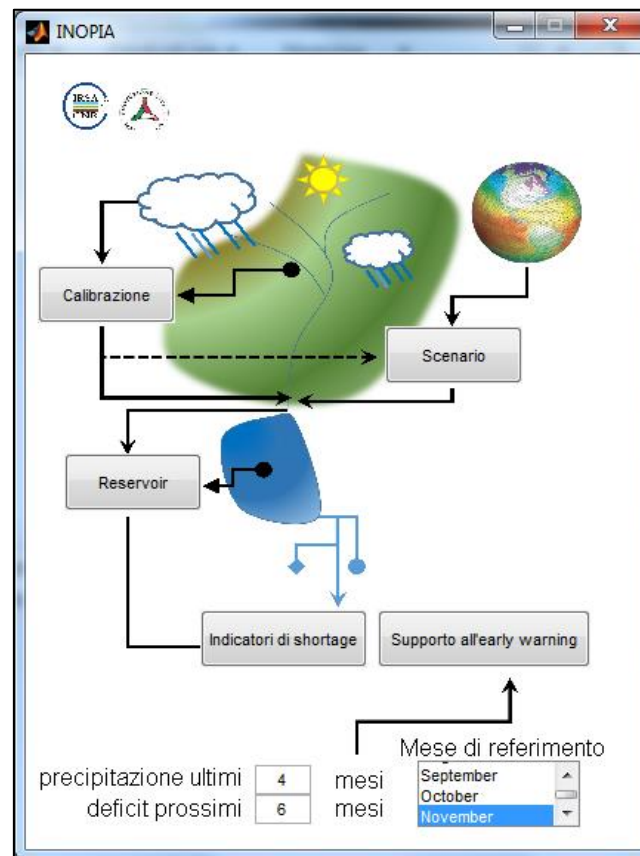




INOPIA

Strumento operativo per l'individuazione di indicatori precoci di carenza idrica



USER MANUAL

“Caesar, oppidi natura perspecta, aquae inopia ab oppugnatione eius deterritus, ad aquam facit castra atque inde redit rursus ad castra ad Aggar habuerat.”

(Caesar, De Bello Africo)

1. Introduzione

INOPIA è un insieme di cinque algoritmi raggruppati in un'unica interfaccia grafica di semplice utilizzo che permette una valutazione immediata del rischio di *shortage* di un sistema d'approvvigionamento idrico.

Grazie a una concezione modulare INOPIA permette, oltre al monitoraggio dell'andamento storico del sistema, di elaborare scenari di diversi tipi (afflussi, regole di gestione, capacità di invaso e domanda) e prevede un supporto alla decisione con una capacità di visione “stagionale”.

INOPIA è stato sviluppato in ambiente Matlab © e diffuso come compilato stand alone per OS windows nell'ambito dell'intesa operativa IRSA-CNR Dipartimento della Protezione Civile (2007). I diversi moduli scambiano informazioni attraverso fogli elettronici Microsoft Excel ©.

I cinque moduli raggruppati in INOPIA prevedono:

1. la **calibrazione** di un modello semplificato che simula l'afflusso mensile ad un invaso superficiale sulla base dei dati storici di precipitazione (una o più stazioni distribuite nel bacino idrografico) aggregati a diverse scale.
2. la capacità di generare **scenari** di afflusso all'invaso mediante il modello precedentemente calibrato, con dati di precipitazione tipicamente ottenuti da un modello globale/regionale di circolazione o da previsioni meteo di medio periodo.
3. la capacità di ricostruire i volumi storici e/o futuri di un invaso (**reservoir**) utilizzando i risultati della **calibrazione** e/o **scenario** sulla base delle caratteristiche geometriche dell'invaso (volumi massimi/morti) e della domanda connessa (con eventuale rilascio del deflusso minimo vitale a valle). Il modulo permette anche, a secondo delle informazioni disponibili, di ricostruire l'andamento dei livelli associati e di utilizzare una domanda non stazionaria.

4. la stima del rischio di shortage del sistema idrico (intesa come incapacità di soddisfacimento della domanda) in termini di frequenza, durata e intensità dei deficit attraverso *indicatori di shortage*, utilizzando il risultato di una ricostruzione (*reservoir*).
5. un *supporto all'early warning* mediante la visualizzazione grafica della relazione tra gli eventi di *shortage* ricostruiti e gli indici standardizzati di precipitazione associati. Fornisce una capacità di *forecast* pertinente quando basato su dati storici di precipitazione e afflusso di lunga durata (tipicamente diversi decenni).

Nel seguito sono descritti in termini di principio di funzionamento, input necessari e output, i cinque moduli implementati.

2. Funzionalità di INOPIA

INOPIA è un insieme di cinque algoritmi raggruppati in un'unica interfaccia grafica di semplice utilizzo che permette una valutazione immediata del rischio di *shortage* di un sistema d'approvvigionamento idrico costituito da un invaso superficiale connesso ad un sistema di distribuzione atto a soddisfare la domanda idrica di una o più macro-utenze.

L'interfaccia grafica di INOPIA (Fig.2.1) è stata concepita per essere il più intuitiva possibile. Cinque pulsanti associati ad ognuno dei cinque moduli sono disposti in modo logico, dall'alto verso il basso, e collegati tra loro da frecce che ne rappresentano il flusso di informazione.

