

## 2. Raccordo tra serie derivanti da strumenti meccanici ed automatici

### 2.1. Obiettivi

I dati di precipitazioni in Piemonte sin dall'inizio del secolo scorso sono stati raccolti da stazioni di misura in parte automatiche ed in parte meccaniche gestite dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale «SIMN», costituito nel 1913, e pubblicati in Annali Idrologici. Ragioni di innovazione tecnologica e di economicità, hanno portato alla progressiva dismissione degli strumenti di misura gestiti dal SIMN, ormai obsoleti, con strumenti più moderni, completamente automatici ed elettronici, in grado di fornire misure in tempo reale con elevato dettaglio temporale.

A partire dal 1988 è presente sul territorio piemontese una rete meteoidrografica automatica, gestita inizialmente dai Servizi Tecnici di Prevenzione della Regione Piemonte e, dal 2003, da ARPA Piemonte. Sono pertanto disponibili dati di pluviometria dagli inizi del secolo scorso, ma provenienti dalle due diverse reti di monitoraggio meteorologico: la rete SIMN, con dati rilevati fino al 2002 e la rete delle stazioni automatiche dell'Arpa Piemonte, che forniscono informazioni a partire dal 1987. La rete automatica in telerilevamento risulta oggi costituita da circa quattrocento stazioni di misura.

Al fine di poter effettuare raffronti e valutazioni, oggi molto attuali per la definizione del cambiamento climatico, di trend e scenari futuri, che si avvalgano di tutte le misure disponibili a partire dagli inizi del secolo scorso, è necessario esaminare l'omogeneità delle serie di misure acquisite dopo i cambiamenti di strumentazione e, per alcuni casi, di sito.

Si è posta così la questione relativa alla valutazione della correttezza di unire serie di dati consecutive nel tempo ma provenienti da strumentazioni diverse. A tal fine, sono state ricercate e individuate località sul territorio regionale, nelle quali fossero presenti in contemporanea sia le stazioni meteorologiche manuali che quelle automatiche in modo da analizzare l'impatto, dovuto alla variazione di strumentazione e di sito, sulle misure acquisite.

Sulle località, distribuite nel modo più omogeneo possibile sul territorio regionale, è stato effettuato un confronto tra le misure acquisite dalle due differenti strumentazioni, nel periodo di sovrapposizione delle registrazioni.

Attraverso questo confronto, sono state individuate le coppie di stazioni idonee al collegamento delle due serie per le analisi climatiche sull'intero periodo coperto dalle misure strumentali.

Per il confronto dei dati della rete del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, di seguito indicata come SIMN, con quelli della rete ARPA Piemonte sono state individuate 26 località, in cui hanno funzionato contemporaneamente stazioni meteorologiche di entrambe le reti, dotate di uno strumento per la registrazione delle precipitazioni, e di cui si hanno periodi di sovrapposizione tra le misure (**Tab. 1, Fig. 1**).

Località	Quota SIMN [m s.l.m.]	Differenza quota [m s.l.m.]	Distanza [m]	Periodo
Ala di Stura (TO)	1006	36	70	1993-2003
Alagna Valsesia (VC)	1215	19	2500	2001-2002
Asti (AT)	158	41	2350	1988-2003
Bardonecchia (TO)	1250	97	800	1991-2003
Biella (BI)	412	7	300	2001-2003
Boves (CN)	590	15	1240	1988-2003
Bra (CN)	290	5	15	1993-2003
Carcoforo (VC)	1150	140	2500	1997-2003
Casale M.to. (AL)	113	5	20	1988-2000
Ceresole Reale - Lago Serrù (TO)	2260	44	920	1996-2003
Cumiana (TO)	289	38	2800	1988-2003
Lanzo (TO)	540	40	2200	1989-1999
Locana - L.Valsoera (TO)	2410	45	250	1987-2003
Luserna S. Giovanni (TO)	478	1	760	1988-2003
Mondovì (CN)	440	18	390	1993-2003
Oropa (BI)	1180	6	5	1991-2002
Piedicavallo (BI)	1050	10	180	1996-2003
Salbeltrand (TO)	1031	21	1250	1991-2002
Sparone (TO)	635	85	1400	2001-2003
Susa (TO)	510	10	820	1991-2003
Torino (TO)	270	30	850	1990-2003
Tricerro (VC)	140	1	140	2001-2003
Usseglio - Malciaussia (TO)	1813	13	395	2000-2003
Valprato Soana - Piamprato (TO)	1550	5	465	1993-1999
Varallo Sesia (VC)	453	17	2040	1989-2003
Vercelli (VC)	135	3	1360	1994-2003

Tab. 1. Località per le quali è stato svolto il confronto tra le serie di dati di precipitazione del SIMN e dell'ARPA: quota delle due stazioni (m s.l.m.), differenza altimetrica assoluta tra di esse (m), loro distanza (m) e periodo di sovrapposizione tra le misure.

