

European Federation
of Building
and Woodworkers



I nanoprodotti nell'industria europea delle costruzioni

Stato dell'arte 2009 Sommaro

Fleur van Broekhuizen
Pieter van Broekhuizen

Amsterdam, novembre 2009



*L'iniziativa riceve il sostegno finanziario della Commissione Europea nel quadro del
programmi e delle azioni previste nei settori occupazione e affari sociali*

Colophon

Titolo: La nanotecnologia nell'industria europea delle costruzioni –Stato dell'arte 2009- Sommario
Autori: F.A. van Broekhuizen e J.C. van Broekhuizen
Gruppo direttivo: R. Gehring (FETBB), D. Campogrande (FIEC), J. Gascon (FCC, Spagna), U. Spannow (3F, Danimarca), J. Waage (FNV Bouw, Paesi Bassi)

La presente relazione è stata commissionata da: FETBB (Federazione europea dei lavoratori edili e del legno) e dalla FIEC (Federazione dell'industria europea delle costruzioni) nel contesto del Dialogo sociale europeo

Ringraziamenti

Lo studio è stato accolto dalla Commissione europea, Direzione generale per l'Occupazione, in virtù del contratto di sovvenzione n. VS/2008/0500 – SI2.512656 nell'ambito del Dialogo sociale europeo per l'industria delle costruzioni.

Gli autori desiderano ringraziare le aziende (imprese di costruzione, produttori di materie prime, fabbricanti, imprese per il trattamento dei rifiuti), le organizzazioni settoriali, i centri di R&S e i singoli cittadini per il prezioso contributo apportato allo studio, gli utili elementi di comprensione forniti e l'apertura dimostrata nelle discussioni.

Maggiori informazioni sulla relazione sono reperibili presso:

IVAM UvA BV

Amsterdam-NL

Tel.: +31 20 525 5080

www.ivam.uva.nl

E-mail: office@ivam.uva.nl

Le informazioni riportate nella presente relazione possono essere utilizzate a condizione che venga citata la fonte.

IVAM UvA b.v. non si assume alcuna responsabilità per eventuali danni derivanti dall'uso o dall'applicazione dei risultati della presente relazione.

Sommario

La presente relazione comprende uno studio sulle problematiche di disponibilità, utilizzo, salute e sicurezza dei nanoprodotto nell'industria europea delle costruzioni (anno 2009). Gli elementi presentati sono il risultato di un'inchiesta europea condotta presso datori di lavoro, dipendenti e rappresentanti dei lavoratori nel settore delle costruzioni, di colloqui approfonditi con molti dei principali soggetti in causa e di un dettagliato studio della letteratura.

I diversi soggetti operanti nell'industria delle costruzioni hanno una consapevolezza davvero limitata circa la disponibilità e le prestazioni dei nanomateriali. Questo vale tanto per i dipendenti e gli imprenditori del settore quanto per le professioni connesse, come architetti e ingegneri edili, e i clienti che commissionano le costruzioni.

Oggi giorno entra in cantiere solo una parte limitata di nanoprodotto; le ragioni stanno in questa mancanza di consapevolezza e nel fatto che gli ingredienti nanometrici sono spesso troppo onerosi per risultare competitivi. I principali tipi di prodotti identificati sul mercato sono cementi e calcestruzzi migliorati da nanoparticelle, nanorivestimenti e materiali isolanti. Prosegue tuttavia un'intensa attività di ricerca e sviluppo, e in prospettiva futura è previsto un aumento della quota di mercato e della varietà dei nanoprodotto grazie alle loro esclusive caratteristiche (attuali e potenziali).

Questi stessi prodotti possono però comportare nuovi rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori nei cantieri, problemi che la scienza inizia solo ora a comprendere, soprattutto se i lavori portano a generare nanoparticelle o aerosol. Attività tipiche con un potenziale alto rischio di esposizione a nanoparticelle sono l'applicazione di nanoprodotto umidi o polverosi, nanoprodotto prefabbricati o asciugati con lavorazione a macchina nonché gli interventi di pulizia o manutenzione dei materiali e delle attrezzature utilizzate. Mancano in genere informazioni particolareggiate sulla composizione dei prodotti e sulle possibili problematiche di salute e sicurezza specifiche dei nanoprodotto, mentre le informazioni a disposizione del produttore di materie prime si smarriscono scendendo lungo la catena degli utenti.

Di conseguenza, un'impresa di costruzioni media avrà forti difficoltà nel condurre in proprio un'adeguata valutazione dei rischi e nel predisporre un luogo di lavoro sicuro per i dipendenti. Una possibilità, quando si tratta di affrontare le incognite, è l'adozione di un approccio precauzionale. Per supplire alla carenza di conoscenze è tuttavia opportuno sviluppare un numero selezionato di strumenti in grado di assistere le imprese di costruzioni nel rendere operativo tale approccio (per esempio, un sistema di registrazione e notifica, nano-valori di riferimento e buone pratiche per un numero scelto di attività lavorative ad alto rischio).

Indice

Sommario	3
1. Introduzione.....	5
2. La nanotecnologia nel settore edile.....	7
2.1 Fattori che influiscono sull'uso dei nanoprodotto nell'edilizia	8
2.2 Attività per garantire la sicurezza nel luogo di lavoro	14
3. I nanoprodotto nei cantieri	16
3.1 Introduzione.....	16
3.2 Cementi, calcestruzzi e malte bagnate	17
3.3 Rivestimenti e vernici.....	18
3.4 Nanotecnologia e infrastrutture	21
3.5 Materiali isolanti.....	21
4. Rischi per la salute.....	23
4.1 Introduzione.....	23
4.2 Vie di esposizione.....	24
4.3 Questioni relative alla salute e alla sicurezza di diverse nanoparticelle	25
4.4 Possibili approcci per un uso sicuro dei nanoprodotto	27
5. Opzioni per ulteriori attività a sostegno della sicurezza nel luogo di lavoro	31

1. Introduzione

Nell'ambito del Dialogo sociale europeo, la FIEC (Federazione dell'industria europea delle costruzioni) e la FETBB (Federazione europea dei lavoratori edili e del legno) hanno preso l'iniziativa di incaricare l'IVAM UvA BV di investigare l'attuale livello di consapevolezza presso i soggetti interessati e di realizzare una panoramica dei nanoprodotto effettivamente presenti nel mercato europeo delle costruzioni. Il presente sommario sintetizza i risultati ottenuti da uno studio esauriente sullo stato dell'arte nel 2009 in termini di disponibilità, uso e aspetti di salute e sicurezza dei nanoprodotto nel settore europeo delle costruzioni. La relazione principale, "La nanotecnologia nell'industria europea delle costruzioni, stato dell'arte 2009", descrive con dovizia di particolari le conclusioni dello studio.

A causa della costante spinta del mercato verso prodotti di maggiore durata, più sostenibili e meno costosi, i prodotti per l'industria delle costruzioni vengono scelti per attività costanti di ricerca e sviluppo. La nanotecnologia è uno dei più recenti sviluppi tecnologici in questa attività di R&S. Nanotecnologia significa semplicemente la capacità di osservare, monitorare e condizionare i materiali (e il loro comportamento) in dettagli sino al nanometro (nm) (una dimensione, p.es., circa 10.000 volte inferiore allo spessore di un capello umano). Ciò prevede l'uso di avanzate tecniche di imaging per studiare e migliorare il comportamento dei materiali, ma anche la progettazione e produzione di polveri, liquidi e solidi finissimi, contenenti particelle di dimensioni comprese tra 1 e 100 nm, le cosiddette nanoparticelle, le quali consentono alle aziende di conferire nuove o migliori proprietà ai prodotti. Alcuni esempi di applicazioni sono i rivestimenti trasparenti per finestre, che riflettono i raggi infrarossi al fine di migliorare la gestione climatica degli interni, cementi ultrasensibili che consentono strutture più sottili e luminose, rivestimenti autopulenti che servono anche a ridurre l'inquinamento atmosferico organico.

In Internet è disponibile un'abbondanza di informazioni sulla nanotecnologia nell'edilizia e le aspettative sono molte; la realtà odierna, tuttavia, è che solo una limitata quantità di nanoprodotto si fa strada nei cantieri, e questo semplicemente perché le tecniche e i nanoingredienti costano troppo e non consentono di ottenere prodotti in grado di competere con quelli già esistenti. Ecco il parere di alcuni grossi operatori del settore: *"in questo campo, l'industria delle costruzioni è circa 10 anni in ritardo rispetto all'industria in generale, a causa dei costi connessi e delle norme tecniche e di sicurezza necessarie per i materiali utilizzati"*.

Nonostante ciò, è importante notare il costante aumento di nanoprodotto per l'edilizia. Questi prodotti presentano caratteristiche uniche ma possono anche comportare nuovi rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori. Considerato che in genere i nanomateriali e nanoprodotto sono una novità, questi rischi hanno iniziato solo recentemente a essere compresi¹. Questo fatto, e le alte aspettative concernenti il potenziale di mercato dei

¹ Vi sono varie questioni aperte in merito ai pericoli per la salute e alla cinetica di esposizione ai nanomateriali e nanoprodotto. D'altro canto, possediamo tantissime conoscenze e una vasta esperienza nel campo della valutazione della salute e sicurezza sul luogo di lavoro e della gestione dei rischi connessi con l'esposizione.

nanoprodotti² in un prossimo avvenire, fanno sì che sia importante seguire sin dall'inizio gli sviluppi nel campo della nanotecnologia ed essere consapevoli delle attuali incertezze in merito alle questioni di salute e sicurezza dei nanomateriali e nanoprodotti, così da poter adottare le misure appropriate quando verrà ritenuto necessario. La presente relazione intende fornire alcuni ulteriori elementi utili alla conoscenza dei nanoprodotti utilizzati attualmente nell'edilizia al fine di agevolare una valutazione dei rischi basata su dati concreti.

Quando si parla di nanomateriali e nanoprodotti, è importante rendersi conto che non esistono ancora definizioni comunemente accettate e che, di conseguenza, vi è terreno fertile per i fraintendimenti. Nella presente relazione:

1. un nanomateriale è un materiale particellare contenente nanoparticelle o agglomerati o aggregati di queste in forma solida o disperse in un liquido, o nanostrutture interne o esterne o domini nanometrici;
2. un nanoprodotto è un prodotto in cui viene deliberatamente inserito un nanomateriale al fine di condizionarne le proprietà.

Le nanoparticelle sono definite particelle "ingegnerizzate" (sintetiche, per distinguerle dalle particelle nanometriche "naturali" che si formano, per esempio, durante le eruzioni vulcaniche) di dimensioni 1-100 nm. Queste particelle possono essere di tipo solubile o insolubile. Al momento, il termine nanoparticelle comprende solamente le particelle insolubili perché sono queste a presentare un interesse fondamentale rispetto ai potenziali effetti termici nelle nanoapplicazioni. Attualmente, tuttavia, si dibatte circa i possibili effetti termici delle particelle nanometriche solubili, anche in considerazione della trasformazione che subiscono nell'ambiente.

L'uso delle nostre conoscenze per affrontare aspetti ignoti è al momento la grande sfida che ci attende al varco quando lavoriamo con i nanoprodotti.

