

# EL MATREP, UN EXPERIMENTO MULTI- INSTITUCIONAL PARA COORDINAR LAS MEDIDAS DE LOS FENÓMENOS TORMENTOSOS EN EL VALLE DEL PO DEL NORTE DE ITALIA

Por A. Buzzi<sup>1</sup>, G. M. MORGAN<sup>2</sup> Y S. TIBALDI<sup>3</sup>

## Introducción

Durante el mes de junio de 1990, se realizó en el valle del Po, al norte de Italia, la fase de campo de un programa interinstitucional denominado MATREP (un acrónimo basado en el equivalente en idioma italiano a "vigilancia de la actividad tormentosa en la región del Po"), para documentar las situaciones meteorológicas relacionadas con las tormentas. Estará pronto disponible el conjunto de los datos del experimento, actualmente en fase de análisis.

El Valle del Po es una zona casi llana, de forma aproximadamente triangular, comprendida entre las laderas meridionales de los Alpes y las septentrionales de los Apeninos (véase la figura 1). La cuenca del río Po coincide con la parte occidental del valle. Sin embargo, desde un punto de vista orográfico y meteorológico, la zona del Adriático norte y la llanura que se extiende a lo largo de su costa pueden considerarse como parte del mismo valle, por ello el término "valle del Po" se usará aquí para denominar a la cuenca delimitada por los Alpes, los Apeninos septentrionales y los Alpes Dináricos, incluyendo al Adriático norte en el que desembocan los ríos de la región.

La mayor parte de esta zona está en Italia, aunque también hay porciones en Francia, Suiza y Yugoslavia. Los Alpes son la barrera montañosa más alta de la región, con una altitud media, a lo largo de la divisoria, que supera los 2 000 m (con muchos picos superiores a los 4 000 m), mientras que los Apeninos y los Alpes Dináricos tienen una altitud media en sus cimas de unos 1 000 a 1 500 m. Los efectos orográficos son de predominante

importancia en el régimen meteorológico de la región. Las características geométricas del valle (aproximadamente 150 km de ancho por 500 km de largo) y la altura y las pendientes de las montañas que le circundan, son muy importantes para la determinación del régimen de los flujos atmosféricos. Se dispone de muy pocas aproximaciones para simplificar el tratamiento de la descripción dinámica de la circulación atmosférica sobre la zona. Por ejemplo, los flujos por encima y alrededor de la orografía no pueden ser tratados de forma lineal (véase Smith, 1989), mientras que los típicos números de Rossby no son ni muy pequeños ni suficientemente grandes como para permitir la aproximación asintótica. Los experimentos de campo y las simulaciones numéricas son, por lo tanto, esenciales para mejorar nuestro conocimiento y para interpretar los fenómenos meteorológicos observados.

El ALPEX (Kuettner, 1982), fue un extenso experimento internacional de campo coordinado durante el que se controlaron y estudiaron los fenómenos a mesoescala que afectan a toda la región del Po. En el ALPEX se concedió la máxima atención a los vientos que fluyen montaña abajo (foehn, bora), a los flujos bloqueados por el valle (véase Tampieri *et al.*, 1984), a las ondas de gravedad (Canavero *et al.*, 1984) y a la ciclogénesis alpina a sotavento (Tibaldi *et al.*, 1990). La ciclogénesis alpina a sotavento es la responsable de la mayor parte de las situaciones de perturbación del tiempo en esta zona. En verano, la ciclogénesis a sotavento de los Alpes, aunque menos frecuente y normalmente no tan fuerte como en otras estaciones, está a menudo asociada con intensos fenómenos convectivos (Morgan, 1973). El ALPEX no investigó las tormentas convectivas porque su período de observación especial tuvo lugar a principios de la primavera. Era difícil organizar en ese momento un programa de verano dedicado a la investigación

<sup>1</sup> FISBAT-CNR, Bologna, Italia.

<sup>2</sup> ERSA Regione Friuli-Venezia Giulia, Gorizia, Italia.