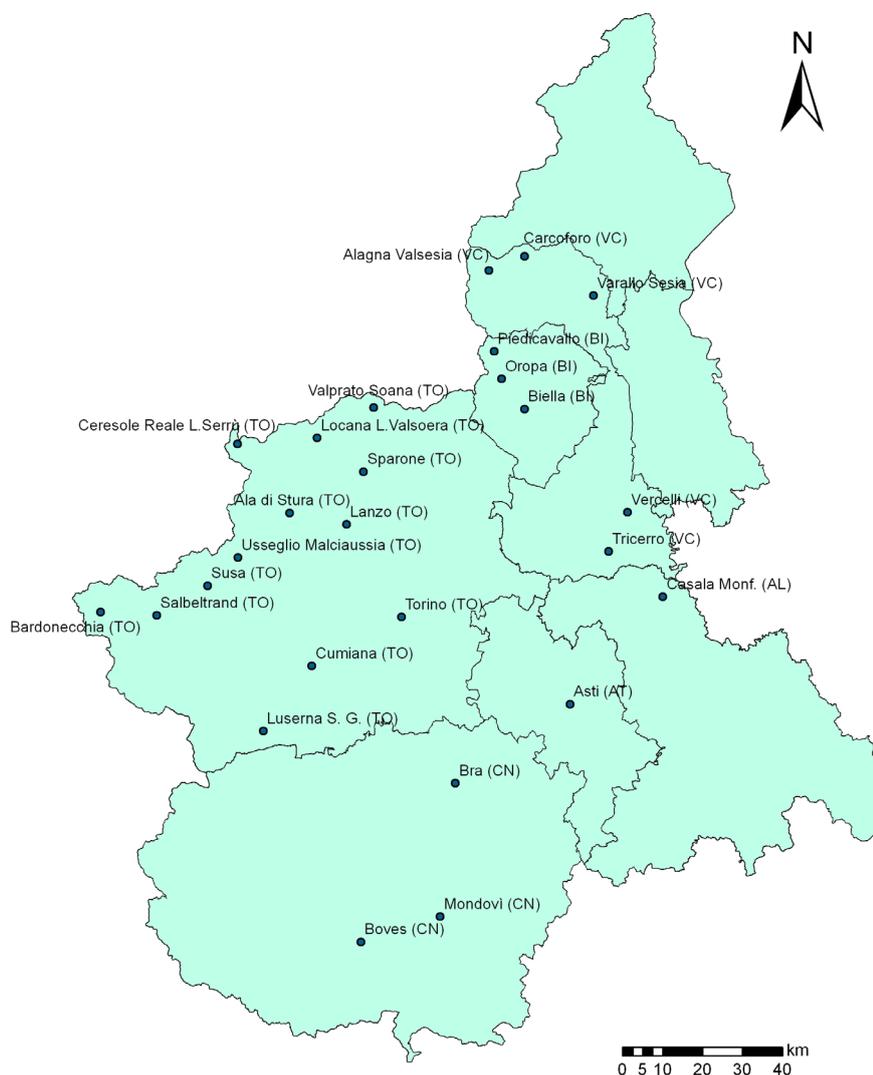


Fig. 1. Località in cui è stato svolto il confronto dei dati di precipitazione tra le stazioni meteorologiche SIMN e quelle ARPA.

## 2.2. Confronto tra gli strumenti delle due reti meteorologiche

Prima di affrontare lo studio sul confronto tra i dati, l'attenzione è stata rivolta alla caratterizzazione degli strumenti utilizzati dalle due reti, mettendo in evidenza le differenze di strumentazione, di metodi di registrazione ed acquisizione del dato.

Le stazioni SIMN sono di tipo meccanico e richiedono la presenza di un rilevatore per la raccolta dei dati. In una sola stazione (Piedicavallo) è presente un pluviometro standard (misurazione manuale giornaliera), mentre nelle restanti centraline sono installati pluviografi registratori: la registrazione avviene su diagrammi cartacei, ritirati a cadenza settimanale e letti per la trascrizione manuale dei valori che richiedono una manutenzione settimanale per il cambio della carta diagrammale.

Nel caso delle misure dell'ARPA Piemonte, il principio di funzionamento del pluviometro è il medesimo di quello delle stazioni SIMN (vaschette basculanti). L'acquisizione delle misure avviene in teletrasmissione da stazioni automatiche.

