



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA

Direzione generale agenzia regionale del distretto idrografico della Sardegna  
Servizio tutela e gestione delle risorse idriche, vigilanza sui servizi idrici e gestione della siccità

Ampliamento della banca dati pluviometrica della  
Direzione generale agenzia regionale del distretto  
idrografico della Sardegna

## Relazione

Redatto a cura di  
Ing. Giovanni Puligheddu  
Ing. Alberto Spano

Il Direttore del Servizio  
Dott.ssa Maria Gabriella Mulas

Cagliari Maggio 2011

Relnomi3.doc

## **1.1. premesse**

A seguito degli eventi alluvionali che hanno interessato il sud della Sardegna nell'autunno del 2008, la Regione Autonoma Sardegna ha stanziato specifici importi, meglio descritti nel capitolo seguente, con l'obiettivo di avviare specifiche attività di studio e ricerca finalizzate alla definizione di parametri idrologici utili alla definizione di opere per la messa in sicurezza del territorio.

Con Ordinanza n. 9 del 30.12.2008 il Commissario Delegato per l'Emergenza Alluvione in Sardegna del 22 ottobre 2008 ha approvato, quale 2° stralcio attuativo del Programma Commissariale di interventi, l'elenco degli studi che vengono dichiarati urgenti ed indifferibili, tra i quali è compreso, al punto 2, il seguente:

“Attività di ricerca studio e sviluppo di una metodologia:

- per la definizione di nuove stime del tempo di ritorno degli eventi pluviometrici secondo differenti metodologie oggi possibili;
- per la formulazione di un modello afflussi-deflussi per la stima dell'idrogramma di piena dell'evento attraverso modellistica idrologica distribuita e di un modello di propagazione del deflusso superficiale;
- individuazione delle aree allagabili , per diversi tempi di ritorno e analisi di sensitività della stima.

Applicazione specifica alle aree territoriali dei comuni interessati dall' evento del 22 ottobre 2008.”

Al fine di definire i succitati studi, si ritiene di dovere procedere all'aggiornamento delle attuali curve segnalatrici di possibilità pluviometrica;

L'appalto in argomento è finalizzato alla acquisizione dei dati necessari “per la definizione di nuove stime del tempo di ritorno degli eventi pluviometrici secondo differenti metodologie oggi possibili”.

## **1.2. Oggetto dell'appalto**

Il presente appalto ha per oggetto l'affidamento del servizio per l'ampliamento ed integrazione della banca dati pluviometrica esistente presso il settore idrografico, da utilizzare per le attività di studio e ricerca sopra esposte.

Le attività possono essere così riassunte:

- ordinata acquisizione, mediante scannerizzazione con mezzi propri, delle immagini digitali delle strisce pluviografiche settimanali messe a disposizione dal Settore Idrografico, e dei corrispondenti fogli mensili delle osservazioni pluviometriche;
- estrazione, in forma digitale, dei valori di pioggia cumulati indicati dal tracciato del pennino ottenuto dai file contenenti le immagini delle strisce pluviografiche acquisite nel corso delle attività di cui al punto precedente;
- costruzione delle serie storiche continue a passo temporale assegnato ;
- determinazione dei massimi annui delle altezze di precipitazione per le diverse durate (15, 30, 45 minuti, 1, 3, 6, 12, 24 ore e per più giorni consecutivi utili (1-2-3-4-5 giorni consecutivi).

- Controlli e verifiche sistematiche sui dati pluviometrici estratti nel corso delle attività di cui ai punti precedenti;

Le attività previste sono meglio descritte nella Parte 2 del Capitolato d'oneri, dal titolo "Servizi previsti ed elementi progettuali";

Il servizio in appalto è da conseguirsi sulla base delle specifiche tecniche e funzionali, dei livelli di qualità e degli elementi del contesto operativo di riferimento riportati nella Parte 2 del Capitolato che sono da intendersi come insieme di requisiti minimi a cui l'offerente dovrà attenersi nello svolgimento del servizio.

Il complesso delle prestazioni e degli interventi relativi al servizio in appalto, si intende integrato dalle proposte presentate dall'Appaltatore nell'offerta tecnica ed accettate dalla Stazione appaltante.

