

RILIEVO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA IN ALCUNI SPAZI ESPOSITIVI DELLA GALLERIA NAZIONALE DELL'UMBRIA

CINZIA BURATTI*, FRANCO COTANA*, FABIO SCIURPI**

*Istituto di Energetica - Università degli Studi di Perugia, via G. Duranti 1-A/4, 06125 Perugia

** D.P.M.P.E. - Università degli studi di Firenze, Via S. Niccolò 89/a, 50125 Firenze

1. Introduzione

Nell'ambito dell'attività del Gruppo di Lavoro del Sottocomitato 5 dell'UNI-CTI "Qualità dell'aria negli ambienti museali", è stato elaborato un progetto di ricerca volto all'individuazione di un nuovo sistema per la valutazione della qualità dell'aria in ambienti adibiti alla conservazione ed esposizione di opere d'arte.

Il principio di funzionamento del sistema proposto è basato sull'analisi dello strato di corrosione (spessore, tipologia dei composti formati, etc.) che si produce su elementi metallici (coupons) dopo una loro esposizione nell'ambiente da esaminare.

La metodologia, particolarmente semplice ed economica, può essere utilizzata per stabilire il grado di inquinamento dell'aria relativamente al periodo di esposizione dei campioni metallici.

L'impiego di sistemi passivi quali i coupons metallici presenta numerosi vantaggi, quali la non aggressività nei confronti degli oggetti e delle persone, dal punto di vista della qualità dell'aria, l'indipendenza da impianti elettrici, l'assenza di rumori o vibrazioni, i costi contenuti rispetto ai sistemi di analisi convenzionale ed infine la possibilità di ottenere rapidamente una diagnosi qualitativa della situazione ambientale.

I limiti dell'applicazione di tali sistemi sono, d'altro canto, i seguenti: le lamine metalliche sono sensibili soltanto ad alcuni dei gas inquinanti presenti nell'aria, ed in particolare sono molto reattive ai gas acidi; non è possibile conoscere l'andamento nel tempo dello spessore di corrosione, nè ottenere un'analisi qualitativa e quantitativa dei gas presenti nell'ambiente; non è infine ancora del tutto nota la correlazione tra la corrosione dei metalli e gli effetti di degrado prodotti su diversi materiali (legno, ceramiche, affreschi, tele, ecc.).

La metodologia descritta è stata applicata ad una campagna di rilievi che ha interessato numerosi musei italiani; nel presente lavoro sono riportati i risultati dell'indagine sulle condizioni ambientali della Galleria Nazionale dell'Umbria di Perugia, dove è stato recentemente realizzato un nuovo impianto di condizionamento e filtrazione dell'aria.

La campagna di misure, della durata di 90 giorni consecutivi, è stata effettuata dall'11 novembre '95 al 10 febbraio '96, periodo particolarmente significativo per l'afflusso di

visitatori; i rilievi sono stati effettuati sia all'interno del museo, sia all'esterno, in quattro diverse postazioni.

Nel lavoro si espone la metodologia di misura e si effettua un'analisi dei risultati ottenuti; si esamina inoltre l'influenza che l'esposizione alla luce dei coupons provoca sulla corrosione, al fine di evidenziare eventuali correlazioni tra intensità della radiazione luminosa e prodotti della corrosione.

2. La Galleria Nazionale dell'Umbria

La Galleria Nazionale dell'Umbria, il museo statale più importante della Regione per quantità e qualità delle opere esposte, ha sede al terzo piano del Palazzo dei Priori, un edificio storico del XIII secolo, ubicato in una zona quasi esclusivamente pedonale, nel pieno centro della città di Perugia. La porzione di edificio che ospita il museo è stata recentemente restaurata e dotata di un impianto di condizionamento a tutt'aria.

L'orario di apertura del museo è il seguente: dal lunedì al sabato dalle 9.00 alle 13.30 e dalle 15.00 alle 19.00, la domenica ed i festivi dalle 9.00 alle 13.00. Durante il periodo delle prove si sono avuti 9314 visitatori.