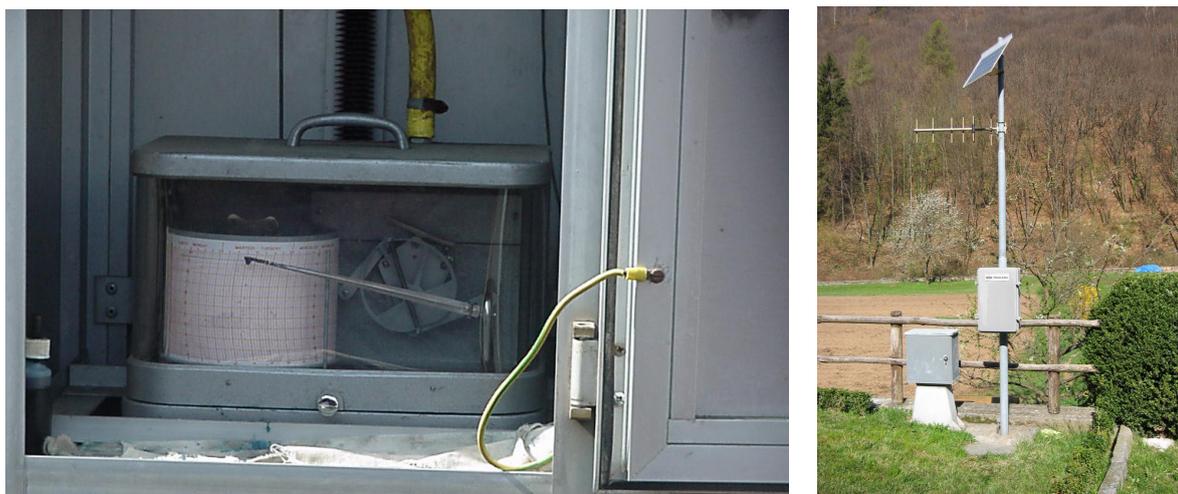


Fig. 2. A sinistra foto del pluviografo utilizzato dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, SIMN; a destra foto del pluviometro utilizzato dall'ARPA Piemonte nella stazione di Varallo Sesia.

I dati acquisiti dalle due reti di rilevamento possono essere affetti da errori di tipo diverso a causa delle differenze strumentali. Quelli della rete manuale possono contenere errori di acquisizione, legati alla strumentazione, errori nella fase di trascrizione manuale dei dati e nel successivo passaggio degli stessi dal formato cartaceo a quello digitale.

I dati di ARPA, invece, possono contenere errori di acquisizione, generalmente individuati tramite un controllo automatico che attribuisce un “flag di validazione” a ciascun valore.

Stazioni meteorologiche di Vercelli(VC)	Stazione del SIMN	Stazione dell'ARPA Piemonte
Nome e codice stazione	Vercelli – Staz. risicoltura	Vercelli (cod. 198)
Comune	Vercelli (VC)	Vercelli (VC)
Località	Staz. risicoltura	Casello Ruggerina
Bacino	Sesia	Sesia
Quota (m s.l.m.)	135	132
Latitudine Nord (gradi)	45° 19' 50"	45° 19' 32"
Longitudine Est (gradi)	8° 21' 40"	8° 23' 26"
Coordinata UTM X (m)	319738	452237
Coordinata UTM Y (m)	4994608	5019386
Misura precipitazioni(inizio funzionamento - tipo sensore)	1927 - pluviografo	17/06/1993 - pluviografo
Misura precipitazioni (fine funzionamento)	2003	Attiva
Misura temperature (inizio funzionamento - tipo sensore)	1927 - termografo	17/06/1993 - termografo
Misura temperature (fine funzionamento)	2003	Attiva
Distanza tra le due stazioni (m)	1360	
Differenza di quota tra le due stazioni (m)	3	
Periodo di sovrapposizione Precipitazione	1994 – 2003	
Periodo di sovrapposizione Temperatura	1994 - 2003	

Tab. 2. Caratteristiche e ubicazione delle due stazioni meteorologiche installate a Vercelli

Al fine di individuare eventuali anomalie nella registrazione della variabile durante gli anni di funzionamento e reperire informazioni dettagliate sulle centraline è stata effettuata un'accurata ricerca storica sulle stazioni meteorologiche appartenenti ai due Enti.

Successivamente per ogni località selezionata è stata creata una scheda tecnica con ubicazione delle stazioni meteorologiche, bacino di appartenenza, quota, differenza di quota, distanza tra le stazioni, periodi di funzionamento ed anni di sovrapposizione delle misure. Inoltre la posizione delle stazioni meteorologiche di ciascun sito è visualizzabile anche su cartografie a diverso dettaglio, mentre la documentazione fotografica completa il quadro delle informazioni raccolte. A titolo d'esempio sono riportate le schede tecniche delle stazioni di Vercelli (Tab. 2, Fig.3 e 4) e di Bra (Tab. 3, Fig.5 e 6).

