DiSAT)
Università degli Studi dell'Insubria (CO)

²INNOVHUB - SSI

Divisione Stazione Sperimentale per la Seta (CO)

³Istituto di Cristallografia, CNR (BA)

giuseppe.cernuto@uninsubria.it

NANOTECCNOLOGIE PER L'INDUSTRIA TESSILE

Tecniche avanzate di diffrazione di raggi X e di analisi total scattering hanno permesso di determinare accuratamente dimensioni e forme di nanoparticelle di TiO₂, correlate alle prestazioni fotocatalitiche di tessuti intelligenti (smart-textiles).

Le nanotecnologie trovano un impiego sempre più diffuso nel mondo tessile, consentendo non solo di migliorare le prestazioni dei materiali tessili tradizionali, ma anche di esplorare la possibilità di produrre tessuti "multifunzionali", caratterizzati da proprietà altamente innovative, come ad esempio tessuti idrorepellenti [1], antistatici [2], antifiama [3], antibatterici [4], e, infine, tessuti capaci di esibire particolari proprietà ottiche e cromatiche (con importanti risvolti sulla lotta alla contraffazione).

Recentemente, per la degradazione di inquinanti organici e inorganici, presenti in basse concentrazioni sia in acque di superficie che in atmosfera, si sono sviluppati tessuti impregnati di materiali fotoattivi [5], come il biossido di titanio (TiO₂, o *titanina*), dal costo limitato e dalla elevata stabilità chimica e termica. In questo contributo viene presentata l'applicazione di nanoparticelle di TiO₂ su substrati tessili, poliestere e cotone, al fine di ottenere tessuti intelligenti (*smart textiles*), capaci di abbattere non solo macchie o odori, ma anche inquinanti ambientali per applicazioni in ambito domestico. Il materiale fotocatalitico è stato ottenuto con sintesi *sol-gel* ad alta resa e a bassa temperatura, ed è stato successivamente depositato sui tessuti con un processo *dip-pad-dry-cure*.

Al fine di evitare un lungo e complesso studio comparativo delle performance di tessuti funzionalizzati con titanina ottenuta con diverse strategie di sintesi, ci siamo focalizzati sulla possibilità di correlare microstruttura e proprietà di nanoparticelle di titanina pura, variando in

modo sistematico i parametri di precipitazione, come rapporti molari dei reagenti, temperatura e tempo di invecchiamento delle diverse *sol* ottenute. Dimensione e forma delle nanoparticelle preparate (e loro distribuzioni bivariante), sono state determinate tramite tecniche innovative di analisi total scattering di dati misurati con radiazione di sincrotrone. La dipendenza delle capacità fotocatalitiche nella degradazione di coloranti (blu di metilene) ha così messo in evidenza *in maniera quantitativa* i parametri nanostrutturali che condizionano l'efficacia del processo per TiO₂ pura [6] o all'interno di una matrice amorfa e nanoporosa di silice [7]. I risultati ottenuti con titanina pura sono stati poi verificati su tessuti funzionalizzati e sono qui brevemente illustrati.

Tecniche diffrattometriche di *total scattering*: applicazioni a TiO₂ nanocristallina

La diffrazione di raggi X da polveri ha avuto, negli anni, uno sviluppo sempre più accelerato, permettendo la rapida identificazione e quantificazione delle fasi presenti in un campione policristallino (anche con strumentazione portatile), e, più recentemente, la determinazione delle strutture cristalline e molecolari di specie di moderata complessità (fino a circa 40 atomi - diversi da H - nell'unità asimmetrica): solidi ionici, metal-organic frameworks, complessi organometallici e composti farmacologicamente attivi. Alla base di tutte queste analisi risiedono le teorie della diffrazione di Laue, Ewald e Bragg per le quali, come anche

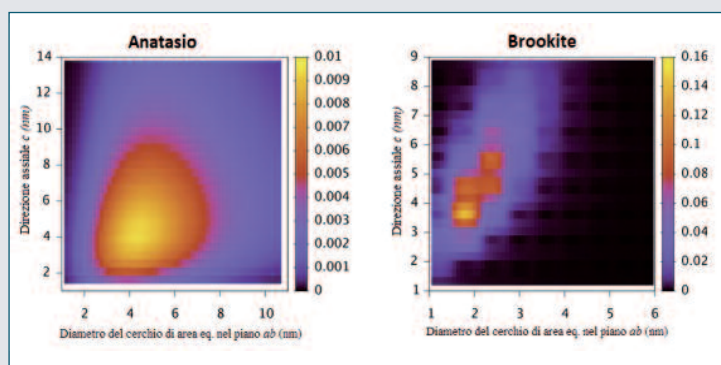


Fig. 1 - Rappresentazione grafica a falsi colori della distribuzione delle dimensioni nelle due direzioni di crescita (lungo la direzione assiale c e nel piano perpendicolare ab) di popolazioni di nanocristalli di anatasio e brookite derivate dal modeling total scattering di campioni ottenuti con tecniche di sol-gel a bassa temperatura

nella comune formulazione di Rietveld [8] per il trattamento numerico dei dati di diffrazione da polveri, l'intensità diffratta da un cristallo (oggetto periodico, anche se finito) si concentra in zone dello spazio reciproco molto prossime ai nodi di indici interi hkl .

