

GENERACION DEL MAPA TEMATICO DEL RIESGO ATMOSFERICO

Anna María Giovagnoli

Química en estudios de contaminación atmosférica, ICR

Antes de definir el modelo de referencia es necesario aclarar el significado de algunos conceptos.

Por **peligrosidad** entendemos el conjunto de los datos relativos a las acciones que causan la degradación en términos de niveles de exposiciones-agresiones, con repeticiones temporales características del paso del tiempo.

Por **vulnerabilidad** se entiende la reducida capacidad de resistencia de los litotipos y de las construcciones históricas frente a determinadas acciones de exposición (del clima) y de agresión (contaminante).

Por **degradación o estado de conservación** se entiende la condición de debilitación progresiva del conjunto de la construcción o de alguna de sus partes, con pérdidas de nivel de las características químico-físicas de los materiales que lo constituyen, lo cual lleva a una disminución de su capacidad de resistencia frente a acciones de naturaleza distinta.

Por **estado de mantenimiento** se entiende la velocidad con la cual se modifica el estado de conservación, es decir, si avanzará la degradación y cómo lo hará (*cuadro 1*).

El estado y la dinámica de la calidad del aire pueden ser descritos a través de un sistema de "indicadores ambientales", es decir, ese conjunto de parámetros, generalmente cuantitativos, cuyo fin es el de caracterizar el estado del medio ambiente. Ejemplos de indicadores son la cantidad de sustancia contaminante emitida en un cierto período de tiempo y en un cierto ámbito espacial, la concentración en el aire de una cierta sustancia en un determinado contexto territorial, medida en un cierto intervalo de tiempo,

la cantidad de contaminante que se deposita en el suelo por unidades de superficie y de tiempo y así sucesivamente.

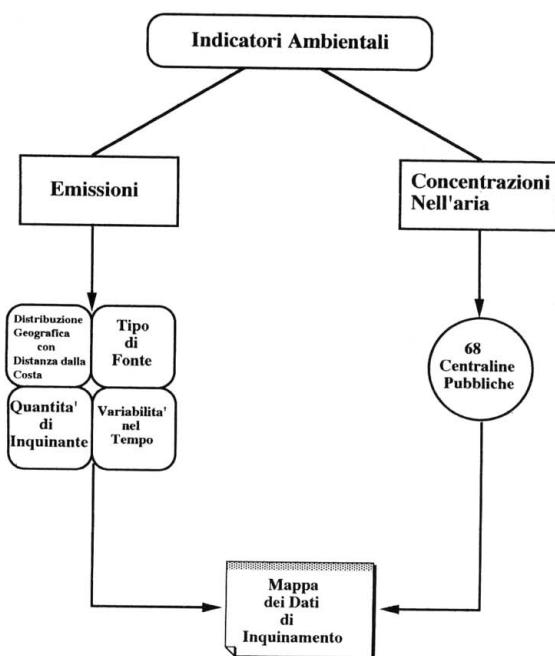
Recientemente se está haciendo uso, cada vez más, de indicadores de tipo estadístico que hacen referencia a una distribución de medidas tomadas en un cierto arco de tiempo tales como la medida aritmética, la mediana y los porcentajes.

Por lo que respecta al aire, las dos clases de indicadores a las que hoy más frecuentemente se hace referencia son los relativos a las **emisiones** y a las **concentraciones en el aire** de contaminantes (*cuadro 2*).

Por emisiones se entiende el conjunto de una serie de informaciones de tipo cualitativo que, en una determinada área, permiten determinar: la distribución geográfica y las características de las fuentes de emisión; la cantidad de contaminantes expulsados a la atmósfera; y la variabilidad de las emisiones en el tiempo.

