

<b>Zeitschrift:</b>	Bollettino della Società ticinese di scienze naturali
<b>Herausgeber:</b>	Società ticinese di scienze naturali
<b>Band:</b>	75 (1987)
<b>Artikel:</b>	La meteorologia dell'inquinamento atmosferico nella Svizzera italiana
<b>Autor:</b>	Ambrosetti, Paolo / Kappenberger, Giovanni / Roesli, Hans Peter
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-1003414">https://doi.org/10.5169/seals-1003414</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 30.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# LA METEOROLOGIA DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO NELLA SVIZZERA ITALIANA

PAOLO AMBROSETTI, GIOVANNI KAPPENBERGER,  
HANS PETER ROESLI

OSSERVATORIO TICINESE DELL'ISTITUTO SVIZZERO  
DI METEOROLOGIA 6605 Locarno-Monti

---

## SUMMARY

The region of the Italian speaking part of Switzerland covers a mountainous area between the central Alps and the Po Valley. On the one hand, this particular topographical position favours a generally mild and sunny climate. On the other hand, the same features make the region very vulnerable to air and to soil pollution. The danger of air pollution stems from a frequent de-coupling of the low-level circulation from the synoptic scale with a strong tendency to re-circulation or stagnation of the air masses. Southerly air streams give rise to heavy upslope precipitation which, through rain and wash out of the polluted stagnant low-level air mass, leads to wet deposition of considerable amounts of soil pollution material. The meteorological implications for the high air and soil pollution potential of the region are discussed in greater detail, with particular reference to the Chernobyl event and to the acid rain problem.

## RIASSUNTO

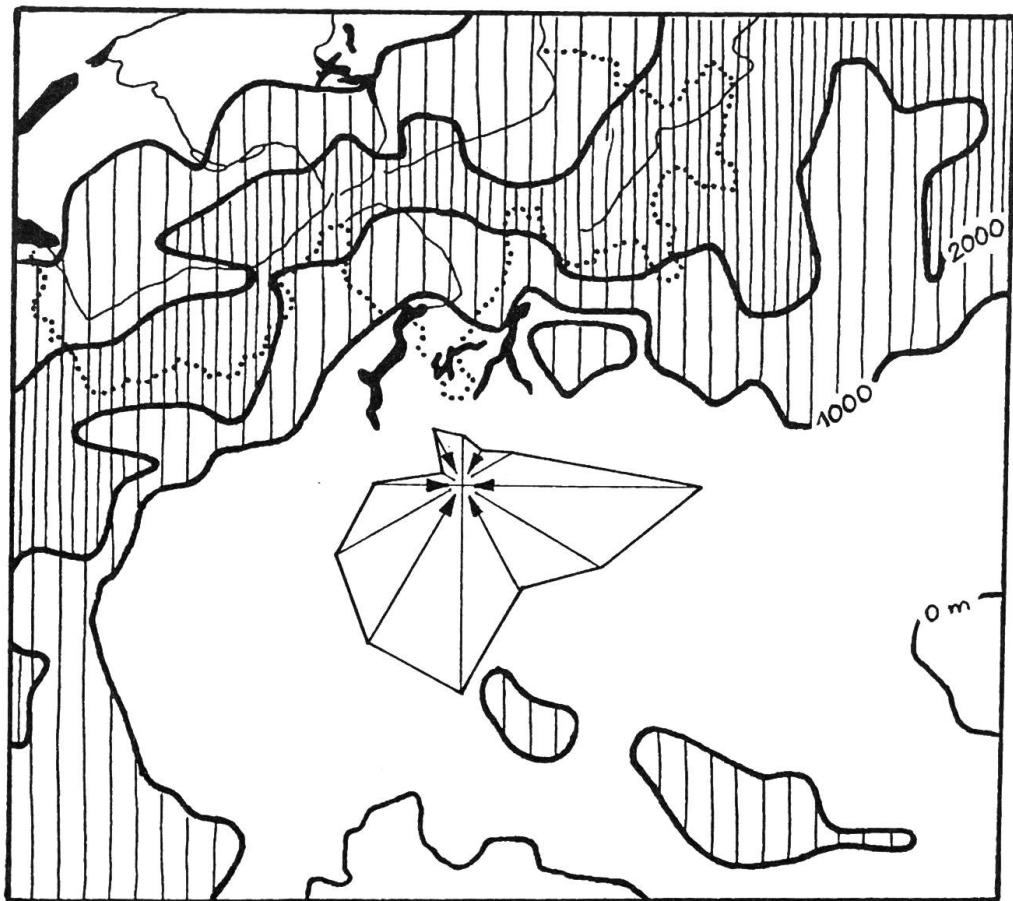
La Svizzera italiana si trova tra le Alpi Centrali e la Pianura padana in una zona montagnosa. Questa particolare posizione geografica determina da un lato un clima soleggiato e mite, mentre dall'altro rende questa regione particolarmente vulnerabile all'inquinamento dell'aria e del suolo. Il pericolo d'inquinamento atmosferico è dovuto alla frequente indipendenza della circolazione degli strati inferiori da quella sinottica, con una forte tendenza alla recircolazione locale o alla stagnazione della massa d'aria. In caso di forti correnti meridionali, precipitazioni intense producono un dilavamento dell'aria con un conseguente carico inquinante del suolo.

Qui sono discusse in dettaglio le cause meteorologiche dell'elevato potenziale inquinante dell'aria e del suolo con particolare riguardo alle piogge acide e al caso d'inquinamento a lunga distanza dovuto all'incidente alla centrale nucleare di Chernobyl.

### 1. La posizione geografica della Svizzera italiana

Una catena montuosa come le Alpi influenza sensibilmente i processi meteorologici della bassa troposfera. L'effetto delle Alpi si manifesta su qualsiasi parametro meteorologico. Il risultato si rispecchia nel clima particolare di ogni singola zona situata nella regione alpina. Il clima del sud delle Alpi si differenzia sensibilmente da quello nordalpino: infatti oltre ad essere più mite, beneficia di più di sole e di meno giorni con precipitazioni, ma con piogge più abbondanti.

Ciò è dovuto al fatto che il versante meridionale delle Alpi è protetto dalla cresta alpina che fa da sbarramento ai venti umidi provenienti dall'Atlantico. Quando però i venti soffiano dal Mediterraneo, ciò che è meno frequente, le precipitazioni sono più intense, in quanto affluiscono masse d'aria più calde che possono contenere più umidità, scaricata in seguito come pioggia.



