



PROGETTO
PROJET

FRAMEA

Flood forecasting using Radar in Alpine and Mediterranean Areas - INTERREG IIIA Italy - France

Relazione finale
Rapport final



FRAMEA

FRAMEA:
Flood forecasting using Radar in *Alpine*
and *Mediterranean Areas*,
INTERREG IIIA Italia - Francia
Relazione finale

FRAMEA:
Flood forecasting using Radar in *Alpine*
and *Mediterranean Areas*,
INTERREG IIIA Italie - France
Rapport final

Coordinamento scientifico

Roberto Cremonini

Arpa Piemonte, Area delle attività regionali per l'indirizzo e il coordinamento in materia di previsione e monitoraggio ambientale

Jacques Lavabre

CEMAGREF – Groupement d'Aix en Provence

Coordinamento redazionale

Stefano Bovo, Monica Ponzone

Arpa Piemonte, Area delle attività regionali per l'indirizzo e il coordinamento in materia di previsione e monitoraggio ambientale

Autori:

Stefano Bovo, Jacques Lavabre, Roberto Cremonini, Valentina Campana, Luca Tomassone, Renzo Bechini, Jacques Testud, Stéphanie Diss, Pierre Tabary, Georges Scialom, Cyril Arsufi, Davide Rabuffetti, Tommaso Leoni, Jean-Paul Mizzi, Monica Ponzone

Le immagini presenti nel testo sono di proprietà degli autori

Coordinamento editoriale

Giovanni Teppa, Sonia Naretto

Arpa Piemonte – Comunicazione Istituzionale

Ideazione e progetto grafico

Art Cafè Advertising - Torino

Traduzione

AST – Agenzia Servizi Tecnici - Torino



Stampato su carta riciclata al 100% che ha ottenuto il marchio di qualità ecologica Ecolabel Europeo; prodotta da cartiere registrate secondo il sistema comunitario di ecogestione ed audit EMAS.

Finito di stampare nel mese di Febbraio 2008 presso la tipografia

Tipografia Musumeci S.p.A. - Aosta

ISBN 978-88-7479-072-2

Copyright©2008 Arpa Piemonte – Via Pio VII, 9 – 10135 Torino

Arpa Piemonte non è responsabile per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo documento.

La riproduzione è autorizzata citando la fonte

Si ringraziano gli autori che hanno reso possibile la realizzazione del presente testo.

Coordination scientifique

Roberto Cremonini

Arpa Piemonte, Area delle attività regionali per l'indirizzo
e il coordinamento in materia di previsione e monitoraggio ambientale

Jacques Lavabre

Cemagref – Groupement d'Aix en Provence

Coordination rédactionnelle

Stefano Bovo, Monica Ponzone

Arpa Piemonte, Area delle attività regionali per l'indirizzo
e il coordinamento in materia di previsione e monitoraggio ambientale

Auteurs :

**Stefano Bovo, Jacques Lavabre, Roberto Cremonini, Valentina Campana,
Luca Tomassone, Renzo Bechini, Jacques Testud, Stéphanie Diss,
Pierre Tabary, Georges Scialom, Cyril Arsufi, Davide Rabuffetti,
Tommaso Leoni, Jean-Paul Mizzi, Monica Ponzone**

Les images utilisées sont la propriété de leurs auteurs

Coordination éditoriale

Giovanni Teppa, Sonia Naretto

Arpa Piemonte – Comunicazione Istituzionale

Idéation et projet graphique

Art Cafè Advertising - Torino

Traduction

AST – Agenzia Servizi Tecnici - Torino

*Imprimé sur du papier 100% recyclé qui a obtenu le label de qualité
écologique Ecolabel Européen, produit par des papeteries enregistrées
suivant le système communautaire d'écogestion et d'audit EMAS.*



Impression achevée en Février 2008 par la typographie

Tipografia Musumeci S.p.A. - Aoste

ISBN 978-88-7479-072-2

Copyright@2008 Arpa Piemonte – Via Pio VII, 9 – 10135 Torino

*Arpa Piemonte décline toute responsabilité quant à l'utilisation
qui pourrait être faite des informations contenues
dans ce document. Reproduction autorisée en citant la source.*

*Nos remerciements vont aux auteurs qui ont permis
la réalisation de ce document.*



Progetto realizzato nell'ambito del Programma Interreg IIIA Alcotra e cofinanziato dall'Unione Europea, Fondo Europeo per lo sviluppo regionale.

alcotra



Projet réalisé dans le cadre du Programme Interreg IIIA Alcotra et cofinancé par l'Union Européenne, Fonds Européen pour le développement régional.



Partner del progetto FRAMEA

Partenaires du projet FRAMEA



Arpa Piemonte – Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale
Via Pio VII, 9 - 10135 Torino - ITALIA



Cemagref – Institut de Recherche pour l'Ingénierie de l'Agriculture et de l'Environnement
Groupement d'Aix en Provence
Le Tholonet BP 31
13612 Aix en Provence - FRANCE



CNRS – Centre National de la Recherche
Délégation Ile de France Ouest et Nord
1, Place Aristide Briand
92190 Meudon - FRANCE



Météo-France
Direction des Services d'Observations
7, rue Teisserenc de Bort
78195 Trappes Cedex - FRANCE

FRAMEA

Indice

Index

PREMESSA	11
<hr/>	
CAPITOLO 1 Il contesto transfrontaliero Italia-Francia	15
<hr/>	
1.1 Il contesto italiano	16
<hr/>	
1.2 Il contesto francese	18
<hr/>	
CAPITOLO 2 I regimi pluviometrici dell'area di cooperazione	21
<hr/>	
2.1.a Il regime pluviometrico	22
<hr/>	
2.1.b Il regime pluviometrico	26
<hr/>	
2.2.a L'analisi storica degli eventi	28
<hr/>	
2.2.b L'analisi storica degli eventi	31
<hr/>	
CAPITOLO 3 Le reti osservative transfrontaliere e i nuovi strumenti	35
<hr/>	
3.1.a Le reti osservative	36
<hr/>	
3.1.b Le reti osservative	38
<hr/>	
3.2 Il radar METEOR 50 DX	40
<hr/>	
3.3 Il radar HYDRIX	49
<hr/>	

AVANT-PROPOS	11
<hr/>	
CHAPITRE 1	15
Le contexte transfrontalier Italie-France	
<hr/>	
1.1	
<i>Le contexte italien</i>	16
<hr/>	
1.2	
<i>Le contexte français</i>	18
<hr/>	
CHAPITRE 2	21
Les régimes pluviométriques de la zone de coopération	
<hr/>	
2.1.a	
<i>Le régime pluviométrique</i>	22
<hr/>	
2.1.b	
<i>Le régime pluviométrique</i>	26
<hr/>	
2.2.a	
<i>L'analyse historique des événements</i>	28
<hr/>	
2.2.b	
<i>L'analyse historique des événements</i>	31
<hr/>	
CHAPITRE 3	35
Les réseaux d'observation transfrontaliers et les nouveaux instruments	
<hr/>	
3.1.a	
<i>Les réseaux d'observation</i>	36
<hr/>	
3.1.b	
<i>Les réseaux d'observation</i>	38
<hr/>	
3.2	
<i>Le radar METEOR 50 DX</i>	40
<hr/>	
3.3	
<i>Le radar HYDRIX</i>	49
<hr/>	

CAPITOLO 4 **53**

La sperimentazione della nuova strumentazione

4.1	La sperimentazione della Regione Provence-Alpes-Côte d'Azur	54
-----	---	----

4.2	La sperimentazione in Piemonte	62
-----	--------------------------------	----

4.3	La banca dati del progetto FRAMEA	70
-----	-----------------------------------	----

CAPITOLO 5 **73**

L'integrazione nei servizi operativi di previsione di piena

5.1	La previsione di piena in Piemonte	74
-----	------------------------------------	----

5.2	La previsione di piena nella Regione Provence-Alpes-Côte d'Azur	80
-----	---	----

5.3.a	Il trasferimento ai servizi operativi	85
-------	---------------------------------------	----

5.3.b	Il trasferimento ai servizi operativi	88
-------	---------------------------------------	----

CAPITOLO 6 **91**

Le nuove sfide del contesto transfrontaliero

6.1	Osservazioni sul contesto transfrontaliero	92
-----	--	----

6.2	Le nuove sfide	98
-----	----------------	----

Riferimenti Bibliografici **103**

CHAPITRE 4	53
L'expérimentation de la nouvelle instrumentation	
4.1	
<i>L'expérimentation dans la Provence-Alpes-Côte d'Azur</i>	54
4.2	
<i>L'expérimentation dans le Piémont</i>	62
4.3	
<i>La base de données du projet FRAMEA</i>	70
CHAPITRE 5	73
L'intégration dans les services opérationnels de prévision des crues	
5.1	
<i>La prévision des crues dans le Piémont</i>	74
5.2	
<i>La prévision des crues dans la Provence-Alpes-Côte d'Azur</i>	80
5.3.a	
<i>Le transfert aux services opérationnels</i>	85
5.3.b	
<i>Le transfert aux services opérationnels</i>	88
CHAPITRE 6	91
Les nouveaux défis du contexte transfrontalier	
6.1	
<i>Observations sur le contexte transfrontalier</i>	92
6.1	
<i>Les nouveaux défis</i>	98
Bibliographie	103

FRAMEA

Premessa

Avant-propos

Le valli alpine transfrontaliere, soggette a regime torrenziale durante le stagioni primaverili ed autunnali e caratterizzate da antropizzazione ed un forte flusso turistico necessitano di strumenti di monitoraggio dedicati alla gestione del rischio idrogeologico. La variabilità climatica degli ultimi anni ha inoltre determinato un succedersi di periodi siccitosi, con notevole riduzione della disponibilità di acqua, anche in aree dove prima tale problematica non era presente. Le precipitazioni nevose giocano un ruolo rilevante, quale “serbatoio” per i periodi estivi sia per le attività vallive sia per le zone di pianura. Un’accurata stima della quantità di precipitazione al suolo, distinguendo tra neve e pioggia, è condizione necessaria per una valutazione, con un largo anticipo, delle portate delle piene e per un computo accurato dell’effettiva disponibilità della risorsa acqua per le diverse attività umane, al fine di valutare con maggiore tempestività e precisione le ripercussioni causate da scarsità di precipitazioni nevose.

Nell’ambito del progetto EU INTERREG IIIA Italia – Francia FRAMEA (Flood forecasting using radar in Alpine and Mediterranean Areas), nel quale Arpa Piemonte svolge il ruolo di capofila unico, è stato sperimentato un radar mobile in banda X. Lo strumento di “remote sensing”, tecnologicamente all’avanguardia, è in grado di segnare un rilevante passo in avanti nel raffinamento delle capacità di monitoraggio e di previsione a breve termine, con un raggio d’azione fino a 50 km. Al termine del progetto FRAMEA, le regioni transfrontaliere dispongono di un sistema di monitoraggio e nowcasting che rappresenta un fondamentale progresso per la sicurezza dell’area di cooperazione. Tale sistema offre inoltre un enorme potenziale applicativo che vede, a lato della gestione del rischio idrogeologico, una varietà di impieghi per la salvaguardia del territorio transfrontaliero e delle sue attività peculiari, siano esse agricole, forestali, produttive, turistiche, sportive o connesse al fondamentale ruolo di crocevia per spostamenti di beni e persone rappresentato dalle Alpi Latine. ■

Direttore Generale di Arpa Piemonte

Les vallées alpines transfrontalières, soumises à un régime torrentiel durant les saisons printanières et automnales et caractérisées par une anthropisation et un flux touristique important, nécessitent des instruments de contrôle spécifiques pour la gestion du risque hydrogéologique. En outre, la variabilité climatique de ces dernières années a engendré une succession de périodes arides, avec une remarquable réduction de la disponibilité d'eau, et cela même dans des zones où cette problématique n'existait pas auparavant. En partie dû à la faiblesse des précipitations neigeuses qui jouent un rôle important de « réservoir » pour les périodes estivales aussi bien pour les activités de la vallée que pour les zones de plaine. Une estimation précise de la quantité de précipitation au sol, avec une différenciation entre neige et pluie, est une condition nécessaire pour évaluer, de manière très anticipée, les débits des crues ainsi que pour calculer soigneusement la disponibilité effective de la ressource en eau pour les différentes activités humaines, afin d'estimer avec plus de rapidité et de précision les répercussions causées par l'insuffisance des précipitations neigeuses.

Dans le cadre du projet EU INTERREG IIIA Italie – France FRAMEA (Flood forecasting using radar in Alpine and Mediterranean Areas), dans lequel Arpa Piemonte joue le rôle de chef de file unique, un radar mobile en bande X a été expérimenté. Cet instrument de « télédétection », technologiquement à l'avant-garde, est en mesure d'effectuer une avancée remarquable en matière de perfectionnement des capacités de contrôle et de prévision à court terme, avec un rayon d'action allant jusqu'à 50 km. Au terme du projet FRAMEA, les régions transfrontalières disposent d'un système de contrôle et de « nowcasting¹ » qui représente un progrès fondamental pour la sécurité de la zone de coopération. En outre, ce système offre un énorme potentiel d'applications qui comprend, outre la gestion du risque hydrogéologique, de nombreuses utilisations pour la sauvegarde du territoire transfrontalier à travers les activités agricoles, forestières, productives, touristiques, sportives ou liées au rôle fondamental de carrefour concernant le déplacement de biens et de personnes représenté par les Alpes latines. ■

Directeur général de Arpa Piemonte

¹ N.d.T : Nowcasting = Prévision météorologique à très court terme.



1.1

Il contesto italiano



Stefano Bovo

Il regime pluviometrico nelle regioni del Mediterraneo e delle Alpi meridionali è dominato da sistemi precipitativi intensi, che danno luogo periodicamente a piene catastrofiche. L'accurato monitoraggio e la tempestiva previsione a breve termine di questi sistemi sono necessari per la gestione del rischio idrogeologico, in particolare nelle zone ad alta urbanizzazione. In queste regioni ad orografia complessa, che determina una forte variabilità del campo di precipitazione, l'osservazione di tali fenomeni sia con reti di misura a terra sia con il remote sensing, quali il radar meteorologico, risulta difficile. Ci si confronta con fenomeni fisici, quali intensificazione delle piogge sui versanti sopravvento e con problemi pratici di visibilità (beam-blocking) e di echi da terra, suscettibili di deteriorare il segnale meteo. Tali difficoltà di stima della precipitazione in ambiente alpino mettono in evidenza la necessità di sistemi radar innovativi, basati sull'utilizzo della banda X, nella misura in cui tale banda minimizza gli echi da terra rispetto alla consueta banda C, di algoritmi che utilizzano pienamente le misure polarimetriche per la stima della distribuzione delle idrometeore (ZPHI).

Per superare tali difficoltà, il progetto FRAMEA ha realizzato a livello sperimentale uno strumento innovativo non convenzionale: un radar meteorologico Doppler polarimetrico in banda X. I vantaggi attesi da questo tipo di strumento, molteplici e legati alla tecnica polarimetrica, agli algoritmi implementati ed alla frequenza utilizzata sono:

Miglioramento della stima di precipitazione e delle portate su bacini alpini;

Identificazione del tipo di precipitazione (pioggia/neve);

Miglioramento della visibilità in zone montuose (riduzione degli echi da terra);

Utilizzo di un radar compatto con un miglior rapporto efficacia/costo rispetto ai radar in banda C utilizzati in zone montuose.

Le contexte italien

Stefano Bovo

Le régime pluviométrique dans les régions de la Méditerranée et des Alpes méridionales est dominé par des systèmes de précipitations intenses qui entraînent périodiquement des crues catastrophiques. La surveillance détaillée et la prévision court terme de ces systèmes sont nécessaires à la gestion du risque hydrogéologique, notamment dans les zones à haute urbanisation. Dans ces régions dont l'orographie complexe détermine une forte variabilité en matière de précipitations, l'observation de ces phénomènes, à l'aide de réseaux de mesure au sol ou d'une télédétection au moyen d'un radar météorologique, s'avère difficile. Il faut faire face à des phénomènes physiques – comme l'intensification des pluies sur les versants exposés au vent – et à des problèmes pratiques de visibilité (beam-blocking) et d'échos de sol susceptibles de détériorer le signal météo. Ces difficultés d'estimation de la précipitation en environnement alpin mettent en évidence la nécessité de systèmes radars novateurs fondés sur l'emploi de la bande X, dans la mesure où celle-ci minimise les échos de sol par rapport à la bande C habituelle, et d'algorithmes qui utilisent pleinement les mesures polarimétriques pour l'estimation de la distribution des hydrométéores (ZPHI).

Pour surmonter ces difficultés, le projet FRAMEA a réalisé à titre expérimental un instrument novateur non conventionnel : un radar météorologique Doppler polarimétrique en bande X. Les avantages fournis par ce type d'instrument, multiples et liés à la fois à la technique polarimétrique, à l'algorithmie appliquée et à la fréquence utilisée, sont les suivants :

Amélioration de l'estimation des précipitations et des débits sur les bassins alpins ;

Identification du type de précipitation (distinction pluie/neige) ;

Amélioration de la visibilité en zones montagneuses (réduction des échos de sol) ;

Utilisation d'un radar compact avec un meilleur rapport efficacité/coût par rapport aux radars en bande C utilisés en zones montagneuses.

Une meilleure estimation de la fraction solide de la précipitation entraîne une amélioration de la prévision des débits des fleuves. Les mesures relevées par le nouvel instrument sont intégrées dans le système d'observation et de prévision existant déjà et comprenant les réseaux de mesure au sol, les systèmes radars en bande C, les mesures satellitaires et la modélisation atmosphérique et hydrologique.

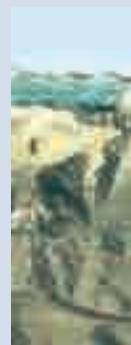
Sur le versant italien, l'apport du nouvel instrument a été évalué à travers une campagne de mesures dans le Haut Val de Susse, près de Sestrières (TO), avec la saisie de mesures polarimétriques pour la vérification de nouveaux algorithmes dédiés à l'estimation des précipitations dans un contexte alpin par comparaison avec les mesures des systèmes d'exploitation en bande C de Bric della Croce – Pecetto (TO) et de Monte Settepani – Osiglia (SV).

Sur le versant français, une longue période d'expérimentation dans la région de Collobrières, visant à la validation de l'instrument et réalisée au moyen d'un radar en bande S de Collobrières et d'un riche équipement présent sur le bassin du Réal-Collobrier, a été suivie par une installation sur le bassin du Var où l'instrument constitue un élément fondamental pour la prévision des crues avec l'intégration des données du radar en bande X dans une méthodologie qui exploite différents types de données dans la modélisation hydrologique. ■

Da una migliore stima del solido di precipitazione, consegue un miglioramento della previsione delle portate dei fiumi. Le misure rilevate dal nuovo strumento sono integrate nel sistema osservativo e previsionale esistente: le reti di misura al suolo, i sistemi radar in banda C, le misure satellitari, la modellistica atmosferica ed idrologica.

Dal lato italiano è stato valutato l'apporto del nuovo strumento con una campagna di misura nell'Alta Val di Susa, presso Sestriere (TO), con l'acquisizione di misure polarimetriche per la verifica di nuovi algoritmi per la stima della precipitazione in un contesto alpino da un confronto con le misure dei sistemi operativi in banda C di Bric della Croce – Pecetto (TO) e Monte Settepani – Osiglia (SV).

Dal lato francese, ad un lungo periodo di sperimentazione nella regione di Collobrières, utilizzato per la validazione dello strumento, grazie al radar in banda S di Collobrières ed alla densa strumentazione presente sul bacino Réal-Collobrier, è seguita l'installazione nel bacino del Var dove lo strumento costituisce elemento cardine per la previsione delle piene con l'integrazione dei dati del radar in banda X in una metodologia che sfrutta differenti tipi di dati nella modellistica idrologica. ■



1.2 Il contesto francese



Jacques Lavabre

Il regime pluviometrico delle regioni mediterranee e delle Alpi meridionali è dominato da sistemi piovosi intensi, causa di piene catastrofiche ricorrenti. La sorveglianza e la previsione a breve termine di questi sistemi piovosi sono importanti problematiche di protezione civile, in particolare per le zone fortemente urbanizzate.

In queste regioni con una complessa orografia, l'osservazione dei fenomeni pone reali problemi di misura. L'osservazione tramite strumenti di telerilevamento, quale il radar meteorologico, è un'idea di forte attrattiva, in virtù delle sue potenzialità di conoscenza spaziale e dinamica dei fenomeni.

Non possono tuttavia essere sottovalutati i problemi di misura connessi all'uso del radar in tale contesto:

- Echi di terra ed occlusione del fascio, a causa della complessa topografia della zona;
- Trattamento del segnale, a causa degli intensi fenomeni piovosi;
- Presenza a basse quote dell'isoterma 0°C, che provoca *brightband*.

La difficoltà nella stima della precipitazione in ambiente alpino mette quindi in evidenza la necessità di nuovi strumenti, con l'utilizzazione sia della banda X per le osservazioni radar, nella misura in cui questa banda minimizza gli echi di terra rispetto alla banda di frequenza C in uso, sia di algoritmi che utilizzano pienamente la misurazione polarimetrica per la stima della distribuzione delle idrometeorie.

Per superare le difficoltà sopra elencate, FRAMEA ha previsto l'impiego, a titolo sperimentale, di uno strumento non convenzionale: un radar meteorologico Doppler polarimetrico in banda X. I vantaggi attesi da questo tipo di strumento sono molteplici, e sono connessi nello stesso tempo alla tecnica polarimetrica, all'algoritmo di sfruttamento e alla frequenza utilizzata.

Le contexte français

Jacques Lavabre

Le régime pluviométrique des régions méditerranéennes et sud alpines est dominé par des systèmes pluvieux intenses occasionnant régulièrement des crues catastrophiques. La surveillance et la prévision à court terme de ces systèmes pluvieux sont des enjeux importants de protection civile, en particulier pour les zones fortement urbanisées.

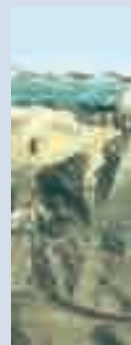
Dans ces régions d'orographie complexe, l'observation des phénomènes pose des réels problèmes de météorologie. L'observation par une méthode de télédétection tel que le radar météorologique est une idée séduisante en raison des potentialités de connaissance spatiale et dynamique des phénomènes.

Cependant, les problèmes météorologiques liés au radar ne sont pas à sous-estimer :

- Échos de sol et masque en raison de la topographie chahutée de la zone ;
- Traitement du signal en raison des phénomènes pluvieux intenses ;
- Présence à des altitudes faibles de l'isotherme 0°C qui induit une bande brillante.

La difficulté à estimer la précipitation dans l'environnement alpin met en évidence la nécessité de nouveaux instruments, avec l'utilisation soit de la bande X pour les observations radar, dans la mesure où cette bande minimise les échos de sol par rapport à la bande de fréquence C en usage, soit d'algorithmes qui utilisent pleinement la mesure polarimétrique pour l'estimation de la distribution des hydrométéores.

Pour surmonter ces difficultés, FRAMEA a prévu le déploiement, à titre expérimental, d'un instrument non conventionnel : un radar météorologique Doppler polarimétrique en bande X. Les avantages attendus de ce type d'instrument sont multiples, liés à la fois à la technique polarimétrique, à l'algorithmie d'exploitation et à la fréquence utilisée.



Ce type d'instrument doit:

- améliorer l'estimation de la pluie et des lames d'eau sur les bassins versants,
- permettre l'identification du type de précipitation (distinction pluie/neige),
- améliorer la visibilité en zone montagneuse (par réduction des échos de terrain),
- conduire au développement d'un radar « compact », d'un meilleur rapport efficacité/coût que les radars en bande C en zone montagneuse.

La motivation première du projet est d'apprécier les réelles capacités des radars en bande X pour estimer les taux précipitants. D'une meilleure estimation de la lame d'eau précipitée, on attend une amélioration de l'anticipation du débit des rivières en intégrant la connaissance spatiale de la pluie dans des modélisations de la pluie en débit à caractère prédictif.

Pour mener à bien les objectifs du projet, FRAMEA est articulé autour de 5 activités :

- Gestion : coordination du projet
- Mise en place des matériels et des outils
- Expérimentation
- Mise en œuvre de la prévention des crues, évaluation de la qualité des instruments, colloque et plan de communication
- Transfert vers les services opérationnels ■

Questo tipo di strumento deve:

- migliorare la stima della pioggia e delle quantità di acqua sui bacini idrografici,
- permettere l'identificazione del tipo di precipitazione (distinzione pioggia/neve),
- migliorare la visibilità in zone di montagna (tramite riduzione degli echi di terra),
- portare allo sviluppo di un radar "compatto", con un migliore rapporto efficienza/costo rispetto ai radar in banda C in zone montuose.

Il primo risultato del progetto è di valutare le reali capacità dei radar in banda X per stimare le quantità delle precipitazioni. Da una migliore stima della quantità d'acqua ci si attende un miglioramento della previsione della portata dei fiumi, grazie all'integrazione della conoscenza spaziale della pioggia nelle modellizzazioni delle precipitazioni in deflussi a carattere predittivo.

Per conseguire gli obiettivi del progetto, FRAMEA si è articolato su 5 attività:

- Gestione: coordinamento del progetto
- Installazione di materiali e strumenti
- Sperimentazione
- Attuazione della prevenzione delle piene, valutazione della qualità degli strumenti, discussione e piano di comunicazione
- Trasferimento ai servizi operativi ■



I regimi pluviometrici
dell'area
di cooperazione



1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6

Les régimes pluviométriques
de la zone
de coopération



2.1.a Il regime pluviometrico del lato italiano

Roberto Cremonini, Valentina Campana

La distribuzione delle precipitazioni annue sul Piemonte presenta un andamento bimodale, con due massimi in primavera ed in autunno. L'isoieta dei 1000 mm segue con buona approssimazione il limite tra la pianura e la montagna nel Piemonte occidentale e meridionale, mentre nel Piemonte settentrionale tale isolinea comprende anche le aree di pianura più prossime alle montagne.

Le zone di maggiore piovosità sono quattro (**figura 2.1.1a**).

La più importante per entità di apporti ed estensione spaziale si allunga, con asse orientato NE - SW, dal Lago Maggiore alle Valli di Lanzo; in quest'area si ha il massimo valore annuo pari a 2350 mm nella località di Cicogna (VB). La seconda area in ordine decrescente si colloca all'estremità sudorientale della regione, sui rilievi appenninici al confine tra Piemonte, Liguria, Lombardia ed Emilia Romagna e coincide all'incirca con i bacini dello Scrivia e del Curone. Il terzo massimo pluviometrico si individua sulle Alpi Marittime: gli afflussi aumentano dai 900 - 1000 mm della pianura cuneese meridionale e delle Langhe fino agli oltre 1200 mm annui della zona montuosa, compresa tra la Valle Gesso e la media Valle del Tanaro. Un'area di dimensione ridotta con forma subellittica delimitata dall'isoieta dei 1200 mm, si trova sulle Prealpi tra la Val Chisone e la Val Pellice.

I settori alpini in cui si hanno scarse precipitazioni comprendono le aree più interne delle valli alpine occidentali - Valli Susa, Varaita e Maira - dove la precipitazione media annua è inferiore a 900 mm; nell'alta Valle Susa tale valore non supera gli 800 mm. La progressiva diminuzione delle precipitazioni via via che ci si inoltra nell'arco alpino è evidente anche nelle valli alpine settentrionali dove anzi è più marcato: nella Val d'Ossola il decremento delle precipitazioni tra media e alta valle è dell'ordine dei 1000 mm (da 2300 mm a poco più di 1200 mm). È necessario però tenere presente la forte variabilità interannuale. Al limite tra pianura e rilievi montuosi corrispondono una iso-

Le régime pluviométrique

Roberto Cremonini, Valentina Campana

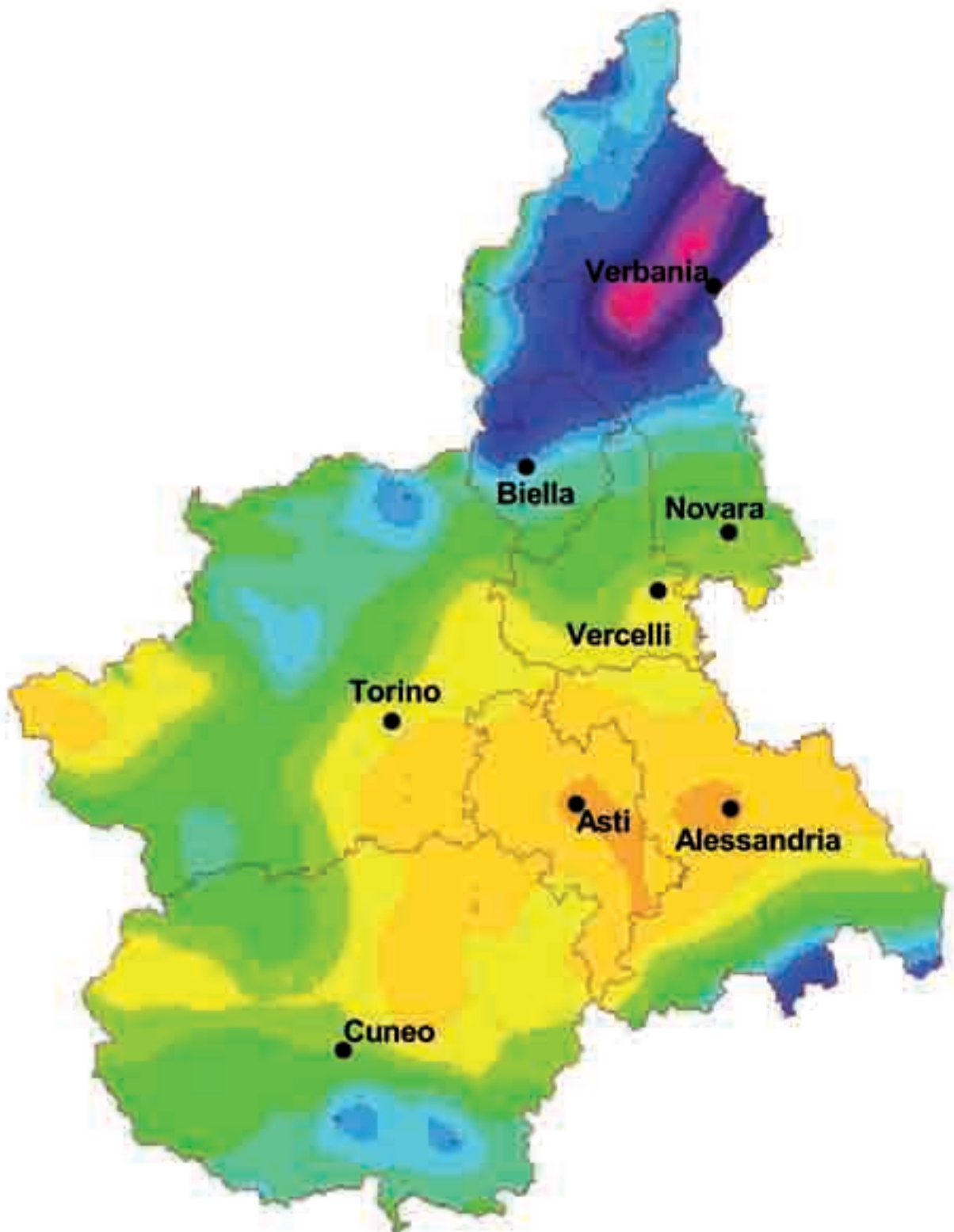
La répartition des précipitations annuelles sur le Piémont présente une tendance bimodale, avec deux pics au printemps et en automne. L'isohyète 1000 mm suit approximativement la limite entre plaine et montagne dans le Piémont occidental et méridional, tandis que dans le Piémont septentrional, cette isohyète comprend également les zones de plaine les plus proches des montagnes.

Les zones de plus grande pluviosité sont au nombre de quatre (**figure 2.1.1a**).

La plus importante par valeur d'apports et par extension spatiale s'étend, en suivant un axe orienté NE - SW, du Lac Majeur aux Vallées de Lanzo. Dans cette zone, la valeur annuelle maximale égale à 2350 mm est atteinte dans la localité de Cicogna (VB). La seconde zone, par ordre décroissant, se situe à l'extrémité sud-orientale de la région, sur les reliefs des Appenins à la frontière entre Piémont, Ligurie, Lombardie et Émilie Romagne et coïncide à peu près avec les bassins du Scrivia et du Curone. La troisième valeur pluviométrique maximale est localisée sur les Alpes Maritimes : les afflux augmentent et passent des 900 - 1000 mm de la plaine méridionale de Cuneo et des Langhe aux plus de 1200 mm annuels de la zone montagneuse comprise entre la Vallée du Gesso et la moyenne Vallée du Tanaro. Une zone de dimension réduite de forme subelliptique délimitée par l'isohyète 1200 mm se trouve sur les Préalpes entre le Val Chisone et le Val Pellice.

Les secteurs alpins qui présentent de rares précipitations comprennent les zones les plus intérieures des vallées alpines occidentales (Val de Suse, Vallées de la Varaita et de la Maira) où la précipitation moyenne annuelle est inférieure à 900 mm. Dans le haut Val de Suse, cette valeur ne dépasse pas 800 mm. La diminution progressive des précipitations au fur et à mesure que l'on s'avance dans l'arc alpin est également évidente dans les vallées alpines septentrionales où elle est d'ailleurs encore plus prononcée : dans le Val d'Ossola, la diminution des précipitations entre moyenne et haute vallée est de l'ordre des 1000 mm (de 2300 mm à un peu plus de 1200 mm). Il est toutefois nécessaire de tenir compte de la forte variabilité interannuelle. À

Fig. 2.1a.1





isoieta minima di 600 mm ed una massima di 1600 mm. Già dall'analisi dei valori medi si comprende come il pedemonte sia zona di importanti oscillazioni irregolari e di eventi estremi negli anni critici. In primavera sui rilievi montuosi occidentali e meridionali i massimi valori medi stagionali non superano i 500 mm, mentre sui rilievi settentrionali questo valore è superato in una vasta fascia che include il Biellese, la Valle Sesia, il Lago d'Orta e i rilievi prospicienti il Lago Maggiore. In estate sui rilievi occidentali il totale estivo non supera i 300 mm tranne che nelle Alpi Liguri (Valli Vermentagna e Pesio) e nelle Alpi Graie (Valli Stura e Orco). Sui rilievi settentrionali vengono superati i 450 mm con un massimo di oltre 650 mm nella Valle Cannobina (a ridosso del Lago Maggiore).

