

# ONDA DI SMOG FOTOCHIMICO LUNGO UN ALTO EDIFICIO

di Rosario Manno

” L'inquinamento  
atmosferico  
nelle città

è un argomento di grande attualità e spesso apprendiamo dagli organi di stampa che nelle grandi città come Torino, Palermo, etc. si verificano valori di concentrazioni in aria di taluni inquinanti come PM10, NO2, idrocarburi, etc. che superano i limiti di legge imposti a tutela della salute e dell'ambiente.

“

Importanti sorgenti di tali inquinanti atmosferici sono i veicoli con motore a combustione interna.

Per tale motivo, spesso i sindaci dei comuni adottano provvedimenti per la limitazione del traffico di tali veicoli, sulla scorta dei dati di concentrazione degli inquinanti al suolo misurati dalle stazioni di rilevamento dell'inquinamento atmosferico dislocate nelle città.

Un aspetto dell'inquinamento atmosferico urbano, di cui tuttavia si parla poco, è lo smog fotochimico presente ai piani alti degli edifici, che può essere molto pericoloso per la salute e che comporta limitazioni all'uso delle proprietà dei cittadini, costretti magari a non potersi affacciare al balcone o alle finestre di casa.

In questa memoria descrivo la mia esperienza perso-



*Figura 1, La foto attuale dell'edificio. Prospetto Est. Negli anni '80-'90 il tram non c'era ancora.*

nale con lo smog fotochimico, avuta nel corso della mia permanenza, quale dipendente, al settimo piano dell'Assessorato territorio e ambiente della Regione Siciliana di Palermo, cercando di dare una spiegazione dei fenomeni osservati.

## **Materiali e metodi**

Sulla scorta delle mie esperienze personali e delle relative circostanze, sensazioni, fenomeni e luoghi nel seguito descritti e di ulteriori informazioni acquisite anche presso l'Arpa Sicilia, Arpa Piemonte, Arpa Emilia Romagna ed elaborati tutti sulla scorta del materiale bibliografico esaminato, ho provato a descrivere il pericoloso fenomeno dello smog fotochimico che può manifestarsi ai piani alti di un edificio prospiciente una strada di grande traffico veicolare

e di darne una spiegazione coerente con quanto riportato nei testi consultati.

### Risultati. Discussione

Ho lavorato per molti anni all'Assessorato territorio e ambiente della Regione Siciliana.

L'Assessorato negli anni '80 e '90 aveva sede nel viale della Regione Siciliana a Palermo. Si tratta di una strada a più corsie e larga circa sessanta metri, nata come circonvallazione negli anni '60 e ora inglobata a tratti nella città. Esso collega anche le due autostrade Messina-Palermo e Palermo-Trapani-Mazara del Vallo.

In corrispondenza dell'assessorato il viale è simile ad un canyon, per la presenza di alti edifici su entrambi i lati della strada. L'andamento della strada in quel tratto è rettilineo con orientamento Nord-Sud.

Si può immaginare il notevole numero di veicoli in transito, anche come traffico urbano, sia attualmente che negli anni '80, ai tempi dei fatti descritti. L'edificio di tredici piani sede dell'assessorato, riportato nella *Figura 1*, è dal 2000 destinato ad altri uffici della regione e si trova all'altezza di uno dei semafori ancora esistenti ed inoltre poco distante dalla stazione della rete di rilevamento dell'inquinamento atmosferico Di Blasi. Questa, successivamente installata negli anni '90, è ubicata nel viale in questione, nei pressi dell'incrocio con la via G. Evangelista di Blasi. In tale stazione, peraltro, si sono registrati per anni vari superamenti dei limiti di legge delle concentrazioni di inquinanti atmosferici quali polveri sottili, ossidi di azoto, etc.

Il mio ufficio si trovava in una stanza al settimo piano con balcone sul viale Regione Siciliana e, anche tenendo chiusa la finestra, si poteva sentire il frastuono generato dal traffico dei tir e delle autovetture nel viale, particolarmente intenso allo scattare del verde nel semaforo sottostante, destinato a regolare l'attraversamento dei pedoni.

