

SIEMBRA DE NUBES Y LLUVIA

EXPLORACION DE UNA RELACION CAUSA-EFECTO

Por Abele NANIA*

El principal propósito de este artículo es demostrar la importancia de tener una red de estaciones pluviométricas en superficie con las resoluciones espaciales y cronológicas adecuadas para controlar los resultados de la estimulación de la lluvia. Además, el uso de esos datos, recogidos durante la operación de siembra, muestran también una prueba visual razonable de la relación causa-efecto, la cual es, en opinión del autor, merecedora de que la conozcan quienes toman las decisiones.

Desde 1987, la TECNAGRO –una asociación no lucrativa cuyo propósito es elaborar nuevas tecnologías para la agricultura– ha realizado en Apulia (en el sudeste de Italia), durante la estación invernal, varios experimentos de siembra de nubes en el marco de un proyecto de estimulación de la lluvia (*Progetto Pioggia*), copatrocinado por el Ministerio de Agricultura y el gobierno local.

El experimento lo diseñó el difunto Prof. A. Gagin y se desarrolló siguiendo la metodología general de los proyectos *Israeli I* e *Israeli II*. Esencialmente es un diseño arbitrario de cruzamientos con dos blancos separados por una superficie intermedia y dos zonas de control. Las operaciones están basadas en:

- Disponibilidad de toda la información meteorológica sinóptica de superficie y aerológica.
- Medidas microfísicas de las nubes (no sistemáticas).
- Satélite de pequeño alcance y radar meteorológico en superficie.
- Elección arbitraria de los blancos diarios.
- Siembra con un avión a barlovento de la base de la nube.

La valoración estadística de los resultados se basó en los datos de los pluviómetros, registrados en las dos redes pluviométricas básicas operadas por el Servicio Meteorológico de las Fuerzas Aéreas de Italia y por el Ministerio de Obras Públicas, respectivamente.

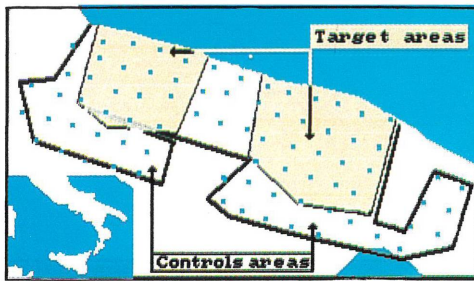
TECNAGRO constituyó un Comité Científico (R. List, B. Silverman, R. Gabriel, Z. Levin, T. Karacostas, G. Maracchi y A. Nania) que ha asegurado el estricto desarrollo científico de la tecnología de la estimulación desde el principio.

Durante 1992, el Ministerio de Agricultura (mediante AGRISIEL) puso en funcionamiento una red más densa de pluviómetros automáticos para asegurar una descripción más detallada cronológicamente (tan breve como 10 minutos) y espacialmente (cada 10 km) de la lluvia recogida en las zonas objetivo del experimento y en las de control del mismo (véase la figura 1) y así obtener mejor información referente a los resultados de las operaciones de siembra. A consecuencia de varias dificultades (principalmente económicas) las operaciones en vuelo se efectuaron sólo durante el mes de abril con un total de unas 21 horas de siembra de nubes; también se recogieron 180 horas de registros de radar.

La disponibilidad de tantos datos de lluvia asociados con la siembra ha permitido a TECNAGRO elaborar análisis pluviométricos horarios a mesoescala de los resultados de las operaciones. Esos análisis son sencillos, ya que sólo describen la distribución horaria detallada de la lluvia en el suelo mientras que, al mismo tiempo, proporcionan una prueba tangible de los efectos de la siembra y, por lo tanto, apoyan conclusiones razonables acerca de la existencia de una relación “causa-efecto” entre la siembra y la lluvia.

Para los fines de este artículo, el caso seleccionado entre un gran número de casos (no incluidos aquí por brevedad), se refiere al 9 de abril, fecha en que las operaciones de siembra duraron más de seis horas.

