HAL
open science

Gestion des CRues par Intégration des Systèmes transfrontaliers de prévision et de prévention des bassins versants Alpins

Samuele Bovo, J. Lavabre, R. Cremonini, V. Campana, L. Tomassone, R. Bechini, J. Testud, S. Diss, P. Tabary, G. Scialom, et al.

To cite this version:

Samuele Bovo, J. Lavabre, R. Cremonini, V. Campana, L. Tomassone, et al.. Gestion des CRues par Intégration des Systèmes transfrontaliers de prévision et de prévention des bassins versants Alpins. [Rapport de recherche] irstea. 2011, pp.98. hal-02597341

HAL Id: hal-02597341

https://hal.inrae.fr/hal-02597341v1

Submitted on 15 May 2020

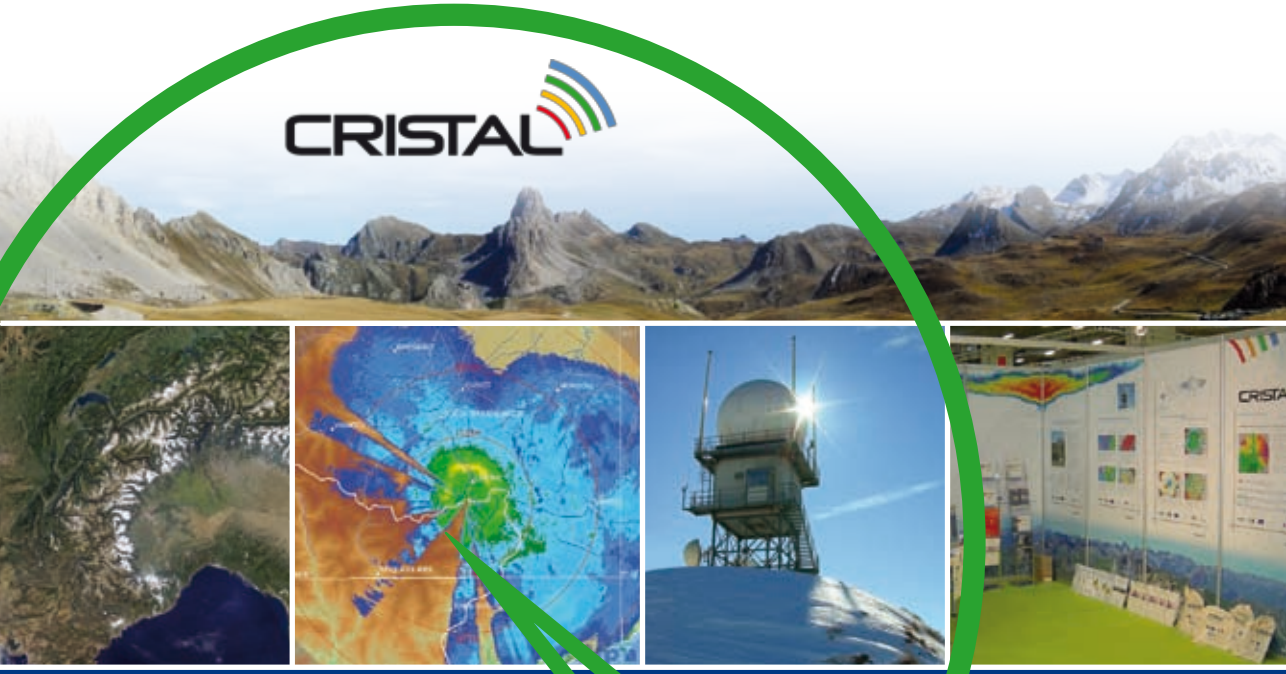
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PROGETTO/PROJET CRISTAL

Gestion des CRues par Intégration des Systèmes Transfrontaliers de prévision et de prévention des bassins versants Alpins

Gestione del rischio di esondazione tramite l'integrazione dei sistemi transfrontalieri di previsione e prevenzione dei bacini idrografici alpini.



Gestion des CRues par Integration des Systèmes Transfrontaliers de prévision et de prévention des bassins versants Alpins

Gestione del rischio di esondazione tramite l'integrazione dei sistemi transfrontalieri di previsione e prevenzione dei bacini idrografici alpini.

settembre 2011/*septembre 2011*

Titolo dell'opera / *Titre du document*
Gestion des CRues par Integration des Systèmes Transfrontaliers de prévision et de prévention des bassins versants Alpins.
Gestione del rischio di esondazione tramite l'integrazione dei sistemi transfrontalieri di previsione e prevenzione dei bacini idrografici alpini.

Autori / *Auteurs*
Anna Gaffodio, Roberto Cremonini, Renzo Bechini, Valentina Campana, Federica Bimbi, Arpa Piemonte, Dipartimento Sistemi Previsionali
Monica Ponzone, Arpa Piemonte, Area Funzionale Tecnica
Patrick Arnaud, Cemagref, Aix-en Provence
Jacques Testud, Emmanuel Moreau, Novimet
Didier Organde, Hydris-Hydrologie

Con la collaborazione di / *Avec la collaboration de*
Davide Tiranti, Arpa Piemonte, Dipartimento Sistemi Previsionali
Rocco Pispico, Arpa Piemonte, Geologia e Dissesto
Eugenio Gorgucci, Luca Baldini, ISAC-CNR

Fotografia di copertina / *Photographie de couverture*
Luca Tomassone, Arpa Piemonte

Fotografie / *Photos*
archivio Arpa Piemonte / *archive Arpa Piemonte*

La piena di Nartuby, Philippe CANTET, Cemagref.
Crue de la Nartuby, Philippe CANTET, Cemagref.

Coordinamento editoriale e redazionale / *Coordination éditoriale et rédactionnelle*
Arpa Piemonte, Comunicazione istituzionale e Area Funzionale Tecnica

Traduzione e validazione linguistica
Monica Ponzone, Federica Bimbi, Arpa Piemonte
Patrick Arnaud, Cemagref, Aix-en Provence
Jacques Testud, Novimet
Didier Organde, Hydris-Hydrologie

Ideazione e progetto grafico
Chroma, Torino

Finito di stampare nel mese di settembre 2011 presso la tipografia
Fini d'imprimer en septembre 2011 près de l'imprimerie
Litografia Viscardi, Alessandria

Stampato su carta riciclata al 100% che ha ottenuto il marchio di qualità ecologica Ecolabel Europeo
Imprimé sur papier recyclé à 100%, ayant obtenu la marque de qualité écologique Ecolabel Européen

ISBN 978-88-7479-101-9

Copyright © 2011, Arpa Piemonte
Via Pio VII, 9 – 10135 Torino – Italia

L'Arpa Piemonte e i partners non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo documento.
La riproduzione è autorizzata citando la fonte.
L'Arpa Piémont et les partenaires ne sont pas responsables de l'emploi qui pourrait être fait des informations contenues dans ce document. La reproduction est autorisée en citant la source.

Progetto realizzato nell'ambito del Programma Interreg Alcotra 2007 – 2013 e cofinanziato dall'Unione Europea, Fondo Europeo per lo sviluppo regionale.
Projet réalisé dans le cadre du Programme Interreg Alcotra 2007 – 2013 et cofinancé par l'Union Européenne, Fonds Européens pour le développement régional.

Partners del progetto CRISTAL
Partenaires du projet CRISTAL

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

«Una fenditura profonda centinaia di metri, tortuosa, imprevedibile, ricca di acque e di foreste e allo stesso tempo selvaggia e civile, feroce e soave, alpestre e marina»

Mario Soldati

PRESENTAZIONE

La variabilità fisica e morfologica delle valli alpine e prealpine, insieme ai fattori antropici, costituisce la principale ragione di vulnerabilità al rischio idrogeologico di questi territori: precipitazioni intense e localizzate, maggiormente frequenti per i cambiamenti climatici in atto, possono produrre dissesti e piene improvvise ad elevata energia. In alcune vallate si aggiunge il problema della sicurezza delle vie di comunicazione che è ad oggi uno dei più sentiti sia su scala locale sia su scala nazionale ed europea.

L'osservazione e la previsione a brevissimo termine – *nowcasting* – di fenomeni estremi nelle vallate sono spesso difficili; infatti in ambiente montano la variabilità morfologica influenza a tal punto la variabilità del campo di precipitazione da vanificare spesso il vantaggio di costose reti di monitoraggio a terra ad elevata densità. Per accessibilità le stazioni di misura sono sovente collocate nei fondi valle, con conseguente incertezza nella stima delle precipitazioni in quota. Infine la stima della precipitazione nevosa, oltre a rivestire primaria importanza nel bilancio idrologico e nella stima delle risorse idriche disponibili, è una condizione necessaria per una stima affidabile delle portate di piena. In questo contesto i bacini Vermenagna e Roja, dove clima mediterraneo ed alpino si confondono, valli dalla vocazione turistica ed importante collegamento tra Italia e Francia, rappresentano la priorità per la realizzazione di un sistema di gestione transfrontaliera in tempo reale del rischio idrogeologico.

Nel corso del progetto FRAMEA Interreg IIIA Alcotra 2000 - 2006 è stata sperimentata un'innovativa metodologia di stima della precipitazione in ambiente alpino, attraverso la realizzazione di due radar meteorologici in banda X; un radar installato al centro del Dipartimento delle Alpi Marittime sul Mont Vial ed un radar italiano, gestito da Arpa Piemonte, realizzato sulla base della medesima tecnologia ma mobile, quindi ricollocabile secondo le criticità del territorio. Recentemente la stima della precipitazione attraverso le misure radar meteorologiche in banda X è progredita con rapidità e numerosi progetti europei hanno ripercorso la strada indicata dal progetto FRAMEA: in particolare l'elaborazione delle misure radar meteorologiche con appropriati algoritmi permette ormai di minimizzare l'incertezza della stima, risolvendo con strumenti di remote sensing quanto non può essere affrontato con le reti al suolo.

Con il progetto CRISTAL della programmazione Alcotra 2007 - 2013, nelle aree alpine transfrontaliere delle valli Roja e Vermenagna è ora operativo un sistema di monitoraggio e *nowcasting* condiviso che rappresenta un fondamentale progresso per la sicurezza dell'area di cooperazione. Il progetto CRISTAL ha realizzato un'esperienza di collaborazione transfrontaliera applicabile alle altre vallate alpine di confine. Tale collaborazione transfrontaliera offre infine un enorme potenziale che vede, oltre alla gestione del rischio idrogeologico, una varietà di impieghi per la salvaguardia del territorio transfrontaliero e delle sue attività peculiari, siano esse turistiche, produttive, agricole, forestali o connesse al fondamentale ruolo di crocevia per spostamenti di beni e persone rappresentato dalle Alpi Latine.

Ing. Silvano Ravera

Direttore Generale di Arpa Piemonte

«Une fissure de plusieurs centaines de mètres de profondeur, tortueuse, imprévisible, pleine d'eau et de forêts et en même temps sauvage et civilisée, féroce et douce, alpestre et marine»

Mario Soldati

Ecrivain, metteur en scène italien, à propos de la Vallée Vermenagna

PRÉSENTATION

La variabilité physique et morphologique des vallées alpines et préalpines, unie aux éléments anthropiques, sont la principale raison de la vulnérabilité au risque hydrologique du territoire de la frontière franco-italienne : de fortes précipitations localisées, de plus en plus fréquentes en conséquence du changement climatique, peuvent provoquer inondations et glissements de terrain soudains et à haute énergie.

Dans certaines vallées, s'ajoute le problème des réseaux routiers, vu au niveau local, national voire européen.

L'observation et la prévision à très court terme – nowcasting – des phénomènes extrêmes dans les vallées sont souvent difficiles : dans un milieu montagneux, la variabilité morphologique influence si profondément la variabilité des champs de pluie, que la mise en place de réseaux pluviographiques, même denses, serait coûteuse et malgré tout insuffisante. Pour une raison d'accessibilité, les stations sont souvent placées au fond des vallées, ce qui introduit une forte incertitude sur l'estimation des précipitations en altitude. L'estimation des chûtes de neige, fondamentale pour le bilan hydrologique et l'évaluation des ressources hydriques disponibles, est aussi une condition nécessaire pour l'estimation fiable des débits de crue.

Dans ce contexte, les bassins versants de la Vermenagna et de la Roya, vallées présentant un important enjeu touristique et routier transfrontalier et où le climat méditerranéen et alpin se mélange, constituent une priorité pour la réalisation d'un système de gestion transfrontalière en temps réel du risque hydrologique.

Au cours du projet FRAMEA (Interreg IIIA Alcotra 2000-2006) une méthodologie innovante d'estimation de la précipitation dans le milieu alpin a été testée, par le biais de deux radars météorologiques en bande X : l'un, installé en France au centre du Département des Alpes Maritimes (Mont Vial) et l'autre, géré par l'Arpa Piemonte, basé sur la même technologie mais transportable, afin de pourvoir le déplacer selon les criticités qui peuvent affecter les deux territoires.

Récemment l'estimation de la précipitation à partir des mesures des radars météorologiques en bande X a fait de grands progrès, et de nombreux projets européens ont suivi le chemin marqué par FRAMEA. En particulier, le traitement des mesures des radars météorologiques par certains algorithmes permet désormais de réduire au minimum l'incertitude de l'estimation des pluies. Suite au projet CRISTAL (Programme Alcotra 2007-2013), un système de gestion et de prévision commun est opérationnel dans les zones alpines transfrontalières des vallées Roya et Vermenagna. Ce point montre une avancée fondamentale pour la sécurité dans la zone de coopération.

Le projet CRISTAL a mis en place une collaboration transfrontalière applicable aux autres vallées de la frontière. Cette collaboration transfrontalière ouvre enfin à un énorme potentiel d'action qui comprend, outre à la gestion du risque hydrologique, plusieurs applications pour la sauvegarde du territoire de coopération et de ses activités caractéristiques liées au tourisme, à la production, à l'agriculture, à l'exploitation des forêts ou au fondamental rôle de carrefour pour le passage de biens et personnes joué par les Alpes Latines.

Ing. Silvano RAVERA

Directeur Général de l'Arpa Piemonte

PRÉSENTATION

Conscients des risques naturels provoqués par les pluies violentes qui peuvent affecter son territoire et de la nécessité de compléter les moyens de suivis existants, le Conseil général des Alpes-Maritimes s'est engagé depuis 2004 dans des programmes de coopération transfrontalière ambitieux visant à développer des outils de surveillance météorologique innovants avec comme partenaire l'ARPA Piémont et le CEMAGREF.

Le projet « FRAMEA » (2004-2007) a vu naître deux radars compacts de nouvelle technologie en bande X. Côté français, ce radar météo, prénommé « Hydrix » et installé sur le Mont Vial à 1400 m d'altitude, permet depuis juin 2007 une couverture optimale du territoire des Alpes Maritimes, qui n'était jusque là pas ou peu couvert par les radars existants.

Après cette première expérience concluante, le travail de coopération a été poursuivi dès 2008 à travers le projet « Cristal » pour développer des applications opérationnelles pour nos territoires. Les expérimentations menées au cours de ce projet par les équipes scientifiques ont permis de démontrer la puissance de l'outil radar et l'efficacité des outils de prévisions dans la gestion des crises hydrométéorologiques sur le territoire des Alpes-Maritimes, que ce soit à l'échelle de petits bassins urbains que de bassins versants plus importants comme la Siagne, les Paillons et la Roya à cheval sur les deux pays.

Soucieux du transfert de ces technologies et de leur appropriation par les acteurs locaux, le Conseil général a apporté sa contribution en animant à plusieurs reprises des journées d'informations associant de nombreuses collectivités territoriales. Au final, ces deux projets de coopération constituent indiscutablement un succès et ont permis d'échanger des savoir-faire et des expériences par delà les frontières et de développer des outils et méthodes de prévention et de prévision qui doivent permettre d'éviter des catastrophes pour nos territoires fortement exposés et d'en réduire les conséquences sur la vie économique.

Eric Ciotti
Député
Président du Conseil général des Alpes-Maritimes

PRESENTAZIONE

Consapevole dei rischi naturali causati da piogge forti che possono interessare il proprio territorio e della necessità di integrare i sistemi di monitoraggio esistenti, il Consiglio Generale delle Alpi Marittime si è impegnato dal 2004 in ambiziosi programmi di cooperazione transfrontaliera volti a sviluppare strumenti di monitoraggio météorologico innovativi, con partner come Arpa Piemonte e CEMAGREF.

Il progetto “Framea” (2004-2007) ha visto nascere due radar innovativi compatti in banda X. Dal lato francese questo radar, denominato "Hydrix" ed installato sul Mont Vial a 1400 m s.l.m., consente dal giugno del 2007 una copertura ottimale del territorio delle Alpi Marittime, fino ad allora poco o per nulla coperte dai sistemi radar esistenti.

Dopo questa prima esperienza di successo, la cooperazione è proseguita nel 2008 attaverso il progetto "Cristal" per sviluppare applicazioni operative per i nostri territori. Gli esperimenti condotti nel corso di questo progetto da parte di team scientifici hanno dimostrato la potenza dello strumento radar e l'efficacia degli strumenti di previsione nella gestione delle emergenze idrometeorologiche nel territorio delle Alpi Marittime, sia a scala di piccoli bacini urbani sia a quella di bacini più importanti come il Siagne, i Paillon ed il Roja a cavallo tra i due Paesi.

Preoccupato di provvedere ad un trasferimento di tali tecnologie ed alla loro appropriazione da parte degli attori locali, il Consiglio Generale ha dato il suo contributo ospitando una serie di giornate informative che hanno coinvolto molte collettività locali. In definitiva questi due progetti di cooperazione sono sicuramente un successo ed hanno permesso di scambiare conoscenze ed esperienze attraverso le frontiere e sviluppare strumenti e metodi di prevenzione e previsione che devono permettere di evitare disastri per le nostre aree ad alto rischio riducendo gli impatti sull'economia.

Eric Ciotti
Deputato
Presidente del Consiglio Generale delle Alpi Marittime

CAP 1 Il contesto transfrontaliero Italia-Francia

La cooperazione europea 12
Il contesto transfrontaliero Italia-Francia - il contesto francese 17
Il contesto transfrontaliero Italia-Francia - il contesto italiano 19
12 - 16 giugno 1957 19
Le problematiche radar sulla zona di studio transfrontaliera 21
Bacino Vermenagna 22
Il bacino del Roja 24

CAP 2 I sistemi di previsione e gestione delle piene

I sistemi di previsione e gestione delle piene - il sistema italiano 28
I sistemi di previsione e gestione delle inondazioni - il sistema francese 36

CAP 3 Sistemi radarmeteorologici

Reti fisse tradizionali in banda C ed S 42
Radar operativi nell'Italia Nord-occidentale 44
Il radar 50 DX 47
Il radar Hydrix 51

CAP 4 Stima della precipitazione sui bacini alpini

Installazione del radar trasportabile presso il Colle di Tenda (2010) 58
Calibrazione del radar in banda X 60
Confronto tra la calibrazione assoluta dei due radar 61
Attenuazione dovuta al radome bagnato in banda X 62
Stima polarimetrica della precipitazione 72
Stima delle precipitazioni sul bacini alpini 74
Stima delle precipitazioni con radar polarimetrici 74
Confronto di dati radar polarimetrici Hydrix e radar banda C di Arpa Piemonte nella Valle Roja 76

CAP 5 Attuazione, controllo e armonizzazione dei sistemi di previsione delle piene

Sviluppo di un database di dati idrometeorologici 81
Calibrazione del modello idrologico GRDistribué 83
Risultati dei modelli in differenti configurazioni 84
Sistema di allerta per debris flow 87

CAP 6 Integrazione nei sistemi operativi di allerta

Integrazione del modello afflussi-deflussi di Cemagref sulla piattaforma RAINPOL 93
Sviluppo e sperimentazione di un programma pilota sul CG06 95

CAP 1 Le contexte transfrontalier Italie-France

La coopération européenne 12
Le contexte transfrontalier Italie-France - le contexte français 17
Le contexte transfrontalier Italie-France - le contexte italien 19
12 -16 Juin 1957 19
Les problèmes liés aux radars utilisés dans la zone transfrontalière 21
Le bassin versant de la Vermenagna 22
Le bassin de la Roya 24

CAP 2 Les systèmes de prévision et gestion des crues

Les systèmes de prévision et gestion des crues - le système italien 28
Les systèmes de prévision et gestion des crues - le système français 36

CAP 3 Les systèmes radar-météorologiques

Les réseaux traditionnels fixes en bande C et S 42
Les Radars dans le Nord-Ouest de l'Italie 44
Le radar 50 DX 47
Le radar Hydrix 51

CAP 4 Estimation des précipitations sur les bassins versants alpins

Installation du radar transportable au Col de Tende (année 2010) 58
Etalonnage du radar en bande X 60
Comparaison de l'étalonnage absolu des deux radars 61
Atténuation due au radôme mouillé en bande X 62
Estimation polarimétrique des précipitations 72
Estimation des précipitations sur les bassins versants alpins 74
Estimation polarimétrique des précipitations 74
Comparaison entre les données du radar HYDRIX et ceux des radars bande C de l'Arpa Piemonte sur la vallée de la Roya 76

CAP 5 Mise en œuvre, contrôle et harmonisation des systèmes d'alerte et de prévision de crues

Élaboration d'une base de données hydro-météorologique 81
Calage du modèle hydrologique GRDistribué 83
Résultats du modèle dans différentes configurations 84
Un système d'alerte de laves torrentielles 87

CAP 6 L'intégration des systèmes opérationnels pour l'alerte

Intégration du modèle pluie débit du Cemagref sur la plate-forme RAINPOL 93
Développement et expérimentation d'un démonstrateur sur le CG06 95

Il contesto transfrontaliero Italia-Francia

capitolo **primo**

chapitre **un**

Le contexte transfrontalier Italie-France

La cooperazione europea

Il Progetto CRISTAL è stato realizzato con il supporto finanziario della Comunità Europea e risorse pubbliche italiane e francesi. La tipologia di fondi europei cui il progetto ha attinto è quella dei FS (Fondi Strutturali). I FS sono il principale strumento di supporto economico comunitario finalizzato a riequilibrare i divari esistenti tra le diverse regioni europee. La erogazione dei FS è programmata in settennati. Per il periodo 2007-2013 i FS sono di tre tipi:

FESR – Fondi Europei di Sviluppo Regionale – temi vari,
FSE – Fondo Sociale Europeo – temi: occupazione, qualità del lavoro, integrazione sociale,
FC – Fondo di coesione – temi: ambiente, energia, trasporti - erogato in Paesi il cui Reddito Nazionale Lordo procapite è inferiore al 90% della media comunitaria.

I FS si articolano inoltre in un portfolio secondo 3 Obiettivi:

OBIETTIVO CONVERGENZA – circa 81% dei FS – comprendono FESR, FSE e FC sono eleggibili a finanziamento le regioni il cui PIL pro capite sia inferiore del 75% della media europea (UE a 27),

OBIETTIVO COMPETITIVITÀ REGIONALE ED OCCUPAZIONE – circa 16% dei FS - comprendono FESR, FSE,

OBIETTIVO COOPERAZIONE TERRITORIALE EUROPEA - circa 2,5% dei FS - comprendono i soli FESR – territori eleggibili variabili secondo il Programma.

Il progetto CRISTAL ha ottenuto un finanziamento nell'ambito del Programma di

La coopération européenne

Le projet CRISTAL a été réalisé avec le support financier de la Communauté Européenne et ressources publiques Italiennes et Françaises. Le type de fonds européens dont on a disposés est celui des Fonds Structurels (FS). Les FS sont le principal instrument de support économique communautaire destiné à harmoniser et rééquilibrer les différences existant entre les différentes régions européennes. Les financements des FS sont programmés de sept ans en sept ans. Pour la période 2007-2013 les FS ont été de trois types :

FEDER – Fond Européen de Developpement Régional– avec différents thèmes d'interventions,
FSE – Fond Social Européen – thèmes : emploi, qualité du travail, intégration sociale,
FC – Fond de Cohésion– thèmes : environnement, énergie, transport – destinés aux États membres dont le revenu national brut (RNB) par habitant est inférieur à 90 % de la moyenne communautaire.

Les FS s'appuient sur 3 grands objectifs :

OBJECTIF CONVERGENCE – à peu près 81% des FS – à la charge des FESR, FSE et FC. Il est réservé aux régions dont le PIB (produit intérieur brut) par habitant est inférieur au 75 % de la moyenne de l'Union européenne à 27,

OBJECTIF COMPETITIVITE REGIONALE ET EMPLOI – à peu près 16% des FS - à la charge des FEDER et FSE,

OBJECTIF COOPÉRATION TERRITORIALE EUROPÉENNE - à peu près 2,5% des FS – à la charge du FEDER – les régions éligibles sont différentes selon le programme de coopération.

Le projet CRISTAL a été financé dans le cadre du Programme de coopération territoriale

Cooperazione territoriale europea Alcotra – Alpi latine cooperazione transfrontaliera – Italia- Francia 2007-2013.

I territori transfrontalieri eleggibili per tale Programma sono indicati nella cartina sottostante, dove dipartimenti/province in grigio scuro rappresentano le zone target, mentre in grigio più chiaro sono le zone ammissibili sotto particolari condizioni (**Figura 1.1**).

Il Programma si articola in 3 assi di azione:
- Asse 1 – Sviluppo e innovazione,
- Asse 2 - Protezione e gestione del territorio,
- Asse 3 – Qualità della vita.

Ciascun asse si declina poi in differenti misure di intervento.

européenne Alcotra – Alpes latines coopération transfrontalière – Italie - France 2007-2013.

*Les territoires transfrontaliers éligibles pour ce Programme sont indiqués dans la carte suivante, où les départements/provinces marqués en gris foncé représentent les zones « cible » tandis que les zones gris clair sont celles acceptées sous conditions particulières (**Figure 1.1**).*

Le Programme se subdivise en 3 axes d'action :
- *Axe 1 – Développement et innovation,*
- *Axe 2 - Protection et gestion du territoire,*
- *Axe 3 – Qualité de vie.*

Chaque axe permet, en interne, plusieurs mesures d'intervention.

Figura 1.1 - Territori ammissibili nell'ambito del Programma Alcotra.
Figure 1.1 - *Territoires éligibles pour le Programme Alcotra.*

Il Programma prevede inoltre tre procedure attuative:
- Progetti di cooperazione singoli - si riferiscono a una sola misura di un solo Asse e sono presentati da almeno due partner, uno italiano e uno francese,
- Progetti strategici - sono finalizzati ad approfondire problematiche di interesse comune e a valorizzare le potenzialità di sviluppo di particolari ambiti e settori. richiedono competenze e partenariati di tipo istituzionale e politico. I loro impatti devono interessare l'intera area transfrontaliera o gran parte di essa.
- Piani integrati transfrontalieri (PIT) – piani costituiti da un insieme di progetti di cooperazione singoli che riguardano settori e temi diversi e differenti Assi, ma che hanno un comune obiettivo di sviluppo economico e sociale di uno specifico territorio transfrontaliero.

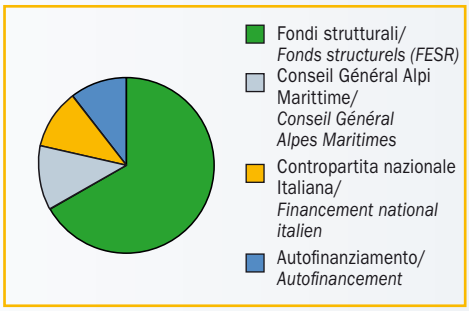
CRISTAL è stato ammesso a programmazione come progetto singolo, nell'ambito dell'Asse 2, misura 2.2 "Prevenzione dei rischi" con una dotazione di 1.650.000 € così ripartiti per origine: (**Tabella e grafico 1.1**)

Le Programme prévoit trois procédures différentes de mise en œuvre :
- Projets de coopération simple - projets portés sur une seule mesure d'un seul Axe et présentés par au moins deux bénéficiaires, l'un italien, l'autre français,
- Projets stratégiques - projets qui ont pour objectif d'approfondir les problématiques d'intérêt commun et de valoriser les possibilités de développement de certains secteurs.
Ils requièrent des compétences et des partenaires de type institutionnel et politique. Leurs impacts doivent être sur l'ensemble de la frontière ou une grande partie de celle-ci.
- Plans intégrés transfrontaliers (PIT) – plans constitués d'un ensemble de projets de coopération simples portant sur différents domaines/thèmes et différents Axes d'intervention. Le but commun est le développement économique et social d'un territoire transfrontalier spécifique.

*CRISTAL a été approuvé en tant que projet simple, associé à l'Axe 2, mesure 2.2 « Prévention des risques » avec un budget de 1.650.000 €, porté par différents financeurs/cofinanceurs : (**Tableau et graphique 1.1**)*

Tabella e grafico 1.1 – Portfolio di finanziamento del progetto CRISTAL.
Tableau et graphique 1.1 – Ventilation du financement de CRISTAL.

Ente finanziatore/ *Financeur-cofinanceur*	Finanziamento/*Montant*
Fondi Strutturali (FESR)/ *Fonds structurels (FESR)*	€ 1.098.900,00
Conseil Général Alpi marittime/ *Conseil Général Alpes Maritimes*	€ 198.900,00
Contropartita nazionale Italiana/ *Financement national italien*	€ 187.200,00
Autofinanziamento/ *Autofinancement*	€ 165.000,00



L'attività pilota di cooperazione, come approfonditamente illustrato nel seguito del presente rapporto, ha coinvolto la Val Vermenagna (Cuneo) e la Valle Roja francese (CG06).

L'activité pilote de coopération, présentée dans la suite de ce rapport, a été concentrée dans la Vallée de la Vermenagna (Province de Cuneo) et la Vallée de la Roya française (CG06).

Il partenariato si è costituito tra Arpa Piemonte, Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Piemonte (capofila) e il Cemagref, Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement.

Si tratta di due enti che collaborano da tempo e su diverse tematiche nell'ambito delle risorse e dei rischi naturali. In particolare, la partnership si è consolidata tecnicamente e operativamente durante un precedente progetto Alcotra del settennato 2000-2006, FRAMEA (Flood forecasting using Radar in Alpine and MEditerranean Areas), nel corso del quale la compagine partenariale ha realizzato e messo in rete due strumenti, per le attività di monitoraggio e nowcasting idrogeologico, all'avanguardia a livello europeo: due radar meteorologici polarimetrici in banda X.

Nell'ambito del progetto, si è pervenuti ad un ulteriore importante avanzamento delle attività per giungere ad una maggiore integrazione dei servizi condivisi nelle realtà locali aventi in carico la gestione del rischio idrogeologico.

La sfida raccolta dagli enti partecipanti a FRAMEA e a CRISTAL è stata quella di impegnarsi in una operazione di progetto cooperativo non in quanto attività supplementare ed estemporanea, ma come un modo di esercizio delle reciproche competenze istituzionali. La cooperazione si concretizza allora come una concertazione su un argomento comune e circoscritto per la realizzazione di uno strumento condiviso e durevole.

Le problematiche cui si fa normalmente fronte nel corso dell'attività di cooperazione sono di natura sia tecnica sia operativa. La prima tipologia non ha posto né nel corso del precedente progetto FRAMEA,

Un partenariat a été monté entre l'Arpa Piemonte, Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente del Piemonte (chef de file) et le Cemagref, Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement.

Il s'agit de deux acteurs qui collaborent depuis longtemps dans différents domaines liés aux ressources et aux risques naturels. En particulier, le partenariat s'est consolidé techniquement et de façon opérationnelle au cours d'un précédent projet Alcotra de la période 2000-2006, FRAMEA (Flood forecasting using Radar in Alpine and MEditerranean Areas). Le projet FRAMEA a permis de réaliser et mettre en réseau deux équipements pour la surveillance et la prévision (à court terme) hydrologique, innovants au niveau européen : deux radars météorologiques en bande X.

Dans le cadre du projet CRISTAL, une avancé importante a été réalisée dans l'intégration de services vers les besoins des acteurs locaux de gestion du risque hydrologique.

Le défi pris en compte par FRAMEA et CRISTAL, a été celui de s'engager dans une opération de coopération non pas en tant qu'activité supplémentaire et temporaire, mais au contraire comme un moyen d'échanger sur des compétences institutionnelles réciproques.
C'est ainsi que la coopération se concrétise par un travail orienté par un argument commun et spécifique, vers la réalisation d'un outil partagé et durable.