Tutte le prestazioni oggetto d'appalto devono essere eseguite a perfetta regola d'arte, con modalità e mezzi adeguati e nella piena ed incondizionata osservanza di tutti i patti e le condizioni espresse nel Capitolato, in sede di offerta e nel contratto d'appalto, nonché secondo le disposizioni che verranno impartite dal Direttore dell'esecuzione del contratto e/o dai suoi collaboratori.

Qualora, ai fini dell'esecuzione delle prestazioni oggetto di questo appalto, l'Appaltatore debba realizzare attività, opere e/o forniture in aggiunta a quelle previste dall'offerta, i relativi oneri saranno tutti a suo carico.

### 1.3. Quadro economico

Si riporta di seguito il quadro economico complessivo previsto:

QUADRO ECONOMICO	importo
a) Importo a base d' asta	€ 500.000,00
b) somme a disposizione dell' Amministrazione	
B1) IVA ( 20% di a)	€ 100.000,00
B2) contributo per autorità Vigilanza	€ 375,00
Totale b)	€ 100.375,00
<b>Importo complessivo</b>	<b>€ 600.375,00</b>

I fondi necessari per le attività sopra indicate, sono disponibili nei seguenti capitoli del bilancio Regionale:

Capitolo	UPB	C.D.R.	Importo (€)
SC04.0344/R2010	S04.03.003	00.01.05.02	121.853,13
SC04.0345/R2008	S04.03.003	00.01.05.02	478.146,87
SC04.03.0930/b2011	S04.03.011	00.01.05.02	375,00
<b>TOTALE</b>			<b>600.375,00</b>

#### **1.4. Elenco delle Stazioni disponibili**

Si prevede di scannerizzare e digitalizzare i pluviogrammi relativi alle seguenti stazioni.

1. N°43 stazioni già utilizzate per il progetto VA PI
2. N°18 stazioni con pluviogrammi disponibili dal 1971 al 2008
3. N°42 stazioni con circa 20 anni di pluviogrammi disponibili dal 1988 al 2008

Si riporta nella Tabella 1) l'elenco delle 46 stazioni utilizzate nel progetto VAPI.

Per le stazioni di Bunnari, Planusanguini, Taccu zippiri e Campeda, non risulta possibile proseguire nella lettura, poiché non hanno funzionato regolarmente negli anni successivi al 1980.

Va esclusa anche la stazione di Cala Gonone perché dotata di solo pluviometro.

Nella Tabella 2) viene riportata la disponibilità dei pluviogrammi negli anni dal 1980 al 2008 delle stazioni utilizzate per il progetto VAPI.

Viene riportato per tale periodo anche il n° di anni /stazione presumibilmente regolari, per un totale di **1.060 anni/stazione**.

Si sono poi prese in considerazione tutte le stazioni non esaminate con il progetto VAPI e determinato un elenco di 60 stazioni che si ritiene possano essere prioritarie per la determinazione delle precipitazioni di massima intensità, salvo più accurata determinazione in sede di svolgimento dell'appalto.

Nella Tabella 3 si riporta a partire dal 1922 il n° di stazioni per anno con disponibilità di pluviografo.

Nella Tabella 4) si riporta l'elenco delle 60 stazioni su cui svolgere, con priorità, le attività oggetto dell'appalto per un totale di circa **1.480 anni /stazione**.

L'elenco completo delle stazioni operanti dal 1971 al 2008 con indicazione della presenza o meno di pluviografo, è disponibile negli uffici del settore idrografico.

## **1.5. Le metodologie per la stima degli eventi intensi in Sardegna**

Stimare le massime portate di piena di un corso d'acqua è un'operazione necessaria sia per il corretto dimensionamento progettuale delle opere di attraversamento e di salvaguardia dell'alveo fluviale sia per valutare il rischio alluvionale nelle aree comprese nel bacino imbrifero. Perché questa stima sia il più precisa possibile è necessario conoscere innanzitutto, tramite valutazioni probabilistiche, quali siano le intensità di precipitazione - intese come altezza di pioggia in mm- che possono verificarsi in una determinata area, per diversi intervalli di tempo - e la relativa periodicità ("tempo di ritorno" dell'evento).