<sup>3</sup> Departamento de Física, Universidad de Bologna.

de la convección intensa en la región al sur de los Alpes, debido a los costosos y muy complejos sistemas de observación necesarios para este objetivo. Los sistemas de vigilancia de tormentas requieren medios de teledetección (por ejemplo, el radar doppler) y densas redes de superficie con instrumentación, no disponibles en la región hasta muy recientemente.

El problema de la actividad tormentosa y de los fenómenos asociados sobre el valle del Po y las zonas circundantes no es puramente académico: las tormentas son muy frecuentes, a menudo organizadas como sistemas convectivos a mesoescala y produciendo, frecuentemente, daños por el granizo (Bossolasco, 1949; Ludlam, 1958, 1980; Morgan, 1973; Prodi, 1974; Cantu, 1977). El valle del Po está densamente poblado (más de 20 millones de habitantes), comprende grandes zonas industriales, está cultivado intensivamente y es particularmente vulnerable respecto a los daños económicos debidos a los fenómenos meteorológicos extremados. Morgan (1973) informó "que era difícil obtener una estimación fidedigna de las pérdidas económicas totales debidas al granizo en el valle del Po, pero que parecían ser muy grandes; las estimaciones varían desde 100 a 300 millones de \$ EE.UU. anuales (valores de 1973)". También informó Morgan de valoraciones equivalentes a 2 700 \$ EE.UU. por kilómetro cuadrado. Recientemente, Malossini (1990) informó de que las pérdidas de los seguros en Emilia-Romagna—sólo en 1989—ascendían a 67 000 \$ EE.UU., por km<sup>2</sup> asegurado. Otros fenómenos extremados y perjudiciales asociados con las tormentas son las lluvias intensas y las consecuentes inundaciones repentinas, los fuertes vientos y los tornados.

En años recientes se han establecido en Italia varios servicios meteorológicos regionales con el fin de satisfacer los requisitos especializados de las actividades locales, principalmente la agricultura. Es esencial que estos servicios regionales traten de la predicción y vigilancia de los fenómenos a mesoescala y que, en consecuencia, tengan establecidas unas redes meteorológicas relativamente densas y que algunas de ellas tengan instalados radares. En la actualidad, están en funcionamiento dos radares doppler en la zona oriental del valle del Po, mientras que un radar meteorológico no coherente

funciona en el sector occidental (véase la figura 1). Se espera una cobertura completa de radar dentro de algunos años (Dietrich y Sorani, 1989).

En la zona funcionan tres estaciones regulares de radiosondeo (véase la figura 1), proporcionando sondeos aproximadamente en los tres vértices del valle del Po. La red de estaciones de superficie es localmente densa, pero sufre todavía problemas de compatibilidad y de homogeneidad, ya que las diferentes redes han sido instaladas para distintos objetivos. Realmente, es uno de los objetivos del MATREP evaluar el uso meteorológico de los datos de superficie, para conseguir una mejor normalización y coordinación de las redes.

El MATREP fue un programa intensivo, coordinado regionalmente, para obtener datos meteorológicos con el fin de vigilar y estudiar la actividad tormentosa en la región del valle del Po durante el mes de junio de 1990. El programa de medidas implicaba y coordinaba a una serie de instituciones y centros meteorológico-climáticos que operan a diferentes niveles (nacional, regional y local) en el norte de Italia. El principal objetivo del MATREP es construir una base de datos que abarque a datos de distinta naturaleza: sinópticos convencionales, radiosondeos, satélites, radar y datos especiales.

Se emprendió el MATREP por las instituciones participantes en vista de los problemas científicos y técnicos que podrían beneficiarse mucho de un experimento de campo de este tipo. Las restricciones financieras y técnicas sugirieron que el experimento debería concentrarse en la creación de una base de datos compuesta por todos los datos pertinentes producidos en las instalaciones existentes, sin virtual aumento de la instrumentación. Había que tomar en consideración el uso de las capacidades disponibles pero dispersas (del Estado, de la industria regional, de la investigación) antes de embarcarse en proyectos más ambiciosos.

Se eligió el mes de junio, debido a que es el mes típico que tiene la máxima frecuencia de tormentas en esta zona. Una evaluación preliminar de las condiciones meteorológicas durante la fase de campo indicó que la frecuencia de las tormentas había sido aproximadamente la esperada.