Le analogie tra la distribuzione delle precipitazioni autunnali e quelle primaverili sono molte soprattutto per quanto riguarda i rapporti tra le diverse aree della regione. I valori di precipitazione stagionale al limite tra rilievi e pianura sono praticamente gli stessi, ad eccezione della zona meridionale dove il limite cade in corrispondenza dell'isoieta 300. Sulle zone centro-occidentali del Piemonte i valori sono generalmente di poco inferiori a quelli primaverili. Nelle aree meridionali e settentrionali invece i valori autunnali sono generalmente più elevati di quelli primaverili, soprattutto nella zona appenninica dove si superano i 550 mm. L'inverno è la stagione meno piovosa per quasi tutto il Piemonte. Se si eccettua l'Appennino e la zona settentrionale, Valle Toce e alta Valle Sesia, il totale

la frontière entre plaine et reliefs montagneux correspondent une isohyète minimum 600 mm et une isohyète maximum 1600 mm. L'analyse des valeurs moyennes révèle déjà que le Piémont constitue une zone d'oscillations irrégulières importantes et d'événements extrêmes qui, au fil des années, deviennent critiques. Au printemps, sur les reliefs montagneux occidentaux et méridionaux, les moyennes saisonnières les plus élevées ne dépassent pas 500 mm, tandis que sur les reliefs septentrionaux, cette valeur est dépassée dans une vaste zone qui comprend le Biellese, le Val Sesia, le Lac d'Orta et les reliefs donnant sur le Lac Majeur. En été, sur les reliefs occidentaux, le total ne dépasse pas 300 mm sauf dans les Alpes ligures (Vallées Vermentagna et Pesio) et dans les Alpes grées (Vallées de la Stura et de l'Orco). Sur les reliefs septentrionaux, les 450 mm sont dépassés avec un maximum de plus de 650 mm atteint dans la Vallée Cannobina (derrière le Lac Majeur).

Les analogies entre la distribution des précipitations automnales et des précipitations printanières sont nombreuses, notamment en ce qui concerne les rapports entre les différentes zones de la région. Les valeurs de précipitation saisonnière à la démarcation entre les reliefs et la plaine sont pratiquement identiques, à l'exception de la zone méridionale où la limite correspond à l'isohyète 300. Sur les zones centro-occidentales du Piémont, les valeurs automnales sont en général légèrement inférieures aux valeurs printanières. En revanche, dans les zones méridionales et septentrionales, les valeurs automnales sont généralement plus élevées par rapports à celles printanières, notamment dans la zone des Apennins où les 550 mm sont dépassés.

Tabella A / Tableau A

Precipitazioni medie annue e numero di giorni piovosi medi annui per ogni bacino

Précipitations moyennes annuelles et nombre de jours de pluie moyens annuels pour chaque bassin

Bacino		Precipitazioni (mm)	Giorni piovosi	Densità (mm/giorni piovosi)
	<i>Bassin</i>	<i>Précipitations (mm)</i>	<i>Jours de pluie</i>	<i>Densité (mm/jours de pluie)</i>
Toce - Lago Maggiore	<i>Toce - Lac Majeur</i>	1594	119	13.4
Sesia - Agogna - Terdoppio	<i>Sesia - Agogna - Terdoppio</i>	1424	100	14.2
Dora Baltea	<i>Doire Baltée</i>	1075	89	12.1
Orco	<i>Orco</i>	1224	96	12.8
Stura di Lanzo	<i>Stura di Lanzo</i>	1243	106	11.7
Dora Riparia	<i>Doire Ripaire</i>	869	94	9.2
Pellice	<i>Pellice</i>	1083	101	10.7
Po	<i>Pô</i>	902	89	10.2
Maira - Varaita	<i>Maira - Varaita</i>	935	97	9.7
Tanaro	<i>Tanaro</i>	983	90	11.0
Bormida - Scrivia	<i>Bormida - Scrivia</i>	1006	87	11.6

L'hiver représente la saison la moins pluvieuse pour quasiment la totalité du Piémont. À l'exception des Apennins, de la zone septentrionale, de la Vallée du Toce et du haut Val Sesia, le total saisonnier moyen est inférieur à 200 mm. Un total moyen supérieur à 300 mm n'est atteint que sur les Apennins où les précipitations hivernales sont nettement supérieures aux précipitations estivales.

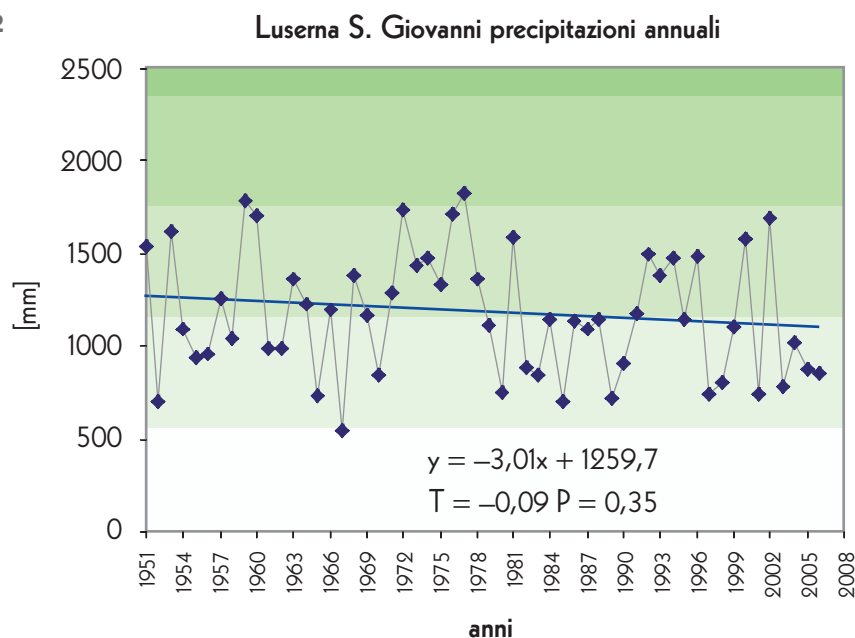
Afin de pouvoir effectuer des comparaisons et d'évaluations de caractère climatologique qui utilisent toutes les mesures disponibles pour le Piémont à partir du début du siècle dernier, il est toutefois nécessaire de caractériser les sites de mesure et d'évaluer les impacts des différents instruments, qui se sont succédés au fil des années, sur la qualité et la représentativité des données disponibles. Dans ce but, Arpa Piemonte a débuté une collaboration avec l'Université de Turin, visant à rassembler au fur et à mesure les différentes modalités de collecte des observations météorologiques. Les séries journalières de température et celles, mensuelles, de précipitation d'une vingtaine de stations des réseaux SIMN et Arpa Piemonte, situées dans les mêmes sites ou dans les environs et pour une période de fonctionnement identique de plus de deux ans, ont été analysées. Des contrôles statistiques de qualité ont été appliqués pour mettre en évidence les anomalies, suivis d'une validation subjective dérivant de l'utilisation de métadonnées relatives au fonctionnement de la station et de la comparaison avec d'autres points de mesure. Pour chaque point de mesure et pour la période de superposition des mesures, des indicateurs statistiques ont été calculés pour évaluer la corrélation et la similarité des séries. ■

stagionale medio è inferiore ai 200 mm. Un totale medio superiore ai 300 mm si ha soltanto sull'Appennino, dove le precipitazioni invernali sono nettamente superiori a quelle estive.

Al fine di poter effettuare raffronti e valutazioni di carattere climatologico che si avvalgono di tutte le misure disponibili in Piemonte a partire dagli inizi del secolo scorso, è però necessario caratterizzare i siti di misura e valutare gli impatti dei differenti strumenti che si sono succeduti negli anni sulla qualità e rappresentatività dei dati disponibili. A tal scopo Arpa Piemonte ha avviato una collaborazione con l'Università degli Studi di Torino finalizzata al raccordo nel tempo delle differenti modalità di raccolta delle osservazioni meteorologiche. Sono state analizzate le serie giornaliere di temperatura e mensili di precipitazione per una ventina di stazioni della rete SIMN e della rete di Arpa Piemonte, poste nei medesimi siti o nelle vicinanze, con un periodo di funzionamento comune maggiore di due anni. Sono stati applicati controlli di qualità statistici per evidenziare anomalie, seguiti da una validazione soggettiva, derivante dall'utilizzo di metadati relativi al funzionamento della stazione e dal confronto con altri punti di misura. Per ogni punto di misura e per il periodo di sovrapposizione delle misure sono stati calcolati alcuni indicatori statistici per valutare la correlazione e la similarità delle serie. ■



Fig. 2.1.a2



2.1.b

Il regime pluviometrico del lato francese

Jacques Lavabre

Sul versante francese la zona geografica considerata è caratterizzata da due elementi fortemente connotanti la climatologia locale:

- il Mar Mediterraneo a sud
- il massiccio alpino che si erge ad altezze vicine ai 3000, ma a poche decine di chilometri dal mare.

Il clima di questa zona subisce l'influenza del Mar Mediterraneo, le cui acque sono relativamente calde, e dei massicci in quota, che assicurano la protezione dalle masse d'aria di origine atlantica o di origine settentrionale. La grande maggioranza delle perturbazioni piovose si forma sul Mar Mediterraneo, che ne è il serbatoio di alimentazione. Quando tali perturbazioni approdano alla zona continentale, la vicinanza dei rilievi provoca un sollevamento delle masse d'aria umide e calde, determinando precipitazioni che possono essere particolarmente abbondanti.

La configurazione orografica provoca altresì un forte gradiente climatico su una ridotta fascia geografica: clima mediterraneo puro sulla zona costiera e poi differenti stadi di clima mediterraneo di montagna, fino a un regime di alta montagna per le zone situate a quote più elevate. La **figura 2.1.b1** mostra la ripartizione del numero medio di giorni di pioggia superiore a 1 mm. Si va da 60 giorni all'anno nella zona costiera (colore giallo) a 90 giorni all'anno nelle zone in quota (colore verde).

Anche i totali annui delle precipitazioni sono molto variabili, con una crescita in quota: la pluviometria annua media della zona costiera è dell'ordine di 700 mm e arriva a 1500 mm sulle vette (**figura 2.1.b2**).

Sulla fascia costiera il clima mediterraneo è caratterizzato da una forte siccità nei mesi estivi, da un minimo secondario di precipitazioni in inverno, da una primavera piovosa e da un periodo autunnale durante il quale generalmente si osservano piogge intense. Questo clima si evolve, con la quota, fino al clima mon-

Le régime pluviométrique

Jacques Lavabre

Côte française, la zone géographique d'étude est caractérisée par deux éléments structurants forts de la climatologie :

- la Mer Méditerranéenne au sud ;
- le massif alpin qui s'élève à des altitudes voisines de 3000 mètres à quelques dizaines de kilomètres de la mer.

Le climat de cette zone est sous influence de la Mer Méditerranéenne, dont les eaux sont relativement chaudes, et des massifs d'altitude qui assurent la protection envers les masses d'air d'origine atlantique ou d'origine nord. La grande majorité des perturbations pluvieuses se forment sur la Mer Méditerranéenne qui est le réservoir d'alimentation. Lorsqu'elles abordent la zone continentale, la proximité des reliefs provoque un soulèvement des masses d'air humides et chaudes et provoquent des précipitations qui peuvent être particulièrement abondantes.

*La configuration orographique induit aussi une diversité de climat sur une zone géographique réduite : climat méditerranéen strict en bordure côtière et ensuite différents étages du climat méditerranéen de montagne jusqu'à un régime montagnard de haute montagne pour les zones d'altitude les plus élevées. La **figure 2.1b.1** montre la répartition du nombre moyen de jours de pluie supérieur à 1 mm. Il varie de 60 jours par an sur la zone côtière (couleur jaune) à 90 jours par an sur les zones d'altitude (couleur verte).*

*Les totaux annuels de précipitations sont aussi très variables, avec une croissance en altitude : la pluviométrie annuelle moyenne de la zone côtière est de l'ordre de 700 mm et atteint 1500 mm sur les sommets (**figure 2.1b.2**).*

Sur la bordure côtière, le climat méditerranéen est caractérisé par une forte sécheresse des mois d'été, un minimum secondaire de pluviométrie en hiver, un printemps pluvieux et la période automnale durant laquelle sont généralement observées des pluies intenses. Ce climat évolue avec l'altitude jusqu'au climat monta-

gnard caractérisé par des hivers froids et neigeux, une saison d'été durant laquelle prédominent des orages et une période automnale pluvieuse.

Cette variabilité climatique induit une forte variabilité des caractéristiques statistiques des pluies. Les pluies de durée 1 heure de fréquence décennale sont de l'ordre de 60 mm pour la zone côtière et décroissant vers la zone alpine autour de 35-40 mm. La variabilité des totaux journaliers est du même ordre de grandeur. Pour la fréquence décennale, les totaux journaliers de pluie atteignent 200 mm pour la zone côtière et seulement la moitié pour les zones d'altitude. ■

tano, caratterizzato da inverni freddi e nevosi, una stagione estiva durante la quale predominano i temporali e un periodo autunnale piovoso.

Tale variabilità climatica porta a una forte varietà delle caratteristiche statistiche delle piogge. Le piogge con durata di 1 ora, di frequenza decennale, sono dell'ordine di 60 mm per la zona costiera e diminuiscono, verso la zona alpina, sino a valori di 35-40 mm. La variabilità dei totali giornalieri è dello stesso ordine di grandezza. Per la frequenza decennale i totali giornalieri della pioggia raggiungono i 200 mm per la zona costiera e appena la metà per le zone in quota. ■

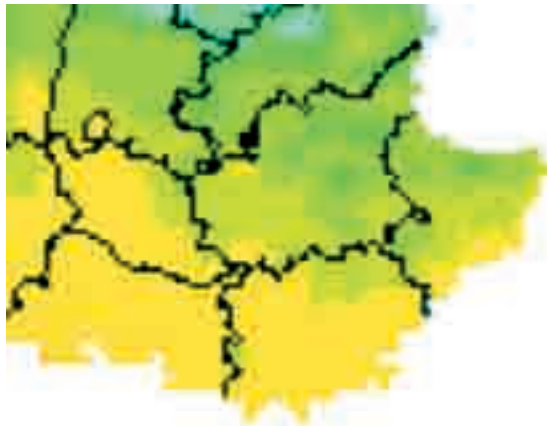


Fig. 2.1.b1

Distribuzione del numero di giorni medi di piovosità superiore a 1mm;
(fonte: Météo-France)

*Répartition du nombre de jours moyens de pluviométrie supérieure à 1mm ;
(source Météo-France)*

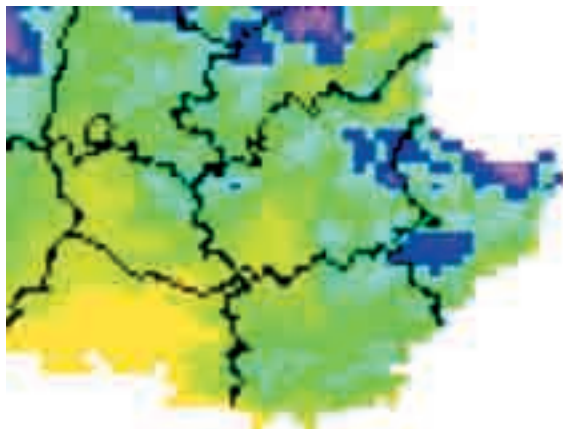


Fig. 2.1.b2

Distribuzione della piovosità annua media;
(fonte: Météo-France)

*Répartition de la pluviométrie annuelle moyenne ;
(source Météo France)*

2.2.a

L'analisi storica degli eventi

Eventi particolarmente intensi

Roberto Cremonini, Valentina Campana

Numerosi eventi hanno causato ingenti danni alla parte centro-meridionale del Piemonte. Sono generalmente tutti riconducibili a una situazione sinottica caratterizzata dalla presenza di un minimo depressionario sul bacino del Mediterraneo o da una saccatura sull'Europa occidentale, che determinano l'ingresso di masse di aria polare sull'Europa meridionale, associate a una situazione di blocco determinata da una vasta area anticiclonica posizionata sull'Europa Orientale. Tra quelli più importanti si ricordano gli eventi del 12-16 giugno 1957, del 5-9 novembre 1962, del 17-20 maggio 1977, del 31 marzo - 2 aprile 1968, del 7 agosto 1978, del 5-11 novembre 1967, novembre 1994 ed ottobre 2000. Di seguito viene descritto l'evento di giugno 1957.

12 - 16 giugno 1957

L'alluvione del 12-16 giugno viene ricordata come una delle più gravi registrate in Piemonte, sia per l'estensione dei territori interessati, sia per l'entità dei danni causati. I massimi pluviometrici vennero registrati tra il 12 ed il 16 giugno, ma più significativo ai fini della comprensione e valutazione dell'entità dell'evento appare considerare le portate dei principali corsi d'acqua: i deflussi incontrarono terreni già imbibiti da piogge precedenti (il culmine fu preceduto infatti da un lungo periodo di piogge frequenti) e vennero ulteriormente incrementati dalla fusione delle coltri nevose ancora molto estese nei settori di testata dei principali bacini.

L'evento fu in realtà costituito da tre successivi episodi separati tra loro da intervalli di circa 12 ore con precipitazioni deboli o assenti. Le piogge più intense si ebbero il giorno 16 (**figura 2.2a.A e B**).

Nella **Tabella A** sono riportati alcuni valori di massima intensità. I valori per le durate 3, 6 e 12 ore registrati nell'area maggiormente colpita - bacini della Dora Riparia, dell'Orco, del Varaita e dello Stura di Demonte - seppure in assoluto non elevati si collocano spesso tra i primi 3 valori delle serie storiche disponibili.

Analyse historique des événements

Événements particulièrement intenses

Roberto Cremonini, Valentina Campana

De nombreux événements ont causé d'importants dommages au niveau de la zone centro-méridionale du Piémont. Ceux-ci sont généralement tous liés à une situation synoptique caractérisée par la présence d'un minimum dépressionnaire sur le bassin de la Méditerranée ou par un creux barométrique sur l'Europe occidentale qui provoquent l'entrée de masses d'air polaire sur l'Europe méridionale associées à une situation de blocage déterminée par une vaste zone anticyclonique positionnée sur l'Europe orientale. Parmi les événements les plus importants figurent ceux du 12 au 16 juin 1957, du 5 au 9 novembre 1962, du 17 au 20 mai 1977, du 31 mars au 2 avril 1968, du 7 août 1978, du 5 au 11 novembre 1967, de novembre 1994 et d'octobre 2000. L'événement relatif au mois de juin 1957 est décrit ci-dessous.

12 - 16 juin 1957

L'inondation du 12 au 16 juin est évoquée comme l'une des plus graves enregistrées dans le Piémont, aussi bien pour l'extension des territoires concernés que pour l'ampleur des dommages causés. Les valeurs pluviométriques maximales furent enregistrées entre le 12 et le 16 juin, mais il faut tenir compte, afin de comprendre et d'évaluer l'ampleur de l'événement, des débits des principaux cours d'eau : les débits se trouvèrent en contact avec des terrains déjà imbibés par les pluies précédentes (le pic fut en effet précédé d'une longue période de pluies fréquentes) et furent encore amplifiés par la fonte des couvertures neigeuses encore très étendues dans les secteurs d'altitude des principaux bassins.

L'événement se composa en réalité de trois épisodes successifs séparés entre eux par des intervalles d'environ 12 heures, caractérisés par des précipitations faibles ou absentes. Les pluies les plus intenses eurent lieu le 16 juin (**figure 2.2a.A et B**).

Dans le **cadre A** sont reportées différentes valeurs d'intensité maximale. Les valeurs pour les durées de 3, 6 et 12 heures enregistrées dans la zone la plus touchée - bassins de la Doire Ripaire, de l'Orco, de la Varaita et de la Stura di Demonte - bien que n'étant pas vraiment élevées, figurent parmi les trois premières valeurs des séries historiques disponibles.

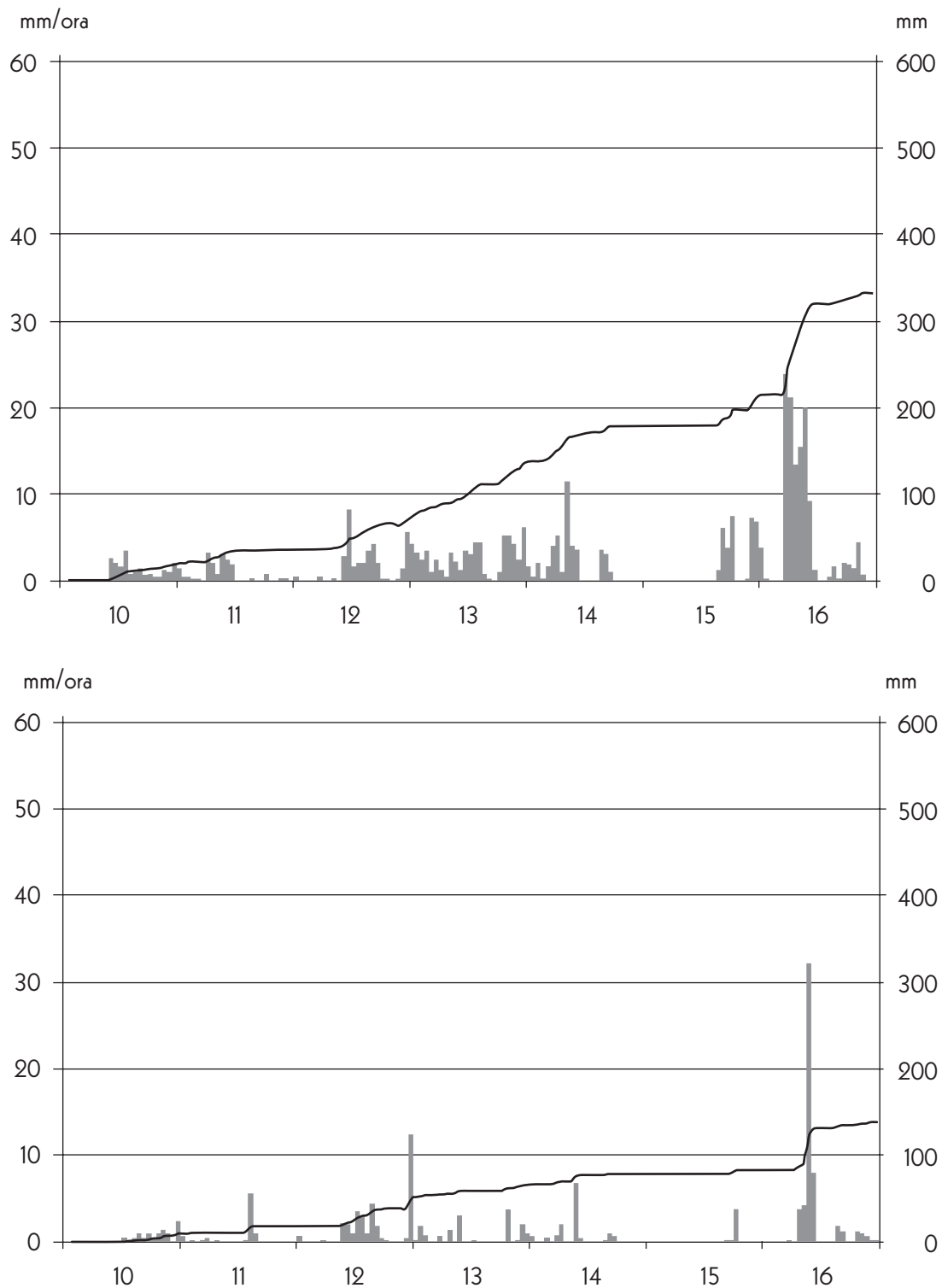


Fig. 2_2a A e B

Precipitazioni cumulate e intensità nel giugno 1957 a Moncenisio-Lago (in alto) e a Mocchie (in basso)

Précipitations cumulées et intensité en juin 1957 à Moncenisio-Lago (en haut) et à Mocchie (en bas)



Si riconosce come maggiormente colpita la porzione centro-occidentale della regione e precisamente i bacini montani delle province di Torino e Cuneo.

Più marginalmente vennero coinvolte anche alcune località nel bacino del Sesia (pur in presenza di piogge abbondanti e concentrate nei giorni 16 e 17, il coinvolgimento e l'entità dei danni subiti da questo settore, normalmente caratterizzato dai valori di piovosità più elevati di tutto l'arco alpino occidentale, furono nettamente inferiori), della Dora Baltea (Carema, Ivrea) e della Stura di Lanzo (alluvionati dalla Stura gli abitati di Groscavallo e Usseglio e, sempre in comune di Usseglio, a due giorni dalla piena, venne distrutta da una frana un'abitazione in loc. Cortevicio). ■

I REGIMI PLUVIOMETRICI DELL'AREA DI COOPERAZIONE

La partie centre-occidentale de la région – et notamment les bassins montagneux des provinces de Turin et de Cuneo – est reconnue comme étant la plus touchée.

De manière plus marginale furent impliquées différentes localités dans le bassin du Sesia (malgré la présence de pluies abondantes et concentrées le 16 et 17 juin, le nombre et l'ampleur des dommages subis par ce secteur, normalement caractérisé par les valeurs de pluviosité les plus élevées de l'ensemble de l'arc alpin occidental, furent nettement moindre), de la Doire Baltée (Carema, Ivree) et de la Stura di Lanzo (les agglomérations de Groscavallo et d'Usseglio furent inondées par la Stura et, toujours dans la commune d'Usseglio, une habitation de la localité de Cortevicio fut détruite par un éboulement, deux jours après la crue). ■

Tabella A / Tableau A

Precipitazioni di massima intensità di durata 1 - 24 ore per l'evento del giugno 1957

Précipitations d'intensité maximale de la durée de 1 à 24 heures relatives à l'événement de juin 1957

				Precipitazioni di massima intensità (mm) per le diverse durate <i>Précipitations d'intensité maximale (mm) pour les différentes durées</i>				
Bacino	<i>Bassin</i>	Stazione	<i>Station</i>	1 ora <i>1 heure</i>	3 ore <i>3 heures</i>	6 ore <i>6 heures</i>	12 ore <i>12 heures</i>	24 ore <i>24 heures</i>
Ticino	<i>Ticino</i>	Malesco	<i>Malesco</i>	40.0	55.8	67.2	113.8	134.0
Toce	<i>Toce</i>	Candoglia	<i>Candoglia</i>	25.0	50.0	75.0	103.0	116.2
Sesia	<i>Sesia</i>	Camasco	<i>Camasco</i>	64.0	92.0	104.0	122.0	164.0
Orco	<i>Orco</i>	Ceresole Reale	<i>Ceresole Reale</i>	36.4	60.5	121.0	130.4	160.0
Stura di Lanzo	<i>Stura di Lanzo</i>	Ceres	<i>Ceres</i>	39.0	60.0	80.0	95.0	113.0
Dora Riparia	<i>Doire Ripaire</i>	Moncenisio Lago	<i>Moncenisio Lago</i>	24.0	58.0	102.0	106.6	142.6
Pellice	<i>Pellice</i>	Pragelato	<i>Pragelato</i>	17.0	31.0	46.8	63.4	114.0
Varaita	<i>Varaita</i>	Castello Diga	<i>Castello Diga</i>	22.0	45.8	61.0	73.8	129.6
Stura di Demonte	<i>Stura di Demonte</i>	Rio Freddo	<i>Rio Freddo</i>	18.0	43.0	66.0	94.8	132.0

2.2.b Analyse historique des événements

Jacques Lavabre

L'episode le plus pluvieux de l'histoire récente du Département des Alpes-Maritimes date de la fin de l'année 2000. A Nice, un total record de 747 mm durant les 3 mois de septembre, octobre et novembre a été observé. La valeur maximale régionale a été atteinte au poste de Caussols avec un total de 1403 mm pour les mois de septembre à décembre.

Des totaux journaliers de l'ordre de 200-250 mm sont fréquents sur la zone côtière. Ces totaux sont parfois enregistrés en quelques heures (par exemple, 200 mm en moins de 3 heures à Saint-Vallier de Thiey en juin 1994).

Côté français, le drain hydrographique principal est le fleuve Var. Son bassin versant est de 2800 km². Le cours d'eau principal et ses affluents présentent, comme suite à l'évolution climatologique, différents régimes hydrologiques depuis un régime montagnard avec des crues de fonte de neige jusqu'à un régime strictement méditerranéen caractérisé par des crues rapides lors de la saison automnale. Malgré des superficies de bassins nettement plus faibles, les fleuves côtiers tels que la Roya, le Paillon, la Siagne... sont affectés par des crues soudaines et violentes, toujours extrêmement dommageables en raison de la vulnérabilité de la zone côtière très urbanisée. Et l'histoire est malheureusement parsemée de crues violentes qui outre de forts dégâts matériels, n'épargnent pas les vies humaines.

Le Paillon est un fleuve typiquement méditerranéen qui traverse la ville de Nice. Il draine un bassin versant de 250 km². Sa forme compacte, son relief très accidenté, la pente du cours d'eau... concourent à la formation de crues soudaines et violentes. Depuis toujours, les crues du Paillon ont frappé l'imagination populaire du fait de leur soudaineté. Parmi les morts que ce fleuve a à son actif, nombreux sont ceux qui ont été surpris et emportés par l'arrivée de ses premiers flots dont beaucoup de témoignages s'accordent à dire qu'ils ont l'aspect d'un véritable mur d'eau d'un mètre de haut ou plus. Le dan-

Analisi storica degli eventi

Jacques Lavabre

L'episodio maggiormente piovoso della storia recente del Dipartimento delle Alpi Marittime risale alla fine del 2000. A Nizza è stato osservato un totale record di 747 mm durante i 3 mesi di settembre, ottobre e novembre. Il valore massimo regionale è stato raggiunto alla postazione di Caussols con un totale di 1403 mm per i mesi da settembre a dicembre.

Totale giornalieri dell'ordine di 200-250 mm sono frequenti nella zona costiera. Questi totali vengono talvolta registrati nell'arco di poche ore (per esempio 200 mm in meno di 3 ore a Saint-Vallier de Thiey nel giugno 1994).

Sul versante francese il collettore idrografico principale è rappresentato del fiume Var. Il suo bacino idrografico è di 2800 km². Il corso d'acqua principale ed i suoi affluenti presentano, in seguito all'evoluzione climatologica, differenti regimi idrologici, da un regime montano con piene da scioglimento di neve fino a un regime rigorosamente mediterraneo caratterizzato da rapide piene in occasione della stagione autunnale. Malgrado superfici dei bacini nettamente più piccole, i fiumi costieri come il Roia, il Paillon, la Siagne,... sono colpiti da piene improvvise e violente, sempre estremamente dannose, a causa della vulnerabilità della zona costiera, molto urbanizzata. E purtroppo la storia è costellata da piene violente che, oltre ad arrecare forti danni materiali, non risparmiano vite umane.

Il Paillon è un fiume tipicamente mediterraneo che attraversa la città di Nizza. Drena un bacino idrografico di 250 km². La morfologia, il rilievo molto accidentato, la pendenza del corso d'acqua contribuiscono complessivamente alla formazione di piene improvvise e violente. Da sempre le piene del Paillon hanno colpito l'immaginazione popolare a causa della loro repentinità. Tra i morti che esso ha al suo attivo, numerosi sono coloro che sono stati sorpresi e trascinati dall'arrivo delle sue prime ondate, per cui molte testimonianze sono concordi nel dire che esse hanno l'aspet-





to di un vero e proprio muro d'acqua di un metro o più d'altezza. Il pericolo rappresentato da quest'arrivo così brutale della piena era tale che nel XIX secolo un cavaliere era stato incaricato di percorrere gli argini del Paillon da Drap alla sua foce per avvertire le famose "bugadières" o lavandaie dell'imminente arrivo della piena al grido di "ARRIVA IL PAILLON". La piena più funesta del Paillon è quella dell'aprile 1774, che causò la morte di 300 soldati che stavano attraversando il letto del corso d'acqua. Più recentemente sono rimaste impresse nella memoria le piene del novembre 1940 e del dicembre 1957. La **figura 2.2.b1**, riguardante la piena del novembre 2000, testimonia la violenza dell'onda di piena.

Per il Var l'ultima grande piena risale al novembre 1994. In occasione di tale avvenimento tutti i fiumi delle Alpi Marittime hanno avuto degli straripamenti spettacolari: il Loup (**figura 2.2.b2**), l'Esteron, la Siagne, il Roia, il Paillon...

La portata del Var è stimata in 3500 m³/s a Nizza. Queste piene hanno arrecato numerosi danni, in particolare all'aeroporto di Nizza. Lo stesso episodio ha provocato 70 vittime in Piemonte (le piogge dal 2 al 7 novembre hanno raggiunto i 700 mm alla stazione meteo di Funghera).

Nella notte dal 25 al 26 settembre 1981, piogge torrenziali si abbattono sull'entroterra nizzardo, da La Colle/Loup a Breil sur Roia. Strade dissestate (in particolare: la RN 202, la route Napoléon e, a Nizza, il quartiere della Madeleine), colate di fango, smottamenti di terreno, campeggi evacuati, automobili, caravan e tende trascinate via in piena notte da numerose zone (Carros, Vence, Sospello, Contes, Cagnes/Mer, Breil sur Roia, Mentone, Grasse...).

La soglia dei 200 mm di pioggia viene superata a Carros, a Contes e a Vence. Da notare che a una decina di chilometri di distanza, sulla costa (Antibes, Nizza aeroporto), le piogge sono inferiori a 10 mm. ■

*ger que représente cette arrivée si brutale de la crue était tel qu'un cavalier avait été missionné, au XIXe siècle, pour parcourir les berges du Paillon de DRAP à son embouchure afin de prévenir les fameuses « bugadières » ou lavandières de l'arrivée imminente de la crue au cri de « LOU PAILLON VEN ». La crue la plus meurtrière du Paillon est celle d'avril 1774 qui causa la mort de 300 soldats qui traversaient le lit du cours d'eau. Plus récemment, les crues de novembre 1940 et de décembre 1957 sont encore dans les mémoires. La **figure 2.2b.1**, prise lors de la crue de novembre 2000 témoigne de la violence des flots.*

*Pour le Var, la dernière grosse crue date de novembre 1994. Toutes les rivières des Alpes Maritimes ont connu des débordements spectaculaires lors de cet événement : le Loup (**figure 2.2b.2**), l'Esteron, la Siagne, la Roya, le Paillon...*

Le débit du Var est estimé à 3500 m³/s à Nice. Ces crues firent de nombreux dégâts, notamment à l'aéroport de Nice. Le même épisode a provoqué 70 victimes sur le Piémont italien (les pluies du 2 au 7 novembre ont atteint 700 mm au poste de Funghera).

Dans la nuit du 25 au 26 septembre 1981, des pluies torrentielles s'abattent sur l'arrière-pays niçois, de La Colle/Loup à Breil/Roya. Routes défoncées (notamment: RN 202, route Napoléon, et à Nice, quartier de la Madeleine), coulées de boues, glissements de terrains, campings évacués, voitures, caravanes et tentes emportées en pleine nuit en de nombreux secteurs (Carros, Vence, Sospel, Contes, Cagnes/Mer, Breil/Roya, Menton, Grasse...).