Il regime degli eventi intensi in Sardegna è da molti anni oggetto di studi da parte dell'Università di Cagliari (Cao et al., 1969; Puddu, 1974; Cao et al., 1991), basati sull'impiego di modelli probabilistici a due parametri i cui risultati, per quanto non insoddisfacenti, avevano tuttavia indicato la necessità di approfondire le indagini, anche adottando differenti approcci statistici.

Perciò, sulla base di quanto proposto dal progetto VAPI del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI), che aveva l'obiettivo di definire metodologie omogenee per la valutazione delle piene in tutto il territorio nazionale, si è arrivati ad applicare alla Sardegna una procedura gerarchica di regionalizzazione dell'informazione pluviometrica basata sul modello TCEV (Rossi et al., 1984).

I risultati di questi studi, ulteriormente aggiornati negli ultimi anni dal Dipartimento di Ingegneria del Territorio dell'Università di Cagliari (Deidda et al., 2000), hanno fornito il metodo che risulta attualmente fra i più utilizzati dai progettisti e dalle amministrazioni pubbliche per la valutazione delle piogge intense nei diversi bacini imbriferi della Sardegna.

Questo metodo probabilistico - che suddivide il territorio regionale in tre sottozone omogenee - fornisce per ciascuna zona un insieme di curve, dette "curve di possibilità pluviometrica", che consentono di ottenere l'altezza di pioggia espressa in mm, assegnando la durata della precipitazione e il tempo di ritorno della stessa.

Per elaborare questo metodo sono state utilizzate, per la stima della piovosità giornaliera, le serie storiche delle altezze di pioggia massima annua rilevate in 200 stazioni pluviometriche del Servizio Idrografico ubicate nel territorio regionale con almeno 40 anni di osservazioni nel periodo 1922-1980. Inoltre, a scopo di verifica e per precisare la delimitazione delle sottozone omogenee, sono stati utilizzati i dati di ulteriori 111 stazioni con un numero di anni osservati compreso tra 15 e 39.

Per quanto riguarda l'analisi delle piogge brevi ed intense è stata utilizzata una base dati costituita dalle massime piogge annue di durata pari a 15, 30, 45 e 60 minuti e 3, 6, 12, e 24 ore, registrate nel periodo 1929-1982 in 46 stazioni pluviografiche con almeno 17 anni osservati.

## **1.6. Limiti dei modelli attuali**

Gli eventi alluvionali recentemente accaduti in Sardegna, in particolare quando le piogge intense si sono concentrate su bacini imbriferi di piccole dimensioni, hanno messo in discussione l'applicazione ai casi pratici del metodo di stima delle precipitazioni intense descritto nel capitolo precedente.

Per diversi eventi alluvionali e per più stazioni, per numerose durate esaminate, si ottengono per le precipitazioni rilevate dai pluviografi, con l' utilizzo del modello TCEV, tempi di ritorno talmente elevati da dover concludere che gli eventi in argomento non siano classificabili con il modello idrologico citato.

Sicuramente uno dei fattori che incidono nel modello probabilistico sopra descritto è la numerosità dei dati su cui si sono eseguite le elaborazioni statistiche, elaborazioni che sono alla base dei coefficienti utilizzati nelle curve di possibilità pluviometrica. In particolare è da rilevare che la base dati utilizzata per la stima delle piogge brevi ed intense è composta, come detto in precedenza, solo da 46 stazioni (peraltro non uniformemente distribuite su tutto il territorio regionale), alcune delle quali dispongono di appena 17 anni di osservazioni disponibili. Risulta pertanto necessario incrementare la base dati di precipitazioni intense e brevi utilizzabile per questi studi, leggendo ed interpretando i pluviogrammi disponibili relativi ad anni oggi disponibili, essendo la numerosità dei dati fattore fondamentale, oltre che una giusta interpretazione, perché le analisi statistiche consentano una migliore interpretazione probabilistica degli eventi pluviometrici accaduti e possano aiutare a prevedere correttamente gli eventi possibili nel futuro.