Ciò non è più vero nel momento in cui i cristalliti sono particolarmente piccoli (tipicamente, con dimensioni al di sotto dei 10 nm, come osservato nelle sintesi di bassa temperatura più sotto descritte) o aperiodici, per i quali l'intensità diffusa si distribuisce in modo disomogeneo in tutto lo spazio reciproco, dando luogo a picchi di diffrazione molto allargati, a forme di banda non facilmente prevedibili (nella formulazione originale) e, in generale, a profili di difficile interpretazione. In questo caso, una metodologia innovativa è costituita dalla modellizzazione dell'intera traccia di diffrazione in modalità total scattering (acquisibile con strumentazione dedicata presso sorgenti di radiazione X da sincrotrone). Tale metodologia fa uso della cosiddetta Debye Function Analysis (DFA) [9], che permette di simulare direttamente l'intero profi-

lo di diffrazione sperimentale (nello spazio reciproco) utilizzando modelli atomistici di cristalli, amorfi, liquidi e gas. L'approccio DFA, per il quale sono stati recentemente sviluppati efficaci algoritmi numerici che ne permettono l'utilizzo in tempi di calcolo considerati "accettabili", può essere schematizzato dalla funzione di Debye [10] (nota, teoricamente, da circa un secolo!), ovvero da

$$I(q) = \sum_i \sum_j f_i f_j \frac{\sin(qr_{ij})}{qr_{ij}}$$

ove $q = 4\pi\sin\theta/\lambda$, f_i è il fattore di scattering atomico dell'atomo i -esimo, e r_{ij} è la distanza interatomica tra l' i -esimo e il j -esimo atomo. Le sommatorie corrono su tutte le coppie di atomi i, j . Dettagli sulla procedura DFA, nonché altri aspetti della diffrazione alla nanoscala, si possono trovare nella letteratura dedicata [11].

Utilizzando questa tecnica analitica innovativa e dati di diffrazione di raggi X raccolti alla Material Science Beamline del sincrotrone del PSI (Villigen, CH), si è potuto dimostrare come, per nanocristalli di anatasio e brookite preparati con tecniche di sol-gel a bassa temperatura, l'attività fotocatalitica nella degradazione di coloranti organici dipenda sia dalla dimensione che dalla forma dei nanocristalli stessi, i quali espongono facce di diversa estensione sia alla radiazione solare che al substrato da degradare. In particolare, i risultati *quantitativi* ottenuti modellando la distribuzione lognormale bivariata dei nanocristalli di anatasio e brookite (vedi Fig. 1), contemplano (Fig. 2) la caratterizzazione accurata a) delle variazioni microstrutturali (forma, dimensione e relativa distribuzione delle nanoparticelle) al variare del tempo di invecchiamento e b) delle costanti cinetiche di degradazione di blu di metilene (per un meccanismo di reazione al prim'ordine in $[c]_{\text{colorante}}$).

Più recentemente, questo approccio sperimentale e numerico è stato applicato a nanocompositi di titania e silice amorfa nanoporosa, pre-