Se documentaron muchos casos interesantes de convección organizada. En muchas ocasiones tuvo lugar una actividad

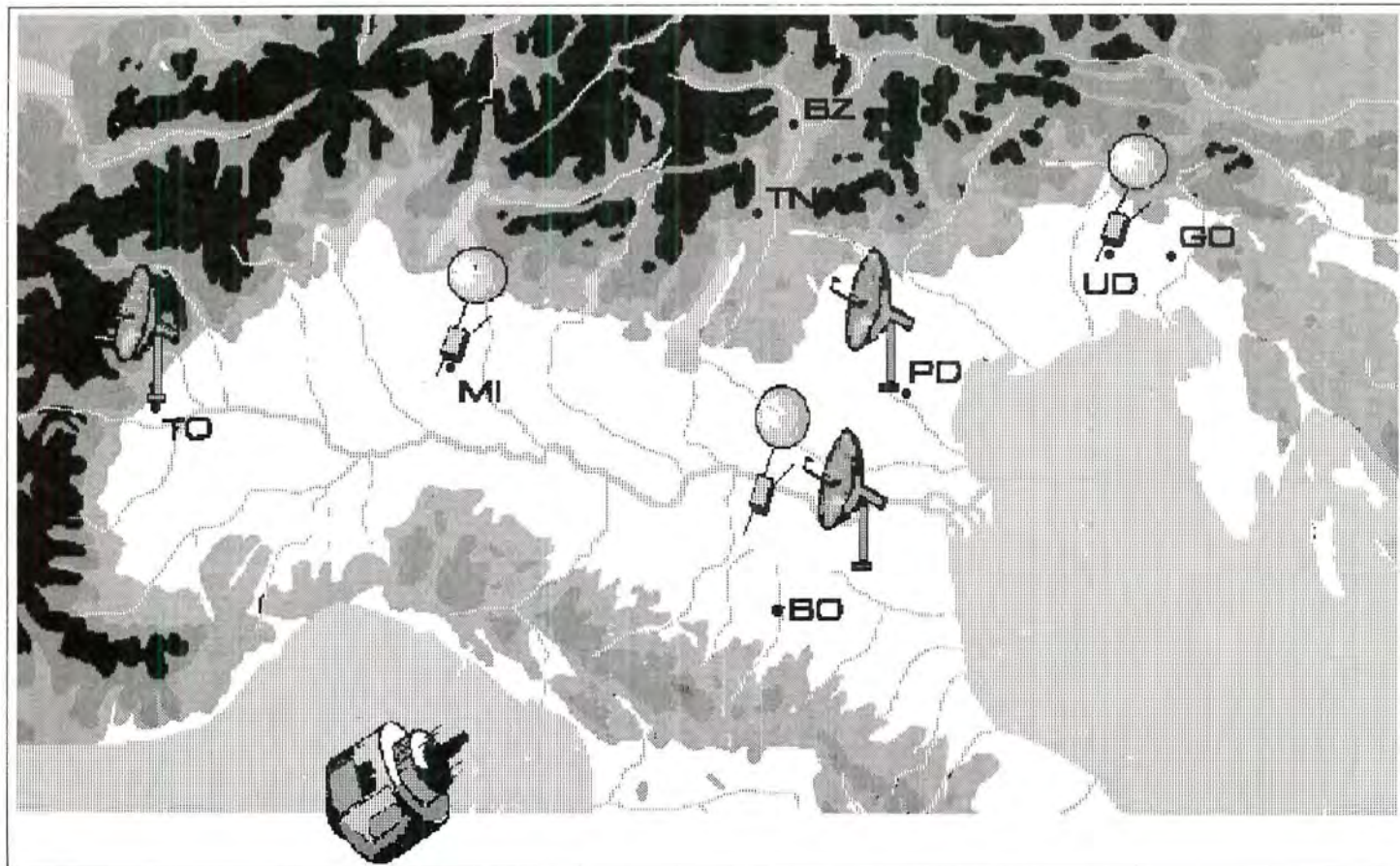


Figura 1 – Mapa físico del norte de Italia con el valle del Po. Las estaciones de radar doppler y de radiosondeo se indican por TO—Turín; MI—Milán; PD—Padua; UD—Udine; GO—Gorizia; BO—Bologna.