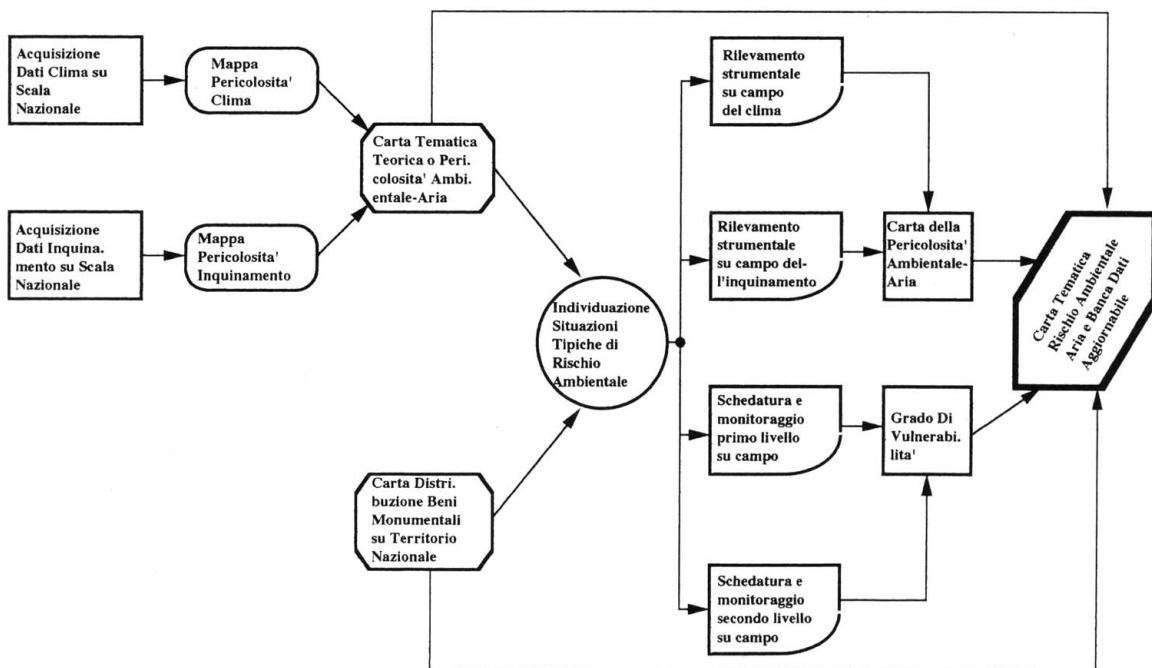
Las fuentes antrópicas pueden ser subdivididas por sectores de actividad a las que éstas pertenecen: transportes, domésticos, terciario, industrias, centrales termoeléctricas, etc.

Otro modo de clasificar las fuentes de emisión es el de subdividir las en móviles o fijas; por lo que respecta a la interrelación entre emisiones y concentraciones en el aire después de procesos de dispersión, tales fuentes, por sí solas o en combinación, pueden ser esquematizadas en fuentes puntiformes (por ejemplo grandes plantas de combustión), lineales (por ejemplo autopistas) y zonales (por ejemplo, aglomeraciones urbanas e industriales). En general, las fuentes más relevantes desde el punto de vista global son



Cuadro. 2

Cuadro. 1



los procesos de combustión controlada, sobre todo si nos referimos a valoraciones globales a nivel nacional. A nivel local, sin embargo, y en presencia de grandes plantas industriales, las emisiones por combustión pueden resultar comparables o inferiores a las generadas por procesos industriales.

Hay que decir que la falta de exactitud que comporta la estimación de las emisiones para un determinado tipo de fuente varía según el contaminante considerado.

Las emisiones de óxido de azufre, por ejemplo, dependen del contenido de azufre que tiene el combustible, mientras que las de óxido de nitrógeno dependen de factores como la carga, el tamaño y el tipo de caldera y de su grado de mantenimiento, del tipo de quemador y del combustible. Por esto es por lo que las estimaciones de las emisiones de los óxidos de azufre se consideran más fiables que las de los óxidos de nitrógeno.