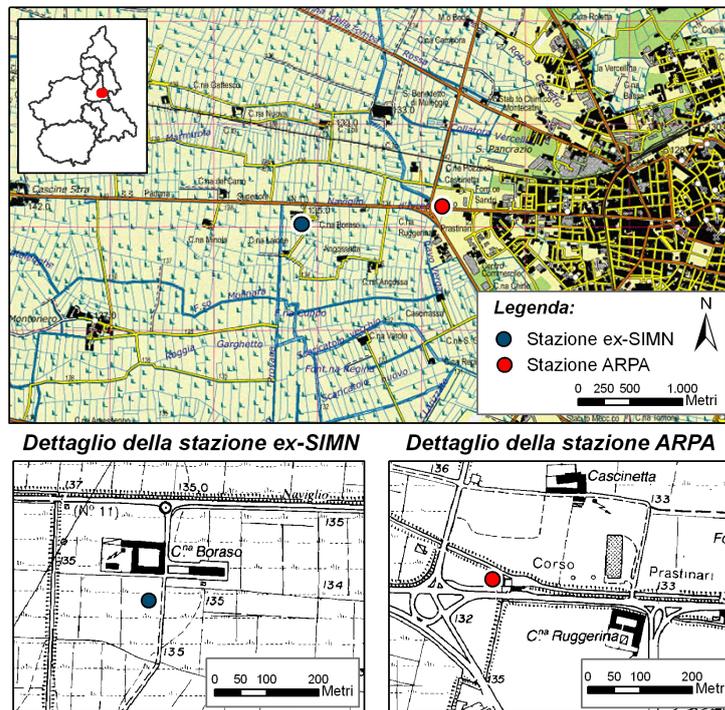


Fig. 3. Carta della localizzazione delle due stazioni meteorologiche di Vercelli.



Fig. 4. A sinistra: stazione meteorologica SIMN di Vercelli; a destra: stazione meteorologica ARPA Piemonte di Vercelli.

Stazioni meteorologiche di Bra (CN)	Stazione del SIMN	Stazione dell'ARPA Piemonte
Nome e codice stazione	Bra	Bra (cod: 317)
Comune	Bra (CN)	Bra (CN)
Località	Museo Craveri	Museo Craveri
Bacino	Tanaro	Tanaro
Quota (m s.l.m.)	290	285
Latitudine Nord (gradi)	44° 42'	44° 42' 08"
Longitudine Est (gradi)	4° 36' W M.M.	07° 51' 09"
Coordinata UTM X	409097	409096
Coordinata UTM Y	4950593	4950597
Misura precipitazioni (inizio funzionamento - tipo sensore)	1933 - pluviografo	05/05/1993 -pluviometro
Misura precipitazioni (fine funzionamento)	2003	Attiva
Misura temperature (inizio funzionamento - tipo sensore)	1862 - termometro	05/05/1993 - termometro
Misura temperature (fine funzionamento)	2003	Attiva
Distanza tra le due stazioni (m)	20	
Differenza di quota tra le due stazioni (m)	5	
Periodo di sovrapposizione Precipitazione	1993 - 2003	
Periodo di sovrapposizione Temperatura	1993 - 2003	

Tab. 3. Caratteristiche e ubicazione delle due stazioni meteorologiche installate a Bra.

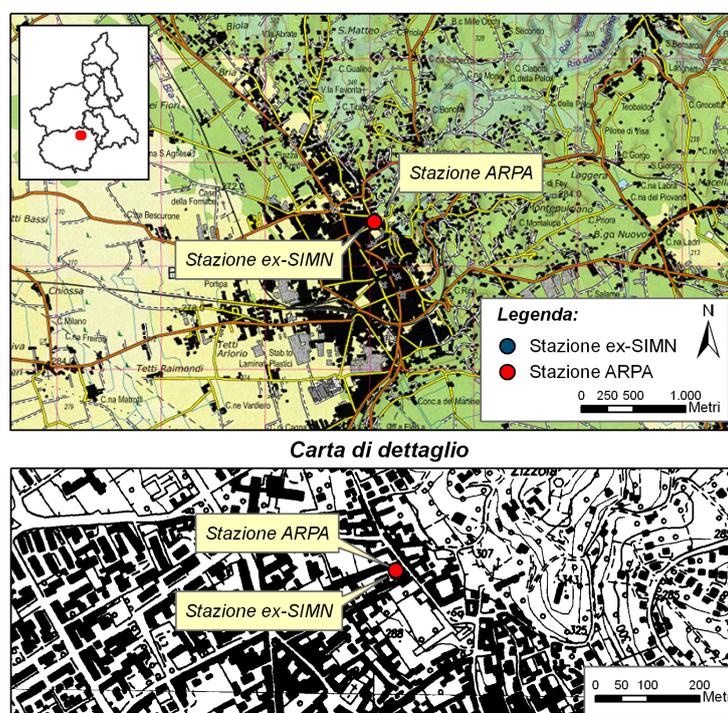


Fig. 5. Carta della localizzazione delle due stazioni meteorologiche di Bra (CN).



Fig. 6. A sinistra: stazione meteorologica SIMN di Bra; a destra: stazione meteorologica ARPA Piemonte di Bra.

