

STAZIONE SPERIMENTALE PER LO STUDIO DELLE PROPRIETÀ SPETTROFOTOMETRICHE DI MATERIALI TRASPARENTI ESPOSTI ALL'INQUINAMENTO DA TRAFFICO VEICOLARE

F. Cotana (*), C. Simoncini (**), G. Baldinelli (***)

Sommario

L'esposizione di materiali trasparenti agli agenti atmosferici ed inquinanti provoca la perdita di trasparenza delle superfici degradando il loro aspetto estetico e la loro funzionalità. Scarsa è la letteratura che affronta la problematica della deposizione e dell'accumulo di particolato ed inquinanti su superfici trasparenti. Per descrivere la variazione delle prestazioni di tali materiali è stata realizzata una stazione sperimentale composta da tre portacampioni, da una centralina di rilevamento ambientale e da uno spettrofotometro portatile. Le variazioni delle proprietà di trasparenza sono monitorate attraverso misure spettrofotometriche periodiche, finalizzate a correlare l'andamento della trasmittanza ai dati meteorologici e di inquinamento. Nel presente lavoro è descritta la stazione sperimentale, sono forniti i risultati delle misure con le correlazioni agli eventi atmosferici ed inquinanti.

1. Introduzione

I materiali plastici trasparenti trovano oggi un crescente impiego in diverse applicazioni dell'ingegneria civile e presentano molteplici vantaggi rispetto a quelli più tradizionali quali il vetro. La loro peculiarità è quella di essere leggeri; sono inoltre caratterizzati da un elevato coefficiente di trasparenza che, a parità di spessore, è spesso superiore a quello del vetro e sono dotati di una rigidità e resistenza agli urti tale da permetterne l'uso anche per applicazioni strutturali. Uno dei problemi che sovente accompagna il loro impiego, è la perdita di trasparenza dovuta alla deposizione di particolato ed altre sostanze presenti nell'atmosfera derivanti da inquinanti da traffico veicolare, industriale e da agenti atmosferici.

Ad oggi non esiste in letteratura uno studio nel quale si valuti la variazione delle proprietà di trasparenza di tali materiali esposti all'esterno senza manutenzione in un arco di tempo prolungato. E' stata dunque avviata una ricerca finalizzata allo studio della variazione delle proprietà spettrofotometriche di materiali trasparenti esposti ad inquinamento ambientale e agli agenti atmosferici. L'obiettivo è quello di individuare meccanismi e modelli di deposizione sulla base dei quali realizzare sistemi atti a ridurre o prevenire la perdita di trasparenza, al fine di ridurre i costi di gestione limitando i cicli di manutenzione e pulizia.

2. Strumentazione utilizzata e materiali esposti

Allo scopo di definire e monitorare i meccanismi di sporco di diversi materiali trasparenti è stata progettata una stazione sperimentale in grado fornire dati e informazioni sulle proprietà spettrofotometriche dei materiali esposti e sulle condizioni ambientali meteorologiche e di inquinamento della zona interessata (figura 1).