Le seuil de 200 mm de pluie est dépassé à Carros, Contes et Vence. A noter qu'à une dizaine de km de là, sur la côte (Antibes, Nice aéroport), les pluies sont inférieures à 10 mm. ■



Fig. 2.2.b1

Il Paillon a Nizza, quartiere
Pasteur, 6 novembre 2000.
(fonte: Météo France)

*Le paillon à Nice, quartier
Pasteur, le 6 novembre 2000.
(source Météo France)*



Fig. 2.2.b2

Il Loup nel novembre 1994
(fonte: DIREN PACA)

*Le Loup en novembre 1994
(source DIREN PACA)*

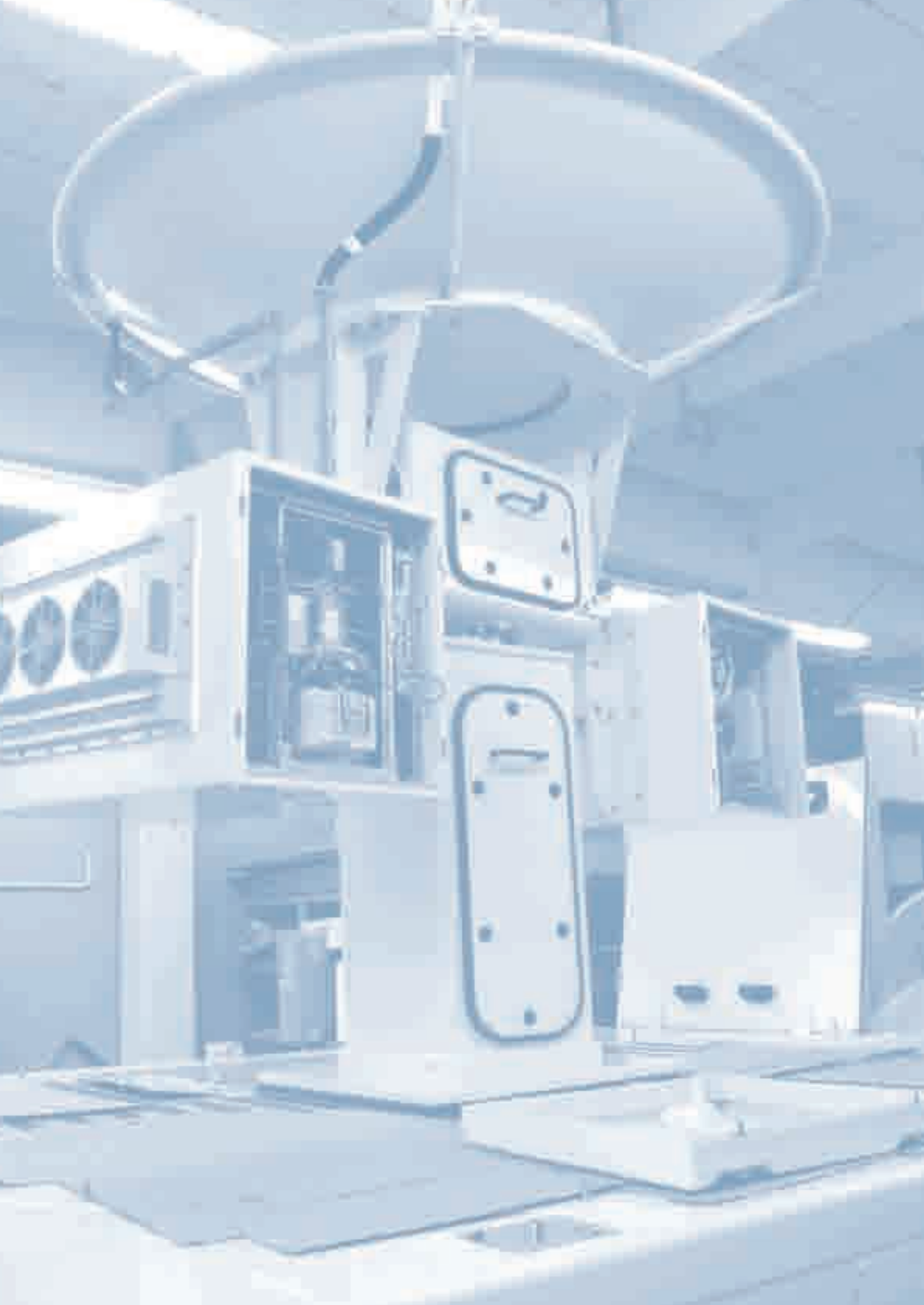


**Pluies torrentielles et inondations
catastrophiques de Grasse à Menton**
Dégâts considérables, des centaines de sinistrés.

Fig. 2.2.b3 – b4

Titolo del giornale Nice Matin,
edizione del 26 settembre
1981

*Titre du journal Nice Matin, le 26
septembre 1981*



Le reti osservative
transfrontaliere
e i nuovi strumenti



1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6

Les réseaux d'observation
transfrontaliers
et les nouveaux instruments



3.1.a Le reti osservative

Luca Tomassone

Arpa Piemonte gestisce una complessa rete di monitoraggio meteorologico, estesa in modo capillare sul territorio regionale.

Essa comprende due radar meteorologici di tipo polarimetrico in banda C (**figura 3.1a.1**), installati rispettivamente sulla collina torinese e sull'appennino ligure, e un radar mobile in banda X (vedere paragrafo seguente). Essi sono in grado di fornire una stima molto accurata delle precipitazioni sul nord-ovest italiano, una zona caratterizzata da un'orografia complessa e da numerosi bacini fluviali.

I dati radar sono corretti utilizzando le misure ricavate da una rete di osservazioni al suolo, composta da oltre 300 stazioni in grado di rilevare i principali parametri meteorologici.

Les réseaux d'observation

Luca Tomassone

Arpa Piemonte gère un réseau complexe de contrôle météorologique, distribué de façon capillaire sur l'ensemble du territoire régional.

Ce réseau comprend deux radars météorologiques de type polarimétrique en bande C (**figure 3.1a.1**) installés respectivement sur la colline torinoise et sur les Apennins ligures et un radar mobile en bande X (voir paragraphe suivant). Ces radars sont en mesure de fournir une estimation très précise des précipitations sur le Nord-Ouest italien, zone caractérisée par une orographie complexe et par de nombreux bassins fluviaux.

Les données issues des radars sont corrigées en utilisant les mesures provenant d'un réseau d'observations au sol se composant de plus de 300 stations qui mesurent les principaux paramètres météorologiques.

Fig. 3.1a.1

La rete di sensori meteorologici gestita da Arpa nella zona transfrontaliera

Le réseau de capteurs météorologiques géré par Arpa dans la zone transfrontalière



La plupart de ces stations sont installées dans la zone frontalière avec la France (fig. 3.1a.1) et disposent également de capteurs anémométriques et nivométriques de grande importance en milieu alpin.

Arpa gère aussi deux systèmes automatiques de radiosondage situés à l'aéroport de Cuneo-Levaldigi et dans le Val de Susse à Sansicario. Ce dernier a été utilisé de manière continue avant, pendant et après les Jeux Olympiques de Turin 2006.

Dans la zone olympique sont installées deux stations ICECAST afin de contrôler et de prévoir les conditions des routes de montagne, fournissant ainsi à Arpa Piemonte un important instrument d'alerte pour les automobilistes, notamment en hiver.

Enfin, il existe un réseau se composant d'une dizaine de capteurs de « Temps présent » réparti sur le territoire régional. La moitié du réseau est installée dans les zones alpines de frontière afin de fournir des informations sur les conditions météorologiques générales et sur la visibilité horizontale toutes les quinze minutes. ■

Una buona parte di queste stazioni sono installate nelle zone di confine con la Francia (fig. 3.1a.1.), le quali dispongono anche di sensori anemometrici e nivometrici, di grande importanza in ambito alpino.

Arpa gestisce anche due sistemi automatici di radiosondaggio, situati all'aeroporto di Cuneo-Levaldigi e in Valle di Susa a Sansicario; quest'ultima strumentazione è stata utilizzata in modo continuativo, prima, durante, e dopo i Giochi Olimpici di Torino 2006.

Nella zona Olimpica sono installate due stazioni ICECAST, in grado di monitorare e prevedere le condizioni delle strade montane, che danno così ad Arpa Piemonte un importante strumento di allerta per gli automobilisti, soprattutto nella stagione invernale.

Infine è presente una rete di una decina di sensori di Tempo Presente distribuita sul territorio regionale: di questi la metà è installata nelle zone alpine di confine, ed è in grado di fornire ogni 15 minuti informazioni sulle condizioni meteorologiche generali e sulla visibilità orizzontale. ■

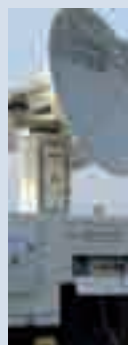


Fig. 3.1a.2

I due radar meteo di Arpa

Les deux radars météo de Arpa Piemonte



3.1.b Le reti osservative

Jacques Lavabre

Per la parte francese della zona di studio è Météo-France a gestire il controllo della rete di osservazione delle precipitazioni.

La rete al suolo è costituita da pluviometri che permettono la conoscenza del totale giornaliero (24 ore

Les réseaux d'observation

Jacques Lavabre

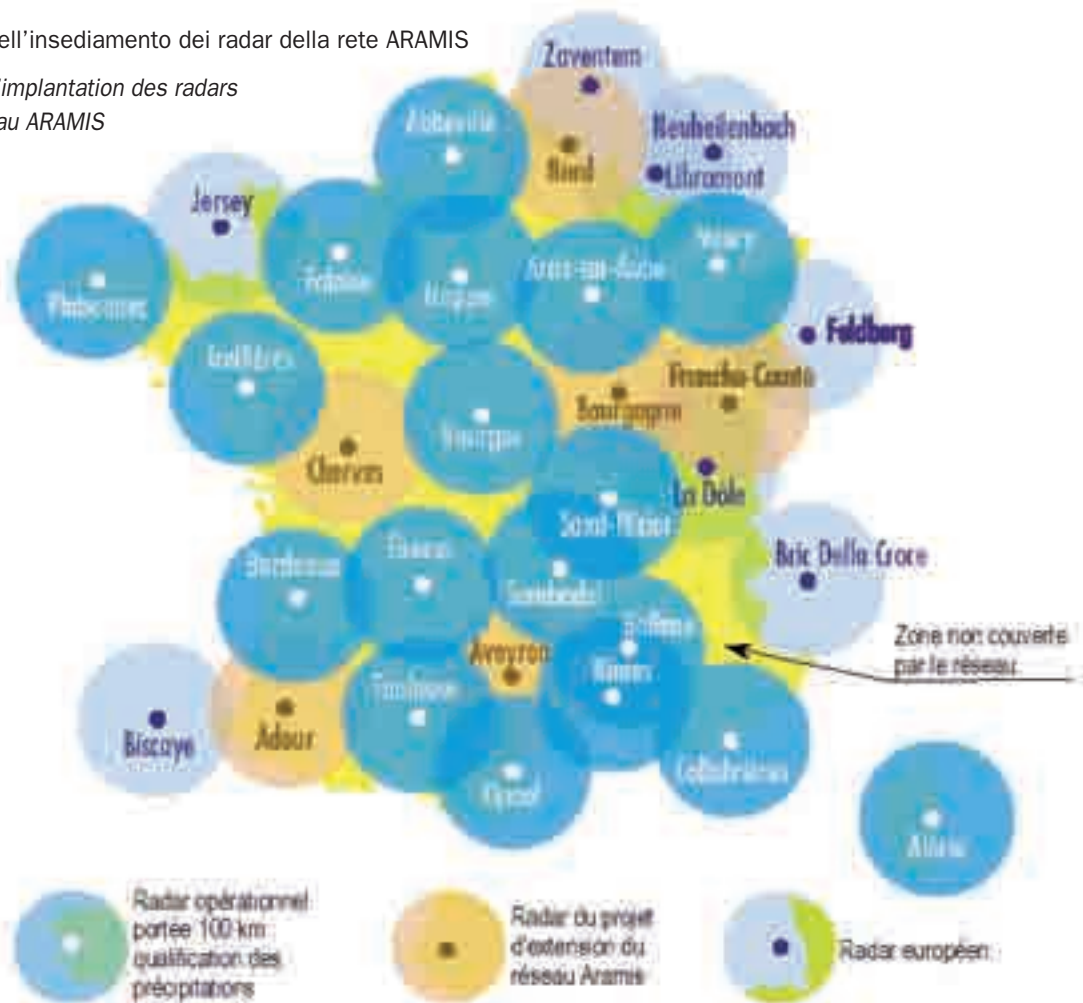
Pour la partie française de la zone d'étude, c'est Météo-France qui assure le suivi du réseau d'observation des précipitations.

Le réseau au sol est constitué de pluviomètres qui permettent la connaissance du total journalier (24 heures

Fig. 3.1.b1

Carta dell'insediamento dei radar della rete ARAMIS

Carte d'implantation des radars
du réseau ARAMIS



entre 6 heures TU du jour J à 6 heures TU du jour J+1), et de stations automatiques qui enregistrent la chronologie de la pluie à un pas de 6 minutes. La densité du réseau actuellement en service sur le département limitrophe des Alpes-Maritimes est le suivant : 32 stations manuelles (pluviomètres), 32 stations automatiques et 2 stations professionnelles.

Les données du réseau de mesure du bassin de recherche expérimentale du Réal Collobrier, géré par le Cemagref, présente un intérêt complémentaire en raison de leur densité : 17 postes automatiques de mesure des pluies et 12 stations de contrôle des débits sur une superficie de 100 km².

Météo-France assure aussi la gestion du réseau de radars climatologiques (réseau ARAMIS) (fig. 3.1b.1). Le radar le plus proche de la zone d'étude est celui de Collobrières (fig. 3.1b.2). C'est un radar en bande S non bi-polarisé. Il a été mis en service en 2002. A cause de la distance élevée et des masques d'écran, le taux de couverture des départements limitrophes est imparfait : très faible sur le département des Alpes de Haute-Provence et de l'ordre de 50 % sur le département des Alpes-Maritimes. Malgré ce taux imparfait, pour ce qui concerne une estimation correcte des taux précipitants, le radar de Collobrières permet le suivi des perturbations, notamment en mer ce qui est très important pour anticiper l'arrivée de certaines perturbations. ■

tra le 6 del giorno X e le 6 del giorno X+1) e di stazioni automatiche che registrano la cronologia della pioggia ogni 6 minuti. La densità della rete attualmente in servizio sul dipartimento limitrofo alle Alpi Marittime è la seguente: 32 stazioni manuali (pluviometri), 32 stazioni automatiche e 2 stazioni professionali.

I dati della rete di misurazione del bacino di ricerca sperimentale del Réal Collobrier, gestito dal Cemagref, presentano un interesse complementare in virtù della loro densità: 17 stazioni automatiche di misurazione delle piogge e 12 stazioni di controllo delle portate su una superficie di 100 km².

Météo-France ha anche in carico la gestione della rete di radar meteorologici (rete ARAMIS) (fig. 3.1b.1). Il radar più vicino alla zona di studio è quello di Collobrières (fig. 3.1b.2). È un radar in banda S non bipolarizzato. È stato messo in funzione nel 2002. A causa della grande distanza e delle immagini statiche, il tasso di copertura dei dipartimenti limitrofi è incompleto: molto debole nel dipartimento delle Alpi dell'Alta Provenza e dell'ordine del 50% nel dipartimento delle Alpi Marittime. Malgrado questa copertura incompleta, per quanto concerne una stima corretta delle precipitazioni, il radar di Collobrières permette di seguire le perturbazioni, in particolare in mare, fatto molto rilevante per formulare previsioni sull'arrivo di certe perturbazioni. ■



Fig. 3.1.b2

Il radar di Collobrières gestito da Météo-France

Le radar de Collobrières géré par Météo-France





3.2 Il radar Meteor 50 DX

Renzo Bechini

Il METEOR 50 DX (fig. 3.2.1a e b) è un radar mobile Doppler e polarimetrico che opera in banda X (9,3 GHz). La potenza massima di circa 75 kW permette di raggiungere una portata fino a 100 km.

Il radar è montato su un carrello per il trasporto, al traino di una vettura adeguata. Il peso complessivo del rimorchio (incluso radar con radome) è di 2800 kg. La procedura di ri-locazione in ambito regionale (comprensiva di disinstallazione, trasporto e nuova installazione) può essere effettuata nell'arco di una giornata, permettendo quindi una tempestiva messa in operatività del sistema in contesti territoriali diversi, a seconda delle specifiche necessità di monitoraggio. Il radar può inoltre operare con e senza radome (fig. 3.2.2). L'utilizzo con la protezione del radome è raccomandato in siti particolarmente avversi, come località in alta montagna con venti forti e frequente formazione di ghiaccio, mentre nella gran parte delle situazioni, come ad esempio siti di pianura o fondovalle, l'impiego senza radome consente di ottenere una maggior accuratezza sulle misure.

Per quanto concerne l'installazione del radar, il sistema è stato concepito per non necessitare di alcuna infrastruttura, ad eccezione di una strada di accesso per il trasporto via terra (è anche possibile il trasporto aereo, tramite elicottero). Infatti nel carrello è installato un gruppo elettrogeno, con relativo serbatoio per il gasolio, che garantisce un'autonomia del sistema fino a circa 16 ore continuative, in assenza di alimentazione da rete elettrica. In siti dotati di accesso alla rete elettrica, invece, il radar funziona normalmente con alimentazione trifase 380V 32A. Il sistema di comunicazione prevede tre modalità di accesso:

- via cavo alla rete locale, tramite prese ethernet installate sul carrello;
- senza fili, tramite rete Wi-Fi;
- via telefono, tramite tecnologia GPRS-EDGE.

Le Meteor 50 DX

Renzo Bechini

Il METEOR 50 DX (fig. 3.2.1a e b) est un radar mobile Doppler et polarimétrique qui opère en bande X (9,3 GHz). Sa puissance maximale d'environ 75 kW permet d'atteindre un rayon allant jusqu'à 100 km.

Le radar est monté sur un chariot pour le transport, tracté par voiture. Le poids global de la remorque (radar et radôme compris) est de 2800 kg. La procédure de réaménagement en milieu régional (comprenant la désinstallation, le transport et la nouvelle installation) peut-être effectuée en une journée, permettant ainsi une mise en activité rapide du système dans des contextes territoriaux différents, en fonction des nécessités spécifiques de contrôle. Le radar peut en outre fonctionner avec ou sans radôme (fig. 3.2.2). Son utilisation avec la protection du radôme est recommandée dans des sites particulièrement hostiles, comme les localités en haute montagne soumises à des vents forts et à une formation fréquente de glace, tandis que dans la plupart des situations, comme par exemple les sites de plaine ou au fond de la vallée, l'utilisation sans radôme permet d'obtenir une plus grande précision des mesures.

Quant à l'installation du radar, le système a été conçu pour éviter d'avoir besoin d'infrastructures, à l'exception d'une route d'accès pour le transport terrestre (le transport aérien est également possible, via hélicoptère). En effet, dans le chariot est installé le groupe électrogène avec le réservoir pour le gasoil, qui garantit une autonomie du système allant jusqu'à environ 16 heures continues, en absence d'alimentation par réseau électrique. En revanche, dans des sites dotés d'accès au réseau électrique, le radar fonctionne normalement avec alimentation triphasée 380V 32A. Le système de communication prévoit trois modalités d'accès :

- via câble relié au réseau local, grâce aux prises ethernet installées sur le chariot ;
- sans fil, grâce au réseau Wi-Fi ;
- via téléphone, grâce à la technologie GPRS-EDGE.

Le système comprend les composants principaux suivants :

- Remorque
- Système antenne
- Émetteur
- Récepteur
- Processeur de contrôle radar

Les caractéristiques techniques des composants susmentionnés sont présentées dans les tableaux REMORQUE, ANTENNE, ÉMETTEUR, RÉCEPTEUR. Du point de vue du hardware, une caractéristique importante du système METEOR 50 DX réside dans l'installation de l'émetteur et du récepteur intégrés à la parabole. Ce qui a permis l'élimination des joints pivotant en azimut et en élévation pour la transmission et la réception de l'impulsion élec-

Il sistema consiste dei seguenti componenti principali:

- Trailer
- Antenna system
- Transmitter
- Receiver
- Radar control processor

Le caratteristiche tecniche dei componenti succitati sono presentate nelle tabelle TRAILER, ANTENNA, TRANSMITTER, RECEIVER. Dal punto di vista hardware, un'importante caratteristica del sistema METEOR 50 DX consiste nell'aver installato sia il trasmettitore sia il ricevitore in maniera solidale con la parabola. Questo ha consentito l'eliminazione dei giunti rotanti in azimuth ed in elevazione per la trasmissione e ricezione dell'impul-

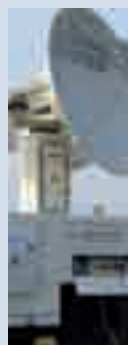


Fig. 3.2.1a

Il radar METEOR 50DX con il radome, nel sito di Sestriere, agosto 2007

Le radar METEOR 50DX avec le radôme, dans le site de Sestrières, août 2007



Fig. 3.2.1b

Il radar METEOR 50DX nel sito Carmagnola, ottobre 2007, senza radome

Le radar METEOR 50DX dans le site de Carmagnola, octobre 2007, sans radôme





Fig. 3.2.2

Particolare del radar METEOR 50DX, con il radome sollevato tramite appositi crick, che permettono l'accesso alle apparecchiature

Détail du radar METEOR 50DX, avec le radôme soulevé à l'aide de crics permettant l'accès aux appareillages

tromagnétique vers et depuis l'antenne. Les pertes de signal le long du parcours TX -> antenne -> RX sont ainsi minimisées et toute anisotropie éventuelle causée par le mouvement des joints pivotants est a priori exclue.

so elettromagnetico verso e dall'antenna. Le perdite di segnale lungo il percorso TX -> antenna -> RX sono così minimizzate ed ogni possibile anisotropia causata dal movimento dei giunti rotanti è esclusa a priori.

TRAILER / REMORQUE

Specification	Value	Unit
General		
Total weight	2800	kg
Weight of the radome	130	kg
Length	2808	mm
Width (supports retracted)	2550	mm
th (supports extended)	3560	mm
Height (with radome in place)	3891	mm
Tongue load	120	kg
Tires		
Type	225/75 R 16	
Air pressure	5,75	bar

ANTENNA / ANTENNE

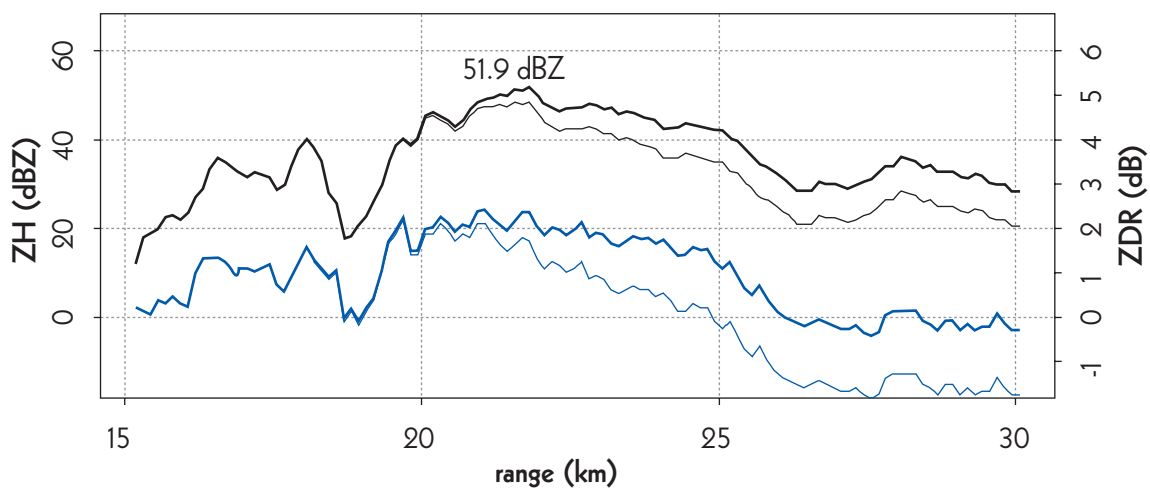
Specification	Value	Unit
Antenna		
Operating frequency range	9,3..9,6	GHz
Operating frequency	Selectable	
Calibrated frequency range	9,3..9,6	GHz
Reflector diameter	180	cm
Angle of radiation at -3 dB	< 1,35	Degrees
Polarization		Linear, horizontal, vertical
Antenna gain	> 42	dB
First side lobe level	< -25	dB
Delay time of transmitter switch-off at antenna standstill	180	s
Antenna base		
Azimuth range	0.. 360	Degrees
Elevation range	-3..+183	Degrees
Speed azimuth/elevation	1..36	Degree/s
Acceleration azimuth/elevation	20	Degree/s ²
Positioning precision	< ± 0,1	Degrees
Total weight	approx. 800	kg
Radome		
Diameter	Approx. 255	cm
Design		Sandwich type
Transmission losses (one-way)	< 0,3	dB
Deflection	± 0.01 max.	Degrees
Weight (including screws)	Approx. 130	kg

TRANSMITTER / EMETTEUR

Specification	Value	Unit
Frequency range	9,3..9,6	GHz
Pre-set operating frequency	9,375	GHz
RF peak power	>55 (typ. 75)	kW
Pulse width	0.5, 1.0, 2.0 selectable	µs
Pulse Repetition Frequency	250 – 2000	Hz
RF duty cycle		Max 0.12%

RECEIVER / RÉCEPTEUR

Specification	Value	Unit
Operating frequency range	9,3 - 9,6	GHz
Operating frequency	Selectable	
Pre-set operating frequency	9,375	GHz
LNA noise figure	< 2,5	dB
Total dynamic range (in LP)	90	dB
Linear deviation	± 0,5	dB

**Fig. 3.2.3**

6 giugno 2007, 13:41 UTC: profilo in range delle variabili Zh (in nero) e Zdr (in blue) misurate (linee sottili) e corrette per attenuazione (linee spesse), relativamente al fascio con elevazione 3.0°, attraverso un cella convettiva

6 juin 2007, 13:41 UTC : profil en fonction de la distance radiale des variables Zh (en noir) et Zdr (en bleu) mesurées (lignes fines) avec atténuation corrigée (lignes épaisses) concernant le faisceau à l'élévation de 3.0°, à travers une cellule de convection

En résumé, le fonctionnement du système prévoit un modulateur à l'état solide, à l'intérieur de l'émetteur, qui envoie une impulsion à haut voltage à la cathode du magnétron afin de déclencher la génération du rayonnement à micro-ondes par les magnétrons. Cette impulsion est ensuite transmise à l'antenne qui focalise la radiation en un faisceau très étroit (1.6°) pour en favoriser la propagation directionnelle dans l'atmosphère. La même antenne recueille le signal rétrodiffusé par les cibles météorologiques, qui est ensuite pré-amplifié dans le récepteur, combiné avec le signal d'un oscillateur local, puis converti à une fréquence intermédiaire (IF). Le signal analogique IF est ensuite numérisé par le récepteur numérique GDRX-RX et est rendu disponible pour le traitement effectué par le processeur de signal.

S'agissant d'un radar Doppler et polarimétrique, le processeur de signal est en mesure de traiter les variables d'intérêt météorologique suivantes :

- Zh réflectivité horizontale (dBZ)
- Zdr réflectivité différentielle (dB)
- V vitesse Doppler (m/s)
- σV amplitude du spectre Doppler (m/s)
- σ_{hv} coefficient de corrélation
- PHIDP variation différentielle de phase (deg)
- KDP variation différentielle spécifique de phase (deg/km)

Les variables Zh et Zdr sont liées à la mesure de la puissance reçue sur les deux plans de polarisation orthogonaux entre eux (horizontal et vertical) et fournissent une indication de la quantité d'hydrométéores présentes dans le volume d'atmosphère échantillonné par le radar et sur leur état microphysique (pluie, neige, etc.). Les variables V, σV , PHIDP et KDP (dérivée de PHIDP rapportée à la distance radiale) sont des mesures de phase et présentent donc l'avantage de ne pas subir les conséquences de l'atténuation du signal en fonction de la distance, ni de la calibration absolue du radar. V et σV mesurent respectivement la vitesse radiale et l'amplitude du spectre Doppler, une grandeur liée, entre autres, au degré de turbulence présent dans l'atmosphère.

PHIDP mesure la différence de phase entre le signal en polarisation horizontale et verticale, due à la propagation de l'impulsion électromagnétique à travers la précipitation. En raison de la forme aplatie des gouttes d'eau formant la pluie, la phase de l'impulsion horizontale est davantage influencée par l'interaction entre l'impulsion électromagnétique et la goutte d'eau que par la phase de l'impulsion verticale, provoquant ainsi une différence de phase positive et croissante lors de l'augmentation de la distance du radar.

In sintesi, il funzionamento del sistema prevede un modulatore allo stato solido, all'interno del trasmettitore, che invia un impulso ad alto voltaggio al catodo del magnetron, al fine di innescare la generazione della radiazione a microonda. Tale impulso viene successivamente trasmesso all'antenna, che focalizza la radiazione in un fascio molto stretto (1.6°), per favorirne la propagazione direzionale nell'atmosfera. La stessa antenna raccoglie il segnale retrodiffuso dai bersagli meteorologici, che viene poi pre-amplificato nel ricevitore, combinato con il segnale di un oscillatore locale, e quindi convertito ad una frequenza intermedia (IF). Il segnale analogico IF viene infine digitalizzato dal ricevitore digitale GDRX-RX e reso disponibile per l'elaborazione da parte del Signal Processor.

Trattandosi di un apparato radar Doppler e polarimetrico, il Signal Processor è in grado di elaborare le seguenti variabili di interesse meteorologico:

- Zh riflettività orizzontale (dBZ)
- Zdr riflettività differenziale (dB)
- V velocità Doppler (m/s)
- σV ampiezza dello spettro Doppler (m/s)
- ρ_{hv} coefficiente di correlazione
- PHIDP variazione differenziale di fase (deg)
- KDP variazione differenziale specifica di fase (deg/km)

Le variabili Zh e Zdr sono legate alla misura della potenza ricevuta sui due piani di polarizzazione tra loro ortogonali (orizzontale e verticale) e forniscono un'indicazione della quantità di idrometeore presenti nel volume di atmosfera campionato dal radar e sul loro stato microfisico (pioggia, neve,...). Le variabili V, σV , PHIDP e KDP (derivata di PHIDP in range) sono misure di fase e pertanto hanno il vantaggio di non risentire dell'attenuazione del segnale in funzione della distanza, né della calibrazione assoluta del radar. V e σV misurano rispettivamente la velocità radiale e l'ampiezza dello spettro Doppler, grandezza legata tra l'altro al grado di turbolenza presente in atmosfera.

PHIDP misura la differenza di fase tra il segnale in polarizzazione orizzontale e verticale, dovuto alla propagazione dell'impulso elettromagnetico attraverso la precipitazione. A causa della forma oblata assunta dalle gocce d'acqua presenti nella pioggia, la fase dell'impulso orizzontale è maggiormente influenzata dall'interazione tra l'impulso elettromagnetico e la goccia d'acqua, rispetto alla fase dell'impulso verticale, generando quindi una differenza di fase positiva e crescente all'aumentare della distanza dal radar.





La derivata in range di PHIDP, denominata KDP, risulta essere molto ben correlata con la quantità d'acqua presente nel mezzo attraversato dall'impulso radar, permettendo quindi due importanti applicazioni, particolarmente significative per i radar in band X:

- correzione dell'attenuazione
- stima della precipitazione intensa

È infatti noto che il maggior limite allo sviluppo ed alla diffusione della banda X in ambito meteorologico è storicamente legato all'incapacità di sopperire in maniera soddisfacente alla forte influenza dell'attenuazione a questa frequenza nei radar non polarimetrici. L'avvento della polarimetria, a partire dalla fine degli anni settanta, e successivamente lo sviluppo di algoritmi sempre più affidabili per la correzione dell'attenuazione, ha reso finalmente praticabile la realizzazione di sistemi radar meteorologici in banda X con applicazioni operative quantitative, in termini di monitoraggio del rischio idro-meteorologico.

La **figura 3.2.3** mostra un esempio di profilo in range delle variabili Zh (in nero) e Zdr (in blu) misurate (linee sottili) e corrette per attenuazione (linee spesse).

Si può osservare come i dati osservati mostrino valori attenuati di circa 8 dB (riflettività) e 1.5 dB (riflettività differenziale) ad una distanza di 30 km dal radar. Tali valori di attenuazione, se non opportunamente corretti, possono invalidare completamente qualsiasi stima quantitativa legata alla precipitazione: -8 dB su Zh equivalgono ad una sottostima del 70% dell'intensità di precipitazione.

Il capitolo 4.2 descrive in dettaglio le performance, in termini di accuratezza delle misure, determinate in seguito alle campagne di misura condotte durante il 2007. ■

La dérivée par rapport à la distance radiale de PHIDP, dénommée KDP, est très bien mise en relation avec la quantité d'eau présente dans le dispositif traversé par l'impulsion radar, permettant ainsi deux applications importantes, particulièrement significatives pour les radars en bande X :

- correction de l'atténuation
- estimation de la précipitation intense

L'on sait en effet que la plus grande limite au développement et à la diffusion de la bande X dans le domaine météorologique est historiquement liée à l'incapacité de faire face de manière satisfaisante à la forte influence de l'atténuation à cette fréquence dans les radars non polarimétriques. L'apparition de la polarimétrie, à partir de la fin des années soixante-dix, suivie du développement d'algorithmes de plus en plus fiables pour la correction de l'atténuation, a enfin rendu possible la réalisation de systèmes radars météorologiques en bande X avec des applications opérationnelles quantitatives en termes de contrôle du risque hydrométéorologique.

La **figure 3.2.3** montre un exemple de profil en fonction de la distance radiale des variables Zh (en noir) et Zdr (en bleu) mesurées (lignes fines) avec atténuation corrigée (lignes épaisses).

On peut remarquer que les données observées révèlent des valeurs atténuées d'environ 8 dB (réflectivité) et de 1.5 dB (réflectivité différentielle) à une distance de 30 km du radar. Ces valeurs d'atténuation, si non opportunément corrigées, peuvent rendre complètement nulle toute estimation quantitative liée à la précipitation : -8 dB sur Zh équivalent à une sous-estimation de 70% de l'intensité de précipitation.

Le chapitre 4.2 décrit dans le détail les performances, en termes de précision des mesures, déterminées suite aux campagnes de mesures conduites en 2007. ■

3.3 Le radar HYDRIX®

Les propriétés du radar HYDRIX®

Jacques Testud

La fonction principale du réseau radar ARAMIS géré par Météo-France est de surveiller, 24 heures sur 24, le développement et le déplacement des systèmes précipitants. Ces radars sont utilisés :

- qualitativement pour la prévision immédiate, par détection par exemple d'un orage sévère ou pour estimer l'étendue géographique d'un événement pluvieux ;
- quantitativement pour estimer la lame d'eau précipité.

Ces radars, en bande C ou S, estiment les taux précipitants à partir du seul paramètre mesuré qui est la réflectivité du signal. Cette estimation est peu précise pour trois raisons essentielles :

- la difficulté d'étalonner le radar avec précision,
- la variabilité naturelle des propriétés physiques de la pluie, qui « brouille » la relation entre la réflectivité (mesurée) et le taux de pluie (que l'on cherche à déterminer),
- l'atténuation de l'onde radar le long du trajet dans la pluie qui peut atteindre un facteur 10 à 30 avec les radars en bande C de Météo-France, ou un facteur 1000 à 10000 avec un radar en bande X.

Ces contraintes nous ont poussé à construire un nouveau type de radar météorologique en bande X, à la fois moins encombrant et a priori plus précis que les radars classiques pour l'estimation des taux précipitants. Les radars en bande X opèrent à une fréquence nettement plus élevée (9,3 GHz) que les radars en bande C (5,6 GHz) ou en bande S (3,0 GHz). La dimension de l'antenne est nettement réduite, ce qui induit un moindre encombrement (prise au vent réduite) et un moindre coût de construction.

De plus, les mesures polarimétriques que permet d'acquies ce type de radar bipolarisé laissent entrevoir une meilleure estimation des taux précipitants.

Depuis de nombreuses années, le radar météorologique polarimétrique est invoqué par tous comme la solu-

Il radar HYDRIX®

Le proprietà del radar HYDRIX®

Jacques Testud

La funzione principale della rete radar ARAMIS gestita da Météo-France è di sorvegliare, 24 ore su 24, lo sviluppo e lo spostamento dei sistemi di precipitazione. Tali radar vengono utilizzati:

- qualitativamente, per la previsione immediata, tramite localizzazione, per esempio di un forte temporale, oppure per la stima dell'estensione geografica di un avvenimento piovoso;
- quantitativamente, per la stima della quantità di pioggia.