Le serie storiche oggi disponibili negli annali idrografici del settore idrografico sono relative sino all' anno 1988, ma già dall' anno 1982 le stazioni esaminate sono poco numerose, dal 1988 in poi gli eventi esaminati sono episodici e riferibili a episodi particolari.

Per finire, l' incremento della base dati risulta utile per verificare che la procedura di regionalizzazione e lo stesso modello probabilistico TCEV, pur validi su scale più ampie, siano adatti a prevedere correttamente le precipitazioni brevi ed intense che hanno causato la maggior parte degli eventi alluvionali registrati negli ultimi anni sull'isola.

Analizzando col metodo TCEV l'evento del 22 ottobre 2008, si osserva che le precipitazioni misurate per le stazioni di Capoterra e Capoterra-Poggio, per tutte le durate esaminate, si ottengono con tempi di ritorno talmente elevati (notevolmente superiori ai 10.000 anni) da dover concludere che gli eventi in argomento non siano classificabili con il modello citato. Tempi di ritorno superiori a mille anni si ottengono anche nell' area cagliaritana per le stazioni di Cagliari-Pirri e Sestu.

Alla luce di quanto detto in precedenza, occorre provvedere all' ampliamento della base dati, utilizzabile, al fine sia di poter provvedere ad una revisione delle curve di possibilità pluviometrica, sia per valutare l' opportunità di utilizzare diversi modelli probabilistici che garantiscano una migliore stima delle intensità delle piogge di breve durata e con elevati tempi di ritorno.

#### **1.7. alcune modalità di estrazione delle altezze di precipitazione dalle strisce pluviografiche settimanali.**

In letteratura sono riportate diverse procedure per l' estrazione digitale dei valori di pioggia cumulati rappresentati dal tracciato del pennino sul diagramma.

Per la conversione in digitale della linea tracciata dal pennino del pluviogramma sono generalmente utilizzate metodologie basate, per esempio, sull' analisi visiva di un operatore, sull' impiego di procedure di tipo CAD che necessitano l' intervento di un operatore oppure di tipo semi-automatico basate su software di riconoscimento dell' immagine.

In questo contesto ci si limiterà all'analisi delle ultime due tipologie.

Le tecniche fondate sull'impiego di procedure di tipo CAD possono essere basate sull'impiego di una tavoletta digitalizzatrice (digitizer) o in alternativa sull'utilizzo di un software che permette il tracciamento da parte di un operatore di una polilinea sul pluviogramma precedentemente scansionato digitalmente.

Il secondo metodo ha il vantaggio di consentire lo zoom (ingrandimento a video) delle parti del pluviogramma che non risultano sufficientemente definite o nitide.