² V. per esempio www.hessen-nanotech.de

2. La nanotecnologia nel settore edile

Al fine di ricavare una panoramica completa degli attuali livelli di disponibilità e utilizzo di nanomateriali e nanoprodotto nei cantieri edili, di fornire alcuni elementi utili sugli sviluppi in corso che potrebbero portare a un più imminente uso dei nanoprodotto, nonché di segnalare e vedere nella giusta ottica le questioni relative alla salute e alla sicurezza sul luogo di lavoro dovute ai nanoprodotto utilizzati, sono stati seguiti tre percorsi:

1. Un'esauriente ricerca in Internet e nella letteratura (scientifica) ha fornito le basi per gli elementi di giudizio in merito ai nanomateriali e nanoprodotto utilizzati nell'edilizia e ai problemi di sicurezza sul luogo di lavoro che potrebbero insorgere durante l'applicazione.
2. Un'inchiesta, a cura della FIEC e della FETBB, da svolgere presso i propri membri di 24 paesi europei per esaminare il livello generale di consapevolezza di datori di lavoro (rappresentativi) e dipendenti circa le applicazioni dei nanoprodotto nel settore (di seguito denominata l'inchiesta 2009). Scopo dell'inchiesta 2009 era di ottenere una prima impressione sulle esperienze pratiche, sulle motivazioni per il passaggio ai nanoprodotto e sulle questioni di salute e sicurezza comunicate dal fornitore dei prodotti. Mancava assolutamente l'intenzione di giungere a una comprensione approfondita e dettagliata delle attuali procedure di lavoro e utilizzo dei nanoprodotto nell'industria delle costruzioni, poiché ciò avrebbe richiesto un approccio di gran lunga più elaborato.
3. Colloqui approfonditi, organizzati con lavoratori edili, datori di lavoro, architetti, fabbricanti e responsabili della R&S per i prodotti e i materiali da costruzione, al fine di ottenere una maggiore comprensione delle attività in corso nel campo dei nanoprodotto per l'industria delle costruzioni. I risultati dei colloqui hanno permesso di mettere nella giusta ottica le conclusioni dell'inchiesta 2009 e la ricerca in Internet e nella letteratura, evidenziando in tal modo gli sviluppi più significativi della nanotecnologia per il settore edile.

Tabella 0-1 Panoramica dell'esperienza tipo (profilo funzione) dei partecipanti all'inchiesta 2009 e panoramica dei diversi tipi di organizzazioni nelle quali sono stati condotti i colloqui

Partecipanti ³	Funzione	Colloqui approfonditi (%)	Tipo di organizzazione
6	Datore di lavoro	21	Industria delle costruzioni
4	Imbianchino/decoratore (lavoratore, rappresentante dei lavoratori)	21	Fabbricanti (materie prime)
4	Consulente per la sicurezza (lavoratore, rappresentante dei lavoratori)	9	Organizzazioni settoriali
3	Varie (lavoratore, rappresentante dei lavoratori)	4	Architetti
11	Non specificato (lavoratore, rappresentante dei lavoratori)	42	Università, R&S

³ Complessivamente, sono state ricevute 28 risposte da 14 diversi paesi europei, alle quali vanno aggiunte quelle di 38 esperti olandesi in materia di salute sul luogo di lavoro, che sono trattate in separata sede.

38 ⁴	Consulenti in materia di salute e sicurezza sul luogo di lavoro/ Responsabili dell'igiene sul luogo di lavoro (solo Paesi Bassi)	
-----------------	--	--

I dati ricavati sono presentati nei paragrafi a seguire. La Tabella 0-1 mostra una panoramica del profilo funzione dei partecipanti all'inchiesta 2009 e del tipo di organizzazioni presso le quali sono stati condotti i colloqui approfonditi.

2.1 Fattori che influiscono sull'uso dei nanoprodotto nell'edilizia

Nel 2003, i responsabili della R&S erano concordi nell'aspettarsi molto dagli imminenti sviluppi di nanoprodotto per l'industria delle costruzioni. Tuttavia, oggi nei cantieri edili troviamo solo una piccola parte dei prodotti che, all'epoca, si riteneva potessero essere utilizzati ⁵. In merito, vi sono diverse ragioni; nei seguenti paragrafi illustreremo le più importanti.

Concorrenza in termini di prezzi

La primissima ragione che spiega il mancato ingresso dei nanoprodotto nell'industria delle costruzioni, nonostante le potenzialità di successo nella società, è il livello dei costi. I nanomateriali, e quindi i nanoprodotto, presentano al momento costi ancora molto più alti di quelli delle tradizionali alternative, a causa della tecnologia necessaria per produrli. Per il settore edile, ciò implica che già nella fase R&S di un prodotto le iniziative vengono interrotte quando si prevede che il nanoprodotto non potrà mai essere realizzato a un prezzo competitivo. Ciò è dovuto per lo più al fatto che i prodotti edili sono quasi sempre forniti in grandi quantitativi e, considerato il volume totale delle strutture, anche una lieve differenza di prezzo (a livello di kg) porta a un enorme aumento dei costi complessivi.

Ne consegue che i fabbricanti di materiali da costruzione sono restii a sviluppare i nanoprodotto, e quando ciò avviene è per rispondere a specifiche richieste. Questo vale in particolare per i prodotti realizzati in grandi quantitativi, come calcestruzzo e malta, e per i rivestimenti edili. Tuttavia, la particolare attenzione che la società sta attualmente prestando al miglioramento della gestione energetica nel contesto dei cambiamenti climatici e alla riduzione dei gas a effetto serra, stimola l'ulteriore introduzione sul mercato di prodotti quali, p.es. i materiali isolanti e i rivestimenti architettonici e vetrati.

Prestazioni tecniche

Un altro fattore limitativo dell'introduzione su vasta scala dei nanoprodotto è dato dalle prestazioni tecniche, che devono essere collaudate a fondo per rispettare le relative norme tecniche. Naturalmente, ciò dipende dal settore di mercato. Nel caso del cemento, per esempio, la questione è molto importante, mentre per i rivestimenti autopulenti per finestre tale aspetto ha un'importanza di gran lunga inferiore a causa delle norme di sicurezza meno rigorose.

Consapevolezza nel settore

⁴ Il gruppo di risposte dei consulenti e responsabili olandesi per l'igiene e la salute e sicurezza sul luogo di lavoro (38 partecipanti) è stato unico nell'ambito dell'inchiesta 2009. Di conseguenza, viene trattato separatamente. I risultati di questa valutazione sono assolutamente in linea con i risultati delle altre risposte.

⁵ Bartos P.J.M., 2009, Nanotechnology in Construction 3, lavori del NICOM3. ISBN 978-3-642-00980-8.

La consapevolezza (o la sua mancanza) è un altro elemento chiave che ostacola l'introduzione dei nanoprodotto nelle opere edili. Senza questa consapevolezza, come è possibile sapere che è disponibile un prodotto nuovo? In Europa vi è una conoscenza davvero limitata della nanotecnologia per il settore edile che, al momento, è ancora appannaggio di un piccolo numero di operatori chiave che sviluppano il mercato. L'inchiesta 2009 preparata dalla FIEC e dalla FETBB per monitorare la consapevolezza dei lavoratori edili e dei rispettivi datori di lavoro ha dato i risultati illustrati in Figura 0-1, dove si vede che la maggioranza (~75%) ignora se sta utilizzando nanoprodotto. Questo risultato si basa sulle risposte di 28 questionari, laddove l'obiettivo erano 3 questionari per ciascun affiliato FIEC e FETBB di ognuno dei 24 paesi UE trattati (per un target complessivo di 144 questionari restituiti)⁶.

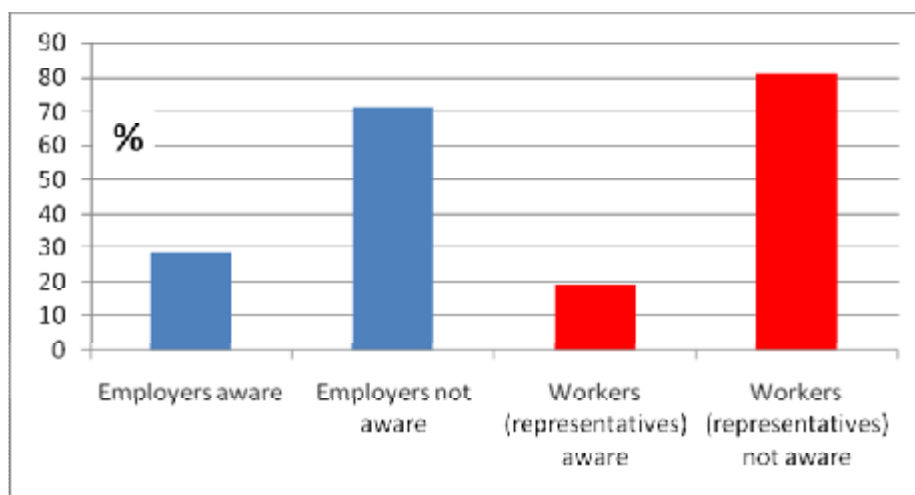


Figura 0-1 Inchiesta 2009: risposta dei datori di lavoro e dei dipendenti (rappresentanti) sul fatto di essere a conoscenza o meno della presenza di nanoprodotto nel rispettivo luogo di lavoro.

I risultati dell'inchiesta vanno però intesi come una semplice indicazione dell'attuale stato di conoscenza nel settore circa l'utilizzo di nanoprodotto nell'industria delle costruzioni. In realtà, il dato del 25% relativo alle persone consapevoli è probabilmente una stima per eccesso delle cifre autentiche, dovuta al fatto che le persone che sanno di utilizzare nanoprodotto sono più desiderose di rispondere. Riportiamo a seguire stralci dei vari commenti ricevuti da datori di lavoro e rappresentanti dei lavoratori edili in merito all'inchiesta 2009:

- "...ho parlato di questo argomento con diverse società, ma nessuno è a conoscenza di materiali contenenti questi prodotti. Ho parlato anche con molte persone dell'HSE (Health and Safety Executive), ma nemmeno loro sono a conoscenza dell'esistenza di tali prodotti... (GB)"
- "...abbiamo cercato di ottenere informazioni da vari sottosettori edili, ma a oggi non abbiamo ancora ricevuto indicazioni utili. Il problema (e non ne siamo molto sorpresi) è ancora sconosciuto (CH)"
- "...l'argomento è troppo astratto e troppo poco conosciuto per poter dare una qualsiasi risposta nell'ambito dell'inchiesta (NL)"

⁶ Le risposte al questionario provengono da 14 paesi differenti, nell'ordine di 1 o 2 risposte per paese, con l'eccezione dei Paesi Bassi. La percentuale di risposta molto più alta per questo paese dipende da un progetto (nazionale) condotto in parallelo, dedicato ai nanoprodotto nell'industria delle costruzioni e alla relativa esposizione nel luogo di lavoro.

Tutto ciò, unitamente alle risultanze dei colloqui approfonditi condotti parallelamente all'inchiesta 2009 presso numerosi operatori chiave (BASF, Heidelberg Cement, Skanska) indica che la nanotecnologia non è ancora penetrata in modo significativo nel settore edile. Una serie di contatti con varie PMI rafforza il quadro risultante, ossia che la nanotecnologia è oggi solo un mercato di nicchia nell'industria delle costruzioni. Riscontriamo però anche segnali di segno opposto in una società danese di consulenza in materia di salute e sicurezza nel settore idraulico ed elettrico: *"...non hanno informazioni su nanoprodotto utilizzati in questi settori ma sono assolutamente certi che alcuni prodotti utilizzati sono in realtà nanoprodotto"*.

I partecipanti all'inchiesta 2009 che hanno dichiarato di utilizzare nanoprodotto lavorano per lo più con cementi o calcestruzzi, rivestimenti e materiali isolanti (v. Figura 0-2). Solo accennati, invece, altri tipi di prodotti, per esempio per la pavimentazione stradale, materiali e prodotti tessili a infiammabilità ritardata. Tutti hanno segnalato di aver utilizzato i nanoprodotto per via delle loro prestazioni (che escludevano l'uso di un prodotto alternativo) e talvolta (anche) per la specifica richiesta del cliente.