Questi radar, in banda C o S, stimano le precipitazioni a partire dal solo parametro misurato, che è la riflettività del segnale. Questa stima è poco precisa per tre motivi essenziali:

- la difficoltà di tarare il radar con precisione,
- la variabilità naturale delle proprietà fisiche della pioggia, che introduce un "disturbo" nella relazione tra la riflettività (misurata) e la quantità di pioggia (che si cerca di determinare),
- l'attenuazione del segnale radar attraverso la pioggia, che può arrivare a un fattore da 10 a 30 coi radar in banda C di Météo-France, oppure a un fattore da 1.000 a 10.000 con un radar in banda X.

Queste limitazioni ci hanno indotto a costruire un nuovo tipo di radar meteorologico in banda X, nello stesso tempo meno ingombrante e in principio più preciso dei radar classici per la stima delle precipitazioni. I radar in banda X operano a una frequenza nettement più elevata (9,3 GHz) dei radar in banda C (5,6 GHz) o in banda S (3,0 GHz). La dimensione dell'antenna è nettement ridotta, il che porta a un minore ingombro (riduzione dell'esposizione al vento) ed a un minore costo di realizzazione.

Inoltre, le misure polarimetriche che questo tipo radar bi-polarizzato permette di acquisire lasciano intravedere una migliore stima dei tassi di precipitazione.

Da diversi anni il radar meteorologico polarimetrico viene da tutti invocato come la soluzione più promet-





tente per rimediare alla maggior parte delle problematiche. La tecnica polarimetrica permette, in effetti, di misurare non più uno solo, ma quattro parametri. La loro combinazione permette di distinguere i differenti tipi di precipitazione (pioggia, grandine, neve, strato di fusione), di migliorare la stima dei tassi di precipitazione, di tarare il radar stesso. Tuttavia, nonostante fosse promettente, la diversità di polarizzazione è rimasta fino a poco tempo fa essenzialmente confinata all'ambito della ricerca. In effetti, le potenzialità attese dalla diversità di polarizzazione possono venir pienamente sfruttate in un quadro operativo solo con lo sviluppo di algoritmi capaci di affrontare due problemi:

- l'attenuazione del segnale, problema già menzionato, che interessa i radar in banda X (9,3 GHz) e C (5,6 GHz);
- il tempo di permanenza richiesto (tempo occorrente per effettuare una misurazione "moderatamente significativa"), che tocca le tre bande di frequenza X, C ed S.

Ciò richiede lo sviluppo di algoritmi, come ZPHI[®], che permette di trarre vantaggio dalle differenti misurazioni effettuate dal radar.

Il software ZPHI[®]

Un radar polarimetrico come HYDRIX[®] (fig. 3.3.1) trasmette nelle due polarizzazioni, orizzontale (H) e verticale (V). L'effetto fisico sfruttato è lo schiacciamento delle gocce d'acqua nel corso della loro caduta (dovuto allo stress aerodinamico). Alla ricezione i segnali H e V vengono separati e analizzati per correlazione. Ne risulta la misurazione di quattro parametri:

- La riflettività Z (misurata in modo classico);
- La riflettività differenziale Z_{DR} (rapporto Z_H/Z_V);
- La fase differenziale ΦDP tra H e V;
- Il coefficiente di correlazione ρ_{HV} tra H e V.

Il trattamento del segnale viene effettuato tramite il software ZPHI[®]. L'algoritmo ZPHI[®] è un algoritmo «profilatore». Esso non cerca una relazione locale tra la riflettività Z e la quantità di precipitazione R. Esso inverte l'insieme del profilo di Z lungo il raggio, per determinare l'insieme del profilo di R.

A partire da queste informazioni, ZPHI[®] restituisce:

- il profilo di riflettività corretto dall'attenuazione lungo il percorso,
- il profilo di ΦDP tra i limiti d'integrazione,
- il profilo della quantità della precipitazione R.

tion la plus prometteuse pour remédier à la plupart de ces problèmes. La technique polarimétrique permet en effet de mesurer non plus un seul mais quatre paramètres. Leur combinaison permet de distinguer les différents types de précipitation (pluie, grêle, neige, couche de fusion), d'améliorer l'estimateur du taux précipitant, d'étalonner en interne le radar. Cependant, en dépit de toutes ses promesses, la diversité de polarisation est restée essentiellement confinée au stade de la recherche. En effet, les ressources attendues de la diversité de polarisation ne peuvent être pleinement exploitées dans un cadre opérationnel qu'avec le développement d'algorithmes capables de traiter deux problèmes :

- *l'atténuation du signal, problème déjà mentionné, qui touche les radars en bande X (9,3 GHz) et C (5,6 GHz) ;*
- *le temps de résidence requis (temps nécessaire pour réaliser une mesure « modérément bruitée »), qui touche les trois bandes de fréquence X, C et S.*

Cela demande toutefois le développement d'algorithmes, tels que ZPHI[®] qui permet de tirer parti des différentes mesures effectuées par le radar.

Le logiciel ZPHI[®]

Un radar polarimétrique tel qu'HYDRIX[®] (fig. 3.3.1) émet dans les deux polarisations, horizontale (H) et verticale (V). L'effet physique qu'il exploite est l'aplatissement des gouttes d'eau au cours de leur chute (du au stress aérodynamique). A la réception, les signaux H et V sont séparés et analysés par corrélation. Il en résulte la mesure de quatre paramètres :

- *La réflectivité Z (mesurée classiquement) ;*
- *La réflectivité différentielle Z_{DR} (rapport de Z_H/Z_V) ;*
- *La phase différentielle ΦDP entre H et V ;*
- *Le coefficient de corrélation ρ_{HV} entre H et V.*

Le traitement du signal est réalisé par le logiciel ZPHI[®]. L'algorithme ZPHI[®] est un algorithme « profileur ». Il ne cherche pas une relation locale entre la réflectivité Z et le taux précipitant R. Il inverse l'ensemble du profil de Z le long du rayon, pour déterminer l'ensemble du profil de R.

A partir de ces informations, ZPHI[®] restitue :

- *le profil de réflectivité corrigé de l'atténuation le long du trajet,*
- *le profil de ΦDP entre les bornes d'intégration,*
- *le profil du taux précipitant R.*

On dispose à ce niveau d'un premier critère de vérification reposant sur l'accord entre la phase mesurée et la phase restituée par ZPHI®.

Dans une deuxième étape ZPHI® corrige la réflectivité différentielle ZDR de l'atténuation différentielle le long du trajet. Il établit alors un deuxième estimateur du taux précipitant utilisant Z_{DR} « corrigé ». On dispose ainsi d'un deuxième niveau de vérification en examinant la cohérence de cet estimateur avec le précédent.

La redondance des données permet au passage d'étalonner le radar à 2/10^{ème} de dB.

Enfin, avec un radar en bande X, on peut rencontrer des conditions d'extinction du signal au delà d'une certaine distance r_{max} . ZPHI® permet d'estimer le seuil d'aveuglement au delà de r_{max} .

Une mesure plus précise des précipitations

L'association d'un radar polarimétrique et de l'algorithme ZPHI® permet de réduire toutes les causes d'incertitude de la mesure de la pluie par radar, tout en maintenant une vitesse de balayage élevée, requise dans l'application opérationnelle. La précision attendue sur le taux précipitant est très bonne :

- 20% sur la mesure instantanée ou 5% sur le taux moyen horaire, dans une cellule de résolution typique de 0,5 x 0,5 km²,
- 5% sur lame d'eau instantanée sur un bassin versant de taille supérieure à 10km². ■

Si dispone, in questo modo, di una prima verifica basata sulla concordanza tra la fase misurata e la fase ricostruita da ZPHI®.

In una seconda tappa ZPHI® corregge la riflettività differenziale ZDR dall'attenuazione differenziale lungo il percorso. ZPHI® formula quindi una seconda stima di precipitazione utilizzando Z_{DR} "corretta". Si dispone in tal modo di una seconda verifica ottenuta esaminando la coerenza di questa stima con la precedente.

La ridondanza dei dati permette, tra l'altro, di tarare il radar a 2/10 di dB.

Infine con un radar in banda X si possono riscontrare condizioni d'estinzione del segnale al di là di una certa distanza r_{max} . ZPHI® permette di stimare la soglia di accecamento al di là di r_{max} .

Una più precisa stima delle precipitazioni

L'associazione d'un radar polarimetrico e dell'algoritmo ZPHI® permette di ridurre tutte le cause d'incertezza nella stima della pioggia tramite radar, pur mantenendo un'elevata velocità di esplorazione, richiesta nell'applicazione operativa. La precisione attesa per la quantità di precipitazione è molto buona:

- il 20% sulla misura istantanea o il 5% sulla quantità media oraria, in una cella di risoluzione tipica di 0,5 x 0,5 km²,
- il 5% sulla quantità d'acqua istantanea su un bacino idrografico di dimensioni superiori a 10km². ■

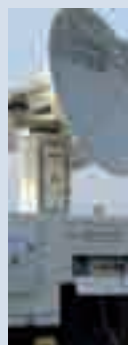


Fig. 3.3.1

Il radar HYDRIX®

Le radar HYDRIX®



La sperimentazione
della nuova
strumentazione



L'expérimentation
de la nouvelle
instrumentation

4.1 La sperimentazione nella Regione Provence Alpes Côte d'Azur

Jacques Testud, Jacques Lavabre, Stéphanie
Diss, Pierre Tabary e Georges Scialom

Il radar HYDRIX® è stato testato in due siti differenti:

- Crinale meridionale del bacino idrografico di ricerca sperimentale del Réal Collobrier (alture dei Mori,

L'expérimentation dans la Region Provence Alpes Côte D'Azur

Jacques Testud, Jacques Lavabre, Stéphanie
Diss, Pierre Tabary et Georges Scialom

Il radar HYDRIX® è stato testato in due siti differenti:

- Sur les crêtes sud du bassin versant de recherche expérimentale du Réal Collobrier (massif des Mau-



Fig. 4.1.1

Il radar HYDRIX® nel sito di Réal Collobrier

Le radar HYDRIX® sur le site Réal Collobrier

res, Département du Var) (**fig. 4.1.1**). L'avantage de cette implantation, à 10 km de la côte, est de :

- bénéficier à proximité immédiate d'un réseau au sol dense (17 stations automatiques déployées sur 100 km² environ) qui est utilisé en contrôle ;
- d'être située à proximité du radar en bande S du réseau ARAMIS.

Dipartimento del Var) (**fig. 4.1.1**). Il vantaggio di questa installazione, a 10 km dalla costa, è di:

- beneficiare, nelle immediate vicinanze, di una fitta rete osservativa al suolo (17 stazioni automatiche dispiegate su circa 100 km²) che viene utilizzata per validazione;
- essere situato in vicinanza del radar in banda S della rete ARAMIS.

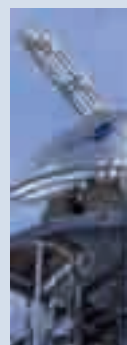


Fig. 4.1.2

Il radar HYDRIX® nel sito del Mont Vial

Le radar HYDRIX® sur le site du Mont Vial



Il sistema sperimentale è unico ed è di grande interesse scientifico, poiché permette di validare-controllare i parametri misurati dai due radar (la riflettività) e di controllare la stima dei tassi di precipitazione in rapporto a una fitta rete di misure al suolo (a intervalli di pochi minuti).

La sperimentazione si è protratta dal febbraio 2006 al marzo 2007.

■ Sul Mont Vial (**fig. 4.1.2**), a 1500 m di quota, nel Dipartimento delle Alpi Marittime, al centro del bacino idrografico del Var. Il sito offre un'ottima visibilità sul bacino del Var e sui corsi d'acqua costieri del Dipartimento. Anche se meno buona, a causa della lontananza e del blocco del fascio dovuto ai rilievi, la visibilità sul bacino del Roia dovrebbe permettere uno sfruttamento per la ricostruzione delle precipitazioni.

Principali insegnamenti dedotti durante la sperimentazione sul bacino del Réal Collobrier

Nella fase di test sperimentale il radar era installato sulle alture dei Mori a Laquina, un sito a 4 km di distanza dal radar in banda S di Météo-France a Collobrières.

La rete di pluviometri utilizzata a convalida combina la normale rete di Météo-France ed i 17 pluviometri del Cemagref sul "Real Collobrier". Il numero di pluviometri disponibili in funzione della distanza è illustrata in **tabella A**.

Gli eventi piovosi più lunghi ed intensi nella regione costiera mediterranea si verificano in autunno, in regime di venti sud-est. In questo studio sono stati selezionati quattro episodi intensi: (1) 14-15 settembre 2006, (2) 24-25 settembre 2006, (3) 18-21 ottobre 2006 e (4) 1-3 dicembre 2006.

L'evento (2) ha prodotto una cumulata di pioggia di 100 mm in un'ora sulla città di Tolone, provocando gravi disagi. L'evento (4) ha prodotto cumulate che han-

Le dispositif expérimental est unique et d'un grand intérêt scientifique car il permet de valider-contrôler les paramètres mesurés par le deux radars (la réflectivité) et de contrôler l'estimation des taux précipitants par rapport à un réseau dense d'enregistreurs au sol (et ceci sur des pas de temps de quelques minutes).

L'expérimentation a duré de février 2006 à mars 2007.

■ *Sur le Mont Vial (**fig. 4.1.2**), à 1500 m d'altitude, dans le Département des Alpes-Maritimes au centre du bassin versant du Var. Le site offre une très bonne visibilité sur le bassin du Var et sur les cours d'eau côtiers de département. Bien que moins bonne, en raison de l'éloignement et des masques d'écran dus au relief, la visibilité sur le bassin de la Roya devrait permettre une exploitation pour la restitution des taux précipitants.*

Principaux enseignements obtenus durant l'expérimentation sur le bassin du Réal Collobrier

Dans l'expérience de validation, le radar était installé dans le massif des Maures à Laquina, un site à 4 km du radar en bande S de Météo-France à Collobrières.

*Le réseau de pluviomètres, utilisé en contrôle, combine le réseau régulier de Météo-France et les 17 pluviomètres du Cemagref sur le « Real Collobrier ». Le nombre de pluviomètres disponibles en fonction de la distance est illustrée dans le **tableau A**.*

Les événements pluvieux les plus longs et les plus intenses en région côtière méditerranéenne se produisent en automne, sous régime Sud-Est. Quatre événements intenses ont été sélectionnés dans cette étude : (1): 14-15 septembre 2006, (2): 24-25 septembre 2006, (3): 18-21 octobre 2006 et (4): 1-3 décembre 2006.

L'évènement (2) a produit cumul de pluie de 100 mm en une heure sur la ville de Toulon, induisant de gros désordres. L'évènement (4) a produit des cumuls de pluie

Tabella A / Tableau A

La rete di pluviometri disponibili / Le réseau de pluviomètres disponibles

Distanza da HYDRIX® / Distance d'HYDRIX®	Numero di pluviometri / Nombre de pluviomètres
da 0 a 30 km / 0 à 30 km	29
da 30 a 60 km / 30 à 60 km	22
da 60 a 80 km / 60 à 80 km	25

atteignant 300 mm en 12 heures en certains points du bassin versant de la rivière Argens.

Visibilités comparées d'HYDRIX® et du radar en bande S

Avec la topographie complexe du massif des Maures, les échos de sol sont un sérieux problème. Un avantage clair d'HYDRIX® sur le radar en bande S réside dans sa visibilité améliorée, comme illustrée dans la **fig. 4.1.3**. Cette amélioration est due à la fois à la performance de l'antenne *offset* et au fait qu'en bande X, le contraste entre les cibles météorologiques et les échos de sol est amélioré dans le rapport $1/\lambda^4$ (λ : longueur d'onde radar).

Validation de l'estimation du taux de pluie

Avec HYDRIX®, l'étalonnage est obtenu en comparant l'histogramme de NO^* (paramètre granulométrique de la distribution des gouttes de pluie) déterminé par ZPHI® avec celui réellement observé par le disdromètre. Le bon étalonnage est celui qui réalise la coïncidence entre les deux histogrammes.

no raggiunto i 300 mm in 12 ore in certi punti del bacino idrografico del Fiume Argens.

Visibilità comparate di HYDRIX® e del radar in banda S

Con la complessa topografia delle alture dei Mori gli echi di terra rappresentano un serio problema. Un chiaro vantaggio di HYDRIX® rispetto al radar in banda S risiede nella migliorata visibilità, come mostrato nella **figura 4.1.3**. Tale miglioramento è dovuto da un lato alla prestazione dell'antenna *offset* e dall'altro al fatto che in banda X il contrasto tra i bersagli meteorologici e gli echi di terra è migliorato nel rapporto $1/\lambda^4$ (λ : lunghezza d'onda radar).

Validazione della stima dei tassi precipitativi

Con HYDRIX® la taratura viene attuata confrontando l'histogramma di NO^* (parametro granulometrico della distribuzione delle gocce di pioggia) determinato da ZPHI® con quello realmente osservato dal disdrometro. La taratura migliore è quella che realizza la coincidenza tra i due istogrammi.

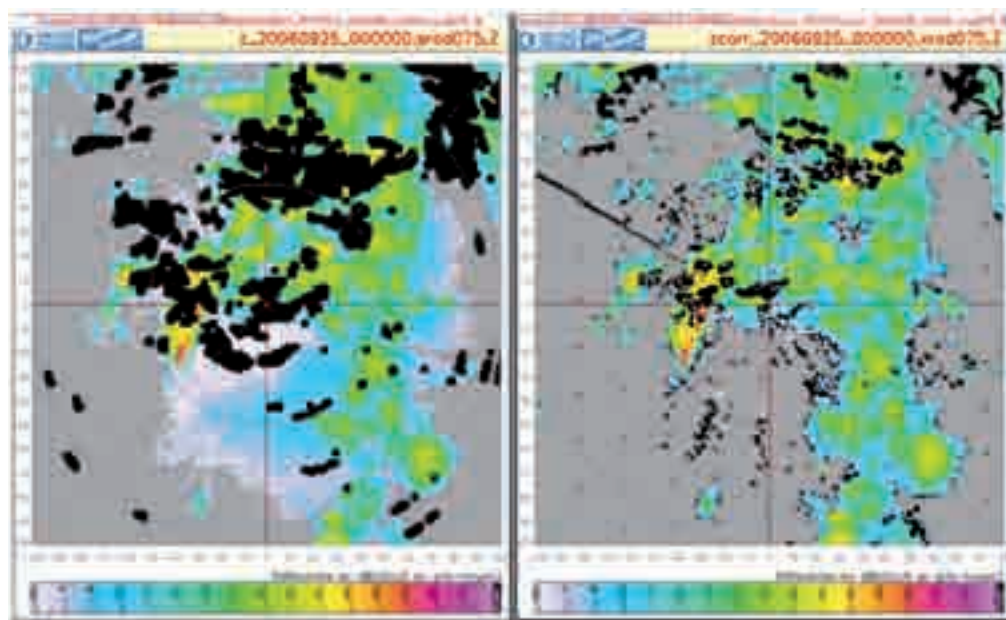
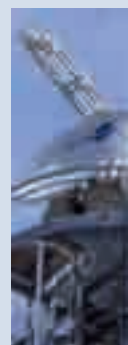


Fig. 4.1.3

Due PPI simultanei ottenuti a 0.75° di elevazione dal radar in banda S (a sinistra) e da HYDRIX® (a destra) il 25 settembre 2006. Nelle regioni in nero non sono possibili osservazioni a causa dell'eco di terra

Deux PPI simultanés obtenus à 0.75° d'élévation par le radar en bande S (à gauche) et par HYDRIX® (à droite) le 25 Septembre 2006. Aucune observation n'est possible dans les régions en noir à cause de l'écho de sol

Con HYDRIX®, si ottiene la stima dei tassi precipitativi utilizzando la relazione Z-R universale (Z: riflettività, R: quantità di pioggia) parametrizzata da NO :

$$R = aN_0^*Z^b$$

dove Z è la riflettività corretta da ZPHI® e NO^* è regolato "raggio per raggio" da ZPHI®.

Tramite il radar di Météo-France, R viene calcolata tramite una relazione Z-R tale che $R=aZ^b$, dove a viene corretto globalmente a partire da un confronto in tempo reale con tutti i pluviometri nel campo del radar. La costante di tempo di questo adeguamento è di diverse ore.

Per i due radar si produce una stima georeferenziata dei tassi di pioggia in una comune griglia cartesiana di risoluzione di 1km^2 . Per ottenere una stima sul sito pluviometrico si effettua un'interpolazione "4 punti". Il confronto tra radar e pluviometri viene effettuato sulla base dei dati di pioggia oraria.

Avec HYDRIX®, l'estimée du taux précipitant est obtenue en utilisant la relation Z-R universelle (Z: réflectivité, R: taux de pluie) paramétrée par NO :

$$R = aN_0^*Z^b$$

où Z est la réflectivité corrigée par ZPHI® et NO^* est ajusté "rayon par rayon" par ZPHI®.

Avec le radar de Météo-France, R est calculé par une relation Z-R telle que $R=aZ^b$ où a est ajusté globalement à partir d'une comparaison en temps réel avec tous les pluviomètres dans le champ du radar. La constante de temps de cet ajustement est de plusieurs heures.

Pour les deux radars, une estimation géo référencée du taux de pluie est produite en une grille cartésienne commune de résolution 1km^2 . Afin d'obtenir une estimée sur le site pluviométrique, une interpolation « 4 points » est pratiquée. La comparaison entre radar et pluviomètres est effectuée sur la base de pluies horaires.

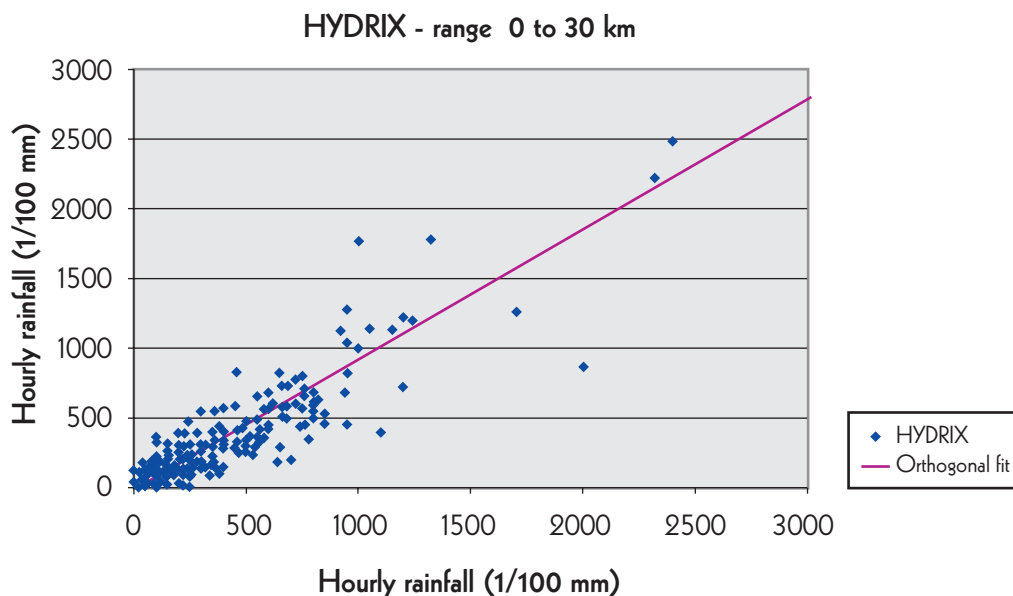


Fig. 4.1.4

Diagramma di dispersione delle piogge orarie determinate da HYDRIX® e confrontate con quelle osservate dai pluviometri situati a meno di 30 km dal radar (275 punti - statistica limitata alle piogge orarie >1mm)

Diagramme de dispersion des pluies horaires déterminées par HYDRIX® et comparées à celles observées par les pluviomètres situés à moins de 30 km du radar (275 points - statistique restreinte aux pluies horaires >1mm)

La **fig. 4.1.4** montre le diagramme de dispersion comparant les pluies horaires d'HYDRIX® avec celles issues des pluviomètres (pour les pluies horaires >1mm) pour tous les pluviomètres à moins de 30 km du radar (la droite de régression orthogonale est également représentée). La **fig. 4.1.5** montre le même diagramme de dispersion pour le radar en bande S.

La **figura 4.1.4** mostra il diagramma di dispersione che confronta le piogge orarie di HYDRIX® con quelle dei pluviometri (per le piogge orarie >1mm) per tutti i pluviometri a meno di 30 km dal radar (è anche rappresentata la retta di regressione ortogonale). La **figura 4.1.5** mostra il medesimo diagramma di dispersione per il radar in banda S.

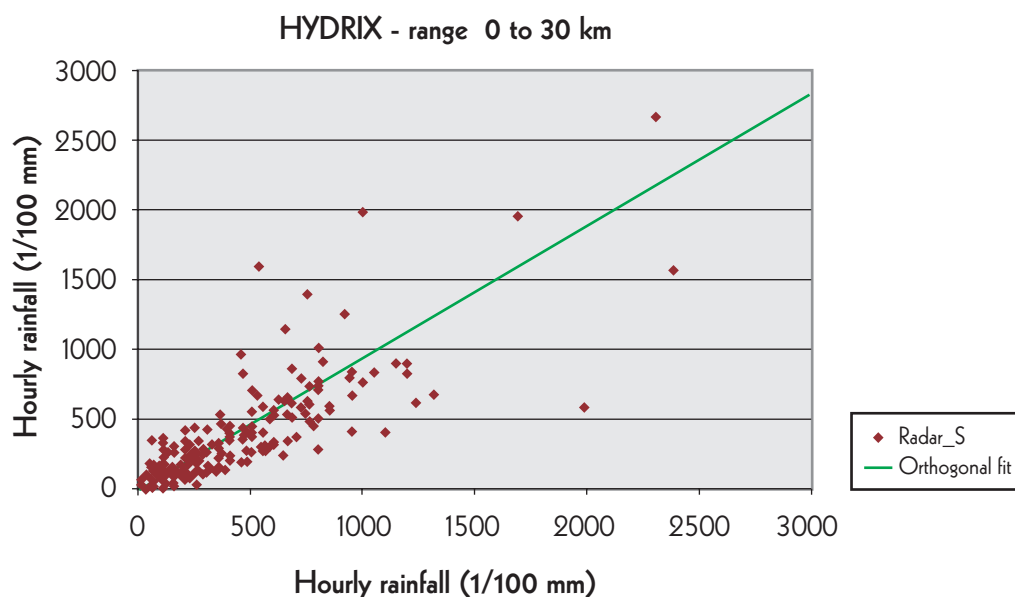


Fig. 4.1.5

Diagramma di dispersione delle piogge orarie determinate dal radar in banda S e confrontate con quelle osservate dai pluviometri situati a meno di 30 km dal radar (275 punti – statistica limitata alle piogge orarie >1mm)

Diagramme de dispersion des pluies horaires déterminées par le radar en bande S et comparées à celles observées par les pluviomètres situés à moins de 30 km du radar (275 points - statistique restreinte aux pluie horaires >1mm)

Tabella B / Tableau B

Coefficienti di Pearson e di Nash nel confronto delle piogge orarie determinate da HYDRIX® e dal radar in banda S, quando si utilizzano i pluviometri come riferimento (piogge orarie >1mm)

Coefficients de Pearson et de Nash dans la comparaison des pluies horaires déterminées par HYDRIX® et par le radar en bande S, lorsqu'on utilise les pluviomètres comme référence (pluies horaires >1mm)

Gamma delle distanze		Radar S in banda / Radar Bande S		HYDRIX® + ZPHI®	
Gamme de distance		Pearson	Nash	Pearson	Nash
da 0 a 30 km	0 à 30 km	0.82	0.65	0.89	0.77
da 30 a 60 km	30 à 60 km	0.85	0.71	0.87	0.7



La **tabella B** riassume la statistica di questo confronto considerando i coefficienti di correlazione di Pearson e di Nash. Essa mostra che per le due gamme di distanze da 0 a 30 km e da 30 a 60 km la stima di HYDRIX® presenta una prestazione migliore di quella del radar in banda S, nonostante il fatto che quest'ultima benefici della "taratura" da parte della rete di pluviometri.

Nell'ipotesi che la pioggia oraria sia distribuita statisticamente secondo una relazione log normale e che gli errori sulle stime *G* dei pluviometri, *H* di HYDRIX® e *S* del radar in banda S, siano anch'essi descritti da relazione log normale, è possibile dedurre gli errori statistici connessi a ciascun strumento. I dati di entrata di quest'analisi sono il coefficiente di correlazione di Pearson, la pendenza della retta di regressione ortogonale e le medie e le varianze di ciascun insieme di dati. I risultati vengono forniti nelle **tabelle C** (per le distanze da 0 a 30 km) e **D** (per le distanze da 30 a 60 km).

A poca distanza (<30 km), il *bias* dei due radar è debole (<5%). Ciò potrebbe non essere dovuto a un errore di taratura, ma piuttosto all'effetto di media spaziale (su 1 km²) relativo all'analisi radar. Si nota parimenti che l'errore statistico di HYDRIX® (±15%) è circa due volte inferiore a quello prodotto dai pluviometri o dal radar in banda S.

A distanza media (da 30 a 60 km), il *bias* dei due radar aumenta. Sorprendentemente quello del radar in banda S (-22%) è più rilevante di quello di HYDRIX® (-11%). L'errore statistico d'HYDRIX® aumenta, diventando simile a quello dei pluviometri, mentre quello del radar in banda S è una volta e mezzo superiore.

La **tableau B** résume la statistique de cette comparaison en considérant les coefficients de corrélation de Pearson et de Nash. Elle montre que pour les deux gammes de distance 0 à 30 km et 30 à 60 km, l'estimé d'HYDRIX® présente une meilleure performance que celle du radar bande S, en dépit du fait que cette dernière bénéficie de « l'étalonnage » par le réseau de pluviomètres.

Avec l'hypothèse que la pluie horaire est distribuée statistiquement selon une loi log normale, et que les erreurs sur les estimées *G* des pluviomètres, *H* d'HYDRIX® et *S* du radar en bande S sont elles-mêmes décrites par des lois log normale, il est possible de déduire les erreurs statistiques attachées à chacun des capteurs. Les données d'entrée de cette analyse sont le coefficient de corrélation de Pearson, la pente de la droite de régression orthogonale, et les moyennes et variances de chaque ensemble de données. Les résultats sont fournis dans les **tableaux C** (pour les distances de 0 à 30 km) et **D** (pour les distances de 30 à 60 km).

A proche distance (<30 km), le biais multiplicatif des deux radars est faible (<5%). Celui-ci pourrait ne pas être dû à une erreur d'étalonnage, mais plutôt à l'effet de moyenne spatiale (sur 1 km²) inhérent à l'analyse radar. On observe également que l'erreur statistique d'HYDRIX® (±15%) est approximativement deux fois plus faible que celle produite par les pluviomètres ou par le radar en bande S.

A distance moyenne (30 à 60 km), le biais des deux radars s'accroît. De façon surprenante, le biais du radar en bande S (-22%) est plus important que celui d'HYDRIX® (-11%). L'erreur statistique d'HYDRIX® s'accroît devenant similaire à celle des pluviomètres, tandis que celle du radar en bande S est une fois et demi supérieure.

Tabella C / Tableau C

Prestazione di HYDRIX® e del radar in banda S per la gamma di distanze da 0 a 30 km (275 punti di misurazione – statistica limitata alle piogge orarie >1mm)

Performance d'HYDRIX® et du radar bande S pour la gamme de distances 0 à 30 km (275 points de mesure - statistique restreinte aux pluies horaires >1mm)

Serie di dati		Pluviometri	HYDRIX®	Radar S
	Série de données	Pluvios	HYDRIX®	Radar S
Pearson	Pearson	NA	0,89	0,82
Pendenza	Pente	NA	0,94	0,95
Divario (mm)	Décalage (mm)	NA	-0,29	-0,01
Media (mm)	Moyenne (mm)	3,48	3,00	3,31
Varianza (mm ²)	Variance (mm ²)	12,65	11,42	11,70
Distorsione (%)	Biais (%)	NA	-5,59%	-4,67%
Errore stat. (%)	Erreur Stat. (%)	±32,73%	±14,87%	±33,94%

Conclusion

Au cours des essais pendant l'expérience de validation de FRAMEA, le radar HYDRIX® exploité par le logiciel ZPHI® a produit des données de haute qualité. Comparé au radar en bande S installé sur le même site et étalonné en temps réel par le réseau de pluviomètres, HYDRIX® réduit à la fois le biais et l'erreur statistique de l'estimée de pluie (parvenant même à une erreur statistique à courte distance plus faible que celle des pluviomètres). Ceci atteste que la procédure d'étalonnage par NO et la correction d'atténuation opèrent de façon appropriée. ■*

Conclusioni

Nel corso del test sperimentale nell'ambito di FRAMEA, il radar HYDRIX®, gestito dal software ZPHI®, ha prodotto dati di elevata qualità. Confrontato col radar in banda S installato nel medesimo sito e tarato in tempo reale dalla rete di pluviometri, HYDRIX® riduce nello stesso tempo la distorsione e l'errore statistico della stima della pioggia (giungendo anche a un errore statistico a breve distanza inferiore a quello dei pluviometri). Ciò dimostra che la procedura di taratura da parte di NO* e la correzione per attenuazione operano in modo appropriato. ■

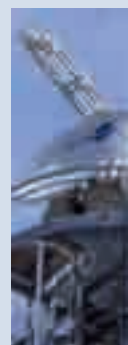


Tabella D/ Tableau D

Prestazione di HYDRIX® e del radar in banda S per la gamma di distanze da 30 a 60 km (275 punti di misurazione – statistica limitata alle piogge orarie >1mm)

Performance d'HYDRIX® et du radar bande S pour la gamme de distances 30 à 60 km (275 points de mesure - statistique restreinte aux pluies horaires >1mm)

Serie di dati		Pluviometri	HYDRIX®	Radar S
	Série de données	Pluvios	HYDRIX®	Radar S
Pearson	Pearson	NA	0,87	0,85
Pendenza	Pente	NA	0,89	0,78
Divario (mm)	Décalage (mm)	NA	0,00	0,29
Media (mm)	Moyenne (mm)	4,35	3,86	3,70
Varianza (mm ²)	Variance (mm ²)	29,48	24,07	19,48
Distorsione (%)	Biais (%)	NA	-10,99%	-21,54%
Errore stat. (%)	Erreur Stat. (%)	±24,91%	±28,47%	±42,95%

4.2 La sperimentazione in Piemonte

Renzo Bechini

Il radar METEOR 50 DX è stato consegnato ad Arpa Piemonte all'inizio di marzo 2007. In seguito al collaudo, effettuato durante la prima settimana di marzo a Carmagnola (TO), è iniziata la campagna di misure. Sono stati individuati due siti sperimentali per la campagna di misure 2007 (fig. 4.2.1):

- Carmagnola (TO): altezza 230 m s.l.m., periodo Marzo - Luglio 2007 e Ottobre-Dicembre 2007.
- Sestriere (TO): altezza 2030 m s.l.m., periodo Agosto - Settembre 2007.

L'expérimentation dans le Piémont

Renzo Bechini

Il radar METEOR 50 DX a été livré à Arpa Piemonte au début du mois de mars 2007. Suite à l'essai, effectué durant la première semaine de mars à Carmagnola (TO), la campagne de mesures a débuté. Deux sites expérimentaux ont été localisés pour la campagne de mesures 2007 (fig. 4.2.1) :

- Carmagnola (TO) : 230 m d'altitude, période mars - juillet 2007 et octobre - décembre 2007.
- Sestrières (TO) : 2030 m d'altitude, période août - septembre 2007.