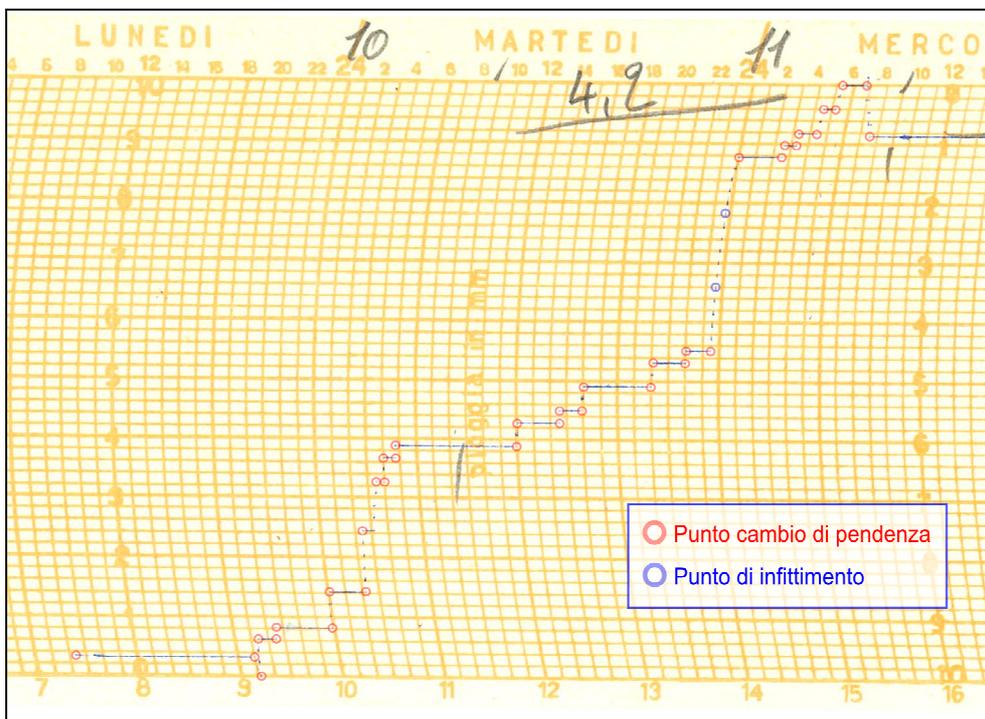


Figura 1 - Procedure di digitalizzazione di pluviogrammi mediante tecniche CAD; inserimento di punti nei cambi di pendenza e di infittimento nei tratti maggiormente significativi.

Nella Figura 1 sono rappresentati i punti individuati dall'operatore, utilizzando un applicativo CAD, in corrispondenza di cambi di pendenza evidenti e significativi del pluviogramma. In alcuni casi è opportuno infittire i punti inseriti in fase di digitalizzazione, come mostrato in Figura 1.

Nel seguito si evidenzierà come la determinazione delle piogge cumulate e gli istanti temporali associati sia affidata, tra due punti individuati consecutivi, a tecniche di interpolazione.

Le tecniche fondate invece sull'impiego di software di riconoscimento dell'immagine prevedono la preliminare scansione del pluviogramma e sono basate su algoritmi che analizzano l'immagine digitale al fine di individuare i pixel che appartengono al tracciato del pluviogramma sulla base del colore da essi assunti.

Le tecniche basate sul riconoscimento dell'immagine consentono un'automazione maggiore delle operazioni rispetto a quelle di tipo CAD, illustrate in precedenza, le quali richiedono l'intervento di un operatore in quasi tutte le fasi del processo di elaborazione, controllo, estrazione e archiviazione dell'informazione.