L'atrio del Palazzo, accesso comune sia alla Galleria Nazionale dell'Umbria sia agli uffici del Municipio, è aperto dal lunedì al sabato dalle 7.00 alle 20.00 e la domenica ed i festivi dalle 7.00 alle 14.00; il numero di persone che vi transitano è stimabile in 600 unità al giorno, per un totale di circa 50.000 persone nel periodo di rilievo.

3. Metodologia di ricerca

La metodologia sperimentata per la valutazione dell'aggressività dell'ambiente sui beni artistici è basata sull'impiego di lamine di argento e rame, esposte per un tempo prestabilito negli ambienti dei quali si vuole analizzare la qualità dell'aria.

Detta metodologia è correntemente utilizzata per valutare l'aggressività dell'ambiente sulla strumentazione elettronica, secondo le indicazioni della ISA (Instruments Society of America) [3]. L'intento della campagna sperimentale promossa nell'ambito del Sottocomitato 5 dell'UNI-CTI è quello di estendere tale metodologia ad un fine diverso, ossia alla valutazione della qualità dell'aria negli ambienti museali. In particolare ci si propone di evidenziare gli effetti provocati dall'interazione di più inquinanti, non altrimenti rilevabile con le tradizionali tecniche di analisi, basate sulla misura della concentrazione dei singoli gas. L'effetto complessivo di degrado è infatti diverso dalla somma degli effetti dei singoli gas, e dipende inoltre dalle condizioni termoigrometriche e di illuminazione. Nella metodologia proposta, il potenziale corrosivo degli inquinanti presenti nell'aria è dedotto mediante:

- misura dello spessore del film di corrosione del coupon;
- analisi chimica dei prodotti delle reazioni.

Al fine di rendere uniformi i risultati, la misura dello spessore equivalente del film di corrosione è riferita ad un periodo normalizzato di trenta giorni, ed espressa in $\text{Å}/30 \text{ g}$.

Durante il periodo di prova, in corrispondenza dei coupons si sono rilevati con continuità temperatura e umidità relativa e i valori istantanei di illuminamento e potenza della radiazione luminosa.

Per ogni coupon è stata compilata una "scheda informativa", nella quale sono state raccolte informazioni sulle caratteristiche dell'ambiente, l'ubicazione del coupon e la tipologia degli oggetti conservati.

Al termine del periodo di esposizione, l'analisi in laboratorio dei coupons ha consentito di classificare gli ambienti monitorati secondo cinque classi di purezza dell'aria (si veda la Tab. 1).

Tabella 1 - Criteri di accettabilità della qualità dell'aria negli ambienti destinati alla conservazione ed esposizione di beni di interesse storico artistico

<i>Classe di purezza dell'aria</i>	<i>Denominazione</i>	<i>Spessore equivalente film di corrosione Cu (Å/30 giorni)</i>	<i>Spessore equivalente film di corrosione Ag (Å/30 giorni)</i>
Estremamente pura	C1/S1	<90	<40
Pura	C2/S2*	<150	<100
Pulita	C3/S3	<250	<200
Leggermente contaminata	C4/S4	<350	<300
Inquinata	C5/S5	>350	>300

*raccomandate per i musei

4. Descrizione dei sensori e condizioni sperimentali

Ogni coupon è costituito da un supporto in plexiglas, sul quale sono fissate due lamine metalliche, una in rame ed una in argento, della superficie di circa 15 cm², caratterizzate da una particolare lavorazione superficiale. Ciascun coupon è contraddistinto da un numero di serie.

Il posizionamento dei coupons e la scelta degli ambienti da monitorare sono stati effettuati secondo direttive comuni a tutti i musei coinvolti nell'indagine, al fine di consentire una comparazione dei risultati (zone non interessate da correnti d'aria né da sorgenti di calore, lontane dalla portata dei visitatori, ecc.).

Per ogni edificio si sono utilizzati sei coupons, ed in particolare: tre all'interno, in punti diversi, per un periodo di novanta giorni ciascuno; tre all'esterno, in uno stesso punto, per un periodo di trenta giorni ciascuno, in sequenza temporale.

Le condizioni ambientali consigliate per gli oggetti esposti nei locali oggetto dell'indagine sono riportate in Tabella 2; le caratteristiche di detti locali sono brevemente descritte nel seguito.