Les problématiques auxquelles il faut faire face dans ces initiatives de coopération sont soit de nature technique soit de nature opérationnelle. Aucun obstacle technique ne s'est posé dans les projets de coopération, ni pour FRAMEA ni pour CRISTAL : les compétences des partenaires et la même base technique et scientifique, déjà réciproquement connue dans le cadre

né durante CRISTAL, particolari intralci in termini di collaborazione: le competenze possedute da tutti i partner e il medesimo substrato tecnico-scientifico già reciprocamente noto nell'ambito di altri network europei hanno giocato a totale favore dello scambio di *know-how* e della ricerca di soluzioni comuni.

Le difficoltà in fase di raggiungimento dell'integrazione gestionale sono invece sempre maggiori e risiedono, come prevedibile, nella diversa organizzazione e ripartizione di ruoli e responsabilità, politiche e operative, dai due lati della frontiera. Lo stesso strumento tecnico deve allora essere sviluppato tenendo conto dei diversi fruitori e della differente catena di comando, per evitare la realizzazione di supporti decisionali raffinati, ma totalmente inefficienti.
A tal fine è stata di fondamentale importanza la collaborazione con tutti gli attori in grado di favorire tale trasferimento all'utenza finale e si assume che tale compito progettuale sia stato esaurientemente assolto.

In un tipico ciclo di policy articolato in 3 fasi
- Identificazione e studio del problema,
- Formulazione di proposte di soluzioni ed azioni pilota,
- Implemetazione delle migliori politiche gestionali
il progetto CRISTAL si situa a cavallo tra la seconda e la terza fase, ricadendo nettamente nell'ultima per alcuni dei servizi realizzati.

Dopo la fase di realizzazione materiale e condivisione dei servizi si apre ora la sfida cooperativa della implementazione di servizi integrati finalizzati: dalla gestione comune ad una realtà unica transfrontaliera.

d'autres réseaux européens, ont totalement favorisé l'échange d'expériences et la recherche de solutions communes.

Les difficultés pour la réalisation de l'intégration opérationnelle sont par contre toujours plus grandes et demeurent des deux côtés de la frontière, dans l'organisation et la répartition des tâches et des responsabilités politiques et de gestion.
Le même outil technique doit alors être développé, prenant en compte les différents usagers et les différentes « chaînes de commandement », pour éviter la réalisation d'outils raffinés mais totalement inefficaces.
A cette fin, la collaboration avec tous les acteurs capables de favoriser ce transfert aux usagers finaux a été fondamentale, et on pense que le projet a accompli convenablement son rôle.

Le typique « cycle politique » prévoit trois phases :
- Identification et étude du problème,
- Formulation de solutions et actions pilotes,
- Implémentation des meilleures politiques de gestion.
Le projet CRISTAL se situe à cheval sur la seconde et la troisième phase, retombant évidemment dans la dernière pour certains services réalisés.

Après la phase de réalisation matérielle et le partage des services, le défis coopératif de l'implémentation de services intégrés spécifiques s'ouvre : de la gestion commune à une réalité transfrontalière unique.

Il contesto transfrontaliero Italia-Francia - il contesto francese

Le regioni alpine del Sud e del Mediterraneo sono soggette a forti precipitazioni che causano regolarmente inondazioni catastrofiche, dette "flash floods" per la velocità della loro comparsa (**Figura 1.2**). La prevenzione e la previsione di queste inondazioni sono elementi di grande importanza per i servizi che supportano la sicurezza di beni e persone al fine di limitare l'impatto di questi eventi, dando priorità ad evitare la perdita di vite umane. La previsione a breve termine di questi eventi di pioggia è dunque un tema importante per la protezione civile, soprattutto nelle aree fortemente urbanizzate.

Le contexte transfrontalier Italie-France - le contexte français

*Les régions méditerranéennes et Sud Alpines sont soumises à des systèmes pluvieux intenses occasionnant régulièrement des crues catastrophiques, dites « éclairs » par la rapidité de leur apparition (**Figure 1.2**). La prévention et la prévision de ces crues sont très présentes dans l'esprit des services ayant en charge la sécurité des biens et des personnes afin de limiter au mieux l'impact de ces événements sur les aménagements, avec une priorité affichée d'éviter les pertes en vie humaine. La prévision à court terme de ces systèmes pluvieux est donc un enjeu important de protection civile, en particulier pour les zones fortement urbanisées.*

Figura 1.2 - Piena del Nartuby a Trans en Provence (Var), 15 giugno 2010 (P. Cantet).
***Figure 1.2** - Crues de la Nartuby à Trans en Provence (Var), le 15 juin 2010 (P. Cantet).*

Nelle zone di montagna, la variabilità delle precipitazioni è molto elevata ed è più difficile la loro quantificazione. In questo contesto un primo progetto (progetto FRAMEA) ha studiato la possibilità di utilizzare la tecnologia dei radar meteorologici Doppler polarimetrici in banda X per stimare le precipitazioni in zone montuose. I radar meteorologici permettono una stima in tempo reale dei tassi di precipitazione su una vasta area geografica e sono strumenti di misura necessari per identificare, localizzare ed anticipare le traiettorie e per quantificare gli eventi precipitativi. Questo metodo di osservazione offre la possibilità di una conoscenza spaziale e dinamica dei fenomeni, nonostante non debbano essere sottovalutati i problemi di misura legati al contesto mediterraneo e montuoso dell'area di studio:

- echi di terra ed occlusione dovuti alla topografia complessa della zona;
- trattamento ed attenuazione del segnale a causa di precipitazioni abbondanti;
- presenza della bright band al di sotto dello zero termico.

Lo scopo principale del progetto è la valutazione delle reali capacità dei radar in banda X di produrre dati pluviometrici attendibili, integrabili in sistemi di previsione delle piene operativi e quindi in grado di migliorare la previsione del flusso di fiumi.

Per raggiungere gli obiettivi del progetto, CRISTAL è articolato in sei attività:

- Gestione: coordinamento del progetto
- Gestione di un sistema di monitoraggio delle precipitazioni nelle zone di confine
- Sperimentazione di un sistema integrato di osservazione delle precipitazioni che combina radar in banda X e rete pluviometrica a terra
- Implementazione di un metodo di stima

Dans les zones de montagnes, la variabilité des phénomènes pluvieux est grande et leur métrologie est plus difficile. C'est dans ce contexte qu'un premier projet (le projet FRAMEA) a étudié la faisabilité d'utiliser la technologie des radars météorologiques Doppler polarimétrique en bande X, pour estimer les taux précipitant en zones montagneuses. Les radars météorologiques permettent une estimation temps réel des taux précipitant sur une zone géographique étendue et apparaissent comme des équipements métrologiques indispensables pour identifier, localiser, anticiper les trajectoires et quantifier les événements pluvieux. Cette observation offre des potentialités de connaissance spatiale et dynamique des phénomènes, malgré les problèmes métrologiques fortement liés au contexte méditerranéen et montagnard de la zone d'étude (échos de sol et masque en raison de la topographie chahutée de la zone ; traitement et atténuation du signal en raison des phénomènes pluvieux intenses ; présence à des altitudes faibles de l'isotherme 0°C qui induit une bande brillante,…)

La motivation première du projet est d'apprécier les réelles capacités des radars en bande X à produire une information pluviométrique fiable, capable d'être intégrée dans des systèmes de prévision de crues opérationnels, et offrir ainsi une amélioration dans l'anticipation du débit des rivières.

Pour mener à bien les objectifs du projet, CRISTAL est articulé autour de 6 activités :

- *Gestion : coordination du projet*
- *Gestion d'un système d'observation des précipitations en zone transfrontalière*
- *Expérimentation d'un système intégré d'observation de la précipitation associant radars en bande X et réseau de pluviomètres*
- *Mise en œuvre de processus d'estimation des pluies dans la zone alpine*

delle precipitazioni in montagna
• Realizzazione di sistemi di allerta di previsione delle piene
• Trasferimento a soggetti locali incaricati della gestione delle alluvioni.

Il contesto transfrontaliero Italia-Francia - il contesto italiano

Da parte italiana, 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 ven-

• *Mise en œuvre de systèmes d'alerte de prévision des crues*
• *Transfert vers les acteurs locaux ayant en charge de la gestion des crues.*

Le contexte transfrontalier Italie-France - le contexte italien

Du côté italien, de nombreux événements ont causé des dommages considérables dans la partie Centre-Sud du Piémont. Ces événements sont généralement la conséquence d'une situation synoptique caractérisée par la présence d'une dépression dans le bassin méditerranéen ou sur l'Ouest de l'Europe, qui favorisent l'entrée de masses d'air polaires du Sud de l'Europe, associée à un blocage lié à un anticyclone sur l'Europe orientale. Parmi les plus importants, on rappelle les événements des 12-16 juin 1957, 5-9 novembre 1962, 17-20 mai 1977, 31 mars-2 avril 1968, 7 août 1978, 5-11 novembre 1967, novembre 1994 et octobre 2000. La section suivante décrit l'événements de juin 1957.

12 - 16 JUIN 1957

La crue du juin 1957 est restée dans les mémoires comme l'une des pires enregistrées au Piémont, à la fois pour l'extension des territoires concernés mais aussi pour l'étendue des dommages causés. Les plus fortes précipitations ont été enregistrées pendant les journées du 12 au 16, mais le plus important reste l'amplitude des débits des grands cours d'eau, gérés par des sols déjà saturés par les pluies des jours précédents (le pic avait été précédé par une longue période de pluies fréquentes). De plus, le phénomène a été accru par la fonte de la couche de neige encore très étendue dans les zones à l'amont des bassins

Tabella 1.2 - Precipitazioni medie annue e numero di giorni piovosi medi annui per ogni bacino.
Tableau 1.2 *- Précipitations moyennes annuelles et nombre de jours de pluie moyens annuels pour chaque bassin.*

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

Bormida - Scrivia Bormida - Scrivia 1006 87 11.6

nero 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. Nella **Tabella 1.2** 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 (**Tabella 1.2**).

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, della Dora Baltea e della Stura di Lanzo.

Anticipare un rischio per gestirlo al meglio, implica che sia innanzitutto ben identificato

versants. L'événement a été composé en réalité de trois épisodes successives séparées par des intervalles d'environ 12 heures à pluie faible ou absente. Les pluies ont été plus intenses le 16 juin. Le ***Tableau 1.2*** *liste quelques valeurs d'intensités maximales. Les valeurs maximales pour des durées de 3, 6 et 12 heures, enregistrées dans la zone la plus touchée – bassins versants des cours d'eau Dora Riparia, Orco Varaita et Stura di Demonte – se placent souvent parmi les 3 premières valeurs enregistrées sur l'ensemble des chroniques disponibles (****Tableau 1.2****).*

On peut remarquer que la zone la plus touchée a été la partie Centre-Ouest de la région, c'est à dire les bassins versants de montagne des Provinces de Turin et Cuneo. Certaines parties des bassins versants du Sesia, de la Dora Baltea et de la Stura di Lanzo ont également été impliquées, mais dans une moindre mesure.

Anticiper un risque pour mieux le maîtriser, implique tout d'abord qu'il soit clairement identifié et que les services qui assurent la gestion de la crise, disposent le plus possible à l'avance, des

e che i servizi che assicurano la gestione della crisi dispongano, con il maggior anticipo possibile, di informazioni e strumenti scientifici che permettano di prendere le migliori disposizioni in tempo reale.
I radar meteorologici, che permettono una stima in tempo reale delle precipitazioni su vaste aree geografiche, appaiono come degli strumenti di misura indispensabili per identificare, localizzare, anticipare le traiettorie e quantificare gli eventi piovosi.

LE PROBLEMATICHE RADAR SULLA ZONA DI STUDIO TRANSFRONTALIERA

A causa dell'orografia complessa di quest'area alpina e, bisogna dirlo, della sua eccentricità geografica sia per la Francia sia per l'Italia, le reti radar nazionali di questi due paesi coprono male questa zona, come si può notare osservando la **Figura 1.3**.

informations et des instruments scientifiques qui permettent de prendre les meilleures décisions en temps réel. Les radars météorologiques, qui permettent une estimation en temps réel des précipitations sur de vastes zones géographiques, sont les instruments de mesure nécessaires pour identifier, localiser, anticiper les trajectoires des pluies et quantifier les événements pluvieux.

LES PROBLÈMES LIÉS AUX RADARS UTILISÉS DANS LA ZONE TRANSFRONTALIÈRE

*En raison de l'orographie complexe de l'espace alpin, et il faut le dire, son excentricité géographique soit en France soit en Italie, les réseaux de radars nationaux de ces deux Pays desservent d'une manière non satisfaisante les régions de la frontière franco-italienne, comme l'on peut voir dans la **Figure 1.3**.*

Figura 1.3 - Copertura radar della zona transfrontaliera.
***Figure 1.3** - La couverture radar dans la région frontalière.*

Figura 1.4 - I radar del progetto FRAMEA: radar trasportabile italiano (a sinistra) e radar HYDRIX sulla torre di France Télécom a Mont Vial.

Figure 1.4 *- Le radar du projet FRAMEA : le radar italien transportable (à gauche) et la tour du radar Hydrix sur la tour France Télécom en Mont Vial.*

D'altra parte, durante un precedente progetto ALCOTRA INTERREG 3A, abbiamo potuto costruire e sviluppare due radar meteorologici addizionali. Per parte italiana, si tratta di un radar trasportabile, che può essere spostato a seconda delle necessità. Il radar sviluppato dai partner francesi è stato installato nel centro del Dipartimento delle Alpi Marittime (Mont Vial, 1500 m d'altezza, **Figura 1.4**).

Nella **Figura 1.5** sono riportati i valori di visibilità a differenti angoli di elevazione per il radar situato a Mont Vial: si nota una buona copertura di gran parte del Dipartimento delle Alpi Marittime e praticamente tutto il bacino del Roja con un angolo di elevazione di 2.4°, che permette una stima della pioggia ad altezze relativamente accettabili (tra 1000 e 2500 m).

BACINO VERMENAGNA

Le valli alpine transfrontaliere, soggette a regime torrentizio durante le stagioni estive ed autunnali, sono caratterizzate da un

D'autre part, lors d'un précédent projet ALCOTRA INTERREG 3A, deux radars météorologiques supplémentaires on été construits et développés. Pour le côté italien, il s'agit d'un radar transportable, qui peut donc être déplacé selon les besoins. Le radar développé par les partenaires français a été installé au centre du Département des Alpes-Maritimes (Mont Vial, 1500 m, ***Figure 1.4****).*

La ***Figure 1.5*** *montre des indices de visibilité à différents angles d'élévation pour le radar du Mont Vial : ce radar a une bonne couverture sur la plupart du Département des Alpes-Maritimes et pratiquement sur l'ensemble du bassin de la Roya avec un angle d'élévation de 2,4°, ce qui permet une estimation de la pluie à hauteurs relativement acceptables (entre 1000 et 2500 m).*

LE BASSIN VERSANT DE LA VERMENAGNA

Les vallées alpines transfrontalières, soumises à un régime torrentiel pendant l'été et l'automne, sont caractérisées par un fort flux de touristes en hiver et en été, et une forte présence humaine. La variabilité climatique de ces der-

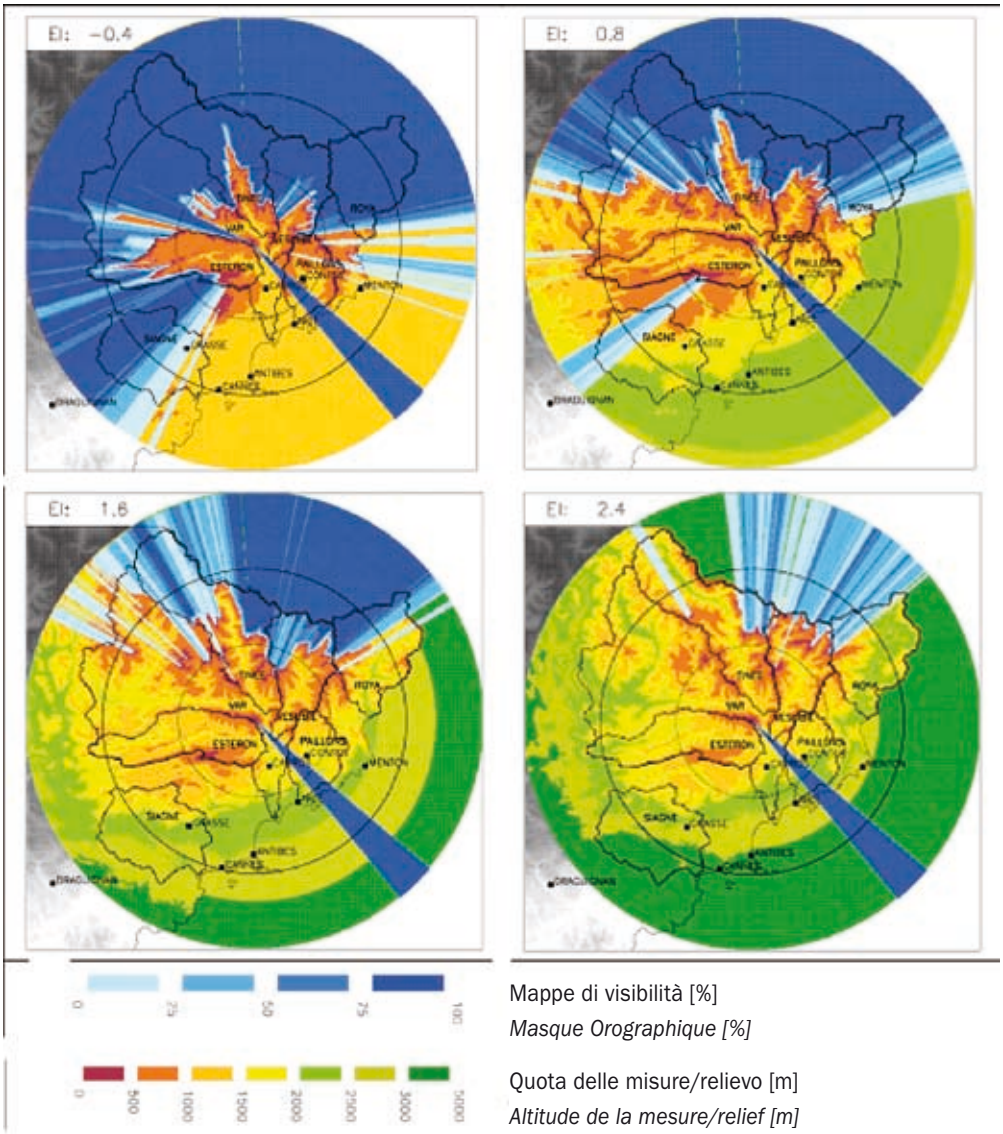


Figura 1.5 - Mappe di visibilità del radar HYDRIX a Mont Vial (Novimet).
Figure 1.5 - Masque Orographique du radar HYDRIX sur Mont Vial (Novimet).

forte flusso turistico invernale ed estivo e forte antropizzazione. 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.

nières années a conduit à une succession de sécheresses, avec une réduction considérable de la disponibilité d'eaux même dans les régions où, auparavant, ce problème n'était pas présent. La neige joue un rôle important comme un "réservoir" pour les mois estivaux, pour les vallées comme pour les zones de plaine.

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.

IL BACINO DEL ROJA

La parte a monte di questo corso d'acqua scorre in Francia, mentre quella a valle in Italia. La sua lunghezza è di circa 50 km. La superficie drenata è di 673 km^2.
La sommità del bacino raggiunge quote notevoli (2650 m, Pointe Marguareis). L'altitudine media del bacino è di 1430 m. Il profilo del corso d'acqua (**Figura 1.7**) mostra due stadi di diversa pendenza. Per i primi 10 km il dislivello è molto forte, da 2200 a 900 m, con pendenza media del 13%. Il profilo si addolcisce in seguito, con una pendenza del 3% circa.

Queste caratteristiche influiscono sulle piene e sulla loro comparsa repentina.
È dunque di grande interesse poter associare informazioni sulle piogge (o piuttosto le previsioni di precipitazione) provenienti dai due lati della frontiera, al fine di prevedere meglio le inondazioni. **Figura 1.6 e Figura 1.7**.

Questo bacino, sul quale sarebbero di grande utilità delle previsioni di piena, in particolare per i centri abitati di Breil sur Roja e Ventimiglia, è stato studiato in dettaglio. L'obiettivo del progetto CRISTAL è stato lo sviluppo e la messa in opera di

Une estimation précise de la quantité de précipitation au sol, en distinguant neige et pluie, est une condition nécessaire pour une évaluation, bien à l'avance, des débits de crue et pour un bilan précis de la disponibilité réelle des ressources en eau nécessaire aux diverses activités humaines.

LE BASSIN DE LA ROYA

*La partie à l'amont de ce cours d'eau se situe en France et l'aval en Italie. Sa longueur est de 50 km environ. La surface drainée est de 673 km^2. Les sommets du bassin versant atteignent des altitudes importantes (2650 m, Pointe Marguareis). L'altitude moyenne du bassin est de 1430 m. Le profil du cours d'eau (**Figure 1.7**) montre deux zones avec deux pentes différentes. Les 10 premiers kilomètres montrent une pente très forte, de 2200 à 900 m, soit une pente moyenne de 13%. Le profil est adouci en aval, avec une pente du 3% environ.*

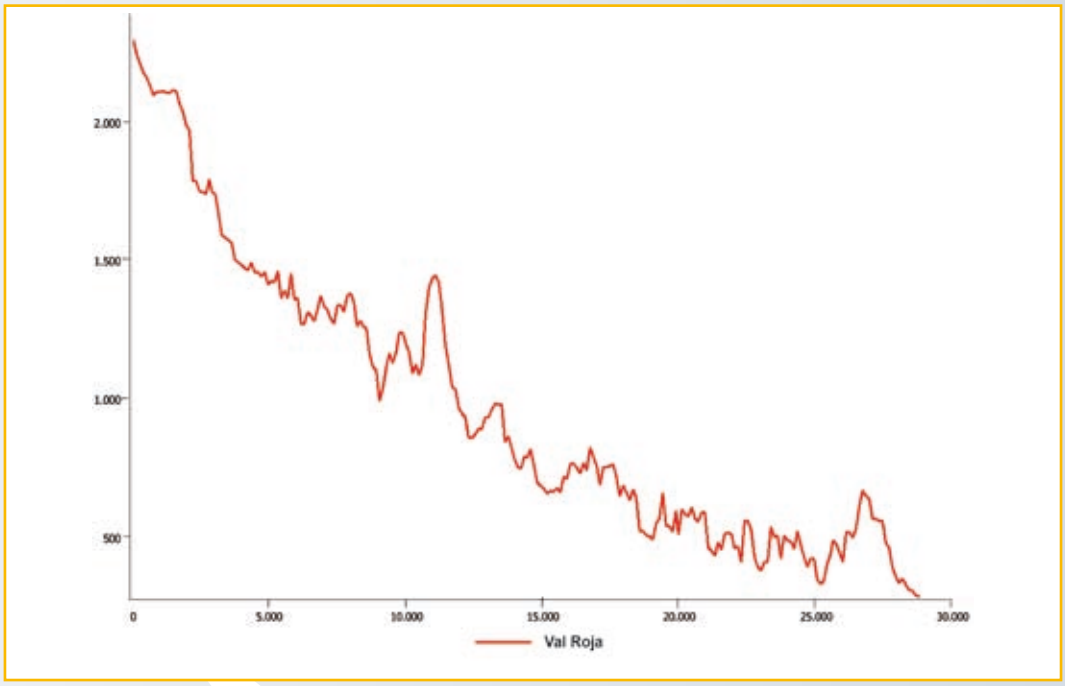
Ces caractéristiques ne sont pas sans conséquences pour les crues et leur apparition soudaine. Il est donc de grand intérêt de mutualiser les informations relatives à la pluie (ou plutôt une prévision de pluie) des deux côtés de la frontière afin de mieux anticiper les inondations. ***Figure 1.6 et Figure 1.7***

Ce bassin, pour lequel une prévision des crues serait de grand intérêt dans les zones urbaines de Breil sur Roya et de la zone en aval de Vintimille, a été étudié en détail. L'objectif du projet CRISTAL a été le développement et la mise en œuvre d'outils d'alerte précoce, avec une attention particulière à la comparaison des résultats des modèles utilisés par l'Arpa Piemonte et le Cemagref, dans un objectif de transfert aux services opérationnels italien et français, d'un instrument commun.

strumenti di allerta, con particolare attenzione al confronto dei risultati dati dai modelli utilizzati da Arpa e CEMAGREF, con la finalità di fornire ai servizi operativi italiano e francese uno strumento comune.

Figura 1.6 – Il bacino del fiume Roja.
Figure 1.6 – Le bassin versant de la Roya.

Figura 1.7 – Profilo del fiume Roja.
Figure 1.7 – Le profil de la Roya.



I sistemi di previsione e gestione delle piene

capitolo **secondo**

chapitre **deux**

Les systèmes de prévision et gestion des crues

I sistemi di previsione e gestione delle piene - il sistema italiano

In Italia il sistema di previsione e gestione delle piene dei fiumi è affidato alle singole Regioni e/o Province autonome attraverso la rete dei Centri Funzionali (e dei Centri di Competenza). La **Figura 2.1** mostra i "Centri Funzionali italiani".

La rete dei Centri Funzionali opera secondo criteri, metodi, standard e procedure comuni ed è componente del Servizio nazionale della protezione civile. I Centri di Competenza (università, istituti) sono enti pubblici attivati nell'ambito del sistema nazionale di protezione civile per sviluppare progetti di ricerca applicata e realizzare strumenti anche di supporto tecnologico per la gestione dell'emergenza.

Compito della rete dei Centri Funzionali è quello di far confluire, concentrare ed integrare tra loro:

1. i dati qualitativi e quantitativi rilevati dalle reti meteo-idro-pluviometriche, dalla rete radarmeteorologica nazionale, dalle diverse piattaforme satellitari disponibili per l'osservazione della Terra;
2. i dati territoriali, geologici e geomorfologici;
3. le modellazioni meteorologiche, idrologiche, idrogeologiche ed idrauliche.

La finalità di tale compito è di fornire un servizio continuativo per tutti i giorni dell'anno e, se necessario, su tutto l'arco delle 24 ore giornaliere. Tale servizio è necessario supporto alle decisioni delle autorità competenti per le allerte e per la gestione dell'emergenza ed inotre permette di as-

Les systèmes de prévision et gestion des crues - le système italien

*En Italie le système de prévision et gestion des crues est à la charge des différentes régions et/ou Provinces autonomes par le biais des CF (« Centri funzionali ») et des CC (« Centri di competenza »). La **Figure 2.1** présente les « Centres Fonctionnels italiens ».*

Le réseau des CF s'appuie à critères, méthodes standardisées et procédures communes et fait partie du Service National de la Protection Civile. Les CC (qui peuvent être des Universités ou d'autres Instituts/Organismes de recherche) sont des établissements publiques engagés dans le cadre du système national de Protection Civile pour développer des projets de recherche appliquée et réaliser des outils de support technologique pour la gestion de l'alerte et de la crise.

La mission du réseau des Centri Funzionali est de faire converger, concentrer et intégrer entre eux :

1. *les données qualitatives et quantitatives provenant des réseaux hydro-pluvio-météorologiques, du réseau national de radars météorologiques et des différentes plateformes satellitaires disponibles pour l'observation de la Terre ;*
2. *les données territoriales, géologiques, hydrologiques et géomorphologiques ;*
3. *les modèles météorologiques, hydrologiques et hydrauliques.*

Le but est de garantir un service continu 365 jours par an et, si nécessaire, 24h/24h. Pour les autorités qui ont en charge l'alerte et la gestion de la crise, le service est un support nécessaire pour l'aide à la décision. De plus, il

solvere alle necessità operative dei sistemi di protezione civile. Ai fini delle attività di previsione e prevenzione, le Regioni e le Province Autonome, anche cooperando tra loro e d'intesa con il Dipartimento della protezione civile:

- suddividono e/o aggregano i bacini idrografici di propria competenza, o parti di essi, in ambiti territoriali significativamente omogenei per il manifestarsi nel tempo reale di eventi meteoidrologici intensi e dei relativi effetti. Tali territori sono chiamati zone d'allertamento;
- stabiliscono un insieme di valori degli indicatori che definiscono, per ogni tipologia di rischio, un sistema di soglie articolato su tre livelli: il livello base, corrispondente ad una situazione ordinaria, in cui le criticità possibili sono ritenute comunemente accettabili dalla popolazione; un livello di moderata criticità, un livello elevata criticità.

I dati, in seguito alla raccolta ed elaborazione dei singoli Centri Funzionali regionali e provinciali, vengono convogliati al Cen-

Figura 2.1 - Mappa dei centri funzionali in Italia.
Figure 2.1 - *Carte des CF en Italie.*

permet de répondre aux besoins opérationnels des systèmes de Protection civile.
Pour la prévision et la prévention, les Régions et Provinces autonomes, dans certains cas, en coopération entre eux et le Département de la Protection Civile :

- *subdivisent et/ou agrègent les bassins versant (ou parties) sous leur juridiction, en identifiant des zones «homogènes» du point de vue de la réponse en temps réel à des évènements hydrométéorologiques intenses et des impacts correspondants. Ces zones sont appelées «Zone d'alerte» («Zone di allertamento» en italien) ;*
- *établissent un ensemble de valeurs d'indicateurs qui définissent, pour chaque type de risque, un système de seuils à trois niveaux : niveau «de base», correspondant à une situation ordinaire, une criticité modérée et, enfin, un niveau de criticité élevé.*

Les données, suite à leur collecte et traitement au sein des différents CF régionaux ou provinciaux, sont envoyées au CF Central du Département de la Protection civile et au Département de la Protection Civile Régional, de manière à ce que ces derniers puissent disposer des informations nécessaires pour prendre des décisions opérationnelles.

La Région Piemonte a intégré la loi national au droit interne par le biais d'un règlement pour la «Gestion organisationnelle et fonctionnelle du Système d'Alerte Régionale pour la Protection Civile». Ce règlement place le CF Piémontais au sein de l'Arpa Piemonte. Dans le CF, une équipe d'experts réalise une interprétation et traitements continuels des données prévisionnelles provenant des modèles par une analyse subjective, prenant en compte les caractéristiques géophysiques et climatiques des la Région ou zone concernées, régulièrement actualisées par la mise à jour des données observées.

tro Funzionale Centrale del Dipartimento di Protezione Civile ed al Dipartimento di Protezione Civile Regionale, in modo che dispongano degli strumenti necessari per prendere decisioni operative.

La Regione Piemonte ha recepito la normativa nazionale attraverso un proprio disciplinare per la Gestione Organizzativa e Funzionale del Sistema di Allertamento Regionale ai fini di Protezione Civile il quale colloca il Centro Funzionale del Piemonte presso l'Arpa. Nel Centro Funzionale un team di esperti effettua una continua interpretazione ed elaborazione dei dati previsionali forniti dai modelli, attraverso un'analisi di tipo soggettivo, anche e soprattutto a fronte delle caratteristiche geofisiche e climatiche della regione o della zona d'interesse costantemente corretta sulla base dell'aggiornamento dei dati osservati.

Dal punto di vista operativo si è deciso di suddividere il territorio piemontese in undici aree con omogenee caratteristiche idrologiche, meteorologiche ed idrografiche, definite come "zone di allertamento". (**Figura 2.2**) Ogni giorno entro le ore 13.00 (ora locale) viene emesso ed inviato al Dipartimento di Protezione Civile Regionale un bollettino di allerta meteoidrologica che si compone di due parti: la vigilanza meteorologica e la criticità idrogeologica ed idraulica/nevicate (indicato solitamente come bollettino idrogeologico ed idraulico).

Nella parte relativa alla vigilanza meteorologica viene fornita per ogni area di allertamento una previsione di possibili fenomeni meteorologici rilevanti e, nel caso i previsori lo ritengano opportuno e vengano superate determinate soglie di precipitazione,

*Du point de vue opérationnel, le territoire piémontais a été subdivisé en onze zones, homogènes pour leurs caractéristiques hydrologiques, météorologiques et hydrographiques, dites «Zones d'Alerte» (**Figure 2.2**). Chaque jour, avant 13.00 heures (heure locale) un bulletin d'alerte hydrométéorologique est rédigé et envoyé au Département de la Protection Civile Régionale. Le bulletin se compose de deux sections : la vigilance météorologique et la criticité hydrologique et hydraulique/chute de neige (nommées respectivement comme bulletin hydrologique et hydraulique).*

Dans la section de vigilance météorologique, une prévision des phénomènes météorologiques possibles est publiée et, si les météorologues en conviennent et si certains seuils de précipitation sont dépassés, une alerte météo est lancée. Cette procédure se fonde sur des prévisions météorologiques quantitatives valables pour les 36 heures successives et sur leur interprétation faite par les météorologues.