Il modulo *calibrazione* collega le precipitazioni (rappresentate da nuvole distribuite nel bacino) all'afflusso al *reservoir*, caratterizzando la risposta del bacino idrografico nel suo insieme. Il modulo *scenario* è alimentato da un *scenario* di precipitazione (rappresentato da un'immagine del globo terrestre) e dal risultato del modulo di *calibrazione*; il relativo flusso informativo è indicato con una freccia tratteggiata. Il modulo *reservoir* è associato alla modellazione del bilancio di un invaso ed alimentato dall'afflusso ricostruito dai moduli *calibrazione* o *scenario* e da un input relativo alla domanda complessiva connessa con l'invaso (rappresentato dalle tre frecce in blu). Il modulo *indicatori di shortage* permette un'analisi statistica della serie temporale delle condizioni di *shortage* (intesa come incapacità temporanea dell'invaso di soddisfare la domanda) calcolate sulla base dell'output del modulo *reservoir*. Infine, il modulo *supporto all'early warning* fornisce una visualizzazione grafica delle relazioni tra gli eventi di *shortage* ricostruiti (*reservoir*) e gli indici standardizzati di precipitazione (*SPI*) associati.

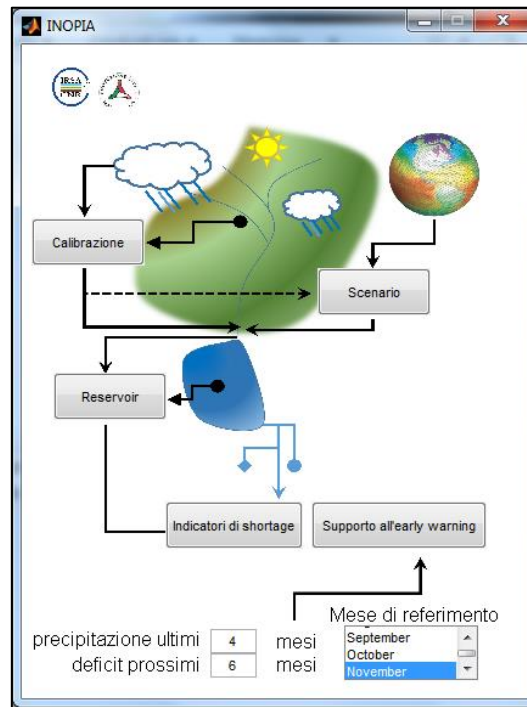


Figura 2.1 - Interfaccia grafica di INOPIA

3. Il modulo CALIBRAZIONE

3.1 Principio di funzionamento del modulo CALIBRAZIONE

Il modulo *calibrazione* è il cuore di INOPIA. Si basa sull'idea che le interazioni atmosfera/suolo/sotto-suolo del bacino idrografico in esame sono stazionarie e possano essere descritte in modo stocastico con una relazione lineare tra l'afflusso osservato e gli indici standardizzati di precipitazione (SPI) aggregati a diverse scale di tempo:

$$Q(m_i) = a_{SPI1}(m) \cdot SPI1(m_i) + a_{SPI3}(m) \cdot SPI3(m_i) + a_{SPI6}(m) \cdot SPI6(m_i) + a_0(m) \quad (1)$$

dove $Q(m_i)$ è l'afflusso del mese m , anno i

$SPI1(m_i), SPI3(m_i), SPI6(m_i)$ sono gli Standardized Precipitation Indices calcolati per il mese m , anno i considerando le precipitazioni cumulate a 1, 3 e 6 mesi, rispettivamente. $a_{SPI1}(m), a_{SPI3}(m), a_{SPI6}(m)$ e $a_0(m)$ sono i coefficienti ottenuti dalla regressione multilineare rispetto agli $SPI1, SPI3, SPI6$ per il mese m .

Le informazioni necessarie alla calibrazione sono quindi i dati di precipitazione, il più possibile distribuiti sull'intero bacino, e dati di afflusso osservato. Più le serie sono lunghe, e più la

calibrazione è robusta e pertinente. E' intuitivo pensare che eventi rari con tempi di ritorno lunghi non possono essere considerati nella calibrazione se il periodo disponibile è troppo corto per poterne dare una descrizione in termini statistici.

Prima di eseguire la *calibrazione* è necessario preparare due fogli elettronici Excel contenenti i dati di precipitazione e afflusso nel formato descritto nel seguito. La calibrazione è effettuata sul periodo comune dei dati di precipitazione e afflusso disponibili. Durante l'esecuzione mediante l'interfaccia grafica viene semplicemente chiesto all'utente di selezionare tramite l'abituale finestra di Window i file di input.

3.2 Input del modulo CALIBRAZIONE

La calibrazione richiede due tipi di informazione: dati di precipitazione a scala mensile e dati di afflusso a scala mensile

Dati di precipitazione a scala mensile.

I dati vengono inseriti in un foglio Excel che deve essere denominato 'Precipitazione': esso contiene nella prima colonna il numero del mese corrente, nella seconda colonna il numero dell'anno corrente, e nelle successive colonne la precipitazione cumulata (in *mm*) per ogni stazione considerata (Fig. 3.2a). I dati mancanti vengono lasciati vuoti. Il nome del file Excel che contiene il foglio "Precipitazione", Il numero complessivo di stazioni e l'intestazione di ogni stazione (nell'esempio in fig. 1.2.2a "stazione 1", stazione 2", ect...) sono liberi.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
mese	anno	stazione 1	stazione 2	stazione 3	stazione 4	stazione 5	stazione 6	stazione 7	stazione 8	stazione 9	stazione 10	stazione 11	stazione 12	stazione 13	stazione 14	
1	1989	0			2.4	0	0	0	0	0	0	0	0.2	2.2	0	
2	1989	167.9			3.4	158.7	152.2	129.5	123.8	155.7	95.7	144	123.5	2.4	130	
3	1989	46.7		29.8	63	44.6	57.8	34	30.7	45.9	42.4	42.8	44.1	38.6	16	
4	1989	660.6		574.8	105	471.6	431.2	454.4	375	582.2	362.3	490.2	325.3		552	
5	1989	36.1		53.4	48.6	90.7	51.2	127.6	92.7	165.2	69.9	55.3	40	85.6	38	
6	1989	37.7		23.4	25.2	76.3	78.8	119.5	103.7	120.7	100	49.3	65.1	94.4	28	
7	1989	74.9		71		181.5	77.9	81	52.9	95	71	94.4	67.5		63.6	
8	1989	51.7		41.2		116.6	37.9	75.5	72.7	102.4	37.7	33.4	59.5		54.4	
9	1989	31.8		24	46.4	57.1	40.6	36.6	46.9	47.3	34.1	18.6	56.3		46.8	