Tabella 2 - Sensibilità agli inquinanti e condizioni ambientali consigliate per gli oggetti contenuti negli ambienti monitorati [1, 4, 5, 7].

<i>Materiale</i>	<i>Tipo di danno principale</i>	<i>Inquinante</i>	<i>Fonti</i>	<i>E (lux)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>u.r. (%)</i>
Affreschi (dipinti murali)	Sgretolamento reazione acida	Ossido di azoto, ossidi di zolfo, anidride carbonica	Processi di combustione (traffico automobilistico)	N.R.	10 - 24	55 - 65
	Ossidazione		Processi industriali (combustione carbone) Sorgenti naturali			
	Corrosione	Sostanze Organiche Volatili (VOC)	Solventi, materiali per la pulizia			
Mobili in legno.	Infragilimento	Ozono	Sorgenti naturali (luce solare) Sorgenti artificiali (apparecchiature elettriche)	50	19 - 24	50 - 60
Sculture policrome in legno	Ossidazione	Ossido di zolfo	Fenomeni naturali Processi di combustione	150		
Ceramica dipinta	Corrosione	Acido cloridrico, acido fluoridrico	Solventi materiali di consumo per la pulizia	N.R.	N.R.	N.R.

N.R. = non rilevante

4.1. Cappella dei Priori (sala 7 coupon n. 2139, si vedano le fig. 1 e 2)

La Cappella dei Priori è uno dei vani più antichi del Palazzo ed è ornata, nella parte superiore delle pareti, da pregevoli affreschi di Benedetto Bonfigli, in ottimo stato di conservazione. Sono inoltre presenti mobili in legno intarsiato e sculture in legno policromo di origine orientale, tutti in ottimo stato di conservazione. Il pavimento, in maiolica decorata, è coperto lungo i percorsi dei visitatori da un sottile strato di moquette; l'illuminazione, effettuata per mezzo di lampade ad incandescenza alogene, è di tipo indiretto.

I terminali dell'impianto di climatizzazione sono costituiti dalle bocchette di immissione dell'aria attraverso il solaio ligneo a cassettoni, e da quelle di ripresa nella parte bassa delle pareti laterali.

Il coupon ed il termoigrometro sono stati collocati in un angolo dell'ambiente, a circa 2 m dal pavimento.

4.2. Vetrina delle ceramiche (sala 6, coupon n. 2140, si vedano le fig. 1 e 3)

L'ambiente in cui si trova la vetrina delle ceramiche è allo stesso livello della Cappella dei Priori. Il pavimento è in cotto e l'intera sala è intonacata; l'illuminazione, effettuata per mezzo di lampade ad incandescenza alogene, è di tipo diretto.

I terminali dell'impianto di climatizzazione sono costituiti dalle bocchette di immissione dell'aria nel controsoffitto e da quelle di ripresa nella parte bassa delle pareti laterali, nonché da un ventilconvettore posto di fronte alla vetrina.

La vetrina (delle dimensioni di 3.0 x 2.5 x 0.4 m), in metallo e vetro, non è sigillata né climatizzata ed è illuminata dall'interno; in essa sono conservate alcune delle più importanti e preziose ceramiche della tradizione umbra, in ottimo stato di conservazione.

Il coupon è stato collocato su un ripiano all'interno della vetrina, ad un'altezza di circa 1.4 m dal pavimento, leggermente inclinato; sul ripiano inferiore, sempre dentro la vetrina, è stato disposto il termoigrometro.

4.3. Esterno (coupons n. 2141 2142. 2143. si veda la fig. 4)

I tre coupons per l'aria esterna ed il termoigrometro sono stati esposti nella svasatura esterna di una finestra del terzo piano ammezzato, ad un'altezza di circa 25 m dal piano stradale, in posizione tale da non essere irraggiati direttamente dalla luce solare ed al riparo da precipitazioni atmosferiche.