Por ejemplo, según un estudio realizado en 1988 los índices de error estimados en términos de desviación estándar por emisiones relativas en el Reino Unido son:

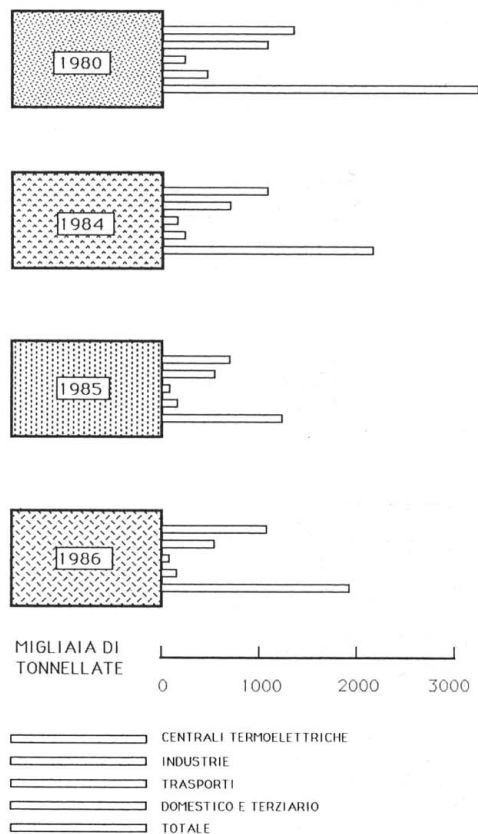
- + 3% para el óxido de azufre
- + 13% para óxidos de nitrógeno
- + 16% para los compuestos orgánicos
- + 20% para el óxido de carbono

Por todo cuanto se ha dicho, el mapa temático teórico de la peligrosidad relativa a la contaminación será construido superponiendo de manera equilibrada distintos mapas, es decir:

- a) el mapa de los datos de la distribución de las industrias.
- b) el mapa de los datos de las áreas con centrales termoeléctricas.
- c) el mapa de los datos de las áreas de un intenso tráfico de vehículos y con altos consumos de combustible para calefacción, (cuadros 3 y 4).

El mapa resultante debería encabezarse utilizando como parámetros de control las partículas atmosféricas como tal y/o como índice del humo negro y el bióxido de azufre, medidos ambos en las 68 redes de monitoraje del territorio nacional censadas por el Instituto Superior de Sanidad. Una vez realizado este control y la validación del mapa, éste deberá ser dise-

STIMA DELLE EMISSIONI NAZIONALI DI OSSIDI DI ZOLFO DA COMBUSTIONE



Fonte: ENEA

Cuadro 3

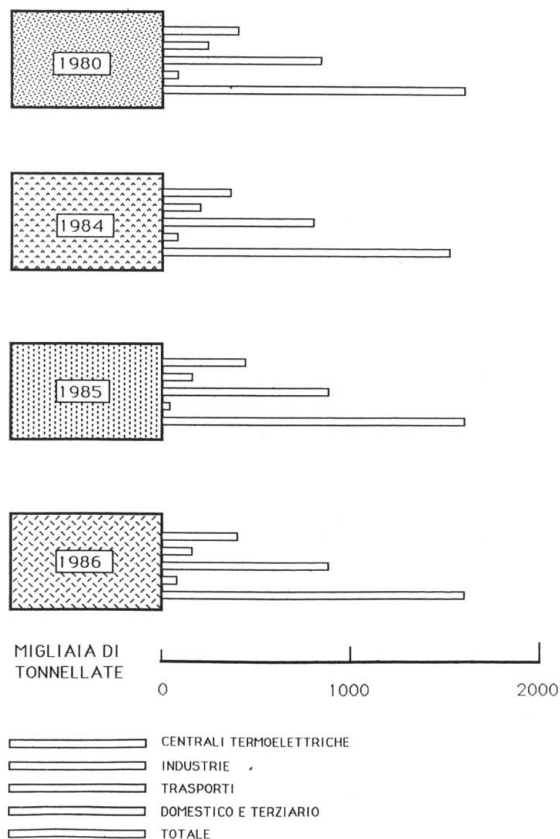
ñado utilizando también como parámetro la distancia de la línea costera, para que incluya la valoración de la contaminación por el ambiente marino.

La dificultad para diseñar un mapa de este tipo estriba en el hecho de que se deberían reunir, al menos, cinco factores distintos:

- a) distribución de los trabajadores en las industrias;
- b) emulsión y difusión de las centrales termoeléctricas;
- c) tráfico de vehículos;
- d) instalaciones de calefacción;
- e) distancia de la línea costera

Superponiendo ese mapa, según un modelo equilibrado, el mapa climático e integrándolos en el de la

STIMA DELLE EMISSIONI NAZIONALI DI OSSIDI DI AZOTO DA COMBUSTIONE



Fonte ENEA

Cuadro 4

distribución de los bienes artísticos y arqueológicos del territorio nacional, se podrá llegar a la definición de tres categorías de índices de peligrosidad: clima; contaminación y clima-contaminación.