Figura 3.2a - Illustrazione del formato di input per i dati di precipitazione

Dati di afflusso a scala mensile

I dati vengono inseriti in un foglio Excel che deve essere denominato 'Afflusso'. Esso contiene nella prima colonna il numero del mese corrente, nella seconda colonna il numero dell'anno corrente

e nella terza colonna l'afflusso medio mensile (in m^3/s) (Fig. 3.2b). I dati mancanti vengono lasciati vuoti. Il nome del file Excel che contiene il foglio "Afflusso" è libero.

A	B	C	D	E	F	G
mese	anno	Afflusso (m^3/s)				
1	1995	125.8				
2	1995	116.0				
3	1995	115.3				
4	1995	349.1				
5	1995	372.7				
6	1995	400.5				
7	1995	246.9				
8	1995	143.8				
9	1995	391.1				
10	1995	233.3				

Figura 3.2b - Illustrazione del formato di input per i dati di afflusso

3.3 Output del modulo CALIBRAZIONE

Il modulo *calibrazione* fornisce come output otto fogli di lavoro radunati in un unico file di Excel formattati per essere direttamente utilizzati come input dai moduli "scenario" e "reservoir", ed è quindi fortemente consigliato di non editarlo. I fogli sono scritti in un file chiamato di default "calibrazione_output" che può essere richiamato liberamente dall'utente.

Gli otto fogli di output contengono:

- Gli afflussi ricostruiti su tutto il periodo di disponibilità del dato di precipitazione (indipendentemente dalla disponibilità del dato di afflusso osservato). Come è possibile notare nell'esempio mostrato in Fig. 3.3a, i primi 5 mesi non stati ricostruiti per indisponibilità della precipitazione aggregata a scala di 6 mesi.

A	B	C	D
mese	anno	Q(m^3/s)	
1	1951		
2	1951		
3	1951		
4	1951		
5	1951		
6	1951	916.3007	
7	1951	344.2837	
8	1951	332.363	
9	1951	253.0396	
10	1951	350.4866	
11	1951	1157.267	
12	1951	311.0841	
1	1952	207.4115	
2	1952	133.2541	

Figura 3.3a - Illustrazione del formato di output per i dati di afflusso ricostruiti

- Gli afflussi osservati utilizzati per la calibrazione

A	B	C	D
mese	anno	Q(m ³ /s)	
1	1995	125.8133	
2	1995	115.9633	
3	1995	115.2633	
4	1995	349.14	
5	1995	372.6833	
6	1995	400.48	
7	1995	246.91	
8	1995	143.8033	
9	1995	391.05	
10	1995	233.28	
11	1995	138.4267	
12	1995	144.9533	
1	1996	279.5733	
2	1996	160.63	
Observed Discharge			

Figura 3.3b - Illustrazione del formato di output per i dati di afflusso osservati

- I residui della calibrazione (afflusso ricostruito meno afflusso osservato) per il periodo di disponibilità comune delle serie storiche di precipitazione e afflusso osservati.

A	B	C	D
mese	anno	Q(m ³ /s)	
1	1995	40.22144	
2	1995	17.48563	
3	1995	19.28484	
4	1995	27.53641	
5	1995	120.8364	
6	1995	-2.28335	
7	1995	-9.77009	
8	1995	16.59648	
9	1995	-54.3834	
10	1995	-126.375	
11	1995	56.49184	
12	1995	-8.63275	
1	1996	-78.1467	
2	1996	-21.2072	
Discharge residues			

Figura 3.3c - Illustrazione del formato di output per gli residui di afflusso

- Gli indici standardizzati di precipitazione utilizzati per la regressione multilineare per le tre scale di aggregazione (1, 3 e 6 mesi). Come è possibile notare nell'esempio mostrato in Fig. 3.3d, i primi 2 (5) mesi degli indici standardizzati di precipitazione aggregati alla scala di 3 (6) mesi non sono disponibili per l'SPI3 (SPI6).

A	B	C	D	E
mese	anno	SPI 1mont	SPI 3mont	SPI 6month
1	1951	0.885706		
2	1951	3.255286		
3	1951	0.192873	2.72302	
4	1951	-0.04602	1.19104	
5	1951	1.180359	0.697781	
6	1951	0.427406	0.974689	2.636808
7	1951	-0.53654	1.024055	1.963643
8	1951	0.806558	0.632861	1.197607
9	1951	-0.32474	-0.05624	0.687955
10	1951	0.058754	0.152513	0.701417
11	1951	3.196804	1.682404	1.964868
12	1951	-0.5511	1.888638	1.381694
1	1952	-0.41084	2.110528	1.397603
2	1952	-0.80576	-0.88449	0.809427

← ... **Precipitation SPI** Regressor ... +

Figura 3.3d - Illustrazione del formato di output per gli indici standardizzati di precipitazione.

- I coefficienti della regressione multilineare stimati mensilmente mediante il modulo *calibrazione* (relativi dunque al termine noto e agli standardized precipitation indices SPI1, SPI3 e SPI6).