(*) F. Cotana, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

(**) C. Simoncini, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

(***) G. Baldinelli, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

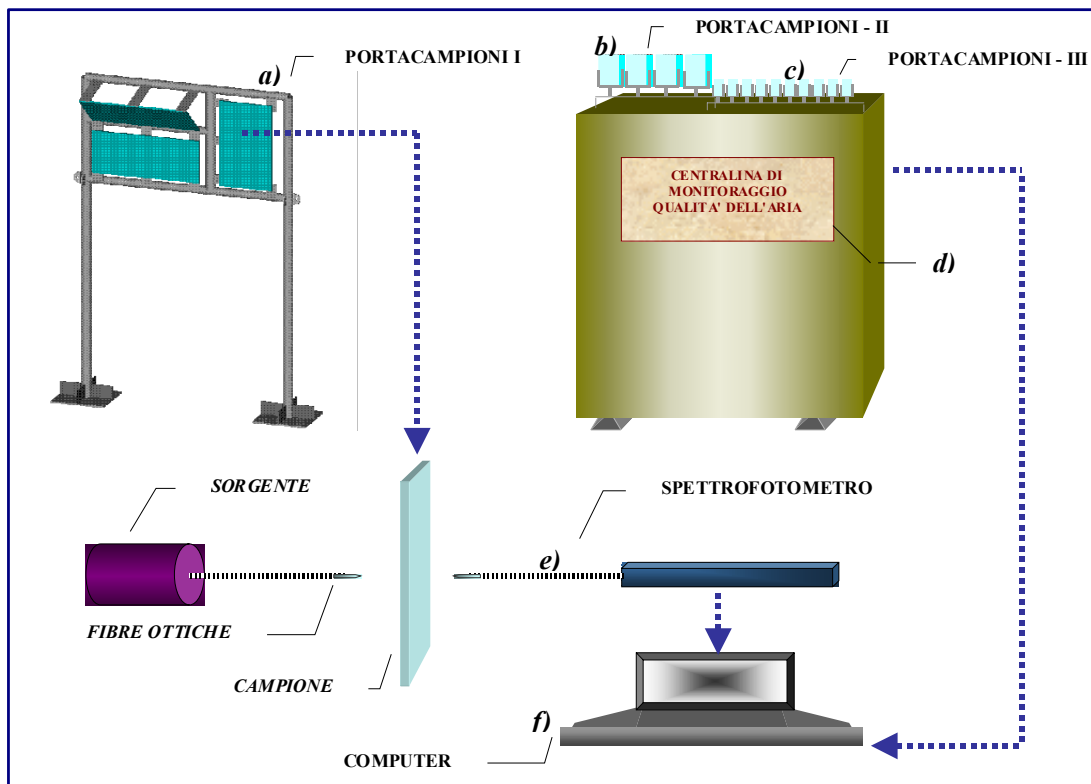


Figura 1: schema della stazione sperimentale.

La stazione è stata installata a Perugia presso l'area di rilevamento ambientale di Fontivegge (Figura 2), ed è così composta:



Figura 2: disposizione della stazione sperimentale in Località Fontivegge (Perugia).

a) portacampioni (b e c)

Il portacampioni consente di esporre 3 campioni anche di diverso spessore; esso è costituito da un telaio in acciaio Inox in grado di allocare tre pannelli delle dimensioni di 1m x 0.50 m, tutti

(*) F. Cotana, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

(**) C. Simoncini, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

(***) G. Baldinelli, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

diversamente orientati e posizionati: uno inclinato di 45° rispetto alla verticale e gli altri due ruotati di 90° l'uno rispetto all'altro, in posizione verticale. Il portacampioni è stato posto in opera su fondazione in una aiuola spartitraffico. La distanza del portacampioni sul piano orizzontale rispetto alla mezzzeria della strada è di 4 m (figura 3) e i campioni sono posti ad un'altezza media di 2.5 m dal piano stradale.

d) *centralina di rilevamento ambientale*

La centralina di rilevamento ambientale, che costituisce una delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria del Comune di Perugia, permette di rilevare lo stato di inquinamento atmosferico e i parametri meteorologici; essendo a ridosso dei portacampioni ha permesso di disporre di dati particolarmente significativi sia in termini di informazioni meteorologiche che di concentrazioni di inquinanti. La centralina di rilevamento e la tipologia di strumentazioni di cui è dotata sono conformi a quanto richiesto dal DM 20.05.1991 e i criteri di rilevamento e di elaborazione dei dati sono quelli forniti dall'Istituto Superiore di Sanità (ISTISAN 87/5 E 87/6). Gli inquinanti e i parametri monitorati sono: Polveri Totali, PM10, Ossidi di Azoto (NO, NO₂, NO_x), Ossido di Carbonio (CO), Benzene (BTX), Meteo (DV/VV, RUVA, RST/N).

e) *sistema spettrofotometrico per l'esecuzione delle misure spettrofotometriche;*

La stazione spettrofotometrica è composta da diversi elementi: spettrofotometro portatile, sorgente luminosa, fibre ottiche, lenti, software. Lo spettrofotometro S 2000 utilizzato per le misure di trasmittanza è uno spettrofotometro che consente di effettuare misure di trasmissione e riflessione nell'intervallo di lunghezze d'onda compreso tra 200 nm e 1100 nm, coprendo in questo modo tutto il campo del visibile e una piccola parte del vicino infrarosso ed ultravioletto. Il rilevatore CCD è composto da 2048 elementi (12.5 µm x 200 µm per elemento) La risoluzione ottica dello strumento misurata come FWHM *Full Width Half Maximum* è di 0.3 nm (10 µm di slit e 3600 linee/mm). La sorgente luminosa è costituita da una lampada alogena al tungsteno, con una finestra da 360 a 1100 nm; mentre le fibre ottiche sono della lunghezza di 1.5m in silice fusa.