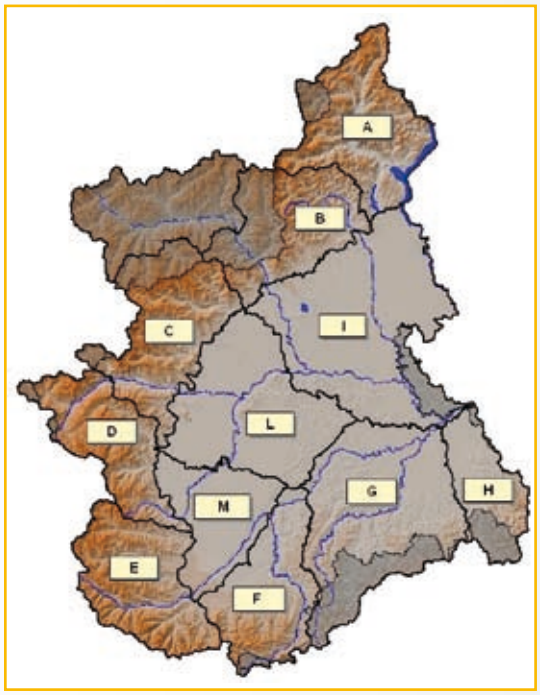


Figura 2.2 - Zone di allertamento della Regione Piemonte.
***Figura 2.2** - Zones d'alerte dans la Région Piemonte.*

viene emesso un avviso meteo. Questa procedura si basa su previsioni meteorologiche quantitative per le successive 36 ore e sulla loro interpretazione da parte dei previsori. (**Figura 2.2**)

Per quanto riguarda la parte di criticità idrogeologica ed idraulica/nevicate ad ogni zona di allertamento può essere associato un livello di criticità che si basa sul superamento di soglie di precipitazione fissate sull'area. I livelli di criticità individuati sono tre e sono legati a diversi tipi di rischio:

- ORDINARIA per condizioni che possono dare luogo a danni localizzati ovvero situazioni di disagio a scala locale, considerate normalmente tollerabili dalla popolazione;
- MODERATA per condizioni in grado di determinare danni di media gravità su ambiti territoriali ristretti, a scala comunale o parzialmente provinciale;
- ELEVATA per condizioni in grado di determinare danni di gravità rilevante su ambiti territoriali estesi, a scala provinciale o parzialmente regionale.

La presenza di un avviso meteo su una data zona, comporta sempre l'assegnazione di un livello di criticità ordinaria o più. É inoltre possibile avere un livello di criticità ordinaria o più su una data zona anche in assenza di avviso meteo, se i livelli dei corsi d'acqua risentono ancora delle precipitazioni dei giorni precedenti.
I risultati mostrati sul bollettino sono frutto di elaborazioni di dati osservati e previsti fatte da modelli idrologici unitamente all'analisi critica dei risultati ottenuti fatta da esperti idrologi e meteorologi. Elenchiamo in sintesi i passi necessari per redigere il bollettino idrogeologico ed idraulico:

- ***Individuazione del periodo temporale***

Pour ce qui concerne la section de criticité hydrologique et hydraulique/chutes de neige, à chaque zone d'alerte un niveau de criticité peut être associé. Il se base sur le dépassement des seuils de précipitation identifiés sur chaque zone. Les niveaux de criticité sont au nombre de trois et sont liés à différents types de risque :

- *ORDINAIRE pour des conditions qui peuvent engendrer des dommages localisés ou situations de difficulté à l'échelle locale, habituellement perçues comme acceptables par les habitants ;*
- *MODERE pour des conditions qui peuvent engendrer des dommages de moyenne importance dans des endroits limités, à l'échelle communale jusqu'à partiellement provinciale ;*
- *ELEVE pour des conditions qui peuvent engendrer d'importants dommages dans des zones étendues, à l'échelle provinciale jusqu'à partiellement régionale.*

Le déclenchement d'une alerte météo dans une zone donnée correspond toujours à l'application d'un code de criticité ordinaire ou supérieure. Le niveau de criticité ordinaire ou supérieure dans une zone ou plus est possible même si l'alerte météo n'est pas lancée, si le niveau des cours d'eau est encore sous l'effet des précipitations des jours précédents.

Les informations montrées dans le bulletin sont la synthèse des traitements de données observées et prévues provenant des modèles hydrologiques et de l'analyse critique de ces résultats menée par les experts hydrologues et météorologues.
Les passages nécessaires pour la rédaction du bulletin hydrologique et hydraulique sont, en synthèse, les suivants :

- ***Identification de la période critique**, pendant laquelle on a l'apparition et la perma-*

critico in cui si ha lo sviluppo dei fenomeni. Tale processo consiste nell'analizzare con dettaglio le fasi temporali dei fenomeni previsti in modo da individuare quelli di maggior pericolo, anche in relazione al tipo di fenomeno. Ai fini del monitoraggio tale informazione consente al Responsabile del Centro Funzionale di ottimizzare le attività dei tecnici di sala e la predisposizione di eventuali turni di rinforzo.

- ***Individuazione dei corpi idrici maggiormente interessati*** dai fenomeni di piena, processo che consiste nell'analizzare con dettaglio le aree del territorio regionale che possono essere particolarmente colpite dal tempo avverso.
- ***Valutazione effetti/territorio***, processo che consiste in una valutazione critica, per stimare in via preventiva gli effetti sul territorio dell'evento previsto e fornire supporto alla decisione relativa all'allertamento.

In seguito alla valutazione complessiva dell'evento previsto si è pronti per l'emissione del bollettino meteoidrologico.

In ***presenza di situazione avversa in atto***, vengono svolte in modo continuativo, per tutto il corso dell'evento ed in ogni fase della giornata, le attività indicate in seguito:

- monitoraggio costante della rete idrografica regionale, della situazione in atto e della sua evoluzione a breve termine che avviene attraverso l'esame dei dati ricevuti dalle stazioni della rete meteo-pluviometrica dell'Arpa Piemonte e dalle indicazioni di *nowcasting* prodotte dal meteorologo;
- rilascio di informazioni sulla previsione a breve scadenza utili per stabilire se l'evento avverso è in fase di esaurimento, mantenimento o sviluppo.

nence des phénomènes. Ce passage correspond à l'analyse en détail des phases temporelles des phénomènes prévus de manière à identifier les plus dangereux, en fonction du type de phénomène. Cette information permet à l'expert chargé de gérér le CF de garantir le nécessaire monitoring tout en optimisant les activités des techniciens et prévoyant, le cas échéant, les plannings ou le personnel de renfort.

- ***Identification des tronçons hydrographiques principalement concernés*** *par les phénomènes de crue. Cette phase correspond à l'analyse en détail des zones du territoire régional qui peuvent être particulièrement affectées par le mauvais temps.*
- ***Évaluation des impacts/territoire.*** *Cette phase correspond à une évaluation critique pour l'estimation prévisionnelle des impacts sur le territoire et à la fourniture d'aide à la décision en cohérence avec l'alerte.*

Suite à l'évaluation d'ensemble de l'événement prévu, le bulletin peut être publié.

Si ***une situation défavorable est en cours****, les activité suivantes sont menées de manière continue, pendant toute la durée de l'événement et de la journée :*

- *monitoring continu du réseau hydrographique régional, de la situation en cours et de son évolution à court délais, par l'analyse des données provenant des stations du réseau météo-pluviometrique d'Arpa Piemonte et des indications de nowcasting (prévisions à très court délais) produites par le météorologue ;*
- *diffusion des prévisions à court délais, utiles pour comprendre si l'évènement est en cours d'épuisement, stationnaire ou en hausse.*

I processi successivi coincidono con quelli predisposti per le situazioni avverse previste: individuazione dei corpi idrici maggiormente interessati dai fenomeni e del periodo temporale critico, valutazione degli effetti sul territorio.

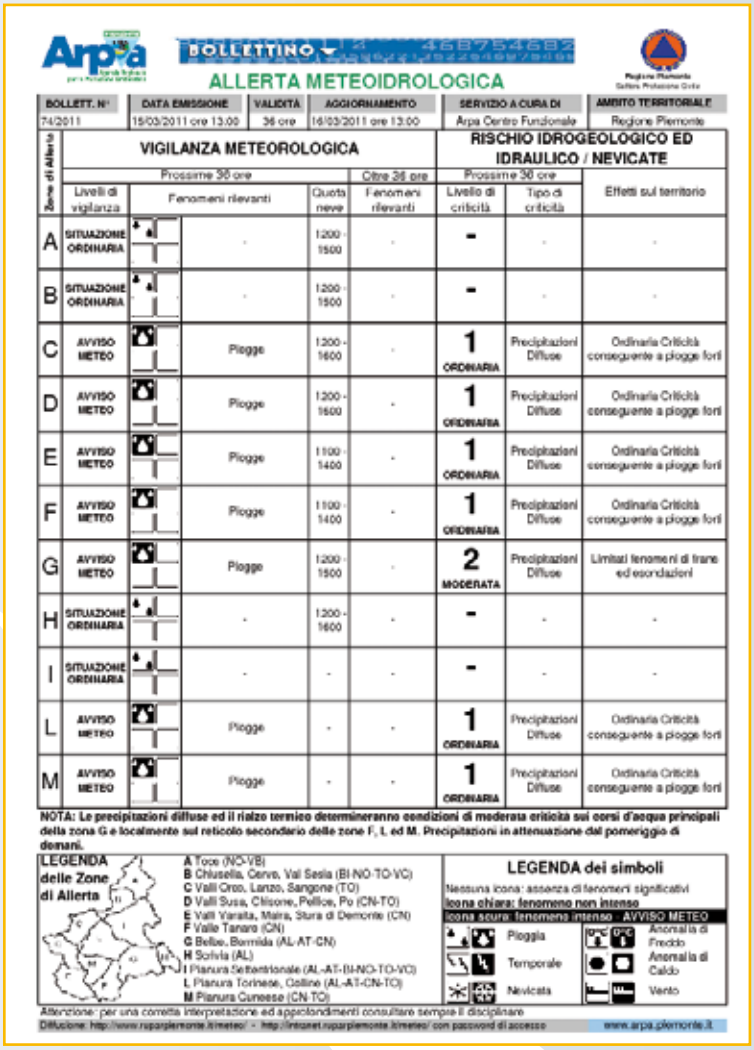
Riportiamo a titolo di esempio in **Figura 2.3** il bollettino di allerta meteoidrologica relativo al giorno 15/03/2011.

Nel caso in cui su almeno una delle zone di allertamento sia stata assegnata una criti-

Les phases successives correspondent à celles prédéfinies pour les situations critiques prévues : *identification des tronçons hydrographiques principalement concernés et de la période temporelle critique, évaluation des impacts.*

*Dans la **Figure 2.3**, on donne un exemple de bulletin d'alerte hydrométéorologique. Il a été publié le 15/03/2011.*

Dans le cas où une criticité modérée ou élevée serait lancée sur au moins une des zones d'alerte, le bulletin des crues est envoyé au Départe-



Arpa

BOLLETTINO

ALLERTA METEOIDROLOGICA

BOLLETT. N°	DATA EMISSIONE	VALIDITÀ	AGGIORNAMENTO	SERVIZIO A CURA DI	AMBITO TERRITORIALE
74/2011	15/03/2011 ore 13:00	36 ore	16/03/2011 ore 13:00	Arpa Centro Funzionale	Regione Piemonte

Zone di Allerta	VIGILANZA METEOROLOGICA					RISCHIO IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO / NEVICATE		
		Prossime 36 ore			Oltre 36 ore	Prossime 36 ore		
	Livelli di vigilanza	Fenomeni rilevanti		Quota neve	Fenomeni rilevanti	Livello di criticità	Tipo di criticità	Effetti sul territorio
A	SITUAZIONE ORDINARIA		-	1200 - 1500	-	-	-	-
B	SITUAZIONE ORDINARIA		-	1200 - 1500	-	-	-	-
C	AVVISO METEO		Piogge	1200 - 1600	-	1 ORDINARIA	Precipitazioni Diffuse	Ordinaria Criticità conseguente a piogge forti
D	AVVISO METEO		Piogge	1200 - 1600	-	1 ORDINARIA	Precipitazioni Diffuse	Ordinaria Criticità conseguente a piogge forti
E	AVVISO METEO		Piogge	1100 - 1400	-	1 ORDINARIA	Precipitazioni Diffuse	Ordinaria Criticità conseguente a piogge forti
F	AVVISO METEO		Piogge	1100 - 1400	-	1 ORDINARIA	Precipitazioni Diffuse	Ordinaria Criticità conseguente a piogge forti
G	AVVISO METEO		Piogge	1200 - 1500	-	2 MODERATA	Precipitazioni Diffuse	Limitati fenomeni di frane ed esondazioni
H	SITUAZIONE ORDINARIA		-	1200 - 1600	-	-	-	-
I	SITUAZIONE ORDINARIA		-	-	-	-	-	-
L	AVVISO METEO		Piogge	-	-	1 ORDINARIA	Precipitazioni Diffuse	Ordinaria Criticità conseguente a piogge forti
M	AVVISO METEO		Piogge	-	-	1 ORDINARIA	Precipitazioni Diffuse	Ordinaria Criticità conseguente a piogge forti

NOTA: Le precipitazioni diffuse ed il rialzo termico determineranno condizioni di moderata criticità sui corsi d'acqua principali della zona G e localmente sul reticolo secondario delle zone F, L ed M. Precipitazioni in attenuazione dal pomeriggio di domani.

LEGENDA delle Zone di Allerta

A Toce (NO-VB)
B Chiusella, Cervo, Val Sesia (BI-NO-TO-VC)
C Valli Orco, Lanzo, Sangone (TO)
D Valli Susa, Chisone, Pellice, Po (CN-TO)
E Valli Varaita, Maira, Stura di Demonte (CN)
F Valle Tanaro (CN)
G Belbo, Bormida (AL-AT-CN)
H Scrivia (AL)
I Pianura Settentrionale (AL-AT-BI-NO-TO-VC)
L Pianura Torinese, Colline (AL-AT-CN-TO)
M Pianura Cuneese (CN-TO)

LEGENDA dei simboli

Nessuna icona: assenza di fenomeni significativi
Icona chiara: fenomeno non intenso
Icona scura: fenomeno intenso - AVVISO METEO

Pioggia
Temporale
Nevicata
Anomalia di Freddo
Anomalia di Caldo
Vento

Attenzione: per una corretta interpretazione ed approfondimenti consultare sempre il disciplinare
Diffusione: http://www.rsupplemonte.it/meteo/ - http://intranet.rsupplemonte.it/meteo/ con password di accesso
www.arpa.piemonte.it

Figura 2.3 - Bollettino meteoidrologico relativo al giorno 15/03/2011.
***Figure 2.3** - Bulletin d'alerte hydrométéorologique publié le 15/03/2011.*

cità moderata o elevata, viene emesso ed inviato al Dipartimento di Protezione Civile Regionale il bollettino delle piene, che fornisce una descrizione codificata della criticità prevista per le sezioni idrometriche dei corsi d'acqua principali. Anche in questo caso viene assegnato un livello di criticità per ogni sezione:

- ***nulla da segnalare;***
- ***portata di morbida:*** bassa probabilità che si verifichino fenomeni di esondazione;
- ***piena ordinaria:*** fenomeni di inondazione limitati alle aree prossime al corso d'acqua e moderati fenomeni di erosione;
- ***piena straordinaria:*** fenomeni di esondazione estesi alle aree distali al corso d'acqua ed intensi fenomeni di erosione ed alluvionamento.

I risultati mostrati sul bollettino delle piene sono frutto di elaborazioni di dati osservati e previsti fatte da modelli idrologici unitamente all'analisi critica dei risultati ottenuti fatta da esperti idrologi. Il modello di previsione di piena su cui fondamentalmente si basano è denominato FLOODWATCH® (modello idrologico semidistribuito concettuale idraulico 1D) ed acquisisce come input i dati pluviometrici ed idrometrici misurati dalle stazioni meteorologiche ed idrologiche di Arpa Piemonte e la precipitazioni previste ragguagliate sulle singole zone di allertamento.

In condizioni ordinarie il modello gira autonomamente ogni sei ore, ma in casi critici può essere fatto girare più frequentemente per tener conto dei dati più aggiornati.
Si veda a titolo di esempio il bollettino delle piene relativo al 15/03/2011 in **Figura 2.4**.

ment de la Protection Civile Régionale, avec une description codifiée de la criticité prévue pour les sections hydrographiques des principaux cours d'eau. Dans ce cas, là aussi, à chaque section un niveau de criticité est assigné :

- ***rien à signaler ;***
- ***débit moyen plus bas que celui de crue:*** *basse probabilité de débordements ou des inondations ;*
- ***crue ordinaire*** *: phénomènes d'inondation limités aux zones proches des cours d'eau et réduits phénomènes d'érosion ;*
- ***crue extraordinaire*** *: phénomènes d'inondation étendus dans les zones éloignées du cours d'eau et intenses phénomènes d'érosion.*

Les informations publiées dans le bulletin des crues sont issues des traitements des données observées et prévues des modèles hydrologiques et de l'analyse critique des experts en hydrologie. Le modèle de prévision des crues fournissant ces données élaborées s'appelle FLOODWATCH® (modèle hydrologique semi-distribué conceptuel hydraulique 1D) : il est alimenté par les données pluviométriques et hydrométriques mesurées par les stations météorologiques et hydrologiques d'Arpa Piemonte et les précipitations prévues sur les différentes zones d'alerte. Dans des conditions ordinaires le modèle effectue un calcul automatique toutes les six heures, qui peut devenir plus fréquent en situation critique afin de prende en compte les données les plus récentes.
*A titre d'exemple, on montre par la suite le bulletin des crues du 15/03/2011. (**Figure 2.4**)*

BOLLETTINO

PREVISIONE DELLE PIENE

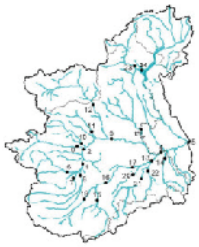
Regione Piemonte
Settore Protezione Civile

BOLLETT. N°	DATA EMISSIONE	VALIDITÀ	AGGIORNAMENTO	SERVIZIO A CURA DI	AMBITO TERRITORIALE
01/11	15/03/2011 ore 13	36 ore	16/03/11 ore 13	Arpa Centro Funzionale	Regione Piemonte

CRITICITA' IDRAULICA PREVISTA

Bacino	Corso d'acqua	Sezione	Livelli di criticità
Po	1 - Po	Carignano	1
	2 - Po	Torino - Murazzi	1
	3 - Po	Crescentino	1
	4 - Po	Isola S. Antonio	1
	5 - Po	Ponte Becca	-
	6 - Pellice	Villafranca	-
	7 - Varaita	Polonghera	-
	8 - Maira	Racconigi	-
	9 - Dora Riparia	Torino	-
	10 - Stura di Lanzo	Torino	-
	11 - Orco	S. Benigno	-
	12 - Dora Baltea	Tavagnasco	-
	13 - Sesia	Palestro	-
	14 - Scrivia	Guazzora	-
Tanaro	15 - Tanaro	Farigliano	2
	16 - Tanaro	Alba	2
	17 - Tanaro	Masio	2
	18 - Tanaro	Montecastello	2
	19 - Stura di Demonte	Fossano	-
	20 - Belbo	Castelnuovo	-
	21 - Bormida	Cassine	2
	22 - Orba	Casal Cermelli	-
Toce	23 - Toce	Candoglia	-
	24 - Lago Maggiore	Verbania	-

Reticolo idrografico principale



Legenda dei livelli di criticità	
-	Nulla da segnalare
1	**portata di morbida**: l'acqua occupa tutta la larghezza del corso d'acqua con livelli sensibilmente al di sotto del piano campagna; bassa probabilità che si verifichino fenomeni di esondazione, tuttavia è necessario prestare attenzione all'evoluzione della situazione
2	**piena ordinaria**: livelli d'acqua prossimi al piano campagna con alta probabilità di fenomeni di inondazione limitati alle aree prossimali al corso d'acqua e moderati fenomeni di erosione
3	**piena straodinaria**: la portata non può essere contenuta nell'alveo con alta probabilità di fenomeni di inondazione estesi alle aree distali al corso d'acqua ed intensi fenomeni di erosione e di alluvionamento

Attenzione: per una corretta interpretazione ed approfondimenti consultare sempre il disciplinare
Diffusione: http://www.nuparpiemonte.it/meteo/ - http://intranet.nuparpiemonte.it/meteo/ con password di accesso

www.arpa.piemonte.it

Figura 2.4 - Bollettino di previsione delle piene del 15/03/2011.
Figure 2.4 - Bulletin de prévision des crues du 15/03/2011.

I sistemi di previsione e gestione delle inondazioni - il sistema francese

Il sistema di previsione delle piene della Francia è articolato a livello statale, attraverso 22 servizi di previsone di piena. Questi servizi hanno giurisdizione su una data area geografica. All'interno di quest'area geografica, i Servizi di Previsione di Piena (SPC) garantiscono la trasmissione delle informazioni e delle previsioni di piena sui corsi d'acqua critici (elevata vulnerabilità e necessità di misure di emergenza in caso di inondazione).

Una procedura nazionale di vigilanza è applicata a più di 20.000 km di corsi d'acqua. Tre livelli d'informazione vengono aggiornati due volte al giorno (con maggiore frequenza in caso di grandi alluvioni):

- A livello nazionale: mappa e bollettino di vigilanza nazionale (**Figure 2.5, 2.6**) sviluppato dal Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondation (SCHAPI). Le mappe vengono aggiornate due volte al giorno alle ore 10 ed alle 16. Durante le inondazioni,

Les systèmes de prévision et gestion des crues - le système français

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).

Une procédure nationale des mises en vigilance est appliquée à plus de 20.000 km de cours d'eau. Trois niveaux d'informations sont actualisés deux fois par jour (plus en cas de crues importantes) :

- *Au niveau national : carte et bulletin national de Vigilance (**Figures 2.5, 2.6**) élaborée par le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondation (SCHAPI). Les cartes sont actualisées 2 fois par jour à 10 h et 16 h. En période de crues, quand cela est justifié par la rapidité d'évolution de la*

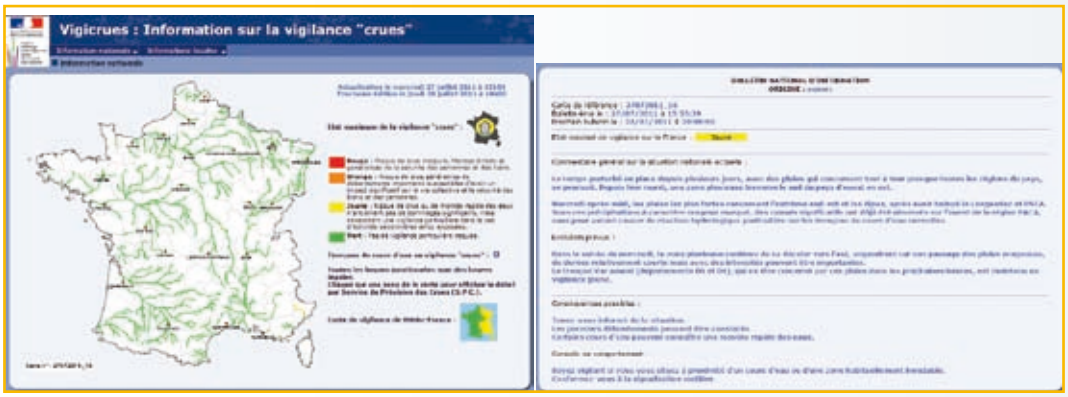


Figura 2.5 - Mappe di vigilanza delle piene consultabile presso: www.vigicrues.ecologie.gouv.fr.
Figure 2.5 - Carte de vigilance crue, consultable sur : www.vigicrues.ecologie.gouv.fr.

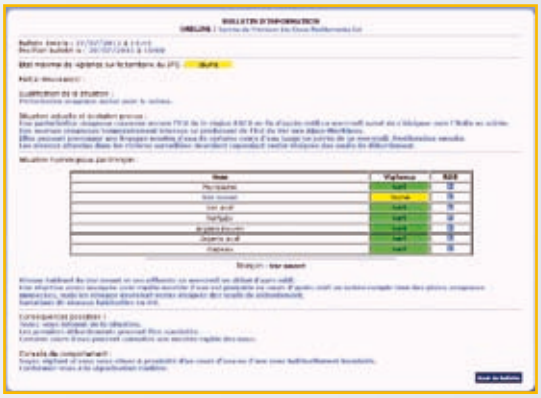


Figura 2.6 - Mappe di vigilanza delle piene consultabile presso www.vigicrues.ecologie.gouv.fr
Figure 2.6 - Carte de vigilance crue, consultable sur : www.vigicrues.ecologie.gouv.fr

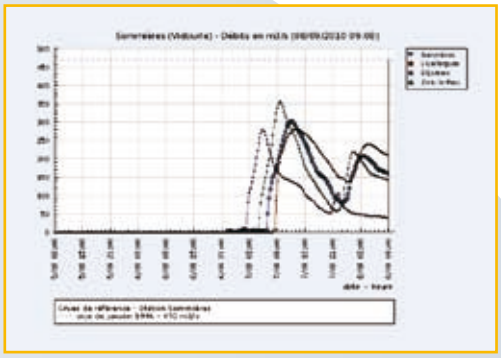


Figura 2.7 - Stazioni di monitoraggio idrometriche gestite da SPC, consultabile presso: www.vigicrues.ecologie.gouv.fr
Figure 2.7 - Suivi hydrométrique des stations gérées par les SPC, consultable sur : www.vigicrues.ecologie.gouv.fr

quando giustificato dalla rapidità degli eventi, i bollettini vengono aggiornati con maggiore frequenza. La validità della carta è di 24 ore.

- A livello locale: mappe e bollettini realizzati dal servizio di previsioni delle piene (SPC).

- In termini di stazioni di misura: grafici dei livelli idrici e delle misure di flusso stazioni di misurazione gestite dal SPC, aggiornati con cadenza almeno oraria (**Figura 2.7**).

La vigilanza delle piene si basa sullo stesso principio dell'avviso per fenomeni meteorologici intensi. I previsori idrologici attribuiscono diventa un colore ad ogni sezione del fiume a seconda del rischio osservato o atteso entro le successive 24 ore.
Due servizi di previsione delle inondazioni hanno competenza in Provence-Alpes-Côte d'Azur:

- il Servizio di previsione delle piene "Gran Delta" per la Durance ed i suoi affluenti;
- il Servizio di previsione delle piene "Mediterraneo Orientale" per i fiumi costieri al confine con l'Italia e fino al Rodano.

situation, les bulletins sont réactualisés plus fréquemment. La durée de la validitè de carte est de 24 h.

- *Au niveau local : cartes et bulletins locaux de vigilance élaborés par les Services de Prévision des Crues (SPC).*

- *Au niveau des stations hydrométriques : graphiques de hauteurs d'eau et de débit aux stations de mesures hydrométriques gérées par les SPC, mis à jour au moins toutes les heures (**Figure 2.7**).*

La vigilance «crue» est basée sur le même principe que la vigilance météorologique. Les prévisionnistes hydrologues attribuent une couleur à chaque tronçon de cours d'eau selon le risque observé ou attendu dans les 24 heures.
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.*

L'area di studio del progetto è competenza del Servizio di previsione delle piene "Mediterraneo Orientale", che fornisce le previsioni delle piene per 4 corsi d'acqua costieri (L'Huveaune, le Gapeau, l'Argens ed il Var). I 250 km monitorati sono divisi in sette sezioni di vigilanza ed interessano 62 comuni (**Figura 2.8**).

Per i corsi d'acqua meno critici, lo Stato apporta la propria esperienza agli enti locali che intendono avviare una previsione delle inondazioni. Infatti, i Servizi di Previsione delle Piene sono in grado di supportare le comunità locali che desiderano costruire il proprio sistema di allarme per quei corsi d'acqua che non sono sorvegliati dallo Stato.

In questo caso, possono essere implementati su questi corsi d'acqua modelli idrologici. Di solito questi modelli implementano una trasformazione della pioggia in deflusso. Il loro funzionamento può es-

*Sur la zone du projet, c'est le Service de Prévision des Crues «Méditerranée Est» qui assure une prévision des crues sur 4 cours d'eau côtiers. Les 250 km surveillés sont découpés en 7 tronçons de vigilance et concernent 62 communes (**Figure 2.8**).*

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. En effet, les Services de Prévision des Crues peuvent conseiller les collectivités qui souhaitent bâtir leur système d'alerte local sur les cours d'eau qui ne sont pas surveillés par l'État.

Dans ce cas, des modèles hydrologiques peuvent être mis en place sur ces cours d'eau. Ces modèles proposent généralement une transformation de la pluie en débit. Leur fonctionnement peut être calé à partir de l'information de crues passées, où simplement extrapolé par des procédures de régionalisation qui transfèrent la

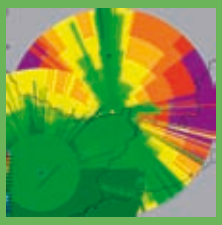
Figura 2.8 - Il territorio di competenza del SPC MED-EST.
***Figure 2.8** - Territoire de compétence du SPC MED-EST.*

sere calibrato utilizzando le informazioni da piene del passato o semplicemente estrapolati da procedure di regionalizzazione che trasferiscono le conoscenze idrologiche su siti non strumentati in configurazione simile a bacini ben monitorati.

Nel progetto CRISTAL, sono stati studiati bacini non monitorati da parte dello Stato. Su questi bacini, è stato realizzato un modello idrologico distribuito per effettuare una previsione delle inondazioni dalle informazioni fornite dai soli radar meteorologici.

connaissance hydrologique vers des sites non instrumentés mais de configuration similaire à des bassins versants instrumentés.
Dans le cadre du projet CRISTAL, plusieurs bassins versants non surveillés par l'État ont été étudiés. Sur ces bassins versants, une modélisation hydrologique distribuée a été mise en place pour réaliser une prévision des crues à partir de la seule information fournie par les radars météorologiques.

Sistemi radarmeteorologici



capitolo **terzo**

chapitre **trois**

Les systèmes radar-météorologiques

Reti fisse tradizionali in banda C ed S

Il radar meteorologico è un potente strumento che permette di rilevare e stimare in tempo reale i fenomeni di precipitazione in atto, di identificare il tipo di idrometeora (se il radar è polarimetrico) di misurare la velocità del vento (se il radar è Doppler) e di fare previsioni a brevissimo termine (*nowcasting*). Per quanto riguarda il monitoraggio in tempo reale della situazione meteorologica, il radar è sicuramente più vantaggioso delle stazioni al suolo in numerose situazioni. Esso fornisce infatti:

- visione globale, in tempo reale, dei fenomeni di precipitazione in atto su un'area molto vasta;
- elevata risoluzione spaziale dei dati;
- elevata frequenza temporale di acquisizione;
- acquisizione di dati in tre dimensioni;
- possibilità di seguire lo spostamento e l'evoluzione dei fenomeni.

I radar meteorologici operano nell'intervallo di frequenze delle microonde, le dimensioni dei bersagli devono essere confrontabili con la lunghezza d'onda a cui i radar lavorano, dunque solitamente le bande utilizzate sono la S (15 – 7,5 cm), la C (7,5 – 3,75 cm) e la X (3,75 – 2,4 cm). Dal momento che l'attenuazione del segnale aumenta al diminuire della lunghezza d'onda, si deduce che in generale sarebbe preferibile utilizzare radar in banda S. Il problema di sistemi di questo tipo risiede nel costo elevatissimo e nella difficoltà nella manutenzione, dovuti principalmente alla dimensione dell'antenna il cui diametro arriva a misurare 10 m. È per questo motivo che l'utilizzo di radar in banda S è molto diffuso e consigliabile nelle zone tropicali o in aree in cui uragani, tornado e cicloni si verificano sovente, mentre è sufficiente avvalersi di radar in banda

Les réseaux traditionnels fixes en bande C et S

Le radar météorologique est un instrument puissant pour détecter et estimer en temps réel les phénomènes de précipitation, identifier le type d'hydrométéores (si le radar est polarimétrique), mesurer la vitesse du vent (si le radar est Doppler) et avoir des prévisions à très court terme (nowcasting). Le radar est une solution meilleure par rapport aux réseaux pluviométriques au sol pour le suivi de la situation météo en temps réel dans de nombreuses situations. En fait, le radar fournit :

- *une vision globale, en temps réel, des phénomènes de précipitations sur une grande surface ;*
- *des données à haute résolution spatiale ;*
- *une haute fréquence temporelle d'acquisition ;*
- *l'acquisition des données en trois dimensions ;*
- *la capacité de suivre le mouvement et l'évolution des phénomènes.*

Les radars météorologiques opèrent dans la gamme des fréquences micro-ondes : la taille de la cible doit être comparable à la longueur d'onde à laquelle le radar travaille et pour cette raison les longueurs les plus utilisées sont la bande S (15 - 7,5 cm), C (7,5 - 3,75 cm) et X (3,75 - 2,4 cm).