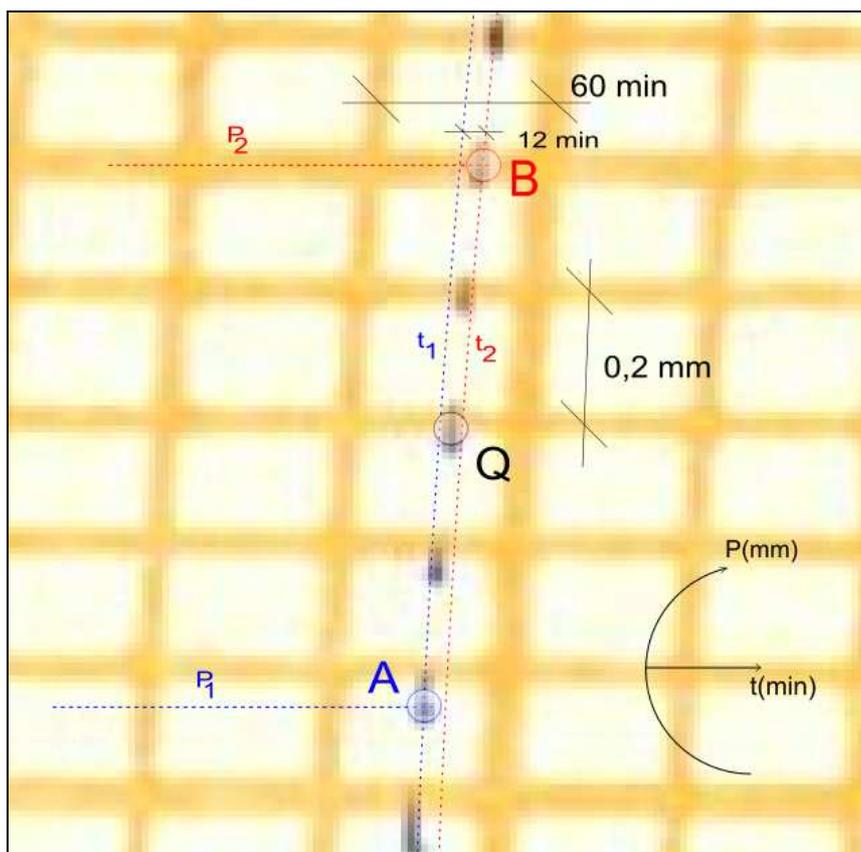


Figura 2 - Esempio di riconoscimento automatico dei pixel A e B con frequenza di campionamento  $Dt=12$  min; individuazione di un terzo punto Q con frequenza di campionamento  $Dt=6$  min.

L'individuazione dei pixel, e quindi delle coordinate  $t$  e  $P$  (rispettivamente istante e pioggia cumulata), che appartengono al pluviogramma permette, nel caso di tecniche basate sul riconoscimento dell'immagine, di estrarre le informazioni con risoluzioni temporali molto spinte (anche inferiori ai 5 minuti) e praticamente senza la necessità di operazioni di interpolazione.

In altre parole tali tecniche riconoscendo due generici pixel A e B (Figura 2) ne individuano implicitamente le loro coordinate  $(t_1, P_1)$  e  $(t_2, P_2)$  che rappresentano, come detto, rispettivamente, il tempo e la pioggia cumulata. Utilizzando un passo di campionamento di 6 minuti anziché di 12 minuti, come mostrato nella Figura 2, oltre ai punti A e B il software individuerebbe il terzo punto Q assicurando in questo modo un dettaglio più spinto nell'estrazione dei dati.

Nel caso invece di tecniche fondate sull'impiego di procedure di tipo CAD l'individuazione dei punti, e quindi delle loro coordinate  $(t, P)$  è affidato al puntatore (digitalizzatore o mouse) manovrato dall'operatore che inserisce un nuovo punto in corrispondenza dei cambi di pendenza o quando è necessario infittire i punti stessi (figura 1).

E' quindi evidente come in questi casi sia necessario che il software di estrazione dei valori includa anche la funzionalità dell'interpolazione (Figura 3) per ricavare i valori intermedi. Chiaramente per limitare l'errore derivante dall'interpolazione stessa è necessario infittire opportunamente i punti come mostrato in Figura 3.