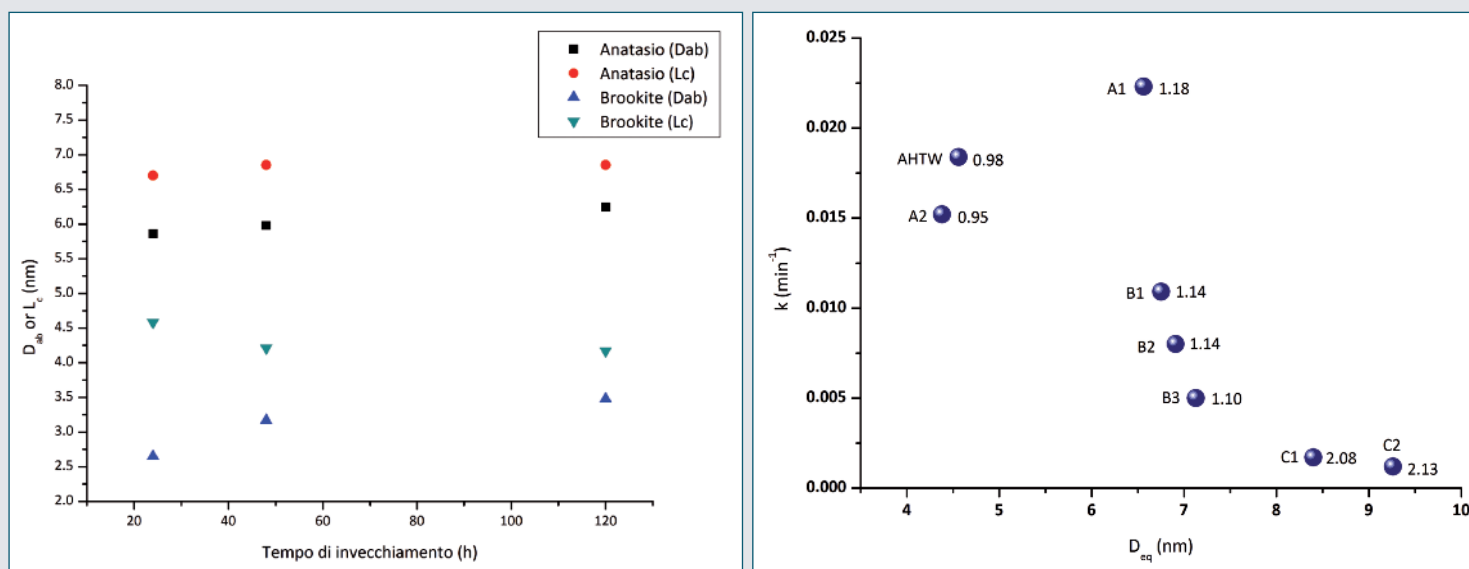


Fig. 2 - a) Variabilità dei parametri medi D_{ab} (dimensione dei nanocristalli nel piano cristallografico ab dato come diametro del cerchio di area equivalente) e L_c (lunghezza dei nanocristalli nella direzione assiale) al variare del tempo di invecchiamento; b) variabilità delle performance cinetiche (k , in min^{-1}) determinate dalla degradazione del blu di metilene per esposizione alla luce solare di una soluzione contenente nanoparticelle di titania di diversa dimensione media (le etichette, richiamate nei paragrafi successivi, corrispondono alle preparazioni dettagliate in [7], e sono qui riportate, assieme ai relativi *aspect ratios*, per completezza di informazione)

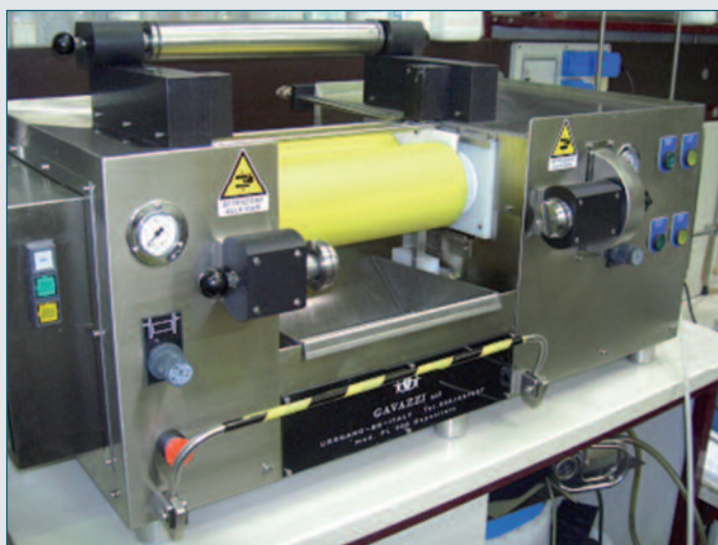


Fig. 3 - Foulard automatico da laboratorio utilizzato per il coating funzionale (FL 300 Gavazzi)

parati a diverse condizioni (rapporti molari e temperature di invecchiamento) ed includendo anche un'analisi (tramite Pair Distribution Function) della traccia della componente amorfa. Per tali materiali è stato possibile: *i)* verificare - e quantificare - la presenza di titania nell'amorfo; *ii)* correlare i valori misurati - e calcolati - di area superficiale, le distribuzioni in forma e dimensioni delle nano particelle e le proprietà fotocatalitiche dei diversi materiali ibridi.

Pertanto, questa caratterizzazione preliminare permette di individuare - e, in prospettiva, prevedere - le condizioni sperimentali necessarie alla formazione di nanomateriali fotocataliticamente attivi con le migliori caratteristiche composizionali e microstrutturali, una volta che saranno interamente comprese le regole stereo-chimiche ed energetiche che governano il comportamento funzionale degli stessi. Rimane ovviamente aperto il problema di come, e quanto, di ciò che è stato determinato per la titania (pura o nel nanocomposito con silice) possa essere trasferito al prototipo - o al prodotto finito - per deposizione delle nano particelle sul tessuto, come descritto nei paragrafi successivi.

Preparazione e caratterizzazione di smart-textiles funzionalizzati con nanoparticelle di TiO_2

I risultati sopra descritti hanno permesso quindi di valutare le performance fotochimiche di nanoparticelle di titania in funzione del metodo di preparazione, con le conseguenti variazioni legate a dimensione e forma delle stesse. Si è successivamente funzionalizzata la superficie di tessuti di comune impiego utilizzando le stesse procedure di sintesi delle sol di titania (ove possibile), verificandone l'efficacia con test fotocatalitici di diverso tipo. I substrati considerati come *proof-of-concept* per questo studio appartengono a due tipologie: un tessuto in fibra sintetica (poliestere - PES) e uno in fibra naturale (cotone - COT), dalle seguenti caratteristiche: PES è un tessuto commerciale di colore beige, decorticato, avente massa areica di 59,8 g/m² e pick-up

70%; COT è un cotone candeggiato avente massa areica di 110 g/m², tessuto standard testimonio per prove di solidità, pick-up del 75%.