Comme l'atténuation du signal augmente avec la réduction de longueur d'onde, il semblerait préférable d'utiliser les radars de bande S. Le problème avec de tels systèmes réside dans le coût élevé et la difficulté de l'entretien, principalement en raison de la taille de l'antenne qui peut avoir un diamètre de 10 m.

C'est pour cette raison que le radar en bande S est largement utilisé et même recommandé dans les zones tropicales ou dans des zones où les ouragans, les tornades et cyclones sont fréquents tandis que la bande C est employée dans d'autres contextes.

C in altri contesti. La banda C è oggigiorno utilizzata dalla maggior parte dei nuovi impianti installati in regioni non tropicali. In Europa, salvo alcune eccezioni, la maggior parte degli stati si è dotata di reti radar in banda C per la copertura nazionale. Si veda in **Figura 3.1** la mappa della rete radar europea (tratta da Huuskonen, A. Delobbe, L. & Urban, B. 2010: Update on the European Weather radar co-operation (OPERA). Proceedings 6th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, Sibiu).

La bande C est aujourd'hui utilisée par la plupart des nouveaux systèmes installés dans les régions non tropicales. En Europe, sauf quelques exceptions, la plupart des Etats ont développés un réseau de radars en bande C pour la couverture nationale.
*Ci dessous (**Figure 3.1**), la carte du réseau de radars européens (tiré de Huuskonen, A. Delobbe, L. & Urban, B. 2010 : Update on the European Weather radar co-operation (OPERA). Proceedings 6th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, Sibiu).*

Figura 3.1 - Rete radar dei paesi membri del progetto OPERA. I radar in banda S, C ed X sono contraddistinti rispettivamente dal blu, verde ed azzurro. I sistemi a doppia polarizzazione sono indicati da un piccolo puntino rosso, quelli Doppler da un puntino giallo.
***Figure 3.1** - Réseau radar des Etats membres du projet OPERA. Les radars en bande S, C et X sont respectivement marqués en bleu, vert et bleu ciel. Les systèmes à double polarisation sont indiqués par de petits points rouges, ceux dotés de la capacité Doppler par les points jaunes.*

RADAR OPERATIVI NELL'ITALIA NORD-OCCIDENTALE

L'Italia nord-occidentale è una regione caratterizzata da orografia complessa e da un gran numero di bacini idrografici. Condizioni meteorologiche avverse, accompagnate da precipitazioni di grandi intensità, hanno provocato spesso in passato eventi alluvionali. È di primaria utilità, perciò, una rete di sensori meteorologici in grado di monitorare continuamente la regione e fornire allerte tempestive in situazioni di particolare rischio. L'installazione di radar meteorologici è risultata estremamente efficace nell'ottica di un monitoraggio continuo del territorio, e per integrare il preesistente sistema di stazioni al suolo.
I radar operativi nell'area nord-occidentale sono due, entrambi in banda C (λ = 5cm): il radar di Bric della Croce, situato sull'omonima collina nei pressi di Torino, e il radar di Monte Settepani, sull'Appennino ligure. Di seguito è riportata una breve descrizione delle loro peculiarità e delle rispettive modalità di scansione.

IL RADAR DI BRIC DELLA CROCE

Il radar sulla sommità della collina di Torino, (736 m s.l.m.) e gestito da Arpa Piemonte, è installato in cima a un traliccio di 25 m di altezza. La sua posizione, centrale e priva di ostacoli rilevanti nelle immediate vicinanze, è ottimale per il monitoraggio della regione, soprattutto della sua parte orientale. Verso Est, infatti, la pianura padana non offre ostacoli di alcun genere alla propagazione del fascio radar. In direzione occidentale, al contrario, la presenza dei rilievi alpini ostacola, e in alcuni casi blocca completamente, la propagazione della radiazione alle elevazioni più basse, cosicché la prima elevazione completamente libera da ostacoli risulta essere compresa tra 2,0° e 3,0° (**Figura 3.2**). Il numero totale di elevazioni utilizzate

LES RADARS DANS LE NORD-OUEST DE L'ITALIE

L'Italie du Nord-Ouest est une région caractérisée par un relief complexe et un grand nombre de bassins versants. Les conditions météorologiques défavorables, accompagnées par des précipitations de forte intensité, ont souvent provoqué des inondations dans le passé. Il est prioritaire, par conséquent, de disposer d'un réseau de capteurs météorologiques pour pouvoir surveiller en permanence la région et fournir des alertes en temps opportun dans les situations de risque particulier. L'installation du radar météorologique a été extrêmement efficace pour une surveillance continue du territoire, et pour intégrer le système existant de stations au sol.
Deux radars en bande C (λ = 5cm) fonctionnent dans le Nord-Ouest : le radar du Bric della Croce, situé sur une colline près de Turin, et le radar de Monte Settepani, Apennin Ligurien. On donne dans la suite une brève description de leurs caractéristiques et de leur mode de balayage.

LE RADAR DU BRIC DELLA CROCE

*Le radar au sommet de la colline de Turin (736 m) et géré par l'Arpa Piemonte, est installé au sommet d'une tour de 25 m de hauteur. Son emplacement, central et sans obstacles majeurs à proximité, est optimal pour la surveillance de la région, et en particulier de sa partie orientale. A l'Est, en fait, la vallée du Pô ne pose aucune sorte d'obstacle à la propagation du faisceau radar. En direction Ouest, par contre, la présence des sommets alpins entrave, ou dans certains cas bloque complètement, la propagation du rayonnement à basse altitude. Par conséquence la première élévation complètement libre d'obstacles se place entre 2,0° et 3,0° (**Figure 3.2**). Le nombre total des élévations utilisées par le radar est de 11, entre -0,1 ° et 28,5 °.*
Le radar sonde l'atmosphère toutes les cinq

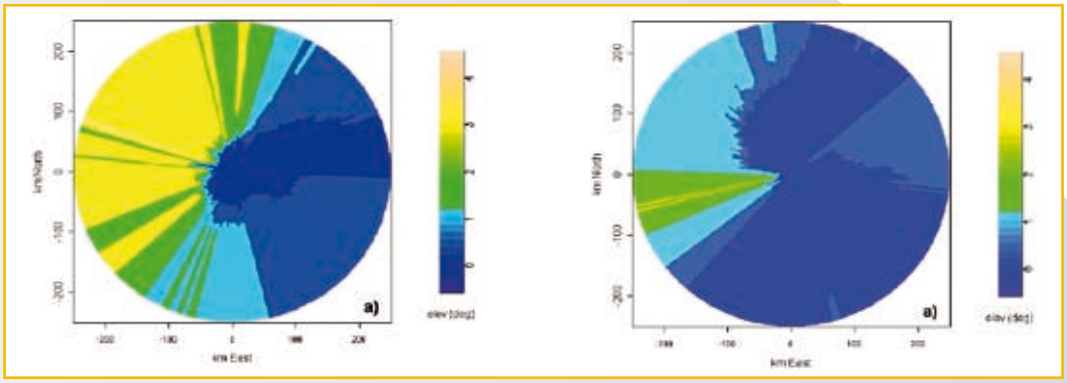


Figura 3.2 - **Mappa di visibilità per il radar di Bric della Croce (sinistra) e Monte Settepani (destra). Si nota l'effetto dei rilievi alpini nel bloccare le elevazioni più basse in direzione occidentale, soprattutto per il radar di Bric della Croce, che si trova ad una quota più bassa.**

Figure 3.2 - ***Carte de visibilité pour le radar Bric della Croce (à gauche) et Monte Settepani (à droite). On remarque l'effet de la chaîne des Alpes qui bloque les basses élévations en direction de l'Ouest, en particulier dans le cas du radar de Bric della Croce, qui est à une altitude inférieure.***

dal radar è 11, comprese tra –0.1° e 28.5°. Il radar esegue operativamente una scansione volumetrica con frequenza di cinque minuti. La portata è di 170 km, per coprire l'intero territorio regionale piemontese. Viene utilizzato un impulso corto di durata 0,5 µs, trasmesso con doppia PRF (Pulse Repetition Frequency) di 882/588 Hz. Durante questa scansione, vengono acquisiti i valori sia delle variabili polarimetriche Z (riflettività), ZDR (riflettività differenziale), RhoHV (correlazione), PhiDP (variazione differenziale di fase), sia della velocità Doppler V e dell'ampiezza dello spettro W. La risoluzione in distanza è di 340 m e in azimuth di 1°.

Per quanto riguarda le caratteristiche tecniche principali, il radar di Bric della Croce utilizza un trasmettitore Magnetron e ha un'antenna con paraboloide di diametro 4,2 m racchiusa da una protezione rigida di forma sferica (radome). In seguito all'aggiornamento del sistema effettuato nel maggio del 2008, il sistema è stato dotato di un doppio ricevitore digitale per la trasmissione simultanea degli impulsi in polarizzazione orizzontale e verticale. Il sistema è controllato in re-

minutes. Sa portée est de 170 km, pour couvrir toute la région du Piémont. Il utilise une impulsion courte d'une durée de 0,5 µs, transmis en double PRF (Pulse Repetition Frequency, fréquence de répétition des impulsions) de 882/588 Hz. Pendant ce balayage, le radar capture à la fois les variables polarimétriques Z (réflectivité), ZDR (réflectivité différentielle), RhoHV (corrélation), PhiDP (changement différentiel de phase) et les variables Doppler, vitesse radiale V et variance spectrale W. La résolution en distance est de 340 m et de 1° en azimut.

En ce qui concerne les principales caractéristiques techniques, le radar du Bric della Croce utilise un transmetteur Magnetron et une antenne paraboloïde de 4,2 m de diamètre dans une sphère de protection rigide (radôme). Après la mise à jour du système, réalisée en mai 2008, le radar a été équipé d'un double récepteur numérique pour la transmission simultanée des impulsions dans la polarisation horizontale et verticale. Le système est contrôlé à distance depuis le centre météorologique régional, à Turin, où les données sont transmises en temps réel avec une liaison radio dédiée.

moto dal centro meteorologico regionale di Torino, dove i dati sono trasmessi in tempo reale attraverso un ponte radio dedicato.

IL RADAR DI MONTE SETTEPANI

Questo secondo radar, gestito in collaborazione da Arpa Piemonte e Regione Liguria, la cui istallazione è stata effettuata nell'autunno del 2001, è collocato sulla sommità del Monte Settepani, una delle cime principali dell'Appennino ligure, ad una quota di 1386 m s.l.m.. Questa posizione lo rende particolarmente utile per il monitoraggio della Pianura Padana, verso Nord-Est, e del Tirreno settentrionale. È perciò in grado di rilevare efficacemente l'avvicinarsi di sistemi di precipitazione di provenienza meridionale.
È infatti condizione frequente, soprattutto in autunno, l'apporto di precipitazioni sulla Liguria e sul Piemonte da parte di masse d'aria umida provenienti dal Mediterraneo.
Per sfruttare l'ottima visibilità di questo sistema viene adottata una scansione doppia: una prima scansione con impulso corto simile a quella del radar di Bric della Croce ed una seconda con impulso lungo (3,0 µs), portata 250 km e PRF 595 Hz. Le caratterisitche di questa scansione permettono di ottenere una elevata sensibilità e di effettuare quindi un monitoraggio delle precipitazioni a grande distanza. Le due scansioni sono ripetute con frequenza di cinque minuti.

Il radar di Monte Settepani è dotato di un trasmettitore Klystron e di un singolo ricevitore digitale (trasmissione alternata degli impulsi in polarizzazione orizzontale e verticale), l'antenna ed il radome sono analoghi a quelli del radar di Bric della Croce. Anche questo radar viene gestito in remoto dal centro meteorologico regionale di Torino a cui vengono inviati in tempo reale i dati per mezzo di un collegamento satellitare.

LE RADAR DU MONTE SETTEPANI

Ce deuxième radar, exploité conjointement par l'ARPA Piemonte et la Région Ligurie, installé à l'automne 2001, est situé sur le sommet du Monte Settepani, l'un des principaux sommets de l'Apennin Ligurien, à 1386 mètres d'altitude. Cette position le rend particulièrement utile pour surveiller la Vallée du Pô, au Nord-est et au Nord de la Mer Tyrrhénienne.

Il est donc capable de détecter efficacement l'approche des systèmes de précipitations qui remontent du Sud. Très fréquemment, surtout en automne, la contribution des précipitations sur le Piémont et la Ligurie est due aux masses d'air humide provenant de la Méditerranée.

Pour profiter de son excellente visibilité, ce système utilise un balayage double : un premier sondage avec impulsion courte similaire à celle du radar du Bric della Croce et un second avec une impulsion longue (3,0 µs), rayon d'action de 250 km et PRF de 595 Hz. Les caractéristiques de ce balayage permettent d'obtenir une haute sensibilité et de faire une surveillance des précipitations à longue distance. Les deux sondages sont répétés avec une fréquence de cinq minutes.

Le radar du Monte Settepani a un émetteur à Klystron et un seul récepteur numérique (transmission alternée des impulsions en polarisation horizontale et verticale), le radôme et l'antenne sont similaires à ceux du radar Bric della Croce. Ce radar aussi, comme le précédent, est géré à distance par le centre météorologique régional de Turin qui obtient en temps réel des données via liaison satellitaire.

La tabella seguente (**Tabella 3.1**) riassume le principali caratteristiche dei due strumenti.
*Les tableaux suivants (**Tableau 3.1**) résument les principales caractéristiques des deux instruments.*

Tabella 3.1 - Confronto tra le caratteristiche di Bric della Croce e Monte Settepani.
Tableau 3.1 - Comparaison entre les caractéristiques du Bric della Croce et Monte Settepani.

Collocazione/*Lieu*		
	Bric della Croce	**Monte Settepani**
Località/*Localité*	Pecetto Torinese (TO)	Calizzano (SV)
Quota/*Altitude*	736 m	1390 m
Latitudine/*Latitude*	45.03 N	44.25 N
Longitudine/*Longitude*	7.73 E	8.20 E
Principali caratteristiche tecniche dei radar/*Principales caractéristiques techniques des radars*		
	Bric della Croce	**Monte Settepani**
Polarizzazione/*Polarisation*	Lineare H e V	
Parametri misurati/*Parametres mesurés*	Z_H, Z_{DR}, V, σV	
Diametro dell'antenna/*Diamètre de l'antenne*	4.2 m	
Ampiezza del fascio/*Amplitude du faisceau*	1.0 °	
Massimo livello dei lobi laterali/ *Niveau maximum des lobes secondaires*	-28 dB	
Guadagno dell'antenna/*Gain de l'antenne*	44.5 dB	
Trasmettitore/*Transmetteur*	Magnetron	Klystron
Frequenza/*Fréquence*	5450 ÷ 5825 MHz	5600 ÷ 5650 MHz
Potenza di picco/*Puissance de crête*	≥ 250 kW	
Lunghezza d'impulso/*Durée d'impulse*	0.5, 2.0 µs	0.5, 1.5, 3.0 µs
PRF	250 ÷ 1200 Hz	300 ÷ 1200 Hz

IL RADAR 50 DX

Il METEOR 50 DX (**Figura 3.3**) 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 rado-

LE RADAR 50 DX

*Le METEOR 50 DX (**Figure 3.3**) est un radar transportable Doppler et polarimétrique en bande X (9,3 GHz). La puissance maximale de 75 kW à peu près lui permet une distance maximale de 100 km. Le radar est monté sur une remorque routière pour le transport. Il est possible de le déplacer en la tractant avec le véhicule approprié.*

Le poids total de la remorque (y compris le radar et le radôme) est de 2800 kg. La procédure de re-localisation dans la région (y compris la désinstallation, le transport et la nouvelle installation) peut être faite dans un seul jour. Cela fournit l'opportunité de mettre en service le système en différents contextes du territoire, selon des exigences de surveillance spécifiques. Le radar peut fonctionner avec ou sans son

Figura 3.3 - Radar in banda X e disdrometro collocati sul Colle di Tenda, estate 2010.
Figure 3.3 *- Le radar transportable et le disdromètre sur le col de Tende, été 2010.*

me. 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.

radôme. La protection du radôme est recommandée dans des conditions particulièrement défavorables, telles que celles qui peuvent se produire en haute montagne, avec vents violents et gelées. Dans la plupart des situations, dans les sites de mesure en plaine ou en fond de vallée, l'utilisation du radôme n'est pas essentielle et, sans une telle couverture, on peut faire des mesures de plus grande précision.
Quant à l'installation, le système a été conçu pour ne pas avoir besoin d'infrastructures, sauf une route d'accès pour un transport par voie terrestre (le transport aérien est aussi possible, par hélicoptère). Un générateur est installé dans la remorque et le réservoir de carburant garantit l'autonomie pour 16 heures de fonctionnement ininterrompu même dans l'absence d'électricité. Dans les sites où l'énergie électrique est disponible le radar fonctionne normalement avec courant triphasé 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.

Il sistema consiste dei seguenti componenti principali:

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

Le principali caratteristiche tecniche dei componenti succitati sono presentate nella **Tabella 3.2**. 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'impulso 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.

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 (1.3°), 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

Le système de communication a trois modes d'accès :

- *par des réseaux câblés locaux, via Ethernet installé sur le remorque ;*
- *wireless, via Wi-Fi ;*
- *par téléphone, via GPRS-EDGE.*

Le système se compose des éléments suivants :

- *Remorque ;*
- *Antenne ;*
- *Emetteur ;*
- *Processeur de contrôle du radar.*

*Les spécifications techniques de ces composants sont présentées (**Tableau 3.2**) : TRAILER, ANTENNA, TRANSMITTER, RECEIVER. Du point de vue du matériel, une caractéristique importante du système Meteor 50 DX réside dans l'installation de l'émetteur et du récepteur en solidarité avec la parabole.*

Cela a permis l'élimination des raccords tournants en azimut et en élévation pour la transmission et la réception des impulsions électromagnétiques vers et depuis l'antenne. La perte du signal le long de la voie TX -> Antenne-> RX est donc minimisée et toute anisotropie provoquée par le mouvement des raccords tournants est a priori exclue.

En bref, le fonctionnement du système comprend un modulateur à l'état solide dans l'émetteur, qui envoie une impulsion de tension élevée à la cathode du magnétron, afin de déclencher la génération d'un rayonnement en micro-ondes.
La même antenne capte le signal rétrodiffusé par les cibles météorologiques, qui est ensuite pré-amplifié dans le récepteur, combiné avec un signal d'oscillateur local, puis converti dans une fréquence intermédiaire (IF).
Le signal analogique IF est ensuite digitalisé par le récepteur digital RX-GDRX et mis à disposition pour le traitement du processeur de signal.
Le processeur de signal est capable de traiter

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)
- ρhv 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, rhv, 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

les variables météorologiques suivantes :

- *Zh réflectivité horizontale (dBZ) ;*
- *Zdr réflectivité différentielle (dB) ;*
- *V vitesse Doppler(m/s) ;*
- *σV variance spectrale Doppler (m/s) ;*
- *ρhv coefficient de corrélation ;*
- *PHIDP changement de phase différentielle (deg) ;*
- *KDP changement de phase différentielle spécifique (deg/km).*

Les variables Zh et Zdr sont liées à la mesure de la

Tabella 3.2 Caratteristiche del radar mobile in banda X.
Tableau 3.2 *Caractéristiques du radar en bande X mobiles.*

Antenna diameter	1.8 m
Antenna beam	1.3°
Antenna gain	43 dB
Operating	9.375 GHz
Transmitter peak	≈ 70 kW
Pulse width	0.5, 1.0, 2.0 μs
PRF	250-2000 Hz
Range resolution	30 m
Receiver dynamic	90 dB

puissance reçue sur les deux plans de polarisation orthogonales (horizontale et verticale) et ils fournissent une indication de la quantité des hydrométéores dans le volume de l'atmosphère échantillonnée par le radar et de leur état microphysique (pluie, neige, ...).
Les variables V, σV, rhv, *PHIDP et KDP (tiré de PHIDP par dérivation en distance) sont des mesures de phase et ont l'avantage de n'être pas affectées par l'atténuation du signal avec la distance, ou par l'étalonnage absolu du radar.*
V et σV mesurent respectivement la vitesse radiale et l'amplitude du spectre Doppler, variable liée au degré de turbulence dans l'atmosphère.
PHIDP mesure la différence de phase entre le signal en polarisation horizontale et verticale due à la propagation d'impulsions électromagnétiques qui passent par les précipitations.
En raison de la forme aplatie prise par les gouttes d'eau dans la pluie, l'impulsion de phase horizontale est plus influencée par l'interaction entre l'impulsion électromagnétique et de la goutte d'eau, par rapport à la phase verticale de l'im-

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.

IL RADAR HYDRIX

Sul versante francese, la CETP-CNRS ha commissionato un prototipo di pre-produzione industriale di un radar in banda X polarimetrico (radar Hydrix®) nell'ambito del progetto FRAMEA. Questo radar è stato collocato nel Var (sito di Laquin nel febbraio 2005, a 4 km dal radar in banda S-Météo-France di Collobrières), e successivamente sul Mont Vial (Alpes-Maritimes, 50 km a nord di Nizza). Il radar è stato utilizzato implementando una procedura in

pulsion, générant ainsi une différence de phase positive et croissante avec la distance du radar.

La dérivée par rapport à la distance de PHIDP, notée traditionnellement KDP, est très bien corrélée avec la quantité d'eau présente dans le milieu traversé par l'impulsion radar, permettant deux applications importantes, particulièrement significatives pour le radar bande X :

- *correction de l'atténuation ;*
- *estimation de la précipitation intense.*

Il est connu que la limitation la plus importante pour le développement et l'utilisation des radars météorologiques de bande X est historiquement liée à l'incapacité de répondre de façon satisfaisante à la forte influence de l'atténuation à cette fréquence si le radar n'est pas polarimétrique.

L'avènement de la polarimétrie, depuis la fin des années soixante-dix, et ensuite le développement d'algorithmes de plus en plus fiables pour la correction de l'atténuation, a finalement rendu possible la mise en œuvre des systèmes radar météo de bande X l'utilisation de ces radars en applications opérationnelles quantitative, pour la surveillance des risques hydro-météorologiques.

LE RADAR HYDRIX

Du côté français, le CETP-CNRS a fait réaliser un prototype de pré-série industrielle d'un radar bande X polarimétrique (le radar HYDRIX®) dans le cadre du projet FRAMEA. Ce radar a été déployé dans le Var (site de Laquina en Février 2005, à 4 km du radar en bande S de Météo-France à Collobrières) puis sur le MontVial (Alpes-Maritimes à 50 km au Nord de Nice). Le radar a été exploité en mettant en œuvre une filière "temps réel" de traitement des données et d'extraction du taux précipitant. Cette filière implémente l'algorithme ZPHI®, objet de trois brevets CNRS.

tempo reale di trattamento dei dati e stima dell'intensità di precipitazione. Questa procedura implementa l'algoritmo, ZPHI®, oggetto di tre brevetti CNRS.
Sono stati acquisiti e archiviati più di un anno di dati Hydrix® sul sito di Laquin, insieme a quelli del radar in banda S Météo-France e delle reti di pluviometri di Météo-France e del Cemagref. Il confronto tra i tre tipi di dati - radar Hydrix®, radar in banda S di Collobrières e pluviometri, ha rivelato quattro principali risultati:

1) In un contesto topografico complesso come quello del Massif des Maures, la visibilità del radar HYDRIX® è notevolmente migliore rispetto a quella del radar in banda S, in quanto è molto meno suscettibile di ingombro a terra.
2) Il confronto di dati di riflettività dei due radar mostra che la correzione dell'attenuazione eseguita da ZPHI® è eccellente.
3) Il confronto delle stime della cumulata di pioggia ottenuta dai due radar con i pluviometri mostra che fino a 60 km, lo stimatore di HYDRIX® +ZPHI® , che opera in piena autonomia, è migliore (minor bias e meno rumoroso) rispetto a quella del radar in banda S seppur calibrato in tempo reale con i pluviometri.
4) L'estinzione totale a cui è soggetto il radar Hydrix® sembra sufficientemente rara sicché anche in un contesto di precipitazioni molto intense (fino a 250mm in 24 ore)il bias sulla cumulata di pioggia non eccede il 5% fino ad una distanza di 60 km dal radar.

Nell'ambito del progetto CRISTAL, una delle prime iniziative è stata l'upgrade tecnico del radar di Mont Vial, in particolare con la sostituzione del posizionatore. La peculiarità è stata quella di studiare e realizzare un posizionatore con caratteristiche specifiche per il funzionamento del radar HYDRIX®, cioè un

Plus d'un an de données d'HYDRIX® sur le site de Laquina ont été acquises et archivées, en même temps que celles du radar bande S de Météo-France et des réseaux de pluviomètres de Météo-France et du Cemagref. La comparaison des trois types de données – radar HYDRIX®, radar bande S de Collobrières, et pluviomètres, a fait apparaître quatre résultats essentiels :

1) Dans un contexte de topographie complexe tel que celui du massif des Maures, la visibilité du radar HYDRIX® est fortement améliorée par rapport à celle du radar en bande S, car il est beaucoup moins sujet aux échos parasites du terrain.
2) La comparaison des données de réflectivité des deux radars montre que la correction d'atténuation opérée par ZPHI® est excellente.
3) La comparaison des estimateurs de hauteur d'eau produits par les deux radars, avec les pluviomètres, montre que jusqu'à la portée 60 km, l'estimateur d'HYDRIX®+ZPHI®, fonctionnant en totale autonomie, est meilleur (moins biaisé et moins bruité) que celui du radar bande S dont l'étalonnage est pourtant asservi en temps réel par les pluviomètres.
4) L'extinction totale à laquelle est sujette le radar HYDRIX® semble suffisamment rare pour que, même dans le contexte d'évènements pluvieux très intenses (jusqu'à 250mm en 24 heures), le biais sur la lame d'eau intégrée n'excède par 5% jusqu'à une portée de 60 km autour du radar.

Dans le cadre du projet CRISTAL, une des premières actions a été la remise en niveau technique du radar du Mont Vial, en particulier avec le remplacement du positionneur. La particularité était d'étudier et de réaliser un positionneur ayant des caractéristiques propres au fonctionnement du radar Hydrix, à savoir un fonctionnement sans radôme en conditions climatiques

funzionamento senza radome in condizioni climatiche estreme. Questo lavoro è stato realizzato ed organizzato dalla società Novimet. Il lavoro è stato svolto in più fasi durante il primo trimestre 2009 (**Figura 3.4**):

- Studio del nuovo posizionatore
- Realizzazione del posizionatore.
- Fornitura del collettore circolare.
- Supporto per l'installazione dei cavi.
- Trasporto con elicottero.
- Monitoraggio, integrazione, test e messa in servizio.

L'azienda Novimet ha sviluppato un interfaccia di estrazione di dati a disposizione del progetto (**Figura 3.5**). I dati forniti sono i seguenti:

- Sintesi di pioggia (intensità istantanea di precipitazione al suolo) in mm / h, relativa ad un intervallo di tempo di 2,5 minuti. Si ottiene dalla proiezione a terra dalla pioggia rilevata sull'insieme delle elevazioni scansionate.
- Cumulata su 5 minuti in mm è il risultato della somma di due sintesi successive.
- Cumulata oraria in mm è costituito dalla somma di 24 sintesi successive.

La proiezione utilizzata per i dati forniti è la Lambert II estesa. Ogni file copre un'area di 150*150km^2 con una risoluzione di 1 km^2. Quest'area corrisponde al quadrato in cui è inscritto il disco coperto dalla massima portata del radar. I dati di pioggia sono utilizzabili quantitativamente in un disco di raggio di 60 km dal centro del quadrato. Si possono usare oltre 60 km per il rilevamento.

extrêmes. Ce travail a été réalisé et orchestré par la société NOVIMET.

*Le travail a été fait en plusieurs étapes durant le premier trimestre 2009 (**Figure 3.4**) :*

- *Etude du nouveau positionneur.*
- *Réalisation du positionneur.*
- *Fourniture du collecteur tournant.*
- *Aide à l'installation des câbles.*
- *Héliportage.*
- *Suivi, intégration, tests et mise en service.*

*La société Novimet a développé une interface de désarchivage des données, mis à la disposition du projet (**Figure 3.5**). Les données fournies sont les suivantes :*

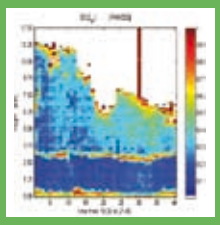
- *Synthèse de la pluie (taux de pluie instantané au sol), exprimée en mm/h, par pas de temps de 2,5 minutes. Elle résulte de la projection au sol de la pluie détectée sur l'ensemble des élévations explorées.*
- *Accumulation 5 minutes. Exprimée en mm elle est le résultat de la somme de deux synthèses successives.*
- *Accumulation 1h. Exprimée en mm elle est constituée de la somme 24 synthèses successives.*

*La projection utilisée pour les données mises à disposition est le Lambert II étendu. Les fichiers couvrent une empreinte de 150*150 km^2 avec une taille de cellule de 1 km^2. Cette empreinte correspond au carré dans lequel s'inscrit le disque couvert par le radar en portée maximale. Les données de pluie sont exploitables quantitativement dans un disque de 60 km de rayon au centre du carré. Il est possible de les exploiter au-delà des 60 km pour la détection.*

Figura 3.4 - Sostituzione ed installazione del posizionatore.
Figure 3.4 - Remplacement et installation du positionneur.

Figura 3.5 - interfaccia di estrazione.
Figure 3.5 - *Interface de désarchivage.*

Stima della precipitazione sui bacini alpini



capitolo **quarto**

chapitre **quatre**

Estimation des précipitations sur les bassins versants alpins

Installazione del radar trasportabile presso il Colle di Tenda (2010)

Il 9 luglio 2010 il radar trasportabile in banda X gestito da Arpa Piemonte è stato riposizionato sul Colle di Tenda, a 1830 m s.l.m. (**Figura 4.1**). Insieme al radar sono stati installati due disdrometri laser Thies-CLIMA (http://www.thiesclima.com/disdrometer.html).

Installation du radar transportable au Col de Tende (année 2010)

*Le 9 Juillet 2010, le radar transportable en bande X exploité par l'Arpa Piemonte a été déplacé au bout du Col de Tende, à 1830 m. (**Figure 4.1**). Deux disdromètres laser Thies-CLIMA ont été installés près du radar (http://www.thiesclima.com/disdrometer.html).*

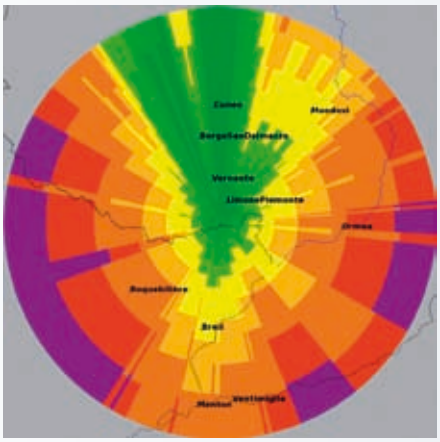


Figura 4.1 - il radar in banda X trasportabile sul Colle di Tenda (sinistra) e la mappa di visibilità radar dal Colle (destra); è visualizzata l'altezza del primo fascio libero sul livello del mare: colore verde (1000-3000 m), giallo-arancione (3000-9000 m).
Figure 4.1 - Le radar transportable en bande X sur le Col de Tende (à gauche) et carte de visibilité du radar du Col (à droite) : l'image à droite est le premier faisceau libre sur le niveau de la mer : en vert (1000-3000 m) et en jaune-orange (3000-9000 m).