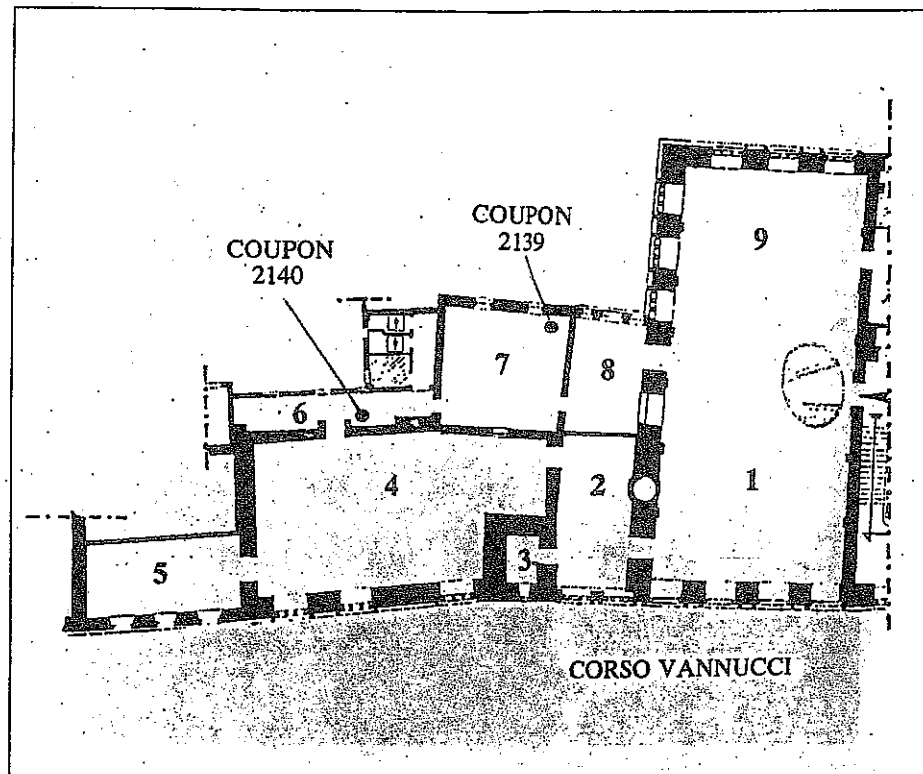


Fig. 1: - Galleria Nazionale dell'Umbria: posizionamento dei coupons nella Cappella dei Priori (sala 7) e nella vetrina delle ceramiche (sala 6)



Fig. 2 - Galleria Nazionale dell'Umbria: coupon posizionato nella Cappella dei Priori

4.4. Atrio Palazzo dei Priori (coupon n. 2144 si veda la fig. 5)

L'atrio del Palazzo dei Priori si affaccia direttamente sulla via principale (Corso Vannucci); nell'ambiente sono presenti diverse finestre, alcune delle quali rimangono aperte o hanno il vetro rotto. Anche il grande portone in legno che consente l'ingresso

al palazzo è sempre aperto durante la giornata; le pareti, le volte a crociera ed il pavimento sono in pietra a vista.

In questo ambiente, sprovvisto di impianto di climatizzazione, si svolgono, di tanto in tanto, mostre temporanee; durante le prove si sono succedute due mostre, della durata di 15 giorni ciascuna.

Poichè l'atrio è un ambiente con notevole affluenza e senza alcun controllo, il coupon ed il termigrometro sono stati collocati in una nicchia, ad un'altezza di circa 2.50 m dal pavimento.



Fig. 3 - Galleria Nazionale dell'Umbria: coupon posizionato nella vetrina delle ceramiche

5. Analisi dei risultati

Al termine del periodo di monitoraggio i coupons sono stati spediti alla Società fornitrice, la quale ha provveduto all'analisi dello spessore del film di corrosione e dei prodotti delle reazioni.

I risultati delle analisi sono riportati nella tabella 3; la conseguente classificazione degli ambienti in relazione alla qualità dell'aria è indicata nella fig. 6.

Di seguito sono commentati i risultati ottenuti per ogni singolo ambiente.