Fig 4.2.1

Localizzazione dei due siti utilizzati come test durante la campagna di misure 2007. X-BAND SITE1 indica il sito di Carmagnola, mentre X-BAND SITE2 il sito di Sestriere

Localisation des deux sites pilotes pendant la campagne de mesures 2007.

X-BAND SITE1 indique le site de Carmagnola, tandis que X-BAND SITE2 indique celui de Sestrières

L'objectif principal de cette première campagne de mesures a été l'évaluation de la fiabilité d'ensemble du système. S'agissant en effet du premier prototype de ce radar, une série de tests afin d'en vérifier le fonctionnement dans les conditions les plus variées a été, dans un premier temps, nécessaire (exemple : alimentation externe ou par un groupe électrogène, conditions atmosphériques – pluie, neige, vent – avec ou sans radôme, etc.).

Successivement, on a voulu caractériser la qualité des mesures obtenues. Pour ce faire, des balayages à vitesse réduite de l'antenne pour intégrer de nombreux échantillons ainsi que des balayages à plus grande vitesse pour simuler les conditions opérationnelles ont été programmés. La calibration des mesures de réflectivité et de réflectivité différentielle a été réalisée et la cohérence des mesures de phase (PHIDP) par rapport aux mesures de puissance (Zh et Zdr) a été étudiée en utilisant le principe de l' « auto-cohérence ».

Ces opérations sont considérées comme fondamentales pour pouvoir appliquer dans un contexte opérationnel les algorithmes pour la correction de l'atténuation et pour l'estimation des précipitations.

Les paragraphes qui suivent illustrent en détail les mesures obtenues dans les deux sites expérimentaux ainsi que différentes analyses visant à l'évaluation de la qualité des données.

Mesures obtenues dans le site de Carmagnola

Durant le mois de mai sont apparues les premières cellules de convection d'une certaine intensité sur le terri-

L'obiettivo principale di questa prima campagna di misura è stato la valutazione della affidabilità complessiva del sistema. Trattandosi infatti del primo prototipo di questo tipo di radar, si è resa necessaria una serie di test atti a verificarne il funzionamento nelle più svariate condizioni (es. alimentazione esterna o da gruppo elettrogeno, condizioni atmosferiche – pioggia, neve, vento, con o senza radome, ecc.).

In secondo luogo, si è voluto caratterizzare la qualità delle misure acquisite. A tal fine sono state programmate scansioni con bassa velocità dell'antenna, per integrare molti campioni e scansioni a velocità maggiore, per simulare le condizioni operative. È stata condotta la calibrazione delle misure di riflettività e riflettività differenziale ed è stata studiata la consistenza delle misure di fase (PHIDP) rispetto alle misure di potenza (Zh e Zdr), sfruttando il principio della “self-consistency”.

Queste operazioni sono ritenute fondamentali per poter applicare in un contesto operativo gli algoritmi per la correzione dell'attenuazione e per la stima della precipitazione.

I paragrafi che seguono illustrano in dettaglio le misure acquisite nei due siti sperimentali ed alcune analisi finalizzate alla valutazione della qualità dei dati.

Misure acquisite nel sito di Carmagnola

Durante il mese di maggio hanno fatto la comparsa le prime celle convettive di una certa intensità sul ter-

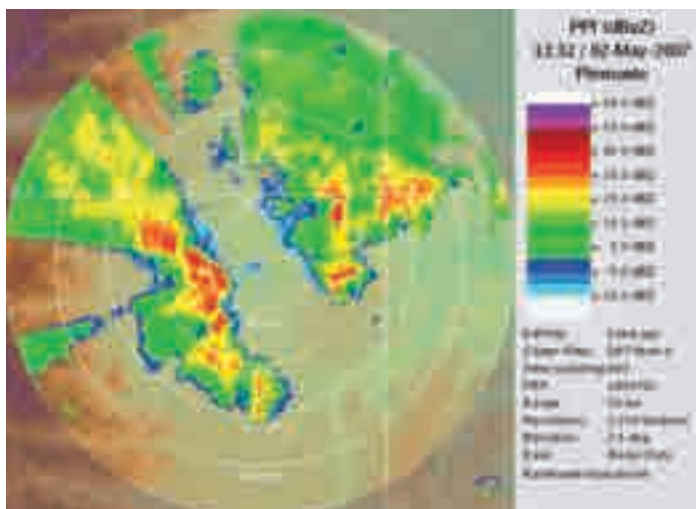


Fig. 4.2.2

Carmagnola: PPI di riflettività in una situazione di precipitazione convettiva intensa

Carmagnola : PPI de réflectivité dans une situation de précipitation de convection intense

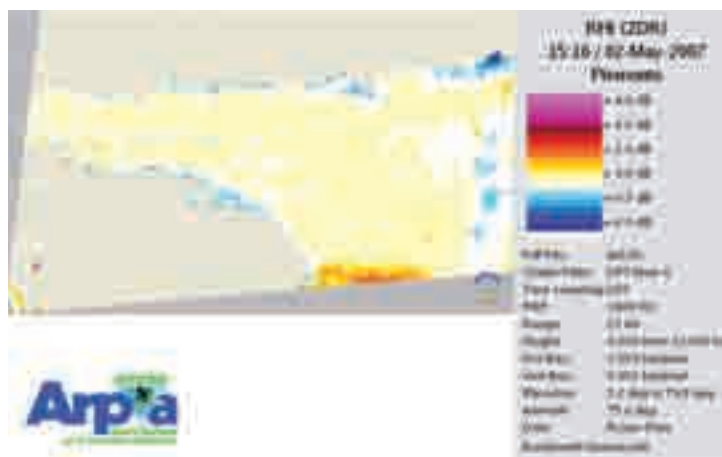
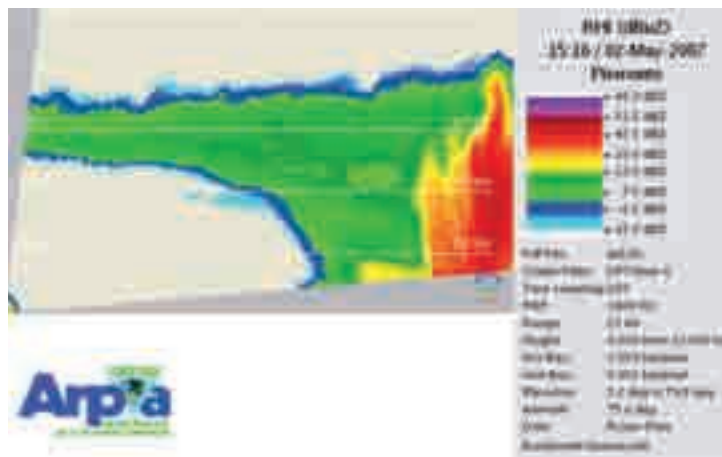
itorio regionale. La **figura 4.2.2** presenta un PPI (Plan Position Indicator) di riflettività all'elevazione di 3.5°. Si può notare la presenza di una serie di celle convettive con riflettività oltre 50 dBZ, le più intense delle quali ad ovest del radar. Nella **figura 4.2.3** sono raffigurate le sezioni verticali di riflettività (in alto) e riflettività differenziale (in basso) attraverso la parte più intensa di un temporale grandinigeno. La sezione di Zh mostra valori fino a 45 dBZ a quote superiori a 6000 m, indicando la natura convettiva della precipitazione. La corrispondente immagine di Zdr (rapporto tra la riflettività orizzontale e verticale) mostra valori positivi, associati a precipitazione liquida, al di sotto di 2000 m nella parte meno intensa della cella; mentre in corrispondenza del nucleo convettivo, e fino a quote intorno a 6000 m, la Zdr ha valori intorno a 0 dB o leggermente negativi, indicando la presenza di grandine nell'intera colonna.

toire régional. La **figura 4.2.2** présente un PPI (Plan Position Indicator) de réflectivité à l'élévation de 3.5°. On peut remarquer la présence d'une série de cellules de convection avec réflectivité au-delà de 50 dBZ, les plus intenses desquelles situées à l'ouest du radar. Dans la **figura 4.2.3** sont représentées les sections verticales de réflectivité (en haut) et de réflectivité différentielle (en bas) à travers la partie la plus intense d'un orage avec grêle. La section de Zh montre des valeurs allant jusqu'à 45 dBZ à des altitudes supérieures à 6000 m, indiquant ainsi la nature convective de la précipitation. L'image correspondante de Zdr (rapport entre la réflectivité horizontale et verticale) montre des valeurs positives associées à des précipitations liquides en dessous de 2000 m dans la partie la moins intense de la cellule, tandis qu'au niveau du noyau de convection et jusqu'à des altitudes d'environ 6000 m, Zdr présente des valeurs équivalentes à 0 dB ou légèrement négatives, indiquant ainsi la présence de grêle dans l'ensemble de la colonne.

Fig 4.2.3

Carmagnola: sezioni verticali di riflettività (in alto) e riflettività differenziale (in basso) in corrispondenza di un temporale grandinigeno

Carmagnola : sections verticales de réflectivité (en haut) et de réflectivité différentielle (en bas) correspondant à un orage avec grêle



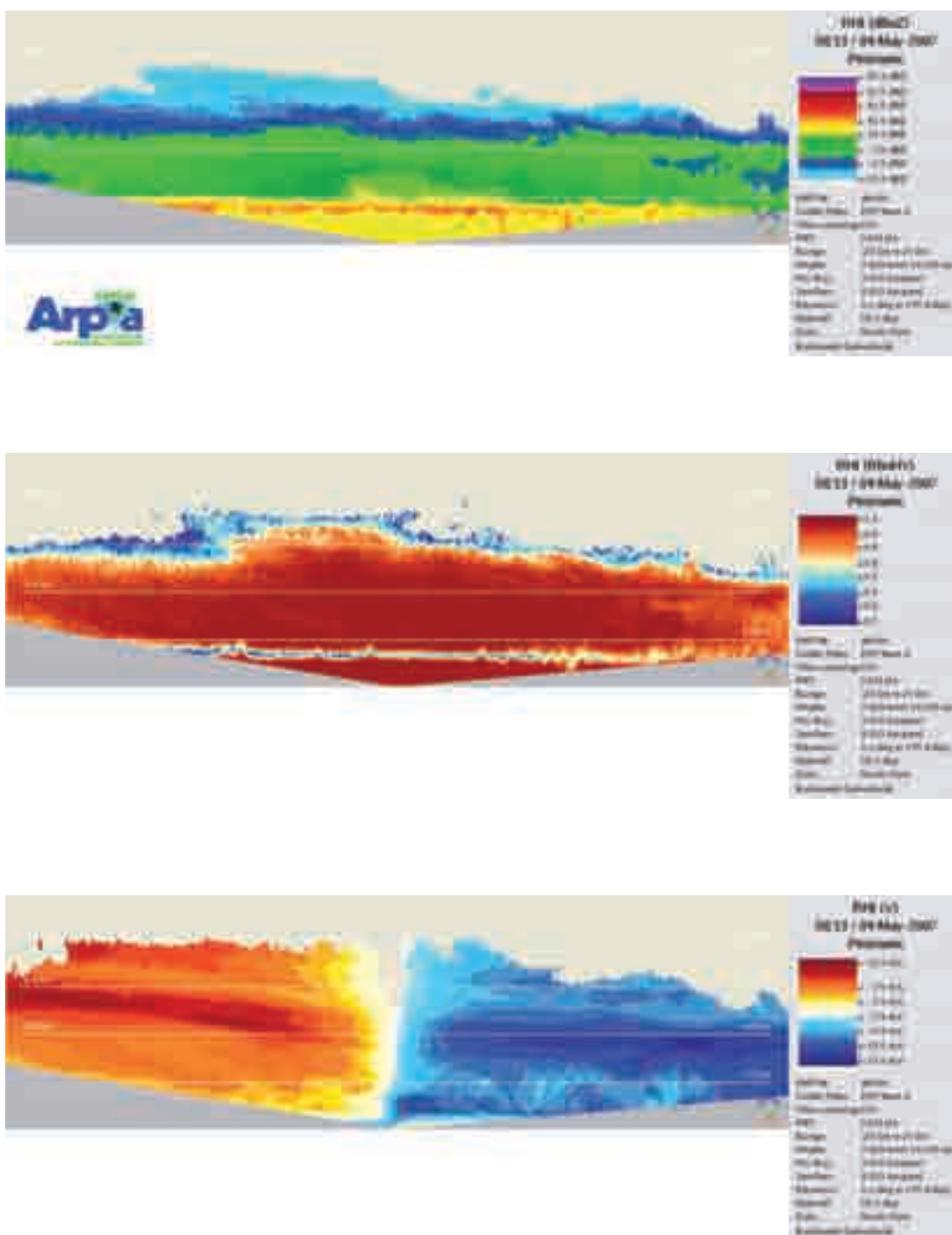


Fig 4.2.4

Carmagnola, dall'alto in basso: sezioni verticali di riflettività, coefficiente di correlazione e velocità Doppler in una situazione di precipitazione diffusa e stratiforme

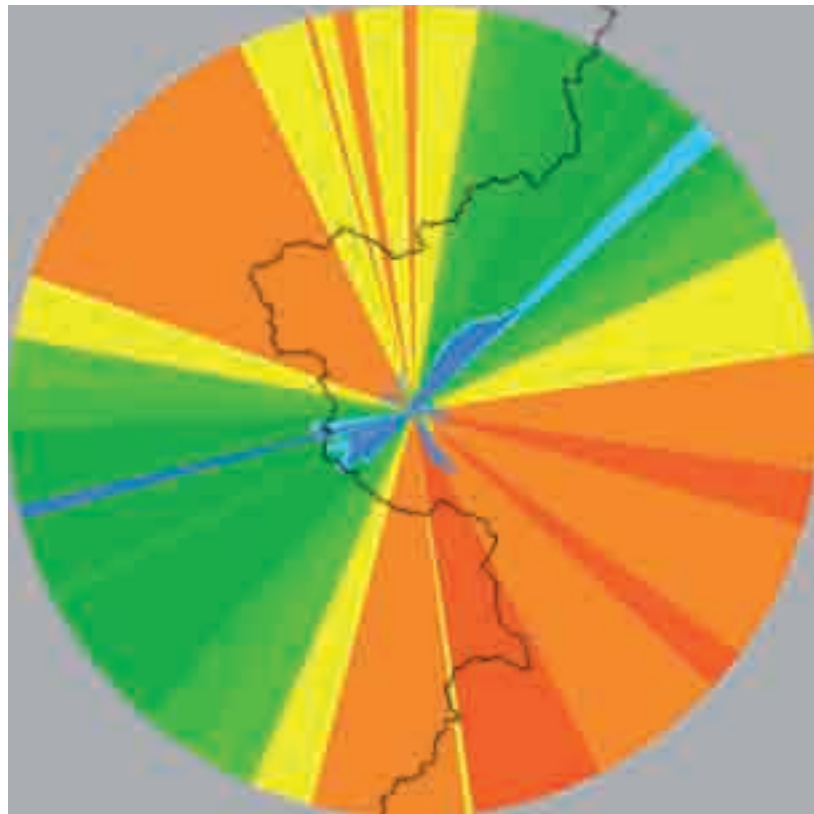
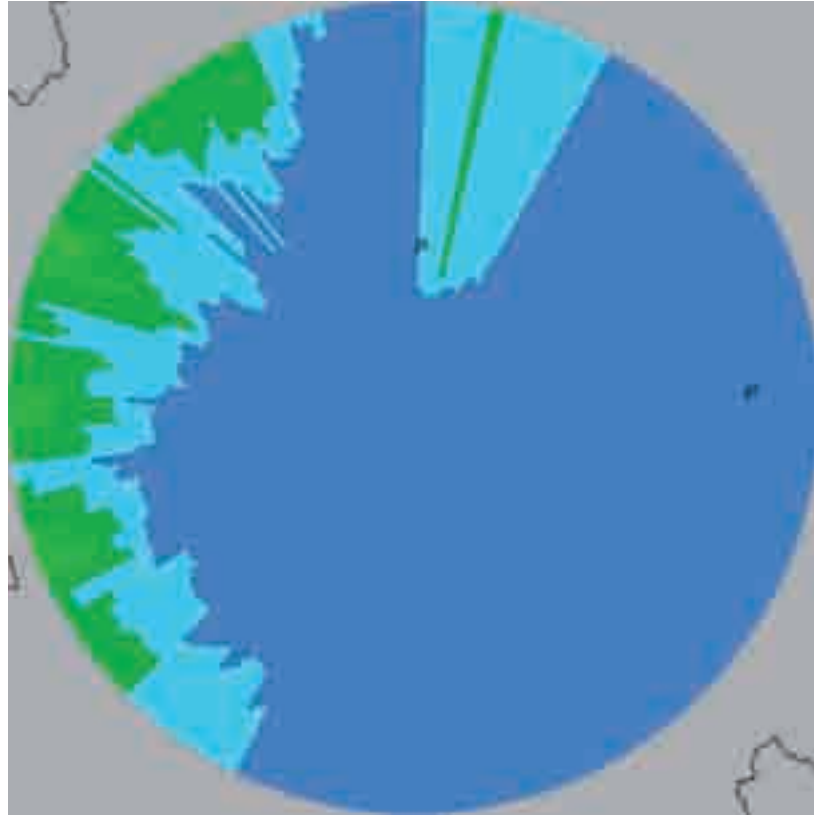
Carmagnola, de haut en bas : sections verticales de réflectivité, coefficient de corrélation et vitesse Doppler dans une situation de précipitation diffuse et stratiforme

Fig 4.2.5

Mappe di visibilità per il sito di Carmagnola (alto) e Sestriere (basso), range 50 km. I colori indicano il valore della prima elevazione completamente libera da ostruzione orografica: in blu da 0.0 a 2.5°, in verde da 3.0 a 9.0°, in giallo-arancione da 12.0 a 40.0°

Cartes de visibilité pour le site de Carmagnola (en haut) et de Sestrières (en bas), rayon 50 km.

Les couleurs indiquent la valeur de la première élévation complètement libre de toute obstruction orographique : en bleu de 0.0 à 2.5°, en vert de 3.0 à 9.0°, en jaune-orange de 12.0 à 40.0°



La situation de précipitation stratiforme illustrée à la **figure 4.2.4** permet d'apprécier les potentialités de la polarimétrie pour l'identification de la couche de fonte de neige (Melting Layer).

La réflectivité montre la caractéristique la bande brillante associée à la fonte de la neige, en dessous de 2000 m, tandis que le coefficient de corrélation (valeurs inférieures à environ 0.8) permet d'identifier avec une extrême précision la couche où se trouve un mélange de pluie et de neige. La section verticale de vitesse Doppler met ensuite en évidence la rotation du vent suivant l'altitude : en provenance du Sud-Ouest à proximité du sol et du Nord-Est à de plus hautes altitudes, avec un pic d'intensité aux environs de 4000 m.

Mesures obtenues dans le site de Sestrières

À la fin du mois de juillet 2007, le radar a été transporté sur le Col de Sestrières, à proximité de la frontière avec la France, afin d'en évaluer les potentialités applicatives en milieu montagnard. Dans un contexte caractérisé par une orographie complexe, la visibilité du radar est très limitée : s'il est situé sur un col (comme dans le cas de Sestrières) ou dans le fond d'une vallée, le blocage orographique empêche, pour certains secteurs, l'observation aux élévations les plus basses (**fig. 4.2.5**), tandis que s'il est placé au sommet, il se retrouverait bien souvent à observer une couche d'atmosphère au-dessus des précipitations !

Dans le cas spécifique de l'installation à Sestrières, la carte de la **figure 4.2.5** révèle une visibilité limitée le long du Val Chisone (direction Nord-Est) et vers la France (Sud-Ouest), tandis que les secteurs Nord-Ouest et Sud-Est apparaissent fortement obstrués.

Il a été possible, malgré la susdite limite, de vérifier la faisabilité d'applications fort promettantes dans ce type de contexte. La connaissance de l'altitude de la fonte de la neige est bien évidemment une application d'une importance fondamentale en milieu alpin. En effet, en montagne, la connaissance de l'altitude de la fonte de la neige a un impact sur de nombreuses activités, des transports à l'organisation d'événements sportifs. Grâce au radar Doppler et polarimétrique, il est possible d'estimer avec une grande précision l'altitude de la fonte de la neige et d'en prévoir l'évolution à court terme.

La **figure 4.2.6** montre le détail de deux PPI de Zdr à 15.9° d'élévation à 00.00 UTC et à 00.21 UTC le 30 septembre 2007. À cette élévation, le Mont Sises influe encore sur le balayage radar en ajoutant du bruit dans le secteur Sud-Est. À l'exception de ce secteur limité, il est possible d'observer de manière précise la couche de fonte, mise en évidence par les valeurs de Zdr > 2 dB et caracté-

La situazione di precipitazione stratiforme mostrata in **figura 4.2.4** permette di apprezzare le potenzialità della polarimetria per l'identificazione dello strato di scioglimento della neve (Melting Layer).

La riflettività mostra la caratteristica bright band, dovuta allo scioglimento della neve, al di sotto dei 2000 m, mentre il coefficiente di correlazione (valori inferiori a circa 0.8) permette di identificare con estrema precisione lo strato dove è presente una commistione di pioggia e neve. La sezione verticale di velocità Doppler, mette poi in risalto la rotazione del vento con la quota: da Sud-Ovest in prossimità del suolo e da Nord-Est a quote superiori, con un picco di intensità intorno ai 4000 m.

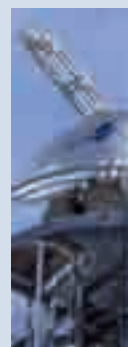
Misure acquisite nel sito di Sestriere

Alla fine del mese di luglio 2007, il radar è stato trasportato sul colle del Sestriere, in prossimità del confine con la Francia, al fine di valutarne le potenzialità applicative in ambiente montano. In un contesto caratterizzato da orografia complessa la visibilità del radar è notevolmente limitata: se posto su un colle (come nel caso del Sestriere) od in fondo valle, per alcuni settori il blocco orografico impedisce l'osservazione alle elevazioni più basse (**fig. 4.2.5**), mentre se posto in vetta si troverebbe spesso ad osservare uno strato di atmosfera al di sopra delle precipitazioni!

Nel caso specifico dell'installazione a Sestriere, la mappa di **figura 4.2.5** mostra una discreta visibilità lungo la Val Chisone (direzione Nord-Est) e verso la Francia (Sud-Ovest), mentre i settori Nord-Ovest e Sud-Est risultano fortemente occlusi.

Ciò nonostante è stato possibile verificare la fattibilità di applicazioni di grande interesse in questo tipo di contesto. Di sicuro la conoscenza della quota di scioglimento della neve è un'applicazione d'importanza fondamentale in ambiente alpino. Infatti in montagna la conoscenza della quota della neve ha un impatto su moltissime attività, dai trasporti all'organizzazione di eventi sportivi. Con il radar Doppler e polarimetrico è possibile stimare con elevata accuratezza la quota di scioglimento della neve e prevederne l'evoluzione a breve termine.

La **fig. 4.2.6** mostra il dettaglio di due PPI di Zdr a 15.9° di elevazione alle 00.00 UTC e alle 00.21 UTC del 30 settembre 2007. A questa elevazione il Monte Sises influisce ancora sulla scansione radar, aggiungendo del rumore nel settore a Sud-Est. A parte questo settore limitato, è possibile seguire in modo accurato lo strato di scioglimento, evidenziato da valori di Zdr >



2 dB e marcato dalla linea tratteggiata, sui vari versanti intorno al radar. Si può osservare che la quota di scioglimento non è perfettamente uniforme nelle varie direzioni e nel tempo, ma varia in funzione delle condizioni locali e dell'intensità stessa della precipitazione. Nel caso mostrato, le misure del radar polarimetrico permettono di stimare tale quota con un'accuratezza di 50 metri su un'area di 10x10 km².

Accuratezza delle misure polarimetriche

Per caratterizzare l'accuratezza delle misure acquisite dal METEOR 50 DX è stato considerato un evento di precipitazione stratiforme; in tal modo è possibile disporre di un gran numero di campioni misurati in condizioni meteorologiche molto simili. La **figura 4.2.7** mostra l'andamento con la distanza dal radar delle variabili Zh (nero), Zdr (blu), PHIDP (rosso) e phv (marrone).

La riflettività aumenta leggermente con la distanza, ma si mantiene comunque sotto i 20 dBZ lungo tutto il percorso considerato. Una riflettività con questi valori può essere attribuita ad una distribuzione di gocce pressoché sferiche (pioviggine), pertanto i valori teorici delle variabili polarimetriche sono noti: Zdr ~0 dB, KDP ~0 deg/km (derivata di PHIDP nulla), phv > 0.98 (correlazione molto alta dovuta alla presenza nel volume di risoluzione radar di una distri-

tésée par la ligne hachurée, sur les différents versants autour du radar. On peut observer que l'altitude de la fonte n'est pas parfaitement uniforme dans les différentes directions et au fil du temps, mais varie en fonction des conditions locales et de l'intensité même des précipitations. Dans le cas illustré, les mesures du radar polarimétrique permettent d'estimer cette altitude à une précision de 50 mètres pour une zone de 10x10 km².

Précision des mesures polarimétriques

Afin de caractériser la précision des mesures obtenues par le METEOR 50 DX, un événement de précipitation stratiforme a été pris en compte. De cette manière, il est possible de disposer d'un grand nombre d'échantillons mesurés dans des conditions météorologiques très semblables. La **figure 4.2.7** révèle l'évolution, en fonction de la distance du radar, des variables Zh (noir), Zdr (bleu), PHIDP (rouge) et phv (marron).

La réflectivité augmente légèrement avec la distance, mais reste toutefois constante sous 20 dBZ le long de tout le parcours pris en compte. Une réflectivité avec ces valeurs peut être attribuée à une distribution de gouttes quasiment sphériques (bruine) et les valeurs théoriques des variables polarimétriques sont les suivantes : Zdr ~0 dB, KDP ~0 deg/km (dérivée de PHIDP nulle), phv > 0.98 (corrélation très haute due à la présence dans le volume de résolution radar d'une distribution d'hydrométéo-

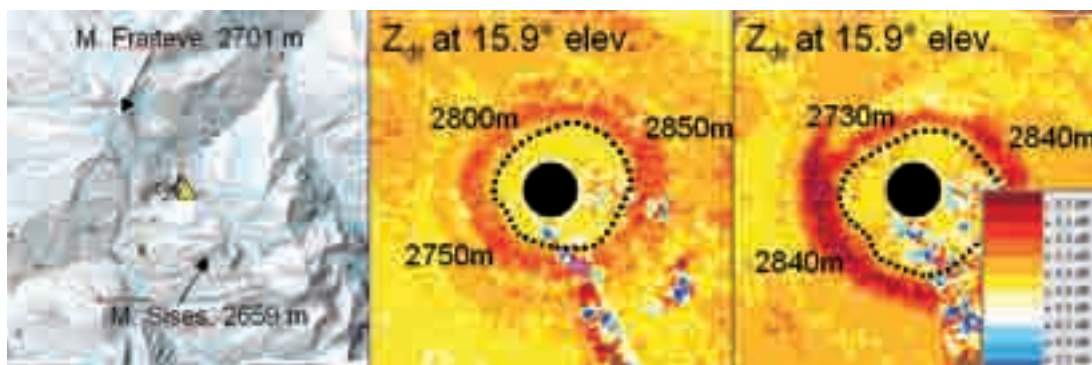


Fig 4.2.6

Dettaglio dell'area intorno al radar nel sito di Sestriere (sinistra) e PPI di riflettività differenziale alle 00.00 UTC (centro) e 00:21 UTC (destra) del 30 settembre 2007

Détail de la zone située autour du radar dans le site de Sestrières (gauche) et PPI de réflectivité différentielle à 00.00 UTC (centre) et à 00:21 UTC (droite) le 30 septembre 2007

res particulièrement uniforme). Dans la mesure où les valeurs attendues des variables polarimétriques Zdr et PHIDP sont constantes, la déviation standard sur l'ensemble des échantillons recueillis fournit une estimation de la précision des mesures. Ainsi, on obtient une précision de ~ 0.1 dB pour Zdr et de $\sim 1.0^\circ$ pour PHIDP. Ces valeurs sont jugées comme étant extrêmement bonnes (en littérature, on trouve généralement des valeurs de ~ 0.2 dB pour Zdr et de $3-4^\circ$ pour PHIDP) et parfaitement convenable pour les applications des algorithmes polarimétriques les plus sophistiqués. ■

buzione di idrometeore particolarmente uniforme). Dato che i valori attesi delle variabili polarimetriche Zdr e PHIDP sono costanti, la deviazione standard sull'insieme dei campioni raccolti fornisce una stima dell'accuratezza delle misure. Si ottiene quindi un'accuratezza di ~ 0.1 dB per Zdr e di $\sim 1.0^\circ$ per PHIDP. Tali valori sono giudicati estremamente buoni (in letteratura si trovano comunemente valori di ~ 0.2 dB per Zdr e $3-4^\circ$ per PHIDP) e perfettamente idonei per l'applicazioni dei più sofisticati algoritmi polarimetrici. ■

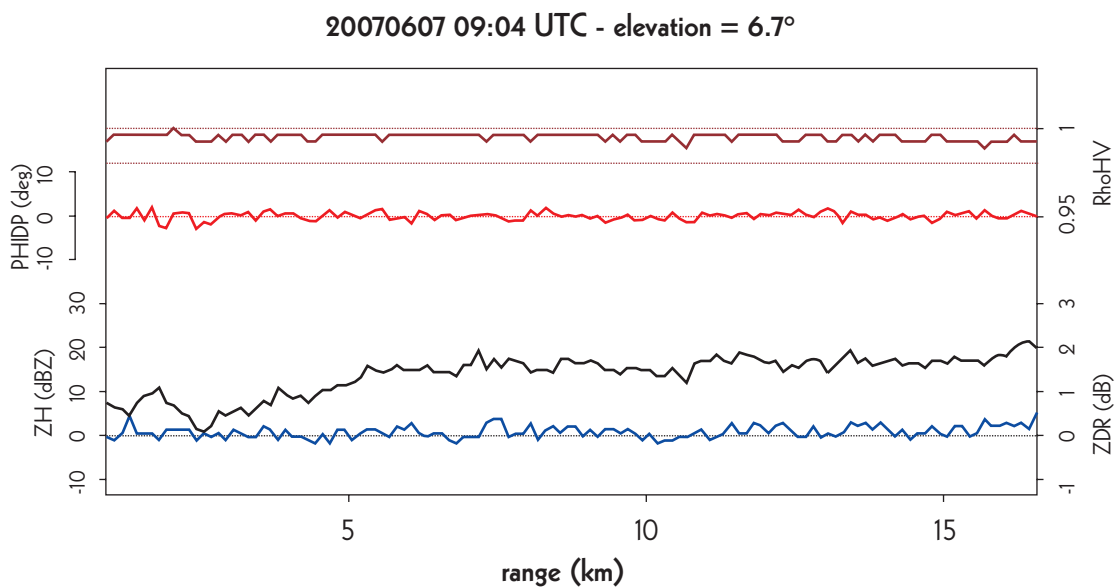


Fig 4.2.7

Grafico di Zh (nero), Zdr (blu), PHIDP (rosso) e phv (marrone) lungo un fascio radar all'elevazione di 6.7°

Graphique de Zh (noir), Zdr (bleu), PHIDP (rouge) et phv (marron) le long d'un faisceau radar à l'élévation de 6.7°

4.3 La banca dati del progetto FRAMEA

Jacques Lavabre, Cyril Arsufi, Jacques Testud

I progetto ha fornito l'occasione per la raccolta di differenti tipi di dati:

- in tempo reale, dalle immagini del radar in banda X e del radar in banda S;

Les bases de données du projet FRAMEA

Jacques Lavabre, Cyril Arsufi, Jacques Testud

Le projet a permis de collecter différents types de données :

- en temps réel de l'imagerie radar en bande X et du radar en bande S ;



Fig. 4.3.1

Home page del sito di archiviazione dati del progetto FRAMEA

Page d'accueil du site de désarchivage du projet FRAMEA

- en temps différé des pluviomètres (totaux journaliers) et pluviographes (pluie à 6 minutes) gérés par Météo-France, et des postes automatiques du bassin de recherche du Réal Collobrier.

L'ensemble de ces données est organisé sur un serveur qui permet leur mise à disposition aux partenaires du projet. Ce serveur a été développé par Météo-France et est implanté sur un site spécialement développé : <http://www.meteo.fr/special/FRAMEA> (fig. 4.3.1).

Ce serveur permet de soumettre une requête d'extraction de différentes données, pour différentes dates. Les données demandées sont extraites puis mises à disposition sous forme de fichiers par courrier électronique.

- in tempo differito, dai pluviometri (totali giornalieri) e dai pluviografi (pioggia di 6 minuti) gestiti da Météo-France e dalle postazioni automatiche del bacino di ricerca del Réal Collobrier.

L'insieme di questi dati è stato organizzato su un server che permette di metterli a disposizione ai partner del progetto. Questo server è stato sviluppato da Météo-France ed è ospitato in un sito appositamente sviluppato: <http://www.meteo.fr/special/FRAMEA> (fig. 4.3.1).

Questo server permette di interrogazioni per l'estrazione di differenti dati, per diverse date. I dati richiesti vengono estratti, poi vengono messi a disposizione sotto forma di file, tramite posta elettronica.

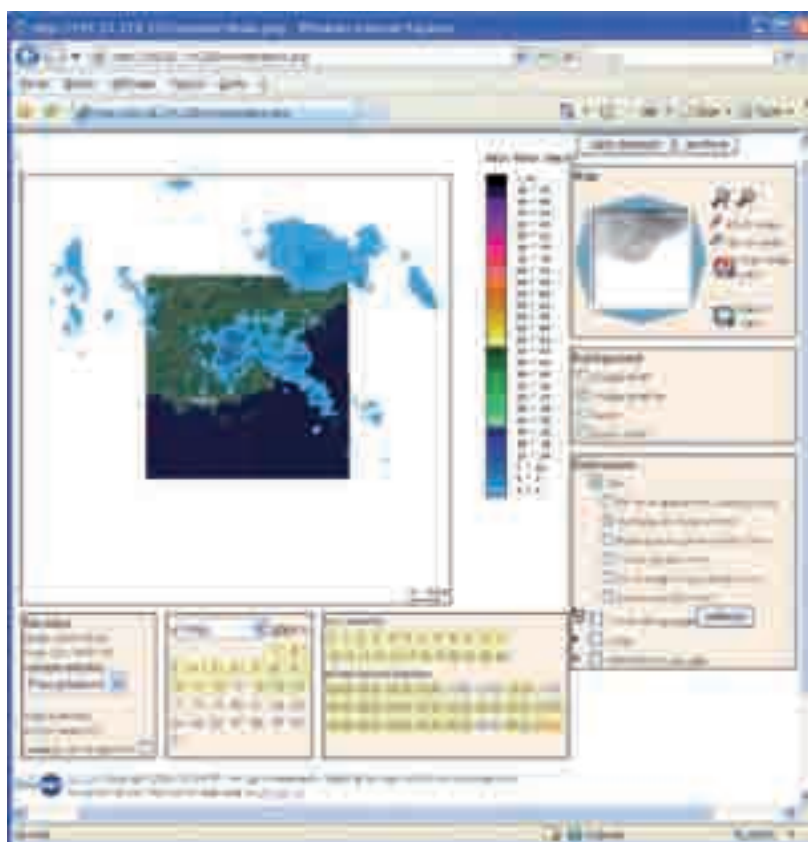
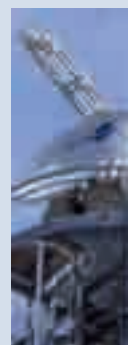


Fig. 4.3.2

Home page del sito di NOVIMET

Page d'accueil du site de NOVIMET



Le diverse fonti di dati disponibili sono le seguenti:

- Per il radar in banda S gestito da Météo France, i dati grezzi di riflettività, nonché i dati delle quantità di acqua;
- per il radar HYDRIX®, le cumulate di pioggia, nonché la sintesi dei differenti angoli di elevazione;
- i dati dei due disdrometri installati a fini di progetto;
- i dati delle piogge giornaliere delle postazioni Météo-France;
- i dati della pioggia di 6 minuti di durata delle postazioni Météo-France;
- i dati della pioggia giornaliera della rete Cemagref;
- i dati della pioggia di 6 minuti di durata della rete Cemagref;

La società NOVIMET ha anche creato un sito: <http://www.novimet.com/demo> che permette di accedere alle immagini del radar in banda X (tramite login e password) (fig. 4.3.2).