L'installazione dei due disdrometri affiancati ha permesso di stabilire il grado di accuratezza e rappresentatività dello strumento nell'integrazione della distribuzione delle gocce per il calcolo dell'intensità di precipitazione e della riflettività. Si può notare (**Figura 4.2**) che il RMSE tra le due serie temporali (dati integrati su 1 minuto) è di 0,66 mm/h per la precipitazione istantanea e di 2,3 dB per la riflettività, con bias trascurabile.
Il radar ha funzionato in maniera continuativa nei due mesi estivi di luglio e agosto,

*L'installation des deux disdromètres l'un à côté de l'autre a permis d'établir le degré de précision et de représentativité de l'instrument dans l'intégration de la distribution des gouttes pour le calcul de l'intensité des précipitations et de la réflectivité. On peut voir (**Figure 4.2**) que la racine de l'erreur quadratique moyenne dans les deux séries temporelles (données intégrée sur 1 minute) est de 0,66 mm / h pour la précipitation de 2,3 dB pour la réflectivité instantanée, avec un biais négligeable.*
Le radar a marché sans interruption dans les deux mois de Juillet et Août, permettant la

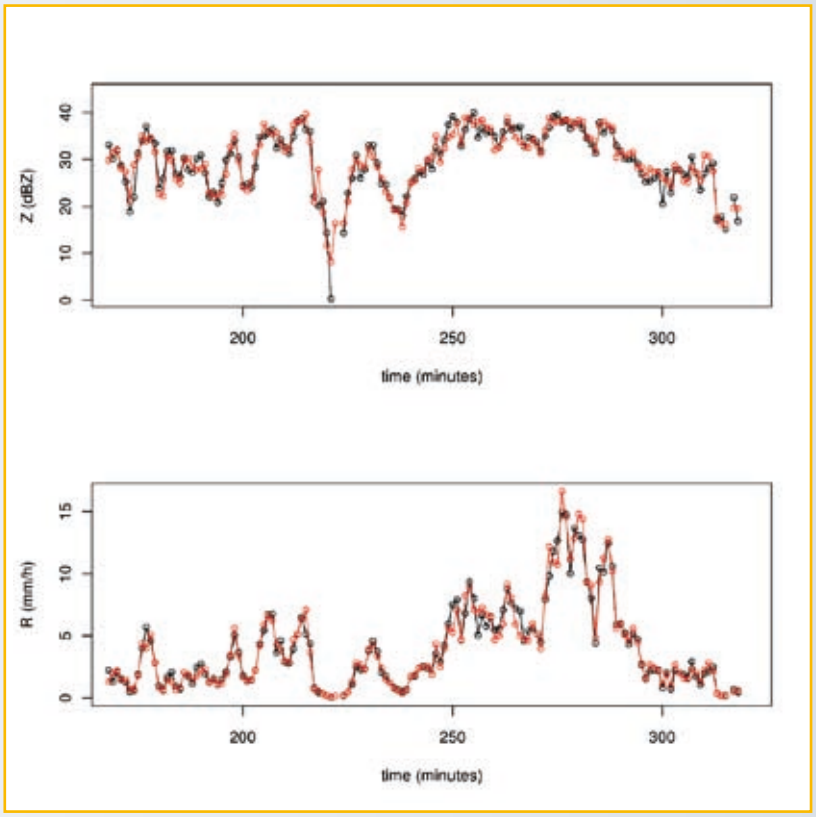


Figura 4.2
Serie temporale di intensità di precipitazione (R) e riflettività (Z) dei due disdrometri (linea rossa e nera), per l'evento del 8 settembre 2010.

Figure 4.2
Série temporelle de l'intensité des précipitations (R) et de la réflectivité (Z) dans les deux disdromètres (lignes rouge et noire) le 8 septembre 2010.

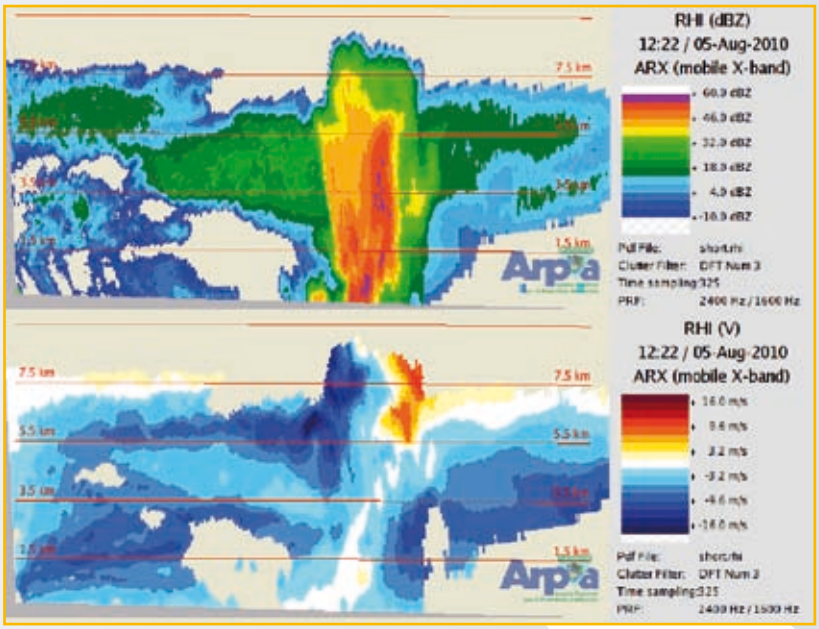


Figura 4.3
RHI di riflettività (sopra) e velocità Doppler (sotto) il 5 agosto 2010.

Figure 4.3
RHI de réflectivité (en haut) e vitesse Doppler (en bas) le 5 août 2010.

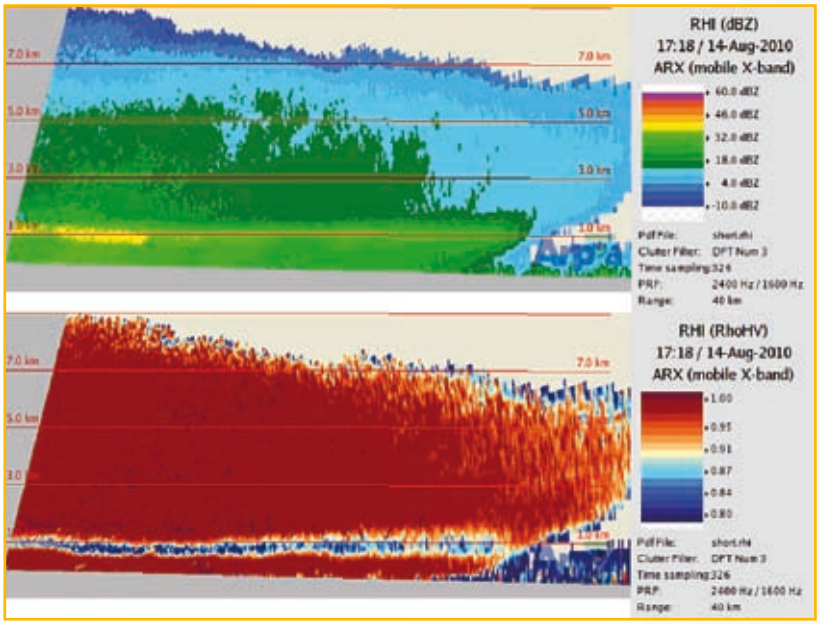


Figura 4.4
RHI di riflettività (sopra) e coefficiente di correlazione (sotto) il 14 agosto 2010.
Figure 4.4
RHI de réflectivité (en haut) et coefficient de corrélation (en bas) le 14 août 2010.

permettendo la raccolta di misure relativamente ad alcuni eventi precipitativi rilevanti, sia di tipo convettivo (**Figura 4.3**) sia stratiforme (**Figura 4.4**).
La **Figura 4.4** mostra in particolare una scansione radar verticale lungo la Val Vermenagna. Si può notare come la misura del coefficiente di correlazione (in basso) permetta l'identificazione estremamente precisa del livello di scioglimento della neve lungo la valle. Questo tipo di informazione, disponibile grazie alla capacità polarimetrica del radar, permette di migliorare la stima del tipo e della quantità di precipitazione.

Calibrazione del radar in banda X

In questo capitolo vengono presentate le attività condotte per l'assicurazione della calibrazione delle misure dei radar polarimetrici, in particolare il radar in banda X. Le attività hanno previsto una caratterizzazione della

*collecte des mesures par rapport à certains événements de précipitations importants, tant convectifs (**Figure 4.3**) que stratiformes (**Figure 4.4**).*
*La **Figure 4.4** montre en particulier un balayage vertical du radar le long de la Vallée de la Vermenagna. On peut remarquer comment la mesure du coefficient de corrélation (en bas) permet une identification très précise du niveau de la fonte des neiges dans la vallée. Ce type d'information, disponible grâce aux caractéristiques du radar polarimétrique, permettra d'améliorer l'estimation du type et de la quantité des précipitations.*

Etalonnage du radar en bande X

Ce chapitre présente les activités menées pour assurer l'étalonnage des mesures du radar polarimétrique, en particulier pour le radar de bande X.
Les activités ont fourni une caractérisation de la qualité des données polarimétriques et le

qualità dei dati polarimetrici e lo sviluppo di una metodologia per la stima della precipitazione da misure polarimetriche. I risultati di maggior interesse vengono riassunti in un dataset, acquisito il primo luglio 2009 dal radar trasportabile ARX di Arpa Piemonte dal sito di Carmagnola a circa 20 km a sud di Torino e dal radar di Bric della Croce. Viene inoltre validata la calibrazione relativa del radar di Bric rispetto al radar mobile ARX.

CONFRONTO TRA LA CALIBRAZIONE ASSOLUTA DEI DUE RADAR

I fattori di riflettività misurati dai due radar sono stati confrontati nei volumi di risoluzione comuni. La **Figura 4.5** (sinistra) mostra i fattori di riflettività misurati dai due radar. La posizione delle misure rispetto alla retta a 45° mostra un evidente sottostima (relativa) da parte di ARX.
La sottostima del radar in banda X è imputabile all'attenuazione del segnale da parte della precipitazione ed all'attenuazione dovuta al radome bagnato (Bechini et al., 2010).

développement d'une méthodologie pour l'estimation des précipitations à partir de mesures polarimétriques. Les résultats les plus intéressants sont résumés dans une archive numérique, acquise au cours du 1 Juillet 2009 par le radar transportable ARX d'Arpa Piemonte à Carmagnola, environ 20 km au Sud de Turin et du radar de Bric della Croce. On a également validé l'étalonnage du radar de Bric della Croce par rapport au radar mobile ARX.

COMPARAISON DE L'ÉTALONNAGE ABSOLU DES DEUX RADARS

*Les facteurs de réflectivité mesurés par les deux radars ont été comparés dans les volumes des résolutions communes. La **Figure 4.5** (à gauche) montre les facteurs de réflectivité mesurée par les deux radars. La position des mesures autour de la bissectrice montre une claire sous-estimation (relative) de ARX.*
La sous-estimation du radar en bande X est due à l'atténuation du signal par la précipitation ainsi qu'à l'atténuation due au radôme mouillé (Bechini et al., 2010).

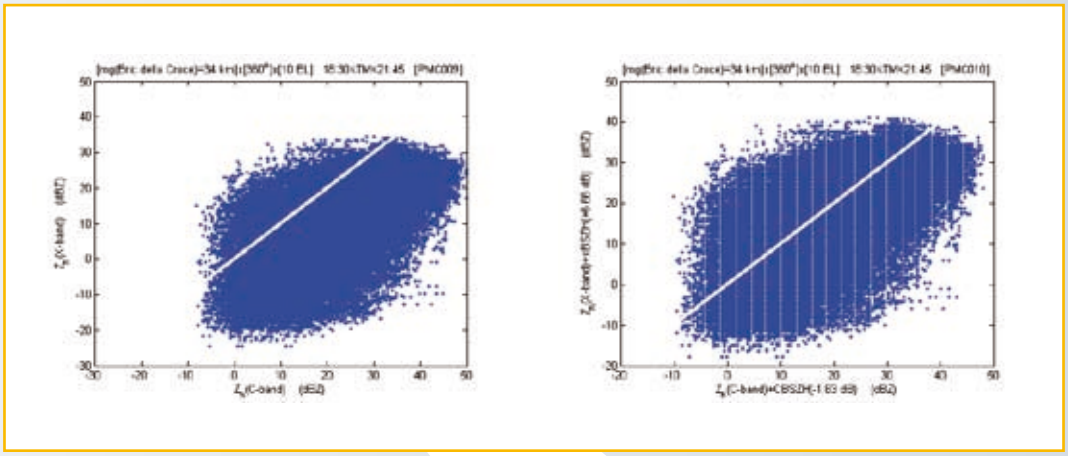


Figura 4.5 - Confronto tra riflettività misurate dai due radar (sinistra) e corrette per l'errore di calibrazione (destra). La linea bianca rappresenta la retta a 45 gradi.
***Figure 4.5** - Comparaison entre la réflectivité mesurée par les deux radars (à gauche) et corrigée pour l'erreur de calibration (à droite). La ligne blanche représente la bissectrice.*

ATTENUAZIONE DOVUTA AL RADOME BAGNATO IN BANDA X

CONFRONTO ARX-DISDROMETRO

Sono stati installati due disdrometri laser a fianco del carrello del radar (www.thiesclima.com/disdrometer.html). Il disdrometro classifica le idrometeore in 22 classi di diametro (da 0,16 mm a > 8 mm) e 20 classi di velocità (da 0,2 m/s a 20 m/s). La misura ottenuta, approssimazione della distribuzione dimensionale delle gocce (DSD, Drop Size Distribution) può essere usata sia per ottenere misurazioni sull'intensità di pioggia e sulla riflettività radar orizzontale (Zh).

Sebbene la deviazione rispetto allo scattering di Raileigh sia generalmente piccola per piogge di lieve o moderata intensità (Zh < 45 dBZ) la riflettività è calcolata usando un codice a matrice T (Waterman, 1979), per poter considerare tutti i possibili effetti di scattering di Mie dovuti al radar in banda X. Il primo range valido per il radar ARX è di 800 metri; usando una spaziatura di 125 m, questo corrisponde al settimo range bin. La mancanza di misure nell'immediata vicinanza del radar rende impossibile un confronto diretto con il disdrometro, che è collocato a pochi metri dal radar. Per poter fare un confronto fra misurazione radar e disdrometro è quindi stata applicata la seguente procedura:

- selezionare le misure (da 0 a 360 gradi in azimuth) al gate 7 per ogni elevazione;
- calcolare la riflettività orizzontale media (<Zh>) e la sua deviazione standard (σ(Zh)) per ogni elevazione;
- Se σ(Zh) < 3 dB utilizzare la riflettività misurata per un dato tempo ed elevazione;
- confrontare sulla media dei 5 minuti la riflettività da radar e quella da disdrometro e calcolare il bias.

ATTÉNUATION DUE AU RADÔME MOUILLÉ EN BANDE X

COMPARAISON ENTRE ARX ET DISDROMÈTRE

Deux disdromètres ont été installés à côté du radar (www.thiesclima.com/disdrometer.html). Le disdromètre classifie les hydrométéores en 22 classes de diamètre (de 0,16 mm à > 8 mm) et 20 classes de vitesse (de 0,2 m / s à 20 m / s). La mesure qui en résulte est une approximation de la distribution de taille des gouttelettes (DSD Drops Size Distribution) et peut être utilisée à la fois pour obtenir des mesures de l'intensité des précipitations et pour la réflectivité radar horizontale (ZH). Bien que l'écart à la diffusion de Rayleigh soit généralement faible pour des pluies d'intensité légère à modérée (ZH < 45 dBZ) la réflectivité est calculée en utilisant un code de matrice T (Waterman, 1979) afin d'examiner tous les effets de diffusion de Mie possible pour le radar de bande X.

Le premier intervalle valide pour le radar ARX (en considérant le champ lointain, les retards dans le système et l'écho de proximité) est de 800 m ; en utilisant une longueur de porte de 125 m, cela correspond à la 7ème porte de distance. Le manque de mesures plus proches au radar empêche une comparaison directe avec le disdromètre, qui est situé juste à quelques mètres de la remorque du radar.

Par conséquent, afin de comparer les mesures des deux capteurs, les procédures suivantes ont été appliquées pour la sélection de données :

- *sélection de toutes les mesures (0÷360 deg azimut) de la porte 7, pour chaque balayage en élévation ;*
- *calcul de la moyenne de la réflectivité horizontale (<Zh>) et son écart-type (σ(ZH)) pour chaque élévation ;*
- *si σ(Zh) < 3 dB, utilisation des données de réflectivité mesurée pour l'analyse dans le temps et l'espace ;*
- *comparaison de la réflectivité radar avec*

$$bias\ (dB) = Zh_{radar}\ (dBZ) - Zh_{disdro}\ (dBZ) \quad (1)$$

Il controllo sulla deviazione standard di Zh ci assicura che la precipitazione sia relativamente uniforme attorno al sito ove è collocato il radar. Infatti, se la variabilità della riflettività in un cerchio di raggio 800 metri è piccola, possiamo ragionevolmente aspettarci una intensità di pioggia simile sul bordo ed all'interno del cerchio, in cui è situato anche il radar. Sempre sotto la stessa ipotesi di campo di precipitazione uniforme, l'attenuazione del radar in banda X viene calcolata a partire dalla DSD misurata dal disdrometro, ed è infine usata per correggere la riflettività radar sul cerchio. Sono stati considerati otto eventi di precipitazione fra marzo ed aprile 2009. Applicate le analisi appena illustrate, la massima riflettività ottenuta è stata di 45 dBZ, valore che ci consente di escludere qualsiasi contaminazione da grandine.

I valori di bias in (1) sono stati calcolati per ogni evento piovoso, per ogni precipitazione e per diverse classi di intensità di pioggia (calcolate dalla DSD misurata da disdrometro) e più precisamente 0,05, 0,2, 0,6, 2,0, 5,0, 12,0, 25,0 mm/h. L'attenuazione dovuta al radome è dovuta principalmente allo spessore dello strato di acqua che si forma sulla superficie del radome stesso. Tale attenuazione può essere calcolata come funzione dell'intensità di pioggia stessa (Anderson, 1975). Si cerca quindi una legge di potenza sperimentale per esprimere la perdita di potenza dovuta al radome bagnato in funzione del tasso di pioggia R (mm/h):

$$L_{radome}\ (dB) = -bias/2 \cdot = L_0 + a \cdot R^b \quad (2)$$

dove la divisione per due è dovuta al fatto che il bias risulta sia dalla trasmissione che dalla ricezione attraverso il radome. Un valore L_0 pari a zero può derivare da un effetto

la réflectivité moyenne (5 minutes) du disdromètre et calcul du biais :

$$bias\ (dB) = Zh_{radar}\ (dBZ) - Zh_{disdro}\ (dBZ) \quad (1)$$

Le contrôle sur la déviation standard de Zh assure que la précipitation est relativement uniforme autour du radar. En fait, si la variabilité de la réflectivité dans un rayon de 800 m est faible, on peut raisonnablement attendre (au sein de l'écart-type observé) une intensité semblable dans toute la zone délimitée par le cercle, y compris le radar. Sous la même hypothèse de champs de précipitation uniforme, l'atténuation du chemin du radar de bande X est calculée à partir de DSD du disdromètre et utilisée pour corriger la réflectivité radar dans le cercle. Huit épisodes de précipitations ont été considérés entre Mars et Avril 2009. Après l'application des conditions illustrées, la réflectivité maximale était d'environ 45 dBZ, une valeur qui permet d'exclure les contaminations de grêle.

Les valeurs des biais dans (1) ont été calculées pour chaque évènement de précipitation, pour chaque élévation et pour plusieurs classes de taux de pluie (calculées à partir de DSD du disdromètre) : 0,05, 0,2, 0,6, 2,0, 5,0, 12,0, 25,0 mm/h. L'atténuation due au radôme dépend principalement de l'épaisseur de la pellicule d'eau qui coule sur sa surface, qui à son tour est une fonction du taux de pluie (Anderson, 1975). Par conséquent on recherche une relation expérimentale de puissance pour exprimer la perte de puissance unidirectionnelle en raison du radôme humide en fonction du taux de pluie R (mm / h) :

$$L_{radome}\ (dB) = -bias/2 \cdot = L_0 + a \cdot R^b \quad (2)$$

où le facteur «divisé par deux» dans le biais prend en compte le fait que le biais mesuré est un biais dans les deux sens (émission et réception) de propagation à travers le radôme. Une

di soglia, ovvero un valore di attenuazione dovuto al radome può essere trascurato e quindi la validità della formula (2) è limitata a valori al di sopra di una data intensità di pioggia. In effetti per piogge molto flebili lo strato d'acqua sul radome non si forma, e quindi l'attenuazione è molto bassa.
Per trovare i coefficienti a e b in (2), si è fatta una regressione lineare dove, al variare di b, si è minimizzato l'errore quadratico medio trovando così i valori L_0 ed a.
Lo scarto quadratico medio (MSE) raggiunge il suo minimo per b~0,3 (**Figura 4.6**). In conformità con la formula di Gibble (Gibble, 1964) per i flussi laminari, lo spessore dello strato d'acqua è proporzionale a $R^{1/3}$, per un radome semisferico. Per valori di b = 1/3 (**Figura 4.7**) la regressione mostra che la perdita di potenza è approssimativamente proporzionale a $R^{1/3}$, ovvero allo spessore teorico dello strato d'acqua.
I coefficienti ottenuti tramite regressione in **Figura 4.7** (b = 1/3) sono a = 1.75 and L_0 = -0.34 dB. Sostituendo nell'eq (2) si ottiene:

$$L_{radome}(dB) \approx -0.34 + 1.75 \cdot R^{1/3}; \quad 0.05 < R < 25\ mm/h \qquad (3)$$

Esplicitando la dipendenza rispetto al raggio del radome nella formula di Gibble, la formula sperimentale sovrascritta può essere generalizzata a radome di diverse misure:

$$L_{radome}(dB) \approx -0.34 + 1.61 \cdot (r \cdot R)^{1/3}; \quad 0.05 < R < 25\ mm/h \qquad (4)$$

dove r è il raggio del radome in metri ed R è il tasso di pioggia espresso in mm/h.
La linearità approssimativa fra dispersione ed $R^{1/3}$ per valori di intensità da 0.05 a 25 mm/h in **Figura 4.7** può essere interpretata come un segnale del fatto che la superficie del radome si sta bagnando.

valeur L_0 nulle peut résulter de l'existence d'un seuil au dessous de laquelle l'atténuation du radôme devient négligeable et par conséquent la validité de (2) serait limitée à des valeurs supérieures à un taux donné de pluie. En fait, pour des taux faibles de pluie, la pellicule d'eau peut ne pas se former et donc l'atténuation attendue serait très faible.
*Afin de trouver les coefficients a et b dans (2), une régression linéaire a été calculée avec un coefficient variant b, minimisant l'erreur quadratique moyenne (MSE). Le MSE attein un minimum pour une valeur de b ~ 0,3 (**Figure 4.6**). Selon la formule de Gibble (Gibble, 1964) pour un flux laminaire, l'épaisseur de la couche d'eau est proportionnelle à R1/3 pour un radôme hémisphérique.*
*Pour b = 1/3 (**Figure 4.7**) la régression montre que la perte de puissance observée est approximativement proportionnelle à $R^{1/3}$, c'est à dire l'épaisseur du film d'eau théorique.*
*Les coefficients obtenus par l'ajustement de la **Figure 4.7** (b = 1 / 3) sont a =1,75 et L0 = -0,34 dB. En les remplaçant dans l'équation (2) on obtient :*

$$L_{radome}(dB) \approx -0.34 + 1.75 \cdot R^{1/3} \quad 0.05 < R < 25\ mm/h \qquad (3)$$

Si l'on rend explicite la dépendance du rayon de radôme dans la formule du Gibble, la formule expérimentale ci-dessus peut être généralisée pour l'application à de différentes tailles de radôme:

$$L_{radome}(dB) \approx -0.34 + 1.61 \cdot (r \cdot R)^{1/3}; \quad 0.05 < R < 25\ mm/h \qquad (4)$$

où r est le rayon du radôme en mètres et R est le taux de pluie en mm / h.
*La linéarité approximative de la perte avec $R^{1/3}$ sur l'intervalle de taux de pluie (0,05 à 25 mm / h) dans la **Figure 4.7** peut être interprétée comme une indication de mouillage de la surface du radôme (formation d'une pellicule d'eau).*

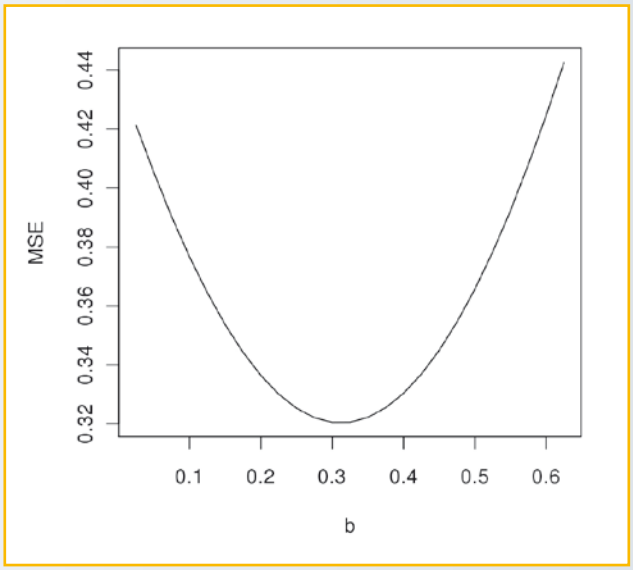
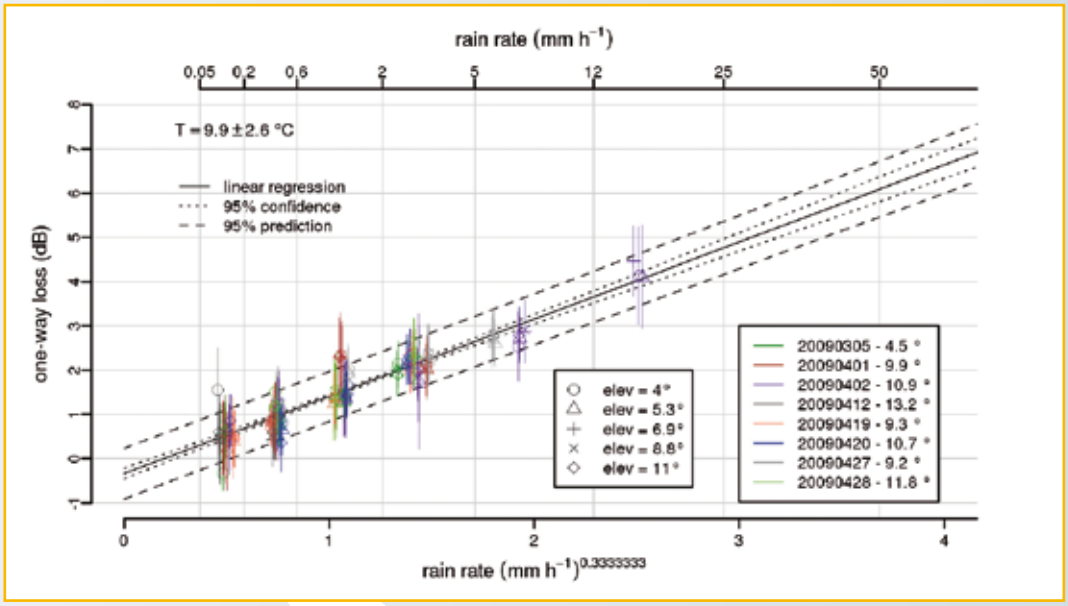


Figura 4.6 - Errore quadratico medio (MSE) in funzione dell'esponente b nell'equazione (2).
Figure 4.6 - Erreur quadratique moyenne (MSE) en fonction de l'exposant b dans la loi de puissance (2).

Figure 4.7 - dispersione monodirezionale (dB) in funzione dell'intensità di pioggia usando l'eq (2) per valore b = 1/3. La legenda a destra mostra le date degli eventi la temperatura dell'aria corrispondente espressa in °C. Le barre verticali rappresentano la deviazione standard della dispersione calcolata su tutte le misurazioni disponibili fissata una classe di pioggia.
Figure 4.7 - Perte sur le chemin aller (dB) en fonction du taux de pluie, en utilisant l'équation. (2), avec b = 1 / 3. La légende sur la droite montre la date de l'événement avec la température correspondante de l'air, en °C. Les barres verticales représentent l'écart-type de la perte, calculé sur l'ensemble des mesures disponibles au sein d'une classe donnée de taux de pluie.



In presenza di un radome idrofobico ci si aspetta una brusca transizione corrispondente al cambiamento di regime del flusso d'acqua, da rigagnoli a flusso laminare. Il radome è stato costruito due anni prima di tali rilevamenti e con ogni probabilità ha perso in tale periodo la sua proprietà di idrofobia a causa del degrado dei materiali

En présence d'un radôme hydrophobique une transition nette serait attendue, en correspondance de la modification de l'écoulement d'eau de ruisselets à laminaire. Le radôme avait deux ans à l'époque de ces mesures et sans doute il avait perdu les conditions d'hydrophobie d'origine, en raison de la dégradation des matériaux dans le temps. Anderson (1975) a montré com-

nel tempo. Anderson (1975) ha dimostrato come questo tipo di degrado può essere riscontrato dopo approssimativamente sei mesi (un aumento della perdita da 0,5 a 7 dB dopo i sei mesi a 20 GHz).
Questo risultato sperimentale può essere accostato con alcuni studi teorici ed in laboratorio. La perdita di 4,5 dB per un'intensità di 25 mm/h riscontrata corrisponde fondamentalmente alla perdita di ~4 dB a 10 GHz per uno spessore di circa 0,1 mm della pellicola d'acqua sul radome (corrispondente ad un'intensità di 23 mm/h su un radome di 2,55 m di diametro), in Effenberger et al. (1986) ed in Chang (1986).
Kurri and Huuskonen (2008) hanno misurato l'attenuazione dovuta ad un radome di 6,7 m di diametro in un radar a banda C . Dalla del loro articolo si può vedere come , la dispersione con acqua a 10 °C è approssimativamente $L_{radome}\,(dB) = 1.0\,R^{1/3}$, fra 1 e 30 mm/h. L' eq (3) ci fornisce approssimativamente un+75% di attenuazione dovuta al radome bagnato nel radar in banda X rispetto a quello in banda C per radome di dimensioni standard.

CALIBRAZIONE DEL RADAR ARX GRAZIE AD UNA SFERA

Nel luglio 2009 è stata fatta una calibrazione tramite sfera di metallo per il radar in banda X. La sfera di 30 cm di diametro è stata sospesa a circa 200 metri al di sopra del livello del terreno ed a 2 km di distanza dal radar. L'aumento misurato nel sistema (~41,5 dB, compresa l'antenna e le perdite dovute a trasmettitore e ricevitore) è simile al valore della costante radar entro 0,5 dB. Completata la calibrazione con la sfera normale, si è usato un irrigatore per bagnare la superficie del radome mentre l'antenna continuava ad essere puntata in direzione della sfera sospesa. La **Figura 4.8** (a destra) mostra l'aumento

ment ce type de dégradation peut se produire après environ 6 mois (une augmentation de la perte de 0,5 à 7 dB sur cette période de temps à 20 GHz).
Les résultats expérimentaux présentés peuvent être comparés à certaines études théoriques et de laboratoire. La perte de 4,5 dB à 25 mm / h correspond à peu à la perte de ~ 4 dB à 10 GHz pour une épaisseur de 0,1 mm d'eau (correspondant à 23 mm / h pour un radôme de 2,55 m de diamètre) constaté par Effenberger et al. (1986) et par Chang (1986).
Kurri et Huuskonen (2008) ont mesuré la perte de transmission causée par un radôme de 6,7 m sur un radar en bande C. Dans la figure, tirée de leur papier, la perte avec l'eau à 10 ° C de température peut être rapprochée par $L_{radome}\,(dB) = 1.0\,R^{1/3}$*, pour une intensité de pluie entre 1 et 30 mm / h. La formule (3) fournit alors une estimation approximative de +75% d'atténuation pour le radôme humide pour le radar en bande X par rapport aux radars en bande C, pour les tailles standard du radôme.*

ETALONNAGE DE ARX PAR UNE SPHÈRE MÉTALLIQUE

En Juillet 2009, un étalonnage par le biais d'une sphère métallique a été réalisé pour le radar en bande X. La sphère de 30 cm de diamètre en métal a été suspendue à environ 200 m au dessus du sol et à 2 km de distance du radar.
L'augmentation de la réflectivité horizontale mesurée par système (~ 41,5 dB, y compris l'antenne et les pertes dues au transmetteur et au récepteur), est comparable à la valeur de la constante radar à moins de 0,5 dB. Après l'étalonnage avec la sphère normale, une irrigation par aspersion a été utilisée pour mouiller la surface du radôme tout en continuant la collecte des mesures avec l'antenne pointée vers la sphère métallique suspendue. La ***Figure 4.8*** *(à droite) montre l'augmentation mesurée*

misurato durante l'esperimento: i primi 30 minuti corrispondono al radome asciutto, i seguenti 20 minuti al radome bagnato. Attorno al minuto 9:20 l'irrigatore è stato chiuso incrementando i valori fino all'asciugamento del radome.
L'intensità media della pioggia artificiale, misurata in modo indipendente sia dal disdrometro laser che dal pluviometro, ha avuto intensità di 156 ± 158 mm/h. L'incertezza su tale pioggia artificiale è alta a causa delle dimensioni relativamente piccole dell'irrigatore e del vento, che ha cambiato la direzione dell'acqua. La dispersione corrispondente sul singolo percorso è di 6,5 ± 0,4 dB, che corrispondono a 12-14 dB di attenuazione sull'andata-ritorno.
Calcolando il valore della dispersione monodirezionale dall'equazione (4) per un'intensità di pioggia di 156 mm/h otteniamo circa 9 dB , un valore notevolmente più alto dei 6,4 dB. Se ne deduce dunque che la dispersione può essere approssimata con una funzione lineare solo se lo spessore dello strato d'acqua sul radome è piccolo (Anderson, 1975), ovvero 0.1 mm, strato che corrisponde ad un'intensità di pioggia di circa 20 mm/h. Per una pellicola d'acqua di circa 0.2 mm di spessore (corrispondente ad un'intensità di circa 150 mm/h), Effenberger et al. (1986) calcolano una perdita di trasmissione di circa 6,5-7,0 dB range, e Chang (1986) di circa 6 dB, in accordo con le nostre osservazioni.
Per completare l'esperimento con intensità dai 20 ai 200 mm/h sarà necessario un migliore irrigatore, con la possibilità di scegliere in modo più accurato il tipo di flusso d'acqua che investe il radome.