f) *computer per l'elaborazione dei dati con processore Pentium IV/400 Mhz dotato del software applicativo Spectrawin 3.1.*

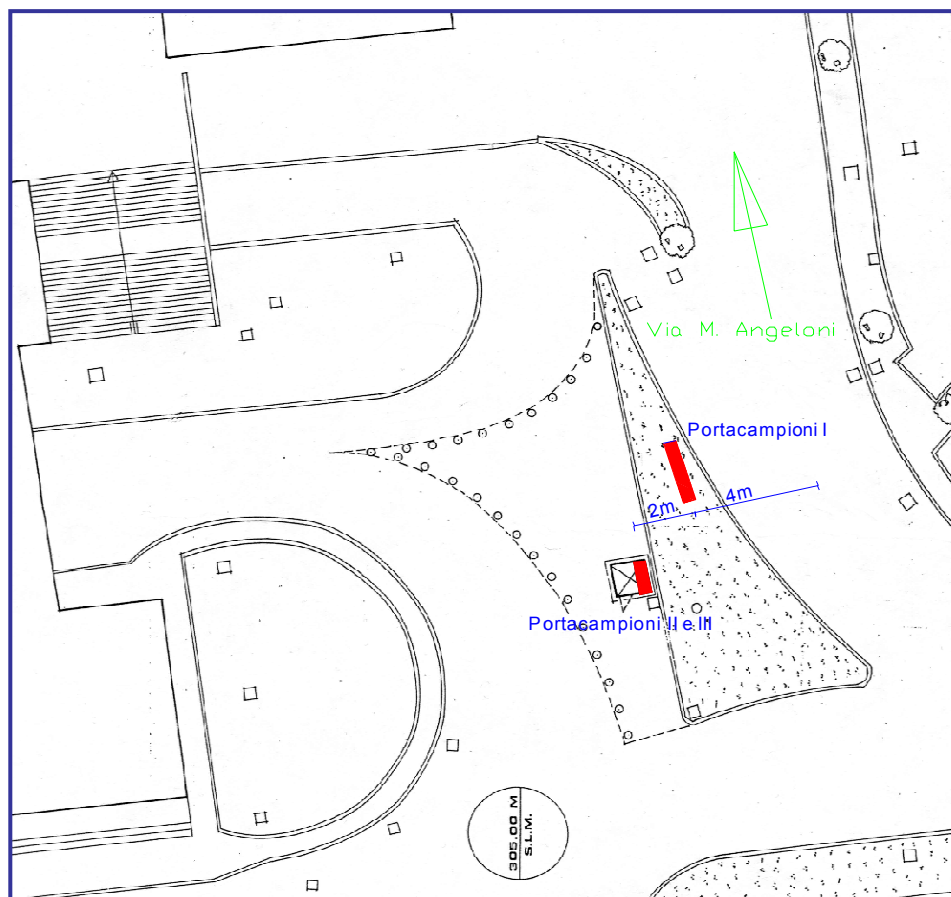


Figura 3: disposizione in pianta della stazione.

(*) F. Cotana, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

(**) C. Simoncini, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

(***) G. Baldinelli, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

I materiali che potranno essere sottoposti alle prove di sporcamento saranno quelli maggiormente impiegati: il vetro, quale materiale tradizionale, il PVC (polivinilcloruro) o il PC policarbonato, il PET (polietilene tereftalato) ed infine il PMMA (polimetilmetacrilato). Tra i materiali citati il policarbonato è il materiale che presenta migliori prestazioni per tenacità e resistenza alla temperatura, ha inoltre una minima tendenza all'assorbimento dell'umidità presente nell'aria; il PMMA è quello che presenta le migliori proprietà ottiche, è il più rigido, ha una discreta resistenza alla scalfittura, presenta una resistenza al watering molto buona ed è facilmente lavorabile. In relazione alle prestazioni e agli sviluppi futuri nell'impiego di tale materiale è stato scelto di iniziare la sperimentazione esponendo campioni di PMMA. Ad ogni campione è stato assegnato un codice alfanumerico che indica il tipo di materiale e lo spessore in centimetri e la posizione sul portacampioni. Nella Tabella 1 sono riportati nel dettaglio l'elenco dei primi campioni esposti.