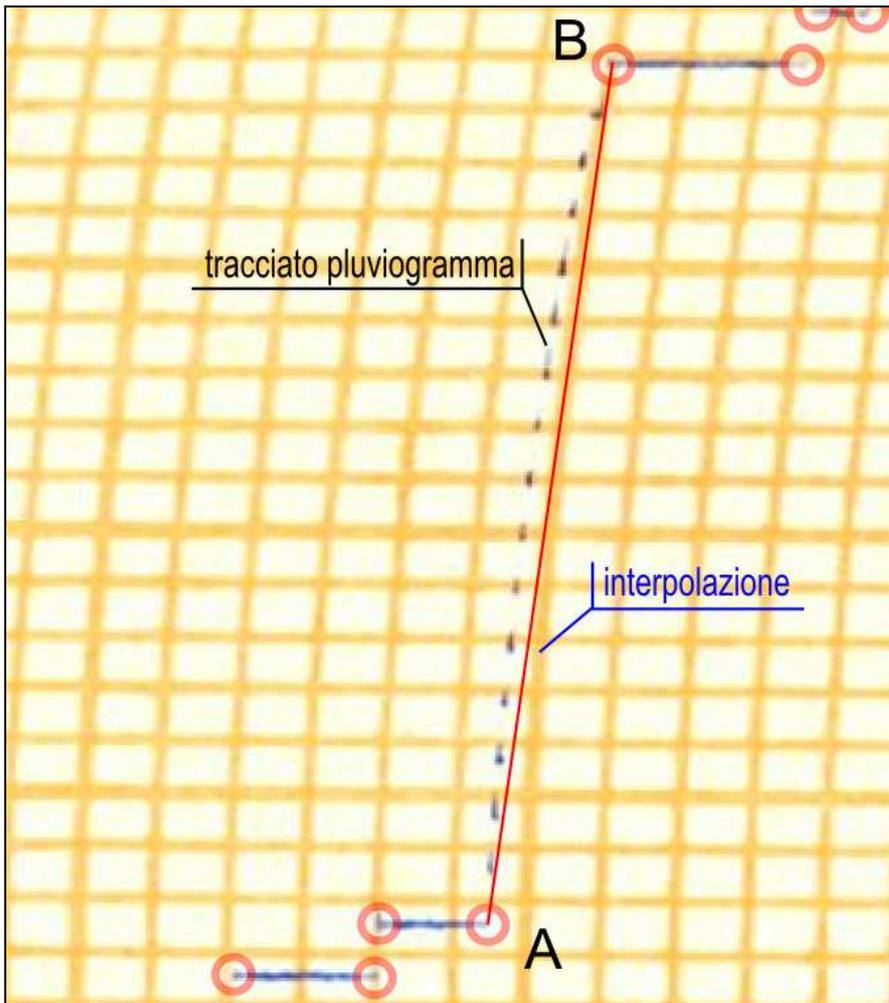


Figura 3 - Immissione di punti con tecniche CAD; i valori intermedi tra i punti A e B sono determinati per interpolazione

Nel caso di software basati su algoritmi di riconoscimento dell'immagine gli stessi restituiscono direttamente lo ietogramma di pioggia cumulata derivato dai tracciato del pennino sul pluviogramma con il prefissato passo temporale (5, 10, 15 minuti, ecc.).

Nel caso invece di tecniche basate sulla vettorializzazione con CAD è necessaria, come già evidenziato, un'ulteriore fase basata su tecniche di interpolazione per passare da una sequenza di punti localizzati nei cambi di pendenza o di infittimento del tracciato ad una sequenza di punti con passo temporale costante(5, 10, 15 minuti, ecc.).

Tabella 1) ELENCO STAZIONI UTILIZZATE PER VAPI

File: /mnt/dbpon/PON2009/dati\_origine/PLUVIOM/

082	ALLAI	, AL	, AL
166	ARZANA	, AR	, AR
185	BALLAO	, BA	, BA
097	BOSA	, BO	, BO
107	BUNNARI	, BN	, BU
308	CAGLIARI	, CA	, CA
294	CALA GONONE	, CL	, CG
030	CAMPANASSISSA	, CN	, CN
095	CAMPEDA	, CM	, CM
192	CAMPUOMU	, CP ✓	, CP
196	CORONGIU	, CO	, CO
073	DESULO	, DE	, DE
254	FERTILIA	, FE	, FE
039	FLUMINIMAGGIORE	, FM	, FL
066	FONNI	, FO	, FO
169	IERZU	, IE	, IE
018	IGLESIAS	, IG	, IG
023	IS CANNONERIS	, IC	, IC
167	LANUSEI	, LA	, LA
005	MANDAS	, MN ✓	, MA
125	MARTIS	, MA	, MR
120	MONTI	, MO	, MO
156	NUORO	, NU	, NU
181	NURRI	, NR	, NR
142	OLBIA	, OL	, OL
106	OSILO	, OS	, OS
117	OZIERI	, OZ	, OZ
033	PALMAS	, PA	, PA
177	PIRA DE OMNI	, PO	, PO
216	PISCINAMANNA	, PI ✓	, PI
208	PLANUSANGUNI	, PL	, PL
024	PULA	, PU	, PU
053	S.GIUSTA	, SG	, SG
204	SANLURI	, SL	, SA
088	SANTULUSSURGIU	, ST	, SL
081	SARCIDANO	, SR	, SR
108	SASSARI	, SS	, SS
089	SENEGHE	, SN	, SE
182	SEUI	, SU	, SU
176	SICCA D'ERBA	, SD ✓	, SI
076	SORGONO	, SO	, SO
227	SOS CANALES	, SC	, SC
302	TACCU ZIPPURI	, TZ	, TZ
161	TALANA	, TA	, TA
132	TEMPIO	, TE	, TE
093	VILLANOVA MONTELEONE	, VM ✓	, VM