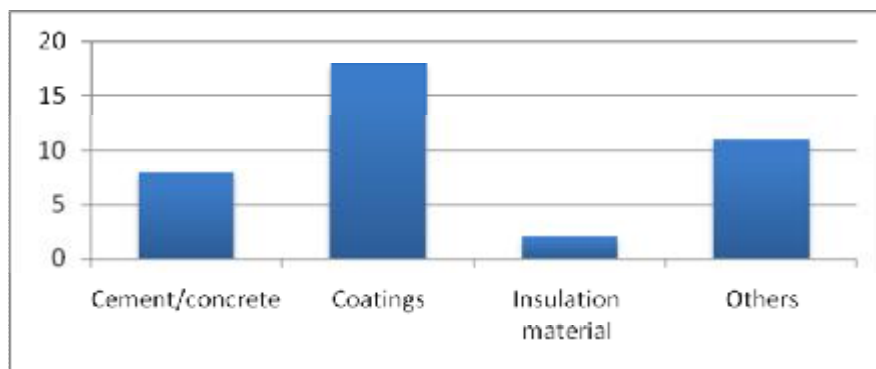


Figura 0-2 Nanoprodotto effettivamente utilizzati; numero di prodotti per tipo di prodotto, dai risultati dell'inchiesta 2009

Interessante, tuttavia, il fatto che alcuni dei partecipanti che hanno risposto *"No, non sono consapevole di utilizzare nanoprodotto"* segnalano invece la possibilità di stare utilizzando alcuni tipi di nanoprodotto quando viene sottoposto loro un elenco specifico di tipi di prodotto (~18% di tutti i partecipanti: dipendenti, rappresentanti dei lavoratori e datori di lavoro). I tipi di prodotto segnalati in questo caso si sovrappongono a quelli indicati per nome dalle persone consapevoli di utilizzare nanoprodotto (~21% di tutti i partecipanti: dipendenti, rappresentanti dei lavoratori e datori di lavoro). Ciò dimostra una generale mancanza di conoscenza sulla natura dei prodotti utilizzati, ma si potrebbe anche interpretare come un'indicazione di quei gruppi di prodotti in cui i partecipanti prevedono che siano introdotti per primi i nanoprodotto. Le risposte potrebbero anche essere determinate da effetti di marketing, mediante l'associazione del prefisso *nano* con un superiore livello delle prestazioni tecniche, suggerendo così che tutti i prodotti 'nuovi', 'sensazionali' o 'robustissimi' possano essere nanoprodotto.

Vantaggi della nanotecnologia per il settore

Per servirsi della nanotecnologia nello studio e sviluppo di materiali migliorati occorre un solido reparto di R&S con la possibilità di utilizzare attrezzature onerose manovrate da personale qualificato. Tuttavia, poiché l'industria delle costruzioni non è mai stata molto orientata alla R&S, queste attività vengono svolte essenzialmente dalle grandi multinazionali come BASF, AKZO-NOBEL, DuPont, Heidelberg e Italcementi o presso centri di ricerca specializzati (universitari o privati). Indirettamente, ciò significa che le PMI hanno una scarsa o nulla rilevanza nelle attuali nano-attività d'avanguardia nel settore edile. Eccezione, le PMI spin-off che possono utilizzare le strutture di ricerca della società "madre", le PMI costituite come spin-off dell'università (e che possono servirsi delle strutture universitarie) per dedicarsi a specifiche nicchie del mercato "nano", come per esempio la produzione e la progettazione on-demand di specifici nanomateriali, e un piccolo numero di PMI che hanno proficuamente utilizzato i risultati e le conquiste delle grandi imprese per sviluppare una propria linea di prodotti innovativi.

Nel settore dei rivestimenti, però, la situazione si sta modificando. I nanorivestimenti hanno in genere un livello di sviluppo più avanzato rispetto agli altri prodotti per l'edilizia come i cementi e i materiali isolanti, e i fabbricanti vengono sempre più a conoscenza dei metodi di applicazione dei nanomateriali. Ecco quindi che, nel settore delle vernici e dei rivestimenti, le PMI iniziano ad attivarsi e a fabbricare la propria linea di nanoprodotto.

Comunicazione del concetto *nano* nella catena degli utenti

Per il lavoratore edile medio, la conoscenza particolareggiata della natura chimica del prodotto utilizzato non rappresenta una priorità assoluta; ciò che servono sono le informazioni tecniche e relative agli aspetti di salute e sicurezza. Questo vale per i prodotti cosiddetti "normali" e non c'è alcun motivo per cui debba essere differente per i nanoprodotto. L'uso di metodi standardizzati per determinare i rischi per la salute nel luogo di lavoro derivanti da esposizione a nanoprodotto è tuttavia un argomento di grandissima attualità e permangono numerose domande aperte in merito alla loro applicabilità. Di conseguenza, vi è un clima generale di incertezza riguardo ai rischi per la salute e la sicurezza generati da nanoprodotto; questi ultimi, pertanto, devono essere trattati e utilizzati con una certa cautela.

I nanomateriali possono presentare una maggiore reattività (per grammo di materiale) rispetto alle corrispondenti forme non "nano" e un comportamento ben diverso. Di conseguenza, potrebbero avere effetti differenti, e più gravi, sulla salute. Per questo motivo, i limiti di sicurezza definiti – e superati i quali sono necessarie procedure di registrazione e comunicazione dei rischi per la salute e la sicurezza – sono forse troppo elevati per garantire un luogo di lavoro sicuro, e andrebbero perciò abbassati. In Europa, l'ISE e la CES spingono affinché la situazione cambi, con un emendamento del regolamento REACH che imponga l'obbligo di segnalare tutti i nanomateriali aggiunti intenzionalmente a un prodotto.

La situazione attuale consente solo un numero ridotto di modi per conoscere i particolari chimici di un nanoprodotto. Ben pochi fabbricanti che ricorrono a ingredienti nanometrici o nanomateriali segnalano ai clienti questo fatto, poiché il regolamento relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele⁷ non prevede

⁷ http://ec.europa.eu/environment/chemicals/dansub/home_en.htm; per la versione italiana del regolamento (CE) n. 1272/2008: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:IT:PDF>

alcun obbligo in tal senso. Dall'inchiesta 2009 emerge che i partecipanti hanno informazioni sulle caratteristiche, tramite una scheda di sicurezza dei materiali (MSDS), soltanto per 7 dei 41 nanoprodotto indicati; di questi, solamente in 4 casi la MSDS prescrive misure di protezione diverse da quelle per i prodotti tradizionali (non nano) utilizzati in precedenza dalla stessa imprese edile (v. Figura 0-3). Le risposte ottenute indicano che, per la maggior parte dei prodotti, gli aspetti di salute e sicurezza del prodotto trovano pochissimo spazio lungo la catena degli utenti (per 34 dei prodotti non è disponibile una scheda MSDS, per quanto ne sa il partecipante all'inchiesta, lavoratore edile o datore di lavoro che sia). Quanto ai prodotti corredati di scheda MSDS, sta al fabbricante o al fornitore decidere se includere nella scheda informazioni su salute e sicurezza specifiche per il nanoingrediente. Riguardo ai prodotti indicati dai partecipanti all'inchiesta 2009, quasi tutte le schede MSDS non presentano indicazioni di alcun nanoingrediente; le schede di dati tecnici, per contro, talvolta indicano chiaramente, talaltra suggeriscono e altre volte ancora sembrano suggerire (per esempio, in virtù del nome del prodotto) che il prodotto contenga in effetti almeno un nanomateriale. Le informazioni specifiche alla nanotecnologia fornite nella scheda di dati tecnici variano enormemente: da molto particolareggiate – indicazione delle dimensioni e immagine SEM⁸ della nanoparticella o descrizione della superficie attiva del nanomateriale per grammo – a una semplice nota in cui viene segnalato che il prodotto contiene, per esempio, nanoquarzo (senza ulteriori specificazioni circa l'aspetto di questo quarzo).

In tutti i casi in cui sono fornite maggiori informazioni sul nanoprodotto, i fabbricanti asseriscono che il prodotto non è pericoloso se utilizzato rispettando le istruzioni e che non sono mai necessarie competenze o formazioni specifiche (alla nanotecnologia) al fine di utilizzare correttamente il nanoprodotto. Inoltre, per la maggior parte dei nanoprodotto citati nell'inchiesta 2009, viene indicato che le misure di protezione prescritte *'non sono diverse dal solito'*, ossia quando erano utilizzati prodotti tradizionali (non nano), e che le prassi lavorative non sono influenzate dall'uso di nanoprodotto. Solo per due prodotti sono prescritte maggiori misure di protezione, rispetto agli equivalenti prodotti tradizionali (non nano) utilizzati per applicazioni analoghe. Relativamente ai prodotti menzionati nell'inchiesta 2009, ciò vale per due prodotti cementizi contenenti nanosilice. Tuttavia, vi sono anche indicazioni che i nanoprodotto possono semplificare il lavoro.

⁸ Microscopia elettronica a scansione (Scanning Electron Microscopy).

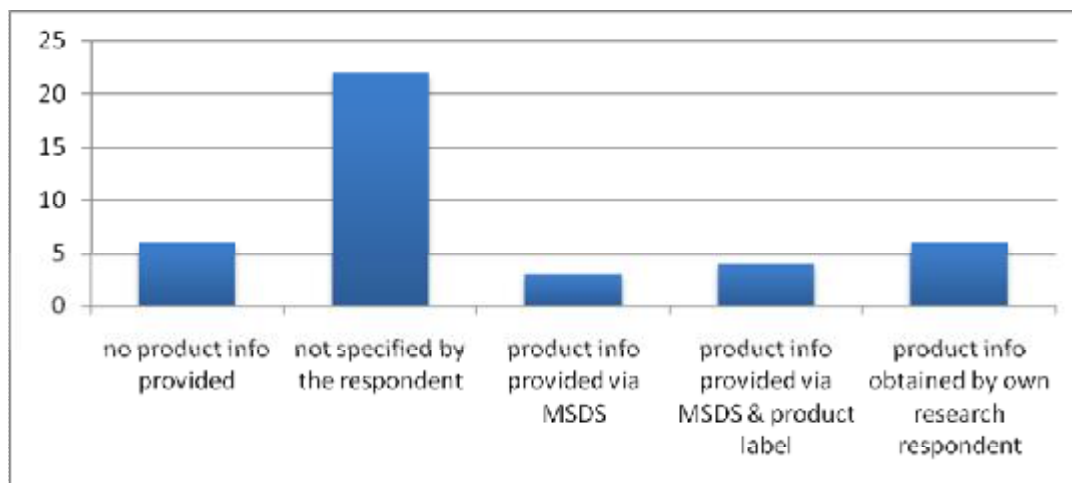


Figura 0-3 Descrizione delle informazioni per i nanoprodotto segnalati nell'inchiesta 2009 (esprese in numeri)

Attualmente, la catena informativa è grosso modo rappresentata nel modo seguente (v. anche Figura 0-4). I produttori di "materie prime" per i nanomateriali forniscono dettagli sulle proprietà dei materiali (p.es. reattività, caratteristiche comportamentali specifiche, dimensioni, forma, struttura cristallina, massa e densità) e le specifiche relative alle questioni ambientali e di salute e sicurezza (nella misura in cui sono note) al successivo utente della catena (nella maggior parte dei casi, il fabbricante del prodotto). A seconda della specifica relazione d'affari, questi dettagli possono andare dal minimo legalmente richiesto a una maggiore completezza di dati, laddove vi sia una reciproca fiducia fra le parti. Tuttavia, di norma le informazioni specifiche alla nanotecnologia si interrompono a questo punto della catena. I fabbricanti utilizzano molto spesso il nanomateriale solamente come additivo, in concentrazioni inferiori al limite richiesto per la registrazione e comunicazione. Soltanto alcuni di questi fabbricanti avvertono in ogni caso i propri clienti, benché talvolta semplicemente limitandosi a menzionare *"realizzato con nanotecnologia"*, senza l'aggiunta di ulteriori dettagli. Per il cliente, quindi, vi è sempre l'incertezza su che cosa sia effettivamente questo nanoprodotto.