### 2.3. Metodi di analisi e di confronto dei dati pluviometrici

In accordo con la letteratura scientifica nazionale (Biancotti, 1990) ed internazionale (Wijngard, 2003), il confronto tra le serie di dati di precipitazione è stato svolto sui totali mensili, per ovviare al fatto che il valore di precipitazione giornaliera è spesso nullo, essendo la pioggia una grandezza discontinua.

Nel calcolo dei totali mensili sono stati presi in considerazione soltanto i mesi con la registrazione di almeno l'80% dei dati giornalieri (Klein Tank, 2002; Gokturk et al., 2008). I valori ottenuti per le due serie sono stati confrontati tra di loro, calcolandone il rapporto:

$$R = \frac{P_{mensile}[SIMN]}{P_{mensile}[ARPA]}$$

Dalla serie dei rapporti sono stati esclusi i valori estremi, eliminando le code della distribuzione che risultano inferiori al 2° percentile e superiori al 98° percentile. La definizione di percentile permette di stabilire la percentuale di valori al di sotto di una certa soglia e anche la percentuale tra le due soglie. I valori compresi tra il 2° e il 98° percentile corrispondono al 96% dei valori scartando in questo modo solo il 4% dei dati corrispondenti ai valori estremi posizionati nell'estremità delle code della distribuzione (Wilks, 2006).

Alle serie ottenute sono stati applicati i test statistici di Student e di Kolmogorov-Smirnov che, richiedendo la presenza di un minimo di trentasei valori nella serie, hanno ridotto a venti il numero dei casi studiati. Si sono quindi calcolati i coefficienti di correlazione delle serie mensili.

I dati di precipitazione sono stati analizzati anche a livello stagionale e annuale e confrontati con la stessa metodologia impiegata per le serie mensili.

In tutte le località i coefficienti di correlazione (**Tab. 4**) assumono valori superiori a 0,90, tranne nella località di Valprato Soana (0,86). Tali coefficienti indicano che generalmente gli strumenti registrano gli stessi andamenti durante i diversi eventi piovosi.

Nella maggior parte delle località è lo strumento del SIMN a misurare una quantità di pioggia più elevata; soltanto in tre località (Asti, Lanzo e Torino) si verifica la situazione opposta.

In undici delle ventuno località il rapporto medio tra le precipitazioni dei due strumenti risulta compreso tra 0,9 e 1,1 (**Tab. 4**), indicando una buona continuità tra le due serie di dati; anche l'appli-

cazione del test di Kolmogorov-Smirnov (K-S test) ha fornito una buona relazione tra la distribuzioni delle due serie.

Nelle restanti dieci località confrontate, invece, i test statistici hanno fornito esiti negativi (**Tab. 4**).

In generale il confronto dei dati a livello annuale e stagionale ha permesso di individuare periodi di tempo in cui le misure dei due strumenti si differenziavano maggiormente; in alcuni casi, tramite l'analisi dei dati di precipitazione registrati in stazioni limitrofe, è stato possibile ipotizzare casi di mal funzionamento di uno dei due strumenti.

Località	[SIMN/ARPA] [mm]	K-S test	Coeff. Corr.
Ala di Stura (TO)	1,14	0,93	0,94
Bardonecchia (TO) •	1,04	0,99	0,95
Boves (CN)	1,27	0,07	0,91
Bra (CN)	1,28	0,45	0,95
Carcoforo (VC)	1,21	0,44	0,97
Casale Monf. (AL)	1,31	0,35	0,95
Ceresole Reale (TO) •	1,03	1	0,93
Cumiana (TO) •	1,06	0,86	0,92
Lanzo T.se (TO)	0,80	0,7	0,95
Locana – L. Valsoera (TO)	1,37	0,12	0,91
Luserna S.G. (TO) •	1,02	0,78	0,93
Mondovì (CN)	1,15	0,48	0,94
Oropa (BI)	1,22	0,62	0,99
Piedicavallo (VC) •	1,02	1	0,98
Salbertrand (TO) •	1,06	0,69	0,92
Susa (TO) •	1,03	0,99	0,97
Torino (TO) •	0,96	0,85	0,98
Valprato Soana (TO) •	1,05	0,84	0,86
Varallo Sesia (VC) •	1,09	0,96	0,95
Vercelli (VC) •	1,06	0,97	0,95

Tab. 4. Risultati ottenuti dal confronto tra le serie delle precipitazioni mensili. Le località nelle quali si è ottenuto un buon andamento tra le precipitazioni (differenza minore del 10% e K-S test maggiore di 0,50) sono state evidenziate con un pallino (•).

Il confronto tra le serie ha consentito di individuare undici località in cui si è riscontrata una differenza tra i dati non significativa dal punto di vista statistico. Il rapporto medio tra le precipitazioni dei due strumenti risulta essere compreso tra 0,90 e 1,10, indicando che tra i totali di precipitazione mensile esiste una differenza inferiore al 10%.