Per la preparazione delle nanosol per il coating funzionale di titania si sono seguite le seguenti strategie, che si avvicinano a quelle utilizzate per la preparazione di titania nanocristallina studiata in dettaglio tramite tecniche di *total scattering*:

a) PES: la sospensione di TiO_2 è stata preparata gocciolando lentamente titanio tetraisopropossido (TTIP) ad una miscela costituita da acido cloridrico 1,4 M e alcool etilico. La composizione molare finale della sospensione colloidale è: $TTIP:H_2O:HCl:EtOH=1:25:15$. La sospensione è mantenuta in agitazione magnetica per 24 h a temperatura ambiente. Questa preparazione può ricondursi alla strate-

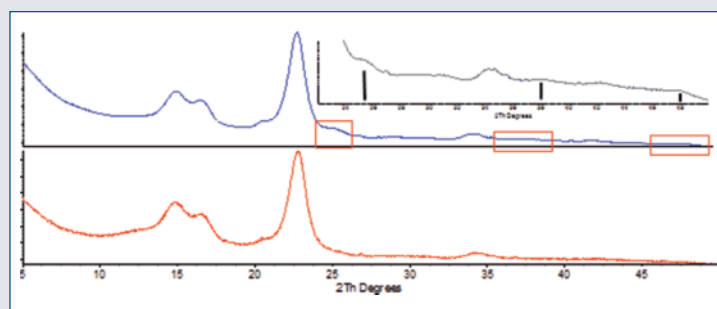


Fig. 4 - Analisi diffrattometrica del sistema COT- TiO_2 . COT tal quale (in rosso); COT trattato (in blu); nell'inserto sono visibili deboli picchi di anatasio, attribuiti a nanocristalli di dimensioni medie di ca. 5 nm. Condizioni sperimentali: diffrattometro D8 Bruker AXS, Cu-K α , 40 kV, 40 mA, PSD detector

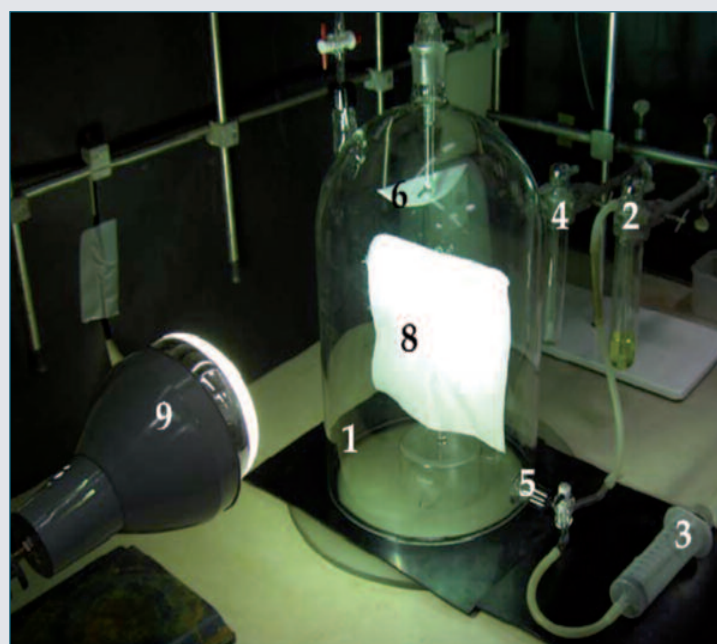


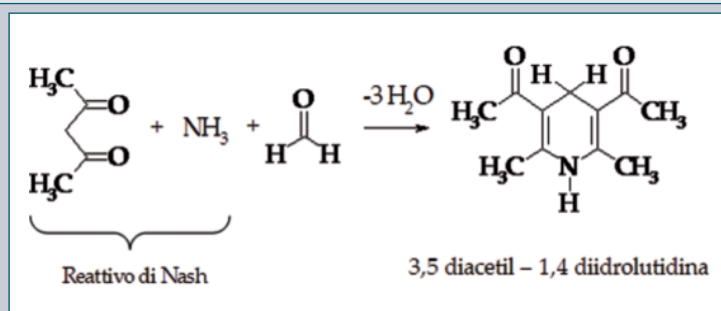
Fig. 5 - Reattore per valutazione dell'attività fotocatalitica dei tessuti funzionalizzati. 1) reattore a tenuta in vetro (campana con volume di circa 18 litri), 2) sistema di gorgogliamento per il riempimento della campana con formaldeide, 3) sistema di prelievo dotato di siringa da 100 ml, 4) sistema di gorgogliamento per le aliquote gassose prelevate, 5) rubinetto a tre vie, 6) palette agitatrice collegata ad un motorino esterno (120 rpm), 7) alimentatore del flusso d'aria (flusso costante di 1,8 l min⁻¹), 8) tessuto esposto, 9) lampada solare fotocatalitica OSRAM ULTRA-VITALUX® da 300 W. Questa particolare sorgente UV-Vis è stata scelta facendo riferimento al suo utilizzo in precedenti studi di fotocatalisi riportati in letteratura [14]