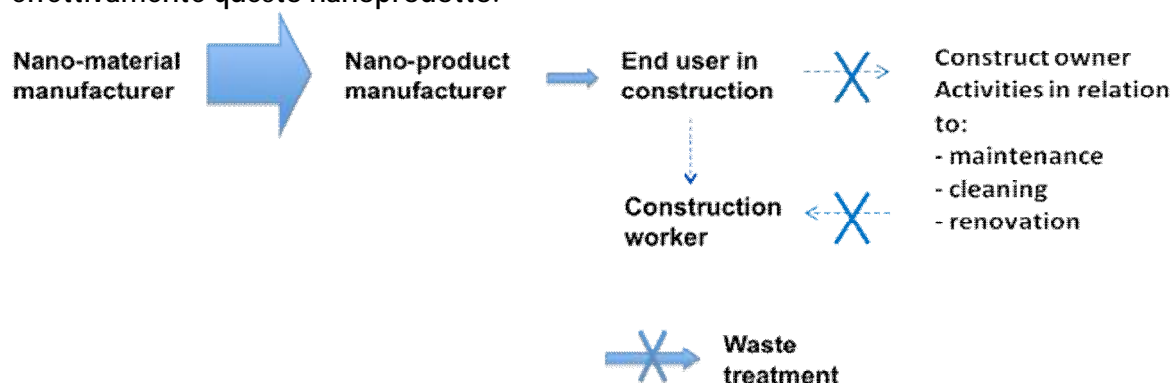


Figura 0-4 Intensità delle informazioni sulla nanotecnologia nella catena degli utenti, dal fornitore di materie prime ai responsabili dello smaltimento dei materiali di scarto. Lo spessore della freccia rappresenta grosso modo la quantità di informazioni sulla nanotecnologia fornite al successivo utente della catena.

"Nano", un concetto che fa vendere

La nanotecnologia e i prodotti proposti da questa tecnologia sono pensati per risolvere molte delle odierne questioni prioritarie come l'esaurimento delle risorse minerarie, l'inquinamento ambientale, il consumo energetico e l'emissione di gas a effetto serra, e persino questioni di sicurezza come gli attacchi terroristici e la pace nel mondo. Queste grandi speranze hanno fatto sì che il concetto *nano-* venisse visto come equivalente di termini chiave quali *successo*, *elevate prestazioni* e *sviluppo sostenibile*. Di conseguenza, le imprese, ma anche i ricercatori, hanno iniziato a commercializzare i propri prodotti aggiungendo il prefisso *nano-* al fine di attrarre clienti o finanziamenti. Questa tendenza ha avuto inizio circa 10 – 15 anni fa e tutt'oggi, nonostante si registri una certa inversione a causa delle problematiche di salute e sicurezza ma anche per la pressione delle organizzazioni settoriali che intendono evitare ogni confusione su tale concetto⁹, il termine *nano-* è ancora utilizzato per mettere in risalto le alte prestazioni tecniche o l'intelligente design di un prodotto.

E questo non solo per i prodotti che contengono nanomateriali. Anche prodotti piuttosto standard contenenti enzimi (che hanno le tipiche dimensioni nanometriche) o dispersioni oleose (contenenti goccioline di olio di diametro nanometrico) sono stati definiti *nano-*. Così come prodotti che possono essere considerati casi limite, i cui materiali precursori sono prodotti con nanomateriali o mediante procedimenti di nano-produzione, ma i cui ingredienti effettivi non sono più nanomateriali. Ne consegue una situazione confusa in cui i nanoprodotto sono talvolta venduti come prodotti non "nano" e, viceversa, i prodotti non "nano" sono talvolta commercializzati come nanoprodotto.

2.2 Attività per garantire la sicurezza nel luogo di lavoro

Nonostante quanto sopra, sempre più fabbricanti di nanoprodotto sono diventati consapevoli delle potenziali e ampiamente sconosciute questioni di salute e sicurezza derivanti dall'uso e dalla manipolazione di nanoparticelle. Nei cantieri, occorre trattare l'esposizione alle nanoparticelle sotto due aspetti:

1. uso primario di un nanoprodotto: utilizzo diretto di un nanoprodotto (un prodotto pronto all'uso o un prodotto multicomponente miscelato sul posto);
2. uso secondario di un nanoprodotto: lavorazione di un nanoprodotto (per esempio, mediante operazioni di perforazione, smerigliatura o pulizia).

Occorre un'attenta valutazione dei rischi soprattutto quando tali operazioni comportano la manipolazione di materiali polverosi o liquidi oppure la produzione di polvere o aerosol. Esempi tipo: spruzzare un nanorivestimento, aggiungere fumi di silice alla malta bagnata, sottoporre a sabbiatura una facciata in cemento fotoattivo o pulire una parete antibatterica (contenente argento). D'altro canto, ci si attende che i rischi di esposizione alle nanoparticelle – derivanti dalla manipolazione di nanoprodotto solidi (prefabbricati) come ceramica, vetro, acciaio, plastica, compositi, materiali isolanti, cemento e legno "nano-migliorati" senza lavorarli in alcun modo – siano scarsi (o addirittura nulli) poiché si prevede che le nanoparticelle restino nella matrice solida. L'esposizione, però, può verificarsi nel tempo con l'usura dei materiali, quando viene restaurata o demolita la costruzione.

Come primo tentativo per predisporre un luogo di lavoro sicuro, organizzazioni come la Commissione europea e diversi importanti fabbricanti dei materiali consigliano di adottare

⁹ Comunicazioni private con numerose società produttrici di differenti materiali.

un approccio precauzionale. Il costante accento posto su tale approccio, promosso tramite i diversi codici di condotta e sostenuto dalla Commissione europea e da importanti grandi imprese come BASF e Dupont, fa sì che la produzione di una forte maggioranza di nanoparticelle e nanomateriali abbia luogo in forma liquida (sospensione o soluzione) o in sistemi chiusi o 'sotto pressione' così da massimizzare il controllo delle particelle e minimizzare i rischi di esposizione. Per queste ragioni, diversamente da quanto avveniva alcuni anni fa, gli additivi nanometrici sono per lo più forniti come sospensioni o soluzioni pronte per l'uso. Laddove ciò non è possibile, per esempio nel caso dei fumi di silice per i calcestruzzi UHPC, con gli additivi che devono rimanere in polvere, vengono inventate altre soluzioni per evitare l'esposizione, per esempio l'uso di materiali di imballaggio (grandi sacchi) che si sciolgono in acqua senza pregiudicare le caratteristiche previste del prodotto (calcestruzzo).

Tuttavia, è sempre molto difficile determinare se una specifica pratica di lavoro e le misure di protezione adottate permettano di lavorare in tutta sicurezza. I dispositivi di misurazione per determinare l'esposizione nell'ambiente di lavoro sono estremamente onerosi, difficili da utilizzare e inoltre forniscono solo risposte limitate in merito agli effettivi livelli di esposizione. In base alle conoscenze odierne, esistono sul mercato vari tipi di materiali per la protezione individuale contro l'esposizione alle nanoparticelle. Le informazioni su questi materiali per la protezione individuale sono disponibili in un recente studio pubblicato dall'OCSE; la pubblicazione contiene una panoramica completa e una guida comparativa delle attrezzature di protezione della cute e dell'apparato respiratorio che i lavoratori possono utilizzare per proteggersi dalla possibile esposizione ai nanomateriali di sintesi.¹⁰

¹⁰ OCSE, Environment, Health and Safety Publications Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials No. 12 (2009) ENV/JM/MONO(2009)17.

3. I nanoprodotto nei cantieri

3.1 Introduzione

Nell'industria delle costruzioni, i nanoprodotto detengono una piccola quota del mercato totale e vengono utilizzati essenzialmente in mercati di nicchia¹¹. Stando alle previsioni, tuttavia, la loro quota dovrebbe aumentare nell'immediato futuro¹² e le nanoparticelle dovrebbero svolgere un ruolo importante nelle fasi di progettazione, sviluppo e produzione dei materiali per l'industria delle costruzioni¹³. Ma già ora, in linea di massima, possiamo ritrovare nanoprodotto in quasi ogni parte di un edificio o un'abitazione tipo (v. Figura 0-5).

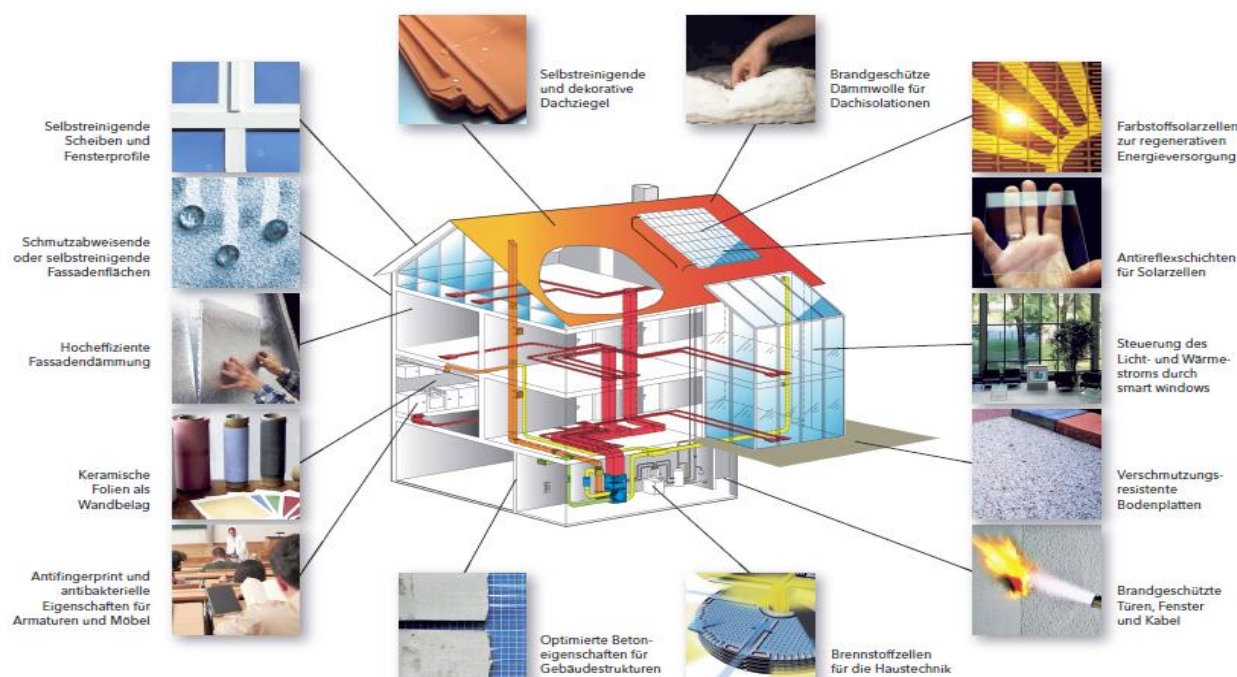


Figura 0-5 Veduta schematica di un'abitazione tipo odierna, con indicazione di dove è possibile trovare nanoprodotto¹⁴.

Nelle risposte all'inchiesta 2009, come nanoprodotto sono indicati essenzialmente cementi e calcestruzzi, rivestimenti e materiali isolanti. Ciò trova riscontro con quanto emerso dai colloqui approfonditi: cementi, calcestruzzi e rivestimenti rappresentano probabilmente la quota di mercato più grande dei nanoprodotto nell'industria delle costruzioni, seguiti dai materiali isolanti. Un ulteriore riscontro è dato dalle risultanze dell'esauriente ricerca nella letteratura condotta nel quadro della presente relazione. Di conseguenza, è stato deciso di puntare i riflettori su cementi, calcestruzzi, rivestimenti e materiali isolanti. In tale ambito, le nanoparticelle più menzionate sono polimeri di fluoruro di carbonio (CF-), biossido di titanio

¹¹ Comunicazione personale.

¹² Da 20 milioni di dollari statunitensi (dati del 2007) a ~ 400 milioni di dollari entro la fine del 2017; Freedonia Group Inc. *Nanotechnology in Construction* – ID pubbl.: FG1495107; 1 maggio 2007.

¹³ Cfr. "Nanotechnology and Construction 2006"; www.hessen-nanotech.de

¹⁴ Dall'opuscolo "Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen" pubblicato da HA Hessen Agentur 2007, fonti: Schrag GmbH VDI TZ.

(TiO₂), ossido di zinco (ZnO), silice (o fumi di silice; SiO₂), argento (Ag) e ossido di alluminio (Al₂O₃). È interessante notare che non è stato riscontrato alcun uso di nanotubi di carbonio (CNT) in questi prodotti, benché da numerose pubblicazioni risulti che la ricerca e sviluppo stia andando in questa direzione.