Negli anni '80, affacciandosi nelle ore di punta del traffico, si poteva osservare dall'alto il fumo dei tubi di scarico dei veicoli. Nelle belle giornate invernali di tempo anticiclonico e scarsa ventilazione, intorno alle 9,30 di mattina e per alcuni minuti, era però sconsigliabile affacciarsi per prendere una boccata d'aria, perché si veniva presi da bruciore alla gola e agli occhi e da una forte sensazione di soffocamento, come da me sperimentato, che costringevano subito a rientrare.

Tuttavia, poco prima o poco dopo tale ora ciò non succedeva. Il fenomeno consisteva, in definitiva, nel passaggio di un'onda di smog fotochimico, in moto dal basso verso l'alto lungo i piani dell'edificio e avente l'aspetto di uno strato di densa foschia.

La spiegazione del fenomeno è da ricercare, a mio avviso, nella mattutina progressiva erosione dal basso dell'inversione termica notturna generata dal raffreddamento del suolo.

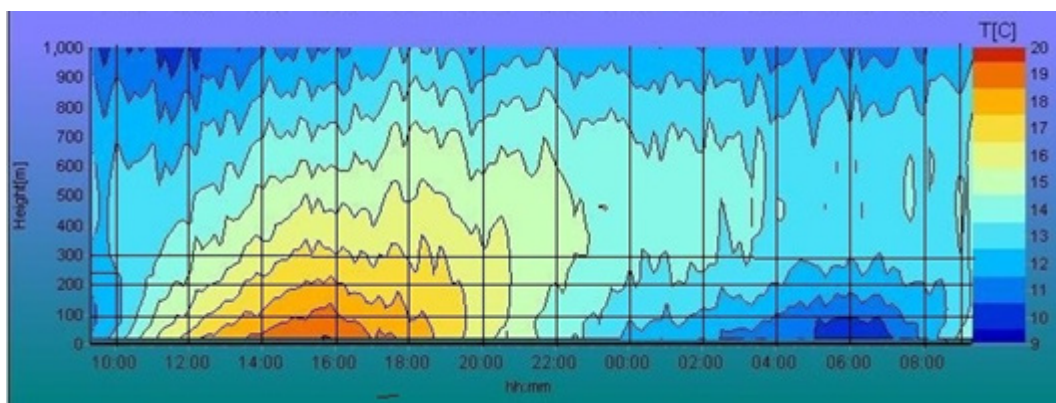
Nelle condizioni meteorologiche citate, infatti, di notte si sviluppa nell'atmosfera un'inversione termica da radiazione, per effetto del raffreddamento del suolo e degli strati d'atmosfera prossimi ad esso, causato dall'emissione di raggi infrarossi verso lo spazio,

Ricordiamo intanto cos'è l'inversione termica.

Sappiamo per esperienza che la temperatura dell'aria in genere diminuisce all'aumentare dell'altezza il che, per esempio, ci spinge in estate a cercare refrigerio dalla calura andando in montagna. Quando succede invece che la temperatura dell'aria aumenta con l'altezza siamo di fronte all'inversione termica. Si tratta di una condizione di forte stabilità dell'atmosfera che ostacola i moti verticali dell'aria e quindi la dispersione degli inquinanti in essa contenuti. La quota a cui ha inizio l'inversione è detta base dell'inversione. Per avere un'idea del fenomeno esaminiamo la *Figura 2*, in cui è riportato un tipico andamento della temperatura dell'aria con la quota nei primi 1000 metri dell'atmosfera a Torino, nell'arco di una bella giornata invernale, dal 01/3/2012 al 02/3/2012.

La scala cromatica del grafico rappresenta valori di temperatura dell'atmosfera crescenti con incrementi di 1 °C, a partire dal blu fino al rosso.