A	B	C	D	E
	a0	SPI 1mont	SPI 3mont	SPI 6month
Jan	150.6725	46.32767	19.04923	25.44954
Feb	133.6166	-0.41731	28.35538	30.1217
Mar	170.3998	40.74927	18.39586	25.40311
Apr	282.0162	97.74418	117.0385	12.71472
May	494.0042	89.01629	80.93433	176.1474
Jun	434.8964	48.01208	26.20908	165.1004
Jul	293.8882	118.5202	21.04087	47.07552
Aug	229.9906	52.06576	28.7786	35.20812
Sep	277.9451	169.2528	-0.18737	43.67653
Oct	331.7216	331.1377	93.47116	-21.3086
Nov	306.1781	188.1025	81.30473	57.49749
Dec	197.74	42.51726	73.56745	-1.56835

← ... **Regression coefficients** +

Figura 3.3e - Illustrazione del formato di output per gli coefficienti di regressione

- Tre fogli chiamati “fitcal SPIX” che contengono i parametri di fit utilizzati per la costruzione degli indici standardizzati di precipitazione per ogni stazione e ogni scala d’aggregazione. Come illustrato in Fig.3.3f queste informazioni non sono “leggibili” per l’utente ma preformattate per il modulo *Scenario*.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
111.6152	96.4112	94.45286	54.56309	116.8965	128.4442	100.762	89.03411	111.618	93.44743	110.187	97.22031	34.26805	73.94649
92.23575	63.29356	116.2515	63.94911	84.34022	100.0918	66.84693	60.40522	80.88352	62.51414	91.828	70.09114	34.84596	104.8244
184.702	78.01135	139.7384	94.84731	135.4086	133.3393	99.81366	105.9351	145.9559	104.0963	133.4112	109.366	39.92135	128.2634
367.1585	180.1455	218.8027	150.9789	285.7788	241.6784	194.3428	178.2238	258.9254	185.6058	340.0042	175.9066	72.36279	234.6752
368.0052	213.5332	230.6175	173.1371	311.6719	257.2753	217.206	217.9601	294.3513	233.8013	262.4216	211.1338	121.0942	239.9985
255.0543	178.4083	162.4638	174.8781	242.0319	200.6166	209.7062	214.049	265.8152	228.9568	248.9531	181.8282	162.7599	185.899
222.8928	122.3869	110.4609	150.2019	280.8036	189.2228	197.6333	216.1647	237.1386	208.6218	239.2248	192.302	110.6979	122.5271
257.313	141.3066	158.192	177.6438	263.7159	208.1316	208.5794	208.4625	225.4959	221.9093	265.0453	188.7878	124.5724	187.5332
430.457	200.5993	191.5109	201.2863	337.1237	239.5321	221.1927	223.5885	264.0708	248.3635	354.1755	196.7366	130.1014	201.3412
404.7977	156.7575	256.2932	179.1214	312.7361	244.0818	205.0924	179.8137	241.8401	204.8841	331.4235	194.4828	58.85779	295.242
321.2441	242.187	227.7945	79.00492	287.1029	225.4922	239.035	196.1073	245.6999	202.2835	294.0276	191.9301	47.82248	227.555
123.867	97.45806	116.4948	55.79127	111.4112	127.644	97.13183	91.5517	115.5276	96.88189	114.0946	97.72468	40.97872	114.2257
470.283	369.1523	369.6695	161.9601	447.5913	407.934	376.6265	324.5927	400.0205	344.2389	444.5393	331.6888	100.7667	358.8151
273.7633	212.7407	262.9314	140.7024	272.0137	306.3744	220.2486	204.4791	257.7047	216.5642	265.2098	228.7732	98.2207	247.4361
313.5602	178.3978	286.3001	189.3868	283.7372	308.9893	225.1386	216.663	284.0955	225.0164	278.176	235.4524	95.6099	266.6557
542.4972	278.3471	381.9856	271.7505	434.7821	409.532	313.4683	293.631	421.0303	303.2156	485.2358	302.3028	133.5907	392.0486
760.7255	399.002	498.7574	368.6722	625.6364	538.0189	430.2889	434.7758	611.8766	457.5427	615.0782	429.183	194.7771	512.3199
832.8022	487.6687	513.4027	410.9704	706.0022	590.6071	529.8023	516.9048	693.9102	540.342	711.3281	479.02	311.2463	555.2773
743.22	460.8731	446.5108	447.0085	728.6483	571.521	558.8282	574.9611	701.3715	583.5195	658.377	515.128	379.9662	491.1965
658.6228	406.0503	385.9785	460.4996	709.4918	546.0883	556.7419	585.3868	658.6422	604.9163	672.3061	520.511	379.1282	444.2068
789.7834	421.2335	395.2504	480.7026	772.6259	557.0564	559.8221	580.7255	640.2785	597.1721	733.1668	514.8464	304.6968	457.9407
966.3111	460.2584	541.3796	484.8601	830.7843	640.5779	575.0337	546.5331	659.2622	600.2843	856.7459	536.9017	268.0625	595.0336
986.7579	499.3787	546.8976	384.2363	797.1624	628.6137	579.7964	512.018	652.0514	559.8739	845.2422	498.6262	206.6839	587.5241

Figura 3.3f - Illustrazione del formato di output per i parametri di normalizzazione mensile utilizzati per la costruzione degli indici standardizzati di precipitazione

Gli output del modulo *calibrazione* sono riassunti graficamente in una figura generata automaticamente da INOPIA che contiene alcuni dati statistici che descrivono la bontà della ricostruzione in termine di co-varianza (r^2), di scarto quadrato medio (RMSE), di scarto assoluto medio (MAE) e scarto medio (MB).