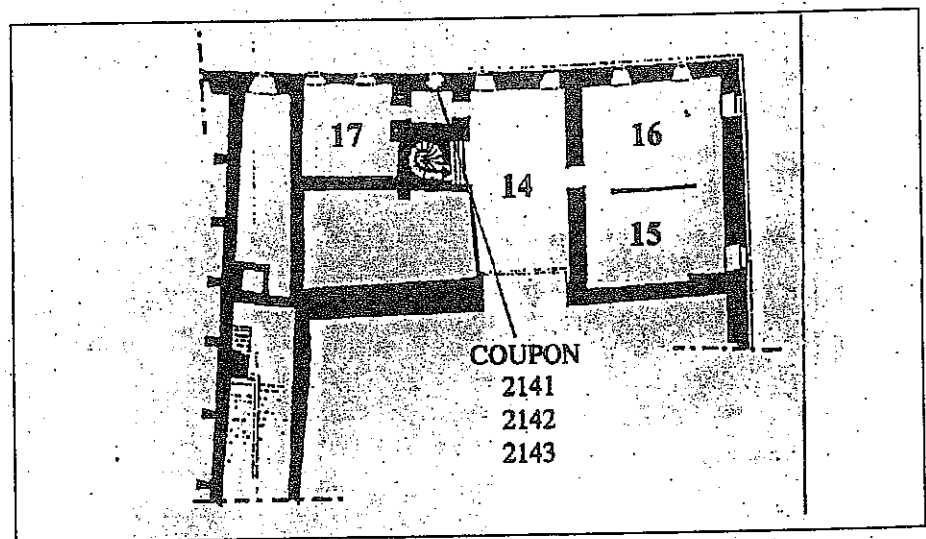


Fig. 4 - Galleria Nazionale dell'Umbria: posizione dei coupons destinati al rilievo della qualità dell'aria esterna

5.1. Cappella dei Priori

La temperatura media del locale nel periodo di analisi è di 21 °C; l'umidità relativa media nel corrispondente periodo è pari a circa il 57%; l'illuminamento misurato in corrispondenza del coupon è pari a circa 30 lux. Sia la temperatura che l'umidità relativa, per effetto dell'impianto e dell'elevata inerzia termica dell'edificio, si mantengono pressochè costanti nell'arco delle ventiquattro ore, per tutto il periodo di rilevamento.

I parametri citati sono contenuti negli intervalli di variabilità raccomandati per la corretta conservazione degli oggetti contenuti (legno policromo e affreschi; si veda la tab. 2).

L'analisi del coupon di corrosione mostra che la classe di purezza dell'aria è pari a 2 sia per il rame sia per l'argento, pertanto ci si trova in condizioni di aria "pura".

Complessivamente la Cappella dei Priori presenta dunque condizioni ambientali idonee alla corretta conservazione delle opere in essa contenute.

5.2. Vetrina delle ceramiche

La temperatura media all'interno della vetrina nel periodo di analisi è di 19,5 °C; l'umidità relativa media nel corrispondente periodo è pari a circa il 63%; l'illuminamento misurato in corrispondenza del coupon è pari a circa 300 lux. Anche all'interno della vetrina temperatura e umidità relativa si mantengono pressochè costanti nell'arco delle ventiquattro ore, per l'intero periodo di misura.

Secondo la Letteratura [1, 4, 5, 7] nessuno di questi parametri, singolarmente, è influente ai fini della conservazione delle ceramiche dipinte contenute nella vetrina.

Dal punto di vista della qualità dell'aria, le analisi effettuate sul coupon mostrano che il grado di corrosione dell'argento è tale da classificare l'aria come "pulita" (classe S3) mentre il grado di corrosione del rame la classifica come "pura" (classe C2).

5.3. Esterno

L'andamento della temperatura e dell'umidità relativa all'esterno dell'edificio è molto variabile nell'arco della giornata.

Per quanto riguarda la presenza di inquinanti nell'aria, poichè l'edificio situato in un'area urbana quasi esclusivamente pedonale, si può presumere che il tasso d'inquinamento sia principalmente prodotto, nel periodo considerato, dagli impianti di riscaldamento, e solo in minima misura dal traffico veicolare.