Sono archiviate sul sito le stime di pioggia a 2.5 minuti, calcolate secondo elevazioni differenti. Il sito propone anche le cumulate delle precipitazioni a una o più ore.

Si può così ottenere, per una data (giorno, ora, minuto) selezionata, la cartografia delle piogge. Il sito propone le immagini per le due installazioni del radar HYDRIX® (Réal Collobrier e Mont Vial).

È anche possibile accedere ai valori locali delle precipitazioni su un punto di riferimento selezionato. Questa funzione permette così di confrontare le stime HYDRIX® con misure al suolo. ■

Les différentes sources de données disponibles sont les suivantes :

- *Pour le radar en bande S géré par Météo France, les données brutes de réflectivité ainsi que les données de lames d'eau ;*
- *pour le radar HYDRIX®, les cumuls de pluie ainsi que la synthèse des différents angles d'élévation ;*
- *les données des deux disdromètres mis en place pour les besoins du projet ;*
- *les données de pluies quotidiennes des postes Météo-France ;*
- *les données de pluie de durée 6 minutes des postes Météo-France ;*
- *les données de pluie quotidienne du réseau Cemagref ;*
- *les données de pluie de durée 6 minutes des postes Cemagref ;*

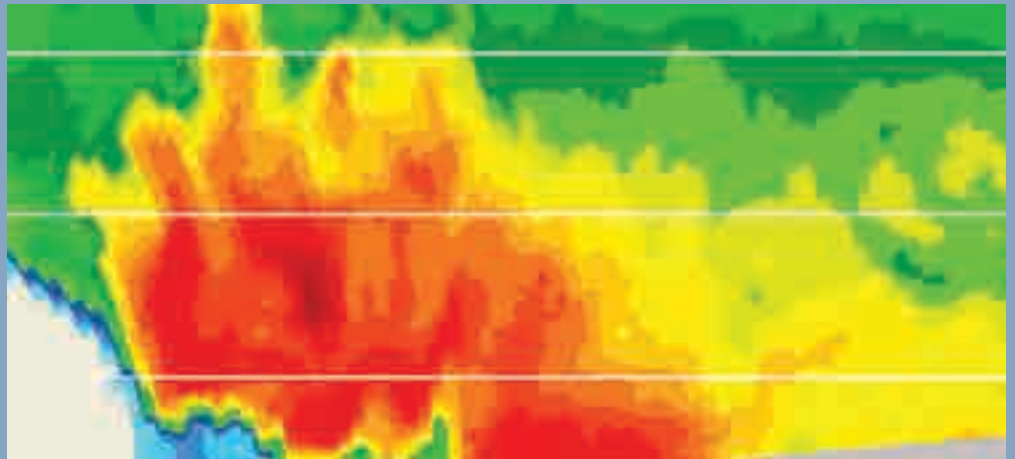
La société NOVIMET a aussi créé un site : <http://www.novimet.com/demo> qui permet d'accéder à l'imagerie du radar en bande X (moyennant un login et un password) (fig. 4.3.2).

Sont archivées sur le site, les estimations des pluies à un pas de 2.5 minutes calculées selon différentes élévations. Le site propose aussi les cumuls précipités en une ou plusieurs heures.

On peut ainsi obtenir, pour une date (jour, heure, minute) sélectionnée, la cartographie des pluies. Le site propose les images pour les deux emplacements du radar HYDRIX® (Réal Collobrier et Mont Vial) ;

Il est aussi possible d'accéder aux valeurs locales des précipitations sur un point repère sélectionné. Cette tâche permet ainsi de comparer les estimations HYDRIX® à des mesures au sol. ■

L'integrazione nei servizi
operativi di previsione
di piena



1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6

L'intégration dans
les services opérationnels
de prévision des crues

5.1

La previsione di piena in Piemonte

La previsione del rischio

Davide Rabuffetti e Tommaso Leoni

Un sistema di allerta si basa sulla definizione di scenari di rischio e di precursori ad essi correlati che vengono utilizzati per la previsione ed il monitoraggio dell'evento.

Nel sistema di allerta del Piemonte legato ai rischi idrologici e idraulici, il precursore meteorologico considerato è la precipitazione, alcune soglie pluviometriche (SP) di riferimento sono quindi utilizzate quali indicatori del rischio frane e del rischio idraulico. L'accoppiamento delle SP con le previsioni quantitative di precipitazione consente di condurre preliminari valutazioni sul livello di rischio associato al verificarsi di un evento meteorico e costituiscono il primo anello di una catena previsionale più articolata e complessa che riguarda la modellazione specifica dei singoli processi siano essi di versante o di formazione delle piene.

Nel caso del Piemonte sono stati definiti due livelli di rischio di criticità (moderata ed elevata) ed il territorio è stato suddiviso in zone di allertamento ovvero in ambiti territoriali caratterizzati da risposta meteorologica e/o idrologica omogenea in occasione dell'insorgenza del rischio a cui sono state associate altrettante SP. Questo modello adottato dal Piemonte fin dal 1996, è stato recentemente preso a riferimento nella organizzazione del sistema di allertamento italiano.

La previsione di piena

Per una corretta gestione dei fenomeni di inondazione è necessario prevedere un'adeguata pianificazione d'intervento e disporre di un servizio di preannuncio che segnali con anticipo il verificarsi dei fenomeni di piena.

Le valutazioni dei campi di inondazione e del rischio connesso generalmente viene condotta per un numero limitato di scenari e per ogni scenario i piani di emergenza definiscono le procedure di intervento da adottare (livelli di allerta). La previsione di piena a sua vol-

La prévision des crues dans le Piémont

La prévision du risque

Davide Rabuffetti, Tommaso Leoni

Un système d'alerte se base sur la définition de scénarios de risque et de précurseurs associés à ces derniers qui sont utilisés pour la prévision et le contrôle de l'événement.

Dans le système d'alerte du Piémont pour les risques hydrologiques et hydrauliques, le précurseur météorologique pris en considération est la précipitation. Ainsi, des seuils pluviométriques (SP) sont utilisés en tant qu'indicateurs du risque d'éboulement et du risque hydraulique. L'association des SP et des prévisions quantitatives de précipitations permet de réaliser des évaluations préliminaires sur le niveau de risque d'un événement météorologique et constitue le premier maillon d'une chaîne prévisionnelle plus articulée et complexe qui concerne la modélisation spécifique de chacun des processus, qu'ils soient de versant ou de formation des crues.

Dans le cas du Piémont, deux niveaux de risque critique (modérée et élevée) ont été définis et le territoire a été subdivisé en zones d'alerte, soit en domaines territoriaux caractérisés par une réponse météorologique et/ou hydrologique homogène à l'occasion de l'apparition du risque auquel ont été associés autant de SP. Ce modèle adopté par le Piémont dès 1996 est récemment devenu une référence dans l'organisation du système d'alerte italien.

La prévision des crues

Pour une gestion correcte des phénomènes d'inondation, il est nécessaire de prévoir une planification d'intervention adaptée et de disposer d'un service de préannonce visant à signaler à l'avance l'apparition des phénomènes de crue.

Les évaluations des champs d'inondation et du risque associé sont généralement conduites pour un nombre limité de scénarios et les plans d'urgence définissent les procédures d'intervention à adopter (niveaux d'alerte) pour chacun d'entre eux. La prévision des crues est à son tour

réalisée en définissant un nombre limité de classes d'évaluation (niveaux de criticité).

L'association de ces deux niveaux permet au système de protection civile d'activer au préalable ces actions qui permettent faire face à temps aux situations d'urgence. Cela signifie que les plans d'urgence doivent être développés en accord avec le système d'alerte adopté.

Les récentes dispositions normatives italiennes prévoient que les régions organisent les activités nécessaires à la prévention et à la réduction du risque hydraulique, essentiellement avec le concours du Département de la protection civile. Il leur incombe aussi la gouvernance de :

- préannonce et surveillance à travers le réseau des « Centri funzionali » ;
- protection territoriale hydraulique au travers de structures et/ou d'individus ;
- régulation des débits.

La gestion des crues pour les événements qui concernent les bassins d'intérêt suprarégional qui, par leur nature et leur extension, impliquent l'intervention coordonnée de plusieurs administrations compétentes, doit passer par des accords pour le partage des informations et des données, de la prévision et de la surveillance en temps réel des « Centri funzionali » impliqués.

Dans cette optique, le service exercé par le réseau des « Centri funzionali » en temps réel devient un support pour la gestion et s'articule autour de trois phases principales.

La première est la phase prévisionnelle, soutenue par une modélisation numérique adaptée, consistant à évaluer les phénomènes météorologiques attendus, les niveaux de risque attendus et les répercussions qu'une situation déterminée peut avoir sur la sécurité des personnes, des biens, des structures et de l'environnement.

La seconde est la phase de contrôle et de surveillance et comprend le contrôle instrumental de l'événement en cours, l'observation qualitative et quantitative directe, la surveillance des situations non prévues et la prévision à court terme des effets corrélés à travers le nowcasting à l'aide de modèles initialisés par des mesures recueillies en temps réel. Enfin, la troisième phase concerne l'évaluation des risques hydrauliques des principaux cours d'eau.

Le « Centro funzionale » du Piémont, en utilisant les modèles hydrologiques et hydrauliques disponibles, et notam-

ta viene fatta definendo un numero limitato di classi di valutazione (livelli di criticità).

La correlazione di questi due livelli consente al sistema di protezione civile di attivare preventivamente quelle azioni che consentono di trovarsi pronti a fronteggiare le situazioni di emergenza. Questo significa che i piani di emergenza devono essere sviluppati in accordo con il sistema di allerta adottato.

Le recenti disposizioni normative italiane prevedono che le Regioni predispongano le attività necessarie alla prevenzione e riduzione del rischio idraulico, se del caso con il concorso del Dipartimento della Protezione Civile, ed assolvere ad un adeguato governo delle piene, a cui devono concorrere le attività di:

- preannuncio e sorveglianza poste in essere attraverso la rete dei Centri Funzionali;
- presidio territoriale idraulico attraverso adeguate strutture e/o soggetti;
- regolazione dei deflussi.

La gestione delle piene per eventi che coinvolgono bacini di interesse sovrapregionale che per la loro natura ed estensione comportino l'intervento coordinato di più amministrazioni competenti, deve passare attraverso accordi per la condivisione delle informazioni e dei dati, della previsione e della sorveglianza in tempo reale dei Centri Funzionali interessati.

In questo quadro, il servizio svolto dalla rete dei Centri Funzionali in tempo reale diventa di supporto per la gestione e si articola in tre fasi principali.

La prima è quella previsionale, sostenuta da una adeguata modellistica numerica e consiste nella valutazione dei fenomeni meteorologici attesi, valutazione delle criticità attese, nonché degli effetti che tale situazione può determinare sull'integrità della vita, dei beni, degli insediamenti e dell'ambiente.

La seconda fase è quella di monitoraggio e sorveglianza e comprende il monitoraggio strumentale dell'evento in atto ed osservazione qualitativa e quantitativa diretta e la sorveglianza delle situazioni impreviste e previsione a breve dei relativi effetti attraverso il nowcasting con l'ausilio di modelli inizializzati con misure raccolte in tempo reale. Infine la terza riguarda la valutazione delle criticità idrauliche dei corsi d'acqua principali.

Il Centro Funzionale del Piemonte, utilizzando i modelli idrologici ed idraulici disponibili, ed in particolare il



sistema informativo di previsione delle piene sopra descritto, valuta attraverso un servizio continuativo il rischio idraulico e, in caso di avviso di criticità idrogeologica ed idraulica, emette uno specifico bollettino di previsione delle piene il quale contiene una stima puntuale del livello previsto riferita ai corsi d'acqua principali. I livelli di criticità anche in questo caso sono ripartiti in tre classi: situazione ordinaria, piena ordinaria (livello2) e piena straordinaria (livello 3).

Le previsioni delle portate sono attualmente operative relativamente a 24 sezioni significative. Nella **figura 5.1.1** è rappresentato un esempio del bollettino di previsione delle piene.

L'INTEGRAZIONE NEI SERVIZI OPERATIVI DI PREVISIONE DI PIENA

ment le système d'information de prévision des crues décrit ci-dessus, évalué à travers un service continu le risque hydraulique et, en cas d'un signalement de criticité hydrogéologique et hydraulique, émet un bulletin spécifique de prévision des crues contenant une estimation ponctuelle du niveau prévu concernant les principaux cours d'eau. Dans ce cas également, les niveaux de criticité sont répartis en trois classes : situation ordinaire, crue ordinaire (niveau 2) et crue extraordinaire (niveau 3).

*Les prévisions des crues sont actuellement opérationnelles concernant pour 24 sections. Sur la **figure 5.1.1** est représenté un exemple du bulletin de prévision des crues.*

Fig. 5.1.1

Bollettino di previsione delle piene

Bulletin de prévision des crues



Les petits bassins de montagne

En général, les phénomènes de type hydrologique sont d'une importance fondamentale pour étudier les crues des bassins hydrographiques de montagne de dimensions réduites à la dynamique extrêmement rapide (petite échelle : surface inférieure à 100 km² et temps de réponse inférieur à 3/6 heures ; moyenne échelle : surface inférieure à 1000 km² et temps de réponse inférieur à 18/24 heures). Dans ce type d'étude, il est nécessaire de pouvoir tenir soigneusement compte, en prêtant une attention particulière à la variabilité spatio-temporelle prononcée, à tous les processus qui concourent à la transformation de l'afflux météorique en débit dans le réseau hydrographique [Siccardi, 1995 ; Barbero et al. 2002].

Dans la littérature sur ce sujet sont présents d'innombrables modèles utilisables pour la simulation de l'infiltration superficielle, de la filtration profonde, du débit sur les versants et du débit hypodermique.

Parmi eux figurent des modèles globaux (où les processus sont reproduits à une échelle intégrale largement supérieure à l'échelle réelle et où l'ensemble du bassin hydrographique est généralement utilisé comme unité de base) ou bien distribués (où les unités de base sont représentées par les entités surfaciques de grandeur opportune). Dans ce cas, la plus grande complexité des modèles distribués est liée au fait que la résolution spatiale la plus fine du modèle permet, par sa nature, une plus grande précision quant à la description physique des phénomènes et implique généralement un coût de calcul élevé.

L'analyse comparée des avantages et des inconvénients offerts par chaque typologie est amplement documentée en littérature [Chow et al., 1988].

Association modèle hydrologique – système radar

Pour la gestion du risque hydrogéologique, les estimations de précipitation effectuées par radars ont été utilisées comme données d'entrée dans un modèle hydrologique distribué.

La modélisation hydrologique distribuée [Abbot et al., 1987 ; Beven, 1985 ; Rosso, 1994] reproduit la dynamique effective des différents processus hydrologiques du bassin en les décrivant à l'échelle des différents composants élémentaires où dans lesquels il est subdivisé.

La résolution spatiale élevée dérive des dimensions de la cellule élémentaire en lesquelles la surface du bassin est subdivisée et qui peut opérationnellement être de 1000 m, 100 m ou aussi de 10 m pour les bassins plus petits. La limite de la résolution n'est pas liée à la structure du modèle, mais plutôt à l'insuffisance d'informations

I piccoli bacini montani

In generale i fenomeni di tipo idrologico sono di fondamentale importanza per studiare le piene dei bacini idrografici montuosi di piccole dimensioni dalla dinamica estremamente rapida (piccola scala: superficie minore di 100 Km² e tempi di risposta minore di 3-6 ore; e media scala: superficie minore di 1000 Km² e tempi di risposta minore di 18-24 ore). In questo tipo di studio è necessario poter considerare accuratamente, con particolare attenzione alla marcata variabilità spatio-temporale, tutti i processi che concorrono alla trasformazione dell'afflusso meteorico in deflusso nella rete idrografica [Siccardi, 1995; Barbero et al. 2002].

In letteratura sono presenti innumerevoli modelli utilizzabili per la simulazione dell'infiltrazione superficiale, della filtrazione profonda, del deflusso sui versanti e di quello ipodermico.

Tra questi, si distinguono modelli concentrati, in cui i processi sono risolti ad una scala integrale molto maggiore di quella propria, generalmente si utilizza l'intero bacino idrografico come unità di base; o distribuiti, dove le unità di base sono le parcelle di suolo di grandezza opportuna. In questo caso la maggiore complessità dei modelli distribuiti è legata al fatto che la più fine risoluzione spaziale del modello consente di per sé una maggiore accuratezza nella descrizione fisica dei fenomeni e comporta in generale un elevato costo computazionale.

L'analisi comparata di vantaggi e svantaggi offerti da ciascuna tipologia è ampiamente documentata in letteratura [Chow et al., 1988].

Accoppiamento modello idrologico – sistema radar

Per la gestione del rischio idrogeologico, le stime di precipitazione da radar sono state utilizzate come forzante in un modello idrologico distribuito.

La modellistica idrologica distribuita [Abbot et al., 1987; Beven, 1985; Rosso, 1994] riproduce l'effettiva dinamica dei diversi processi idrologici descrivendoli alla scala delle varie componenti elementari in cui viene discretizzato.

L'alta risoluzione spaziale deriva dalle dimensioni della cella elementare in cui si suddivide la superficie del bacino che operativamente può essere di 1000m, 100m o anche 10m per i bacini più piccoli: il limite alla risoluzione non è legato alla struttura del modello piuttosto alla scarsità di informazioni territoriali ed è imposta dai limiti delle capacità



di elaborazione dei calcolatori elettronici. L'alta risoluzione spaziale consente implicitamente una migliore descrizione temporale della dinamica dei fenomeni, ciò offre inoltre la possibilità di descrivere accuratamente i diversi processi e la loro variabilità spazio-temporale.

All'interno di ciascuna cella le proprietà topografiche idrologiche ed idrauliche sono ipotizzate continue ed omogenee in modo da permettere la parametrizzazione delle equazioni dei singoli processi fisici per la cella in esame e di valutarne poi gli effetti complessivi in termini di portata alle sezioni del reticolo idrografico. Di norma, nelle pratiche applicazioni, si fa uso di una scomposizione del bacino di tipo 'raster', ottenuta suddividendo l'area di interesse in celle elementari di forma rettangolare. Questo porta all'analisi del processo integrale introducendo ipotesi e semplificazioni ad un livello più o meno spinto. L'approccio distribuito ha inoltre il grande vantaggio di permettere lo studio contemporaneamente sia dell'intero bacino sia delle sue componenti parziali in quanto il modello fornisce informazioni sull'evoluzione dei fenomeni in ogni punto del dominio.

Il sistema di previsione delle piene improvvisate basato sulla modellistica idrologica distribuita e la stima delle forzanti tramite radar meteorologico, è attualmente operativo sul territorio regionale solo su alcuni bacini campione ed è finalizzato ad una analisi delle prestazioni di un tale dispositivo. L'obiettivo è di rilevare i vantaggi che una previsione a brevissimo termine possa avere nella migliore gestione delle emergenze.

Il modello utilizzato per la stima della formazione della piena e della propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico è il FEST [Mancini et al., 2000; Ravazzani et al., 2002], messo a punto presso il Politecnico di Milano, è costituito da una serie di moduli che simulano le varie componenti del ciclo idrologico. La sua prerogativa è quella di lavorare su base GIS secondo uno schema distribuito che permette di considerare la variabilità spazio temporale dei processi idrologici quali quello dell'evaporazione, della precipitazione, dell'infiltrazione, della fusione nivale e della propagazione lungo la rete di drenaggio superficiale e sotterranea.

Descrizione del modello

L'architettura del modello è costituita da due blocchi principali schematizzati in **figura 5.1.2**. Nel primo blocco viene elaborata l'informazione pluviometrica e valutata la risposta del suolo in termini di infiltrazione e deflusso superficiale per ciascuna cella.

L'INTEGRAZIONE NEI SERVIZI OPERATIVI DI PREVISIONE DI PIENA

territoriales et est soumise aux limites des capacités d'élaboration des calculateurs. La résolution spatiale élevée permet implicitement une meilleure description temporelle de la dynamique des phénomènes qui offre également la possibilité de décrire soigneusement les différents processus et leur variabilité spatio-temporelle.

Au sein de chacune des cellules, les propriétés topographiques, hydrologiques et hydrauliques sont supposées être continues et homogènes de manière à permettre la paramétrisation des équations de chaque processus physique pour la cellule en observation et d'en évaluer par la suite les effets globaux en termes de débit sur les sections du réseau hydrographique. Généralement, dans les applications pratiques, l'on utilise une décomposition du bassin de type « raster » obtenue en subdivisant la zone concernée en cellules élémentaires de forme rectangulaire. Cela conduit à l'analyse du processus intégral en introduisant des hypothèses et des simplifications à un niveau plus ou moins poussé. L'approche distribuée comporte en outre le grand avantage de permettre l'étude aussi bien de l'ensemble du bassin que de ses composants partiels dans la mesure où le modèle fournit des informations sur l'évolution des phénomènes en chaque point du territoire.

Le système de prévision des crues soudaines, basé sur la modélisation hydrologique distribuée et l'estimation des données forçantes par le biais de radar météorologique, n'est actuellement opérationnel sur le territoire régional que sur quelques bassins échantillons et est tourné vers une analyse des prestations d'un tel dispositif. L'objectif est de relever les avantages qu'une prévision à très court terme puisse avoir pour améliorer la gestion des urgences.

Le modèle utilisé pour l'estimation de la formation de la crue et de la propagation de l'onde de crue dans le réseau hydrographique est le FEST [Mancini et al., 2000 ; Ravazzani et al., 2002], élaboré auprès du Politecnico di Milano et constitué par une série de modules qui simulent les différents composants du cycle hydrologique. Sa caractéristique est celle d'être géré dans un support SIG suivant un schéma distribué qui permet de considérer la variabilité spatio-temporelle des processus hydrologiques tels que ceux de l'évaporation, de la précipitation, de l'infiltration, de la fusion nivale et de la propagation le long du réseau de drainage superficiel et souterrain.

Description du modèle

*L'architecture du modèle est constituée de deux blocs principaux schématisés **figure 5.1.2**. Dans le premier bloc, l'information pluviométrique est élaborée et la réponse du terrain est évaluée en termes d'infiltration et de débit superficiel pour chaque cellule.*

Dans le second bloc sont utilisées les équations qui décrivent la propagation du débit superficiel sur les versants et dans le réseau hydrographique. La simulation de la propagation du débit sur les versants est basée soit sur un modèle conceptuel linéaire, soit sur le modèle Muskingum-Cunge à célérité variable [Ponce, 1989]. ■

Nel secondo blocco, sono utilizzate le equazioni che descrivono la propagazione del deflusso superficiale sui versanti, nel reticolo idrografico alveato ed eventualmente attraverso gli invasi naturali e artificiali. La simulazione della propagazione del deflusso sui versanti è basata sul modello concettuale dell'invaso lineare mentre quella del deflusso alveato si basa sul modello Muskingum-Cunge a celerità variabile [Ponce, 1989]. ■

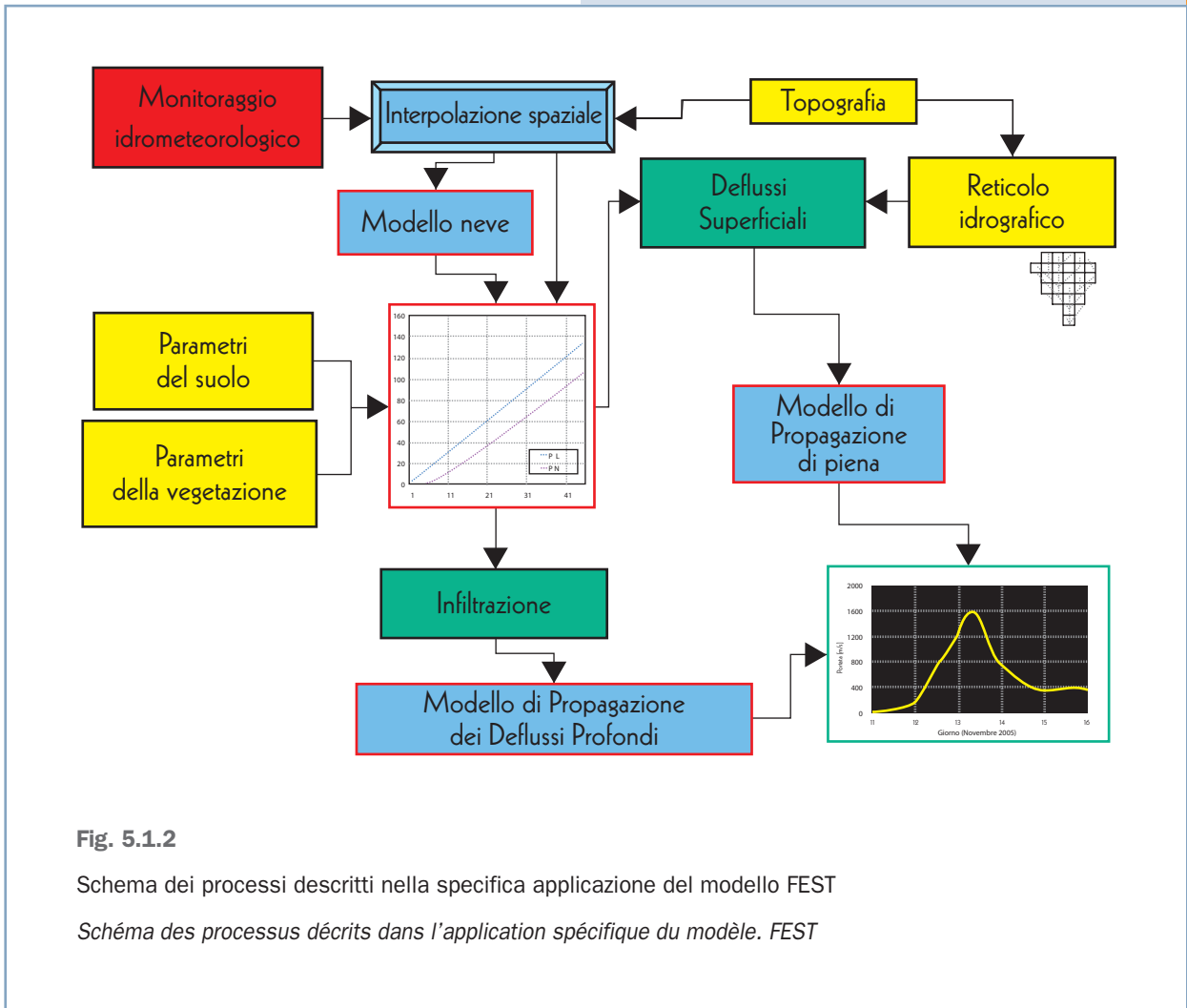


Fig. 5.1.2

Schema dei processi descritti nella specifica applicazione del modello FEST

Schéma des processus décrits dans l'application spécifique du modèle. FEST

5.2 La previsione di piene nella Regione Provence Alpes Côte d'Azur

Jacques Lavabre, Jean-Paul Mizzi

La previsione di piene in Francia si articola, a livello statale, su 22 Servizi di Previsione delle Piene. Questi servizi hanno competenza su una zona geografica limitata. All'interno di questa zona geografica i Servizi di Previsione delle Piene (SPC) assicurano la trasmissione delle informazioni e la previsione delle piene dei corsi d'acqua fortemente critici (grande vulnerabilità e necessità di adottare misure d'urgenza in caso di piena). Per i corsi d'acqua meno critici lo Stato fornisce la sua competenza agli enti locali che desiderano mettere in piedi un sistema di previsione delle piene.

Nella regione Provence-Alpes-Côte d'Azur hanno competenza due Servizi di Previsione delle Piene:

- il Servizio di Previsione delle Piene "Gran Delta" per la Durance e per i suoi affluenti;
- il Servizio di Previsione delle Piene "Mediterraneo Est" per i corsi d'acqua costieri dall'Italia al Rodano.

È in effetti con il secondo Servizio che, nel quadro del progetto FRAMEA, si è stabilito il contatto, poiché esso copre la zona geografica considerata dal progetto. Esso deve in particolare assicurare una previsione delle piene per differenti siti critici situati lungo fiume Var.

Sono state avviate collaborazioni anche col Servizio Centrale di Idrometeorologia e di Appoggio alla Previsione delle Inondazioni (SCHAPI) che assicura un servizio tecnico di appoggio all'insieme dei Servizi di Previsione delle Piene.

Gli strumenti utilizzati

Nel quadro del FRAMEA sono state applicate due metodologie di previsione delle piene:

- una classica trasformazione della pioggia in portata, tramite un modello semi-distribuito che è stato testato sul bacino del Var;
- il metodo AIGA, sviluppato dal Cemagref e da Météo-France, che propone una visualizzazione cartografica in tempo reale del rischio pluviometrico e del rischio idrologico.

La prévision de crue dans la Region Provence Alpes Côte d'Azur

Jacques Lavabre, Jean-Paul Mizzi

La prévision des crues de la France est articulée, au niveau de l'Etat, autour de 22 Services de Prévision des Crues. Ces services ont compétence sur une zone géographique délimitée. A l'intérieur de cette zone géographique, les Services de Prévision des Crues (SPC) assurent la transmission de l'information et la prévision des crues des cours d'eau à forts enjeux (forte vulnérabilité et nécessité de prendre des mesures d'urgence en cas de crue). Pour les cours d'eau de moindre enjeu, l'Etat apporte ses compétences aux collectivités locales qui souhaiteraient mettre en place un dispositif de prévision des crues.

Deux Services de Prévision des Crues ont compétence en Provence-Alpes-Côte d'Azur :

- le Service de Prévision des Crues « Grand Delta » pour la Durance et ses affluents ;
- le Service de Prévision des Crues « Méditerranée Est » pour les cours d'eau côtiers de l'Italie au Rhône.

C'est actuellement avec ce dernier service que nous avons été en rapport dans le cadre du projet FRAMEA car il couvre la zone géographique couverte par le projet. Il doit notamment, assurer une prévision des crues pour différents sites à enjeux situés sur le fleuve Var.

Des collaborations ont aussi été mise en place avec le Service Central d'Hydrométéorologie et l'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI) qui assure un service technique d'appui auprès de l'ensemble des Services de Prévision des Crues.

Les outils utilisés

Deux méthodologies de prévision des crues ont été mises en œuvre dans le cadre de FRAMEA :

- une classique transformation de la pluie en débit par un modèle semi-distribué qui a été testé sur le bassin du Var ;
- la méthode AIGA, développée par le Cemagref et Météo-France qui propose une affichage cartographique temps réel du risque pluviométrique et du risque hydrologique.

Mise en œuvre d'un modèle de prévision des crues du Var à Nice

Nos investigations actuelles ont porté sur une modélisation de la pluie en débit utilisable en prévision de crue à l'aval du bassin versant du Var à Nice.

Les données qui ont été mises à notre disposition concernent :

- 8 stations de mesure de débit, utilisables en partie sur la période 1993-2002 (lacunes, fonctionnement anormal de la station du Var à Nice ...);
- 23 postes de pluie horaire, dont 13 localisées sur le bassin du Var.

Nous avons utilisé le modèle GR3H, développé par le Cemagref, que nous avons distribué sur 6 bassins « élémentaires » : Var amont, Var intermédiaire, Var aval, Tinée, Vésubie et Esteron.

Le modèle est calé dans un premier temps sur les 13 plus fortes crues. Mais le mauvais fonctionnement de la station aval (le Var à Nice), nous conduit à ne travailler que sur les 5 crues observées en 1993 et 1994 (fig 5.2.1).

Applicazione di un modello di previsione delle piene del Var a Nizza

Le nostre ricerche attuali si sono focalizzate sulla modellizzazione pioggia-portata, utilizzabile in previsione della piena nel tratto a valle del bacino idrografico del Var a Nizza.

I dati che sono stati messi a nostra disposizione riguardano:

- 8 stazioni di misurazione della portata, utilizzabili solo in parte per il periodo 1993-2002 (lacune, funzionamento anormale della stazione del Var a Nizza ...);
- 23 postazioni per pioggia oraria, 13 delle quali localizzate sul bacino del Var.

Abbiamo utilizzato il modello GR3H, sviluppato dal Cemagref, distribuito su 6 bacini "elementari": Var tratto a monte, Var intermedio, Var tratto a valle, Tinée, Vésubie ed Esteron.

Il modello è tarato, in un primo tempo, sulle 13 piene più forti. Ma il cattivo funzionamento della stazione a valle (il Var a Nizza), conduce a considerare solo le 5 piene osservate nel 1993 e nel 1994 (fig. 5.2.1).

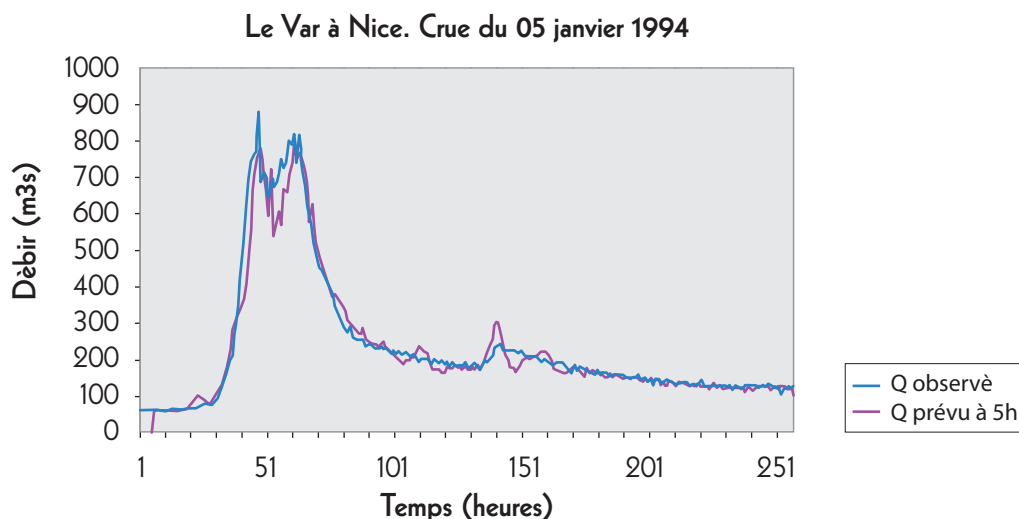


Fig. 5.2.1

Il Var a Nizza. Piena del gennaio 1994. Sovrapposizione dell'idrogramma osservato con quello previsto con un anticipo di 5 ore

Le Var à Nice. Crue de janvier 1994. Superposition de l'hydrogramme observé avec celui prévu avec un délai d'anticipation de 5 heures

Il modello funziona molto correttamente nella ricostruzione di piene con elevati coefficienti di Nash (tra l'84 e il 93%). Si nota in queste tarature che i tempi di trasferimento sono relativamente elevati, attorno alle 7 ore, ad eccezione della parte a valle del Var, che si propaga più rapidamente (2 ore).