**Fig. 1.** Topografia delle Alpi contornanti la Pianura Padana, calcolata in base alle altezze dei punti di una griglia di 15 Km. Sono segnate solo le curve di livello 0-1000-2000 m. Sopra Milano vi è la rosa dei venti del radiosondaggio di Linate al livello 850 hPa (ca. 1500 m) per i soli giorni con precipitazione a Locarno Monti (vedi pure Fig. 2).

Nella rappresentazione della figura 1 estratta da DE MORSIER (1985), si può notare come la barriera alpina presenti una rientranza proprio in prossimità del Ticino. Infatti la Valpadana s'incunea verso le Alpi in maniera che il Ticino è situato in una specie di imbuto chiuso verso nord e aperto verso meridione. Come si vedrà in seguito, questo fatto ha importanti conseguenze, in parte positive, ma in parte pure negative, su problemi dell'inquinamento dell'aria.

## 2. Circolazione a mesoscala, situazioni tipiche, trasporto e deposizione d'inquinamenti

Alla scopo di ottenere una classificazione dei « tipi di tempo » che interessa la Valpadana, BORGHI e GIULIACCI (1979) hanno portato un contributo di base, creando una classificazione delle circolazioni. La classificazione si basa su 3 classi:

V1: circolazione a livello sinottico (ca. 1500 m)

V2: circolazione secondaria degli strati più bassi

V3: circolazione di brezza.

Sarebbe troppo complesso entrare nel dettaglio di tutte le situazioni che si possono riscontrare con la combinazione delle 3 classi. Nel presente articolo ci limitiamo perciò ad illustrare solo alcuni punti essenziali che risultano importanti per la Svizzera Italiana.

D'altra parte è stata invece allestita una statistica secondo la suddivisione climatologica delle situazioni meteorologiche secondo SCHHÜEPP (1979). Le 40 classi su cui si basa sono suddivise in situazioni convettive [15], avvettive [24] e miste [1].

## 2.1 Statistica delle situazioni meteorologiche che provocano una concentrazione degli inquinanti nell'aria e al suolo nella Svizzera Italiana

Si possono identificare tre tipi di situazioni meteorologiche che provocano una concentrazione regionale di sostanze inquinanti:

A: quelle con precipitazioni (deposito al suolo degli inquinanti),

B: aria stagnante,

C: recircolazione dell'aria in mesosistemi staccati dalle correnti a scala sinottica (concentrazione nell'aria).

La colonna [1] della tabella seguente mostra un'alta frequenza di queste situazioni per il Ticino: negli ultimi 40 anni in totale si sono avute nel 86% dei casi situazioni con un potenziale inquinante, mentre solo nel 14% la ventilazione era sufficiente per disperdere le sostanze inquinanti.

Tra le situazioni potenzialmente critiche prevalgono quelle senza precipitazioni, in quanto l'aria non viene purificata (dilavata). Per questo motivo, nonostante la quasi assenza di nebbie tra autunno e primavera, il nostro Cantone è molto sensibile all'inquinamento atmosferico di origine locale. Attenzione quindi alla pianificazione di fonti particolarmente inquinanti sul nostro territorio (p.e. certe industrie). Già negli ultimi anni si è potuta constatare una riduzione della visibilità sul Piano di Magadino a causa del peggioramento della qualità dell'aria (cfr. ROESLI, 1973).

D'altra parte un confronto tra le frequenze medie degli ultimi 40 anni con quelle degli ultimi 10 (colonna [2]), mostra una tendenza all'aumento delle situazioni inquinanti. Ciò è dovuto all'aumento delle situazioni con precipitazioni, mentre il gruppo che produce un inquinamento dell'aria è rimasto invariato. Ciò fa supporre un aumento del carico inquinante nel suolo.

L'aumento delle situazioni con precipitazioni va a scapito di quelle ventilate, soprattutto delle situazioni favoniche (vedi ultima riga della tabella), che subentrano normalmente dopo delle piogge.

Dalla sensibile riduzione dei casi ventilati e di favonio, si può dedurre un aumento delle correnti zonali e meridionali, a scapito di quello con una componente settentrionale.

Per una descrizione delle differenti situazioni meteorologiche rimandiamo a SCHHÜEPP (1979).

	(1) 1945 – 1984 [%]	(2) 1976 – 1984, 86 [%]
Situazione con potenziale inquinamento del suolo, ossia con precipitazioni (P)	33	38
Situazione con potenziale inquinamento dell'aria, ossia con aria stagnante (S)	53	53
(P) + (S)	86	91
Situazioni ventilate senza precipitazioni, di cui con favonio da nord	14 12	9 8

**Tab. 1.** Classificazione delle situazioni meteorologiche sulle Alpi centrali, raggruppate secondo il potenziale d'inquinamento (dell'aria e/o al suolo) rispettivamente con ventilazione, sulla nostra regione. Confronto fra le percentuali medie di frequenza per il quarantennio 1946-1984 e l'ultimo decennio 1976-1984 e 1986.

## 2.2 Condizioni di brezza e avvettive.

### 2.2.1 Situazioni di brezza.

Secondo BORGHI (1979), il 40% dei giorni sono favorevoli allo sviluppo di brezze. Le circolazioni di brezza fanno la loro comparsa soprattutto nelle situazioni convettive, in parte pure nelle altre (v. Tab. 1). Qui sono anche contemplate le situazioni anticloniche, con campi barici livellati, ossia proprio quelle condizioni che sono maggiormente favorevoli all'accumulo di inquinanti negli strati prossimi al suolo. In tali condizioni gli inquinanti percorrono traiettorie che sono in genere determinate dalle brezze, a loro volta azionate dal riscaldamento differenziale pianura-montagna, terra-lago.