tormentosa generalizada y se concentraron en periodos caracterizados por la presencia de perturbaciones a escala sinóptica (principalmente frentes, depresiones y vórtices fríos en altura). Los mayores daños fueron causados por fenómenos meteorológicos extremados, tales como lluvias torrenciales y las subsiguientes inundaciones (el 7 de junio en el valle de Trompia, cerca de la población de Brescia), los tornados (el más intenso de los ocurridos fue el 8 de junio, en el sur de la región del Veneto —véase la figura 2— y las granizadas (se observaron más de 200 diferentes).

### Objetivos del MATREP

Los objetivos científicos del MATREP fueron:

- Estudiar las situaciones meteorológicas asociadas con el desarrollo de tormentas sobre la zona del Valle del Po. Dedicándose la mayor atención a la relación entre la generación de tormentas y la propagación de los frentes, la formación de depresiones, los efectos orográficos de los Alpes y de los Apeninos, el contraste tierra-mar y la circulación asociada de las brisas;
- Estudiar el ciclo de la evolución, la propagación y la organización dinámica de las tormentas, dedicando particular atención a los sistemas convectivos organizados a mesoescala (enjambre de multicélulas, líneas de turbonada, etc.);
- Identificar las configuraciones de los campos termodinámicos y dinámicos que pueden actuar como predictoras de la actividad tormentosa;
- Documentar los fenómenos meteorológicos extremados, tales como las granizadas, las inundaciones repentinas, los vientos fuertes, los tornados, las turbonadas y los daños asociados;
- Documentar las distribuciones pluviométricas comparándolas y utilizándolas en la calibración de los datos del radar;
- Evaluar el potencial de los radares existentes para su uso operativo en forma de red;
- Proporcionar un conjunto adecuado de datos para la comprobación y mejora convencional de los modelos numéricos de

alta resolución empleados para predecir las situaciones meteorológicas que conducen a actividad tormentosa;

- Proporcionar un conjunto adecuado de datos para su comparación con las simulaciones numéricas de la convención organizada, basada en la muy alta resolución de los modelos no hidrostáticos.

Además de los objetivos científicos anteriormente citados, el MATREP tuvo otros objetivos prácticos de igual importancia:

- Experimentar con los factores de organización y de colaboración entre los distintos organismos participantes;
- Evaluar la adecuación de las capacidades de medida (combinada) de que se dispuso;
- Deducir recomendaciones para la coordinación y mejora de las capacidades existentes;
- Sensibilizar al público y a los que toman decisiones respecto a los problemas meteorológicos asociados con la actividad tormentosa y respecto a las necesidades de la comunidad meteorológica.

### Participantes

Entre los organismos participantes en el MATREP se incluyen servicios meteorológicos y medioambientales, servicios agrícolas, universidades e instituciones de investigación. Entre los servicios meteorológicos, además del Servicio Meteorológico Nacional de las Fuerzas Aéreas Italianas, estuvieron la mayoría de los servicios regionales interesados fundamentalmente por la predicción y la vigilancia regional aplicadas a la meteorología agrícola.

### Sistemas de observación

Los datos recopilados durante el experimento de campo y los sistemas de observación que los proporcionaron pueden dividirse en los de tipo convencional y los no convencionales. Los datos convencionales son aquellos que son difundidos por el SMT y otros sistemas.