I dati di temperatura a varie quote, che sono indicati in figura, sono stati rilevati con un MTP, Meteorological Temperature Profiler, che fornisce il profilo verticale di temperatura in un sito. Si tratta di uno strumento costituito da un radiometro a microonde completamente passivo, installato sul tetto di un edificio. Si nota in *Figura 2*, la presenza dell'inversione termica notturna con base al suolo, particolarmente evidente tra le 5 e le 7 del mattino del 02/3/2012, con gradiente termico positivo vicino al suolo mentre nel corso della mattina e del pomeriggio del giorno precedente era presente un gradiente termico negativo a causa del riscaldamento del suolo da parte del sole



**Figura 2 Andamento giornaliero della temperatura dell'aria nei primi 1000 metri. Arpa Piemonte (2021).**

Si ritiene utile richiamare anche alcune definizioni riguardanti la stabilità termodinamica dell'atmosfera per una migliore comprensione del testo.

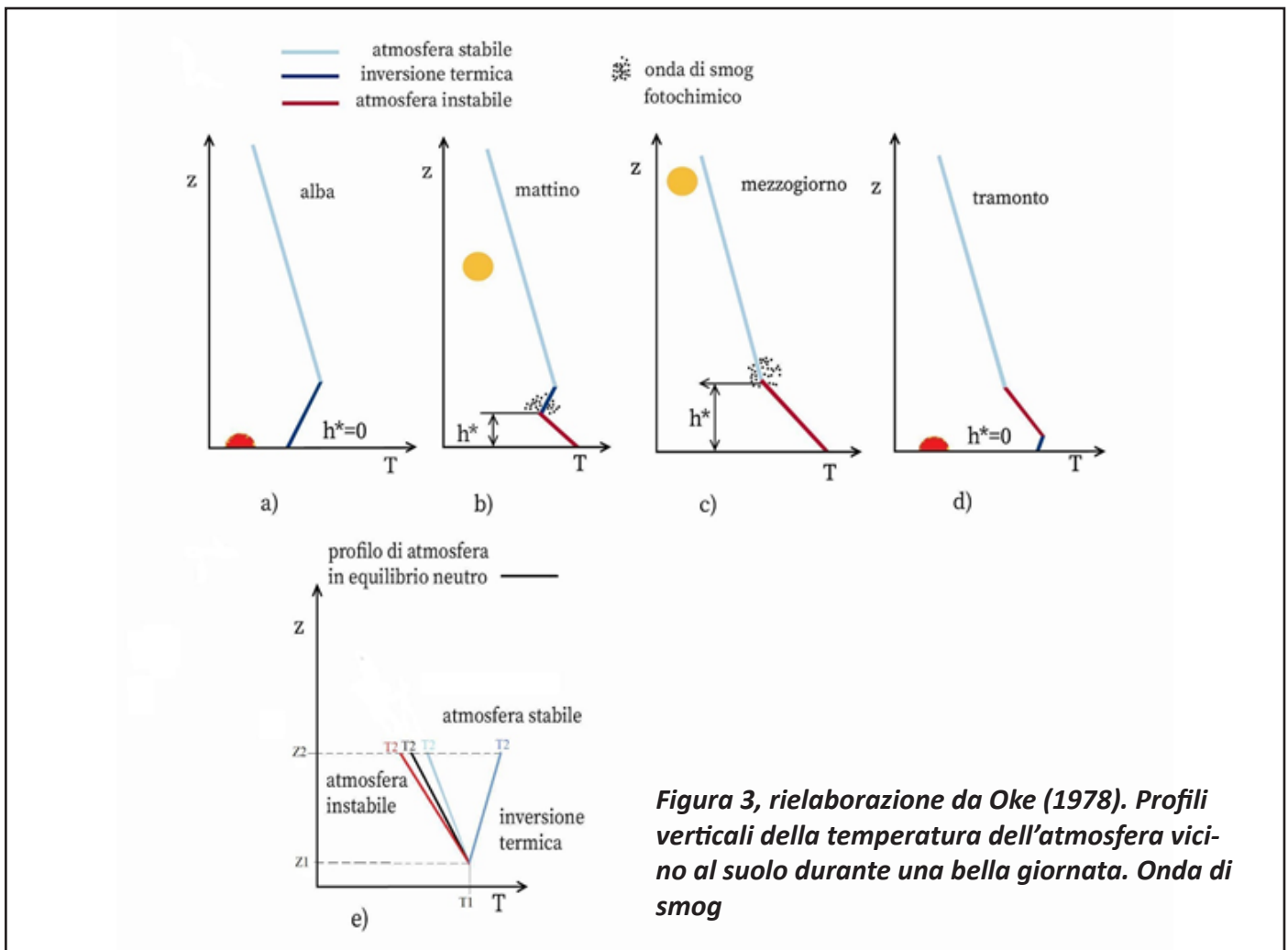
Con riferimento alla *Figura 3* lettera e), si definisce gradiente termico verticale  $G_a$  dell'atmosfera lungo la retta verticale posta in un dato sito, misurato tra le quote  $z_1$  e  $z_2$  in metri, con  $z_1$  minore di  $z_2$  e con  $T_1$  e  $T_2$  le rispettive temperature dell'aria in gradi centigradi, il rapporto:

$$(1) \quad G_a = (T_2 - T_1) / (z_2 - z_1)$$

avente unità di misura in °C (100 m)<sup>-1</sup>.

Una volta misurato nell'aria ambiente il gradiente  $G_a$  esso si confronta con un valore di riferimento  $G$  pari a -1 °C (100 m)<sup>-1</sup>, detto Gradiente adiabatico secco.

Se  $G_a > -1$  si ha atmosfera stabile e il gradiente è detto sub-adiabatico, se  $G_a = -1$  si ha atmosfera neutra e il gradiente è detto adiabatico, e se  $G_a < -1$  si ha atmosfera instabile e il gradiente è detto super-adiabatico.



**Figura 3, rielaborazione da Oke (1978). Profili verticali della temperatura dell'atmosfera vicino al suolo durante una bella giornata. Onda di smog**

Un'atmosfera stabile ostacola i moti verticali di una particella d'aria nell'atmosfera che si metta in moto per una qualsiasi ragione verso l'alto o verso il basso e la stessa tende a ritornare alla posizione di partenza, mentre un'atmosfera instabile li accelera e la particella si allontana sempre di più dalla posizione occupata inizialmente.

Due casi particolari di atmosfera stabile si hanno con  $G_a = 0$ , caso di atmosfera isoterma, e con  $G_a > 0$  caso d'inversione termica, che corrisponde a una forte stabilità atmosferica. Bisogna tenere presente, inoltre, che nell'atmosfera possono esistere a varie quote strati di diversa stabilità atmosferica che evolvono nel tempo.

Nella Figura 3, che schematizza il fenomeno dell'onda di smog, sono riportati quattro profili di temperatura relativi all'andamento della temperatura con l'altezza dal suolo nella bassa atmosfera, nell'arco di una bella giornata con tempo anticiclonico e scarsa ventilazione: a) prima del sorgere del sole, b) dopo il sorgere del sole, c) a metà giornata e d) poco prima del tramonto. Notiamo che la base dell'inversione notturna presente nei primi cento metri circa di atmosfera, dopo il sorgere del sole, si sposta dal suolo a quote via via crescenti, indicate con  $h^*$  e si ha allora inversione termica con la base in quota.

La quota della base dell'inversione o dello strato stabile, come nel profilo c), diventa massima circa a metà giornata.

Al tramonto tende poi progressivamente a ristabilirsi l'inversione termica al suolo e il giorno dopo, se permane il tempo anticiclonico, il ciclo ricomincia. Si precisa che pur riferendosi ad una tipica situazione rurale i profili possono essere, in prima approssimazione, utilizzati anche per una situazione urbana periferica.

Con riferimento ancora alla Figura 3, si ha che gli inquinanti atmosferici emessi dagli autoveicoli durante la notte e nelle prime ore del mattino subito dopo il sorgere del sole, in tali condizioni meteorologiche di stabilità atmosferica dovuta all'inversione termica, restano bloccati vicino al suolo stesso.

Al mattino, profilo b), la radiazione solare scalda via via il suolo al trascorrere del tempo e da inizio a moti convettivi che erodono l'inversione notturna per un'altezza crescente  $h^*$ , detta altezza dello strato di mescolamento, in cui gli inquinanti vengono rimescolati intensamente disperdendosi nell'atmosfera al di sotto dell'inversione. Inoltre, la forte radiazione solare genera reazioni tra gli stessi inquinanti con formazione dello smog fotochimico, che ha effetti irritanti e dannosi per la salute e l'ambiente.