N.	Codice Campione	Tipo di materiale	Dimensioni campione [m]	Spessore [m]
1	I PMMA15-1	Polimetilmetacrilato	0.500 x 1.000	0.150
2	I PMMA15-2	Polimetilmetacrilato	0.500 x 1.000	0.150
3	I PMMA15-3	Polimetilmetacrilato	0.500 x 1.000	0.150

Tabella 1: materiali esposti: dimensioni e caratteristiche.

3. Campagna di misure spettrofotometriche

Le misure spettrofotometriche sono state programmate con una frequenza di 10 giorni circa per i primi tre mesi e di 30 giorni nel lungo periodo, compatibilmente con le condizioni atmosferiche.

I 3 provini sono stati sottoposti a misure spettrofotometriche in 6 differenti punti; per convenzione la nomenclatura dei campioni grandi è stata stabilita con la notazione: P_{ij} , dove $i = 1, \dots, 3$, corrisponde al numero del campione e $j = 1, \dots, 6$, corrisponde alla posizione di misura. Le misure sono state fatte in laboratorio e i campioni sono stati sottoposti alla seguente procedura: il campione, alloggiato su uno specifico portacampioni (appositamente progettato), è stato posizionato centralmente, tra la sorgente e lo spettrofotometro alle cui estremità sono collegate due lenti ottiche connesse attraverso fibre ottiche perfettamente identiche. La sorgente emette la radiazione che tramite una fibra ottica e una lente è convogliata sul campione. La radiazione che attraversa il campione è a sua volta convogliata da una lente e da un'altra fibra ottica al sensore dello spettrofotometro che effettua la misura della radiazione trasmessa. La trasmittanza del campione in funzione della lunghezza d'onda λ è calcolata tramite la relazione (1) mentre il coefficiente di trasmittanza è fornito dalla relazione (2) secondo quanto prescritto dalla EN 410:

$$\tau(\lambda)\% = \frac{(W_{C(\lambda)} - W_{N(\lambda)})}{(W_{B(\lambda)} - W_{N(\lambda)})} \times 100 \quad (1)$$

$$\tau_v = \frac{\sum_{\lambda=360}^{1100} D_\lambda \tau_\lambda(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=360}^{1100} D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (2)$$

In fig. 4 è riportato, a titolo di esempio, l'andamento dei coefficienti di trasmittanza dei tre campioni. Tutti i campioni esposti hanno fatto riscontrare brusche variazioni nei valori di trasmittanza. L'ispezione visiva condotta prima di ogni misura ha messo in evidenza disuniformità di deposizione evidenziate dalla dispersione dei valori di trasmittanza misurati nei diversi punti di ogni pannello. L'andamento della trasmittanza misurata nei due pannelli esposti in posizione verticale è paragonabile mentre quello del pannello esposto con una inclinazione di 45 gradi si discosta dai precedenti a partire dopo quaranta giorni di esposizione. La variazione percentuale media di trasmittanza è del 20%.