#### Datos convencionales

Las observaciones de superficie de tipo convencional (tales como aquellas que miden la presión, la temperatura, la humedad, el viento y la precipitación acumulada) eran proporcionadas por 50 estaciones sinópticas de la zona y por redes adicionales



Figura 2 – Imagen de infrarrojo del satélite NOAA de órbita polar el 8 de junio de 1990, a 12:46 TMG. La flecha indica la célula prefrontal asociada con un tornado en la región del valle del Po. Al oeste de la banda nubosa principal se ve el arco de los Alpes occidentales. Véanse también las ondas de montaña a sotavento de Córcega (Fuente: Universidad de Dundee).

principalmente de estaciones automáticas que, en la actualidad, no están distribuidas uniformemente en el valle del Po. Sin embargo, su número es alto (unas 150), y la frecuencia relativamente alta de observación (típicamente cada 30, 60 y 120 minutos) hacía su explotación muy importante para una descripción de los campos meteorológicos superficiales a mesoescala. Además, unas 200 estaciones registraban datos pluviométricos. Aunque se esperaban problemas de normalización y de sincronización, todos los datos proporcionados por estas estaciones se incluirán en la base de datos del MATREP.

Como se mencionó anteriormente, durante el experimento funcionaron tres estaciones aerológicas en el valle del Po. Además, se proporcionaron sondeos de temperatura y viento de baja cota mediante tres estaciones RASS y dos de sodar, respectivamente, y por una torre meteorológica (120 m de altura).

#### **Datos no convencionales**

Los tres radares meteorológicos que participaron en el experimento eran de banda-C (longitud de onda de 5 cm) con registro y procesamiento digital. El radar de Bric della Croce, cerca de Turín, es un EEC (modelo Enterprise WSR-74). El radar situado en Monte Grande, cerca de Padua, era un radar coherente Ericsson UBS 10304/3 con polarización diversificada. El radar de San Pietro Capofiume, cerca de Bolonia, era un SMA-Selenia GPM 500 C. Una descripción más completa de los radares utilizados se dio en MATREP (1990) y por Dietrich y Sorani (1989). Los últimos dos radares se han instalado recientemente y están todavía funcionando de modo experimental. Estos radares, situados en la zona oriental del valle del Po, han solapado en parte la zonas de observación de modo que, en principio, pueden llevarse a cabo calibraciones cruzadas y pueden intentarse cálculos de los campos del vector viento en tres dimensiones. Los radares estuvieron funcionando según programaciones variables basadas en las predicciones y en la actividad observada en sus zonas de observación. Los datos que constituyen la base de datos común son mapas cartesianos de reflectividad máxima vertical, altura de las cimas de los ecos e intensidad de la precipitación radar. Los mapas se generan a intervalos mínimos de 15 minutos durante los periodos de funcionamiento y se estableció un

formato común para los ficheros de datos en ASCII.

Otra fuente de datos de gran importancia para las tronadas y los estudios a mesoescala procede de los satélites meteorológicos. Datos analógicos (visible e infrarrojo) y digitales (solamente infrarrojos) —procedentes principalmente del METEOSAT— serán archivados en la base de datos.

Otros datos no convencionales de importancia para el MATREP incluyen los datos de capas de granizo y los informes sobre granizo y tormentas realizados por los observadores y los medios de comunicación, la documentación sobre los daños locales relativos a la actividad tormentosa. Hay varias redes de medida de la capa de granizo que cubren pequeñas porciones de la zona del valle del Po, pero que tienen una gran densidad local (426 estaciones sobre una retícula de 4 km en Emilia-Romagna; 404 estaciones en una retícula de 3,5 km en Friuli-Venecia Giulia y en Eslovenia (Yugoslavia); 271 estaciones en una retícula de 2 km en Trentino-Alto Adigio). La red de observación de la *Associazione nazionale di Consorzi di Difesa Antigrandine* (Malossini, 1990) ha proporcionado informes más cualitativos pero más valiosos (dada su virtual cobertura de la zona completa del experimento) sobre la ocurrencia de granizadas.

#### **Centro de coordinación**

Durante la fase de campo se estableció el centro de coordinación en la división de predicción del Servicio Meteorológico Regional de Emilia-Romagna, en Bolonia. Se prepararon en este centro predicciones diarias para 24 y 48 horas, en cooperación con el Servicio Meteorológico de las Fuerzas Aéreas y el personal investigador participante en el experimento. Estas predicciones, difundidas a todos los organismos participantes, se proyectaron para activar los periodos de alerta para la vigilancia especial del radar y para el funcionamiento en modos especiales.

El centro de coordinación está actualmente encargado de reunir los datos del MATREP, de formar un conjunto unificado de datos y de distribuirlo a todos los organismos y a los científicos que deseen usarlos con fines de investigación.