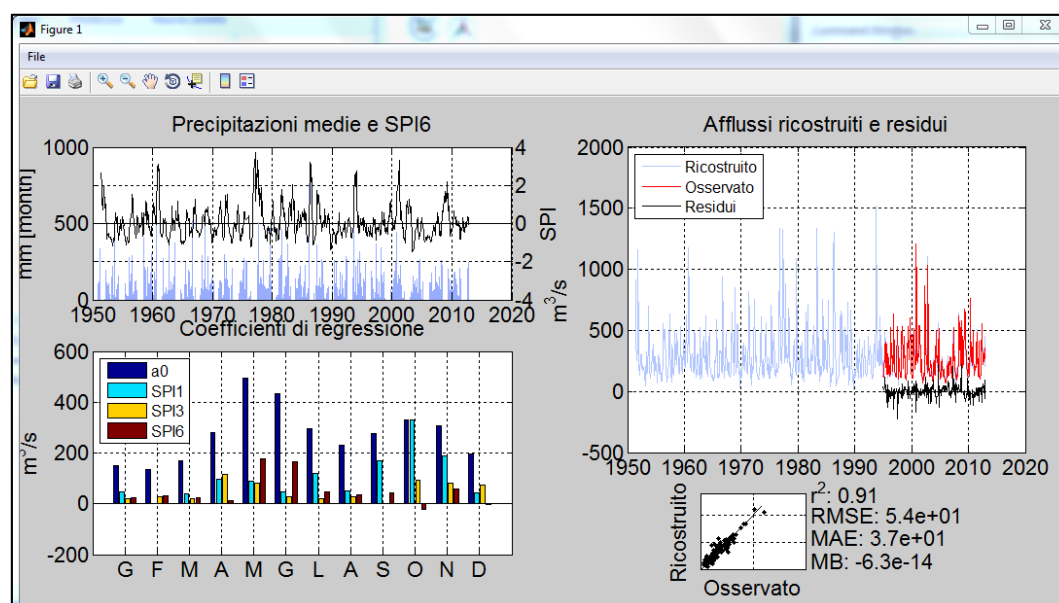


Figura 3.3g - Illustrazione della grafica degli output del modulo calibrazione.

4. Il modulo SCENARIO

4.1 Principio di funzionamento del modulo SCENARIO

Il modulo *scenario* è basato sull'idea che l'interazione atmosfera/suolo/sotto-suolo del bacino idrografico che determina la risposta del bacino alle precipitazioni sia invariante nel tempo e dunque indipendente dallo scenario di precipitazione considerato: ciò permette di generare scenari di afflusso partendo da scenari di precipitazione.

Le informazioni necessarie alla generazione di scenari sono quindi dati di precipitazione sulle stesse stazioni utilizzate nel modulo *calibrazione* e il file di output del modulo *calibrazione*.

Non ci sono limitazioni ad usare qualsiasi serie temporale di precipitazione simulata/ricostruita/generata, comprese previsioni meteo a medio termine (tipicamente stagionale): ciò conferisce a INOPIA una capacità di *forecast* sulla vulnerabilità futura del sistema idrico in esame. L'affidabilità associata agli scenari e/o previsioni dipende ovviamente dalla qualità degli scenari/previsioni meteo, ma anche dalla qualità della calibrazione e quindi della quantità/qualità/pertinenza dei dati osservati a disposizione dell'utente.

Prima di eseguire il modulo *scenario* è necessario: 1) eseguire il modulo *calibrazione*; 2) preparare un foglio elettronico che contiene i dati di precipitazione dello scenario nel formato descritto nel seguito. Lo *scenario* di afflusso sarà generato sul periodo di disponibilità del dato di precipitazione. Durante l'esecuzione mediante l'interfaccia grafica, viene semplicemente chiesto all'utente di selezionare tramite l'abituale finestra di window i file di input (dunque il foglio che contiene i dati di precipitazione dello scenario e il file di output del modulo *calibrazione*).

4.2 Input del modulo SCENARIO

Il modulo *scenario* richiede due tipi di informazione:

Dati di precipitazione a scala mensile.

I dati vengono inseriti in un foglio Excel che deve essere denominato 'Precipitazione'. Esso contiene nella prima colonna il numero del mese corrente, nella seconda colonna il numero dell'anno corrente, e nelle successive colonne la precipitazione cumulata (in *mm*) per ogni stazione considerata (chiamata in questo caso "nodo" in Fig. 4.2a). Il nome del file Excel che contiene il foglio

“Precipitazione”, il numero complessivo di stazioni e l’intestazione di ogni stazione (nell’esempio in fig. 1.2.2a “nodo 1”, “nodo 2”, ect...) sono liberi.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
mes	anno	nodo 1	nodo 2	nodo 3	nodo 4	nodo 5	nodo 6	nodo 7
1	1950	303.7147	269.9446	228.8485	145.0497	245.387	261.7341	194.1625
2	1950	142.0203	80.26011	191.7033	133.8007	152.4373	193.0899	114.6889
3	1950	87.75271	24.7479	65.32534	50.08311	72.81673	83.11219	41.92473
4	1950	143.5083	94.24644	85.1453	44.48821	135.0263	121.4598	122.6466
5	1950	283.8128	160.306	184.1392	128.7907	227.3139	187.8791	146.9766
6	1950	238.7251	201.1586	162.9933	147.9669	255.8219	203.5482	248.0524
7	1950	329.5078	199.2308	159.482	208.1565	397.7523	256.0318	277.4176
8	1950	343.4199	189.5674	212.8788	218.8596	377.3204	279.3217	319.9084
9	1950	203.6418	135.7	71.37129	103.7554	162.5177	121.3812	119.874
10	1950	401.8578	256.4743	239.1439	193.1811	284.0512	256.6793	228.4796
11	1950	66.6463	77.60486	55.41079	19.75237	63.78844	56.65493	60.07045
12	1950	334.1323	233.7571	295.8667	156.7585	313.5708	337.8172	254.877
1	1951	1.016151	1.8	0.2	1.2	1.532302	5.417892	0.2
2	1951	139.8467	80.07624	183.9801	119.14	146.7728	169.8422	123.2318
Precipitazione								