De ese modo podrán determinarse situaciones típicas de riesgo ambiental que tengan en cuenta todos los parámetros indicados y se podrá proceder en ellas a una medición del estado de conservación mediante fichas y monitoraje de 2.º nivel llevado a cabo, con medidas instrumentales —a través de instrumental de campo y de laboratorio—, estaciones fijas o unidades móviles de medición de los factores ambientales.

Como indicadores de la degradación se tendrán en cuenta los materiales pétreos, naturales y artificia-

les, preferentemente los que tienen una componente calcárea y los de color claro. Como indicadores ambientales, todos aquellos que hemos nombrado anteriormente.

Antes de pasar a un análisis más detallado de los bloques relativos a la medición de 3.º nivel, presentaremos un estudio llevado a cabo en los años 82-83 en Roma sobre la Columna de Marco Aurelio —columna Antonina— cuya finalidad fue la de definir la influencia de la contaminación atmosférica sobre la alteración del mármol.

El estudio está articulado en tres fases:

- medición de las concentraciones en el aire de los más importantes contaminantes atmosféricos;
- determinación de los parámetros microclimáticos;
- análisis de los productos de alteración del mármol.

Los resultados han permitido definir un modelo de comportamiento del mármol que tiene presente los factores químicos y físicos así como las distintas exposiciones de las superficies.

La medición de las especies contaminantes aerodispersas tenía, además, la finalidad de determinar la influencia y la importancia relativa de las distintas fuentes de contaminación, además de los períodos de mayor peligrosidad en el arco de un año solar.

Las mediciones fueron realizadas por el Instituto Donegani de Novara según un programa y unas modalidades definidas por los expertos del I.C.R.

Por lo que respecta al mármol, el estudio ha sido efectuado sobre muestras tomadas en zonas que presentaban formas de alteración distintas entre sí y fácilmente distinguibles: zonas con costras negras; zonas erosionadas por la lluvia y, por consiguiente, libres de depósitos aunque igualmente sin cohesión; zonas con pequeños alvéolos; y zonas intencionadamente recubiertas por un estrato rosado.

Por lo que se refiere a los contaminantes gaseosos las mediciones fueron realizadas a distintas cotas —4 mt, 35 mt— y los elementos medidos fueron: SO_2 , NO_x , CO_2 , partículas en suspensión, partículas sedimentarias, acidez, conductibilidad, iones solubles SO_4^{-1} , NO_2^- , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , CA^{+2} , NA^+ , K^+ ; tempe-
ratura del aire, humedad relativa, presión, radiación solar global y neta, velocidad y dirección del viento,

intensidad y ph de la lluvia; temperatura de la columna y del aire circundante.

Los plazos para la medición se definieron en base a las indicaciones contenidas en el documento Normal 5/81.

En los cuadros se muestran los valores medios de concentración del SO_2 , NO_x s.p.m. para las dos localizaciones y las cuatro estaciones (Figs. 1, 2 y 3).

Los resultados han determinado con claridad que la contaminación por SO_2 está estrechamente relacionada con el funcionamiento de las instalaciones de calefacción doméstica. Durante el invierno y el otoño aparecen muy pronunciados dos picos de concentración del SO_2 a las 9 y a las 19 horas, coincidiendo con el funcionamiento de las calefacciones. Los bajos valores registrados en primavera y en verano son atribuibles a la contribución del tráfico de vehículos y a las actividades industriales. Además, la marcha típica de la jornada media se resiente, principalmente por la mañana, de la reactivación de las calefacciones y, de manera subordinada, de la mayor intensidad del tráfico.

También por lo que respecta al NO_x los resultados obtenidos indican que en la estación fría su producción está relacionada con la calefacción doméstica y el tráfico de vehículos que influye la marcha de la concentración del NO_x de un modo más relevante del que se había apreciado para el SO_2 . El predominio de la cantidad de s.p.m. del día respecto a la noche está ligado, evidentemente, al funcionamiento de las calefacciones y al tránsito de vehículos.