#### **Conclusiones**

El MATREP ha sido el primer experimento de campo coordinado que ha tenido lugar en el

valle del Po con el propósito de estudiar las tormentas y los fenómenos asociados en esa región. Se espera, como consecuencia de la explotación del conjunto de datos del MATREP, un mejor conocimiento de los aspectos meteorológicos de la actividad convectiva en esta zona particular, ampliamente controlada por efectos orográficos peculiares. La experiencia previa y el proceso científico logrado durante y tras el ALPEX será de gran beneficio para relacionar los efectos de disparo de las tormentas. El llamativo crecimiento reciente en las posibilidades de observación en la zona, debería permitir la descripción de, al menos, los tipos organizados de tormentas convectivas.

Uno de los principales objetivos del MATREP era la coordinación de las posibilidades de observación existentes y la identificación de las necesidades ulteriores, ya que un experimento de campo de este tipo se repetirá en el futuro, posiblemente para períodos más largos, con la cooperación internacional y la adición de plataformas de observación especial (por ejemplo, redes-meso *ad hoc*, aviones instrumentados, etc.). Parte de estos experimentos se espera que se conviertan en sistemas operativos de rutina y en procedimientos al servicio de los sectores de la economía más sensibles al tiempo en el valle del Po.

#### Agradecimientos

Estamos reconocidos al Dr. C. Cacciamani y al Dr. S. Nanni, del Servicio Meteorológico de Emilia-Romagna, por su apoyo técnico y científico.

#### Referencias

- BUSSOLASCO, M., 1949: La distribuzione dei temporali in Italia. *Energ. Elettre.*, XXVI (11-12), 3-15.
- CANAVERO, F., C. CIUGANI and E. E. PERONA, 1984: Digital microbarometric measurements in the north of Italy during ALPEX and some preliminary data analyses. *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, 46, 153-160.
- CANTU', V., 1977: The climate of Italy. *World Survey of Climatology. Climates of Central and Southern Europe*. C. C. Wallén (Ed.), WMO, Geneva.
- DIETRICH E. and R. SORANI, 1989: Overview of national and regional radar meteorological activities in Italy. *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, 47 (3-4), 165-174.
- KUETTNER, J., 1982: ALPEX experiment design. *GARP-ALPEX 1*, WMO, Geneva, 99 pp.
- LUDLAM, F.H., 1958: The hail problem. *Nubila*, 1, (1), 12-96.
- LUDLAM, F.H., 1980: *Clouds and Storms*. Pennsylvania State University Press, University Park and London.
- MALLOSSINI, A., 1990: Danni alle colture frutticole e rilevamento strumentale delle grandinate. *Atti del convegno nazionale di Agrometeorologia per un Servizio Regionale*. Ente per lo Sviluppo Agricolo Dell'Umbria. Perugia.
- MATREP, 1990: Monitoraggio dell'attività temporalesca nella Regione Padana, 1. (Available from Servizio Meteorologico Regionale, Via S. Felice 25, Bologna).
- MORGAN, G.M., 1973: A general description of the hail problem in the Po valley of northern Italy. *Jour. Appl. Meteor.*, 12, 338-353.
- PRODI, F., 1974: Climatologia della grandine nella Valle Padana (1968-1972). *Riv. It. di Geofisica*. XXIII (5/6), 283-290.
- SMITH, R.B., 1989: Hydrostatic airflow over mountains. *Advances in Geophysics*, B. Saltzman (Ed.), Academic Press, 31, 1-41.
- TAMPIERI, F., S.C. NANNI, T. PACCAGNELLA, F. TROMBETTI, C. CACCIAMANI, 1984: A preliminary analysis of mesoscale flow in the Po Valley during ALPEX. *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, 46, 103-112.
- TIBALDI, S., A. BUZZI and A. SPERANZA, 1990: Oro-graphic cyclogenesis. *Extratropical Cyclones—the Eric Palmén Memorial Volume*. C.W. Newton and E. O. Holopainen (Eds.), Amer. Meteor. Soc., Boston, 107-127.