* TECNAGRO, Via T. Grossi 6, 00186 Roma, Italia



▲
Figure 1

Figure 2
▼

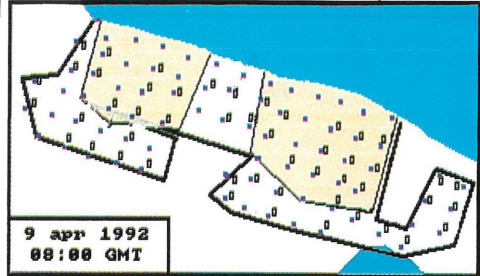
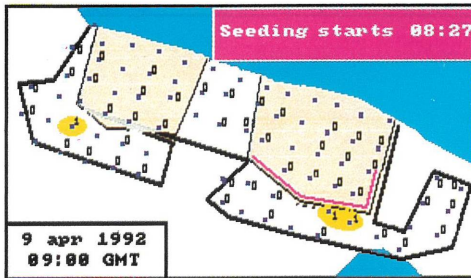


Figure 4
▼



▲
Figure 3

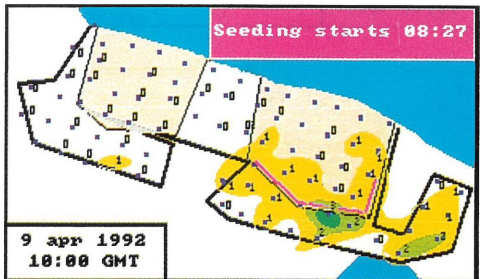
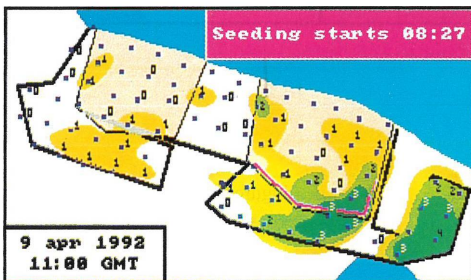
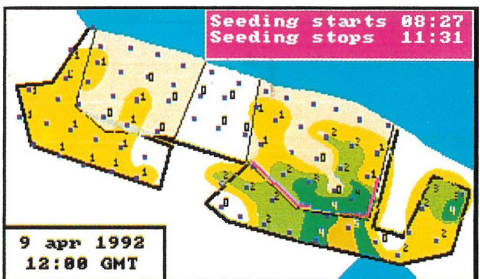
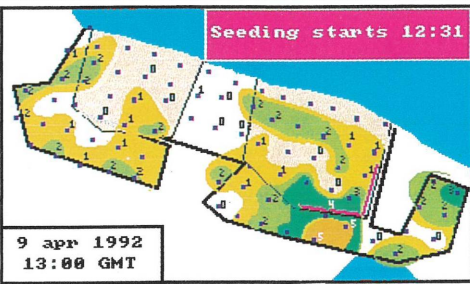


Figure 6
▼

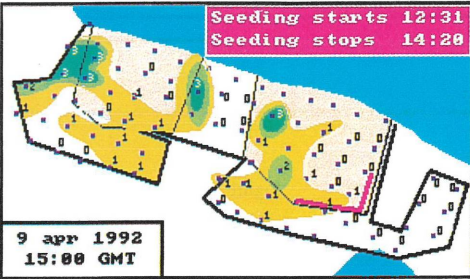


▲
Figure 5

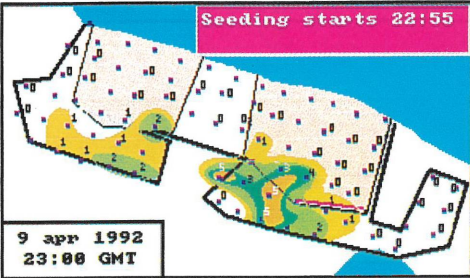




▲
Figure 7



▲
Figure 9



▲
Figure 11

Figure 8

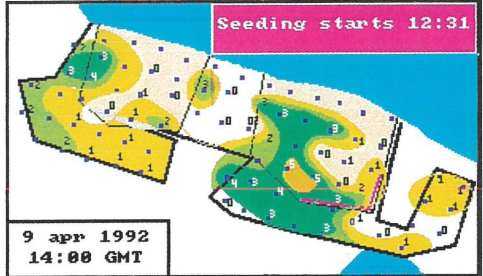


Figure 10

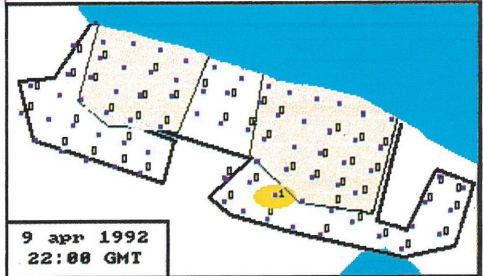
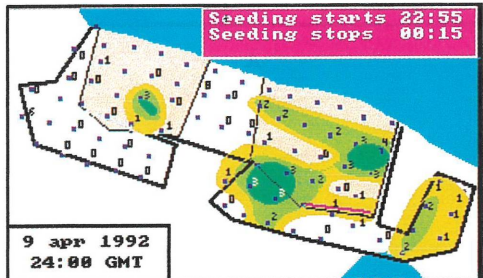