I polimeri di fluoruro di carbonio (CF-) sono molecole come il Teflon depositate su una superficie per renderla idro/oleorepellente. Applicazioni tipiche nel settore del vetro.

Il biossido di titanio (TiO₂) assorbe la luce ultravioletta ed è utilizzato come strato protettivo con la degradazione da UV. Alcune forme di TiO₂ sono fotocatalitiche e catalizzano la degradazione di inquinanti organici come alghe, IPA, formaldeide e NO_x (ossidi di azoto) sotto l'influsso della luce ultravioletta. Si ritrovano applicazioni per ogni tipo di superficie che deve essere protetta dagli ultravioletti, essere resa autopulente o contribuire alla riduzione dell'inquinamento atmosferico.

L'ossido di zinco (ZnO) possiede caratteristiche fotoattive analoghe a quelle del TiO₂ e può essere utilizzato in applicazioni simili.

I fumi di silice (SiO₂ amorfa) compattano il calcestruzzo, migliorandone la robustezza e la durata in condizioni alcaline presenti, per esempio, negli ambienti marini. Possono essere aggiunti al calcestruzzo per stabilizzare additivi come le ceneri leggere, a un rivestimento per ottenere una matrice robustissima o utilizzati come sostanza ignifuga. Tipiche applicazioni sono i calcestruzzi UHPC (Ultra High Performance Concrete), i rivestimenti antigraffio e i vetri resistenti al fuoco.

L'argento (Ag) agisce da battericida e può essere aggiunto a ogni sorta di materiali. Nell'edilizia lo si ritrova essenzialmente nei rivestimenti. In realtà, l'attività antibatterica è effettuata dagli ioni d'argento che si formano quando l'argento viene disciolto in acqua.

L'ossido d'alluminio (Al₂O₃) è utilizzato nei rivestimenti per interagire con il materiale legante, migliorando le proprietà antigraffi del rivestimento.

3.2 Cementi, calcestruzzi e malte bagnate

Per i calcestruzzi, la difficoltà di una proficua applicazione della nanotecnologia sta nel fatto che è già possibile ottenere ottime prestazioni a bassi costi¹⁵. Uno degli aspetti in cui la nanotecnologia sembra essere preziosissima, ora e per l'immediato futuro, è nello studio (e relativa ottimizzazione grazie alle migliori conoscenze) delle proprietà dei materiali¹⁶.

Le nanoparticelle utilizzate nei cementi e calcestruzzi si concentrano nel TiO₂ e nei fumi di silice. Questi additivi, però, sono utilizzati in piccole quantità o in un sistema a due strati; inoltre, per via delle spese connesse, sono utilizzati soltanto se richiesto esplicitamente per motivi prestazionali. Esempi di prodotti attualmente in commercio con una base di fumi di silice sono ChronoliaTM, AgiliaTM e DuctalTM della Lafarge e EMACO[®]Nanocrete della BASF¹⁷. Esempi di cementi fotocatalitici sono TioCem TX Active (Heidelberg Cement¹⁸), NanoGuardStone-Protect della Nanogate AG¹⁹, TX Arca e TX Aria (Italcementi), impiegati come leganti per un'ampia gamma di materiali di rivestimento destinati a pareti esterne,

¹⁵ NICOM3, lavori della conferenza 2009.

¹⁶ Varie presentazioni e comunicazioni private con numerosi scienziati, accademici e aziendali, durante il NICOM3, Praga 2009.

¹⁷ In base alle informazioni fornite dall'azienda, il materiale iniziale era dato effettivamente dai fumi di silice, agglomerati poi durante il processo di produzione a particelle di dimensioni maggiori.

¹⁸ In base alle informazioni fornite dall'azienda, il TiO₂ in questo prodotto non è "nano" ma leggermente più grande, ossia nell'intervallo delle dimensioni micron.

¹⁹ <http://www.nanogate.de/en/>

gallerie, pavimentazioni in calcestruzzo, lastricati, mattonelle, tegole, pitture per segnaletica stradale, pannelli in calcestruzzo, intonaci e vernici cementizie²⁰.



Figura 0-6 A sinistra: la linea EMACO[®] NanoCrete. A destra: la chiesa del Giubileo a Roma, uno dei successi citati con maggiore frequenza per i cementi fotocatalitici con aggiunta di TiO₂. Materiale: TX Active (TX Arca) del gruppo Italcementi.

Nessuna indicazione effettiva sull'uso di cemento armato con CNT. Le ragioni addotte sono gli alti costi dei CNT e la difficoltà di disperderli nella matrice. Tuttavia, lo studio delle possibilità applicative dei CNT nel cemento è un settore di ricerca molto attivo.

I rigorosi criteri qualitativi fanno sì che lo sviluppo di un materiale richieda di norma dai 5 ai 10 anni. Nell'immediato, si prevedono sviluppi nel campo dei fumi di silice per stabilizzare i cementi contenenti significative frazioni di aggregati riciclati¹⁵ e additivi incorporati per ottimizzare il processo di indurimento.

3.3 Rivestimenti e vernici

Fra tutti i nanoprodotto immessi nell'edilizia, sinora probabilmente sono i rivestimenti e le vernici a essersi conquistati con maggior successo una posizione nel mercato: *"Ammesso di trovare un nanoprodotto in un cantiere medio, sarà molto probabile che si tratti di una nanovernice o un nanorivestimento"*^{21, 22}. I rivestimenti decorativi fanno registrare una maggiore presenza, ma nono stati trovati anche rivestimenti ad alte prestazioni, per esempio per i pavimenti industriali. La nanotecnologia viene applicata a vernici e rivestimenti per i seguenti motivi:

1. le nanoparticelle hanno una migliore interazione con il sottofondo rispetto alle particelle più grandi, con maggiore penetrazione, migliore copertura o migliore interazione rivestimento-sottofondo, e assicurano una maggiore durata della copertura;
2. le nanoparticelle sono trasparenti alla luce visibile;
3. la trasparenza autorizza l'uso di nuovi additivi che conferiscono nuove caratteristiche a rivestimenti altrimenti non trasparenti, per esempio resistenza UV o ai graffi, assorbimento o riflessione degli infrarossi, resistenza al fuoco, conducibilità elettrica e proprietà antibatteriche o autopulenti.

Tutto ciò viene immesso nello sviluppo dei nuovi sistemi di rivestimento per praticamente ogni superficie immaginabile, dalla plastica all'acciaio. Nell'ambito del gruppo dei nanorivestimenti, sono messi in risalto soprattutto i rivestimenti antibatterici (aggiunta di

²⁰ <http://www.italcementigroup.com/ENG/Italcementi+Group/>

²¹ Comunicazione personale.

²² <http://www.soci.org/Chemistry-and-Industry/Cnl-Data/2009/16/Nanocoatings-incognito>

TiO₂, ZnO o Ag), fotocatalitici “autopulenti” (TiO₂ o ZnO), per assorbimento o riflessione di ultravioletti e infrarossi (TiO₂ o ZnO), ignifughi (SiO₂) e antigrassi (SiO₂ o Al₂O₃). Queste funzionalità sono in genere applicate ai rivestimenti per pareti (interne o esterne), facciate di legno, vetro e diversi materiali destinati alla pavimentazione stradale.

Pitture murali fotocatalitiche, antibatteriche e autopulenti

Le nanopitture murali più segnalate sono commercializzate per le loro proprietà fotocatalitiche, antibatteriche o autopulenti. Esempi di rivestimenti autopulenti e fotocatalitici sono la vernice professionale per interni Arctic Snow della Arctic Paint LTD (TiO₂), Cloucryl della Alfred Clouth Lack-fabrik GmbH&Co KG²³ (ZnO) e Amphisilan della Caparol²⁴. Un esempio di rivestimento antibatterico basato su nano-argento è Bioni Hygienic della Bioni CS GmbH (v. anche Figura 0-7)²⁵. Un rivestimento facile da pulire, idrorepellente e oleorepellente, è Fluowet ETC100 (con una base di polimeri CF) della Clariant.



Figura 0-7 Rivestimento murale antimicrobico contenente particelle nanometriche di argento, per uso in cliniche e ospedali.

Nanorivestimenti per superfici lignee

I nanorivestimenti per i prodotti in legno sono destinati per lo più a pareti e facciate (per esterni), ma anche ai parquet e ai mobili (per interni), e nello sviluppo ci si concentra essenzialmente sugli aspetti dell'idrorepellenza (in misura minore, oleorepellenza), della resistenza ai graffi e della protezione contro gli ultravioletti. Nonostante sul mercato sia possibile reperire diversi prodotti, sussiste un certo scetticismo circa la resistenza (durata) di alcuni dei prodotti di prima generazione, soprattutto per quanto riguarda le qualità idrorepellenti e di protezione dagli ultravioletti²⁶. Di conseguenza, per i rivestimenti di nuova generazione è molto più difficile affermarsi, e scarseggiano le applicazioni nei cantieri.

BYK Additives & Instruments²⁷ è un esempio di azienda che pubblicizza la nuova generazione di rivestimenti protettivi contro gli ultravioletti. Questi metalli sono a base di sostanze organiche che assorbono gli UV²⁸ o di ossidi di metallo ZnO e CeO₂. Il TiO₂ è meno utilizzato per via della trasparenza e dell'azione fotocatalitica.

Esempi di lacche per legno contenenti nano-SiO₂ per migliorare la resistenza ai graffi sono Bindzil CC30 (Baril Coatings), Nanobyk 3650 (BYK Additives & Instruments) e Pall-X Nano

²³ http://www.clou.de/frontend_live/start.cfm

²⁴ Contenente TiO₂ in microscala per ragioni legate ai costi, e nano-SiO₂ per ottenere un'elevata resistenza ai graffi.

²⁵ <http://www.bioni.de/index.php?lang=en>

²⁶ Comunicazione personale con diversi fabbricanti di rivestimenti e con addetti del settore del legno.

²⁷ <http://www.byk.com>

²⁸ Vale a dire idrossifenilbenzotriazoli, idrossibenzofenoni, idrossifenil-S-tiazine o anilidi ossalici.

(Pallmann). Nanobyk 3600 (BYK Additives & Instruments) è un esempio di rivestimento antigraffio basato sull'aggiunta di nanoparticelle di Al_2O_3 .

In modo diverso dai fattori di usura esterni come gli UV o i graffi, per il legno va considerato il sanguinamento di sostanze chimiche complesse come i tannini che, nel tempo, scoloriscono la superficie del legno. Il processo può essere rallentato trattando tale superficie con un rivestimento contenente nanoargilla (ossia idrotalcite $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; Nuplex). Anche i prodotti di questa linea sono prodotti dalla BYK.

I nanorivestimenti che proteggono il legno da acqua e olio sono, p. es., 2937 GORI Professional Transparent commercializzato dall'azienda danese Dyrup²⁹, Percenta Nano Wood & Stone Sealant³⁰ (protezione di materiali lignei e lapidei da acqua e olio, per lo più a base di polimeri CF), Pro-Sil 80 della NanoCer³¹ e Nanowood della Nanoprotect³². Fra questi rivestimenti, tuttavia, alcuni sono a base di 'micelle' nanometriche di grasso in acqua; benché siano prodotte mediante nanotecnologia, le micelle non devono essere considerate nanoparticelle e di conseguenza tali rivestimenti non possono essere definiti nanorivestimenti.

Nanorivestimenti per vetro

Nel settore dei rivestimenti per vetro, oltre alle proprietà autopulenti, fotocatalitiche, termoresistenti, antiriflessione e anti-fogging (appannamento, condensazione), sono in corso interessanti sviluppi nel controllo del clima interno (blocco degli infrarossi e della luce visibile). Si riscontrano soluzioni sia (re-) attive che passive, queste ultime in forma di sottili pellicole che agiscono in permanenza³³. Le soluzioni attive per il controllo del clima interno fanno uso delle tecnologie termocromica, fotocromica o elettrocromica, le quali reagiscono rispettivamente alla temperatura, all'intensità luminosa o alla tensione applicata modificando il livello di assorbimento della luce infrarossa per mantenere fresco l'edificio. Fra queste, l'elettrocromia è l'unica tecnologia che consente la regolazione manuale. Mediante l'attivazione di una tensione sul vetro, effettuata sfiorando l'equivalente di un interruttore elettrico, lo strato in ossido di tungsteno applicato sulla superficie del vetro diventa più opaco e assorbe una maggiore quantità di luce infrarossa (v. p.es. Figura 0-8).