Tabella 2)

Tabella 2): disponibilità post 1980 delle stazioni utilizzate per il progetto VAPI								
	cod zeus	Stazione nome breve	N°anni	con dati mancanti	regolari	dopo 80	dopo 80 con mancanti	regolari dopo 80
1	1060	Allai	72	5	67	26	4	22
2	2240	Arzana	78	6	72	28	2	26
3	2370	Ballao	77	11	66	27	7	20
4	1260	Bosa	70	5	65	26	1	25
5	2690	Cagliari	84	0	84	28	0	28
6	2160	Cala Gonone	54	0	54	28	0	28
7	55	Campanasissa	85	18	67	26	9	17
8	1215	Campeda	65	10	55	6	0	6
9	2570	Campuomu	78	1	77	27	1	26
10	2640	Corongiu	80	0	80	28	0	28
11	950	Desulo	87	0	87	28	0	28
12	1320	Fertilia	76	6	70	25	0	25
13	510	Fluminimaggiore	69	2	67	24	0	24
14	910	Fonni	80	4	76	28	4	24
15	2280	Ierzu	77	6	71	28	2	26
16	20	Iglesias	87	10	77	28	2	26
17	290	Is Cannoneris	77	1	76	28	0	28
18	2250	Lanusei	78	2	76	28	1	27
19	150	Mandas	87	1	86	28	0	28
20	1660	Martis	79	5	74	28	5	23
21	1510	Monti	79	8	71	28	2	26
22	2120	Nuoro	84	7	77	26	0	26
23	2390	Nurri	79	1	78	28	0	28
24	1890	Olbia	84	3	81	27	1	26
25	1440	Osilo	80	2	78	28	0	28
26	1560	Ozieri	76	1	75	25	1	24
27	2510	Pira de Onni	57	4	53	10	0	10
28	300	Piscinamanna	52	0	52	28	0	28
29	310	Pula	79	2	77	28	0	28
30	440	S. G. Suergiu	77	2	75	26	0	26
31	2520	Sicca d'erba	72	15	57	27	9	18
32	650	Santa Giusta	86	0	86	28	0	28
33	90	Sanluri o.n.c.	86	18	68	27	9	18
34	130	Sarcidano	78	1	77	26	0	26
35	1410	Sassari	86	4	82	27	4	23
36	1150	Seneghe	79	2	77	28	0	28
37	2440	Seui	78	2	76	28	0	28
38	1140	Slussurgiu	75	12	63	26	3	23
39	1010	Sorgono	80	0	80	28	0	28
40	840	Sos Canales	46	2	44	26	1	25
41	2200	Talana	79	5	74	28	3	25
42	1770	Tempio	79	4	75	28	1	27
43	1200	Villanova Mleone	80	0	80	28	0	28
							tot	1060

**Tabella 3)**

**N° di stazioni per anno con pluviografo**

1940	47	1960	54	1980	66	2000	<b>174</b>
1941	46	1961	60	1981		2001	<b>174</b>
1942	45	1962	61	1982	<b>57</b>	2002	<b>177</b>
1943	42	1963	59	1983		2003	<b>175</b>
1944	40	1964	60	1984	<b>60</b>	2004	<b>175</b>
1945	40	1965	60	1985	<b>68</b>	2005	<b>171</b>
1946	28	1966	63	1986	<b>44</b>	2006	<b>160</b>
1947	31	1967	63	1987	<b>38</b>	2007	<b>145</b>
1948	34	1968	65	1988	<b>105</b>		
1949	35	1969	66	1989	<b>181</b>		
1950	37	1970	73	1990	<b>178</b>		
1951	47	1971	73	1991	<b>179</b>		
1952	47	1972	72	1992	<b>177</b>		
1953	47	1973	80	1993	<b>181</b>		
1954	51	1974	80	1994	<b>181</b>		
1955	53	1975	77	1995	<b>171</b>		
1956	54	1976	77	1996	<b>168</b>		
1957	55	1977	75	1997	<b>170</b>		
1958	54	1978	66	1998	<b>176</b>		
1959	54	1979	64	1999	<b>168</b>		