Figure 12



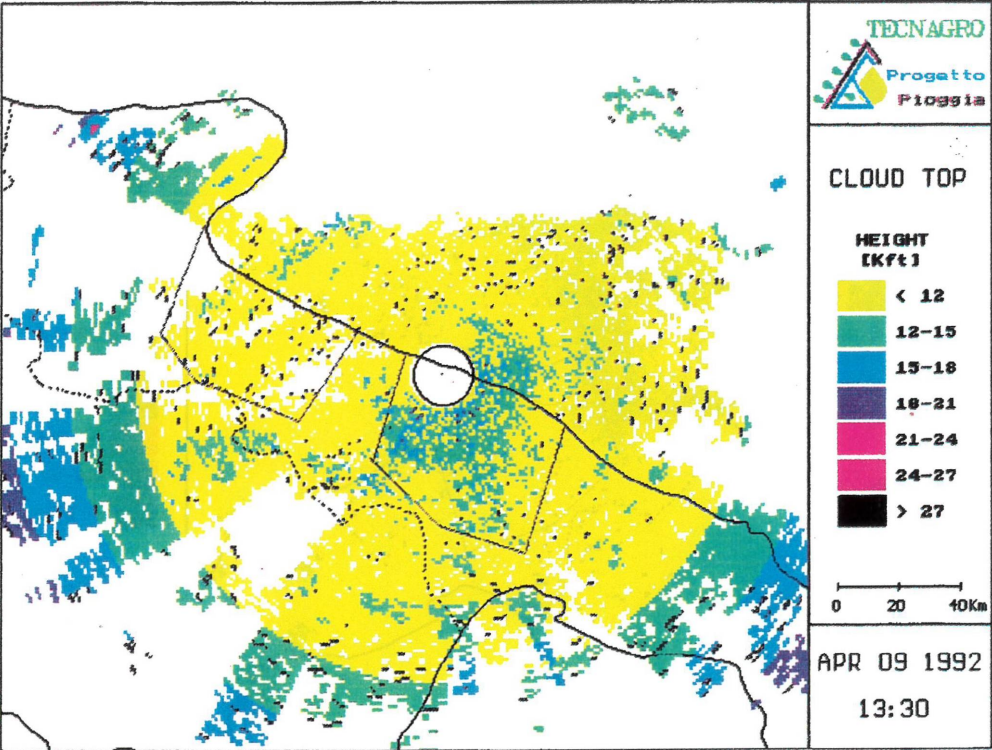
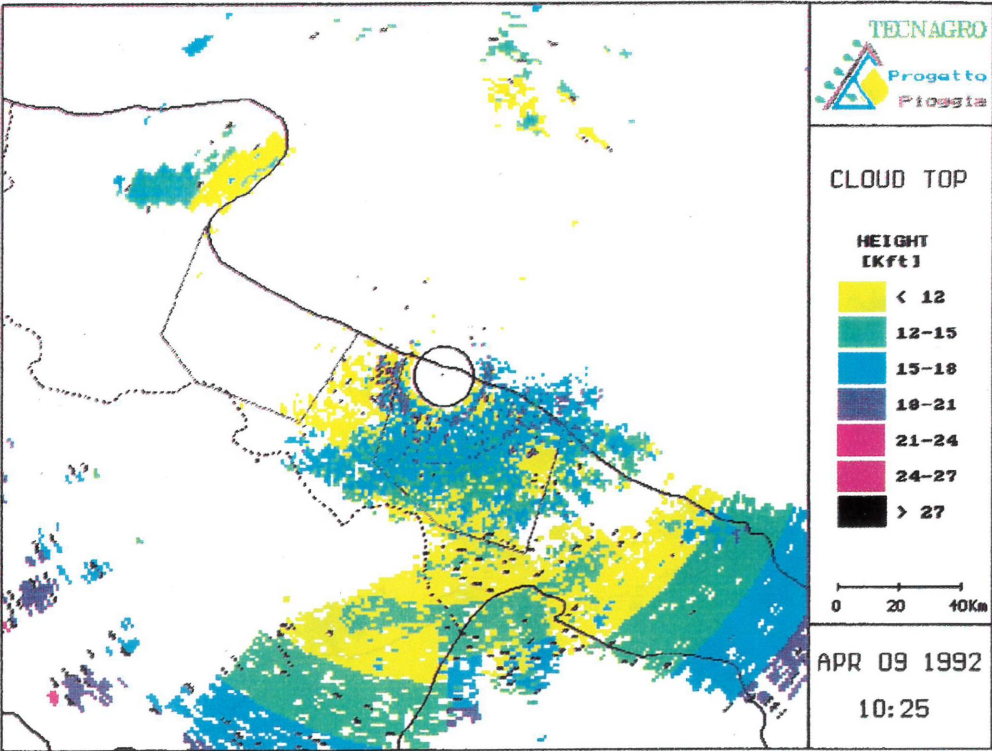