Figura 0-8 (sin.) Le facciate in vetro per edifici sono un terreno ideale di innovazione nanotecnologica per il vetro elettrocromico (destra) nell'industria delle costruzioni.

²⁹ www.dyrup.com

³⁰ <http://en.percenta.com/nanotechnology-wood-stone-sealing.php>

³¹ <http://www.intelcoats.com/nanop%20Indnanocer%20engl.html>

³² <http://www.nanoprotect.co.uk/wood-protection.html>

³³ Esempi di aziende che pubblicizzano prodotti di questo tipo sono Econtrol®-Glas GmbH & Co, 3M e Saint-Gobain.

3.4 Nanotecnologia e infrastrutture

Nel campo della sostenibilità e del controllo dell'inquinamento ambientale, la R&S studia la possibilità di ridurre l'inquinamento atmosferico dovuto alle emissioni da autoveicoli utilizzando un'infrastruttura attivata da TiO_2 . A tale scopo, sono stati sviluppati prodotti come i lastricati in calcestruzzo NOxer^{®34} e gli asfalti cementizi KonwéClear³⁵ (v. Figura 0-9). Ma anche altre aziende, come ItalCementi e Heidelberg Cement, producono per questo scopo materiali in forma di mattoni, blocchi, pannelli, piastrelle e barriere fonoassorbenti.



Figura 0-9 Da sinistra a destra: marciapiede lastricato di NOxer[®] (Giappone), elementi di rivestimento e pavimentazione TX Aria per gallerie (Italcementi), una strada in KonwéClear (Bouwend Nederland Podium 22, 14 dic. 2006).

3.5 Materiali isolanti

Fra i nanoprodotto utilizzati nell'industria delle costruzioni, i materiali isolanti sono un po' fuori dell'ordinario in quanto spesso non contengono nanoparticelle ma sono realizzati con una nanoschiama (o aerogel) formata da nanobolle o nanofori. Questa differenza è molto importante, soprattutto dal punto di vista della salute sul luogo di lavoro, poiché sottintende che lavorando con questo materiale non bisogna attendersi rischi per la salute *specifici alla nanotecnologia*.

I materiali isolanti nanoporosi come gli aerogel e determinate nanoschiume polimeriche possono avere un'efficacia 2 – 8 volte superiore a quella dei tradizionali materiali isolanti (Figura 0-10). Gli aerogel termoisolanti riscontrati oggi sono per lo più a base di silice o carbonio, e circa il 96% del loro volume è costituito da aria³⁶. Un esempio è il mantello isolante in gel nanoporoso Insulair[®] NP della Insulcon B.V.³⁷ (Figura 0-10), flessibile e appositamente progettato per applicazioni a temperature estreme.



Figura 0-10 Da sinistra a destra: migliore isolamento grazie a materiali a base di aerogel; aerogel: nanopori sotto vuoto in una matrice SiO_2 ³⁸; mantelli isolanti nanoporosi flessibili della Insulcon B.V. (2x).

³⁴ <http://www.eurovia.com/en/produit/136.aspx>

³⁵ <http://hbo-kennisbank.uvt.nl/cgi/av/show.cgi?fid=3698>

³⁶ <http://en.wikipedia.org/wiki/Aerogel>

³⁷ http://www.insulcon.com/page/products/Microporous_and_Nanoporous_products.htm

³⁸ <http://www.spaceflightnow.com>

Alcuni altri prodotti di questo settore sono Roof Acryl Nanotech (a base di legante poliuretanico nanostrutturato combinato con uno strato superiore in ossido di ferro fotocatalitico)³⁹ della BASF e Relius Benelux per la protezione dei tetti da caldo e freddo, PCI Silent della BASF per l'isolamento acustico, Spaceloft (appositamente progettato per l'industria delle costruzioni) e Pyrogel XT della Aspen Aerogels⁴⁰ a base di struttura nanoporosa in silice, Pyrogel XTF e Pyrogel 2250 della Aspen Aerogels a base di struttura nanoporosa in silice appositamente progettata per un'eccezionale protezione contro il fuoco, Cryogel Z della Aspen Aerogels a base di struttura nanoporosa in silice appositamente progettata per un eccezionale isolamento contro il freddo.

³⁹ <http://www.relius.nl/ViewDocument.asp?DocumentId=419&MenuId=90&MenuLabel=News>

⁴⁰ <http://www.aerogel.com/>

4. Rischi per la salute

4.1 Introduzione

Aumentano le indicazioni sul fatto che i nanomateriali potrebbero essere, per gli esseri umani, più rischiosi dei corrispondenti materiali in microscala. Tuttavia, va messo in evidenza il termine '*potrebbero*' poiché a tutt'oggi (2009), le conoscenze sono troppo limitate per poter generalizzare. Quando si lavora con questi materiali, è di conseguenza consigliabile procedere con un approccio precauzionale. I due fattori principali che influiscono sulla tossicità dei nanomateriali sono le *dimensioni* e la *forma*.

Le dimensioni ridotte delle nanoparticelle (siano queste bidimensionali, nanorod o nanobastoncini, o tridimensionali, nanoparticelle) generano un diverso comportamento delle proprietà elettroniche che trova riscontro nella loro reattività chimica, più aggressiva nei confronti del normale funzionamento del corpo umano. Per esempio, molti dei nanomateriali studiati provocano effetti infiammatori più marcati (tramite un meccanismo denominato stress ossidativo), si ammassano o fissano con più efficacia su determinate parti del corpo impedendone la corretta funzionalità. Ma soprattutto, a causa delle piccole dimensioni, la loro superficie è relativamente più ingrandita rispetto al volume (e alla massa) particellare, di modo che la reattività per unità di massa è di gran lunga maggiore.

Le ridotte dimensioni e la modifica delle proprietà elettroniche influiscono anche sul comportamento fisico. Ecco alcuni esempi:

- le nanoparticelle possono essere talmente piccole da comportarsi come gas;
- le nanoparticelle possono essere talmente piccole da penetrare con più profondità nei polmoni ed essere più facilmente assorbite nel sangue;
- diversamente da quasi tutte le altre sostanze chimiche, possono essere assorbite dai nervi nasali e "facilmente" trasportate al cervello umano⁴¹;
- alcune nanoparticelle potrebbero riuscire ad attraversare la placenta e raggiungere il feto⁴²;
- in virtù delle dimensioni e delle proprietà superficiali, le nanoparticelle possono raggiungere punti (cellule, organi) del corpo umano che invece sono ben protetti contro l'invasione delle forme di maggiori dimensioni;
- inoltre, in virtù delle dimensioni e delle caratteristiche superficiali, penetrano più facilmente nella pelle degli esseri umani, rispetto alle forme di maggiori dimensioni, in particolare se la cute è lievemente danneggiata (lesionata, secca, scottata dal sole, scorticata).

La tossicità dei materiali può dipendere, oltre che dalle dimensioni, anche dalla forma specifica delle nanoparticelle. Per esempio, laddove le particelle possono essere relativamente non tossiche, i nanorod (nanobastoncini) possono invece comportarsi come aghi, e perforare i tessuti umani. Così come è possibile osservare nanoparticelle che (grazie alla forma e alle caratteristiche superficiali) riescono a superare specifiche barriere umane.

⁴¹ Oberdorster G. e. a., 2004, Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. *Inhalation Toxicology* 16 (6-7): 437-445.

⁴² Hagens W.I. e. a. 2007, What do we (need to) know about the kinetic properties of nanoparticles in the body? *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 49: 217-229.

Altri fattori che sono apparsi importanti nel determinare rischi per la salute tipici della nanotecnologia sono lo stato di aggregazione e ammassamento del materiale e la sua morfologia (amorfa o cristallina) che influiscono rispettivamente sulle possibilità effettive di rimanere esposti ai materiali nanometrici e sull'intensità dei potenziali rischi di questi materiali. A prescindere dai rischi sostanziali, tuttavia, il fattore chiave degli eventuali rischi per la salute generati da nanoprodotto o nanomateriali è la possibilità di esposizione.

4.2 Vie di esposizione

Quando si parla di esposizione alle nanoparticelle, per i lavoratori edili si intende in primo luogo (e quasi senza eccezione alcuna) esposizione ai nanoprodotto. Ciò incide sull'esposizione effettiva del lavoratore alle nanoparticelle del prodotto. Per esempio, se un lavoratore inala polveri contenenti nanoparticelle, il dosaggio effettivo di nanoparticelle a cui rimane esposto il lavoratore dipende dalla solubilità delle polveri. Se le polveri sono insolubili, una parte delle nanoparticelle rimarrà incorporata nella matrice e l'esposizione riguarderà solo le nanoparticelle esposte alla superficie dei granelli di polvere. Se invece le polveri sono solubili, vi sarà esposizione a tutte le nanoparticelle contenute dai granelli.

Considerati i prodotti utilizzati in genere dai lavoratori edili e le attività che essi svolgono quotidianamente, gli eventuali rischi per la salute riguarderanno con maggiore probabilità l'esposizione per inalazione di nanomateriali che generano polveri (tramite operazioni di taglio, smerigliatura, perforazione o lavorazione a macchina) o aerosol dalla verniciatura a spruzzo. Anche la penetrazione della cute può avere una funzione di rilievo (benché in misura di gran lunga inferiore) e assurgere a problematica se rimangono scoperte ampie parti del corpo⁴³. L'esposizione tramite ingerimento diretto non dovrebbe rappresentare un problema, purché siano rispettate le norme di igiene personale. L'esposizione dovuta a ingerimento secondario (derivante dall'inalazione di nanomateriali causata dai naturali meccanismi di pulizia delle vie respiratorie) è invece un rischio se si verifica l'inalazione.

Esposizione tramite inalazione

Una regola generale riguardo all'inalazione di polveri e aerosol: più sono piccole le particelle, più possono penetrare in profondità nei polmoni prima di depositarsi e, quindi, avere effetti più gravi sulla salute. Questi sono gli effetti tipici sulla salute osservati (NEAA 2005 e relativi riferimenti)⁴⁴:

- infiammazione delle vie respiratorie;
- bronchite;
- asma;
- effetti cardiovascolari.

⁴³ La cute è per tradizione ritenuta un'ottima barriera contro le particelle. Al momento, però, questa affermazione è messa in discussione da ricerche recenti, dalle quali emerge che specifiche nanoparticelle riescono a penetrare la pelle piegata (per esempio in corrispondenza del polso) o i tessuti cutanei intatti a seconda della loro natura chimica, delle dimensioni, della forma e della matrice con cui vengono a contatto della cute (Muller-Quernheim, 2003, <http://www.orpha.net/data/patho/GB/uk-CBD.pdf>; Tinkle e. a. 2003, *Environ. Health Perspect.* 111:1202-8; e Ryman-Rasmussen e. a. 2006 *Toxicol. Sci.* 91:159-65).

⁴⁴ NEAA 2005. Particulate Matter: a Closer Look, www.rivm.nl, Agenzia di valutazione ambientale olandese – PBL (NEAA - Netherlands Environmental Assessment Agency - nell'acronimo inglese), E. Buijsman, J.P. Beck, L. van Bree, F.R. Cassee, R.B.A. Koelemeijer, J. Matthijssen, R. Thomas e K. Wieringa.