L'applicazione del test statistico di Kolmogorov-Smirnov conferma che per queste undici località le due serie di dati possono essere considerate omogenee, derivanti dalla stessa popolazione. A titolo di esempio, si riportano i grafici che illustrano e confrontano tra loro le due diverse situazioni ottenute: il caso in cui il confronto tra i dati non ha fornito buoni risultati, come a Locana – L. Valsoera (**Fig. 7**) e a Boves (**Fig. 8**), e il caso di località, Bardonecchia (**Fig. 9**), la cui differenza tra le due serie è minore del 10%. Nelle località di Locana – L. Valsoera e Boves si calcola una differenza media annua superiore al 30% (**Fig. 7 e 8**), mentre a Bardonecchia il rapporto medio annuo è di 1,0 ed anche i

singoli rapporti annuali sono prossimi a 1, ad eccezione dell'anno 1991. Studiando in dettaglio i valori giornalieri registrati dalle due stazioni meteorologiche nell'anno 1991 si osserva come lo strumento ARPA nella stagione estiva non abbia registrato alcun evento precipitativo. Si è cercato di indagare sulla causa, prendendo in considerazione i dati giornalieri di pioggia e confrontandoli con quelli delle stazioni limitrofe. Per Bardonecchia sono stati quindi utilizzati i dati della stazione di Salbertrand e si è constatato il malfunzionamento dello strumento ARPA (Fig. 10).

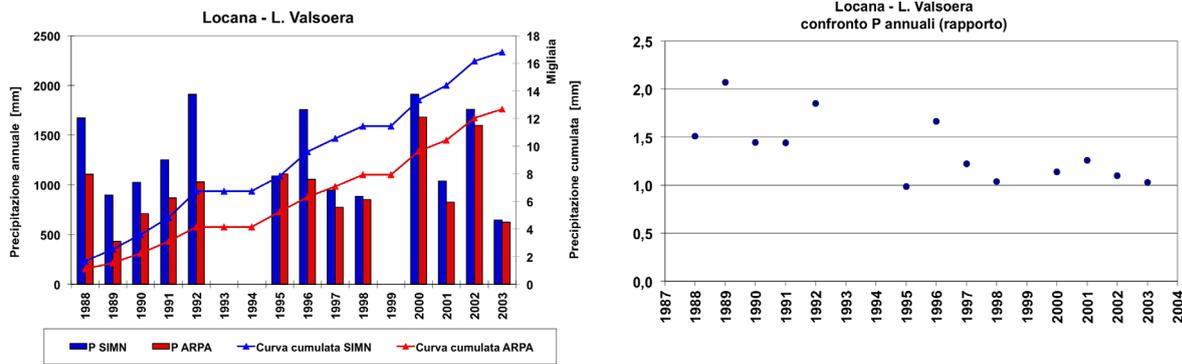


Fig. 7. A sinistra: precipitazioni annuali e cumulate di Locana – L. Valsoera; a destra: rapporto tra i valori di precipitazione annuale di Locana – L. Valsoera.

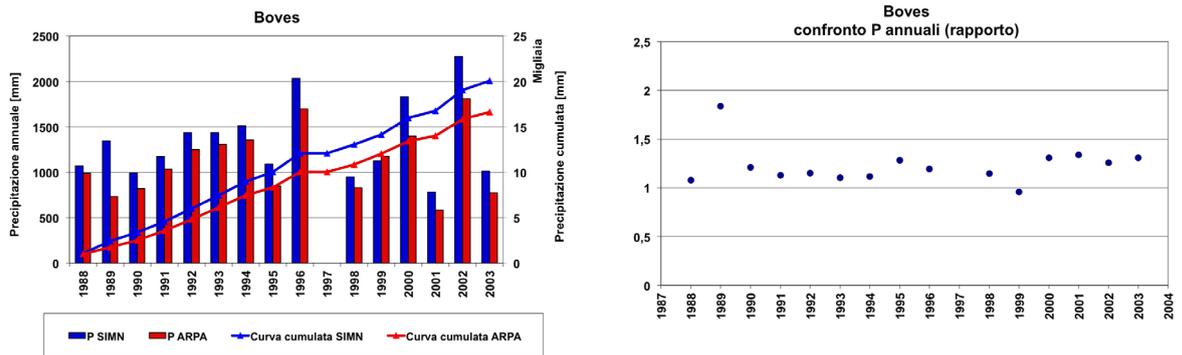


Fig. 8. A sinistra: precipitazioni annuali e cumulate di Boves; a destra: rapporto tra i valori di precipitazione annuale di Boves.