Figure 13

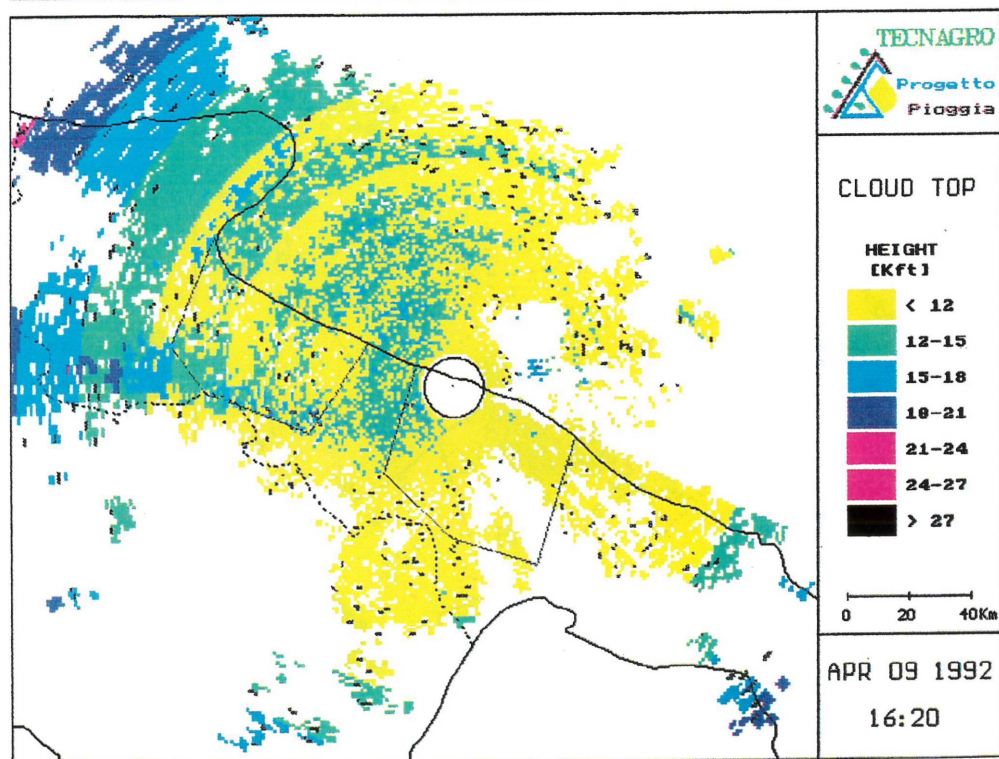
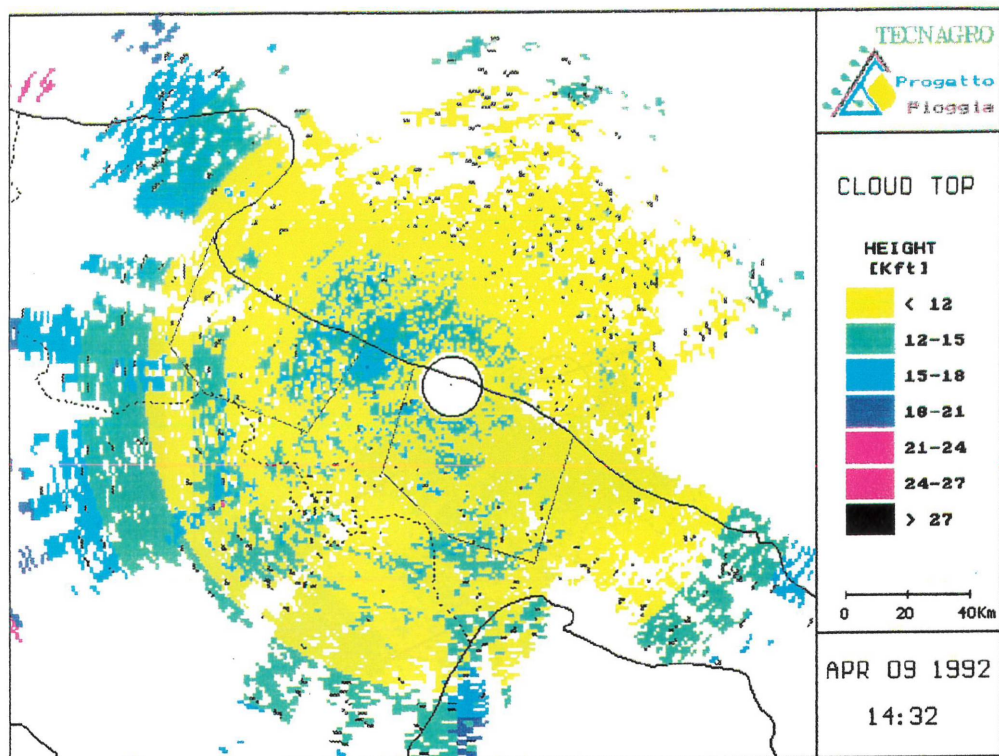