(*) F. Cotana, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

(**) C. Simoncini, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

(***) G. Baldinelli, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

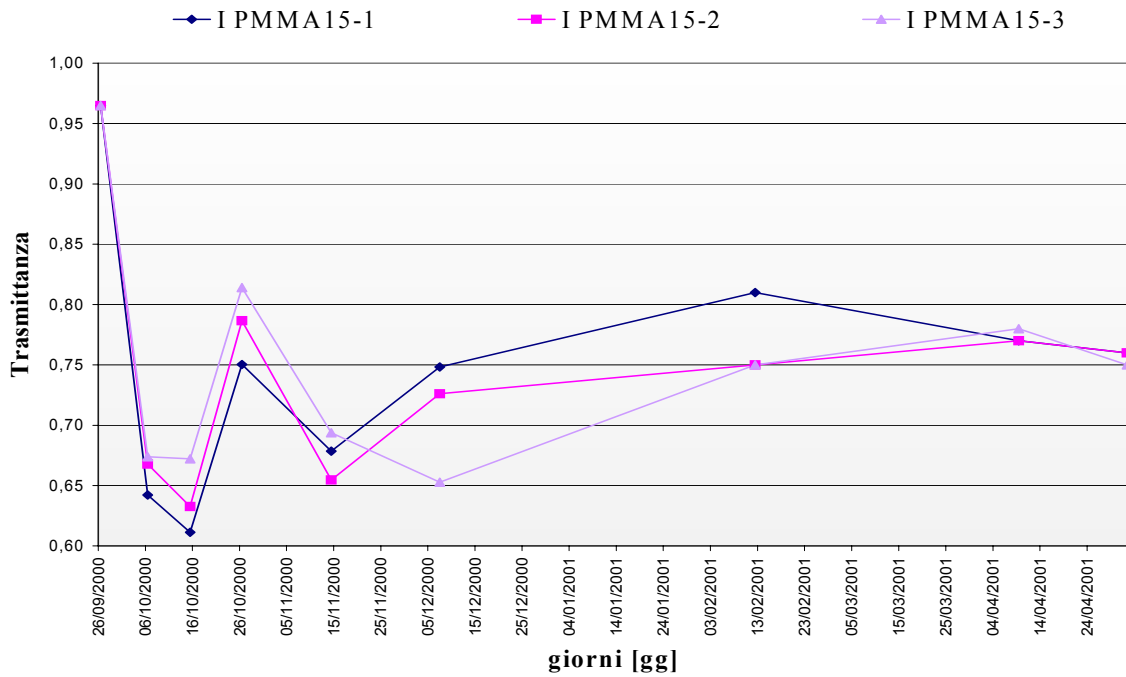


Figura 4: andamento medio trasmittanza pannelli tipo I (espositore I).

Attraverso i dati forniti dalla centralina di rilevamento della qualità dell'aria presente nella stazione sperimentale, sono state individuate le correlazioni esistenti fra i dati di inquinamento atmosferico ed i parametri meteorologici (fig. 5).

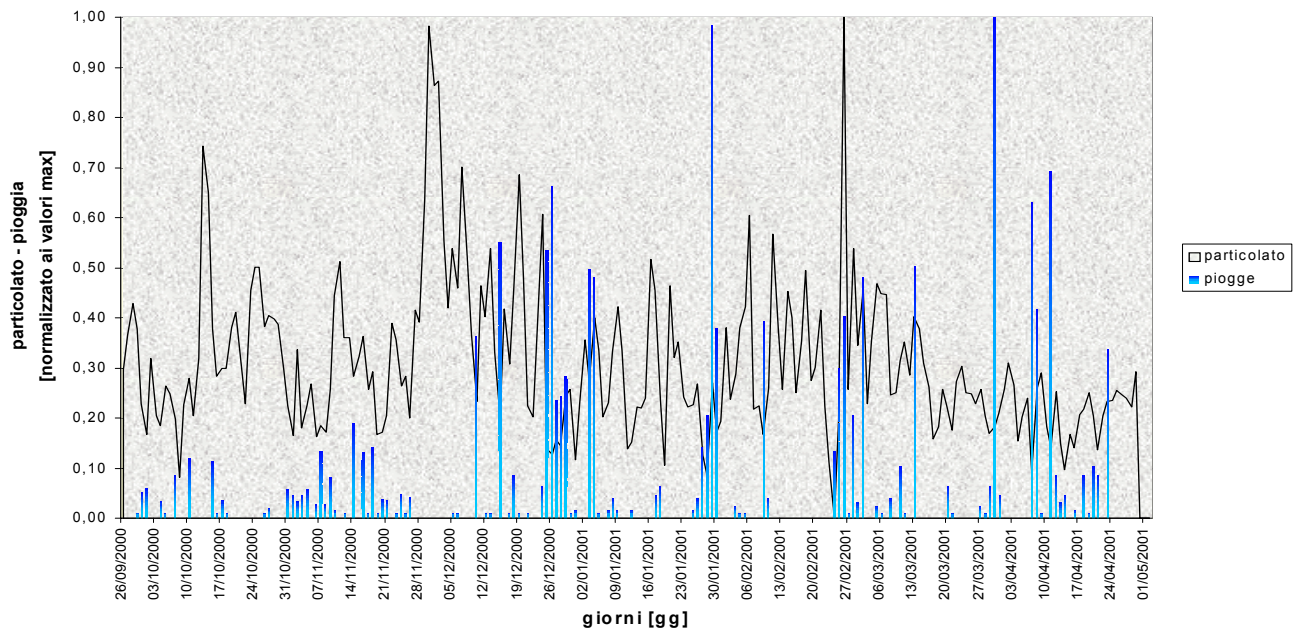


Figura 5: andamento normalizzato della concentrazione di particolato e delle precipitazioni.