gia di sintesi del campione A1, quello che ha mostrato la maggior attività fotocchimica nel grafico di Fig. 2b;

b) COT: si sono lentamente gocciolati, a temperatura ambiente, 5,0 ml di TTIP, solubilizzati in 10 ml di etanolo, in 100 ml di soluzione acquosa di acido acetico 3 M sotto agitazione a temperatura ambiente. La sol così ottenuta viene mantenuta sotto vigorosa agitazione a 60 °C per circa 24 ore [12] per assicurare la disgregazione degli agglomerati e la re-dispersione in granuli primari, e indurre la cristallizzazione. La composizione molare della nanosol è: $TTIP:H_2O:CH_3COOH:EtOH=1:330:10$. Questa preparazione corrisponde essenzialmente al campione (C1 e C2) di Fig. 2b. La difformità di tale metodologia di sintesi rispetto a quella utilizzata per il tessuto PES, è giustificata dalla parziale degradazione del cotone in presenza di HCl, ma non di acido acetico.

Per la funzionalizzazione (tramite *coating*) dei substrati di COT e PES si è proceduto con i) l'immersione dei campioni nelle rispettive sol per 1 min; ii) passaggio al foulard (Fig. 3) ad una pressione di 3 kg cm⁻²; iii) asciugatura all'aria; iv) trattamento termico (COT: 80 °C, 10 min e 110 °C, 5 min, preceduto da immersione in una soluzione 0,3% di carbonato di sodio e lavaggio con acqua; PES: 80 °C, 60 min); v) lavaggio con acqua distillata (COT: 100 °C, 3h; PES: 25 °C).

L'analisi diffrattometrica ai raggi X, effettuata su campioni di cotone, COT- tal quale e COT-TiO₂ (per i quali è stato allestito un opportuno sistema meccanico capace di mantenere teso, e sospeso nel raggio incidente, una pezzuola di tessuto di diametro Ø = 25 mm), conferma la presenza della titania nanostrutturata sulla fibra. Infatti, dal confronto con il segnale relativo al campione di cotone raccolto prima del processo di funzionalizzazione, è possibile notare (Fig. 4) la comparsa di deboli picchi di diffrazione a 25,4, 37,9 e 48,0° 2θ, che rappresentano i segnali più intensi della fase cristallina anatasio (di indici 101, 004 e 200). L'attività fotocchimica dei substrati tessili è stata valutata mediante test differenziati. Per il tessuto di poliestere, si è utilizzato un test di degradazione fotoattivata di formaldeide in aria in ambiente confinato, con l'apparato sperimentale illustrato in Fig. 5 (V. riquadro sottostante). La performance fotocchimica indotta dal film di TiO₂ depositata sul substrato PES ha mostrato (oltre alla stabilità del confinamento ed al contributo nullo, nelle condizioni adottate, del substrato non funzionalizzato) che, in circa 100 minuti di esposizione, il campione PES-TiO₂ porta alla completa eliminazione dell'inquinante organico,



Schema di reazione per la determinazione della formaldeide tramite formazione della 3,5-diacetil-1,4-diidrolutidina, utilizzando il reattivo di Nash

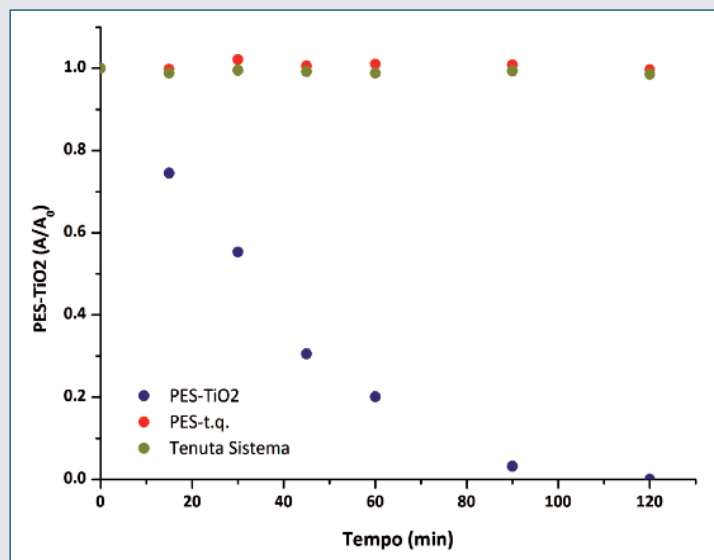


Fig. 6 - Andamento del processo fotocchimico di abbattimento della formaldeide da parte di un tessuto di PES, visualizzato come variazione del rapporto delle assorbanze sperimentali A/A_0 della diacetildihydrolutidina nel tempo