La gran parte dei radar meteorologici operativi sono protetti dal radome. L'effetto dell'acqua su tale copertura è stato molto studiato in passato, soprattutto a causa

lors de l'expérience : les 30 premières minutes correspondent à des mesures avec le radôme sec, les 20 minutes suivantes au radôme humide ; autour de la minute 09:20 l'arroseur a été fermé et l'augmentation a commencé à croître jusqu'à ce que le radôme ait séché.
L'intensité moyenne de la pluie artificielle, indépendamment mesurée à la fois par le disdromètre laser et par un pluviomètre, était de 156 ± 158 mm / h. L'incertitude sur l'intensité de la pluie artificielle est assez élevée en raison de la taille relativement petite de l'arroseur et du vent qui changeait légèrement la direction de l'eau d'irrigation.
La perte unidirectionnelle correspondante observée est de 6,5 ± 0,4 dB, ce qui aboutit à environ 12-14 dB d'atténuation dans les deux sens.
L'équation (4), pour 156 mm/h d'intensité des précipitations, donnerait 9 dB de perte unidirectionnelle, une valeur nettement plus élevée que 6,4 dB. En fait, la perte peut être approchée à une fonction linéaire du film d'eau seulement pour une épaisseur relativement faible (Anderson, 1975), par exemple 0,1 mm, correspondant à environ 20 mm / h pour la taille radôme donnée. Pour 0,2 mm d'épaisseur d'eau (~ 150 mm/h), Effenberger et al.(1986) rapportent une perte de transmission de 6,5 à 7,0 dB environ, et Chang (1986) d'une valeur près de 6 dB, en bon accord avec les observations faites dans CRISTAL.

Afin de compléter la courbe expérimentale entre 20 et 200 mm / h un meilleur système d'arrosage sera nécessaire, avec la possibilité d'adapter plus précisément le flux d'eau qui affecte le radôme.

La grande majorité des radars météorologiques opérationnels ont leur unité antenne protégée par un radôme. L'effet de l'eau sur la surface du radôme a été largement étudié dans le passé, principalement en raison de l'importance de

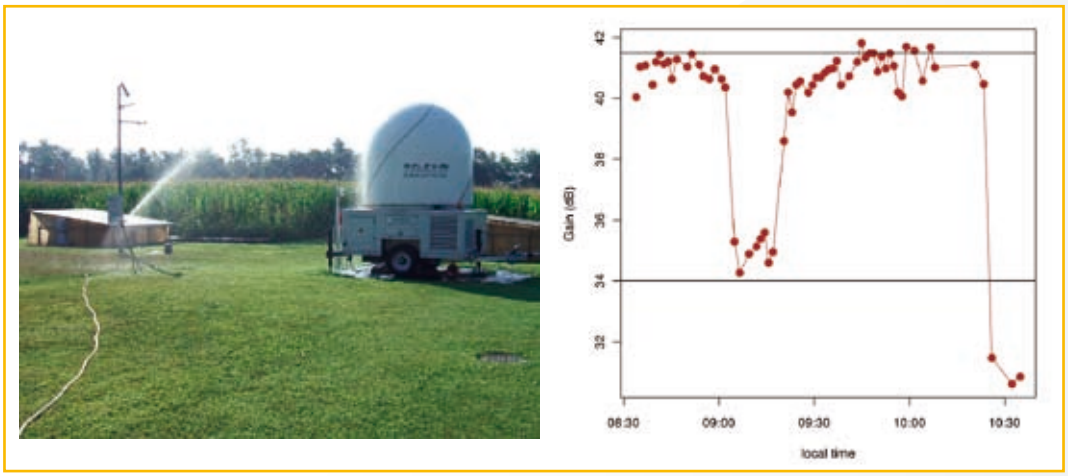


Figura 4.8 - Sinistra: il radome del radar in banda X bagnato dall'irrigatore. **Destra**: la serie trmporale dell'aumento durante la calibrazione con la sfera metallica. La caduta nella potenza corrisponde al periodo di irrigazione del radome.
***Figure 4.8 - A gauche**: le radôme du radar bande X arrosé. **A droite**: série temporelle du gain lors de l'augmentation au cours de l'étalonnage par la sphère métallique. La réduction de l'augmentation correspond à l'intervalle avec radôme humide.*

della grande rilevanza dell'attenuazione dovuta al radome per i sistemi di comunicazione ad alta frequenza (Anderson, 1975, Effenberger et al., 1986; Chang, 1986). Pochi di questi studi si focalizzano sui radar meteorologici (Merceret and Ward, 2000; Kurri and Huuskonen, 2008; Trabal et al., 2008). E' noto che l'attenuazione dovuta al radome bagnato scala con la la frequenza: per radar in banda S tale dispersione è trascurabile, diventa più rilevante per i radar in banda C e molto importante per i radar in banda X. Inoltre i radar in banda X operano su range più corti (tipicamente circa 50 km) rispetto ai sistemi in banda C ed in banda S. Ne segue che, se c'è un evento piovoso all'interno della zona di visibilità del radar, la probabilità che la pioggia cada sul radome è maggiore nei radar in banda X. Per queste ragioni si cerca di stimare l'attenuazione indotta dal radome bagnato per radar in banda X in una normale configurazione operativa. Sono state seguite due distinte procedure. Nella prima procedura si è considerata la riflettività radar per range vicini allo strumento con

l'atténuation induite dans les systèmes de communications à hautes fréquences (Anderson, 1975, Effenberger et al, 1986;. Chang, 1986). Seulement peu de ces études s'occupent spécifiquement de radars météorologiques (Merceret et Ward, 2000; Kurri et Huuskonen, 2008;. Trabal et al, 2008). On sait que l'atténuation due aux radômes humides dépend de la fréquence de fonctionnement des radars. Ainsi, tandis que dans les radars de bande S les pertes dans les deux sens sont en général négligeables, elles deviennent importantes en bande C et très importantes en bande X. Les radars bande X, en outre, fonctionnent à des distances plus réduites (typiquement ~ 50 km) par rapport systèmes de bande C et S. Par conséquence la chance d'avoir de la pluie sur le radôme est comparativement plus élevée en présence d'un système de précipitations avec un radar bande X.
Pour ces raisons, on a tenté d'estimer l'atténuation induite par le radôme humide pour un radar de bande X dans une configuration normale de fonctionnement. Deux procédures distinctes ont été suivies.
Dans la première, la réflectivité radar à brèves distances a été comparée avec la réflectivité

la riflettività calcolata a partire dalla DSD misurata dal disdrometro installato nello stesso sito. Nella seconda procedura si è usata una sfera di metallo per la calibrazione radar. La procedura è stata poi ripetuta mentre il radome veniva bagnato da un irrigatore. Entrambe le procedure danno risultati buon accordo con le previsioni teoriche e gli studi di laboratorio.
Il radome, anche se viene dichiarato come idrofobo dal costruttore, perde questa sua proprietà nel tempo. Questa degradazione dei materiali può avvenire anche in tempi brevi, ovvero in alcuni mesi (Anderson, 1975). Di conseguenza, nell'ipotesi di una densa rete di radar in banda X, una periodica pulizia delle superfici dei radome dei vari radar non sembra praticabile. Sono quindi possibili due opzioni:

- utilizzare i radar senza il radome (più facile con i radar in banda X per le ridotte dimensioni, ma ancora poco desiderabile a causa del maggior logoramento e del forte impatto psicologico di un'antenna che ruota);
- adottare una procedura che corregga gli effetti dell'attenuazione in tempo reale. I risultati di questo lavoro forniscono alcuni spunti per realizzare tale correzione.

Per la realizzazione di tale procedura di correzione sarà necessario tenere in conto effetti dovuti a radome non completamente bagnato a causa per esempio del vento (Bechini et al., 2006).

CALIBRAZIONE DELLA RIFLETTIVITÀ DIFFERENZIALE PER ARX

L'errore sistematico sulle misure Zdr avviene utilizzando le misure ad incidenza verticale. Per la simmetria delle gocce in caduta ci si attende di ottenere valori di Zdr distribuiti intorno a 0 dB. Deviazioni

calculée à partir de la DSD mesurée par un disdromètre laser situé à proximité du radar.
Dans la deuxième procédure, une sphère métallique a été utilisée pour l'étalonnage du radar et la procédure a été répétée en arrosant le radôme avec un arroseur. Les deux procédures ont donné de résultats en bon accord avec de précédentes études théoriques et de laboratoire.
Le radôme, bien que déclaré hydrophobe par le fabricant à l'origine, a clairement perdu ses propriétés d'hydrophobie dans le temps. Cette dégradation peut effectivement se produire sur une période relativement courte, comme un certain nombre de mois (Anderson, 1975).
Dans une perspective d'un réseau dense de radar en bande X, un polissage périodique de la surface radôme n'est toutefois pas envisageable. Deux options restes acceptables :

- *utiliser le radar sans le radôme (plus facile en bande X, en raison des dimensions réduites, mais toujours très peu pratique en général, en raison du taux d'usure plus élevé et aussi du fort impact "psychologique" de la vue du balayage de l'antenne) ;*
- *adopter une procédure pour corriger les effets d'atténuation en temps réel. Les résultats de ces travaux fournissent des indications pour la mise en œuvre de cette correction.*

Les effets d'un mouillage non uniforme du radôme (Bechini et al., 2006), par exemple à cause du vent, doivent également être pris en compte pour la mise en œuvre d'une procédure de correction en temps réel.

ETALONNAGE DE LA RÉFLECTIVITÉ DIFFÉRENTIELLE POUR ARX

L'erreur systématique pour les mesures de ZDR est trouvée en utilisant les mesures à incidence verticale. En raison de la symétrie des gouttes qui tombent, on attend des valeurs de ZDR distribuées autour 0 dB.
Les déviations de la distribution et une valeur

del valore modale della distribuzione diverso da 0 denotano un errore sistematico di calibrazione di cui va tenuto conto. La **Figura 4.9** (sinistra) riassume tutte le misure disponibili, riportando il valor medio di Zdr per ogni PPI al variare del tempo e della quota per il caso in esame. Si nota come si sia verificata una brusca interruzione di alimentazione alle ore 18. Il ripristino ha comportato un transitorio unito a un assestamento su valori diversi dai precedenti. La **Figura 4.9** (destra) mostra attraverso il massimo della standard deviation di Zdr, la posizione dello strato di scioglimento della neve per i soli file acquisiti successivamente al ripristino. La **Figura 4.10** mostra un istogramma dei valori medi di Zdr su ogni PPI successivo all'interruzione per quote tra 4.4 km e 6.2 km (in ghiaccio). Risulta un istogramma a campana, piuttosto simmetrico e con un valore medie di 0.33 dB e un valore modale di 0.37 dB che può essere considerato l'errore sistematico di calibrazione di Zdr.

*modale différentes révèlent une erreur systématique de l'étalonnage qui doit être prise en compte. La **Figure 4.9** (à gauche) résume toutes les mesures disponibles et la valeur moyenne de la ZDR pour chaque PPI en fonction du temps et de l'altitude.*
On remarque comment il y a eu une panne de courant à 18 heures. La remise en fonction a entraîné une période transitoire avec un ajustement des valeurs différentes des précédentes.
***Figure 4.9** (à droite) montre, grâce au maximum de la déviation standard de ZDR, la position de la couche de fusion pour les seules données mesurées après la remise en fonction.*
*La **Figure 4.10** montre un histogramme des valeurs moyennes de ZDR pour chaque PPI après la panne de courant pour des altitudes entre 4,4 km et 6,2 km (glace). Le résultat est un histogramme en forme de cloche, plutôt symétrique, avec une valeur moyenne de 0,33 dB et une valeur modale de 0,37 dB qui peut être considérée comme l'erreur systématique de l'étalonnage de ZDR.*

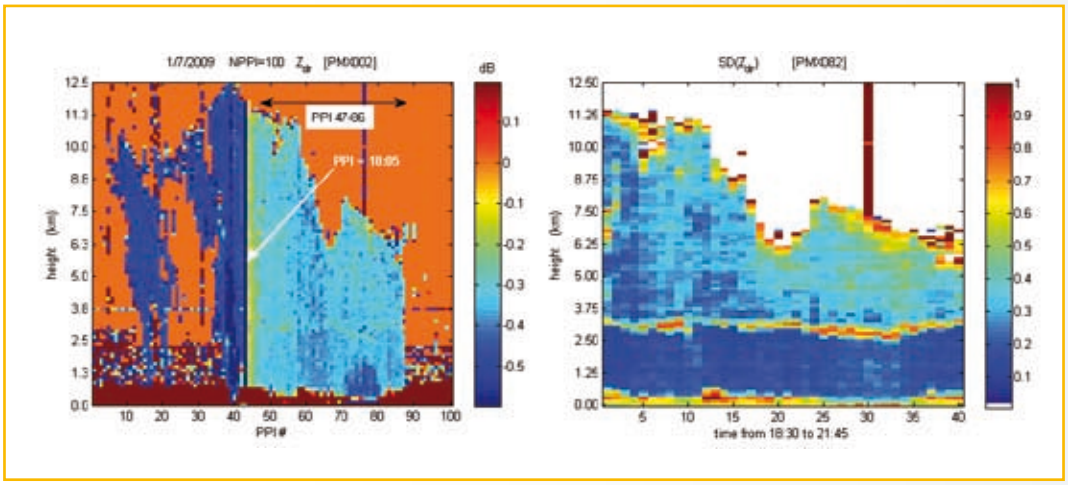


Figura 4.9 - Valore medio (**sinistra**) della riflettività differenziale e standard deviation (**destra**) calcolata per ogni PPI al variare della quota per i dati ARZ dataset del primo luglio 2009. Si noti la discontinuità nelle misure attorno all PPI n. 45 dovuto a un'interruzione di alimentazione.

***Figure 4.9** - Valeur moyenne (**à gauche**) et écart type (**à droite**) de la réflectivité différentielle calculés pour chaque PPI en fonction de l'altitude pour les données ARZ, 1 Juillet 2009. La discontinuité dans les mesures tout autour du PPI numéro 45 est due à une panne.*

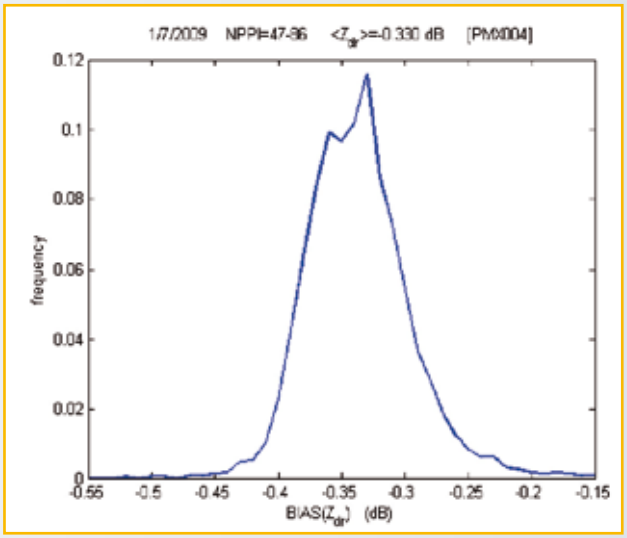


Figura 4.10
Istogramma dei valori medi di Zdr 4,4 km e 6,2 km.
Figure 4.10
Histogramme des valeurs moyennes de ZDR entre 4,4 km et 6,2 km.

RADAR IN BANDA C DI BRIC DELLA CROCE

Utilizzando dati corrispondenti all'intervallo di misure utili ottenute con l'ARX, sono state considerate le misure acquisite con il radar in banda C di Bric della Croce. I paragrafi successivi riportano i risultati ottenuti per la calibrazione di Zdr e Zh.

CALIBRAZIONE DELLA RIFLETTIVITÀ DIFFERENZIALE PER BRIC DELLA CROCE

Differentemente dal radar ARX, il radar di Bric della Croce è vincolato a una scansione operativa che non contempla scansioni lungo la verticale. La calibrazione viene eseguita al di sopra dello strato fondente (Ryzkhov et al JAMC 2004, Bechini et al. JTECH 2008).
Sono state considerate elevazioni > 4,4° e differenti quote. Si è considerato come errore sistematico quello che comporta minore variazione in azimut. Si sceglie un valore di 1,77 dB corrispondente a quote tra 7 e 8 km.

RADAR BANDE C DE BRIC DELLA CROCE

En utilisant les données correspondant à la gamme des mesures utiles obtenues par ARX, on a examiné les mesures effectuées par le radar bande C du Bric della Croce. Les paragraphes suivants montrent les résultats obtenus pour l'étalonnage de ZDR et ZH.

ETALONNAGE DE LA RÉFLECTIVITÉ DIFFÉRENTIELLE DU RADAR DU BRIC DELLA CROCE

Contrairement au radar ARX, le radar de Bric della Croce permet un balayage qui ne couvre pas les scans le long de la verticale.
L'étalonnage est effectué au-dessus de la couche de fusion (Ryzkhov et al JAMC 2004, Bechini et al. JTECH 2008). De différentes élévations > 4,4 ° ont été considérées et pour de différentes altitudes.
On a considéré comme une erreur systématique ce lui qui implique les plus petits changements en azimut.
On choisit une valeur de 1,77 dB, correspondant aux altitudes entre 7 et 8 km.

STIMA POLARIMETRICA DELLA PRECIPITAZIONE

I pluviometri rappresentati nella **Figura 4.11** consentono di valutare le prestazioni dei due radar rispetto ad una misura indipendente. La precipitazione viene stimata dai due radar considerando una finestra di 15 range bin centrata sul pluviometro e applicando le relazioni:

$$R(Z_h, Z_{dr}) = \frac{1}{15}\sum_{r=1}^{15}\left(aZ_h^b\right)_{r_i} \quad \text{(mm h}^{-1}\text{)} \qquad (2)$$

$$R(Z_h, Z_{dr}) = \frac{1}{15}\sum_{r_i=1}^{15}\left(aZ_h^b\, Z_{dr}^c\right)_{r_i} \quad \text{(mm h}^{-1}\text{)} \qquad (3)$$

$$R(K_{dp}) = a\left[\frac{?(r_{end}) - ?(r_{begin})}{2(r_{end} - r_{begin})}\right] \quad \text{(mm h}^{-1}\text{)} \qquad (4)$$

$$R(K_{dp}, Z_{dr}) = \sum_{r_i=1}^{15}\left\{a\left[\frac{?(r_{end}) - ?(r_{begin})}{2(r_{end} - r_{begin})}\right] Z_{dr}^c\right\}_{r_i} \quad \text{(mm h}^{-1}\text{)} \qquad (5)$$

Considerando la risoluzione in range, 15 range bin significano 18,750 km per ARX e 5,1 km per Bric della Croce.

La **Tabella 4.1** riporta le cifre di merito (NSE = normalized standard error, NB = normalized bias, ρ = coefficiente di correlazione, rmse = root mean square error, A = adjustment factor) relative al confronto

ESTIMATION POLARIMÉTRIQUE DES PRÉCIPITATIONS

*Les pluviomètres dans la **Figure 4.11** permettent d'évaluer la performance des deux radars par rapport à une mesure indépendante. La précipitation est estimée à partir des deux radars considérant une fenêtre de 15 portes de distance centrée sur le pluviomètre et utilisant les relations suivantes :*

$$R(Z_h, Z_{dr}) = \frac{1}{15}\sum_{r=1}^{15}\left(aZ_h^b\right)_{r_i} \quad \text{(mm h}^{-1}\text{)} \qquad (2)$$

$$R(Z_h, Z_{dr}) = \frac{1}{15}\sum_{r_i=1}^{15}\left(aZ_h^b\, Z_{dr}^c\right)_{r_i} \quad \text{(mm h}^{-1}\text{)} \qquad (3)$$

$$R(K_{dp}) = a\left[\frac{?(r_{end}) - ?(r_{begin})}{2(r_{end} - r_{begin})}\right] \quad \text{(mm h}^{-1}\text{)} \qquad (4)$$

$$R(K_{dp}, Z_{dr}) = \sum_{r_i=1}^{15}\left\{a\left[\frac{?(r_{end}) - ?(r_{begin})}{2(r_{end} - r_{begin})}\right] Z_{dr}^c\right\}_{r_i} \quad \text{(mm h}^{-1}\text{)} \qquad (5)$$

Considérant la résolution en distance de 15 km portes signifient 18,750 pour ARX et 5,1 km pour Bric della Croce.

*Le **Tableau 4.1** montre les scores statistiques (NSE = erreur normalisée standard, NB = biais normalisé, ρ = coefficient de corrélation, RMSE = racine carrée de l'erreur quadratique moyenne, A = facteur d'ajustement) pour la compa-*

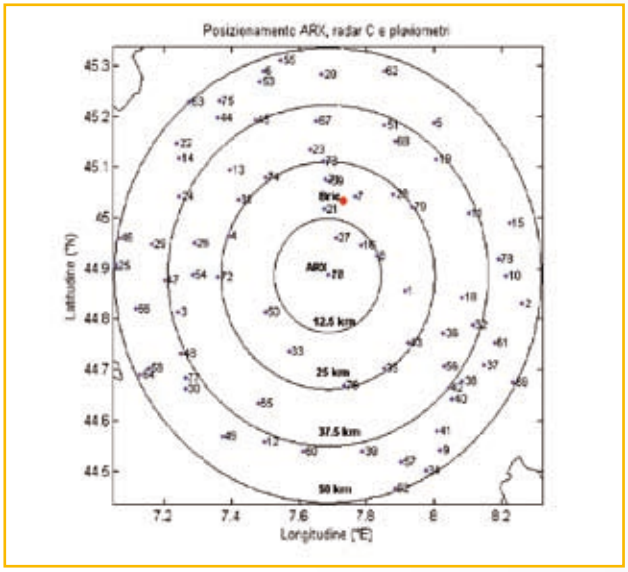


Figura 4.11
Collocazione dei pluviometri rispetto al radar di Bric della Croce e al radar ARX.
Figure 4.11
Emplacement des pluviomètres par rapport aux radars du Bric della Croce et ARX.

Tabella 4.1 - Cifre di merito del confronto tra radar e pluviometri relativo alle precipitazioni orarie.
Tableau 4.1 - Comparaison entre le radar ARX et pluviomètres pour la pluie par heure.

60 min	NSE	NB	Slope	ρ	rmse (mm)	*A*
$R(Z_h)$	1.37	0.02	0.51	0.45	5.18	1.02
$R(Z_h,Z_{dr})$	2.24	0.06	0.74	0.387	8.50	1.06
$R(K_{dp})$	1.31	0.13	0.49	0.511	4.97	0.87
$R(K_{dp},Z_{dr})$	1.27	0.07	0.58	0.55	4.81	1.07

Tabella 4.2 - Come tabella 4.1, ma per il radar in banda C di Bric della Croce.
Tableau 4.2 - Comparaison entre le radar du Bric della Croce et pluviomètres pour la pluie par heure.

60 min	NSE	NB	Slope	ρ	rmse (mm)	*A*
$R(Z_h)$	1.61	0.04	0.31	0.17	9.24	1.04
$R(Z_h,Z_{dr})$	1.62	0.08	0.34	0.19	9.31	1.09
$R(K_{dp})$	1.44	-0.25	0.35	0.51	8.27	0.75
$R(K_{dp},Z_{dr})$	1.39	-0.01	0.46	0.53	7.97	0.99

Tabella 4.3 - Come tabella 4.1, per accumuli su due ore.
Tableau 4.3 - Comparaison entre le radar ARX et pluviomètres pour pluie deux heures.

120 min	NSE	NB	Slope	ρ	rmse (mm)	*A*
$R(Z_h)$	1.02	-0.02	0.59	0.46	8.38	0.98
$R(Z_h,Z_{dr})$	1.56	0.17	0.91	0.47	12.7	1.17
$R(K_{dp})$	0.94	-0.22	0.54	0.59	7.71	0.78
$R(K_{dp},Z_{dr})$	0.85	-0.02	0.67	0.66	6.95	0.98

Tabella 4.4 - Come tabella 4.1, ma per accumuli su due ore.
Tableau 4.4 - Comparaison entre le radar du Bric della Croce et pluviomètres pour pluie deux heures.

120 min	NSE	NB	Slope	ρ	rmse (mm)	*A*
$R(Z_h)$	1.33	0.15	0.43	0.06	13.3	1.15
$R(Z_h,Z_{dr})$	1.33	0.19	0.48	0.16	13.3	1.19
$R(K_{dp})$	1.14	-0.25	0.41	0.53	11.4	0.75
$R(K_{dp},Z_{dr})$	1.08	0.02	0.56	0.57	10.7	1.02

tra gli accumuli orari stimati dal radar ARX e dai pluviometri. Le stime ottenute con Kdp determinano il minor NSE e il miglior coefficiente di correlazione.

La **Tabella 4.2** è relativa agli accumuli orari ottenuti con il radar di Bric della Croce. Nelle **Tabelle 4.3 e 4.4** sono riportati i risultati relativi agli accumuli di due ore. Si nota un miglioramento di NSE. Nel caso di R(Zh) si ottiene però un valore del coefficiente di correlazione estremamente basso. I risultati indicano che il confronto con i pluviometri deve essere utilizzato con

raison entre les d'accumulations horaires estimées par radar ARX et par les pluviomètres. Les estimations dérivant de KDP ont déterminé le NSE le plus bas et le meilleur coefficient de corrélation.

*Le **Tableau 4.2** concerne les accumulations par heure obtenues par le radar Bric della Croce. Dans les **Tableaux 4.3 et 4.4** on montre les résultats de l'accumulation sur deux heures. On remarque une amélioration pour NSE. Dans le cas de R (ZH), cependant, on a obtenu une valeur du coefficient de corrélation très faible. Les résultats indiquent que la comparaison*

cautela per la stima della calibrazione del radar. L'argomento dovrà essere approfondito attraverso l'analisi di nuovi casi e lo studio delle condizioni di visibilità e di contaminazione da clutter del segnale radar in corrispondenza dei diversi pluviometri.

Stima delle precipitazioni sul bacini alpini

STIMA DELLE PRECIPITAZIONI CON RADAR POLARIMETRICI

La campagna di misura delle precipitazioni con il radar di Mont Vial è attiva dall'inizio del progetto. I dati sono memorizzati, e la loro elaborazione è migliorata. I principali risultati per gli anni 2010 e 2011 sono i seguenti:

- Disponibilità dei dati ed intervento in sito: la disponibilità dei dati per trimestre è rispettivamente 91,4%, 97,2% e 98,9% per i primi tre trimestri del 2010. I periodi con dati mancanti corrispondono ai 4 interventi che hanno avuto luogo.

- Nel 2011, il primo trimestre ha registrato una disponibilità del 87,3% a causa di un periodo di 10 giorni di fermo. Questo problema è stato causato da un guasto alla ventola nel modulatore che è stato risolto con ulteriore sistema per il monitoraggio del funzionamento al suo posto.

- Il software ZPHI® è stato aggiornato per tener conto delle piogge deboli (dopo la fine del 2009). Dal 14/10/2010 è operativa la distinzione delle idrometeore di tipo « grandine », cosa che permette di inibire il calcolo dell'intensità di precipitazione. Infine, dal 5 novembre 2010, è stato messo in piedi un algoritmo in

avec les pluviomètres doit être utilisée avec prudence pour l'estimation de l'étalonnage du radar. Le thème sera exploré à travers l'analyse des nouveaux cas et l'étude des conditions de visibilité et de la contamination par les échos de sol du signal radar.

Estimation des précipitations sur les bassins versants alpins

ESTIMATION POLARIMÉTRIQUE DES PRÉCIPITATIONS

La campagne de mesure des pluies par le radar du Mont Vial est maintenue en continu depuis le début du projet. Les données sont stockées, et le traitement est amélioré. Les principaux résultats pour les années 2010 et 2011 sont :

- *Disponibilité des données et intervention sur site : le taux de disponibilité des données est respectivement de 91,4 - 97,2 et 98,9 % pour les trois premiers trimestres 2010. Les périodes de lacunes correspondent essentiellement aux 4 interventions qui ont eu lieu.*

- *En 2011, le premier trimestre a un taux de disponibilité de 87,3% due à une période de lacune de 10 jours. Cette défaillance est issue d'une panne du ventilateur dans le modulateur et d'un problème au niveau du système de maintenance du radar. Ce problème a été résolu par l'ajout d'un système supplémentaire de surveillance du fonctionnement du modulateur.*

- *Le logiciel ZPHI® a été mis à jour pour mieux tenir compte des «pluies faibles» (depuis fin 2009). Une distinction des hydrométéores de types «grêle» est mise en œuvre depuis le 14/10/2010,*

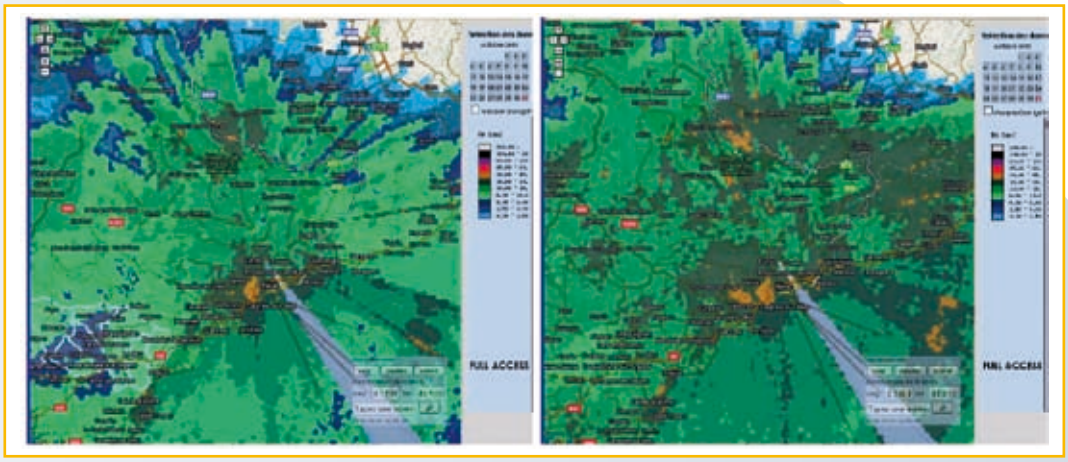


Figura 4.12 - Precipitazione Cumulata giornaliera senza e con l'algoritmo ZPHI bright band, 30 ottobre 2010.
Figure 4.12 - Cumul journalier sans et avec l'algorithme ZPHI-bande brillante, 30 Octobre 2010.

grado di sintetizzare l'informazione sulle intensità di precipitazione a diverse quote, tenendo conto del tipo di idrometeore.