Por lo que respecta el análisis de las sales solubles en muestras sacadas del mármol, los resultados (ver figs. 4, 5, 6, 7 y 8) permiten realizar las siguientes consideraciones. Para las costras negras existe una muy buena correlación entre CA^{+2} y SO_4^{2-} . Este dato confirma también los datos del análisis dx, que había determinado que el yeso era el componente principal de las costras negras.

En el estrato inmediatamente inferior a la costra negra sigue siendo buena la correlación CA^{+2} y SO_4^{2-} y la tiza está aún presente como compuesto predominante. En las zonas erosionadas el contenido de sales solubles es muy bajo. En las zonas de mármol con alvéolos el yeso sigue siendo el compuesto más abun-

Concentrazione di SO_2 (mediana) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Periodo	4 m		35 m	
	Giorno	Notte	Giorno	Notte
Estate '82	40	35	11	8
Autunno '82	152	51	27	19
Inverno '83	139	72	67	32
Primavera '83	21	21	3	3

Concentrazione di NO_x (mediana) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Periodo	4 m		35 m	
	Giorno	Notte	Giorno	Notte
Estate '82	73	116	41	90
Autunno '82	340	186	139	94
Inverno '83	233	169	53	32
Primavera '83	103	111	32	70

Concentrazione di s.p.m. (valori medi) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Periodo	4 m		35 m	
	Giorno	Notte	Giorno	Notte
Estate '82	196	166	184	146
Autunno '82	155	122	114	103
Inverno '83	133	111	109	100
Primavera '83	195	180	159	154

Figs. 1, 2 y 3

dante. Todos estos datos han sido confirmados por la observación en el SEM y a través de ellos se ha establecido que el yeso es abundantísimo en las costras negras. Se ha puesto de relieve, además, que por debajo de las costras el mármol está muy deteriorado. Los espacios intercristalinos están notablemente extendidos y es allí donde se concentra el azufre; también las soluciones para H^2 y SO_4 penetran fácilmente en el interior de la red capilar del mármol y contribuyen a ensanchar los diámetros corroyendo los cristales de cal a lo largo de los bordes y ejerciendo fuertes presiones en la fase de la cristalización. Por lo tanto y como conclusión existe una correlación entre alteración del mármol y contaminación por SO y por partículas.

El yeso es el componente principal de las costras negras, pero está presente también en las zonas que

Analisi di sali solubili in acqua (% in peso)

Tipo di campione	Na ⁺ ¹	Ca ⁺ ²	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
Crosta nera	0,5	16,4	0,02	0,17	41,3	0,05
Marmo sotto la crosta nera	0,2	12,2	0,01	0,09	28,4	0,03
Marmo dilavato dalla pioggia	0,5	1,9	0,03	0,01	0,1	0,02
Marmo con alveoli	0,1	5,7	0,01	0,09	2,1	0,02
Strato rosato	1,6	6,4	0,01	0,08	2,1	0,01

Analisi di sali solubili in acqua (% in peso)

Tipo di campione	Na ⁺	Ca ⁺ ²	NH ₄	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
Crosta nera	0,5	16,4	0,02	0,17	41,3	0,05
Marmo sotto la crosta nera	0,2	12,2	0,01	0,09	28,4	0,03
Marmo dilavato dalla pioggia	0,5	1,9	0,03	0,01	0,1	0,02
Marmo con alveoli	0,1	5,7	0,01	0,09	2,1	0,02
Strato rosato	1,6	6,4	0,01	0,08	2,1	0,01

Figs. 4 y 5

se encuentran por debajo de la superficie y es causa del deterioro del mármol.

Volviendo al esquema por bloques, analicemos ahora la fase relativa a la medición por muestreo del estado de conservación y del grado de peligrosidad ambiental por contaminación mediante la realización de fichas y el monitoreaje instrumental sobre el terreno.

Como hemos dicho, en casos de especial interés se llevan a cabo investigaciones de segundo nivel para permitir valoraciones más refinadas concernientes tanto a la vulnerabilidad, y por consiguiente al riesgo, como a la programación de las medidas de conservación.