Proprio quegli effetti irritanti potevano sperimentarsi affacciandosi nella prima mattinata e con l'intensificarsi del traffico, perché verso quell'ora la base dell'inversione giungeva proprio alla quota del balcone del settimo piano, per poi superarlo e raggiungere progressivamente gli altri piani dell'edificio.

Lo strato stabile in quota costituito dalla residua inversione, ostacolando i moti verticali dell'aria, si comporta come strato sostanzialmente riflettente verso il suolo rispetto agli inquinanti atmosferici emessi dal traffico veicolare e dispersi lungo l'altezza di mescolamento. Tuttavia, una parte d'inquinanti presenti diffonde soprattutto nei primi metri dello strato stabile, per effetto della debole turbolenza che li caratterizza.

Ritornando alla mia esperienza, la parte più bassa di tale strato stabile era la sede maggiormente caratterizzata dalla presenza dell'irritante smog fotochimico e guardando in lontananza si vedeva la città sovrasta-

ta da una sorta di densa foschia che poi scompariva nella tarda mattinata, proprio quando lo strato di mescolamento raggiungeva l'altezza maggiore dopo la completa distruzione dell'inversione termica, in accordo con il profilo c) dello schema di Figura 3.

La concentrazione degli inquinanti precursori dello smog rimaneva verosimilmente elevata nell'aria anche per la presenza del canyon, configurazione che impedisce la dispersione trasversalmente all'asse della strada. Possiamo ipotizzare che in tali condizioni, se supponiamo trascurabile il vento, avvenga prevalentemente la dispersione in direzione verticale degli inquinanti emessi. Tale dispersione, come s'è detto, è fortemente turbolenta solo nello strato di mescolamento per la presenza di moti convettivi verticali, mentre nello strato stabile sovrastante si ha debole turbolenza. Questa ultima circostanza favorisce la formazione dello smog fotochimico che ha inizio con la fotolisi del biossido di azoto, ad opera della radiazione solare ultravioletta, tra 0,37 e 0,42 micron di lunghezza d'onda, che genera monossido di azoto e ossigeno atomico che legandosi a quello atmosferico genera ozono che, come vedremo, dà luogo ad altre reazioni.

Con riferimento alla Figura 3, possiamo ritenere che lo strato costituente l'onda di smog sia localizzato immediatamente alla base dell'inversione termica, o dello strato stabile, all'altezza  $h^*$ . Per quanto riguarda l'irritazione e il senso di soffocamento da me sperimentati, essi derivavano dal fatto che in una boccata d'aria contenente smog fotochimico sono contenute varie sostanze nocive.

La catena di reazioni tra gli inquinanti presenti in atmosfera, da cui tale smog trae origine, come s'è detto porta alla produzione di ozono,  $O_3$ , ed all'ossidazione degli idrocarburi, con successiva formazione di perossiacetil-nitrato o PAN, formaldeide, acido nitrico, nitrati e nitroderivati in fase particellare, e centinaia di altre specie chimiche minori. Una boccata d'aria, pertanto, davvero poco salubre da respirare.

Si aggiunge che oggi nel sito la situazione del traffico e delle relative emissioni inquinanti è in parte migliorata. Il semaforo esistente ora non è più destinato a regolare l'attraversamento pedonale del viale perché a tal fine è stato realizzato un sovrappassaggio poco distante. Inoltre, il viale è adesso percorso dal tram che assorbe una porzione del traffico urbano e sono in circolazione veicoli più nuovi, che emettono meno inquinanti per via delle direttive dell'Unione Europea nel frattempo intervenute nel settore. Il comune ha pure introdotto nel 2016 una ZTL, comprendente il centro storico, ubicata a qualche chilometro di distanza ad Est-Sud-Est dal sito in esame e la cui influenza eventuale sulle concentrazioni rilevate nella stazione Di Blasi dovrà essere oggetto di studio.

Tuttavia, dai rapporti annuali di Arpa Sicilia sulla qualità dell'aria, risulta che nella stazione di rilevamento Di Blasi, una delle stazioni cittadine di rilevamento da traffico, si supera il valore limite per la concentrazione media annuale degli ossidi di azoto, precursori dello smog fotochimico.