con una cinetica del prim'ordine caratterizzata da $k = 0,0193 \text{ min}^{-1}$ e un $t_{1/2}$ di 35 min (Fig. 6). Diversamente, per valutare la proprietà di *self-cleaning* dei tessuti funzionalizzati con TiO₂ è stato condotto un test di decolorazione di macchie di caffè (20 µl) depositate sul substrato tessile ed esposto alla lampada solare collocata a 50 cm di distanza. Per confronto è stato verificato anche il comportamento al processo fotoossidativo del tessuto originale (non trattato con titania), macchiato con la stessa quantità di caffè. Dato che la bagnabilità del poliestere è decisamente diversa da quella del cotone, e influenza in modo negativo la relativa misura di colorazione indotta, il fenomeno di decolorazione della macchia di caffè è stato studiato solo sul campione COT. Oltre che seguire da vicino l'effetto visivo (che è poi quello che interessa all'utilizzatore), sono state effettuate misure del colore (con coordinate $L^*a^*b^*$, Spazio del Colore CIELab 1976) [13] utilizzando uno spettrofotometro in modalità di riflettanza. In Fig. 7 sono riportate le fotografie dei campioni e i rispettivi valori di differenza di colore ΔE . Di ciascun substrato ancora pulito, come riportato nello Fig. 7a, si sono inizialmente registrate le coordinate colore, che costituiscono i riferimenti (*bianchi*). Le differenze in termini di trattamenti superficiali dei due campioni si traducono, come evidente dalle immagini dello

Il test prevede il riempimento del reattore con formaldeide gassosa mediante un flusso di aria (1,8 L·min⁻¹ per 10 min) fatto gorgogliare in una soluzione di formaldeide al 5% (p/p). Quindi si accende una lampada solare e si effettuano prelievi di aliquote di gas ad intervalli di tempo prestabiliti. Ciascuna aliquota viene gorgogliata in una provetta contenente 25 ml di reattivo di Nash. La reazione, schematizzata nella figura e condotta a 40 °C per 30 min, porta alla formazione del composto diacetildihydrolutidina, quantificato per via spettrofotometrica ($\lambda_{\text{max}} = 412 \text{ nm}$) secondo quanto previsto dalla norma UNI EN ISO 14184-1/2000.

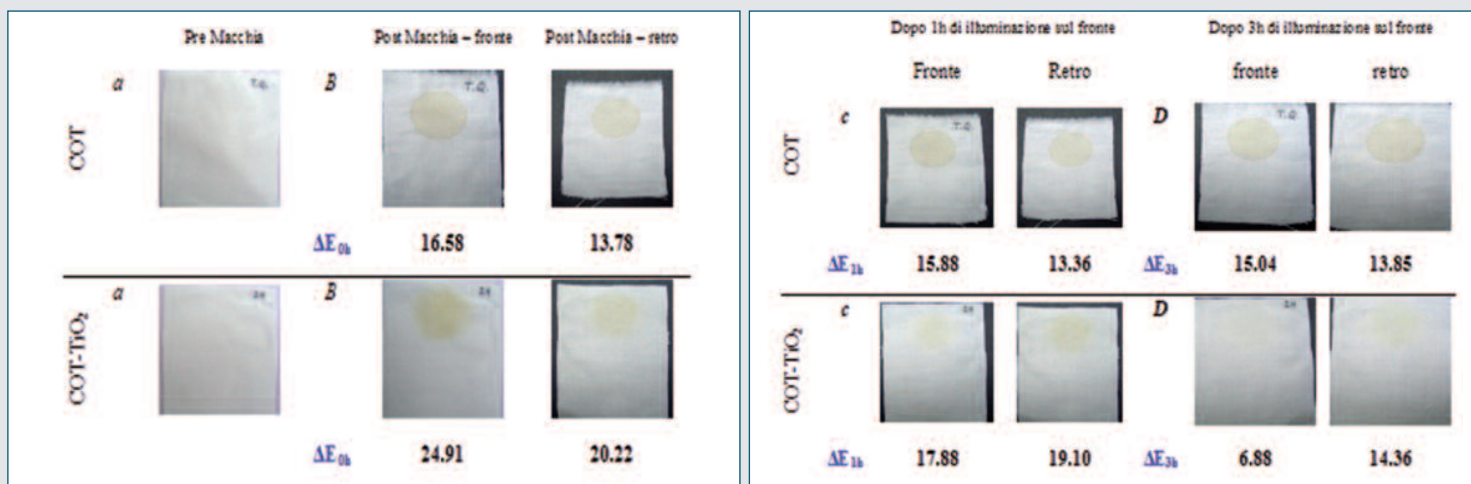


Fig. 7 - Andamento del processo fotocatalitico di abbattimento della colorazione di una macchia di caffè su tessuto COT, visualizzato come variazione dei valori ΔE nel tempo (vedi testo)

Fig. 7b, in una diversa modalità di interazione macchia-tessuto: di ciascuno dei substrati macchiati si misurano le coordinate $L^*a^*b^*$ e si calcola l'iniziale valore di ΔE_{0h} rispetto al corrispondente bianco.