Per la nanoparticelle, tuttavia, questa regola generale non è più valida e una frazione importante di nanoparticelle inalate si deposita nel naso⁴⁵. Riguardo a ulteriori trasporti nel corpo, è stato osservato che alcune di queste nanoparticelle effettuano la traslocazione al sistema nervoso, ai tessuti cerebrali e ad altri organi, quali sangue, cuore e fegato, e al midollo spinale, dove possono avere effetti infiammatori che determinano effetti secondari a cascata sulla salute (Oberdorster e. a. 2004 e relativi riferimenti⁴¹; e per una più recente disamina dell'argomento, Politis e. a. 2008⁴⁶), come irritazione, infiammazione, morte cellulare, crescita cellulare eccezionale, danni al DNA e alterazioni ormonali (Donaldson e. a., 1996; Zang e. a., 1998).

4.3 Questioni relative alla salute e alla sicurezza di diverse nanoparticelle

Sussistono molte incognite sulla tossicità delle nanoparticelle, ma la ricerca prosegue e cominciano a essere disponibili i primi risultati. Sinora, CNT, TiO₂, SiO₂ e argento sono fra gli elementi meglio studiati.

Profili individuali di tossicità

I CNT hanno recentemente richiamato l'attenzione dei media per via di studi di tossicità dai quali emergono prime indicazioni di un comportamento simile a quello dell'amianto nel tessuto polmonare⁴⁷. Viene osservato tuttavia che la tossicità dipende dal rapporto lunghezza-diametro, dallo stato di ammassamento, dalle caratteristiche superficiali e dalla presenza di piccole impurità dei catalizzatori metallici⁴⁸.

Il TiO₂ può essere applicato sotto forma di anatasio o rutilo, la prima delle quali (per lo più utilizzata nelle applicazioni fotocatalitiche) viene in genere considerata più tossica⁴⁹. Il Consiglio internazionale sulla governance del rischio (IRGC) conclude che l'esposizione della pelle intatta al TiO₂ nanometrico non ha probabilmente effetti sulla salute umana⁵⁰, mentre invece potrebbero essercene per la penetrazione attraverso la cute lesionata⁵¹. Una panoramica completa degli effetti sulla salute è presentata dal NIOSH⁵². Il nano-TiO₂ può mostrare (in determinate condizioni) un potenziale genotossico e comporta effetti infiammatori all'inalazione. L'esposizione di lungo periodo al TiO₂ anatasio mostra altresì sintomi di effetti cancerogeni, danni al DNA e conseguenze sullo sviluppo del sistema

⁴⁵ ICRP 1995. Commissione internazionale per la protezione radiologica.

⁴⁶ Politis M., Pilinis C., Lekkas T.D. 2008. Ultra Fine Particles and Health Effects. Dangerous. Like no Other PM? Review and Analysis, *Global NEST Journal*. Vol. 10(3), pp. 439-452.

⁴⁷ Per esempio: Poland C.A., e. a. 2008, *Nature Nanotechnology*, Vol. 3, luglio 2008, p.223; Pacurari M. e. a. 2008 *Environmental Health Perspectives*, Vol. 116, N. 9, 1211; Kostaleros K. 2008., *Nature Biotechnology*, Vol. 26, N. 7, 774-776.

⁴⁸ Pulskamp K. e. a. 2006 *Toxicology Letters*, 168, 58-74; Wick P. e. a. 2007 *Toxicology Letters*, 168, 121-131.

⁴⁹ Sayes C.M. e. a. 2006 *Toxicol. Sciences* 92(1), 174-185.

⁵⁰ IRGC 2008. Risk Governance of Nanotechnology Applications in Food and Cosmetics, ISBN 978-2-9700631-4-8.

⁵¹ SCCP 2007. Opinion on the Safety of Nanomaterials in Cosmetic Products, adottato il 18 dicembre 2007.

⁵² NIOSH Draft 2005. Evaluation of Health Hazards and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide, *Draft Nov. 22, 2005*.

nervoso centrale del feto, suggerendo la possibilità di effetti reprotossici negli esseri umani⁵³.

La SiO₂ può essere amorfa o cristallina. Secondo l'IRGC^{54,55}, la nano-SiO₂ amorfa prodotta sinteticamente è idrosolubile, atossica e di norma viene trattata, per i fattori di rischio umano relativi alla tossicità, in maniera analoga alla polvere di silice amorfa non nanotecnologica. In base al metodo di produzione, però, la SiO₂ amorfa può essere contaminata con SiO₂ cristallina la quale, a seconda della frazione di cristallinità, incide sulla tossicità del campione complessivo. La silice cristallina è molto tossica ed è noto che l'esposizione professionale a questa sostanza provoca silicosi.

Si sa molto poco della tossicità del nanoargento per gli esseri umani. Wijnhoven e. a. (2009)⁵⁶ ha passato in rassegna le lacune conoscitive concludendo che, nonostante il normale argento sia relativamente atossico, il nano-Ag ingerito o inalato può entrare nel flusso sanguigno e arrivare al sistema nervoso centrale; qui gli effetti nocivi potrebbero essere più gravi rispetto ai possibili effetti causati dal normale argento. Uno dei motivi che porta a presupporre effetti più gravi è l'ampia superficie delle nanoparticelle; questa comporta il rilascio di una concentrazione relativamente più alta di ioni di argento disciolti (e reattivi).

Rischi dell'esposizione professionale

Sono disponibili poche informazioni per valutare i rischi dell'esposizione professionale alle nanoparticelle per i lavoratori edili. L'esposizione ai nanoproducti tramite inalazione di polveri o aerosol è un fatto ovvio, in una certa misura. La valutazione è molto meno ovvia quando si tratta dei rischi di esposizione a nanoproducti sottoposti a manipolazione o lavorazione. Qualche suggerimento iniziale può essere ricavato dai lavori di Vorbau e. a. (2009), Koponen e. a. (2009) e Kaegi e. a. (2008)⁵⁷. Il primo studio dimostra che l'aggiunta di nanoparticelle a un rivestimento non deve comportare una maggiore usura della risultante pellicola di rivestimento. Il secondo studio dimostra che la smerigliatura dei rivestimenti studiati non genera nanoparticelle (anche se le dimensioni delle polveri prodotte sono considerate rientrare nella scala micron) e che, invece, nelle particelle ultrafini dalla smerigliatrice predomina l'emissione di particelle <50 nm. Il terzo studio riporta indicazioni sul fatto che il nano-TiO₂ non viene rilasciato da un rivestimento essiccato; entra tuttavia nell'ambiente quando si "separa" dal materiale legante durante l'usura. Tali primi risultati in questa direzione sembrano promettenti, nel senso che non è stato osservato un "puro e semplice" rilascio di nanoparticelle. I lavori su questo argomento sono però ancora troppo limitati per trarre ulteriori conclusioni sui rischi generali dell'esposizione alle nanoparticelle quando si utilizzano nanoproducti. E le conoscenze sono scarse anche per poter estrapolare le conclusioni di Koponen, Vorbau e Kaegi e valutare così i rischi dell'esposizione ad altri tipi di nanoparticelle, rispetto a quelle oggetto degli studi.

⁵³ Simizu M et al. 2009 *Part. Fibre. Toxicol.* Vol 6, 20; Bhattacharya K et al. 2008 *Part. Fibre. Toxicol.* Vol 6, 17

⁵⁴ International Risk Governance Council, 09-2008; ISBN 978-2-9700631-4-8.

⁵⁵ Merget R. e. a. 2002 *Arch. Toxicol.* 75:625.

⁵⁶ Wijnhoven S.W.P. e. a. 2009 *Nanotoxicology*, 1-30.

⁵⁷ Vorbau M. e. a. 2009 *Aerosol Science* 40:209-217; Koponen I.K. e. a. 2009 *Journal of Physics Conference Series*, 151, 012048; Kaegi R. e. a. 2008. *Environ. Pollut.* doi:10.1016/j.envpol.2008.08.004.

4.4 Possibili approcci per un uso sicuro dei nanoprodotto

Per organizzare un luogo di lavoro sicuro occorrono precisi elementi utili sulla natura dei possibili pericoli delle nanoparticelle e sul loro comportamento quando sono utilizzati i prodotti che le contengono. Come è stato fatto notare, tuttavia, le conoscenze effettive sulle proprietà tossicologiche delle nanoparticelle (al 2009) sono piuttosto limitate. Lo stesso vale per il possibile rilascio di nanoparticelle dai nanoprodotto durante l'uso, la pulizia o la manutenzione. Ciò rende più complicato effettuare una valutazione affidabile dei rischi. Nondimeno, l'uso di nanoprodotto nell'industria delle costruzioni è ormai una realtà e nell'immediato futuro dovrebbe aumentare, richiedendo così un approccio responsabile che ci consenta di apprendere dal dibattito europeo sulle nanotecnologie⁵⁸. L'approccio precauzionale discusso in tale sede può essere considerato una strategia per affrontare le incertezze in maniera attenta, ragionevole e trasparente, appropriata alla situazione, e che andrebbe attuata nel contesto della politica sulle condizioni di lavoro (nel quadro della valutazione del rischio e del relativo piano d'azione). In breve, questa strategia si presenta così (v. anche Tabella 0-2)

Riflettori sulle prime attività prioritarie

Come aiuto pratico per le aziende, è preferibile che siano sviluppate buone pratiche per i luoghi di lavoro nei quali potrebbe verificarsi l'esposizione alle nanoparticelle. Può tornare utile suddividere in categorie le nanoparticelle in funzione dei rischi associati, così da determinare le attività sulle quali concentrarsi e la serietà delle misure da adottare. A tale scopo, può essere utilizzato come base un semplice sistema di tre categorie (con pericoli previsti in ordine decrescente da I a III)⁵⁹:

- I nanoparticelle fibrose insolubili (lunghezza > 5 µm);
- II nanoparticelle note per essere cancerogene, mutagene, asmogene o una tossina riproduttiva, nella loro forma molecolare o in particelle più grandi;
- III nanoparticelle insolubili o scarsamente solubili (non appartenenti a una delle due precedenti categorie).

La raccomandazione generale è di evitare l'esposizione tramite inalazione o contatto con la pelle. Per l'industria delle costruzioni, le attività prioritarie comprendono smerigliatura, perforazione, miscelazione, lavorazione a macchina, taglio

Tabella 0-2 Elementi costitutivi di un approccio precauzionale

Elementi costitutivi di un approccio precauzionale alla nanotecnologia	
•	Nessun dato --- nessuna esposizione
	- Impedire l'esposizione in conformità alla strategia per l'igiene nel luogo di lavoro (compresa l'eventuale sostituzione di nanoparticelle potenzialmente molto pericolose).
	• Notifica della composizione dei nanoprodotto per fabbricanti e fornitori
	- Dichiarazione del contenuto "nano" del prodotto attraverso la catena di produzione.
	- Dichiarazione del contenuto "nano" del prodotto a un'amministrazione centrale, in forma di banca

⁵⁸ V. in particolare la relazione consultiva del SER (Consiglio economico-sociale olandese): *"Nanoparticles in the Workplace, health and safety precautions"*, 2009 Sociaal Economische Raad, L'Aia, Paesi Bassi. In parte, l'approccio precauzionale consigliato si basa su questa relazione consultiva.

⁵⁹ BSI 2007 (31 dicembre), "Documento pubblico" PD 6694-2:2007, "Nanotechnologies -- Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials." In questo documento è inserita una quarta categoria - le nanoparticelle solubili - che però tralasciamo poiché in questa sede l'attenzione è principalmente sulle nanoparticelle insolubili.

dati.

- Registrazione dell'esposizione per il luogo di lavoro
 - Analoga alla registrazione di cancerogenicità per le nanofibre e i nanomateriali CMR.
 - Analoga alla registrazione di reprotossicità per altri nanomateriali non solubili.
- Comunicazione trasparente dei rischi
 - Informazioni sulla scheda MSDS in merito ai nano-rischi noti, alla loro gestione e alle lacune conoscitive.
 - Richiesta di Chemical Safety Report – rapporto sulla sicurezza chimica della sostanza (REACH) per le sostanze >1 ton/anno/azienda.
- Origine dei valori di riferimento nanotecnologici o dei nano-OEL
 - Per le nanoparticelle che potrebbero essere rilasciate nel cantiere edile.

e spruzzo di nanomateriali e nanoprodotto, nonché le operazioni di pulizia del luogo di lavoro e delle attrezzature utilizzate. Al fine di identificare le misure e impedire l'esposizione, è possibile ipotizzare la classica strategia per l'igiene nel luogo di lavoro, applicata alla nanoparticella.