Figure 14

En las figuras, las cantidades de lluvia recogidas en los puntos pluviométricos durante un periodo de una hora previa al tiempo (TMG) indicado en las figuras, están transcritas; se emplean los colores siguientes:

- El amarillo indica más de 1 mm de lluvia.
- El verde claro indica más de 2 mm de lluvia.
- El verde indica más de 3 mm de lluvia.
- El verde oscuro indica más de 4 mm de lluvia.

Están señaladas las zonas objetivo; las líneas púrpura indican las trayectorias de siembra.

No se recogió precipitación desde las 07.00 h. a las 08.00 (figura 2). Después de la debida valoración de todos los factores meteorológicos –principalmente de las imágenes del satélite y de los análisis de radar– las operaciones de siembra empezaron a las 08.27.

Después de media hora empezaron a registrarse lluvias dispersas (1 mm h^{-1}) cerca de la línea de siembra (figura 3). La intensidad de la precipitación creció gradualmente hasta 2-3 mm, extendiéndose a sotavento sobre la zona objetivo en dirección noroeste (figuras 4 y 5).

Esta fase de siembra se detuvo a las 11.31, y después de haber cargado combustible el avión, empezó de nuevo a las 12.31. La propagación de la lluvia hacia el noroeste continuaba a las 12.00 con una intensidad máxima de 5 mm. A las 14.00 las lluvias estaban dispersadas sobre todo el blanco; la siembra se detuvo a las 14.20 (figuras 6, 7, 8 y 9).

Casi ninguna precipitación se recogió por la tarde ni al anochecer (figura 10). Durante la noche las condiciones meteorológicas para la siembra se consideraron progresivamente favorables, así que la operación comenzó de nuevo a las 22.55 y duró hasta pasada la media noche; las figuras 11 y 12 muestran la

propagación de la lluvia sobre la zona objetivo.

Los análisis del radar confirmaron también los valores crecientes de la reflectividad en la base de la nube entre 20 y 30 dBz a las 10.00 y 11.00, mientras las alturas de la cima de la nube estaban desde 4 570 a 6 095 m (figuras 13 y 14).

Conclusiones

No hay duda de que una descripción detallada en el tiempo y el espacio, de las cantidades de lluvia es de la mayor importancia para controlar los efectos de la operación de siembra.

El objetivo principal de este artículo fue demostrar cómo, aparte de cualquier elaboración posterior de los datos, estas secuencias de episodios de precipitación en plazos breves parecen ofrecer una prueba aceptable de una relación causa-efecto entre la siembra y la lluvia. A este respecto, merecen señalarse los puntos siguientes:

- Lluvias apreciables en las zonas objetivo empezaron después del comienzo de las operaciones de siembra.
- El campo de precipitación se propagó a sotavento, a la vez que se ampliaba la zona geográfica cubierta por la lluvia.
- Se producían aumentos en la intensidad de la lluvia algún tiempo después de la siembra.
- La distribución horaria de la lluvia presentada en las figuras muestra claramente el papel de las trayectorias de siembra como fuente para la dispersión del reactivo empleado.

La lluvia recogida en la zona no sembrada (de control) muestra una extensión geográfica menor y una intensidad más débil. La evaluación cuantitativa de estos aspectos sólo podrá obtenerse por el uso de metodologías estadísticas más complejas, cuando se disponga del número estimado de unidades experimentales.