Sulla Svizzera italiana la brezza notturna scende dai pendii, soffia dalle valli portando aria pura dal centro delle Alpi verso la loro periferia. Gli inquinanti locali si muovono verso valle, più a Sud e sono in parte « esportati ». Nelle ore notturne della stagione fredda, negli strati immediatamente vicini al suolo delle zone pianeggianti, si osserva spesso calma di vento, ciò che è dovuto alla viscosità dell'aria, ivi talmente elevata da prevalere sulle forze di origine termica. Questa calma è però limitata alle prime decine di metri, mentre sopra vi è la brezza. In Ticino, il Sopraceneri risente maggiormente della brezza proveniente dalle Alpi che poi si dirige lungo il lago Maggiore, mentre il Sottoceneri è sottoposto a una brezza notturna più locale e a un minor riscaldamento dell'aria fresca. Questo è probabilmente il motivo principale del notevole inquinamento dell'aria che è stato registrato durante l'inverno a Lugano dalla rete di rilevamento NABEL (1983), in particolare dell'anidride solforosa.

La brezza diurna invece soffia da sud a nord, seguendo le valli, ma estendendosi anche a strati più alti, in modo che gli inquinanti provenienti dalla pianura interessano tutte le fasce d'altitudine, tra il fondovalle e le cime delle montagne. In certe condizioni è però possibile che gli inquinanti possono muoversi in avanti e indietro più volte tra le Alpi e la pianura senza che la massa d'aria venga rinnovata. In questi casi gli effetti negativi dell'inquinamento possono aumentare sensibilmente, come conseguenza secondaria delle reazioni fotochimiche, in particolare la produzione di ozono, che hanno luogo durante le ore diurne nelle giornate d'estate.

### 2.2.2 Condizioni avvettive secondo la direzione delle correnti in quote

Il trasporto di inquinanti verso la Svizzera italiana dipende dal campo barico al suolo ed in particolare dalla differenza di pressione attraverso le Alpi. Questi dipendono in grandi linee dalle correnti al di sopra della cresta alpina che caratterizzano un certo tipo di tempo sul versante sudalpino, che si potrebbe riassumere come segue:

Vento da...

1. O: per lo più secco, soprattutto in pianura. Generalmente soleggiato, nuvolosità variabile, più o meno limpido. (Estate: abbastanza caldo. Inverno: mite).
2. NO, N, NE: secco, soleggiato, limpido, vento in montagna e nelle vallate superiori, spesso pure in pianura (favonio e foehn). (Estate: notti fresche. Inverno: freddo con NE, più mite con NO).
3. E: secco, caligine e foschie. (Estate: abbastanza soleggiato, afoso. Inverno: freddo, in montagna soleggiato, sotto i 1000-1500 m nuvolosità bassa o nebbia).
4. SE, S, SO: nuvoloso o molto nuvoloso, caligine e foschie, precipitazioni. (Estate: afoso. Inverno: mite).

In questo brevissimo riassunto estremamente semplificato, si nota che le situazioni meteorologiche con correnti che hanno una componente da meridione attraverso le Alpi [3 e 4], sono pure quelle più critiche per quel che concerne il trasporto di inquinanti verso la Svizzera italiana. Nella Tab. 1 queste situazioni sono comprese in (P)+(S). Le masse d'aria che invece hanno una direzione opposta attraverso le Alpi, soprattutto più secche e più purificate, ossia con meno caligine, sulla Svizzera italiana [1 e 2].

Il fatto che la Svizzera « esporta acqua » tramite i fiumi, sta ad indicare che le precipitazioni sul territorio sono superiori all'evaporazione. Di conseguenza la barriera alpina funge da raccoglitore di inquinanti che si depositano con la neve e la pioggia.

Le masse d'aria che provengono da O, NO, N e NE vengono dunque purificate dalle precipitazioni che cadono quasi essenzialmente oltr'alpe. Viceversa, in caso di correnti da SO, S, SE ed E l'apporto di vapore acqueo e il trasporto di particelle a lunga distanza interessano

maggiormente il versante sudalpino, dove vengono purificate le masse d'aria con le precipitazioni.

Una particolarità è data dalle situazioni con venti da E.

Essendo la Valpadana aperta verso levante, quando i venti soffiano da quella direzione, a tutti i livelli l'aria può penetrare sulla Pianura senza trovare ostacoli (Bora). Se contemporaneamente vi è una differenza di pressione da sud a nord attraverso le Alpi, vi è allora un apporto massimo di inquinanti verso la Svizzera Italiana (vedi pure 2.2.). Infatti, in questo caso, l'aria continentale sopraggiunge già carica di inquinanti provenienti dai paesi dell'Europa orientale, e sul suo cammino attraverso la Pianura Padana si è ulteriormente arricchita di particelle (situazione meteorologica dopo la catastrofe di Cernobyl). Sovente in queste situazioni, vi è un'inversione termica – per lo più tra i 1000 e i 1500 m –, dovuta ad un anticiclone sull'Europa, ciò che impedisce il rimescolamento verticale dell'aria con gli strati superiori.

## 2.3 Deposizioni

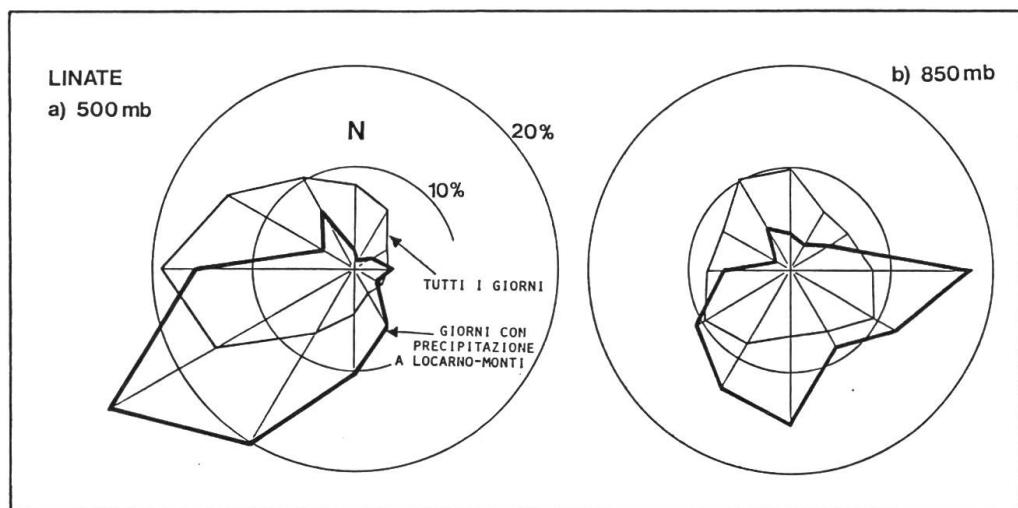
### 2.3.1 Deposizione umida sulla Svizzera Italiana

Come si può notare dalla Tab. 1, la frequenza delle situazioni meteorologiche con potenziale d'inquinamento del suolo per mezzo della deposizione umida si aggira sul 33% (1945-84) rispettivamente 38% (1976-84, 86).