Figura 4.2a - Illustrazione del formato di input per gli dati di precipitazione

Dati di calibrazione

I dati di calibrazione vengono letti direttamente dal file di output del modulo *calibrazione*. Anche se l’informazione necessaria al modulo *scenario* è contenuta solo nei fogli “Regression coefficients” (fig. 3.3e) e “fitpar_SPIX” (fig.3.3f), si consiglia per un corretto funzionamento di INOPIA di mantenere il contenuto del file di output del modulo *calibrazione* inalterato.

4.3 Output del modulo SCENARIO

Il modulo *scenario* fornisce come output tre fogli numerici Excel formattati per essere direttamente utilizzati come input del modulo *reservoir*, ed è quindi fortemente consigliato di non editarlo. I fogli saranno scritti in un file chiamato di default “scenario_output” che può essere richiamato liberamente dall’utente.

I tre fogli contengono:

- Gli afflussi ricostruiti su tutto il periodo di disponibilità del dato di precipitazione. Come è possibile notare nell’esempio mostrato in Fig. 4.3a, i primi 5 mesi non stati ricostruiti per indisponibilità della precipitazione aggregata a scala 6 mesi.

A	B	C	D
mese	anno	Q(m3/s)	
1	1950		
2	1950		
3	1950		
4	1950		
5	1950		
6	1950	599.8149	
7	1950	456.4405	
8	1950	364.9383	
9	1950	265.3622	
10	1950	414.3895	
11	1950	258.2809	
12	1950	372.8217	
1	1951	110.2633	
2	1951	181.6129	

Reconstructed Discharge

Figura 4.3a - Illustrazione del formato di output per i dati di afflusso ricostruiti

- Gli indici standardizzati di precipitazione utilizzati per la regressione multilineare per le tre scale di aggregazione (1, 3 e 6 mesi). Come è possibile notare nell'esempio mostrato in Fig.4.3b, i primi 2 (5) mesi degli indici standardizzati di precipitazione aggregati alla scala di 3 (6) mesi non sono disponibili

A	B	C	D	E
mese	anno	SPI 1mont	SPI 3mont	SPI 6month
1	1950	1.62107		
2	1950	1.001472		
3	1950	-0.24001	1.117907	
4	1950	-0.35843	-0.10822	
5	1950	0.168213	-0.29826	
6	1950	0.469748	0.15043	0.838413
7	1950	0.91577	0.938	0.728164
8	1950	1.260958	1.388083	0.833554
9	1950	-0.26203	0.894825	0.731143
10	1950	0.198721	0.405597	0.987766
11	1950	-0.38316	-0.2434	0.764644
12	1950	2.680735	0.859199	1.342152
1	1951	-1.26589	0.237923	0.538484
2	1951	0.972003	1.407358	0.282047

Precipitation SPI Used regr ...

Figura 4.3b - Illustrazione del formato di output per gli indici standardizzati di precipitazione.

- I coefficiente della regressione multilineare utilizzati per la ricostruzione dello scenario (identici a quelli scritti nel file di output del passo di calibrazione utilizzato).

A	B	C	D	E
	a0	SPI 1mont	SPI 3mont	SPI 6month
Jan	150.6725	46.32767	19.04923	25.44954
Feb	133.6166	-0.41731	28.35538	30.1217
Mar	170.3998	40.74927	18.39586	25.40311
Apr	282.0162	97.74418	117.0385	12.71472
May	494.0042	89.01629	80.93433	176.1474
Jun	434.8964	48.01208	26.20908	165.1004
Jul	293.8882	118.5202	21.04087	47.07552
Aug	229.9906	52.06576	28.7786	35.20812
Sep	277.9451	169.2528	-0.18737	43.67653
Oct	331.7216	331.1377	93.47116	-21.3086
Nov	306.1781	188.1025	81.30473	57.49749
Dec	197.74	42.51726	73.56745	-1.56835

Used regression coefficients

Figura 4.3c - Illustrazione del formato di output per i coefficienti di regressione utilizzati.

Gli output del modulo *scenari* sono riassunti graficamente in una figura generata automaticamente da INOPIA (Fig. 4.3d).