- La stima di precipitazione del radar è stata realizzata attraverso il confronto con la rete di misure a terra. Essa mostra nelle prestazioni una dipendenza stagionale, con valori meno affidabili in inverno. Tuttavia, le prestazioni migliorano nel corso dell'anno per l'effetto combinato della mancanza di eventi "invernali" (problema della bright band) e per i miglioramenti nell'algoritmo ZPHI®.

- Aggiornamento dell'elaborazione del segnale con un nuovo algoritmo ZPHI ® bright band basato su un modello microfisico della bright band, che sfrutta le misure polarimetriche (Z, Z_{DR}, ϕ_{DP}). (**Figura 4.12**)

permettant d'inhiber le calcul des taux précipitants. Enfin un algorithme permettant de synthétiser l'information des taux de précipitation à différentes élévations, avec une pondération par le type d'hydrométéores, est mis en place depuis le 5 novembre 2010.

- *Une évaluation de la lame d'eau radar a été réalisée par comparaison avec les données du réseau au sol. Elle met en évidence une dépendance saisonnière des performances, avec des restitutions moins fiables en période hivernale. Cependant les performances s'améliorent au cours des trimestres par l'effet combiné de l'absence d'événements «hivernaux» (problème de bande brillante) et des améliorations portées dans ZPHI®.*

- *Mise à jour de la chaine de traitement du signal avec un nouvel algorithme ZPHI® bande brillante basé sur un modèle microphysique de bande brillante, exploitant les mesures polarimétriques (Z, ZDR, PDP).* (***Figure - 4.12***)

Confronto di dati radar polarimetrici Hydrix e radar banda C di Arpa Piemonte nella Valle Roja

Obiettivo è studiare le informazioni radar disponibili sulla Valle Roja. Per questo motivo abbiamo analizzato i dati radar in banda X dal Mont Vial (Francia) ed in banda C con Monte Settepani (SV) e Bric della Croce (TO). In una seconda fase, sono stati analizzati i dati del radar mobile in banda X collocato sul versante l'italiano sul Col de Tende (per un periodo di tre mesi da luglio a ottobre 2010). I 4 sistemi radar sono in doppia polarizzazione, consentendo l'utilizzo di una catena elaborativa per la stima della precipitazione. La posizione dei sistemi radar è mostrata in **Figura 4.14**.

- Confronto di visibilità tra i radar: per ciascuno dei radar sono stati simulati mappe di visibilità e clutter a partire dalla posizione e dalle modalità di scansione (in elevazione). Si osserva

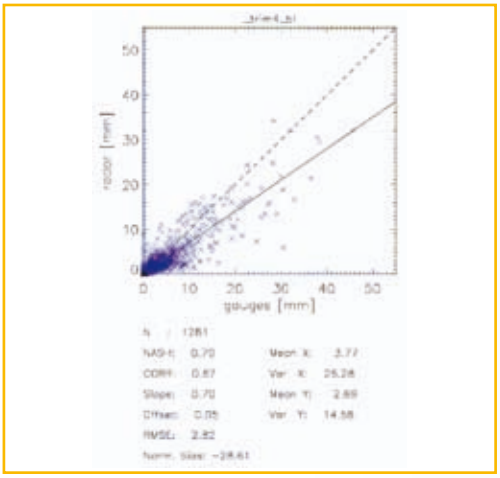


Figura 4.13 - Confronto radar pluviometri precipitazioni orarie per il quarto trimestre del 2010.
Figure 4.13 - Lame d'eau radar versus pluviométrique pour 4ème trimestre 2010, cumul horaire.

Comparaison entre les données du radar HYDRIX et ceux des radars bande C de l'Arpa Piemonte sur la vallée de la Roya

*L'objectif de ce point est d'étudier l'information radar disponible sur la vallée de la Roya. Pour cela on dispose dans un premier temps de données provenant du Radar du Mont Vial (France) et des radars en bande C de Monte Settepani et de Brice della Croce (Italie). Dans un second temps, des données du radar mobile en bande X Italien sont étudiées lors de sa mise en place sur le Col de Tende (déploiement sur une période de 3 mois de Juillet à Octobre 2010). Les quatre radars sont dotés de la double polarité. La localisation du réseau de radar est présentée sur la **Figure 4.14**.*

- *Comparaison des visibilités : Les masques et échos fixes pour les quatre radars ont été simulés à partir de la position géographique et du mode d'exploration (en élé-*

Figura 4.14 - Ubicazione della rete radar trasnfrontaliera.
Figure 4.14 - Localisation du réseau de radars Franco-Italien.

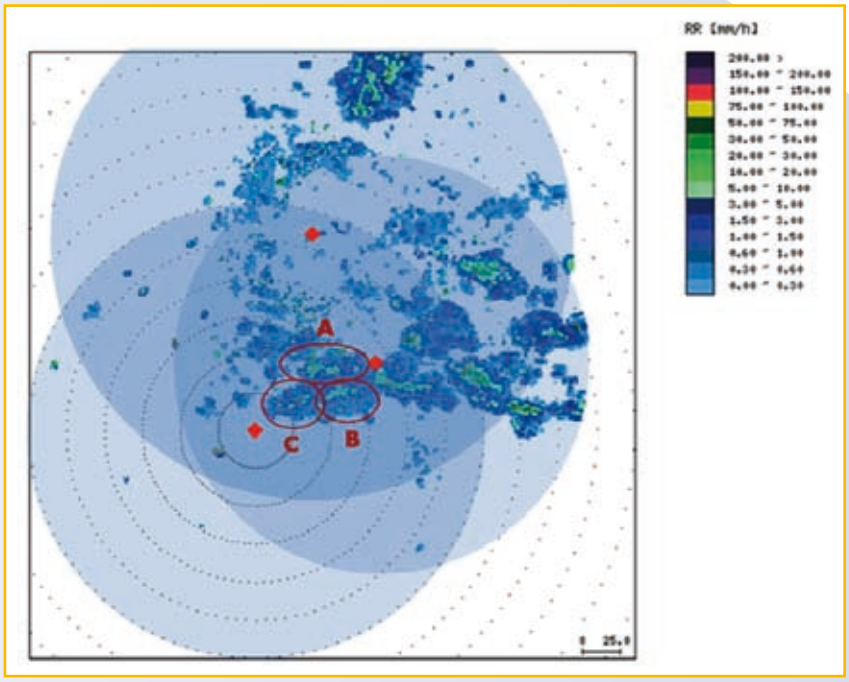


Figura 4.15 - Stima di precipitazione (in mm/h) misurata il 19/06/2010 alle 10 UTC per radar mosaico. I rombi in rosso indicano la posizione dei tre radar. I rovesci sulla valle Roja sono contrassegnati A, B e C.

Figure 4.15 *- Carte de lame d'eau (en mm/h) mesuré le 19/06/2010 à 10HTU pour la mosaique radar. Les losanges rouges symbolisent la position des trois radars. Les cellules de pluie sur la Roya sont labellisées A, B et C.*

la complementarità dei radar, in particolare tra il radar di Monte Settepani e quello di Mont Vial nel "vedere" il bacino del Roja.

- Adattamento della catena di elaborazione dei dati radar (per ZPHI ®) per l'utilizzo per i radar italiani in banda C e banda X. Questo lavoro è stato realizzato sui dati di due eventi (19 e 20 giugno 2010 e 14 agosto, 2010). Per ragioni di disponibilità dei dati, il pretrattamento richiesto per ogni radar è stato in gran parte effettuato per il radar di Bric della Croce. Resta ancora da stabilire una mappa del bias direzionale di Z (dovuto essenzialmente alla struttura del radome, ed agli effetti di beam blocking mal rappresentati dal modello digitale del terreno.). Una volta compiu-

vations) de chacun des radars. On montre la complémentarité des radars, en particulier entre le radar de Monte Settepani et celui du Mont Vial pour « voir » le bassin de la Roya.

- *Adaptation du traitement des données radars (par ZPHI®) pour une utilisation sur données Italiennes : ce travail a pu être réalisé sur les données de deux événements (les 19 et 20 juin 2010 et le 14 aout 2010). Pour des raisons de disponibilité des données, le prétraitement requis pour chaque radar a été en grande partie effectué pour le radar de Bric della Croce. Il reste encore à établir une carte de biais directionnel de Z (dû à la structure du radôme essentiellement, et aux effets de masques mal représentés par le modèle numérique de terrain auquel nous avons recours). Une fois*

to quest'ultimo passo, si potrà realizzare un confronto tra i campi di pioggia di Mont Vial e di Bric della Croce per gli eventi 19/06/2010, 20/06/2010 e 14/08/2010.

- Confronto delle stime di precipitazione dei tre radar, creando un mosaico e validandolo con pluviometri a terra (2011): il mosaico radar è prodotto da una media ponderata delle stime di ogni radar. I pesi tengono conto della presenza di beam blocking, del clutter, della quota della misura rispetto al terreno, il tipo di idrometeore (pioggia, grandine, neve, ...) e il tipo di algoritmo utilizzato per stimare la precipitazione.

La combinazione delle stime di precipitazione dei tre radar (Mt-Vial, Monte Settepani e Bric della Croce) riduce la sottostima complessiva osservata con solo radar di Monte-Vial su entrambe le stazioni a Luceram e Breil-sur-Roya (**Figura 4.15** e **4.16**)

cette dernière étape aboutie, une comparaison des champs de pluie pourra être réalisée entre le Mont Vial et Bric della Croce pour les 19/06/2010, 20/062010 et 14/08/2010.

- *Comparaison des estimateurs des trois radars, création d'une mosaïque avec les 3 radars et validation avec les pluviomètres sol (2011) : la mosaïque radar est produite par une moyenne pondérée des lames d'eau de chaque radar. La pondération prend en compte la présence de masque partiel, celle d'échos fixes, de l'altitude de la mesure radar par rapport au relief, du type d'hydrométéore (pluie, neige fondante, neige,…) et du type d'algorithme utilisé pour estimer le taux de pluie.*

*La combinaison des lames d'eau des 3 radars (Mt-Vial, Settepani et Bric della Croce) permet de réduire le biais général observe avec uniquement la lame d'eau du Mt-Vial sur les deux stations. (**Figure 4.15** et **4.16**)*

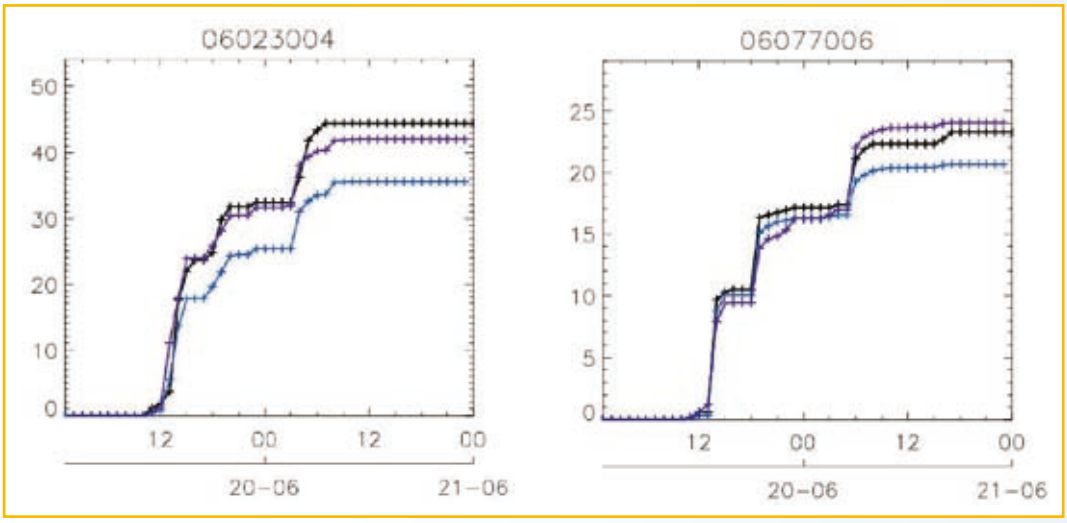


Figura 4.16 - Precipitazione cumulata oraria (in mm / h) dal radar di Mont Vial (blu), dal mosaico di tre radar (viola) e la stazione pluviometrica (nero) a Breil-sur-Roya e Luceram.

***Figure 4.16** - Cumuls de pluie horaire (mm/h) issus du Radar du Mont Vial (en bleu), de la mosaïque des 3 radars (violet) et de la station pluviographique (en noir) à Breil-sur-Roya et à Luceram.*

Attuazione, controllo e armonizzazione dei sistemi di previsione delle piene

capitolo **quinto**

chapitre **cinq**

Mise en œuvre, contrôle et harmonisation des systèmes d'alerte et de prévision de crues

Data la rapida risposta dei bacini, l'utilizzo della stima di precipitazione nella modellazione idraulica è la sola possibilità per sperare di anticipare con sufficiente tempestività gli eventi di piena. Arpa Piemonte e Cemagref hanno già sviluppato strumenti di allerta e previsione delle piene.

Il bacino della Val Roja è stato scelto come bacino di riferimento su cui Arpa e Cemagref hanno messo in atto le loro competenze. Per testare i sistemi di previsione implementati, altri bacini di interesse sono stati modellati in modo da sottoporre i risultati del sistema di previsione all'analisi di operatori locali (**Figura 5.1**). Questi bacini sono il Siagne (di interesse per il SISA: Syndicat Intercommunal de la Siagne e dei suoi affluenti), il Paillons (di interesse per il Service d'Annonce des Crues de la Ville de Nice) e il Vermenagna (di interesse per Arpa).

Varie fasi sono state realizzate:

- la creazione di una banca dati dei bacini idrometeorologici studiati;
- la simulazione di un modello idrologico di eventi passati, tenendo in conto l'informazione fornita dal radar meteorologico;

Etant donné la rapidité de réaction des bassins versants, la mise en route de modélisations de la pluie en débit est seule envisageable pour espérer anticiper avec des délais acceptables les phénomènes de crue. L'Arpa et le Cemagref ont déjà développé des outils d'alerte et de prévision des crues.

*Le bassin versant de la Roya a été retenu comme bassin de référence sur lequel Arpa et Cemagref ont mis en œuvre leur savoir faire. Pour tester les systèmes de prévisions mis en œuvre, d'autres bassins versants d'intérêt ont fait l'objet d'une modélisation afin de soumettre les résultats du système de prévision à des acteurs opérationnels locaux (**Figure 5.1**). Ces bassins supplémentaires sont ceux de la Siagne (intéressant le SISA : Syndicat Intercommunal de la Siagne et ses affluents), des Paillons (intéressant le Service d'Annonce des Crues de la Ville de Nice) et la Vermenagna (intéressant l'ARPA).*

Différentes étapes ont été réalisées :

- *la mise en place d'une base de données hydro-météorologique sur les bassins étudiés ;*
- *le calage du modèle hydrologique sur les événements passés, avec la prise en*

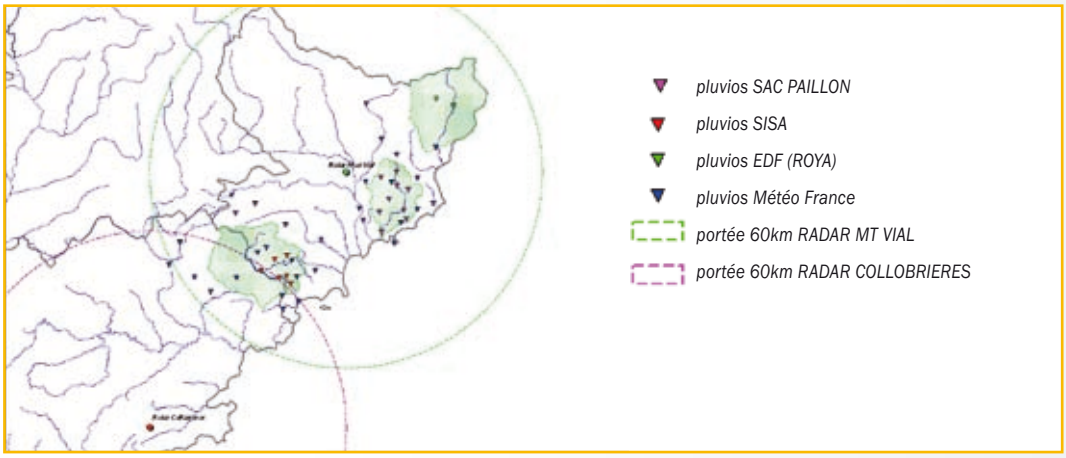


Figura 5.1 Localizzazione dei dati pluviometrici e dei radar.
***Figure 5.1** - Localisation des données pluviométriques et des radar.*

- test dei modelli in diverse configurazioni (utilizzo o meno di informazioni di portata, considerazione degli errori sulla stima di pioggia, ...).

Sviluppo di un database di dati idrometeorologici

Con l'obiettivo di rendere pre-operativi i modelli di previsione sui bacini del Roja e del Vermenagna, e degli strumenti di allarme di piena sul Dipartimento Alpes Maritimes, un primo lavoro è stato quello di recuperare i dati idro-meteorologici necessari per calibrare il modello idrologico (**Figura 5.2**). Il lavoro è stato realizzato dal Bureau d'Etude di HYDRIS-Hydrologie. I dati raccolti, resi utilizzabili ed analizzati sono:

- serie pluviometriche: 9 stazioni del SAC della Città di Nizza, sul Paillons (2005-2009), sei stazioni dell'ASIS, sul Siagne (2007-2009), 2 stazioni EDF, sul Roja (1999-2009), 31 stazioni Météo-France (1994-2009) sull'area coperta dai radar
- dati pluviometrici dai radar di Mont Vial e da quelli italiani.
- dati idrometrici: estrazione dei dati dalla Banca Hydro (bacini del Roja e Siagne), idrogrammi del Roja forniti da EDF, idrogrammi sul Paillons fornite dal SAC della città di Nizza, idrogrammi sul Vermenagna forniti da Arpa.

In totale: 25 eventi piovosi sono stati trattati e rappresentano complessivamente « 99 serie di precipitazione-piena. L'analisi di questi dati porta alle seguenti considerazioni:

- La parte a monte del bacino del Roja è scarsamente monitorata: pluviometri sparsi e visibilità ridotta del radar dal Mont Vial, fatto che evidenzia l'interes-

compte de l'information fournie par les radars météorologiques ;

- *test des modèles dans différentes configurations (utilisation ou non d'une information débit métrique, prise en compte des erreurs sur l'estimation des pluies,…).*

Élaboration d'une base de données hydro-météorologique

*Dans l'objectif de la mise en œuvre pré-opérationnelle de modélisations prédictives sur les bassins versants de la Roya et de la Vermenagna, et d'outils d'alerte de crue sur le département des Alpes Maritimes, un premier travail a été de récupérer les données hydro-météorologiques nécessaires au calage d'un modèle hydrologique (**Figure 5.2**). Ce travail a été réalisé par le Bureau d'Etude HYDRIS-Hydrologie. Les données récupérées, mises en forme et analysées sont les suivantes :*

- *Séries pluviographiques : 9 postes sur du SAC des Paillons, sur les Paillons (2005-2009), 6 postes du SISA, sur la Siagne (2007-2009), 2 postes EDF, sur la Roya (1999-2009), 31 postes Météo-France (1994-2009).*
- *Données pluviométrique du radar du Mont Vial. Les données des radars Italiens sont attendues pour 2010.*
- *Données hydrométriques : extraction des données de la Banque Hydro (bassins de la Roya et de la Siagne), hydrogrammes sur la Roya fournis par EDF, hydrogrammes sur les Paillons fournis par le SAC de la ville de Nice, hydrogramme sur la Vermenagna fournis par l'Arpa.*

Au total : 25 événements pluvieux ont été traités. Ils représentent 99 couples averse-crue. L'analyse de ces données conduit au bilan suivant :

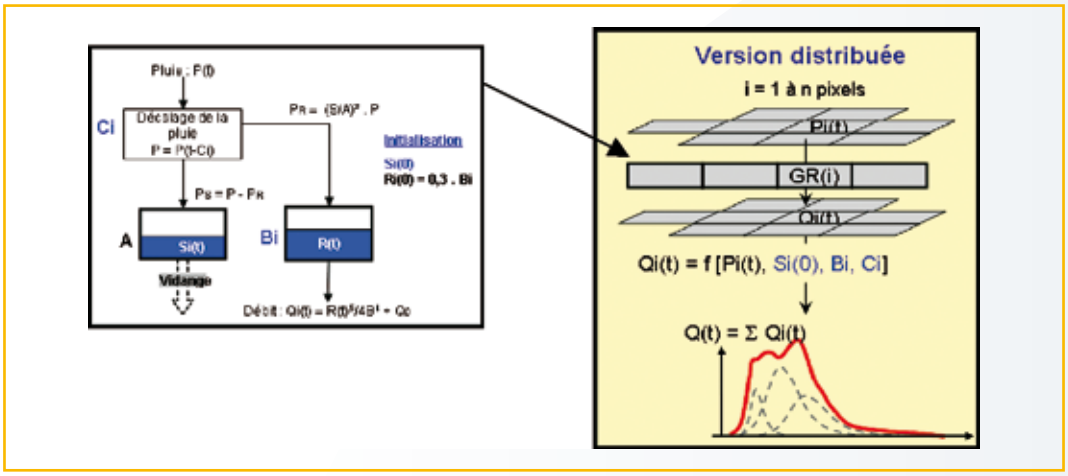


Figura 5.2 - *Struttura del modello idrologico distribuito GRD*
Figure 5.2 - *Structure du modèle hydrologique distribué.*

se ad accedere ad informazioni che potrebbero provenire dai sistemi radar italiani.

- dubbi sull'affidabilità di alcuni dati di portata: il Siagnole a Mons (eliminato per l'inizializzazione), la coerenza delle portate a Mandelieu Siagne e Pégomas.
- alcune piene modeste sono influenzate dalle dighe e non sono state incluse nella calibrazione.
- mancato utilizzo del radar per la calibrazione a causa della scarsa esperienza sui dati, del problema della *bright band* e poiché le piene relative agli eventi disponibili sono deboli. Le immagini radar sono state utilizzate unicamente per verifica.

- *Le bassin amont de la Roya est mal couvert : faible densité de pluviographes et visibilité réduite du radar, ce qui montre l'intérêt de disposer des informations pouvant provenir du radar italien.*
- *Interrogation sur la fiabilité de certaines données de débit : La Siagnole à Mons (retirée pour l'initialisation), cohérence entre les débits de la Siagne à Mandelieu et à Pégomas.*
- *Certaines crues modestes sont influencées par les barrages et ne seront pas prises en compte dans le calage.*
- *Pas d'exploitation des événements radar pour le calage : faible profondeur dans les données, problème de bande brillante, certaines crues observées faibles pour les événements disponibles.*

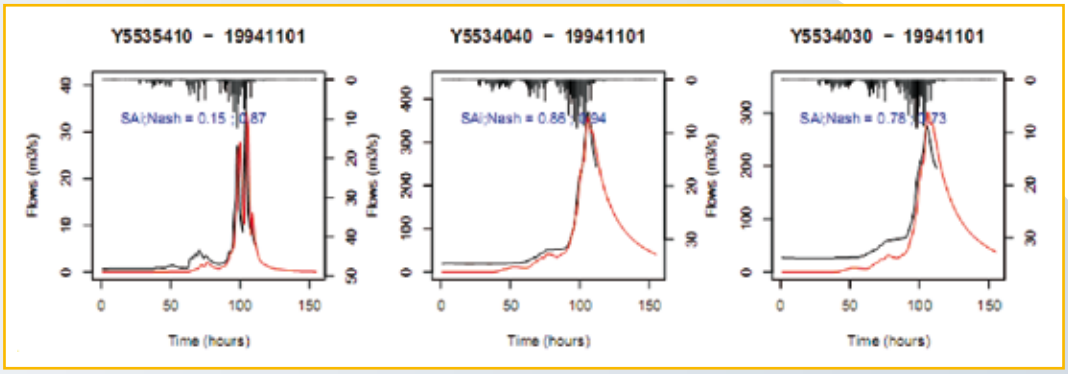


Figura 5.3 - Esempio di portate simulate dal modello GRD relative a piene passate.
Figure 5.3 *- Exemple de crues simulées lors du calage du modèle GRD sur les crues passées.*

Calibrazione del modello idrologico GRDistribué

Al termine dello sviluppo del database di dati sono disponibili 99 serie di precipitazione e piena riferiti a 25 eventi dal 1994 al 2009 per valutare la calibrazione e l'inizializzazione del modello idrologico su ciascuno dei bacini interessati dal progetto CRISTAL. Questa fase è stata portata avanti dal Bureau d'Etude HYDRIS-Hydrologie per verificare la capacità del modello nel riprodurre le piene osservate e per determinare l'insieme dei parametri di inizializzazione, adattati ad ogni bacino in vista di un funzionamento operativo, in tempo reale.

Il modello idrologico utilizzato è il modello GRD, sviluppato dal Cemagref. Un semplice modello a serbatoi trasforma la precipitazione in deflusso alla scala di un grigliato regorale (1 km ^{2}). Gli idrogrammi ottenuti (esempio in **Figura 5.3**) vengono trasferiti alla sezione del bacino attraverso una funzione di trasferimento direttamente parametrizzata in funzione della distanza tra il pixel e la sezione e poi sommati per produrre il idrogrammi in diverse parti del reticolo idrografico.
Dopo l'implementazione del modello e la

Calage du modèle hydrologique GRDistribué

A l'issu de l'élaboration de cette base de données, 99 couples averse-crue répartis sur 25 événements de 1994 à 2009 sont disponibles pour étudier le calage et l'initialisation de chacun des bassins versants concernés par le projet CRISTAL. Cette étape a été réalisée par le Bureau d'Etude HYDRIS-Hydrologie pour vérifier la capacité du modèle à refaire les crues observées et pour déterminer le jeu de paramètres et des règles d'initialisation adaptés à chaque bassin versant en vue d'un fonctionnement opérationnel, en temps réel.

*Le modèle hydrologique utilisé est le modèle GRD. Ce modèle a été développé par le Cemagref. Un modèle simple à réservoir réalise une transformation de la pluie en débit à l'échelle d'une maille de calcul (1 km^2). Les hydrogrammes ainsi obtenus (exemple en **Figure 5.3**) sont transférés à l'exutoire du bassin versant grâce à une fonction de routage directement paramétrée par la distance entre le pixel et l'exutoire, puis sommés pour produire les hydrogrammes en différents points du réseau hydrographique.» Après la mise en œuvre du modèle et différents tests effectués, l'intérêt d'utiliser un modèle distribué est mis en évidence.*

realizzazione di vari test, l'interesse nell'utilizzare un modello idrologico è evidenziata dai seguenti risultati.

- In calibrazione il modello riesce a ricostruire in maniera soddisfacente le piene, attraverso una buona conoscenza delle condizioni iniziali dei serbatoi del modello prima della piena. Queste condizioni iniziali devono dunque essere aggiornate continuamente, utilizzando variabili pertinenti.

- La ricerca dei parametri di inizializzazione del modello porta a relazioni che assicurano risultati interessanti sul Roja e sul Siagne se si esclude il bacino del Mourachonne che potrebbe essere trattato indipendentemente. I risultati sul Paillon sono poco soddisfacenti: si ha una scarsità di serie precipitazione portata per ottenere andamenti significativi.

- Si deduce che la parametrizzazione distribuita dei parametri di propagazione migliora di poco idrogrammi previsti rispetto ad una parametrizzazione globale.

RISULTATI DEI MODELLI IN DIFFERENTI CONFIGURAZIONI

A – ASSIMILAZIONE DEI DEFLUSSI OSSERVATI

Lo strumento di previsione delle piene è stato sviluppato per funzionare su bacini non monitorati, vale a dire senza dover conoscere i deflussi in tempo reale. Tuttavia, data l'esistenza di stazioni idrometriche sui bacini del progetto, si è studiata la possibilità di sfruttare la conoscenza dei deflussi in tempo reale per regolare i parametri di produzione al fine di evitare una sottostima dei deflussi.

L'utilizzo della portata di morbida all'inizio di ogni simulazione fornisce una migliore resti-

- *En calage, le modèle arrive à reconstituer les crues de façon satisfaisante, moyennant une bonne connaissance des états initiaux des réservoirs du modèle avant la crue. Ces états initiaux doivent donc être appréhendés de façon continue, par l'intermédiaire de variables pertinentes.*

- *La recherche de règles d'initialisation du modèle aboutit à des relations assurant des résultats intéressants sur la Roya et la Siagne si on exclut le bassin versant de la Mourachonne qui pourrait être traité de manière indépendante. Les résultats sur le Paillon sont peu satisfaisants ; on note un manque de couples averse-crue pour obtenir des tendances significatives.*

- *On trouve que la paramétrisation distribuée des paramètres de transfert n'améliore que très peu la restitution des hydrogrammes observés par rapport à une paramétrisation globale.*

RÉSULTATS DU MODÈLE DANS DIFFÉRENTES CONFIGURATIONS

A - ASSIMILATION DES DÉBITS OBSERVÉS

L'outil de prévision des crues a été développé pour fonctionner sur des bassins versants non-jaugés, c'est à dire sans nécessité de connaître les débits en temps réel. Néanmoins, compte-tenu de l'existence de stations hydrométriques sur les bassins versants du projet, il est étudié la possibilité d'exploiter la connaissance des débits en temps réel pour ajuster le paramètre de production afin de se prémunir d'une sous-estimation des débits calculés.

La prise en compte du débit de base au début de chaque simulation assure une meilleure restitution des hydrogrammes observés et conduit à un paramétrage plus pertinent.

tuzione degli idrogrammi osservati e porta ad una parametrizzazione più appropriata.
Si osserva anche un miglioramento nella previsione dei deflussi. Sugli esempi trattati sono stati sufficienti da uno a due aggiustamenti durante l'evento. D'altra parte, questo approccio può generare più falsi allarmi.

L'utilizzo delle portate osservate è servito anche per sfruttare questa ricalibrazione per sottobacini non monitorati.
Questi risultati sono stati ottenuti anche con i dati del versante italiano del bacino del Vermenagna.

B - ASSIMILAZIONE DELLE STIME DI PIOGGIA

Si è valutato anche il vantaggio dato dall'informazione pluviometrica da radar corretta con i dati al suolo, utilizzando i dati inviati dal Syndicat Intercommunal de la Siagne et ses affluents (SISA) e dal Service d'Annonce des Crues de la Ville de Nice (SAC Paillon).
In questo caso, abbiamo dimostrato essere di grande utilità la possibilità di accoppiare le due fonti di informazioni a nostra disposizione: i dati del radar in banda X di Mont Vial ed i dati pluviometrici inviati da SISA e SAC

On observe aussi une amélioration de l'anticipation des débits. Sur les exemples traités, 1 à 2 recalages pendant l'évènement suffisent. Cependant cette démarche risque de générer plus de fausses alertes.

L'intérêt également de l'utilisation des débits observés est de tirer profit de ce recalage pour des bassins non-jaugés emboîtés dans un bassin versant jaugé.
Ces conclusions ont aussi été obtenues avec les données du bassin versant Italien de la Vermenagna.

B - ASSIMILATION DES CORRECTIONS DE PLUIE

L'intérêt d'une correction de l'information pluviométrique issue du radar par les données au sol, a aussi été étudié, à partir de l'information pluviométrique télétransmise par le Syndicat Intercommunal de la Siagne et ses affluents (SISA) et le service d'Annonce des Crues de la Ville de Nice (SAC Paillon).
Dans ce cas, on a montré l'intérêt significatif de coupler les deux sources d'information à notre disposition : les données du radar à bande X du Mont Vial et les postes pluviographiques télé-

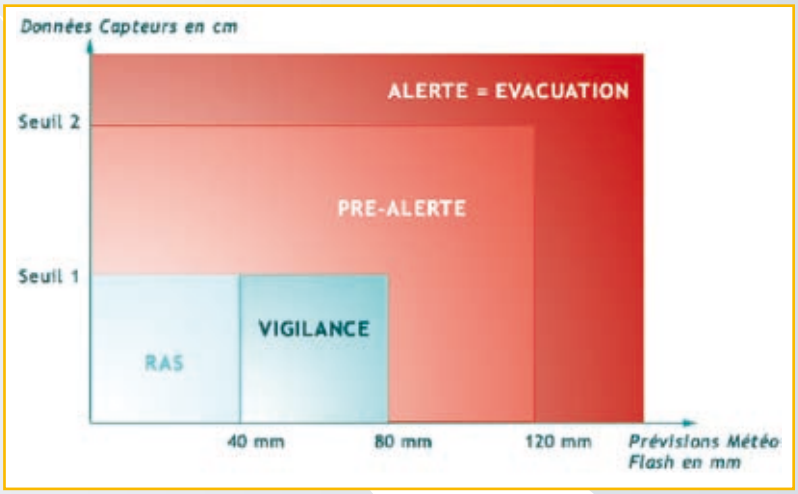


Figura 5.4 - Soglie di allerta SISA
Figure 5.4 - *Grille de mise en vigilance SISA*

Paillon. L'immagine radar permette di avere informazioni sulla distribuzione spaziale della pioggia e le stazioni al suolo di migliorare la stima di precipitazione quantitativa.