Notifica per i nanoprodotto

I risultati dell'inchiesta 2009 e dei colloqui approfonditi portano alla conclusione che quasi tutti i lavoratori edili e i datori di lavoro non sono molto consapevoli o ben informati circa i nanoprodotto che potrebbero utilizzare. Pertanto, come potrebbero condurre un'adeguata valutazione del rischio?

La disponibilità di informazioni viene al primo posto; sul mercato stanno aumentando le richieste per definire un certo obbligo di notifica (p.es. nei Paesi Bassi (SER), in Francia e in Svizzera). La notifica serve in particolar modo per i nanoprodotto che presentano i maggiori pericolosi e rischi. Le schede di sicurezza dei materiali (MSDS) possono servire a trasferire i dati dal fabbricante all'utente dei prodotti. Un'azione possibile a datori di lavoro e lavoratori edili consiste nel fare riferimento a tali iniziative e richiedere attivamente informazioni esplicite sul contenuto di nanoparticelle nei prodotti utilizzati e sulle misure precauzionali da adottare per evitare i possibili effetti nocivi per la salute derivanti dall'esposizione alle nanoparticelle.

Valori di riferimento nanotecnologici

In condizioni normali, gli OEL (limiti di esposizione professionale) indicano il livello di esposizione al di sotto del quale il lavoro può essere considerato sicuro. Per le nanoparticelle, tuttavia, questi limiti non esistono. I *valori di riferimento nanotecnologici* (NRV), definiti valori limite precauzionali di esposizione derivati dall'uso di un approccio precauzionale, possono fornire una soluzione provvisoria sino alla definizione di OEL specifici. Un esempio sono i "*livelli di esposizione benchmark*" mostrati nella Tabella 0-3 (ricavati da BSI 2007)⁵⁹.

Tabella 0-3 Classificazione del rischio delle nanoparticelle insolubili e valori di riferimento nanotecnologici

Cat.	Descrizione	NRV	Osservazioni
I	Fibrose; nanomateriale a elevato livello di insolubilità ^a	0,01 fibre/ml	Analogia con le fibre di amianto
II	Un qualsiasi nanomateriale già classificato, nella sua forma molecolare o in particelle più grandi, come cancerogeno, mutageno, tossico per la riproduzione o con capacità sensibilizzante (CMR)	0,1 x OEL esistente per la forma molecolare o in particelle più grandi	Il tasso potenzialmente maggiore di scioglimento di questi materiali in forma di nanoparticelle potrebbe portare a una maggiore tolleranza biologica. Di conseguenza viene introdotto un fattore di sicurezza di 0,1.
III	Nanomateriali insolubili o scarsamente solubili, e non rientranti nelle categorie precedenti (particelle fibrose o CMR)	0,066 x OEL esistente per la forma molecolare o in particelle più grandi	Analogamente a NIOSH ⁶⁰ , è consigliato un fattore di sicurezza di 0,066 (=15x inferiore). Un livello di riferimento alternativo può essere: 20.000 particelle/ml, differenziato dalla concentrazione ambientale di particelle.

^a Una fibra viene definita come una particella con un rapporto d'aspetto >3:1 e una lunghezza superiore a 5000 nm.

Registro delle imprese e registrazione dell'esposizione

Un altro modo possibile per attuare un approccio precauzionale, come proposto dal SER olandese, consiste nello stabilire un sistema di registrazione dell'esposizione nelle imprese che utilizzano nanoprodotto contenenti le nanoparticelle più pericolose (cioè quelle delle categorie I e II). Per il lavoratore edile in cantiere sarà difficile giudicare se, e in quali circostanze, il monitoraggio dei rischi per la salute e la sicurezza è appropriato e utile. In assenza di conoscenze specifiche, viene suggerito che nel registro di esposizione (un sistema che potrebbe essere elaborato sulla falsariga dell'attuale pratica relativa alle sostanze CMR e asbestiformi) sia annotato quanto segue: la persona (specificando quali dipendenti) che è (o potrebbe essere) stata esposta a quale sostanza (specificando le nanoparticelle), con indicazioni di tempo (per quale periodo di tempo) e luogo (dove e in quali circostanze). Questo tipo di registrazione può essere adatto alle prassi commerciali delle piccole imprese e potrebbe permettere di rintracciare le persone suscettibili di essere rimaste esposte, nonché di valutare la portata dell'esposizione qualora in futuro si comprovi la pericolosità di un particolare nanomateriale o vi sia un determinato effetto sulla salute.

Control Banding

Un altro sistema per affrontare pericoli ignoti in un'attività e un ambiente di lavoro specifici, e valutare in modo pragmatico e precauzionale i potenziali rischi sul posto, consiste nell'uso del cosiddetto metodo di Control Banding (CB). Esistono diversi metodi CB, utilizzati dalle PMI di tutto il mondo (v. Tischer e. a. 2009 e i relativi riferimenti⁶¹). Il CB consiglia di prendere misure di protezione generali in funzione dei corrispondenti pericoli del materiale, dell'impolveramento e delle nano-caratteristiche quali dimensioni, forma e reattività

⁶⁰ In base all'approccio descritto da NIOSH per il nano-TiO₂ insolubile: NIOSH 2005, Draft NIOSH current intelligence bulletin: Evaluation of Health Hazard and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide, 22 novembre 2005.

⁶¹ Tischer M., Bredendiek-Kamper S., Poppek U., Packroff R. 2009. How Safe is Control Banding? Integrated Evaluation by Comparing OELs with Measurement Data and Using Monte Carlo Simulation, *Ann Occup. Hyg.* Vol. 53(5):449-462.

superficiale dei nanomateriali, della quantità di materiale utilizzato e della probabilità di esposizione. Un esempio di metodo CB è stato sviluppato da Paik e. a. (2008)⁶².

⁶² Paik S.Y., Zalk D.M., Swuste P. 2008. Application of a Pilot Control Banding Tool for Risk Level Assessment and Control of Nanoparticle Exposures. *Ann Occup. Hyg.* Vol. 52(6):419-428.

5. Opzioni per ulteriori attività a sostegno della sicurezza nel luogo di lavoro

Ad oggi, non si sa bene quali siano i rischi per la salute dovuti all'utilizzo, applicazione o lavorazione di nanoprodotto, e solo ora si sta iniziando ad averne una certa conoscenza. A tale scopo, occorrono i profili di salute e sicurezza delle nanoparticelle e dei rischi di esposizione a tali nanoparticelle che si corrono effettivamente utilizzando i prodotti. Tuttavia, il maggiore rapporto superficie-volume, le nuove proprietà elettroniche, la differente cinetica del trasporto, la trasformazione biologica e la reattività chimica modificata osservata in numerose nanoparticelle, rispetto all'omologo materiale macroscopico, fanno sospettare che le nanoparticelle potrebbero comportare rischi imprevisti e potenzialmente gravi per la salute. Questo fatto complica un adeguato processo di valutazione e gestione del rischio; ad oggi, non sono stati elaborati codici di condotta né buone pratiche che possano aiutare l'industria delle costruzioni ad affrontare tali incognite. Tuttavia, da quanto è dato conoscere circa l'utilizzo di sostanze chimiche (pericolose), è possibile definire misure precauzionali al fine di ovviare in modo responsabile alle incognite relative ai rischi che i nanoprodotto presentano per la salute. Questa strategia, in genere, è denominata approccio precauzionale. Un punto di partenza, in questo approccio, consiste nell'impedire l'esposizione a nanoparticelle adottando la strategia per l'igiene nel luogo di lavoro. Se l'esposizione viene evitata in modo efficace (qualora i dati sui pericoli siano insufficienti), allora si procede in linea con il principio REACH *niente dati--- niente mercato*. Nell'ambito di un approccio precauzionale, proponiamo i seguenti possibili elementi costitutivi in grado di contribuire a un luogo di lavoro sicuro:

- Nessun dato --- nessuna esposizione
 - Impedire l'esposizione in conformità alla strategia per l'igiene nel luogo di lavoro (compresa l'eventuale sostituzione di nanoparticelle potenzialmente molto pericolose).
- Notifica della composizione dei nanoprodotto per fabbricanti e fornitori
 - Dichiarazione del contenuto "nano" del prodotto attraverso la catena di produzione.
 - Dichiarazione del contenuto "nano" del prodotto a un'amministrazione centrale, in forma di banca dati.
- Registrazione dell'esposizione per il luogo di lavoro
 - Analoga alla registrazione di cancerogenicità per le nanofibre e i nanomateriali CMR.
 - Analoga alla registrazione di reprotossicità per altri nanomateriali non solubili.
- Comunicazione trasparente dei rischi
 - Informazioni sulla scheda MSDS in merito ai nano-rischi noti, alla loro gestione e alle lacune conoscitive.
 - Richiesta di Chemical Safety Report – rapporto sulla sicurezza chimica della sostanza (REACH) per le sostanze >1 ton/anno/azienda.
- Origine dei valori di riferimento nanotecnologici o dei nano-OEL
 - Per le nanoparticelle che potrebbero essere rilasciate nel cantiere edile.

A complicare ulteriormente la possibilità di effettuare un'adeguata valutazione del rischio è il fatto che, in molti casi, le informazioni specifiche alla nanotecnologia disponibili al produttore di materie prime si perdono lungo la catena degli utenti e solo una piccolissima parte arriva effettivamente ai lavoratori edili nei cantieri. Questa situazione può persino aggravarsi per i lavoratori edili che, per esempio, siano coinvolti in un progetto di ristrutturazione di una struttura contenente nanoprodotto (e questo perché il proprietario

della struttura può esserne assolutamente ignaro). Le autorità e i fornitori di nanomateriali hanno la possibilità di migliorare la situazione.

Tale compito richiederà una notevole elaborazione, in particolare alle PMI edili, al fine di rendere operative individualmente tali misure precauzionali; di conseguenza, è consigliabile sostenere la definizione di buone pratiche lavorative per un numero selezionato di attività ad alta priorità nelle quali vi siano forti probabilità di esposizione, per esempio quando si utilizzano nanorivestimenti e nanocementi/calcestruzzi, si effettua la spruzzatura di nanorivestimenti, si manipolano malte bagnate contenenti nanoparticelle, si lavorano a macchina i nanoprodotto (smerigliatura, perforazione, ecc.) o si effettuano gli interventi di pulizia e manutenzione delle attrezzature utilizzate in tali attività. Uno strumento potenzialmente utile allo sviluppo di queste buone pratiche è il metodo Control Banding. Questo metodo classifica il rischio in base alle conoscenze che abbiamo delle nanoparticelle, dell'omologo materiale in forma macroscopica, delle pratiche di lavoro e delle effettive condizioni di lavoro. Vengono quindi valutati il livello di potenziale pericolo e la probabilità di esposizione professionale, e associati a un livello di rischio da 1 a 4. In funzione del livello di rischio viene suggerita una strategia generale per la gestione del rischio, del tipo *'utilizzare metodi di ventilazione'*, *'indossare protezioni individuali'* o *'lavorare in un ambiente circoscritto'*.

Esistono attrezzature per misurare in tempo reale l'esposizione alle nanoparticelle nei luoghi di lavoro, ma sono in genere molto costose e difficili da utilizzare. Nei prossimi anni fanno commercializzati modelli portatili, di più facile utilizzo e più economici – già sviluppati – che permetteranno una maggiore diffusione di queste attrezzature. È ancora molto limitata la capacità di misurare l'esposizione individuale alle nanoparticelle nell'industria delle costruzioni. Le prime misurazioni da superfici lesionate verniciate con nanovernice non hanno potuto rilevare alcuna esposizione a nanoparticelle ingegnerizzate, ma vi erano limiti evidenti che non consentono di trarre conclusioni generali in merito all'esposizione alle nanoparticelle generate nei cantieri edili.