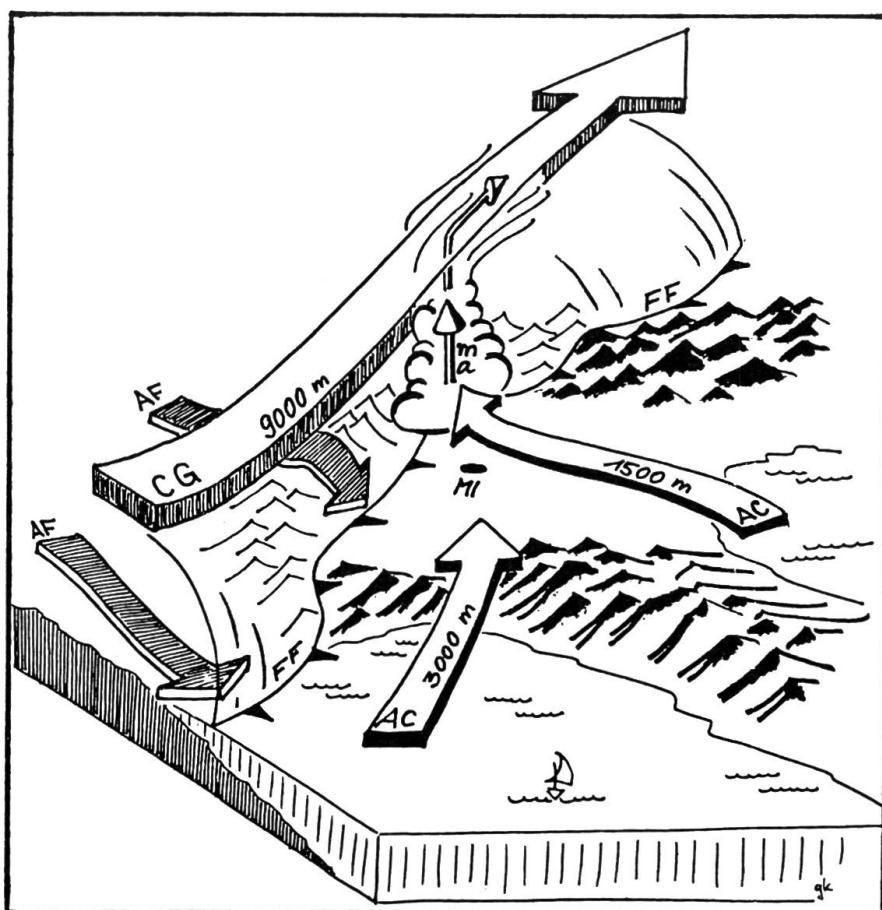
Il quantitativo delle precipitazioni, oltre che dal contenuto d'umidità della massa d'aria, dipende pure dal volume d'aria sollevata su di una certa regione rispettivamente dal volume d'aria che affluisce. Di conseguenza più sono forti i venti umidi che soffiano da sud, più si manifestano gli effetti orografici di sbarramento (Stau), vale a dire di sollevamento forzato a meridione delle Alpi, e più abbondanti saranno le precipitazioni. Il processo si accentua laddove confluiscono masse d'aria. Il fatto che il Ticino sia situato in una specie di imbuto chiuso verso nord e aperto verso la pianura Padana, come abbiamo già visto nella Fig. 1, si rispecchia sul quantitativo di precipitazioni che sono tra le più abbondanti delle Alpi. Le precipitazioni più intense si verificano quando negli strati bassi dell'atmosfera una corrente a getto d'aria umida – la lingua più settentrionale della corrente di scirocco – soffia dall'Adriatico attraverso la Pianura Padana. Giungendo sul « pendio » più ripido delle Alpi, quello situato tra il Lago Maggiore ed il Monte Rosa, l'aria umida è sottoposta a forte sollevamento, ciò che si rispecchia in un massimo di precipitazioni normalmente situato sull'asse Val Cannobina – Centovalli – Bassa Vallemaggia, ossia lungo la linea di spostamento dei temporali più intensi (vedi Fig. 3).

Il Ticino non solo vanta le maggiori precipitazioni e con esse rilevanti depositi di inquinanti al suolo, ma anche della maggiore acidità della precipitazione rispetto a tutta l'Italia settentrionale. Per raggiungere i gradi di acidità delle precipitazioni che cadono in Ticino gli inquinanti sono sottoposti a dei processi fotochimici che necessitano pure un certo tempo. Questi si verificano sul tragitto dalla fonte d'emissione al luogo di deposito delle precipitazioni. Come già visto sopra, questo tragitto può essere prolungato, quando prima di precipitare gli inquinanti sono sottoposti a un regime di brezze locali e si soffermano per un certo periodo di tempo nell'atmosfera muovendosi in avanti e indietro tra la pianura e le Alpi.

La figura 2 mostra la stretta correlazione che c'è tra la piovosità a Locarno Monti e la direzione del vento sopra Milano. La statistica è stata effettuata durante i due anni di misure effettuate per lo studio delle caratteristiche chimiche delle precipitazioni sull'Italia settentrionale, 1983 e 1984, GRUPPO DI STUDIO DELLE CARATTERISTICHE CHIMICHE DELLE PRECIPITAZIONI DELL'ITALIA SETTENTRIONALE (1986).



**Fig. 2.** Rosa dei venti del radiosondaggio di Milano Linate ai due livelli 850 e 500 hPa (ca. 1500 e 5500 m), con suddivisione in 12 parti. Perimetro fine = tutti i giorni, perimetro grosso = solo i giorni con precipitazione = 1 mm a Locarno Monti.



**Fig. 3.** Rappresentazione persettiva dell'Italia settentrionale con gli elementi meteorologici più importanti che caratterizzano le precipitazioni più intense sulla Svizzera italiana, in particolare sulla zona Toce-Maggia. FF = fronte freddo seguito da AF = aria fredda. CG = corrente a getto tra SO e S ad alta quota.