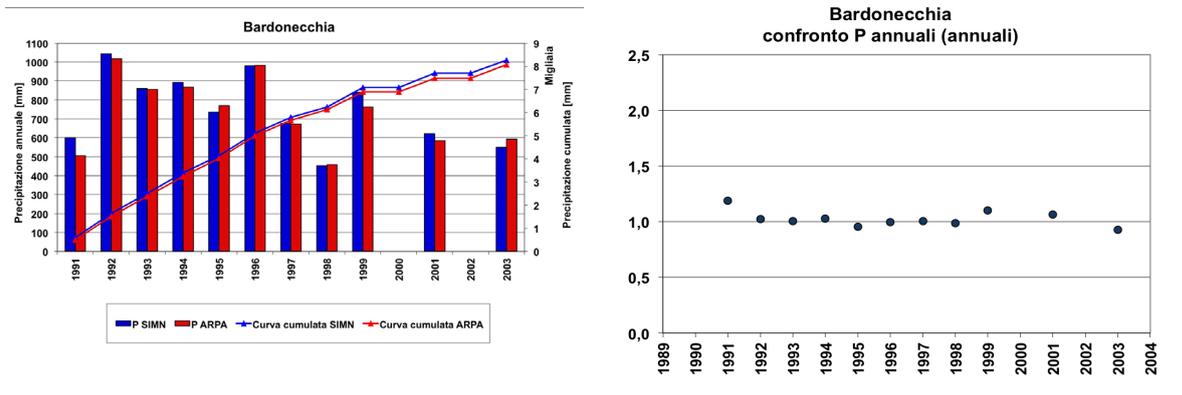


Fig. 9. A sinistra: precipitazioni annuali e cumulate di Bardonecchia; a destra: rapporto tra i valori di precipitazione annuale di Bardonecchia.

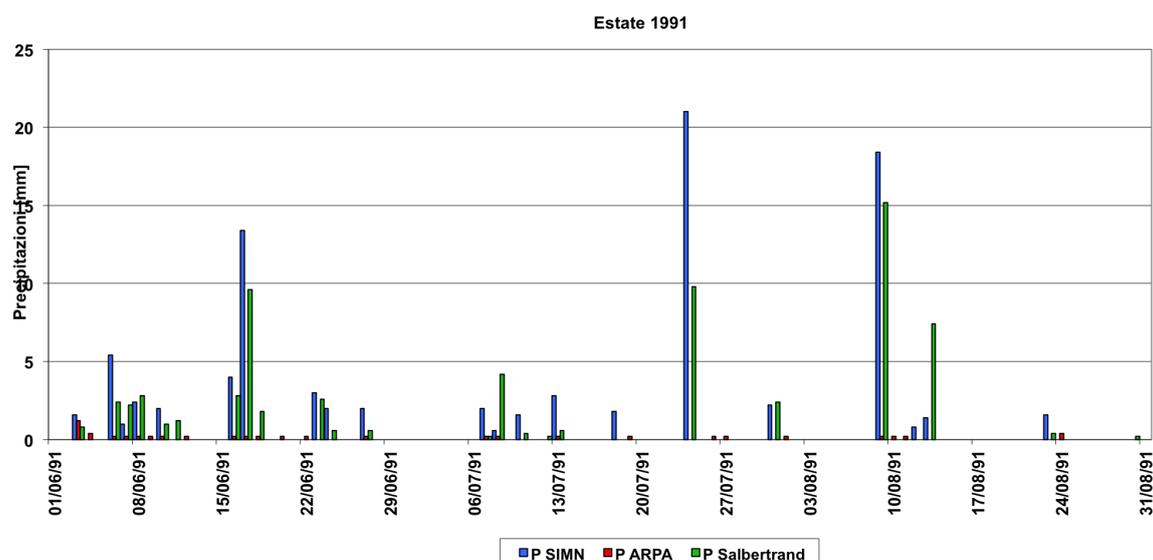


Fig. 10. Confronto tra i dati giornalieri di pioggia della località di Bardonecchia e quelli della vicina stazione di Salbertrand.

Per le undici località, nelle quali il confronto tra le due serie di dati di precipitazione ha mostrato differenze inferiori al 10%, è stata valutata la possibilità di costruire una serie unica di dati. Osservando i risultati ottenuti dal confronto e valutando la presenza di lacune all'interno di ogni singola serie, per ciascuna delle undici località è stato individuato un possibile anno di collegamento tra la serie del SIMN e la serie ARPA, che permetta la fruibilità di serie più lunghe e complete, senza modificare il reale andamento delle precipitazioni nel corso degli anni (Tab. 5). A titolo di esempio, si illustra graficamente un caso di collegamento delle serie di dati di precipitazione, riferito alla località di Susa e Piedicavallo (Fig. 11, 12).

Località	Anno
Bardonecchia (TO)	2002
Ceresole Reale (TO)	1999
Cumiana (TO)	1993
Luserna S.G. (TO)	1988
Salbertrand (TO)	1995
Susa (TO)	1997
Torino (TO)	2004
Valprato Soana (TO)	1999
Piedicavallo (VC)	2003
Varallo Sesia (VC)	1998
Vercelli (VC)	2003

Tab. 5. Anno di possibile unione tra le serie appartenenti ai due Enti e situate nella stessa località.