(*) F. Cotana, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia
 (**) C. Simoncini, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia
 (***) G. Baldinelli, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

A causa della complessità delle relazioni tra le diverse variabili in gioco, le caratteristiche morfologiche e climatiche della zona di esposizione e lo stato di inquinamento atmosferico esistente, si è scelto di verificare e valutare l'andamento della trasmittanza al variare delle due variabili che maggiormente influenzano il fenomeno della deposizione umida: eventi di pioggia occorsi e concentrazione di particolato (fig. 6).

L'analisi dei dati disponibili ha evidenziato come ad un andamento fortemente oscillante nei primi mesi in corrispondenza delle precipitazioni, corrisponda un successivo appiattimento dei valori di trasmittanza misurati, dovuti, con ogni probabilità, alla deposizione di un film superficiale stabile, insensibile all'effetto dilavante della pioggia. Inoltre si evidenzia come i valori della concentrazione media di particolato nel periodo precedente alla misura non risulti correlato in modo significativo, almeno nei primi mesi, alla variazione della trasmittanza.

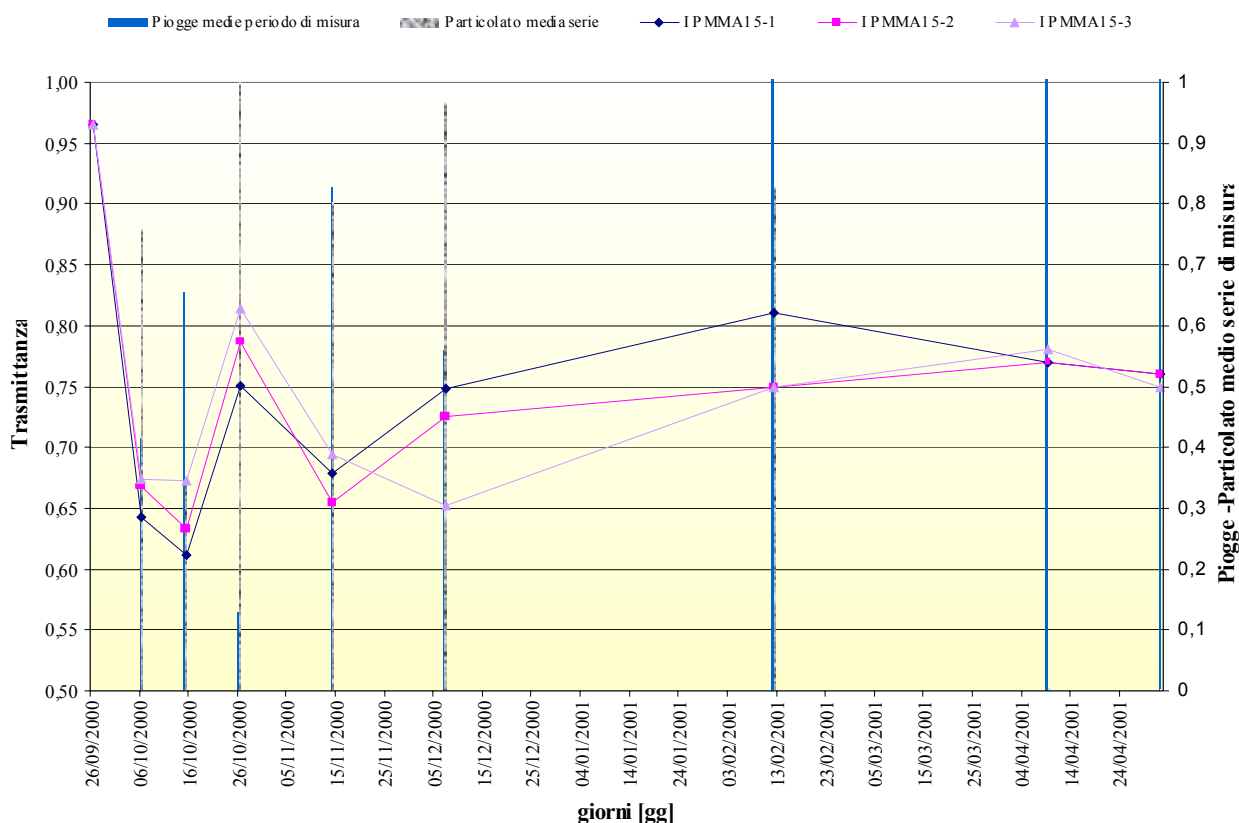


Figura 6: andamento normalizzato medio sulla serie di misura della concentrazione di particolato, eventi di pioggia e trasmittanza.