C - CONFRONTO CON ALTRI APPROCCI

Il modello di previsione delle piene è testato sui bacini del Siagne e Paillon al fine di essere applicato in situazioni di allerta sulla base di valori soglia di deflusso definiti in diversi punti del bacino. La sua applicazione è confrontata con allerte basate esclusivamente sulla pioggia. Per i 25 eventi di cui disponiamo, identifichiamo per ogni pluviometro della rete SISA, il massimo livello di allerta, che si sarebbe ottenuto a partire dalla griglia in **Figura 5.4**. Ci poniamo in una situazione in cui non sia stata raggiunta nessuna soglia di portata (sul grafico, asse delle ordinate sotto la soglia 1).

I risultati di questo confronto mostrano nell'insieme una certa coerenza tra i due approcci: spesso, quando uno o più pluviometri raggiungono il livello di "allerta", anche sulle portate si raggiunge lo stesso livello. D'altra parte, per alcuni eventi , si osservano allerte date dal modello afflussi-deflussi (il modello GRD) senza alcun superamento di soglia per le piogge. Il contrario è meno comune.

L'informazione fornita dalle simulazioni afflussi-deflussi permette di integrare le precipitazioni e lo stato d'umidità del suolo, migliorando l'inizializzazione del modello. Il contributo di questi parametri aggiuntivi (oltre ai dati di pioggia) fornisce ulteriore rilevanza nel determinare un allarme. D'altra parte, la rete di misura pluviometrica è concentrata sulla parte centrale del bacino, non può fornire una visione esaustiva al pari della stima di precipitazione radar in input al modello idrologico.

transmis du SISA et du SAC Paillon. L'image radar permet de disposer d'une information sur la répartition spatiale de la pluie et les postes au sol permettent de préciser l'information quantitative.

C - COMPARAISON À D'AUTRES APPROCHES

*Le modèle de prévision des crues est testé sur les bassins versants de la Siagne et du Paillon pour être appliqué pour le déclenchement d'alertes sur des valeurs seuils de débit définies en différents points du bassin versant. Son application est comparée avec des mises en alerte basées uniquement sur la pluie. Pour les 25 évènements dont nous disposons, nous identifions pour chaque pluviographe du réseau SISA, le niveau maximum d'alerte qui aurait été atteint à partir de cette grille (**Figure 5.4**). Nous nous plaçons dans un cas où aucun seuil de débit n'est atteint (sur le graphique, axe des ordonnées inférieur à Seuil 1).*

Les résultats de cette comparaison, montrent dans l'ensemble une certaine cohérence entre les deux approches : souvent, lorsqu'un ou plusieurs pluviographes atteignent le niveau « alerte », ce même niveau est également atteint sur les débits. Par contre, on peut noter des alertes fournies par la modélisation pluie-débit (par le modèle GRD) sans aucune alerte sur les pluies pour certains événements. La situation inverse est moins fréquente.

L'information issue des simulations pluie-débit permet d'intégrer l'antériorité de la pluviométrie et l'état hydrique des sols par le biais de la règle d'initialisation. L'apport de ces paramètres supplémentaires (au-delà de la donnée de pluie) apporte une pertinence supplémentaire dans le déclenchement d'alerte. D'autre part, le réseau de mesure pluviographique étant concentré sur la partie centrale du bassin versant, il ne permet pas d'avoir une vision exhaustive, ce que la lame d'eau radar, données d'entrée du modèle hydrologique, permet d'obtenir.

Sistema di allerta per debris flow

I debris flow sono fenomeni frequenti nelle valli alpine e con un alto potenziale distruttivo. Recentemente è stata proposta una classificazione dei bacini alpini in tre classi in funzione della litologia:

- (1) rocce carbonatiche massive e/o grossolanamente stratificate/foliate (es. dolomie, calcari, marmi);
- (2) rocce metamorfiche a grana fine finemente foliate (es. calcescisti, scisti, filladi),
- (3) rocce cristalline massicce o a grana grossa (es. granitoidi, gneiss, serpentiniti).

La natura delle rocce presenti influenza la reologia, i processi sedimentari, gli stili deposizionali e l'architettura dei conoidi alluvionali, la frequenza di apparizione e la stagionalità d'innesco delle colate di detriti che hanno origine negli stessi bacini. In particolare, la suddetta classificazione comprende le cause scatenanti come parametro classificatore e distingue per ogni classe bacino il tipo di precipitazione che genera un flusso di detriti.
I bacini del gruppo (2) vengono ad esempio innescati da temporali di moderata intensità, come chiaramente evidenziato dalla ricorrenza media d'innesco delle colate di detriti e dalla maggiore incidenza durante la stagione estiva, quando i temporali sono molto più frequenti rispetto alle precipitazioni estese e prolungate tipiche della stagione invernale.

La tabella seguente mostra la classificazione dei bacini.

Un système d'alerte de laves torrentielles

Les laves torrentielles sont des phénomènes, fréquents dans les vallées alpines, à haut potentiel destructeur.
Récemment, une classification des bassins versant alpins a été proposée, en fonction de leur lithologie :

- *(1) roches calcaires massives et/ou grossièrement stratifiées/foliées (p.e. dolomies, calcaires, marbres) ;*
- *(2) roches métamorphiques à grain fin, fortement foliées (es. calcschistes, schistes, phyllades) ;*
- *(3) roches cristalline massives (es. granitoïdes, gneiss, serpentinites).*

La nature des roches influence la rhéologie, les processus sédimentaires, les caractéristiques des dépôts et l'architecture des cônes alluviaux, la fréquence de parution et la distribution au cours de l'année des flux de sédiments dans les différents bassins.
En particulier, cette classification prend en compte les causes qui engendrent les laves torrentielles, et différencie pour chaque classe de bassin le type de précipitation qui provoque le flux de sédiments.

Les bassins de type (2) sont par exemple associés à des averses d'intensité modérée . Cela ce traduit par une récurrence moyenne d'apparition des flux de sediments, que a lieu en saison estivale.

Le tableau suivant présente la classification des bassins.

Tabella 5.1 – Classificazione dei bacini su cui si basa il sistema di allerta per debris flow.
Tableau 5.1 – *Classification des bassins à la base du système d'alerte pour laves torrentielles.*

Basin Group	Fan/Basin area [%]	Main debris flow rheology	Clay-clayey silt matrix content [%]	Dominant processes	Triggering recurrence [years]	Minimum triggering rainfall	Main triggering season
1	> 20	Viscous-plastic	About 5	Cohesive Debris Flow	4	storms of high intensity (≥ 30 mm/h)	late spring
2	5 <	Viscous-plastic	Up to 5	Cohesive Debris Flow	1	storms of moderate intensity (≥ 20 mm/h)	summer
3	10 <	Frictional-collisional	Much less than 5	Non-Cohesive Debris Flow	> 10	alluvial events or supercell storms (≥ 50 mm/h)	autumn and spring (rarely in summer)

I sistemi di allarme tradizionali sono di solito basati su soglie di precipitazione derivate da pluviometri, ma le reti a terra sono spesso inadeguate a descrivere adeguatamente un campo di pioggia nelle zone di montagna. I radar polarimetrici sono grado di fornire in tempo reale una stima affidabile delle precipitazioni con elevata risoluzione spaziale e temporale.
Nell'ambito del progetto CRISTAL è stato realizzato un sistema di monitoraggio e nowcasting dei temporali, attraverso l'utilizzo di un algoritmo per la loro identificazione e il loro tracking, denominato TREC (Tracking Radar Echoes by Correlation). La cella viene identificata ed inseguita durante la sua evoluzione. Attraverso un'architettura PostgresSQL / PostGIS si individuano i bacini critici interessati dal temporale, valutando il solido di precipitazione sul bacino dalla stima del radar meteorologico. In **Figura 5.5** si mostra un esempio di superamento per un bacino in prossimità di Cantoira (TO) avvenuto il 26 agosto 2011.

Les systèmes d'alerte traditionnels s'appuient habituellement sur des seuils de précipitations liés aux données des pluviographes, bien que les réseaux au sol soient souvent insuffisants pour décrire les champs de pluie en zone de montagne.
Dans ce cas, les radars polarimétriques sont capables de fournir en temps réel une estimation fiable des précipitations avec une résolution spatiale et temporelle élevée.
Dans le cadre du projet CRISTAL, on a réalisé un système de surveillance et prévision des échos, par le biais d'un algorithme pour leur identification et leur suivi, nommé TREC (Tracking Radar Echoes by Correlation). La cellule orageuse est identifiée et suivie dans son évolution. Une architecture PostgresSQL / PostGIS permet d'identifier les bassins critiques en évaluant le volume de précipitation par l'estimation du radar météorologique. La ***Figure 5.5*** *montre un exemple de dépassement du seuil pour un bassin près du village de Cantoira (Province de Turin) au cours du 26 août 2011.*

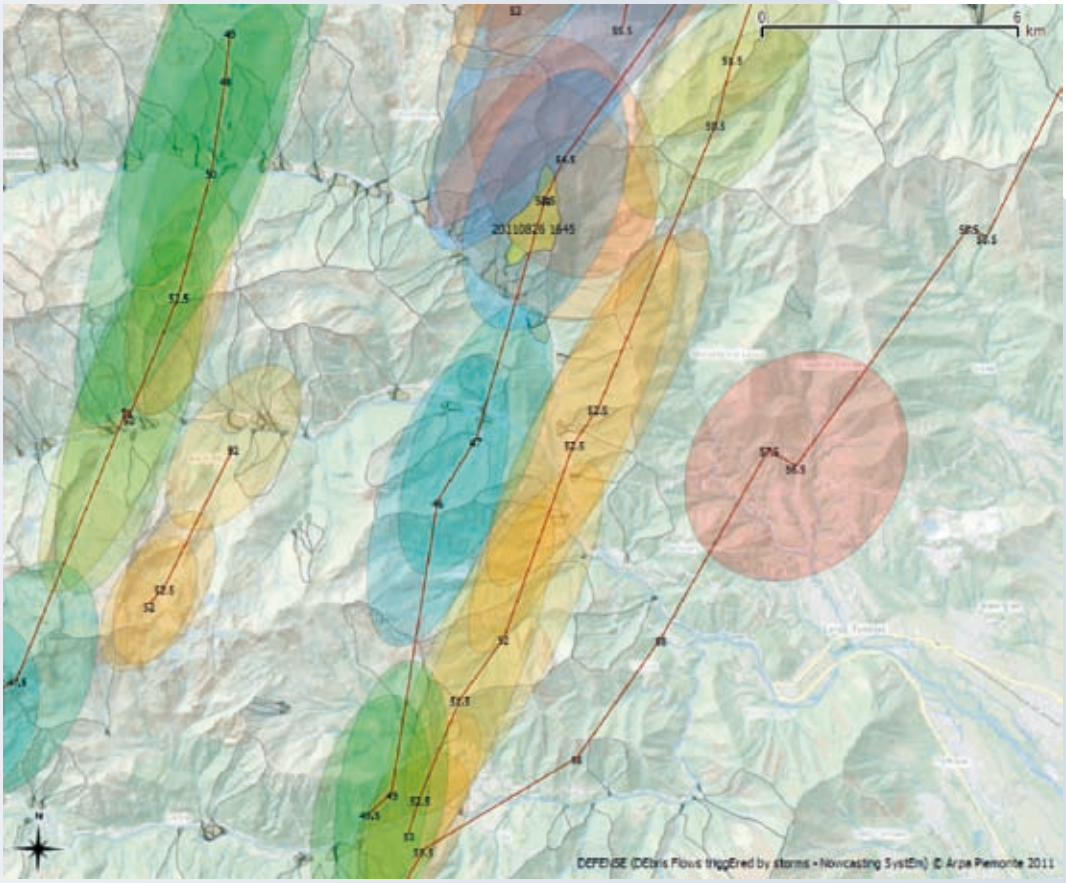


Figura 5.5 - 26 agosto 2011. Esempio di localizzazione delle celle (ellissi), del percorso (linee rosse) dei temporali: i valori indicano la massima riflettività. In giallo il bacino nel quale si è registrato un superamento.

Figura 5.5 *- 26 août 2011. Exemple de identification des cellules (ellipses), du parcours (lignes rouges) des orages : les valeurs indiquent le maximum de réflectivité. En jaune le bassin dans lequel on a enregistré le dépassement.*

Integrazione nei sistemi operativi di allerta

capitolo **sesto**

chapitre **six**

L'intégration des systèmes opérationnels pour l'alerte

Il progetto CRISTAL ha un obiettivo operativo, il che è certamente ambizioso, dal momento che la messa in operatività di strumenti di Ricerca e Sviluppo non è un'operazione semplice. Certamente è necessario lo sviluppo di strumenti informatici didattici. Ma al di là di queste semplici considerazioni, è essenziale il coinvolgimento degli attori locali. E tutto questo deve essere fatto il prima possibile, in modo da tener conto delle osservazioni e delle esigenze espresse dagli attori locali, nello sviluppo degli strumenti.

CRISTAL ha coinvolto fin dall'inizio del progetto gli attori locali e gli stakeholders regolarmente aggiornati sull'avanzamento del progetto in modo che la messa in operatività degli strumenti entro la fine del progetto si svolgesse nelle migliori condizioni possibili.

In questo quadro, gli attori locali hanno svolto un duplice ruolo di fornitori di dati ed utilizzatori dei risultati dei modelli.

CRISTAL vise un objectif opérationnel. Ce qui est ambitieux, car le portage opérationnel d'outils de R&D n'est pas une opération simple. Certes des développements pour aboutir à des outils informatiques didactiques sont nécessaires. Mais au-delà de ces simples considérations, l'appropriation par les acteurs locaux est indispensable. Et cela au plus tôt dans l'élaboration des outils afin de recueillir les remarques et besoins exprimés par les acteurs locaux.

CRISTAL a donc associé dès le début du projet les acteurs locaux et les a tenu régulièrement informés des avancés du projet afin que le portage opérationnel en fin de projet se déroule dans les meilleures conditions que possibles.

Dans ce cadre de travail, les acteurs locaux ont joué un double rôle, de fournisseurs de données et d'utilisateurs des résultats des modèles.

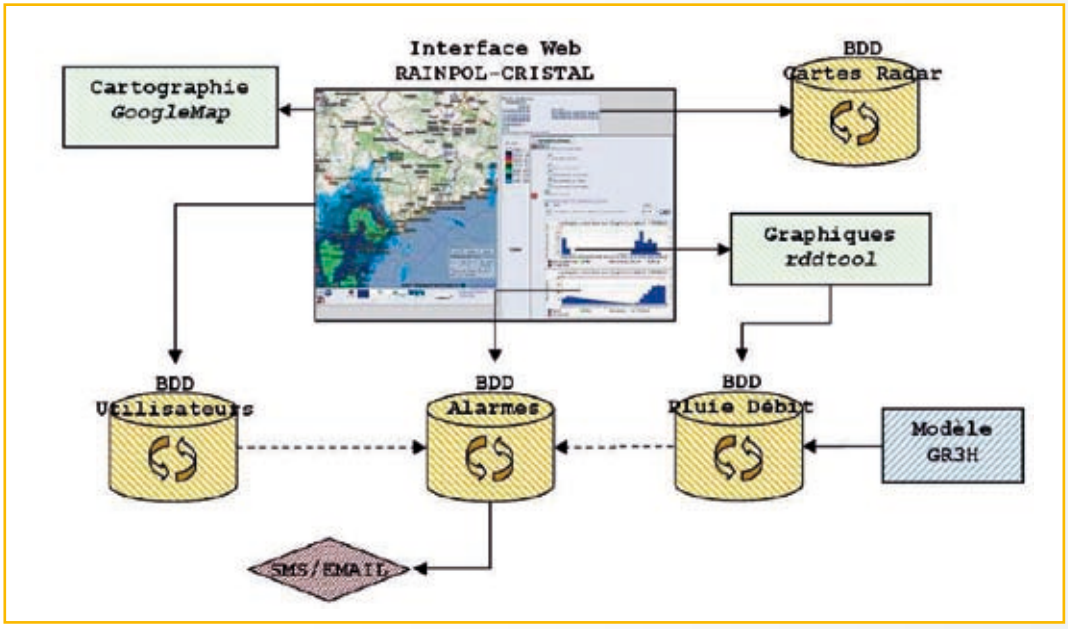


Figura 6.1 - Schema di funzionamento dell'interfaccia RAINPOL-CRISTAL.
Figure 6.1 *- Schéma fonctionnel de l'interface RAINPOL-CRISTAL.*

Integrazione del modello afflussi-deflussi di Cemagref sulla piattaforma RAINPOL

L'obiettivo è quello di operare su siti pilota (Siagne, Les Paillons, La Cagne, Antibes/Biot) il modello afflussi-deflussi del Cemagref, integrandolo la piattaforma RAINPOL (**Figura 6.1**).

L'integrazione del modello idrologico GRDistribué nella piattaforma piattaforma RAINPOL® ha richiesto una ricodifica del programma per creare un eseguibile in grado operare nel sistema operativo Linux. Questo lavoro è stato completato dal Bureau d'étude Hydris. Due moduli sono stati creati:

- Il modello idrologico GRDidtribué: permette di trasformare i campi di orari di precipiazione forniti dal radar in idrogrammi di piena dei bacini studiati. I calcoli vengono eseguiti su base oraria, aggiornate ogni 5 minuti (il tempo di acquisizione di un nuovo campo di pioggia).
- Un modulo di inizializzazione che lavora continuamente sulle precipitazioni cumulate giornaliere del radar, per fornire le condizioni iniziali del modello di ogni giorno, 0h UTC.

Il codice è stato implementato e parametrizzato per operare su 17 bacini idrografici, che sono stati oggetto di calibrazione idrologica ed opera dal 20 novembre 2010.
Soglie di allerta possono essere impostate per attivare un avviso via SMS / mail.
Diversi allarmi sono stati lanciati sul progetto. **Figura 6.1**

Sul bacino del Paillon, da metà novembre 2010, diversi eventi di pioggia hanno ge-

Intégration du modèle pluie débit du Cemagref sur la plate-forme RAINPOL

*L'objectif est d'exploiter sur sites pilotes (La Siagne, Les Paillons, La Cagne, Antibes/Biot) le modèle pluie-débit du Cemagref en l'intégrant sur la plateforme RAINPOL (**Figure 6.1**).*

L'intégration de modèle hydrologique GRDistribué dans la plateforme Rainpol a nécessité un recodage du programme pour créer un executable pouvant fonctionner sous linux. Ce travail a été effectué par le Bureau d'étude Hydris. Deux modules ont été créés :

- *Le modèle hydrologique GRDidtribué : permettant de transformer les champs de pluies horaires fournis par le Radar, en hydrogrammes de crues à l'exutoire des bassins versants étudiés. Les calculs sont effectués sur un pas de temps horaire, rafraichi toutes les 5 minutes (temps d'acquisition d'une nouvelle grille de pluie radar).*
- *Un module d'initialisation fonctionne en continu à partir des cumuls journaliers de pluies radar, pour fournir les conditions initiales du modèle de chaque jour, à 0h TU.*

Le code a été implémenté et paramétré pour fonctionner sur les 17 bassins versants qui ont fait l'objet du calage hydrologique et fonctionne depuis le 20 novembre 2010.
Des seuils d'alertes peuvent être définis pour déclencher une alerte envoyée par SMS/Email.
Figure 6.1

Concernant les bassins versants du Paillon, depuis mi-novembre 2010, plusieurs évènements de pluie ont généré des débits mais généralement assez faibles, inférieurs à 20m^3/s. Le seul évènement ayant provoqué des débits plus im-

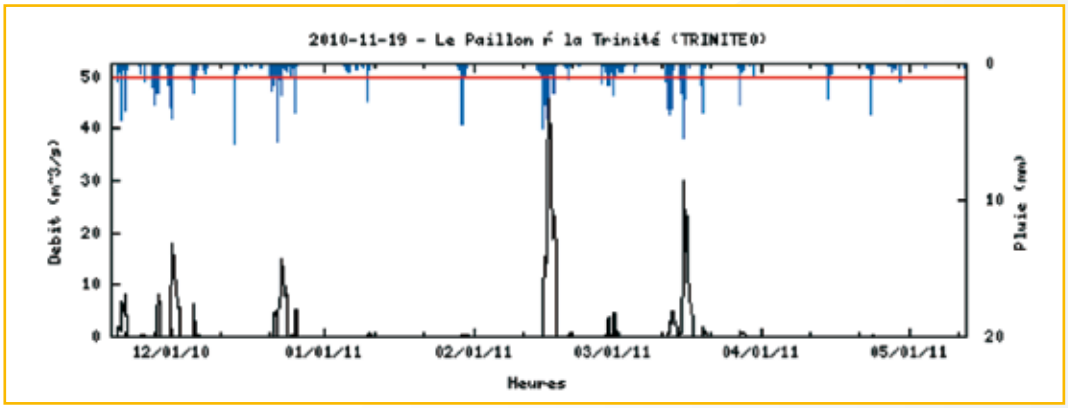


Figura 6.2 - Esempi di ietogrammi ed idrogrammi osservati e simulati per il bacino Paillon a la Trinité, per il periodo dal 2010/11/19 al 2011/05/13.

Figure 6.2 *- Exemple de hyétogrammes observés et hydrogrammes simulés pour le bassin versant du Paillon à la Trinité, pour la période du 2010-11-19 au 2011-05-13.*

nerato piene, ma generalmente piuttosto basse con meno di 20 m^3/s. L'unico evento che ha causato un aumento significativo della portata è quello di metà febbraio 2011, con picchi di velocità di 25, 45 e 50 m^3/s sui bacini LACONDAM, TRINITE e MDPEILLO, rispettivamente (**Figura 6.2**).

Per il Roja, un singolo evento (metà marzo 2011) ha causato portate significative. L'andamento degli istogrammi è simile, ma le portate sono tre stati volte superiori per "Roya a Breil-sur-Roya" con 30 m^3/s rispetto a "La Roya di Tenda".

Le portate più importanti si sono prodotte nei tre bacini con una superficie molto ampia a Siagne Grandris (da 400 a 500 km^2). A "La Siagne a Pégomas" la soglia di vigilanza 100 m^3/s è stata superata una volta durante gli eventi di metà marzo 2011. L'evento a metà febbraio 2011 ha inoltre prodotto portate significative con più di 150 m^3/s in "La Siagne a Mandelieu-la-Napoule".

*portants est celui de mi-février 2011, avec des débits de pointes de 25, 45 et 50 m3/s sur les bassins de LACONDAM, TRINITE et MDPEILLO, respectivement (**Figure 6.2**).*

Pour la Roya, un seul événement (mi-Mars 2011) a provoqué des débits de pointe significatifs. La forme des hyétogrammes des deux sous bassins versants est similaire, mais les débits de pointe sont trois fois plus importants pour « La Roya à Breil-sur-Roya » avec 30 m^3/s que pour « La Roya à Tende ».

Les débits de pointe simulés les plus importants sont associés aux bassins versants de la Siagne avec 3 bassins versants de très grandre superficie superficie (entre 400 et 500 km^2). A « La Siagne à Pégomas » le seuil de vigilance de 100 m^3/s a été dépassé une fois durant l'èvenement de mi-mars 2011. L'événement de mi-février 2011 a aussi généré des débits de pointe simulés importants avec plus de 150 m^3/s à « La Siagne à Mandelieu-la-Napoule ».

Sviluppo e sperimentazione di un programma pilota sul CG06

L'obiettivo principale è quello di sviluppare e testare un programmi pilota della piattaforma per RAINPOL sul Conseil Général des Alpes Maritimes (CG06) (**Figura 6.3**). Tre applicazioni sono state implementate.

- RAINPOL-CRISTAL: L'obiettivo principale della sperimentazione è il monitoraggio in tempo reale di 17 bacini e sub-bacini nelle Alpi Marittime. L'obiettivo è quello di essere in grado di visualizzare tramite un'interfaccia dedicata le portate in uscita dal modello idrologico GRDistribué del Cemagref. Oltre al monitoraggio in tempo reale della precipitazione e la previsione delle portate attraverso l'interfaccia RAINPOL, un sistema di allarme via email su piogge forti è stato reso operativo di precipitazioni significative. Molti gli attori regionali sono attualmente i destinatari dei risultati di questo programma sperimentale.

- RAINPOL-Antibes: Questo esperimento si propone la gestione delle inondazioni nella città di Antibes. Le varie funzionalità dell'applicativo sono state definite in stretta collaborazione con il personale del Comune di Antibes. Questo applicativo ha operato presso la città di Antibes per diversi mesi, consentendo numerosi feedback sulla gestione delle inondazioni con questi nuovi strumenti.

- RAINPOL-CRISTAL-OP: Questo esperimento si propone un monitoraggio operativo di pioggia sulle Alpi Marittime. Questo applicativo è destinato ad

Développement et expérimentation d'un démonstrateur sur le CG06

*L'objectif principal est de développer et expérimenter un (ou plusieurs) démonstrateur(s) de la plateforme RAINPOL pour le Conseil Général des Alpes Maritimes (CG06) (**Figure 6.3**). Trois applications ont été mises en place.*

- *RAINPOL-CRISTAL : Cette expérimentation a pour objectif principal le suivi en temps réel des 17 bassins et sous-bassins versants dans les Alpes Maritimes. La finalité étant de pouvoir visualiser via une interface dédiée les débits à l'exutoire en couplant le modèle hydrologique GRDistribué du Cemagref. En plus d'un suivi temps réel des pluies et de prévision de débit visible par l'interface Rainpol, un système d'alerte a été mis en place pour prévenir par mail de l'apparition de pluies significatives. De nombreux acteurs régionaux sont actuellement destinataires des résultats de ce démonstrateur.*

- *RAINPOL-Antibes : Cette expérimentation a pour objectif la gestion des inondations à Antibes. Les différentes fonctionnalités du démonstrateur ont été définies en étroite collaboration avec les personnels de la Ville d'Antibes. Ce démonstrateur est mis à disposition de la ville d'Antibes depuis plusieurs mois et plusieurs retours d'expérience de gestion des inondations avec ce nouvel outil ont ainsi pu être faits.*

- *RAINPOL-CRISTAL-OP : Cette expérimentation a pour objectif le suivi opérationnel des précipitations sur les Alpes Maritimes. Ce démonstrateur a pour vocation*

essere utilizzato e testato da un gran numero di attori pubblici ed economici della regione.

d'être utilisé et testé par un grand nombre d'acteurs publics et économiques de la région.

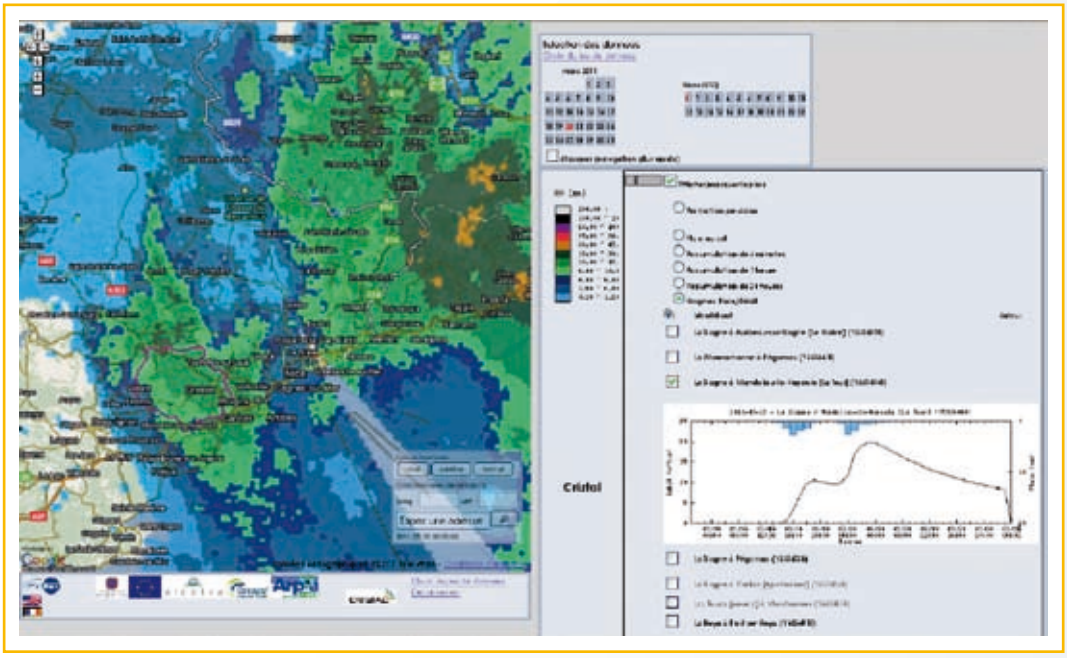


Figura 6.3 - Interfaccia RAINPOL-CRYSTAL, la selezione dei bacini idrografici e la visualizzazione della mappa di base GoogleMap.
Figure 6.3 *- Interface RAINPOL-CRISTAL, sélection des sous basins versants et visualisation sur le fond de carte GoogleMap.*

BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAPHIE

Regolamento (CE) N. 1080/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio

Regolamento (CE) N. 1081/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio

Regolamento (CE) N. 1083/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio, s.m.i.

Regolamento (CE) N. 1028/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio, s.m.i.

Valutazione ex-ante - Programma di cooperazione transfrontaliera Italia-Francia Alcotra 2007-2013, www.interreg-alcotra.org

Programma Operativo - Programma di cooperazione transfrontaliera Italia-Francia Alcotra 2007-2013, www.interreg-alcotra.org

Guida di attuazione - Programma di cooperazione transfrontaliera Italia-Francia Alcotra 2007-2013, www.interreg-alcotra.org

La force de la coopération / La forza della cooperazione - Alcotra 2000-2006 - La coopération transfrontalière en France et en Italie / La cooperazione transfrontaliera in Francia e in Italia - a cura del Programma Alcotra, brochure Progetto Alcotra

AAVV, gennaio 2010, Guide des Projets transfrontaliers – Guide opérationnel et financier à l'attention des porteurs du projets - a cura di MOT, Mission Opérationnelle Transfrontalière

AAVV, novembre 2009, I finanziamenti europei per gli Enti Pubblici ed Organizzazioni no profit - a cura del Servizio Relazioni e Progetti Europei e Internazionali della Provincia di Torino

Ministero dello Sviluppo economico, Dipartimento per lo sviluppo e la coesione economica, dicembre 2009, Rapporto strategico nazionale 2009

Ministero dello Sviluppo economico, Dipartimento per lo sviluppo e la coesione economica, giugno 2007, QSN Quadro Strategico Nazionale per la politica regionale di sviluppo 2007-2013

Anderson I., 1975, Measurements of 20-GHz transmission through a radome in rain, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 23, no. 5, 619-622

Bechini R., Cremonini R., Gorgucci E., Baldini L., 2006, Dual-pol radar calibration and correction of the bias introduced by non uniform radome wetting, Proceedings, 4th European Conference on Radar in Meteorology, Barcelona, Spain, ERAD, 593-596

Chang K.-C., 1986, System performance in rain in a radome-enclosed environment, International Journal of Infrared and Millimeter Waves, v. 7, 267-289

Effenberger J. A., Strickland R. R., Joy E. B., 1986, The effects of rain on a radome's performance, Microwave Journal, 261-274

Gibble D., 1964, Effect of Rain on Transmission Performance of a Satellite Communication System, IEEE International Convention, Record, Part VI, 52

Kurri M., Huuskonen A., 2008, Measurements of the Transmission Loss of a Radome at Different Rain Intensities, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 25, 1590-1599

Merceret F. J., Ward J. G., 2000, Attenuation of Weather Radar Signals Due to Wetting of the Radome by Rainwater or Incomplete Filling of the Beam Volume, NASA/TM-2002-211171, NASA/YA-D, Kennedy Space Center, FL, 32899, 16

Trabal J.M., Zawadzki I., McLaughlin D.J., 2008, A Method to Correct for Wet Radome Attenuation in CASA Radars by the Use of a Contiguous WSR-88D Radar, ERAD 2008, Helsinki, Finland

Waterman P.C., 1979, Matrix methods in potential theory and electromagnetic scattering, J. Appl. Phys., v.50, 4550-4565