Dall'analisi dei coupons risulta che l'aria esterna è "leggermente contaminata" o "inquinata" (classi S4, S5, C4, C5), a seconda del periodo di esposizione. Il confronto con i risultati ottenuti all'interno mostra che l'impianto di condizionamento è dotato di un efficace sistema di filtrazione dell'aria; questo è costituito da opportuni filtri ad umido che operano un "lavaggio" dell'aria che li attraversa, rimuovendo da essa la maggior parte delle impurità presenti.

5.4. Atrio Palazzo dei Priori

L'andamento della temperatura e dell'umidità relativa nell'atrio segue quello dell'aria esterna, seppure sfasato nel tempo e smorzato nel valore dei picchi

Dall'analisi del coupon qui esposto si evince che le classi di purezza dell'aria sono la S2 per l'argento ("pura") e la C4 per il rame ("leggermente contaminata")

6. Influenza dell'esposizione alla luce

Particolarmente interessante può essere l'analisi dei due coupons esposti a condizioni termogravimetriche e di inquinamento dell'aria pressochè uguali, ma a valori diversi di illuminamento: si tratta di quelli nella Cappella dei Priori e nella vetrina delle ceramiche.

Nella figura 7 è riportato lo spessore equivalente di corrosione di ciascun prodotto delle reazioni, nelle due diverse situazioni:

- Cappella dei Priori, illuminamento $\cong 30$ lux, potenza della radiazione luminosa $\cong 0.15$ W/m², illuminazione indiretta con lampade ad incandescenza alogene;
- Vetrina delle ceramiche, illuminamento $\cong 300$ lux, potenza della radiazione luminosa $\cong 1.5$ W/m², illuminazione diretta con lampade ad incandescenza alogene.

Dall'analisi dello spessore di corrosione si evince che, per valori maggiori della potenza raggianti, è favorita la formazione di composti dell'argento quali AgCl e Ag₂S; i composti del rame, invece, sono meno influenzati dai valori della potenza raggianti, infatti lo strato di Cu₂O è pressochè lo stesso nelle due situazioni esaminate, mentre non si ha formazione di Cu₂S e di composti non noti del Rame.

Globalmente, all'interno della vetrina delle ceramiche, lo spessore di corrosione dell'argento è quasi il triplo di quello del coupon nella Cappella dei Priori, mentre lo spessore di corrosione del rame è praticamente lo stesso (120 Å/30gg contro 111 Å/30gg); la differenza nello strato di corrosione dell'argento sembra pertanto dovuta ai diversi valori della potenza raggianti, a parità di tutte le altre condizioni.

Anche il coupon nell'atrio, esposto in una zona praticamente buia ($\cong 10$ lux), sembra confermare i risultati dell'analisi, infatti la corrosione dell'argento è minore che nella vetrina delle ceramiche (96 Å/30gg) e dello stesso ordine di grandezza della Cappella dei Priori; la corrosione del rame è maggiore, ma è verosimilmente legata ad un maggiore inquinamento dell'aria, le cui caratteristiche sono simili a quelle dell'esterno.

7. Conclusioni

È stata recentemente effettuata una campagna sperimentale volta ad una valutazione qualitativa dell'inquinamento dell'aria all'interno della Galleria Nazionale dell'Umbria, contestualmente ad analoghi rilievi effettuati presso altri musei italiani.

L'analisi è stata effettuata mediante l'esposizione in ambiente di coupons metallici dei quali, al termine della campagna, si misura lo spessore di corrosione e si analizzano i prodotti della corrosione. In base ai risultati ottenuti si può individuare la classe di purezza dell'aria, secondo le indicazioni della ISA (Instruments Society of America).

I coupons sono stati posizionati in due ambienti interni: una vetrina, in cui sono contenute ceramiche, ed una sala affrescata, in cui sono conservati oggetti in legno policromo. In entrambe le sale le condizioni di conservazione degli oggetti esposti risultano buone: i valori di temperatura e umidità relativa sono compresi negli intervalli raccomandati e l'aria è caratterizzata da una classe di purezza pari a 2, che corrisponde ad aria "pura". Inoltre, dal confronto con i coupons esposti all'esterno, si evince che il sistema di filtrazione dell'impianto di condizionamento, recentemente installato, risulta efficace, infatti l'aria esterna risulta in classe 4 o 5 (aria "leggermente contaminata" ed "inquinata"). Si è inoltre notata una discreta sensibilità dei coupons metallici alla luce; laddove i valori dell'illuminamento risultano più elevati si hanno, a parità di condizioni, valori più elevati dello spessore equivalente di corrosione.