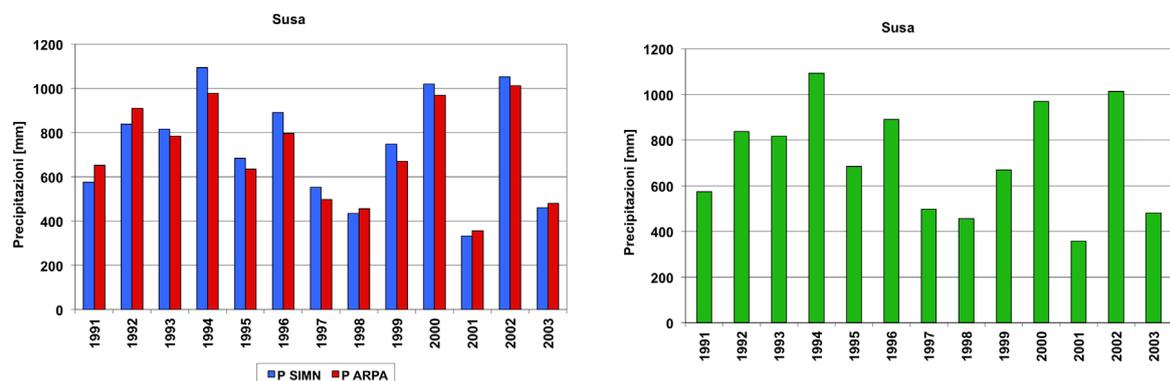


Fig. 11. A sinistra le due serie di precipitazioni annuali della località di Susa e a destra la serie che ne rappresenta il loro collegamento.

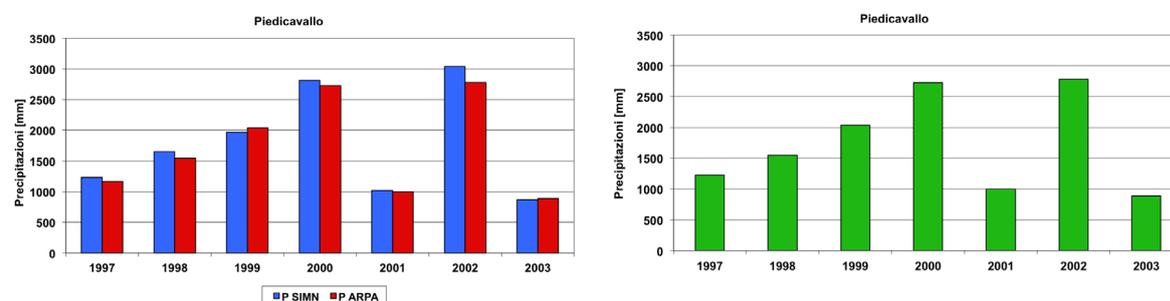


Fig. 12. Le due serie di precipitazioni annuali della località di Piedicavallo e la serie che ne rappresenta il loro collegamento.

## 2.4. Conclusioni

Il raccordo tra le misure derivate dalle stazioni della rete del SIMN, attive fino al 2003, e quelle della rete dell'ARPA Piemonte installate progressivamente a partire dal 1987, non è diretto e immediato. In alcune stazioni (undici su ventisei), il confronto svolto su diverse scale temporali evidenzia rilevazioni simili da parte degli strumenti delle due reti consentendo, a nostro parere, il collegamento delle due serie.

Il possibile punto di unione è stato accuratamente valutato analizzando, per il periodo di sovrapposizione, le lacune dei dati di entrambe le stazioni e selezionando la serie con le minori interruzioni. Grazie ai risultati ottenuti dal confronto, è stato possibile anche individuare dei casi di malfunzionamento delle stazioni. Il confronto effettuato tra le serie di dati mostra comportamenti molto differenti, dipendenti probabilmente da cause strumentali e/o da fattori ambientali, questi ultimi legati alle differenti ubicazioni delle nuove stazioni dell'ARPA rispetto a quelle del SIMN.

Questo lavoro mette in luce, inoltre, la difficoltà effettiva di paragonare le serie misurate nelle stazioni meteorologiche dei due differenti Enti e l'errore che si verrebbe a commettere se si collegassero semplicemente i dati, senza prima aver effettuato adeguati confronti dei dati negli anni di misure contemporanee. L'anno di unione delle serie diventa quindi un metadato importantissimo di evidente disomogeneità che deve essere conosciuto e corretto con l'applicazione delle più recenti tecniche di omogeneizzazione che permettono di evidenziare le variabilità di natura non climatica (Venema et al., 2012) che si ripercuoterebbero sull'analisi climatica e in particolar modo sull'individuazione dei trend.