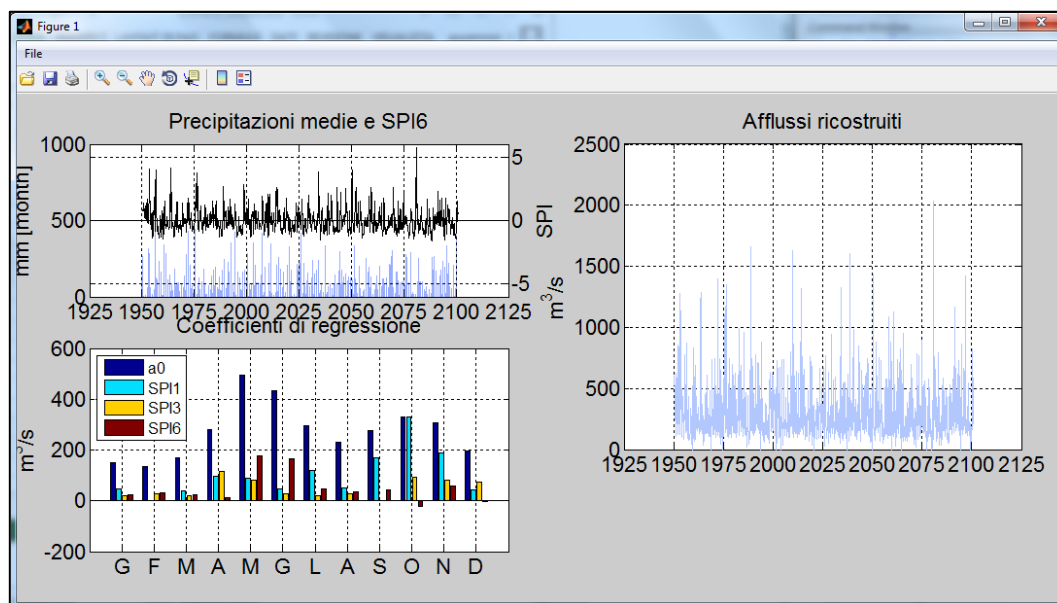


Figura 4.3d - Illustrazione della grafica di output della funzione di scenario.

5. Il modulo RESERVOIR

5.1 Principio di funzionamento del modulo RESERVOIR

Il modulo *reservoir* simula l'evoluzione nel tempo dei volumi immagazzinati in un invaso, naturale o artificiale. Esso è basato sul bilancio di massa (volumi) calcolato considerando come dati di input l'afflusso, la domanda connessa con l'invaso e l'eventuale rilascio atto a garantire un eventuale Deflusso Minimo Vitale (DMV). I termini di precipitazione e evaporazione sulla superficie d'acqua libera sono considerati trascurabili. Gli afflussi (m^3/s) sono stimati mediante i precedenti moduli *calibrazione* e/o *scenari*. La capacità di invaso viene derivata sulla base del volume morto e massimo (Mm^3). Tali valori possono essere variati alla scala mensile, permettendo di simulare anche le regole di gestione di sbarramenti il cui livello viene modificato nel corso dell'anno. L'outflow totale dall'invaso è stimato come somma della domanda (m^3/s), di un eventuale rilascio del DMV (m^3/s) e dello sfioro (Mm^3). La domanda può essere inserita sia come dato mensile (e quindi considerata stazionaria negli anni) che come serie temporale (opzionale). Infine è necessario fornire il volume invasato all'inizio del periodo di simulazione.

Le informazioni necessarie per l'esecuzione del modulo *reservoir* sono quindi i dati di afflusso (output dei moduli *calibrazione* o *scenario*) e un foglio elettronico "Invaso" che contiene l'informazione mensile relativa ai volumi massimi e morti, alla domanda, al DMV e al volume iniziale. Questo foglio deve essere strutturato secondo il formato descritto nel seguito. Inoltre è possibile aggiungere informazioni opzionali (nel senso che non sono strettamente necessarie per l'esecuzione del modulo *reservoir* ma permettono di ottenere informazioni aggiuntive) mediante due ulteriori fogli da inserire nello stesso file che contiene il foglio "Invaso". Il primo di essi è il foglio "Livelli" che contiene la curva ipsografica che associa il volume (Mm^3) dell'invaso al corrispondente livello (m s.l.m.). Il secondo è il foglio "Domanda osservata" che permette di inserire una domanda (m^3/s) come serie temporale e quindi senza l'assunzione di stazionarietà negli anni. L'uso o meno dei dati relativi alla curva di invaso non richiede intervento da parte dell'utente (viene utilizzato solo se presente); viceversa, se è presente il foglio "Domanda osservata" verrà richiesto all'utente di scegliere tra quest'ultima e la domanda stagionale presente nel foglio "Invaso" (nel caso non sia presente viene utilizzata la domanda stagionale).

5.2 Input del modulo RESERVOIR

I dati di afflusso a scala mensile.

I dati relativi all'invaso

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
Volume max (Mm3)	37315	37315	37420	37420	37420	37420	37420	37420	37420	37420	37315	37315
Volume morto (Mm3)	37000	37000	37000	37000	37000	37000	37000	37000	37000	37000	37000	37000
Domanda (m3/s)	136.5	136.5	133.9	184.64	210.57	242.03	246.04	238.83	156.88	120	120	120
Minimo vitale (m3/s)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Volume iniziale (Mm3)	37200											

<

>

invaso

livelli

domanda osservata

(+)

:

◀

Figura 5.2a - Illustrazione del formato di input per i dati del modulo invasivo

16

I dati vengono inseriti in un foglio Excel che deve essere denominato “livelli” e posto nello stesso file contenente il foglio “invaso”. Il foglio contiene nella prima colonna il livello in (m s.l.m.) e nella seconda colonna il volume (Mm³) corrispondente (Fig. 5.2b). L’uso o meno dei dati relativi alla curva di vaso non richiede intervento da parte dell’utente; nel caso in cui il foglio sia presente, i livelli ricostruiti saranno automaticamente aggiunti agli output del modulo *reservoir*.