In seguito a un'ora di illuminazione (Fig. 7c), il risultato visivo nel caso del cotone *titania coated* mostra già una parziale decolorazione, quantificata dagli attuali valori di ΔE_{1h} , decisamente minori rispetto alla situazione al tempo zero. Se l'illuminazione con lampada solare procede per altre due ore, come riportato nello Fig. 7d, la decolorazione della faccia esposta del substrato trattato raggiunge risultati soddisfacenti, mentre la macchia su cotone tal quale rimane pressoché inalterata. Considerata la struttura dei substrati tessili in questione, l'effetto visivo e le loro misure di colore risentono del residuo di macchia ancora presente sulla faccia non sottoposta a radiazione solare: se si capovolgono dunque i campioni e si procede all'illuminazione per ulteriori tre ore,

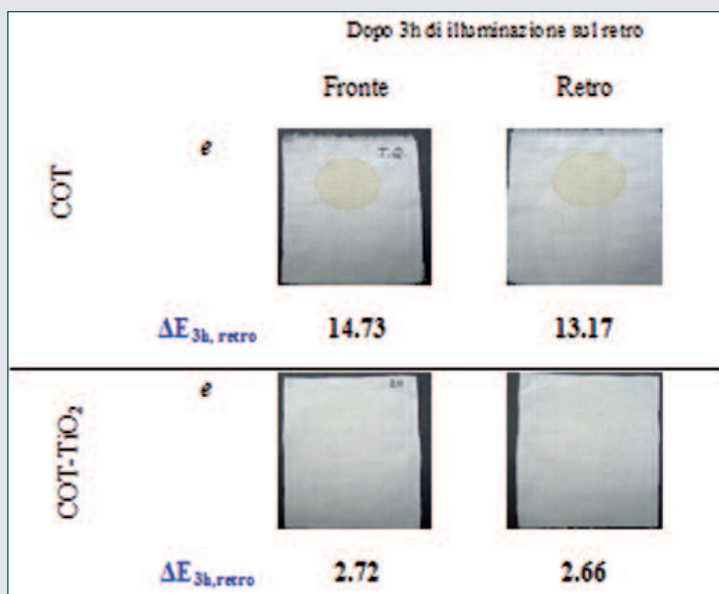


Fig. 8 - Andamento del processo fotocatalitico di abbattimento della colorazione di una macchia di caffè su tessuto COT per ulteriore esposizione a 3 h di illuminazione sul retro, visualizzato come variazione dei valori ΔE

entrambi i lati del tessuto COT trattato appaiono smacchiati (Fig. 8), con valori di $\Delta E_{3h, retro}$ prossimi a 2. Il semplice cotone, di contro, conserva l'iniziale colorazione della macchia. Infine, si sono anche studiati campioni di PES funzionalizzati con il nanocomposito SiO_2/TiO_2 . I risultati ottenuti mostrano un aumento significativo delle costanti cinetiche (normalizzate per moli effettive di TiO_2) all'aumentare della percentuale di silice, da 0,03 a ca. 0,07 min^{-1} (con $t_{1/2}$ di soli 10 min!), come osservato per i campioni in polvere preparati nelle stesse condizioni, in test di degradazione fotocatalizzata di coloranti (blu di metilene) e caratterizzati con tecniche di Total Scattering [8]. La matrice di silice porosa, adsorbendo materiale organico e rendendolo disponibile all'azione della titania, si comporta in maniera attiva aumentando le performances del materiale. Questo risultato conferma la correlazione positiva tra le proprietà funzionali delle polveri a base di titania e dei campioni di tessuto funzionalizzati, se vengono mantenute il più possibile costanti le condizioni di preparazione dei foto catalizzatori, giustificando la corposa e complessa analisi *ex situ* descritta in [6] e [7].

Conclusioni

La preparazione tramite procedure sol-gel di nanoparticelle di titania in condizioni di acidità, tempi e temperature differenti ha condotto all'isolamento di campioni di TiO_2 caratterizzati, per la prima volta, con tecniche sperimentali avanzate (diffrazione di raggi X con radiazione di sincrotrone) e analisi numerica di tipo *total scattering*.

Tale analisi microstrutturale dettagliata (in termini di dimensioni, forma e relative distribuzioni) ha permesso la correlazione tra le condizioni di preparazione e i parametri chimico-fisici dei diversi campioni, tra cui le proprietà fotochimiche di degradazione di coloranti organici per esposizione alla luce solare di soluzione degli stessi in presenza del fotocatalizzatore in sospensione. In una fase successiva, sono state preparate *sol* a base acquosa, stabili, di titania, precursori di *coating* funzionali per l'ottenimento di *smart textiles* capaci di abbattere efficacemente, per esposizione a luce solare, inquinanti organici. Il sistema PES- TiO_2 a base di tessuto poliestere, sottoposto a prova fotochimica,

ca di abbattimento di formaldeide in ambiente confinato, porta all'eliminazione totale dell'inquinante in circa 100 minuti. Significativamente, un tessuto di cotone, sottoposto a foulardaggio con il prodotto commerciale di più alta diffusione (TiO₂ - P25 di Degussa), ha dimostrato un'attività fotocatalitica di gran lunga inferiore (di un fattore 10), anche se caricato sul tessuto in ragione del 6,5% in peso (a fronte dei tipici valori di 3% delle preparazioni sol-gel qui presentate). Nel caso del substrato tessile di cotone, il test ha evidenziato la scomparsa di macchie di caffè in circa 3 ore di esposizione per entrambi i lati del substrato. Infine, i promettenti risultati fin qui ottenuti, in termini di riproducibilità del metodo di applicazione su scala di laboratorio e di proprietà funzionali, saranno a breve estesi alla produzione di prototipi tramite scale-up del processo su prodotti commerciali.