La elección de las zonas deberá ir unida a unos determinados requisitos ligados a la presencia de la intensidad de los factores de riesgo para el patrimonio cultural.

La amplitud de la operación de medición deberá ser tal que nos proporcione una muestra suficientemente representativa de las distintas realidades existentes en el territorio nacional.

Esta operación tiene una doble finalidad:

a) verificar la fiabilidad de los datos proporcionados por los mapas temáticos y/o validarlos, o bien efectuar en ellos las oportunas modificaciones;

b) cuantificar la entidad de los daños producidos por los factores de riesgo sobre los bienes.

El segundo nivel se valdrá de instrumentos para el monitoreaje instrumental sobre el terreno, con plazos de medición prorrogable y a cargo de un personal de formación técnico-científica. Este nivel de medición afectará a determinados tipos de bienes que por su naturaleza estructural o por los materiales que lo constituyen se pueden clasificar como sujetos a alto riesgo.

Para el estudio relativo a los materiales pétreos y a la caracterización de sus alteraciones, se elegirán tres monumentos (un máximo de seis litotipos en total) de manera que se tengan los mismos litotipos expuestos en los lugares elegidos.

Para obtener el mayor número de informaciones será oportuno elegir localidades que representen las distintas combinaciones posibles de los tres tipos de riesgo (riesgo estático-estructural, riesgo atmosférico y riesgo antrópico) en sus diferentes grados de intensidad, y una zona de riesgo cero.

Los lugares deberán presentar, entre sus materiales pétreos constitutivos, al menos dos de piedra calcárea y de color claro. En cada lugar se procederá a realizar un cuidadoso registro fotográfico y macrofotográfico del estado de las superficies y una descripción de las características expositivas de las mismas.

Se elegirán seis zonas por cada litotipo, tres caracterizadas por la formación de costras negras y tres con un depósito uniforme y superficial de partículas (zonas grises). En cada una se aplicarán cuñas de limpieza y con una instrumentación portátil se llevarán a cabo algunas mediciones colorimétricas y ópticas tanto en las zonas limpias como en las correspondientes áreas sin limpiar.

En la fase inicial se realizarán en las zonas limpias unos test específicos de absorción y de rugosidad que se repetirán a lo largo del tiempo.

También en la fase inicial se realizarán fichas de los materiales pétreos según las indicaciones y las modalidades que aparecen en la figura 9.

La fase de medición de los efectos de la contaminación atmosférica sobre los materiales se articula en dos momentos diferentes, uno *in situ* y otros en laboratorios de ensayo experimentales.

Los análisis *in situ* tienen la finalidad de buscar una correlación entre las distintas especies iónicas con el fin de determinar las sales solubles presentes con mayor probabilidad y posteriormente ponerlos en relación con los contaminantes atmosféricos.

Tanto *in situ* como en los laboratorios se efectuarán medidas y muestreos análogos, siguiendo métodos normalizados.

El estudio de los contaminantes se llevará a cabo utilizando una estación de medición móvil; para las modalidades de muestreo y de análisis y para los requisitos de los aparatos nos dirigiremos al Doc.

Concentrazione di SO_4^{-2} (mediana) ($\mu g/m^3$)

Periodo	4 m		35 m	
	Giorno	Notte	Giorno	Notte
Estate '82	40	35	11	8
Autunno '82	152	51	27	19
Inverno '83	139	72	67	32
Primavera '83	21	21	3	3

Concentrazione di NO_x (mediana) ($\mu g/m^3$)

Periodo	4 m		35 m	
	Giorno	Notte	Giorno	Notte
Estate '82	73	116	41	90
Autunno '82	340	186	139	94
Inverno '83	233	169	53	32
Primavera '83	103	111	32	70

Concentrazione di s.p.m. (valori medi) ($\mu g/m^3$)

Periodo	4 m		35 m	
	Giorno	Notte	Giorno	Notte
Estate '82	196	166	184	146
Autunno '82	155	122	114	103
Inverno '83	133	111	109	100
Primavera '83	195	180	159	154

Figs. 6, 7 y 8

NORMAL 5/81.