AC = aria calda (scirocco) con corrente a getto a bassa quota da E e SE sulla Pianura Padana.

ma = massime ascendenze con precipitazioni temporalesche sul bacino idrografico del Lago Maggiore.

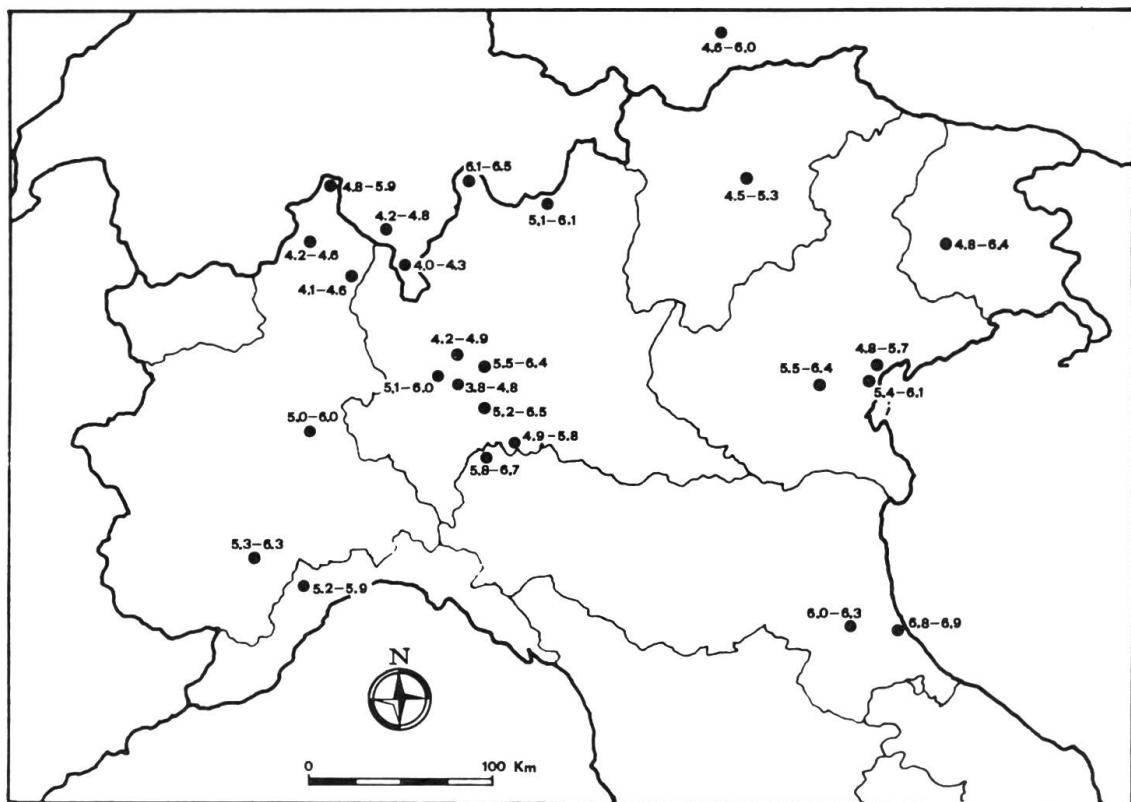
Un caso speciale della deposizione umida è dato dalla nebbia. Il rapporto inquinanti/vapore acqueo nella nebbia dovuta ad inversione termica, è sfavorevole, in particolare negli strati vicini al limite superiore della nebbia, dove l'evaporazione dell'umidità dovuta al riscaldamento per insolazione, favorisce un aumento della concentrazione degli inquinanti. Come risulta da nostri prelievi di galaverna, dovuta a deposito umido sugli alberi, con vento e con temperatura inferiore a zero gradi, effettuati tra i 1000 e i 1700 m in situazioni di vento da sudest e analizzati dal Laboratorio Cantonale degli Studi Ambientali, si notano delle acidità superiori e delle concentrazioni di inquinanti molto più elevate di quelle della pioggia e della neve. Le prime misurazioni effettuate dall'EAWAG sulle nebbie nel canton Zurigo indicano dei valori pH che in certi casi sono inferiore a 3, vedi STUMM (1985).

### 2.3.2 Deposizione secca sulla Svizzera Italiana

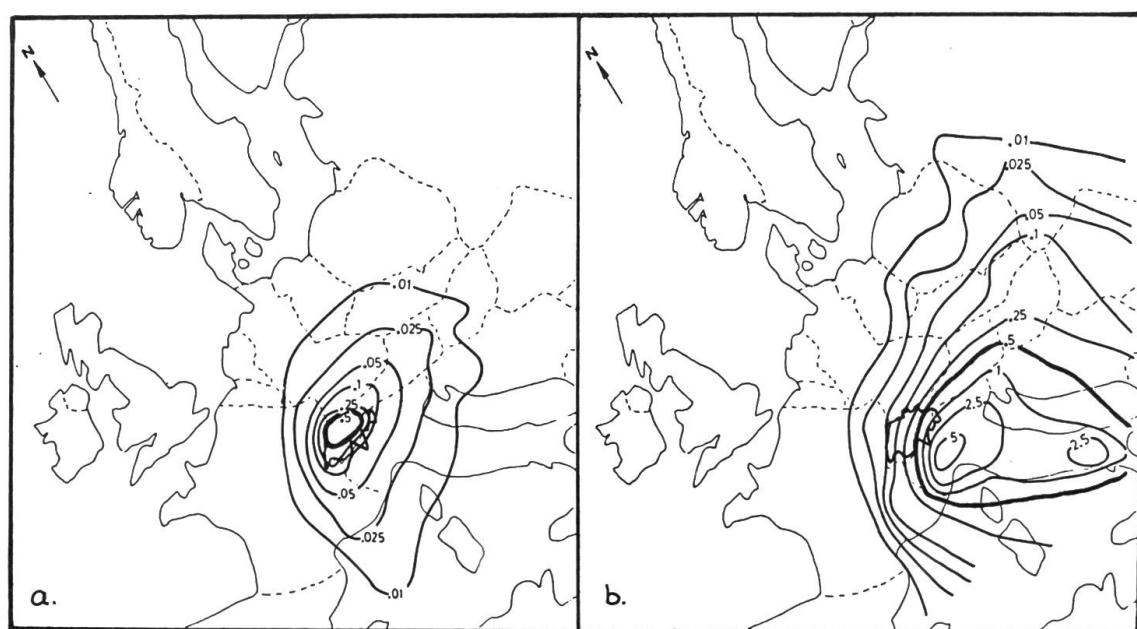
La deposizione secca degli aerosol dipende dalla loro dimensione ed dal loro peso. Le particelle più pesanti si depositano in vicinanza dei luoghi di emissione, quelle più leggere si allontanano maggiormente, soprattutto se riescono a raggiungere strati più alti dell'atmosfera. Si può perciò dedurre che in Ticino le deposizioni secche più importanti sono quelle provenienti dagli inquinamenti locali. Quelle invece che provengono da più lontano, ovviamente, dipendono dalla forza del vento. L'apporto più importante verso il Ticino dall'esterno ha luogo, anche in questo caso, con venti che negli strati bassi dell'atmosfera, soffiano tra sudovest ed est. Comunque in questo caso, in assenza di precipitazioni – per mancanza d'umidità o per insufficiente sollevamento della massa d'aria –, la deposizione secca è di entità minore.