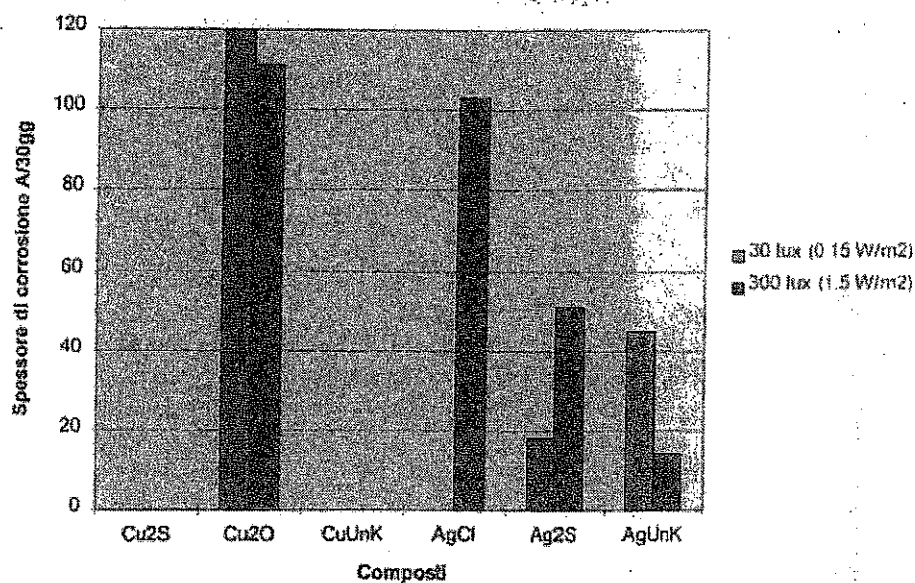


Fig. 7 - Spessore equivalente di corrosione relativo a ciascun prodotto della reazione: confronto tra i valori ottenuti in ambienti con illuminamento pari a 30 e 300 lux.

Si può concludere che il sistema utilizzato è idoneo per una valutazione qualitativa del grado di inquinamento dell'aria; diversamente dai tradizionali metodi di analisi, non fornisce una valutazione quantitativa, poichè non è possibile risalire alla concentrazione e alla tipologia degli inquinanti presenti. Inoltre occorre tener presente l'intensità e la durata dell'esposizione alla luce, soprattutto per quanto riguarda la lamina in argento, il cui strato di corrosione è sensibilmente maggiore in presenza di valori di potenza raggiante più elevati.

8. Elenco dei simboli

E = illuminamento (lux);
T = temperatura (°C);
u.r. = umidità relativa (%).

9. Riferimenti bibliografici

- [1] Massa S. - Cavallini T., *Fruizione di ambienti museali. Simulazioni delle alterazioni indotte e considerazioni sulla gestione*, "Conservazione e musei", 25/26, anno III, 1991.
- [2] W.B. England - M.W. Osborne - Z. Xiuyi, *Application of a real time electronic contact corrosion monitor*, in "Advances in Instrumentation and control", volume 46, ISA/91.
- [3] ISA S71.04, *Environmental conditions for process measurement and control systems: airborne contaminants*, 1985.
- [4] Thomson G., *The Museum Environment*, Butterworths, 1986.
- [5] *Manual of Curatorship*, edited by J.M.A. Thompson, Butterworths, 1992.
- [6] Baer N.S., Banks P.N., *Indoor Air Pollution: Effects on Cultural and Historic Materials*, *The International Journal of Museum Management and Curatorship*, n 4, 198
- [7] Progetto di Norma CTI E02.01.304.0 "Analisi e valutazione delle condizioni ambientali, tecniche, igrometriche e luminose per la conservazione di beni di interesse storico ed artistico", CDA, aprile 1994.