Ringraziamenti: Si ringrazia la Fondazione Cariplo per il parziale supporto economico (Progetto 2009-2446). Le misure di diffrazione per l'analisi di total scattering sono state effettuate presso la Material Sciences Beamline del SLS/PSI grazie alla cortese collaborazione del Dr. Antonio Cervellino.

Bibliografia

- [1] G.Y. Bae *et al.*, *J. Coll. Interf. Sci.*, 2009, **337**(1), 170.
- [2] C. Li *et al.*, *Compos. Sci. Tech.*, 2004, **64**, 2089; T. Textor *et al.*, *Appl. Surf. Sci.*, 2010, **256**, 1668.
- [3] A.R. Horrocks *et al.*, *Polym. Degr. Stab.*, 2005, **88**(1), 3.
- [4] W. Kangwansupamonkon *et al.*, *Nanomed.: Nanotech., Biol., Med.*, 2009, **5**, 240; S.T. Dubas *et al.*, *Coll. Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.*, 2006, **289**, 105.
- [5] E. Pelizzetti *et al.*, *Comm. Inorg. Chem.* 1994, **15**, 297.
- [6] G. Cernuto *et al.*, *J. Amer. Chem. Soc.*, 2011, **133**, 3114.
- [7] G. Cernuto *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 2011, **50**, 10828.
- [8] R.A. Young, *The Rietveld Method*, Oxford University Press, New York, 2005.
- [9] A. Cervellino *et al.*, *J. Appl. Crystallogr.*, 2010, **43**, 1543; see also: www.sourceforge.net/projects/debussy/
- [10] P. Debye, *Ann. Phys.*, 1915, **46**, 809.
- [11] N. Masciocchi, A. Guagliardi (Eds.), *Diffraction at the Nanoscale: Nanocrystals, Defective and Amorphous Materials*, Insubria University Press, Varese, 2010.
- [12] W.A. Daoud *et al.*, *Surf. Sci.*, 2005, **69-75**, 599.
- [13] K. Mc Laren, *J. Soc. Dye Colour.*, 1976, **92**, 338.
- [14] A. Strini *et al.*, *Appl. Catal. B*, 2005, **61**, 90.

ABSTRACT

Nanotechnologies for the Textile Industry

Advanced X-ray diffraction techniques and Total Scattering analysis allowed the accurate determination of sizes and shapes of TiO₂ nanoparticles, which are correlated with the photocatalytic performances of smart textiles.

La Società Chimica Italiana su Internet

Sito web della Sci: www.soc.chim.it

È anche attiva una mailing list all'indirizzo: SCI-list@list.cineca.it

Altri siti attivi sono:

Gruppo Giovani: www.scigiovani.it

Sezione Campania: www.scicampania.unina.it/index.htm

Sezione Lazio: www.soc.chim.it/sezioni/lazio

Sezione Liguria: www.chimica.unige.it/sci/

Sezione Lombardia: www.sci-lombardia.org/

Sezione Veneto: www.chimica.unipd.it/sci/pubblica/

Divisione di Chimica Ambientale e dei Beni Culturali:
www.socchimdabc.it/

Divisione di Chimica Analitica:
www.soc.chim.it/divisioni/chimica_analitica

Divisione di Chimica Fisica:
www.soc.chim.it/divisioni/chimica_fisica

Divisione di Chimica Industriale: www.chimind.it/

Divisione di Chimica Inorganica: <http://dci.mfn.unipmn.it/>

Divisione di Chimica Organica:
www.soc.chim.it/divisioni/chimica_organica

Divisione di Chimica dei Sistemi Biologici:
www.soc.chim.it/divisioni/chimbio

Divisione di Didattica Chimica: www.didichim.org/

Divisione di Elettrochimica:
<http://users.unimi.it/scielettrochimica/>

Divisione di Chimica Farmaceutica:
<http://dcf.frm.uniroma1.it/cgi-bin/home.pl>

Divisione di Spettrometria di Massa:
www.soc.chim.it/divisioni/spettrometria_di_massa

Gruppo Interdivisionale Catalisi:
www.soc.chim.it/it/gruppi_interdivisionali/catalisi

Gruppo Interdivisionale Chimica Computazionale:
www.soc.chim.it/it/gruppi_interdivisionali/chimica_computazionale

Gruppo Interdivisionale di Chimica Strutturale:
www.chim.unipr.it/chimica/link.htm

Gruppo Interdivisionale di Green Chemistry:
<http://www-2.unipv.it/photochem/greenchemistry/>