La Fig. 4 mostra l'acidità delle precipitazioni totali (umida e secca = « bulk deposition »). Essa raggiunge un massimo sulla regione del bacino embrifero del lago Maggiore, mentre diminuisce verso sud da una parte e verso le Alpi dall'altra, in base alle misurazioni in quota.

L'effetto barriera delle Alpi sul trasporto a lunga distanza di inquinanti che partono p.e. dall'Italia settentrionale è visibile nella Fig. 2, estratta da OECD PROGRAMM ON LONG RANGE TRANSPORT OF AIR POLLUTANTS (1979). Questo rapporto dà un ampio quadro delle immissioni ed emissioni di ogni singolo paese dell'Europa.



**Fig. 4.** Quadro sinottico dei valori dal 25mo al 75mo percentile del pH dei campioni settimanali di precipitazioni sull'Italia settentrionale per il 1984 (da GRUPPO DI STUDIO... (1986).



**Fig. 5.** Deposizioni totali – umide e secche – di zolfo (in g/mq) per ciò che è emesso solo in Svizzera (a) e solo in Italia (b), calcolate per l'anno 1974. Si noti la differenza di un fattore 10 tra i valori dei due paesi.

### 3. Esempio d'inquinamento a lunga distanza: il caso Cernobyl

Il 26 aprile 1986 si è verificato un grave incidente in una centrale atomica a Cernobyl nell'Unione Sovietica, liberando ingenti quantità di materiale radioattivo. Il violento incendio scaturito dal sovriscaldamento del nucleo ha portato gas e polveri radioattive in quota, che si sono poi disperse raggiungendo anche il nostro paese, portate dai venti in altitudine.

#### 3.1 Traiettorie, trasporto: cause e spiegazioni. Prevedibilità della traiettoria

Non sono disponibili delle informazioni meteorologiche dettagliate nella zona di Cernobyl al momento dell'incidente e nelle ore e giorni seguenti. Per questo motivo abbiamo dovuto fare delle ipotesi in base agli eventi successivi.

In base alle osservazioni dei satelliti si stima che la temperatura del reattore, in seguito all'incendio prodottosi a causa dell'incidente, abbia superato i 2000 gradi centigradi. Ciò ha provocato un trasporto verticale convettivo delle sostanze radioattive almeno a 2000 m al di sopra di Cernobyl.

Si sa che gli aerosol (particelle solide) negli strati inferiori dell'atmosfera non vengono generalmente trasportati su lunghe distanze, ma arrivano al suolo per deposizione umida o secca nelle vicinanze del luogo d'immissione. Per questo motivo possiamo considerare lo strato tra 700 e 2000 m come la zona di trasporto del materiale radioattivo. Abbiamo perciò scelto il livello di 850 hPa (ca. 1500 m di altitudine) per seguire le traiettorie di trasporto delle sostanze radioattive da Cernobyl verso il nostro paese.

Negli uffici meteorologici vengono regolarmente analizzati i campi di pressione e di vento a differenti livelli, tra cui il citato. Per questo diversi paesi hanno ricostruito la traiettoria della « nuvola radioattiva » di Cernobyl. In questi lavori generalmente non è stata considerata la diffusione orizzontale e verticale delle particelle radioattive. I risultati mostrano che esiste una corrispondenza da discreta a buona tra l'aumento effettivo della radioattività atmosferica e i risultati dei calcoli.

Anche noi abbiamo fatto una valutazione del trasporto da Cernobyl verso Svizzera, però in forma manuale grafica, a partire dai campi di vento effettivamente osservati. In questo modo abbiamo potuto tenere conto dell'effetto di diffusione. Anche il nostro metodo relativamente semplice ha dato buoni risultati confermando l'arrivo della « nube » radioattiva il 30 aprile sul nostro paese.

Per la preparazione delle previsioni meteorologiche disponiamo dei campi di vento calcolati dal Centro Europeo di previsioni a medio termine per i 7 giorni seguenti. Ci siamo chiesti quindi se fosse stato possibile prevedere in anticipo l'arrivo dell'aria contaminata a partire da questi dati. Abbiamo perciò usato lo stesso metodo grafico sui campi di vento previsti (e non quelli effettivamente osservati, come nel caso precedente). I risultati mostrano che l'arrivo della « nube » radioattiva sul nostro paese avrebbe potuto essere previsto con 3 giorni in anticipo se fossimo stati in possesso delle informazioni seguenti:

- Ora e luogo dell'incidente e durata dell'immissione radioattiva (almeno 36-48 ore).
- Dinamica dell'incidente, cioè incendio successivo con elevate temperature e quindi trasporto convettivo delle sostanze radioattive fino a 1500-2500 m di altezza.

Vediamo quindi che con un'informazione tempestiva e sufficiente si possono prevedere con un certo anticipo i trasporti di sostanze nocive (radioattive, chimiche, ecc.) nell'atmosfera anche su lunghe distanze.

#### 3.2 Deposizione umida e secca al sud delle Alpi delle sostanze radioattive

In base alle misurazioni e valutazioni meteorologiche fatte, possiamo dire che l'afflusso di sostanze radioattive da Cernobyl in direzione del nostro paese sia durato un paio di giorni (mentre la centrale danneggiata ha proseguito per circa 10 giorni ad immettere dosi importanti di radioattività nell'atmosfera).