4. Conclusioni

Le soluzioni tecniche offerte da alcuni materiali trasparenti a problematiche ingegneristiche ed architettoniche sono oggi in grado di coniugare scelte progettuali non convenzionali con un impatto visivo sostenibile. La stazione sperimentale di Fontivegge è stata progettata allo scopo di fornire, nei prossimi anni, dati e informazioni accurate delle proprietà spettrofotometriche di diversi materiali, ad oggi non disponibili in letteratura tecnica. I primi materiali testati sono quelli maggiormente utilizzati e con le migliori potenzialità nello sviluppo di applicazioni innovative, primo fra tutti il PMMA. I campioni esposti presso la stazione sperimentale hanno mostrato buona qualità in termini di mantenimento della trasparenza e non sono stati riscontrati segni di degrado fisico – chimico, come ingiallimento, opacizzazione o corrosione prodotta dalle sostanze inquinanti. La principale fonte di incertezza sulle misure di trasmittanza è dovuta alla non uniformità del particolato depositato, infatti sono state evidenziate zone più sporche di altre in cui il valore del coefficiente trovato è più basso. La diminuzione di trasparenza misurata, ad oggi si aggira intorno al 20% nel caso dei campioni di maggiori dimensioni, 12% nei campioni di dimensione media e 10% nel caso dei campioni di dimensioni minori. La prosecuzione delle attività previste per la stazione sperimentale consentirà di

(*) F. Cotana, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

(**) C. Simoncini, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

(***) G. Baldinelli, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

disporre nel futuro di un data base sulle proprietà di diversi materiali sul lungo periodo correlazione tra la variazione di trasmittanza e i dati meteorologici di inquinamento.

5. Bibliografia

- [1] S. A. Morsi and A. J. Alexander. "An Investigation of Particle Trajectories in Two-Phase Flow Systems." *J. Fluid Mech.*, 55(2):193-208, September 26 1972.
- [2] G. Devitofrancesco, C. Conte, B. M. Petronio: " *Deterioration of Structure Surface caused by particular matter*", *Durability of Building Materials* n.4 1987, Elsevier Scier Publisher B. V. Amsterdam. *Sci. Technol.* 16,318-328, 1982.
- [3] R. Cope, G. Revirand: " *Short term weathering of polymeric materials*", *Durability of Building Materials* n.1 1982-83, Elsevier Scier Publisher B. V. Amsterdam.
- [4] H. R. Sasse, I. Schrage : " *A proposed method for aging polymers used in buildings under simultaneous action of artificial weathering and mechanical stress*", *Durability of Building Materials* n.2 1983, Elsevier Scier Publisher B. V. Amsterdam.
- [5] Pierson W.R., Brachaczen, W:W., " *Particulate matter associated with vehicles on the road*". *II Aerosol Sci. Technolol.*, 2, 1-40, 1983.
- [6] R. S. Yamasaki: " *Characterisation of wet and dry periods of plastic surfaces during outdoor exposure*", *Durability of Building Materials* n.3 1986, Elsevier Scier Publisher B. V. Amsterdam.
- [7] A. Blaga R.S. Yamasaki: " *Effects of long-term weathering and angle of exposure on the deterioration of polycarbonate*", *Durability of Building Materials* n.3 1986, Elsevier Scier Publisher B. V. Amsterdam.
- [8] Finzi Giovanna, Giuseppe Brusasca, " *La qualità dell'aria modelli previsionali e gestionali*", Masson 1991.
- [9] Manuale Spettrofotometro S-2000.
- [10] EN 410, Glass in building – determination of luminous and solar characteristics of glazing, CEN, Bruxelles, aprile 1998.

(*) F. Cotana, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

(**) C. Simoncini, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia

(***) G. Baldinelli, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Perugia