Nel sito dell'Arpa Sicilia (2021), a proposito del più recente rapporto sulla qualità dell'aria sui dati 2018, si legge:

"Come evidenziato nell'ambito del documento, sebbene per gli ossidi di azoto sia presente un trend di riduzione delle concentrazioni medie annue su tutto il territorio regionale, si rilevano -analogamente agli anni precedenti- superamenti del valore limite nelle stazioni da traffico, ubicate nell'Agglomerato di Palermo...". Per quanto riguarda il benzene, si legge: "Nel 2018 si è registrata una riduzione delle concentrazioni medie annue di benzene sia nelle aree urbane che nelle aree industriali".

Si nota, infine, che l'ozono non viene rilevato nella stazione Di Blasi. La recente relazione dell'ARPA sulla qualità dell'aria sui dati del 2019 conferma i superamenti per la concentrazione media annua degli ossidi di azoto nella stazione Di Blasi.

## Conclusioni

Per quanto detto circa l'elevata presenza degli ossidi di azoto, è probabile che il fenomeno dell'onda di smog fotochimico si verifichi ancora nel sito. Una soluzione del problema del superamento del valore limite della media annua degli ossidi di azoto, potrebbe essere lo studio e la realizzazione di un nuovo collegamento stradale diretto tra le due autostrade, in modo da evitare l'attraversamento del viale della Regione Siciliana, da parte dei veicoli in transito tra le stesse e le relative emissioni inquinanti. Inoltre, si dovrebbe procedere alla progressiva sostituzione dei veicoli in circolazione dotati di motori a combustione interna con veicoli con motori elettrici che non emettono gli inquinanti precursori dello smog. Si auspica a tal fine che i governi attuino delle politiche di incentivazione per l'acquisto di tali veicoli. Infine, si sottolinea che in condizioni meteorologiche e di traffico simili a quelle descritte è sconsigliabile, specialmente per i bambini e gli anziani che sono i più sensibili, affacciarsi al mattino da balconi e finestre di edifici prospicienti su strade di grande traffico, soprattutto prima di mezzogiorno circa. Nel caso in cui ci si affacci è bene allora stare pronti a rientrare subito in casa, non appena si cominciano ad avvertire bruciori per la presenza dello smog. Analogamente è sconsigliabile nello stesso orario aprire le finestre per il ricambio dell'aria ambiente, sempre per evitare l'ingresso in casa del pericoloso smog.

## Rosario Manno

### Riferimenti bibliografici

- ARPA Piemonte (2021) MTP5 - Profilatore di temperatura [www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/meteorologia-e-clima/meteo/mtp5-profilatore-di-temperatura](http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/meteorologia-e-clima/meteo/mtp5-profilatore-di-temperatura)
- ARPA Sicilia (2021) Qualità dell'aria in Sicilia. Disponibile il rapporto 2019 <https://www.arpa.sicilia.it/qualita-dellaria-in-sicilia-disponibile-il-rapporto-2019/>
- Byers H.R., (1974) *General meteorology. Fourth edition.* New York: Mc Graw-Hill Book company
- Cattani S., Deserti M., Fortezza F. e Poluzzi V. (1996) *Ozono troposferico: stato delle conoscenze.* A.R.P.A. Emilia-Romagna. Disponibile su: <https://www.arpa.e.it/motap/ozono/ozono.htm>
- Conati L. e Schiavon G. (1989) *I principali inquinanti atmosferici: loro sorgenti, reazioni ed effetti.* In Finzi G. (a cura di). *Modelli per la previsione e la gestione della qualità dell'aria.* Milano. CUSL, 15-67.
- Oke T.R., (1978) *Boundary Layer Climates.* New York: Methuen.
- Pasquill F., Smith F.B., (1983) *Atmospheric diffusion.* Chichester: Ellis Horwood Limited Publishers
- Turner D.B., (1970). *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. Revised, Sixth printing, Jan.1973.* Office of Air Programs Publication No. AP-26.

### Ringraziamenti

Ringrazio il dott. Vincenzo Cillaroto ed i miei figli Nicoletta e Gabriele.