I gas e le particelle radioattive sono arrivati al suolo per deposizione secca o umida con velocità differenti a seconda degli isotopi presenti. Generalmente le precipitazioni sono un mezzo efficace e rapido di lavaggio dell'atmosfera (« rainout »: dilavaggio nella nube durante la formazione delle precipitazioni e « washout »: dilavaggio degli strati sottostanti durante la caduta delle precipitazioni). Per questo motivo è interessante osservare la distribuzione delle precipitazioni dopo l'arrivo delle « nubi » radioattive sul nostro paese.

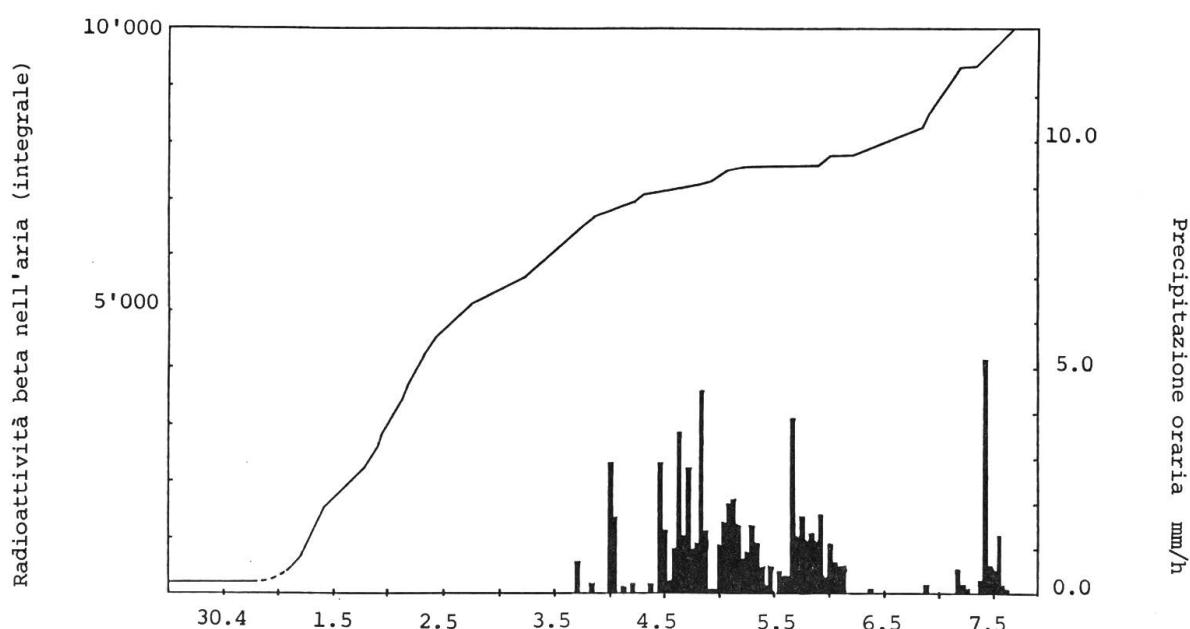
Il 30 aprile caddero ca. 10 mm di pioggia sulla Svizzera Orientale e proprio in quella regione si misurarono i primi aumenti della radioattività al suolo. All'Osservatorio Ticinese di Locarno-Monti viene misurata la radioattività dell'aria; in questo modo possiamo vedere che nella notte tra il 30 aprile e il primo maggio sono stati registrati i primi aumenti di radioattività. Bisogna perciò considerare le precipitazioni seguenti per avere una mappa della deposizione umida al Sud delle Alpi.

Tra il 2 e il 4 maggio sulla nostra regione caddero delle abbondanti piogge: a Stabio furono misurati ben 100 mm in questi giorni, mentre nel Sopraceneri furono meno della metà. Nelle situazioni con forti precipitazioni negli strati inferiori dell'atmosfera si stabilisce una corrente da est che fa affluire aria umida dall'Adriatico sulla pianura padana. Ai primi di maggio però l'aria sulla pianura padana era pure contaminata dalle sostanze radioattive provenienti da Chernobyl.

Le precipitazioni di quei giorni erano dovute a temporali prefrontali. In questo caso si producono forti correnti ascendenti nell'atmosfera che risucchiano aria negli strati inferiori, l'umidità presente condensa formando così delle gocce di pioggia di notevoli dimensioni. Quest'ultime inglobano nella loro discesa gli aerosol presenti nell'aria. In questo modo il volume d'aria che viene « lavato » dalla pioggia è superiore a quello direttamente sopra il suolo. Per questo motivo la quantità di sostanze radioattive sul Sottoceneri fu superiore a quella sul Sopraceneri o a quella del resto della Svizzera. Abbiamo visto in precedenza che lo stesso processo spiega l'estrema acidità delle piogge sul Ticino.

Secondo KOLB (1986) le precipitazioni sono un metodo efficiente di deposizione delle particelle presenti nell'atmosfera: 5 mm di pioggia riescono a ridurre del 50% circa la quantità di particelle radioattive, mentre 20 mm arrivano al 95%. L'osservazione dell'andamento della radioattività nell'aria a Locarno-Monti conferma questo dato (vedi Fig. 6).

Le misure della radioattività al suolo nel nostro paese e anche nella vicina Lombardia (cfr. ENEA-DISP, 1986) corrispondono bene all'andamento delle precipitazioni.



Il grafico della Fig. 6 mostra il tasso di deposizione umida delle sostanze radioattive contenute nell'aria per mezzo delle precipitazioni. L'istogramma indica la quantità oraria di pioggia, mentre la curva segna l'attività Beta di un filtro esposto ad aspirazione forzata. La pendenza della curva indica la concentrazione momentanea delle sostanze radioattive nell'aria. Il filtro è stato sostituito giornalmente, invece che settimanalmente come di consueto. La curva corrisponde ai valori sommati di tutti i filtri. In condizioni « normali » il contatore misura 200–205 impulsi al minuto, dopo una settimana, in questo caso si è raggiunto un valore ca. 50 volte superiore. Queste misure indicano che il 5 maggio, dopo le prime precipitazioni, l'aria era praticamente pura e il 6 e 7 maggio è affluita nuovamente aria contenente sostanze radioattive.