Questa modellizzazione semi-distribuita della pioggia in portata viene poi utilizzata per la previsione della piena. I risultati ottenuti, con una previsione a 5 ore e con un'ipotesi di pioggia futura nulla, sono corretti, ed a priori utilizzabili in tempo reale. I risultati peggiorano fortemente con una previsione a 10 ore. Solo una conoscenza della pioggia futura permetterebbe corrette previsioni dell'evoluzione del Var a Nizza a 10 ore.

Quest'incoraggianti risultati dovranno venir consolidati dall'analisi supplementare di eventi di piena e dall'inserimento di quantità di acqua spaziale. Il miglioramento delle prestazioni implicherà anche una conoscenza degli stati idrici iniziali dei sottobacini idrografici. Si dovranno anche confrontare le prestazioni nella previsione che si otterrebbero tramite semplice trasferimento delle informazioni tra il tratto a monte e il tratto a valle. Ma le serie di osservazioni attualmente disponibili restano troppo frammentarie e limitano le ricerche scientifiche.

Applicazione del metodo AIGA

Il principale obiettivo del metodo AIGA è di migliorare, grazie a un accoppiamento idrometeorologico, la caratterizzazione di un rischio da un punto di vista spatio-temporale, a beneficio dei servizi che assicurano la sicurezza di persone e beni.

Da un punto di vista strettamente tecnico la fornitura di un'informazione connessa al rischio d'inondazione può essere ottenuta, sui corsi d'acqua considerati, secondo due modalità:

- si dispone, in tempo reale, di un'informazione locale teletrasmessa delle piogge al suolo e delle portate dei corsi d'acqua; così, secondo il corso d'acqua, un'informazione concernente la portata può venir trasferita dal tratto a monte verso il tratto a valle, oppure permette di ritardare i risultati di una modellizzazione della pioggia in portata; si possono allora sviluppare strumenti idraulici e idrologici specifici per ciascun corso d'acqua;
- nessuna informazione concernente la portata è disponibile o sfruttabile in tempo reale (caso delle piene lampo); in questo caso si devono fornire altre risposte tecniche.

L'INTEGRAZIONE NEI SERVIZI OPERATIVI DI PREVISIONE DI PIENA

Le modèle fonctionne très correctement en reconstitution de crue avec des coefficients de Nash élevés (entre 84 et 93 %). On note dans ces calages que les temps de transfert sont relativement élevés, autour de 7 heures, à l'exception de la partie aval du Var qui se propage plus rapidement (2 heures).

Cette modélisation semi-distribuée de la pluie en débit est ensuite utilisée en prévision de crue. Les résultats obtenus, avec un délai de prévision de 5 heures et une hypothèse de pluie future nulle, sont corrects et a priori utilisables en temps réel. Les résultats se dégradent fortement avec un délai de prévision de 10 heures. Seule une connaissance de la pluie à venir permettrait des prévisions correctes de l'évolution du Var à Nice avec un délai de 10 heures.

Ces résultats encourageants devront être consolidés par l'analyse d'événements de crue supplémentaire et l'incorporation de lames d'eau spatiale. L'amélioration des performances impliquera aussi une connaissance des états hydriques initiaux des sous bassins versants. Il faudrait aussi comparer les performances en prévision que l'on obtiendrait par simple transfert d'information entre l'amont et l'aval. Mais les chroniques d'observation actuellement disponibles restent trop fragmentaires et limitent les investigations scientifiques.

Mise en œuvre de la méthode AIGA

Le principal objectif de la méthode AIGA est, grâce à un couplage hydrométéorologique, d'améliorer la qualification d'un aléa d'un point de vue spatio-temporel à destination des services assurant la sécurité des personnes et des biens.

D'un point de vue strictement technique, la fourniture d'une information liée au risque inondation peut s'obtenir, sur les cours d'eau considérés, suivant deux modalités :

- soit on dispose, en temps réel, d'une information locale télétransmise des pluies au sol et des débits des cours d'eau. Ainsi, selon les cours d'eau, une information débit peut être transférée de l'amont vers l'aval, ou permet de recalculer les résultats d'une modélisation de la pluie en débit. Des outils hydrauliques et hydrologiques spécifiques à chaque cours d'eau peuvent alors être développés ;
- soit aucune information de débit n'est disponible ou exploitable en temps réel (cas des crues éclairs). Dans ce cas d'autres réponses techniques doivent être apportées.

Ce constat a donc conduit à développer et proposer un outil qui fournisse une réponse spatiale quel que

soit la situation d'observation hydrologique locale. A l'origine AIGA avait essentiellement pour but d'apporter une réponse sur les cours d'eau pour lesquels aucune instrumentation spécifique n'avait été mise en place. L'idée a été d'utiliser une information temps réel fournie par les radars météorologiques et d'exploiter les mesures pluviométriques temps réel du réseau de base de Météo-France.

Par la suite, il s'est avéré, les retours d'expérience aidant, que même pour les cours d'eau instrumentés et pour le cas des crues éclaircies (bassins versants de superficie réduite, quelques centaines de km²), AIGA peut compléter l'expertise conduite à partir d'une instrumentation dédiée.

Cette méthode dans sa version actuelle estime en temps réel les pluies par les radars et propose au pas de temps quart horaire une valeur des débits en tout point (maille au km²) d'un bassin par une modélisation pluie/débit.

AIGA exploite à la fois une information temps réel et une information statistique contenue dans des bases de référence. Le croisement de ces deux types d'information permet d'afficher une échelle de gravité de l'événement hydrométéorologique.

Le risque, quel qu'il soit, caractérisé par une fréquence de l'aléa, est reporté sur une carte à l'aide de 3 couleurs : jaune, orange et rouge de manière similaire aux cartes de vigilance produites par Météo-France.

Les points forts de la méthode viennent du fait qu'elle ne s'appuie pas uniquement sur des calages statistiques mais introduit soit de l'expertise humaine, soit des modèles à peu de paramètres ajustés à partir de mesures pluviométriques et hydrologiques antérieures.

Dans sa version actuelle, AIGA produit chaque quart d'heure, avec un délai de production de quelques minutes, des cartographies du risque pluvial et du risque hydrologique.

Le risque pluvial est affiché au niveau des pixels, selon le code couleur jaune, orange, rouge en fonction de la fréquence d'apparition des pluies observées.

Le risque hydrologique est affiché spatialement (pour chacun des pixels de 1 km²) et calculé sur l'ensemble des sous bassins hydrologiques qui ont été préalablement identifiés.

L'affichage par sous bassins est réalisé par agglomération des débits spécifiques et se traduit par la couleur

Questa constatazione ha dunque portato a sviluppare e a proporre uno strumento che fornisce una risposta spaziale qualunque sia la situazione di osservazione idrologica locale. In origine l'AIGA aveva essenzialmente lo scopo di fornire una risposta sui corsi d'acqua per i quali non era stata installata nessuna strumentazione specifica. L'idea è stata di utilizzare un'informazione in tempo reale fornita dai radar meteorologici e di sfruttare le misurazioni pluviometriche in tempo reale della rete di base di Météo-France.

In seguito si è accertato, con l'aiuto degli scambi di esperienze, che anche per i corsi d'acqua muniti di strumenti e nel caso delle piene lampo (bacini idrografici di superficie ridotta, qualche centinaio di chilometri quadrati), l'AIGA può completare la stima effettuata a partire da una strumentazione dedicata.

Nella sua versione attuale questo metodo stima in tempo reale le piogge tramite i radar e propone, ogni quarto d'ora, un valore delle portate in qualsiasi punto (maglia al chilometro quadrato) di un bacino tramite una modellizzazione pioggia/portata.

AIGA sfrutta nello stesso tempo un'informazione in tempo reale e un'informazione statistica contenuta in basi di riferimento. L'incrocio fra questi due tipi d'informazioni permette di visualizzare una scala di criticità dell'avvenimento idrometeorologico.

Il rischio, caratterizzato da una frequenza di accadimento, è riportato su mappa con l'ausilio di 3 colori: giallo, arancione e rosso, in modo simile alle carte di vigilanza prodotte da Météo-France.

I punti di forza del metodo provengono dal fatto che esso non poggia unicamente su tarature statistiche, ma introduce sia la stima umana, sia modelli con pochi parametri adattati a partire da precedenti misurazioni pluviometriche e idrologiche.

Nella sua versione attuale AIGA produce ogni quarto d'ora, con un tempo di elaborazione di pochi minuti, delle cartografie del rischio pluviale e del rischio idrologico.

Il rischio pluviale è visualizzato a livello di pixel, secondo il codice colore giallo, arancione, rosso, in funzione della frequenza di occorrenza delle piogge osservate.

Il rischio idrologico è visualizzato spazialmente (per ciascuno dei pixel di 1 km²) ed è calcolato sull'insieme dei sottobacini idrologici che sono stati precedentemente identificati.





La visualizzazione per sottobacini è realizzata tramite agglomerazione delle portate specifiche e si traduce nel colore di visualizzazione dei tratti del corso d'acqua inclusi nel bacino idrografico.

La carta visualizzata non fornisce una stima istantanea delle portate e non fa riferimento a misurazioni limnometriche. Essa esprime la prevedibile evoluzione della portata dei corsi d'acqua nelle ore successive, in funzione delle precipitazioni osservate al momento della produzione della carta. Ecco perché la catena AIGA fornisce solo un'allerta idrometeorologica.

Il metodo AIGA è stato applicato nel caso studio del progetto FRAMEA. Nel paragrafo 5.3.b presentiamo la tipologia d'informazione fornita in tempo reale ai servizi operativi. ■

L'INTEGRAZIONE NEI SERVIZI OPERATIVI DI PREVISIONE DI PIENA

d'affichage des tronçons du cours d'eau inclus dans le bassin versant.

La carte affichée ne fournit pas une estimation instantanée des débits et ne fait référence à aucune mesure limnimétrique. Elle exprime l'évolution prévisible du débit des cours d'eau dans les heures à venir, en fonction des précipitations observées au moment de la production de la carte. C'est en cela que la chaîne AIGA ne fournit qu'une mise en garde hydrométéorologique.

La méthode AIGA été mise en œuvre dans le cas du projet FRAMEA. Nous présentons au paragraphe 5.3.b le genre d'information fournie en temps réel aux services opérationnels. ■

5.3.a Le transfert aux services opérationnels

Monica Ponzone

La gestion des urgences environnementales requiert une articulation efficace de toutes les forces de protection civile impliquées, d'une part, pour la prévision et la connaissance des phénomènes et, d'autre part, pour la mise en œuvre d'actions de protection et d'urgence. Le nouveau système d'alerte national italien, né dans le cadre de la Loi n° 183/1989 sur la défense du sol et de la Loi n° 225/1992 sur la protection civile, a tenté de répondre à cette exigence.

Les orientations opérationnelles pour la gestion organisationnelle et fonctionnelle du système d'alerte national et régional, adoptées avec la Directive du Président du Conseil des Ministres du 27 février 2004, prévoient que la gestion soit garantie par le Département de la protection civile, par les régions et par les provinces autonomes à travers le réseau des « Centri funzionali » et les structures régionales et des centres de compétence.

Le réseau des « Centri funzionali », qui fait partie du Service national de la Protection civile, opère selon des critères, des méthodes, des standards et des procédures communes dans le but de fournir un service continu temps réel qui serve de support aux décisions des autorités compétentes et qui répond aux nécessités opérationnelles des systèmes de protection civile. Pour la Région Piémont, les compétences du « Centro funzionale » sont attribuées à Arpa Piemonte suivant la Loi régionale n°28 du 20 novembre 2002.

La Région Piémont, à travers la délibération du conseil n° 37-15176 du 23 mars 2005 et modifications et intégrations successives (B.U.R. n. 21 2° suppl. du 26 mai 2005), a approuvé le « Cahier des charges pour la gestion organisationnelle et fonctionnelle du système d'alerte régional visant à la protection civile » et a déclaré opérationnel le « Centro funzionale » de Arpa Piemonte qui constitue l'évolution de la « Salle de la situation des risques naturels » qui avait un rôle de surveillance du risque hydrogéologique du territoire régional depuis 1996.

Il trasferimento ai servizi operativi

Monica Ponzone

La gestione delle emergenze ambientali richiede un'efficiente integrazione tra tutte le forze di protezione civile impiegate da una parte nella previsione e conoscenza dei fenomeni, dall'altra nell'attuare le azioni di contrasto ed emergenza; a questa esigenza ha cercato di rispondere il nuovo Sistema di Allertamento nazionale italiano, nato nel quadro della Legge n. 183/1989 sulla difesa del suolo e della Legge n. 225/1992 che istituisce la protezione civile.

Gli indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del Sistema di Allertamento nazionale e regionale, adottati con Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 27 febbraio 2004, prevedono che la gestione sia assicurata dal Dipartimento della Protezione Civile, dalle Regioni e dalle Province Autonome, attraverso la rete dei Centri Funzionali, nonché dalle strutture regionali e dai centri di competenza.

La rete dei Centri Funzionali opera secondo criteri, metodi, standard e procedure comuni ed è componente del Servizio nazionale della Protezione Civile, con la finalità di fornire un servizio continuativo per tutti i giorni dell'anno e, se è il caso, su tutto l'arco delle 24 ore giornaliere, che sia di supporto alle decisioni delle autorità competenti e assolva alle necessità operative dei sistemi di protezione civile. Per la Regione Piemonte le competenze del Centro Funzionale sono attribuite ad Arpa Piemonte dalla Legge regionale n. 28 del 20 novembre 2002.

La Regione Piemonte, con Delibera di Giunta n. 37-15176 del 23 marzo 2005 e s.m.i. (B.U.R. n. 21 2° suppl. del 26 maggio 2005), ha approvato il «Disciplinare per la gestione organizzativa e funzionale del Sistema di Allertamento regionale ai fini di protezione civile» e dichiarato attivo il Centro Funzionale regionale presso Arpa Piemonte che è l'evoluzione della Sala Situazione Rischi Naturali, che dal 1996 aveva compiti di sorveglianza per il rischio idrogeologico del territorio regionale.



In virtù del ruolo operativo svolto da Arpa Piemonte sul territorio regionale, l'innovativa strumentazione e la metodologia testata nell'ambito transfrontaliero del progetto FRAMEA hanno potuto essere direttamente integrate nella prassi del Centro Funzionale.

Concretamente, l'assimilazione alla pregressa catena operativa ha determinato:

- l'integrazione nell'ambito dei dati di monitoraggio della rete idro-meteorologica piemontese;
- l'elaborazione di appositi algoritmi, per il raffinamento della stima di pioggia;
- l'elaborazione di appositi algoritmi per l'integrazione dei dati nel mosaico radar regionale e transfrontaliero;
- l'integrazione dei dati nell'elaborazione di previsioni a brevissimo termine (*nowcasting*);
- integrazione degli elaborati nel servizio regionale di supporto alle decisioni, erogato per mezzo di Ruparpiemonte (fig. 5.3a.1), tramite l'implementazione di opportune procedure informatiche.

Rilevanti benefici della suddetta integrazione si rilevano nella gestione delle aree montane e transfrontaliere, ove la nuova strumentazione permette una conoscenza dello stato attuale e una attività di pre-

Grâce au rôle opérationnel joué par Arpa Piemonte sur le territoire régional, l'instrumentation novatrice et la méthodologie testée dans le cadre transfrontalier du projet FRAMEA ont pu être directement intégrées aux activités du « Centro funzionale ».

Concrètement, l'assimilation à la chaîne opérationnelle précédente a permis :

- *l'intégration en matière de données de contrôle du réseau hydro-météorologique piémontais ;*
- *l'élaboration d'algorithmes spécifiques pour l'amélioration de l'estimation des pluies ;*
- *l'élaboration d'algorithmes spécifiques pour l'intégration des données dans la mosaïque radar régionale et transfrontalière ;*
- *l'intégration des données dans l'élaboration de prévisions à très court terme (nowcasting) ;*
- *l'intégration des documents réalisés dans le cadre du service régional de support aux décisions, par le biais de Rupapiemonte (fig. 5.3a.1), à travers la mise en œuvre de procédures informatiques adaptées.*

D'importants bénéfices provenant de l'intégration susmentionnée sont visibles dans la gestion des zones montagneuses et transfrontalières, où la nouvelle

Fig. 5.3a.1

La pagina di consultazione dei servizi di previsione e monitoraggio su Ruparpiemonte

La page de consultation des services de prévision et de contrôle sur Ruparpiemonte



instrumentation permet une connaissance de l'état actuel et une possibilité de prévision à court et à très court terme qui définit un instrument de gestion spécifique pour les zones où les conditions topographiques et les précédentes limitations technologiques constituaient un frein important.

Le radar METEOR 50 DX est également utilisé comme couverture en cas de blocage des radars fixes opérationnels en période d'entretien programmé.

Outre les services opérationnels fournis en qualité de « Centro funzionale », Arpa Piemonte a expérimenté les fonctionnalités de l'implémentation conjugulée italo-française pour la réalisation de services « just in time » à fournir en tant que support d'événements culturels sportifs (fig. 5.3a.2). ■

visione a breve e brevissimo termine che definisce uno strumento gestionale proprio laddove le condizioni topografiche e le precedenti limitazioni tecnologiche costituivano un forte limite.

Il radar METEOR 50 DX viene anche utilizzato come copertura nel caso di blocco dei radar fissi operativi in periodi di manutenzione programmata.

Accanto ai servizi operativi erogati in qualità di Centro Funzionale, Arpa Piemonte ha sperimentato le funzionalità della congiunta implementazione italo-francese per la realizzazione di servizi just in time, da erogare a supporto di eventi culturali e sportivi (fig. 5.3a.2). ■



Fig. 5.3a.2

Sperimentazione del Meteor 50 DX a supporto della maratona di Roma - 18 marzo 2007

Expérimentation du Meteor 50 DX dans le cadre du marathon de Rome - 18 mars 2007

5.3.b Il trasferimento ai servizi operativi

Jacques Lavabre, Jean-Paul Mizzy

Il metodo AIGA viene impiegato da Météo France in tempo reale. Ogni 15 minuti il metodo produce una mappa dei rischi pluviometrico e idrologico, come quelle presentate in **figura 5.3b.1**, realizzata in occasione dell'avvenimento del settembre 2006, che ha colpito principalmente il Dipartimento del Var e le Alpi Marittime.

Transfert vers les services opérationnels

Jacques Lavabre, Jean-Paul Mizzy

La méthode AIGA est exploitée, en temps réel, à Météo France. Chaque 15 minutes, la méthode produit une carte des risques pluviométrique et hydrologique, telle que celles présentées **figure 5.3b.1** qui a été émise lors de l'événement de septembre 2006 qui a principalement frappé le Département du Var et les Alpes Maritimes.

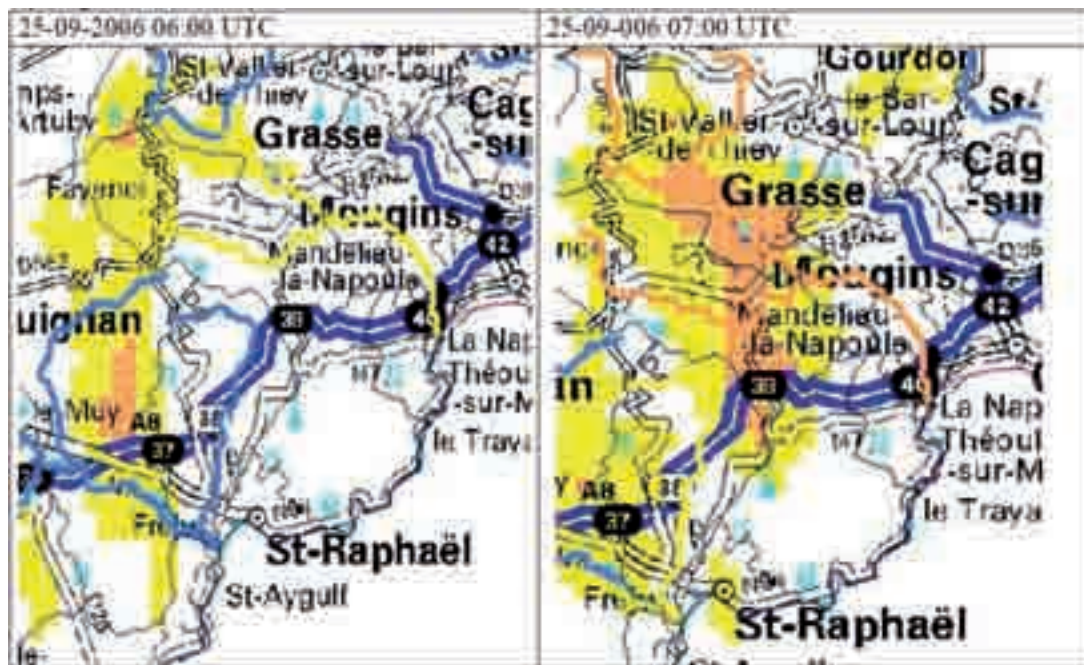


Fig. 5.3b.1

Evento del 25 settembre 2006 sul Dipartimento del Var e delle Alpi Marittime: rischio pluviometrico e idrologico

Evènement du 25 septembre 2006 sur le Département du Var et des Alpes maritimes : risque pluviométrique et hydrologique

AIGA affiche sur cette carte le risque inhérent aux cumuls de pluie sur les deux dernières heures. On note une zone qualifiée en orange autour du Muy et de Grasse et une étendue de la zone jaune sur l'est du Département du Var.

Ce genre d'information est extrêmement précieux tant pour les services en charge de la vigilance (Météo-France, SCHAPI et SPC) que pour les services ayant à mettre en œuvre les moyens de sauvegarde des personnes et des biens (Préfecture, Service Départementaux Incendie et Secours, Etat Major de Zone), et qui doivent gérer la crise en temps réel. Ces cartes permettent d'appréhender d'un simple coup d'oeil la zone géographique affectée et la gravité du risque pluvial. Notons aussi (diverses études ont été conduites sur ce sujet) la bonne concordance de l'affichage du risque pluvial avec le nombre d'intervention des pompiers. Pour la situation de septembre 2006 il y a eu 210 interventions de pompiers le 25 septembre 2006 recensées à 11h57 concernaient des sauvetages de personnes, 75 des inondations et 15 des routes barrées. ■

AIGA visualizza su tale mappa il rischio inerente alle cumulate di pioggia nelle ultime due ore. Si nota una zona contrassegnata in arancione attorno a Le Muy e a Grasse e un'estensione della zona gialla sulla parte est del Dipartimento del Var.

Questo genere d'informazione è estremamente prezioso sia per i servizi incaricati della vigilanza (Météo-France, SCHAPI e SPC), sia per i servizi che devono mettere in atto le misure di protezione di persone e cose (Prefettura, Servizio Dipartimentale Incendi e Soccorso, Stato Maggiore di Zona) e che devono gestire la crisi in tempo reale. Queste mappe permettono d'identificare con un semplice colpo d'occhio la zona geografica colpita e la gravità del rischio meteorologico. Notiamo anche (diversi studi sono stati condotti su questo tema) la buona concordanza tra la visualizzazione del rischio meteorologico e il numero d'interventi dei pompieri. Per la situazione del settembre 2006 vi sono stati 210 interventi dei pompieri il 25 settembre, quantificati in 11 ore. 57 riguardavano il salvataggio di persone, 75 inondazioni e 15 strade ostruite. ■





www.technik
elektronik

6.1 Osservazioni sul contesto transfrontaliero

Monica Ponzone

Il quadro di intervento futuro si compone nel contesto delle politiche europee definite per il prossimo settennato 2007-2013 e nell'ambito delle nuove specificità climatiche che si stanno manifestando a livello mondiale.

La revisione della Strategia di Lisbona e Göteborg disegnano il riferimento per gli interventi e l'implementazione dei servizi fondamentali per lo sviluppo economico dei Paesi europei. L'orientamento si focalizza sullo Strategie di Sviluppo Sostenibile nell'ambito delle quali la gestione dei rischi naturali si articola inter-

Observations sur le contexte transfrontalier

Monica Ponzone

Il quadro d'intervento futuro s'inserisce nel contesto delle politiche europee definite per il prossimo settennato 2007-2013 e nel quadro delle nuove specificità climatiche che sono in traino a livello mondiale.

La révision de la Stratégie de Lisbonne et de Göteborg constitue un point de repère pour les interventions et l'implémentation des services fondamentaux pour le développement économique des Pays européens. L'orientation se focalise sur les stratégies de développement durable dans le cadre desquelles la gestion des risques natu-

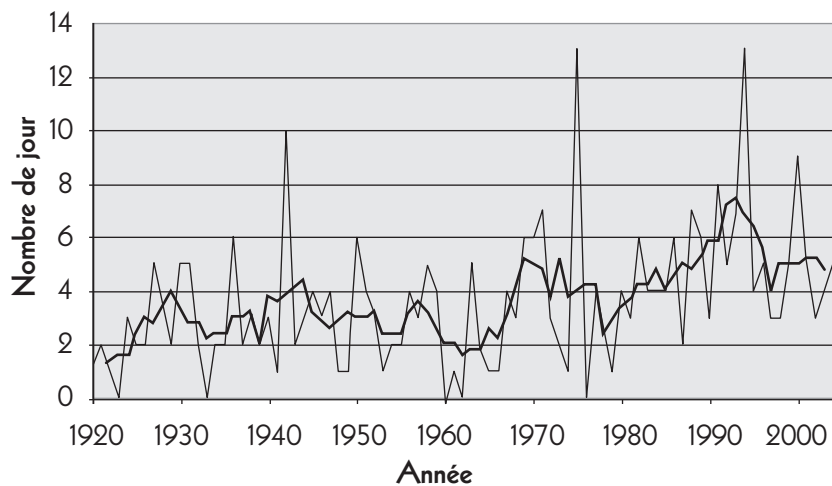


Fig. 6.1.1

Serie temporale del numero di giorni che contano cento o più comuni interessate dalla grandine fra il 1920 e il 2005. Il trend positivo dei giorni di grandine tra il 1980 e il 1994 è evidente (Hans-Heinrich Schiesser in "Le changement climatique en Suisse en 2050" 2007 OCCC/Proclim)

Série temporelle du nombre de jours qui concernent cent ou plus de cent communes touchées par la grêle entre 1920 et 2005. L'évolution positive des jours de grêle entre 1980 et 1994 est évidente (Hans-Heinrich Schiesser dans « Le changement climatique en Suisse en 2050 » 2007 OCCC/Proclim)

rels s'articule intersectoriellement avec la croissance économique et durable des régions européennes.

À cela s'ajoutent les recrudescences climatiques provoquées par le changement global, qui requièrent à leur tour des politiques de gestion novatrices en termes de mitigation et d'adaptation.

En prêtant une attention particulière au milieu transfrontalier italo-français, les nouvelles conditions environnementales et politico-stratégiques entraînent des retombées tout à fait particulières, compte tenu de la sensibilité et de la fragilité de l'écosystème et des économies alpines.

Le changement climatique provoque dans ce domaine une augmentation remarquable des précipitations intenses, brèves et localisées, mais caractérisées par un potentiel de destruction énorme, notamment si celui-ci est comparé à la dimension typiquement réduite, souvent familiale, des réalités économiques transfrontalières.

De même, les zones situées au pied des montagnes et les zones de plaines, dont la réalité économique est florissante, sont elles aussi concernées par le phénomène du Changement Climatique en raison de son impact sur la gestion des grandes villes à la forte densité d'habitation et des multiples services fournis.

Les services météorologiques doivent soutenir, tout en s'adaptant, les nouvelles exigences d'intervention en faveur d'un développement économique régional harmonieux.

Le projet FRAMEA, bien à l'avance, a déjà axé ses activités sur les phénomènes de « flash flood » dans les petits bassins de montagne : des phénomènes qui, de par leur nature, ne sont pas prévisibles longtemps à l'avance et requièrent une prompt intervention « early warning » de management territorial.

Les domaines d'action dans lesquels les services peuvent œuvrer pour atteindre les objectifs susmentionnés sont multiples :

- services de support à la planification et à la gestion du secteur agricole ;
- services de support aux activités touristiques, culturelles et sportives ;
- services de support à la gestion des événements extrêmes pour la gestion du trafic routier à travers les cols transfrontaliers et sur le réseau régional ;
- services de support à la gestion du trafic aérien ;
- services de support à la gestion des zones urbaines.

Il en découle un tableau d'action tourné vers la gestion synergique et contemporaine en termes de multirisque.

settorialmente con la crescita economica e durevole delle regioni europee.

A ciò si sovrappongono le recrudescenze climatiche indotte dal Cambiamento Globale, che a loro volta richiedono politiche gestionali innovative in termini di mitigazione ed adattamento.

Rivolgendo il *focus* all'ambito transfrontaliero italo-francese, le nuove condizioni ambientali e politico-strategiche determinano ricadute affatto peculiari, in considerazione della sensibilità e fragilità dell'ecosistema e delle economie alpine.

Il Cambiamento Climatico induce in tale dominio un marcato aumento degli eventi precipitativi intensi, brevi e localizzati, ma con un potenziale distruttivo enorme, soprattutto se comparato alla dimensione tipicamente ridotta, spesso familiare, delle realtà economiche transfrontaliere.

Le aree pedemontane e di pianura d'altro canto, forti di una realtà economica fiorente, vengono a loro volta interessate dal fenomeno del Cambio Climatico, per il suo impatto sulla gestione delle *megacities* ad alta densità abitativa e dei molteplici servizi erogati.

I servizi meteorologici devono in definitiva sostenere, adattandosi, le nuove esigenze di intervento a favore di un armonioso sviluppo economico regionale.

Il progetto FRAMEA, con acuta anticipazione, ha già concentrato le proprie attività sui fenomeni di *flash flood* in piccoli bacini montani: fenomeni per loro natura non prevedibili con largo anticipo e che richiedono un pronto intervento (*early warning*) di management territoriale.

Molteplici sono altresì ulteriori ambiti di azione nei quali i servizi possono operare secondo le predette finalità:

- servizi di supporto alla pianificazione e gestione del settore agricolo;
- servizi a supporto delle attività turistiche, culturali e sportive;
- servizi di supporto alla gestione degli eventi estremi per la gestione del traffico veicolare attraverso valichi transfrontalieri e sul reticolo regionale;
- servizi di supporto alla gestione del traffico aereo;
- servizi a supporto della gestione delle aree urbane.

Ne deriva un quadro di azione orientato alla gestione sinergica e contemporanea in chiave multirischio.





Per il primo argomento, la produzione agricola, essa costituisce una voce non indifferente nell'economia di tutte le aree di cooperazione transfrontaliera Italia-Francia. Accanto all'agricoltura intensiva di pianura, la produzione agro-pastorale montana rappresenta un retaggio culturale fondamentale, nonostante l'incremento della fascia boschiva per abbandono progressivo di terreni coltivabili.

D'altro canto, per tutte le zone altimetriche in oggetto, le indicazioni della revisione della politica agricola europea protendono verso produzioni di qualità ("filie-re di eccellenza") anche a complemento della realtà turistica, il che incrementa il valore del prodotto per unità di area e la conseguente gravità in caso di perdita del raccolto. A fini pianificatori si richiede quindi una definizione dettagliata e coerente delle aree maggiormente soggette a rischio di precipitazioni intense e distruttive, per non disperdere interventi pre e post evento.

Sulla base della fase fenologica inoltre, l'erogazione di un servizio *just in time* che permetta l'oculata somministrazione di fitofarmaci e l'intervento di raccolta, possono limitare opportunamente le perdite salvaguardando profitti e la qualità del prodotto.

L'agricoltura si articola con la crescente forma di *green tourism*, con realtà agrituristiche sia montane che collinari le quali, pur definendo una positiva multifunzionalità economica, ugualmente necessitano del medesimo servizio di assistenza e *risk management*.

L'attrattiva turistica è una delle voci principali dell'economia dell'area Alcotra. Qui si concentrano alcuni dei poli turistici montani, balneari e lacustri più rinomati a livello mondiale e centri collinari eno-gastronomici di eccellenza. La valorizzazione dell'ampia estensione di aree naturali e protette ha negli anni ulteriormente risaltato, su tutto il territorio, gran parte dei beni culturali e artistici. L'aumento della frequentazione degli spazi aperti, in aree a topografia complessa, richiede nuove procedure di salvaguardia mentre manca ancora una opportuna, tempestiva e accurata distribuzione dell'informazione.

Le aree transfrontaliere italo-francesi sono profondamente innervate da un reticolo stradale ad alto traffico: esse rappresentano un crocevia fondamentale di transito verso l'Europa del Nord e per un percorso Est-Ovest. Tale posizione strategica ha storicamente rappresentato un elemento di fortuna economica delle aree medesime e d'altro canto il traffico su gom-

Au sujet du premier point, celui de la production agricole, il constitue un secteur non négligeable dans l'économie de toutes les zones de coopération transfrontalière Italie-France. Outre l'agriculture intensive de plaine, la production agro-pastorale de montagne représente un héritage culturel fondamental malgré l'augmentation de la zone boisée en raison de l'abandon progressif des terrains cultivables.

De même, pour toutes les zones altimétriques ciblées, les indications de la révision de la politique agricole européenne se tournent vers des productions de qualité (« filières d'excellence »), en synergie avec la réalité touristique, ce qui amplifie la valeur du produit par unité de zone, mais aussi l'ampleur de la gravité en cas de perte de la récolte. Dans un but de planification, une définition détaillée et cohérente des zones les plus soumises aux risques de précipitations intenses et destructrices est, par conséquent, requise afin de ne pas disperser les interventions pré et post événement.

En outre, suivant la phase phénologique, la fourniture d'un service « just in time » permettant la distribution judicieuse de produits phytosanitaires ainsi que l'intervention de récolte peuvent limiter de manière adaptée les pertes, tout en sauvegardant les profits et la qualité du produit.

L'agriculture s'articule selon la forme croissante de tourisme vert au travers de réalités agritouristiques aussi bien de montagnes que collinaires qui, bien que définissant une multifonctionnalité économique positive, nécessitent également du même service d'assistance et de gestion des risques.

L'attrait touristique est l'une des composantes principales de l'économie de la zone Alcotra. c'est ici qui se concentrent plusieurs des pôles touristiques montagnards, balnéaires et lacustres les plus célèbres au niveau mondial ainsi que des centres collinaires eno-gastronomiques d'excellence. La valorisation de la vaste étendue de zones naturelles et protégées a, au fil des années, ultérieurement mis en évidence, sur l'ensemble du territoire, une grande partie des biens culturels et artistiques. L'augmentation de la fréquentation des espaces ouverts, dans les zones à topographie complexe, requiert de nouvelles procédures de sécurité, tandis qu'il manque toutefois encore une distribution de l'information adaptée, rapide et précise.

Les zones transfrontalières italo-françaises sont profondément enrichies par un réseau routier à forte affluence : elles représentent un carrefour stratégique de transit vers l'Europe du Nord et pour un parcours allant d'Est en Ouest. Cette position stratégique a représenté historiquement un élément de gain économique de ces mêmes zones et le

trafic routier ne semble d'ailleurs pas enclin pour le moment à inverser la tendance de croissance (fig. 6.1.2).