Como conclusión se trazarán los perfiles de distribución de las sales solubles en agua en función de la profundidad de la toma de muestras y se confrontarán las distintas exposiciones.

De los perfiles de distribución (sobre todo por sulfatos y nitratos) expresados tanto como porcentaje en peso como cantidad/unidad de superficie, será posible extraer datos sobre la intensidad del deterioro y sobre el espesor del material afectado por éste.

Los resultados de los análisis sobre el material deberán compararse, al final, con los relativos a las muestras expuestas al aire libre en cada uno de los lugares y con los resultados de las campañas de medición de la contaminación.

PROCEDURE PER L'ANALISI DEI DANNI SUI MATERIALI LAPIDEI

FASE PRELIMINARE

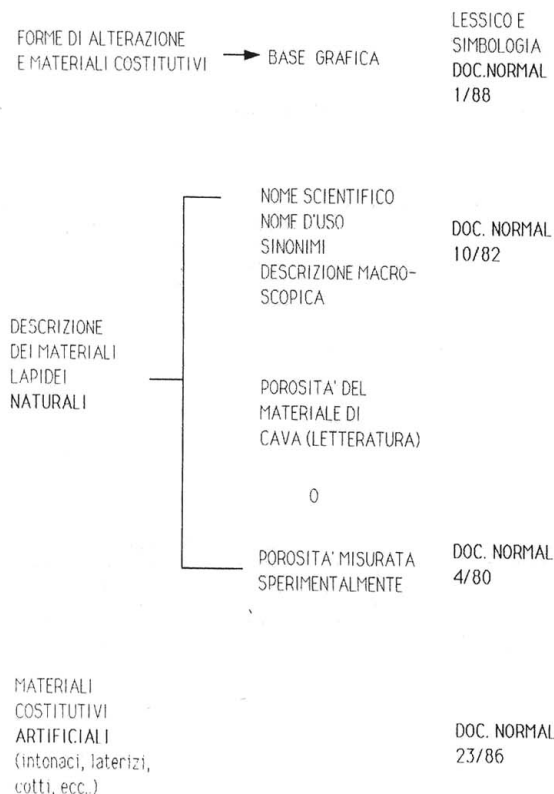


Fig. 9

La confrontación estará encaminada a definir la agresividad del ambiente y a comprender la velocidad de los procesos de alteración ligados a ésta; la finalidad última será la de determinar y definir, en la medida de lo posible, "la función del daño".

Para concluir, los instrumentos que interpretan la degradación y la vulnerabilidad de los materiales así como el grado de riesgo atmosférico son: fichas y toma de muestras de primer nivel; datos de archivo relativos al clima, a la contaminación, etc; prescripciones de segundo nivel que constituyan una normativa para la medición por muestreo; fichas y toma de muestras de segundo nivel; y datos experimentales obtenidos por estaciones de medición tanto móviles como fijas.

Bibliografia

F. Prodi, F. Tampieri, "The removal of particulate matter from the atmosphere: the physical mechanism", *PAGEOPH*, vol 120 (1982).

T. Nakamura, "Quantitative determination by X-ray diffractometry of calcium sulfate and calcium carbonate in airborne dusts", *Powder diffraction*, vol: 3, n.º 2 (June 1988).

B.B. Hicks, "Wet and dry surface deposition of air pollutants and their modeling", *Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois 60439, U.S.A.*, (February 2-4-1981).

Ministero dell'ambiente, "Relazione sullo stato dell'ambiente", (1989).

Ministero per i beni culturali e ambientali, **G. Biscontin, S. Diana, V. Fassina, M. Marabelli**, "Indagini sugli inquinanti atmosferici all'interno e all'esterno della Cappella degli Scrovegni", *Bollettino d'arte, serie speciale*.

Ministero per i beni culturali e ambientali - I.C.R. - Bonifica Italeco, "Memorabilia" il futuro della memoria. Per una carta del rischio del patrimonio culturale", (1987).

M. Laurenzi Tabasso, M. Marabelli, "Colonna Antonina" inquinamento atmosferico e stato di conservazione del marmo", *Italia nostra, "Città inquinata i monumenti"*, a cura di A. Montanari e P. Petrarola, Roma, (1989).