### 3.3 Ricorrenza statistica della situazione meteorologica durante la catastrofe di Cernobyl

Vediamo ora la situazione meteorologica che ha determinato un inquinamento radioattivo nella nostra regione in seguito all'incidente di Cernobyl. A questo proposito abbiamo calcolato la frequenza relativa delle situazioni meteorologiche nel periodo dell'anno corrispondente, negli ultimi 10 anni. La Tab. 2 mostra i risultati di quest'analisi:

	1976 – 1984, 86 [%]	1986 [%]
Situazioni convettive	61	67
Situazioni avvettive	39	33
Situazione – E	6	17
Situazione – SC	6	13
Situazione – M	3	0

**Tab. 2.** Frequenza relativa delle situazioni meteorologiche tra il 15 aprile e il 15 maggio degli ultimi 10 anni e del 1986.

Vediamo che in questo periodo dell'anno le situazioni convettive sono le più frequenti con il 61%, nel 1986 perfino il 67%. Quelle avvettive più comuni sono la -E e la -SO. La situazione che ha determinato il trasporto di materiale radioattivo dall'Ucraina fin verso le nostre regioni ed in seguito delle precipitazioni che hanno portato queste sostanze al suolo sono la -E rispettivamente la -SO. Vediamo però che la loro incidenza è stata anomalamente superiore alla media, soprattutto in questa sequenza. Possiamo dire quindi che dal punto di vista climatologico difficilmente ci si avrebbe potuto aspettare il trasporto e il deposito delle sostanze fuoriuscite dalla centrale di Cernobyl fin sulle nostre regioni.

### 4.0 Conclusioni

Abbiamo visto che la posizione geografica particolare della Svizzera italiana ha un effetto determinante per la circolazione atmosferica, soprattutto nei bassi strati. Il fatto di trovarsi a ridosso di una catena montagnosa particolarmente ripida sul massiccio del Monte Rosa da una parte, di spingersi sulla pianura Padana, aperta solo verso est, dall'altra, provoca una circolazione a mesoscala sovente slegata da quella sinottica.

Solo in presenza di forti correnti la massa d'aria sopra la nostra regione viene sensibilmente modificata.

Quando spirano forti correnti meridionali aria proveniente da sud viene scaricata (con precipitazioni a volte intense) e dilavata (con il suo contenuto di inquinanti) sulle nostre regioni. Ciò produce delle precipitazioni particolarmente acide, il cui contenuto viene in maggioranza

« importato » da sud. Nel caso di correnti settentrionali, generalmente accompagnate da un anticiclone situato a nord-ovest, aria d'origine marittima pulita affluisce a meridione delle Alpi.

Nella maggior parte dei casi però la massa d'aria sopra di noi non percorre lunghe distanze e viene mossa dai venti termici locali. In questi casi, e con la conseguente deposizione secca, sono le sorgenti endogene che hanno un ruolo determinante nell'inquinamento atmosferico. Per un'analisi più dettagliata delle situazioni che determinano un carico inquinante sul piano di Magadino vedi JOSS (1987).

Un esempio d'inquinamento a lunga distanza è stato osservato in occasione dell'incidente alla centrale nucleare a Cernobyl a più di 1000 Km di distanza dal Ticino. Una situazione meteorologica particolare ha permesso lo spostamento di masse d'aria contenenti sostanze radioattive emesse dalla centrale fin sulla pianura Padana (e anche oltre). L'arrivo di quest'area inquinata è coinciso con delle precipitazioni convettive soprattutto sul Sottoceneri, che hanno determinato una concentrazione al suolo della radioattività.

Sebbene non esista un metodo per difendersi da questi inquinamenti a lunga distanza, è possibile prevedere con un certo anticipo l'arrivo di « nubi » particolarmente inquinanti, a condizione di conoscere tempestivamente i dettagli dell'emissione.

Concludendo possiamo affermare che la situazione geografica particolare in cui si trova la Svizzera italiana risulta favorevole da un lato, determinando un clima particolarmente mite e soleggiato, dall'altro la rende vulnerabile a certi processi di trasporto, concentrazione e deposizione di sostanze inquinanti nell'atmosfera.

## 5.0 BIBLIOGRAFIA

- BWE-HSK, 1986 – Der Unfall Chernobyl, ein Ueberblick ueber Ursachen und Auswirkungen, HSL-AN-1816, Würenlingen, Oktober 1986.
- Borghi, S. e Giuliacci, M., 1979 – Circolazione atmosferica nella pianura padana centro occidentale e suo impatto sul trasporto di particelle, Milano.
- De Morsier, G., 1985 – Different numerical representations of the Alps, Report of the Seventh EWGLAM Meeting, Zürich 8-11 October 1985.
- ENEA-DISP, 1986 – Radiological consequences in Italy of the Chernobyl accident, DOC./DISP[86]1, Roma, June 1986.
- GRUPPO DI STUDIO DELLE CARATTERISTICHE CHIMICHE DELLE PRECIPITAZIONI DEL L'ITALIA SETTENTRIONALE, 1986 – Rapporto finale, anni 1983-1984.
- Joss, U., 1987 – Tempo locale e qualità dell'aria sul Piano di Magadino, Rapporto di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia (di prossima pubblicazione).
- Kolb, H. et al, 1986 – Diskussion meteorologischer Aspekte der radioaktiven Belastung in Oesterreich durch den Reaktorunfall in Tschernobyl, Publikation Nr. 309, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien.
- Roesli, H.P, 1973 – Abnahme der horizontalen Sichtweite in der Magadino Ebene, Verhandlungen der SNG, 1973.
- Schüepp, M., 1979 – Witterungsklimatologie, Klimatologie der Schweiz Band III, Beiheft zu den Annalen der SMA, 1979.
- Spiess, R., 1986 – Ueber die Auswirkungen des Reaktorunfallen in Tschernobyl auf die Bevölkerung in der Schweiz, Eidgenössisches Institut für Reaktorforschung, Würenlingen, Juni 1986.
- Stumm, W. et al, 1985 – Der Nebel als Träger konzentrierter Schadstoffe. Neue Zürcher Zeitung, 16. gennaio 1985.
- THE OECD PROGRAM ON LONG RANGE TRANSPORT OF AIR POLLUTANTS, 1979 – Measurements and findings, second edition, Paris.
- UFFICIO FEDERALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE, 1983 – Luftbelastung 1982, Nabel-Rapport, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 16, Bern, Juni 1983.