Les principales liaisons routières transfrontalières sont le col du Petit-Saint-Bernard, le tunnel du Mont Blanc, le tunnel du Fréjus, le col du Montgenèvre, le col de la Madeleine/Larche, le tunnel du col de Tende et le passage côtier de Vintimille/Menton. Les événements météorologiques extrêmes, aussi bien en été qu'en hiver, provoquent d'importants dégâts et des potentiels d'accidents très élevés. Par conséquent, il est demandé aux services opérationnels de fournir des supports décisionnels adaptés à la gestion de cette typologie de risque en fournissant, de manière largement anticipée, les informations nécessaires à l'intervention.

Les zones de coopération italo-françaises disposent également d'importantes escales aéroportuaires dont la gestion est entravée par des adversités atmosphériques intenses. Une amélioration des services fournis pour le trafic aérien est une solution de soutien économique indispensable, compte tenu des répercussions que les problèmes aériens comportent pour le trafic des marchandises et des passagers.

ma non sembra per ora destinato ad invertire il trend di crescita (fig. 6.1.2).

I principali collegamenti stradali transfrontalieri sono il valico del Piccolo San Bernardo, il traforo del Monte Bianco, il traforo del Frejus, il colle del Montgenèvre, il colle della Maddalena/Larche, il traforo del colle di Tenda e il passaggio costiero di Ventimiglia-Mentone. Eventi meteorologici estremi sia in estate che in inverno, arrecano disagi importanti e potenziali incidentali altissimi. Si richiede quindi ai servizi operativi di fornire supporti decisionali atti alla gestione di questa tipologia di rischio, offrendo con tempestivo anticipo le informazioni necessarie all'intervento.

Le aree di cooperazione italo-francesi dispongono altresì di importanti scali aeroportuali la cui gestione è messa in impedimento da avversità atmosferiche intense. Un raffinamento dei servizi erogati per il traffico aereo è una chiave di sostegno economico imprescindibile, per tutte le ricadute che i disagi aerei comportano per traffico merci e passeggeri.



Sviluppo del trasporto merci attraverso le Alpi (traffico interno, d'importazione; d'esportazione e di transito) su strade e rotaie nell'arco alpino A*

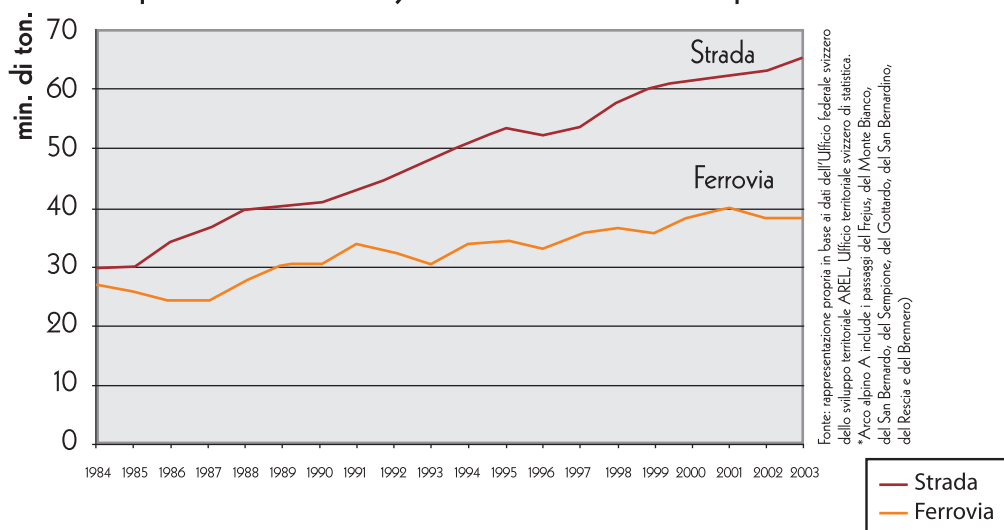


Fig. 6.1.2

Sviluppo del trasporto merci attraverso le Alpi (dati ARE, modificato)

Développement du transport des marchandises à travers les Alpes (données ARE, modifié)



Le aree costiere e di pianura della zona di cooperazione Alcotra si caratterizzano per alta densità abitativa e fitto tessuto economico. Notevole in particolare la forte concentrazione urbana nell'alta pianura piemontese, lungo il litorale marino e nel tratto del *sillon alpin*, con Annecy e Chambéry. I nuclei urbani maggiori si confrontano con problematiche gestionali concentrate ed fortemente aggravate dall'accadimento di eventi meteorologici estremi.

Le condizioni meteorologiche rappresentano un fattore importante nella gestione delle aree metropolitane sia indirettamente, in qualità di forzanti, sia quali causa diretta di emergenze. Forti temporali e fenomeni estremi condizionano le attività antropiche, il sistema dei trasporti, i sistemi di telecomunicazioni e le forniture energetiche. Precipitazioni intense ed improvvise, spesso accompagnate da grandine e forti raffiche di vento, possono causare allagamenti, talvolta anche estesi, interruzioni di corrente elettrica e danni ingenti a veicoli ed opere.

L'evento che ha interessato la città di Torino il 20 giugno 2007, con oltre 100 mm in poco più di un'ora in centro città, ha messo bene in evidenza la vulnerabilità delle aree metropolitane ai fenomeni precipitativi intensi (**fig. 6.1.3**).

L'incremento di mobilità e del numero di veicoli registrato negli ultimi decenni ha inoltre reso la viabilità metropolitana un ulteriore elemento di criticità

Les zones côtières et de plaine de la région de coopération Alcotra se caractérisent par une densité d'habitation élevée et un tissu économique dense. Notamment, la forte concentration urbaine dans la haute plaine piémontaise, le long du littoral marin et dans le tronçon du sillon alpin avec Annecy et Chambéry est remarquable. Les plus grands noyaux urbains doivent faire face à des problématiques de gestion concentrées et fortement aggravées par la manifestation d'événements météorologiques extrêmes.

Les conditions météorologiques représentent un facteur important dans la gestion des zones métropolitaines aussi bien indirectement, en qualité de données forçantes, que comme cause directe d'urgences. Les violents orages et les phénomènes extrêmes conditionnent les activités anthropiques, les systèmes des transports, les systèmes de télécommunications et les fournitures énergétiques. Les précipitations intenses et soudaines, souvent accompagnées de grêles et de fortes rafales de vent, peuvent causer des inondations, parfois même importantes, des interruptions de courant électrique ainsi que des dommages considérables au niveau des véhicules et des structures.

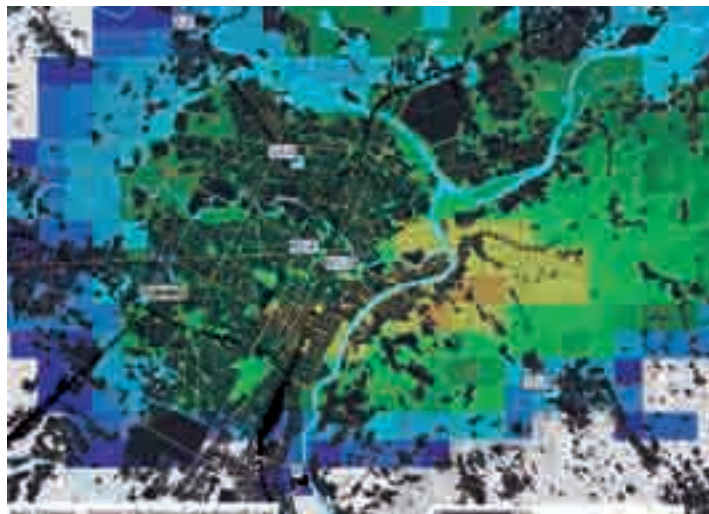
*L'événement qui s'est produit à Turin le 20 juin 2007, avec plus de 100 mm en un peu plus d'une heure dans le centre ville, a bien mis en évidence la vulnérabilité des zones métropolitaines face aux phénomènes de précipitations intenses (**fig. 6.1.3**).*

En outre, l'augmentation de la mobilité et du nombre de véhicules enregistrés au cours des dernières décennies

Fig. 6.1.3

Precipitazione cumulata relativa all'evento del 20 giugno 2007. In arancio sono indicate le piogge comprese tra 90 e 100 mm

Précipitation cumulée relative à l'événement du 20 juin 2007. Les pluies comprises entre 90 et 100 mm sont indiquées en orange



a fait de la viabilité métropolitaine un nouvel élément de vulnérabilité des zones urbaines, avec de lourds impacts sur les villes lors de pluies, chutes de neige, brouillards denses ou vents violents.

Pour répondre de manière efficiente et efficace à tous les défis engendrés par la complexité intersectorielle des retombées des risques naturels, la clef de voûte est définie par une approche multirisque des services fournis et de la distribution des données en temps réel.

À ce sujet, l'ICT offre des solutions adaptées ne dépendant pas du contexte altimétrique.

De même, le degré de diffusion de la large bande dans toute la zone concernée définit une infrastructure existante convenable pour l'implémentation des services requis. ■

tà delle aree urbane, con gravi impatti sulle città in concomitanza di piogge, nevicate, nebbie fitte o forti venti.

Per rispondere in modo efficiente ed efficace a tutte le sfide poste dalla complessità *cross-sectoral* delle ricadute dei rischi naturali, la chiave di volta è definita da un approccio multirischio dei servizi erogati e dall'impiego di distribuzione dei dati in *real time*.

In questo quadro l'ICT offre opportune soluzioni non dipendenti dal contesto altimetrico.

D'altro canto il grado di diffusione della banda larga in tutta l'area di interesse¹ definisce una infrastruttura in essere a disposizione per l'implementazione dei servizi richiesti. ■



¹Per quanto riguarda la copertura di reti informatiche, in Italia la Provincia di Torino risulta ben infrastrutturata al punto che la popolazione "coperta", cioè raggiunta dal servizio a banda larga ADSL (e quindi potenziale utilizzatrice) risulta superiore al 75% della popolazione residente, mentre nella Provincia di Cuneo e nella Valle d'Aosta la copertura riguarda meno del 50% della popolazione residente. Posizione intermedia è invece quella della Provincia di Imperia dove una percentuale di popolazione tra il 50 e il 75% risulta connettibile alla rete ADSL. Per quel che riguarda la Francia è possibile notare come le connessioni ad alta velocità abbiano raggiunto buona parte della popolazione francese: solo le Hautes Alpes e le Alpes de Haute-Provence risultano avere meno del 90% della popolazione residente coperta dalla rete ad alta velocità, mentre nel Dipartimento delle Alpes Maritimes tale tasso supera il 96%. ALCOTRA 2007-2013 PROGRAMMA OPERATIVO – DESCRIZIONE DELL'AREA DI COOPERAZIONE

¹Quant à la couverture de réseaux informatiques en Italie, la Province de Turin apparaît comme étant riche en infrastructures. En effet, la population « couverte », c'est-à-dire la population concernée par le service à large bande ADSL (et devenant, par conséquent, un utilisateur potentiel) est supérieure à 75% de la population résidente, tandis que dans la Province de Cuneo et dans la Vallée d'Aoste, la couverture concerne moins de 50% de la population résidente. La Province d'Imperia occupe une place intermédiaire puisque entre 50% et 75% de la population peut se connecter au réseau ADSL. Concernant la France, on peut remarquer que les connexions à haut débit ont atteint une grande partie de la population française : seules les Hautes Alpes et les Alpes de Haute-Provence enregistrent un pourcentage de moins de 90% de population résidente couverte par le réseau à haut débit, tandis que dans le Département des Alpes Maritimes, cette valeur dépasse 96%. ALCOTRA 2007-2013 PROGRAMME OPÉRATIONNEL – DESCRIPTION DE LA ZONE DE COOPÉRATION

6.2

Le nuove sfide



Jacques Lavabre

Il progetto FRAMEA ha dato buoni risultati considerando che, in un periodo di tempo relativamente breve, sono stati conseguiti ambiziosi obiettivi, ovvero la costruzione di sofisticati dispositivi sperimentali, quali i radar in banda X, la loro delicata installazione operativa, l'acquisizione e la trasmissione di dati in tempo reale, il trattamento delle informazioni, il controllo delle stime di precipitazione, l'applicazione di strumenti di previsione e l'allerta per il rischio piene.

Ma al di là di queste sfide tecniche si devono ricordare due elementi essenziali:

- la buona collaborazione tra i partner transfrontalieri, che si è rivelata sempre più marcata nel corso delle numerose riunioni di lavoro che hanno punteggiato le principali fasi del progetto;
- i risultati molto incoraggianti, che permettono di prendere in considerazione il proseguimento delle azioni di ricerca e di sviluppo che sono state iniziate in occasione del progetto.

Noi inquadrano le nuove sfide secondo 2 livelli:

- continuare la collaborazione transfrontaliera allo scopo di migliorare i trasferimenti di conoscenza;
- impegnarsi in operazioni di più ampia portata, che consisterebbero nell'infittire l'attuale rete dei radar, allo scopo di ottenere un tasso di copertura vicino al 100% per la zona Provence-Alpes-Côte d'Azur.

La collaborazione transfrontaliera si potrebbe proseguire sul bacino della Roia. Questo corso d'acqua ha una parte del suo bacino idrografico in Italia e un'altra in Francia. Le problematiche sono forti nella zona a valle, specialmente nel comune di Ventimiglia, che è particolarmente vulnerabile alle inondazioni.

Questo bacino è parzialmente coperto dal radar a banda X francese installato sul Mont Vial. Campagne di misura condotte congiuntamente col radar mobile ita-

Les nouveaux défis

Jacques Lavabre

Le projet FRAMEA a été très enrichissant. Tous d'abord félicitons-nous d'avoir, dans un délai de temps relativement court, atteint les objectifs ambitieux du projet : construction de dispositifs expérimentaux sophistiqués tels que les radars en bande X, leur mise en place opérationnelle qui est une opération délicate, l'acquisition et la transmission des données en temps réel, le traitement des informations, le contrôle des estimations des taux précipitants, la mise en œuvre d'outils de prévision et l'alerte des crues.

Mais au-delà de ces défis techniques, il faut retenir deux éléments essentiels :

- la bonne collaboration entre les partenaires frontaliers qui s'est avérée de plus en plus marquée au cours des nombreuses réunions de travail qui ont ponctué les principales phases du projet ;
- les résultats très encourageant qui permettent d'envisager la poursuite des actions de recherche et développement qui ont été initiées lors du projet.

Nous situons les nouveaux défis selon 2 niveaux :

- continuer la collaboration transfrontalière afin d'améliorer les transferts de connaissance ;
- s'engager dans des opérations de plus grande envergure qui consisteraient à densifier le parc actuel des radars afin d'obtenir un taux de couverture proche de 100 % pour la zone Provence-Alpes-Côte d'Azur.

La collaboration transfrontalière pourrait se poursuivre sur le bassin de la Roia. Ce cours d'eau possède une partie de son bassin versant en Italie et une autre en France. Les enjeux sont forts sur la zone aval, notamment sur la commune de Vintimille qui est particulièrement vulnérable au regard des inondations.

Ce bassin est partiellement vu par le radar bande X français implanté sur le Mont Vial. Des campagnes de mesure effectuées conjointement avec le radar mobile

italien permettraient de croiser les résultats, de bien apprécier le taux de couverture du radar du Mont Vial et d'en apprécier la pertinence pour l'estimation en temps réel des champs précipitants. Si les résultats sont à la mesure de nos espérances, un dispositif transfrontalier opérationnel pourrait être mis en place.

Plus particulièrement pour la partie française, les objectifs du projet FRAMEA se poursuivent dans le cadre du contrat de projet Etat-Région.

Le projet initié conjointement par Météo-France et le Cemagref vise la constitution d'une plate-forme de services produisant des informations hydroclimatiques élaborées destinée, en particulier, aux collectivités locales, en appui de leurs missions de gestion des risques naturels liés à l'eau en général et aux précipitations (crues, érosion, glissement de terrain pour l'essentiel).

Les territoires visés sont à la fois des zones urbaines à forte densité de population dont le développement et la mise en sécurité des biens et des personnes ne peut se faire que sous contrainte d'une gestion efficace et équilibrée des aléas naturels, mais aussi des territoires de montagne, dont la sécurisation représente un véritable enjeu social et économique.

La finalité est triple :

- valoriser, à l'échelle de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur considérée comme une région « pilote », les recherches conduites dans le cadre du projet FRAMEA ;
- répondre à des besoins opérationnels de « services publics », en mettant à disposition des informations nécessaires à la prévision et la gestion des risques pour lesquels les précipitations sont déterminantes (inondations en zone urbaine et rurale, feux de forêt, mouvements de sols, avalanches) ;
- favoriser la compétitivité en innovant en matière d'équipements et de méthodes, en créant des opportunités de développement des prestataires privés, en contribuant à une meilleure sécurisation des populations et activités économiques sur des territoires exposés à des risques importants, et en fondant une stratégie opérationnelle exportable de gestion des risques naturels.

Le projet est à vocation opérationnelle mais inclut une forte composante de développements et d'innovations, en particulier en raison de son caractère pilote en France et en Europe, et de son important potentiel scientifique et technique. Sa dimension de recherche et développement partenariale produira des méthodes et des modules opérationnels d'alerte, de prévision et de pré-

liano permetterebbero d'incrociare i risultati, di valutare bene il tasso di copertura del radar del Mont Vial e di valutarne la pertinenza per la stima in tempo reale delle precipitazioni. Se i risultati sono all'altezza delle nostre speranze, si potrà mettere in piedi un sistema operativo transfrontaliero.

Più in particolare per la parte francese, gli obiettivi del progetto FRAMEA vengono perseguiti nel quadro del contratto di progetto Stato-Regione.

Il progetto iniziato congiuntamente con Météo-France e Cemagref mira alla costituzione di una piattaforma di servizi che produca informazioni idroclimatiche elaborate, destinate, in particolare, agli enti locali, in appoggio alle loro missioni di gestione dei rischi naturali connessi all'acqua in generale e alle precipitazioni (essenzialmente piene, erosione, frane).

I territori in questione sono sia zone urbane a forte densità di popolazione, il cui sviluppo e la cui messa in sicurezza di beni e persone possono avvenire solo sotto la sollecitazione di una gestione efficace ed equilibrata dei rischi naturali, ma anche territori di montagna, la cui messa in sicurezza rappresenta un vero e proprio problema sociale ed economico.

La finalità è triplice:

- valorizzare, a livello della regione Provence-Alpes-Côte d'Azur, considerata una regione « pilota », le ricerche condotte nel quadro del progetto FRAMEA;
- corrispondere a necessità operative di « servizi pubblici », mettendo a disposizione informazioni necessarie per la previsione e per la gestione dei rischi per i quali le precipitazioni sono determinanti (inondazioni in zona urbana e rurale, incendi forestali, frane, valanghe);
- favorire la competitività innovando in materia di attrezzature e di metodi, creando opportunità di sviluppo per fornitori privati di prestazioni, contribuendo a una migliore messa in sicurezza delle popolazioni e delle attività economiche su territori esposti a forti rischi, e creando una strategia operativa esportabile di gestione dei rischi naturali.

Il progetto è a vocazione operativa, ma include una forte componente di sviluppi e d'innovazioni, in particolare in virtù del suo carattere pilota in Francia e in Europa, e del suo importante potenziale scientifico e tecnico. La sua dimensione di ricerca e di sviluppo in partnership produrrà metodi e moduli operativi di allerta, di previsione e di prevenzione dei rischi natu-





rali “a valle” dell’informazione a monte generata dalle reti di misura e produrrà servizi destinati principalmente ad enti pubblici, con realizzazione del link coi moduli di gestione dei rischi.

La piattaforma poggerà su investimenti destinati a migliorare l’esistente rete di radar meteorologici (ARAMIS) e a installare ed integrare in questa rete un certo numero di radar “di prossimità” complementari, la cui localizzazione sarà determinata in funzione delle problematiche socio-economiche legate ai rischi naturali in questione, sia a livello locale, sia a livello regionale nonché in funzione delle sollecitazioni tecniche e geografiche. In effetti l’attuale rete di radar (ARAMIS) a vocazione nazionale, lascia importanti “buchi” nella copertura regionale, anche su zone a forte vulnerabilità idroclimatica (il bacino idrografico del Var, per esempio) l’investimento in radar dedicati rappresenta certamente il più forte valore aggiunto in materia di gestione contro i rischi naturali legati alle precipitazioni.

L’informazione a monte generata da sistemi osservativi (nondimeno più elaborata del semplice dato grezzo del radar) verrà prodotta da Météo-France a livello locale (dal territorio di prossimità al livello regionale) in modo da essere adattabile alla diversità delle necessità locali. Essa potrà venir elaborata a gradi diversi, sotto forma di prodotti di allerta, di previsione e di gestione dei rischi naturali, sia da parte di Météo-France e dei servizi dello Stato (SPC), sia da parte degli enti interessati (direttamente o in partnership pubblico/privato) o dei loro contraenti, in funzio-

vention des risques naturels, « en aval » de l’information amont issue des réseaux de mesure, et des services à destination principalement des collectivités, réalisant le lien avec les modules de gestion des risques.

La plate-forme reposera sur des investissements destinés à améliorer le réseau existant de radars météorologiques (ARAMIS) et à installer et intégrer à ce réseau un certain nombre de radars « de proximité » complémentaires, dont la localisation sera déterminée en fonction des enjeux socio-économiques liés aux aléas naturels en question, tant au niveau local que régional, et des contraintes techniques et de terrain. En effet, le réseau actuel de radars (ARAMIS), à vocation nationale, laisse d’importants « trous » dans la couverture régionale, y compris sur des zones à forte vulnérabilité hydroclimatique (le bassin versant du Var par exemple), et il est établi que c’est l’investissement en radars dédiés qui a la plus forte plus-value en matière de lutte contre les risques naturels liés aux précipitations.

L’information amont issue des systèmes d’observation (néanmoins plus élaborée que la simple donnée brute radar) sera produite par Météo-France à l’échelle locale (du territoire de proximité à l’échelle régionale) de façon à être adaptable à la diversité des besoins locaux. Elle pourra être élaborée à des degrés divers sous la forme de produits d’alerte, de prévision et de gestion des risques naturels, soit par Météo-France et les services de l’Etat (SPC), soit par les collectivités concernées (en direct ou en partenariat public/privé) ou leurs contractants, en fonction de considérations résultant du croisement aléa-vul-

néralité. Le service d'information amont sera, par exemple, de nature à permettre la mise en œuvre de services d'alerte pour les inondations sur l'essentiel des territoires concernés, tandis que le passage à un véritable service de prévision des crues nécessite une élaboration supplémentaire (en termes de modélisation technique, mais aussi organisationnelle) ainsi qu'un complément (le plus souvent) de réseau de mesure au sol spécifique.

Le produit livrable du projet est un système d'élaboration et de mise à disposition d'informations hydroclimatiques à destination des Services de l'Etat, des collectivités locales et des entreprises impliquées dans la gestion des risques naturels. Ces informations sont de plus en plus élaborées en fonction de la complexité des spécificités locales, construites à partir d'une analyse des besoins et des enjeux. Elles tirent partie en temps réel, via la mesure radar, de la connaissance de l'intensité, de la localisation et de l'extension spatiale des épisodes pluvieux et de la transformation de cette information pour l'élaboration des inputs directement assimilables dans les plans de gestion de crises.

Si le champ du projet et des expérimentations prévues est limité à la gestion des risques naturels directement influencés par les précipitations, il n'exclut pas des analyses qualitatives d'impacts potentiels des systèmes proposés sur d'autres applications, qui pourraient être validées et quantifiées par des activités en dehors du projet. ■

ne di considerazioni risultanti dall'incrocio rischio-vulnerabilità. Il servizio d'informazione a monte sarà, per esempio, di natura tale da permettere l'attuazione di servizi di allarme per le inondazioni sulla gran parte dei territori interessati, mentre il passaggio a un vero e proprio servizio di previsione delle piene ha bisogno di un'elaborazione supplementare (in termini di modellizzazione tecnica, ma anche organizzativa), nonché di un supplemento (il più delle volte) di rete di misurazione al suolo specifica.

Il prodotto che può essere consegnato dal progetto è un sistema di elaborazione e di messa a disposizione d'informazioni idroclimatiche destinate a servizi dello Stato, a enti locali e a imprese coinvolte nella gestione dei rischi naturali. Queste informazioni sono sempre più elaborate in funzione della complessità delle specificità locali, risultanti a partire da un'analisi delle necessità e dei problemi. Esse traggono profitto in tempo reale, attraverso la misurazione radar, dalla conoscenza dell'intensità, della localizzazione e dell'estensione spaziale degli episodi piovosi e dalla trasformazione di questa informazione per l'elaborazione degli input direttamente assimilabili nei piani di gestione di crisi.

Se il campo del progetto e delle sperimentazioni previste è limitato alla gestione dei rischi naturali direttamente influenzati dalle precipitazioni, esso non esclude analisi qualitative di potenziali impatti dei sistemi proposti su altre applicazioni, che potrebbero venir convalidate e quantificate da attività esterne al progetto. ■





FRAMMEA

Riferimenti Bibliografici

Bibliographie

ALCOTRA 2007-2013, Descrizione dell'area di cooperazione, Programma di Cooperazione transfrontaliera Italia-Francia (2007), 8-27

AA. VV. (2006), Il trasporto nello Spazio alpino: una sfida transfrontaliera – Progetto Interreg III B Alpine Space – Monitoraggio degli effetti del traffico stradale nello Spazio Alpino e misure comuni, Accademia Europea di Bolzano, 155

AA.VV. (2005), Improving the Synergies between the Structural Funds and the Lisbon Strategy, Speech at the UK EU Presidency Conference on Regional and Rural Development Programmes “Delivering the Lisbon and Göteborg Agendas”, Newcastle 7 – 8 November 2005

AA.VV. (2005), Thematic Evaluation of the Structural Funds' Contributions to the Lisbon Strategy, Synthesis Report, Danish Technological Institute, 227

AAVV. (2007), Il Piemonte nel cambiamento climatico - Progetto Interreg IIIB Alpine Space CLIMCHALPS – Climate Change, Impacts and Adaptation Strategies in the Alpine Space, Arpa Piemonte

Alpine Convention Protocols (1991), Spatial planning and sustainable development, Conservation of nature and the countryside, Tourism, Mountain farming, Transport

Arnaud P., Lavabre J., Sol B., Desouches C., (2006), Cartographie de l'aléa pluviographique de la France. *La Houille Blanche*. **5**, 102-111

Bringi V.N., Chandrasekar V. (2001), Polarimetric Doppler Weather Radar: Principles and Application, Cambridge University Press

Council of the European Union (2006), Community strategic guidelines on cohesion (2006/702/CE)

Diss S. (2006), Événement de septembre 2005 sur le bassin versant du Réal Collobrier. Analyse de la pluviométrie au sol et estimée par le radar de Météo-France. Projet FRAMEA

Diss S. (2006), Rapport d'évaluation du disdromètre implanté sur le site du Réal Collobrier. Analyse des événements pluvieux de mai à décembre 2005. Projet FRAMEA

Diss S. (2006), Rapport d'implantation du radar Hydrix sur le site du Réal Collobrier. Projet FRAMEA

Diss S. (2006), Rapport d'implantation d'un disdromètre sur le site du Réal Collobrier. Projet FRAMEA

Diss S., Scialom G., Le Bouar E., Testud J., Lavabre J., Cheze J.L. (2006), FRAMEA: an experimental campaign for severe storm survey and flood warning, associating an x-bend weather radar and a discharge hydrological model. Actes du colloque ERAD 2006, 4th European conference on radar in meteorology and hydrology. Barcelone, 18-22/09/2006, 429-431

Doviak R.J., Zrníc D.S. (1993), Doppler radar and weather observations, 2nd Edition. Academic Press

European Council (2006), Review of the EU Sustainable Development Strategy (EU SDS) DOC 10917/06

European Parliament and Council Regulation (EC) No 1080/2006, European Regional Development Fund and repealing Regulation (EC) No 1783/1999

European Parliament and Council Regulation (EC) No 1083/2006, General provisions on the European Regional Development Fund, the European Social Fund and the Cohesion Fund and repealing Regulation (EC) No 1260/1999

Fine J.A., Arnaud P., Lavabre J. (2005), Intérêt d'un modèle spatialisé pour la prévision des crues sur un bassin versant non homogène. Actes du Colloque SIRNAT, Montpellier 2005

Fouchier C., Arnaud P., Lavabre J., Mizzi J.P. (2007), AIGA: an operational tool for flood warning in Southern France. Principle and performances on Mediterranean flash floods. Assemblée générale de l'EGU 15-20/04/2007

Fourmigue P., Lavabre J. (2005), Prévision de crues avec le modèle conceptuel pluie-débit GR3H. Adaptabilité aux incertitudes sur la pluie. *Revue des Sciences de l'Eau*, n. 18/1, 87-102

Gorgucci E., Scarchilli G., Chandrasekar V. (1992), Calibration of radars using polarimetric techniques. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, n. 30, 853-858

Govi M. (1971), L'evento alluvionale del 12-15 giugno 1957 - I danni nei bacini del Piemonte e della Valle d'Aosta - *Estratto da 'Atti del XXI Congresso Geografico Italiano'*, Verbania 1971

Govi M., Mortara G., Sorzana P.F. (1985), Eventi idrologici e frane *Geol. Appl. e Idrog.*, vol. XX, parte 2, Bari, 359-375

Hoffmann C., Streifeneder T. (2006), The assessment of agricultural structures and rural development in the Alps. A municipality-scale analysis of the Alpine Convention area with specific focus on the situation in Italy, the Local Agro-Food Systems Network's Third International Congress "Food and Territories", ALTER 2006

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2007), Fourth Assessment Report: Climate Change 2007

Kruger A., Krajewski W.F. (2001), Two-Dimensional Video Disdrometer. A Description. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, n. 19, 602-617

Lavabre J, Fouchier C., Folton N., Gregoris Y. (2003), SHYREG : une méthode pour l'estimation régionale des débits de crue. Application aux régions méditerranéennes françaises. Ingénierie EAT, n° spécial Risque naturel et aménagement du territoire 2003, 97-111

Lavabre J. (1991), Le bassin versant de recherches du Réal Collobrier et le Groupement d'Intérêt Scientifique associé. Etudes de géographie physique, Travaux 1991, n° XX, URA 903 du CNRS, 99-103

Lavabre J., Fouchier C., Royet P., Gregoris Y. (2003), The event of September 8-9, 2002 on the Vidourle river catchment. 5th Plinius conference on mediterranean storms. European geosciences Union, Ajaccio. 291-297

Lavabre J., Fromental A.M., Fine J., Fourmigue P., Arnaud P. (2005), Utilisation de modèles de transformation de la pluie en débit pour la prévision des crues. Analyse des performances de différentes modélisations. Vingt-deuxième congrès des grands barrages, Barcelone, juin 2006, Q 87, 20

Lavabre J., Gregoris Y. (2005), AIGA : un dispositif d'alerte des crues sur l'ensemble du réseau hydrographique. *Ingénieries*, n. 44, 3-12

Lavabre J., Gregoris Y. (2006), AIGA : un dispositif d'alerte des crues. Application à la région méditerranéenne française. FRIEND 2006. Water Resource Variability : analyses and impacts. 27/11 au 1/12/2006. La Havana (Cuba). *AISH Publications* n. 308, 214-219

Lavabre J., Meriaux P., Nicoletis E., Cardelli B. (1996), La crue catastrophique du Var du 5 novembre 1994. In actes du colloque la prevenzione

delle catastrofi idrogeologiche : il contributo della ricerca scientifica, vol 2, Alba (Italia), 23 – 33

Le Bouar E., J. Testud and TD Keenan (2001), Validation of the rain profiling algorithm “ZPHI” from the C-band polarimetric weather radar in Darwin, *Jour. Atmosph. And Ocean. Technol.*, n. 18, 1819–1837

Mennella C. (1967), Il clima d'Italia: il clima d'Italia in generale. **Vol. 1** EDART, Napoli

Mennella C. (1970), Il clima d'Italia: il clima compartimentale della regione italiana

Min. LL. Ufficio Idrografico del Po (1913 - 1986), Annali Idrologici, *Poli-grafico dello Stato di Roma*

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Météo-France (2001) Pluies extrêmes sur le sud de la France, 1958-2000, CD Rom

Ministero per lo Sviluppo Economico – Dipartimento per le Politiche di Sviluppo e di Coesione (2007), (QSN) Quadro strategico nazionale per la politica regionale di sviluppo 2007-2013

Munich RE - Münchener Rück (2007) Topics Geo 2006, ITA: Le catastrofi naturali del 2006 - Analisi, valutazioni, posizioni

Neppel L., Arnaud P., Lavabre J. (2007), Cartographie des pluies extrêmes ; comparaison de deux approches appliquées en milieu méditerranéen. Compte rendu à l'Académie des Sciences. *C. R. Geoscience*, n. 339, 820–830

Organization for Economic Co-operation and Development OECD, Environment Directorate (2007) Climate change in the European Alps - adapting winter tourism and natural hazards management – OECD Publishing, 136

Parent du Châlelet (2003), Aramis : le réseau français de radars pour la surveillance des précipitations. *La Météorologie*, n. 40

Pruppacher H.R., Klett J.D. (1998), Microphysics of Clouds and Precipitation, 2nd Edition. Kluwer Academic Publishers

Regione Piemonte (2007), POR – Programma Operativo Regionale 2007-2013 – Obiettivo Competitività regionale ed Occupazione - CCI 2007 IT 162 PO 011

Royet P., Lavabre J., Fouchier C. (2003), Comportement hydrologique des barrages lors de la crue de septembre 2002 sur le Vidourle. Enseignements à en tirer. CFGB-MEDD. Colloque Technique "Barrages et développement durable en France" Paris 18/11/2003. Editions Cemagref, Actes de colloque. 15-28

Scarchilli G., Gorgucci E., Chandrasekar V., and Dobaie A. (1996), Self-consistency of polarization diversity measurement of rainfall. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, n. 34, 22–26

Smyth T.J., Illingworth A.J. (1998), Correction for attenuation of radar reflectivity using polarization data, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, n.124, 2393-2415

Stern N. et al. (2006), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press

Tabary P., Eideliman F. (2007), Comparaison des réflectivités bande S / bande X dans le cadre de FRAMEA, DSO/CMR/DEP

Testud J., E. Le Bouar, Obligis E., and Ali-Mehenni M. (1999), The rain profiling algorithm applied to polarimetric weather radar, *Jour. Atmosph. and Ocean. Technol.*, n.17, 332-356

Testud J., Lavabre J., Diss S., Tabary P. & Scialom G. (2007), HYDRIX radar in FRAMEA - Evaluation of an X band polarimetric radar using a quasi collocated S band radar and a rain gauge network. Proceedings of the "International Symposium on on band Weather Radar Network", Tsukuba Japan, *National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (Tsukuba, Japan) Oct. 5 2007*, 7-10

Testud J., Le Bouar E., Obligis E., Ali-Mehenni M. (2000), The rain profiling algorithm applied to polarimetric weather radar, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, n.17, 332–356

Testud J., Oury S., Black R.A., Amayenc P., Dou X. (2000), The concept of "normalized distribution" to describe raindrop spectra: a tool for cloud physics and cloud remote sensing, *Jour. Atmosph. and Ocean. Technol.*, 1118-1139, n. 40, Vol. 2, Fr.Ili Conte edizioni, Napoli.

FRAMEA

Note

Notes



alcotra