A	B
m (s.l.m.)	Volume (Mm3)
194.5	37420
194	37315
192.5	37000

« » | vaso | **livelli** | domar

Figura 5.2b - Illustrazione del formato di input opzionale per i dati relativi alla curva di vaso

Dati di domanda osservata (opzionale)

I dati vengono inseriti in un foglio Excel che deve essere denominato “domanda osservata” e posto nello stesso file contenente il foglio “invaso”. Il foglio è così strutturato: nella prima colonna è riportato il numero del mese corrente, nella seconda colonna il numero dell’anno corrente e nella terza colonna la domanda in (m³/s) (Fig. 5.2c). La colonna relativa alla domanda non può contenere dati mancanti. In caso di dati mancanti si consiglia di immettere la domanda media stimata per il mese corrente. Il foglio relativo alla domanda osservata è opzionale: se non presente il modulo *reservoir* genera la serie temporale di domanda utilizzando le domande mensili medie inserite nel foglio vaso (Fig. 5.2a). Se presente, sarà richiesto all’utente tramite l’interfaccia grafica di scegliere tra la domanda media mensile e la domanda osservata.

A	B	C	D	E
mese	anno	Domanda (m3/s)		
1	1994	141.1		
2	1994	127.4		
3	1994	138.4		
4	1994	184.6		
5	1994	217.6		
6	1994	242.0		
7	1994	254.2		

« » | vaso | livelli | **domanda osservata**

Figura 5.2c - Illustrazione del formato di input opzionale per i dati di domanda variabile nel tempo

5.3 Output del modulo RESERVOIR

Il modulo *reservoir* fornisce come output un foglio numerico Excel intitolato “Bilancio” formattato per essere direttamente utilizzato come input dei moduli “Indicatori di shortage” e “Supporto all’early warning”, ed è quindi fortemente consigliato di non editarlo. Il foglio verrà scritto in un file chiamato di default “reservoir_output” che può essere richiamato liberamente dall’utente.

Il foglio di output contiene il bilancio dell’invaso suddiviso nei seguenti termini (Fig. 5.3a):

- I deficit stimati come volumi non erogati (Mm^3). Si ha condizione di deficit quando il volume disponibile per il mese corrente non è sufficiente per il soddisfacimento della domanda (compreso il Deflusso Minimo Vitale).
- Il Fabbisogno (Mm^3) stimato come la somma della domanda e dell’eventuale DMV
- Lo sfioro (Mm^3), che si verifica quando il volume disponibile nell’invaso al netto della domanda supera il volume massimo
- Il volume invasato nel mese corrente (Mm^3)
- Nel caso in cui sia presente il foglio opzionale “Livelli”, i livelli associati (m s.l.m.).

A	B	C	D	E	F	G
mese	anno	deficit Mm^3 [mese]	Fabbisogno Mm^3 [mese]	Sfioro Mm^3 [mese]	Volume invasato Mm^3	Livelli invasato (m a.s.l.)
6	1951	0	627.3	1470.7	37420.0	194.5
7	1951	0	659.0	204.2	37420.0	194.5
8	1951	0	639.7	191.6	37420.0	194.5
9	1951	0	406.6	192.2	37420.0	194.5
10	1951	0	321.4	558.4	37420.0	194.5
11	1951	0	311.0	2736.6	37315.0	194.0
12	1951	0	321.4	452.9	37315.0	194.0
1	1952	0	365.6	131.0	37315.0	194.0
2	1952	0	342.0	0.0	37251.7	193.7
3	1952	0	358.6	0.0	37247.2	193.7
4	1952	0	478.6	0.0	37417.1	194.5
5	1952	0	564.0	146.4	37420.0	194.5

Figura 5.3a - Illustrazione del formato di output del modulo reservoir

Queste informazioni sono riassunte in formato grafico da una figura generata automaticamente da INOPIA. Le figure 5.3b e 5.3c illustrano rispettivamente i casi con domanda mensile stazionaria e con domanda mensile variabile (opzionale).

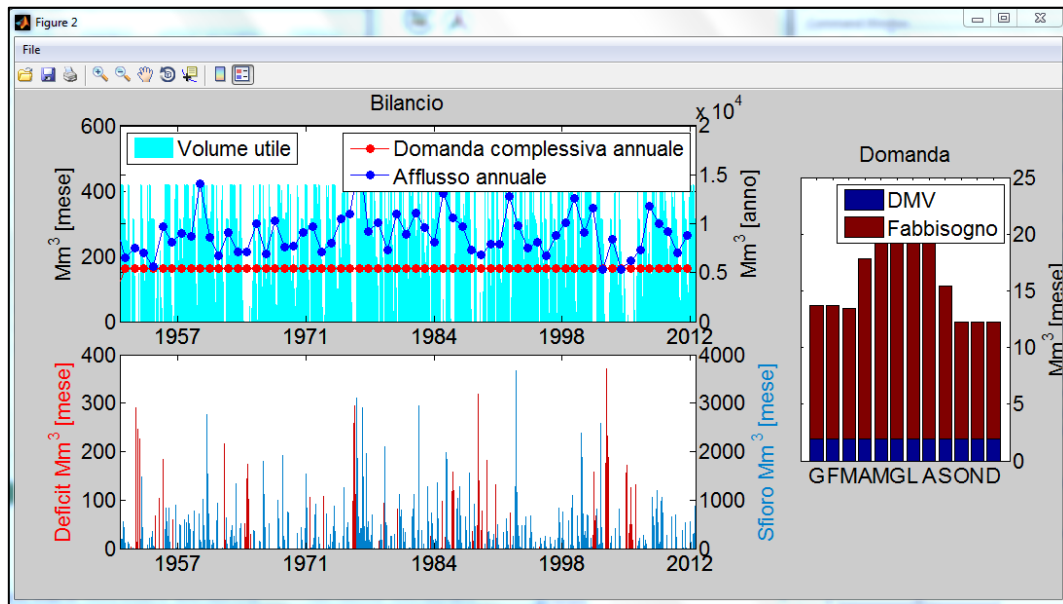


Figura 5.3b - Illustrazione della grafica di output del modulo reservoir con domanda media mensile.

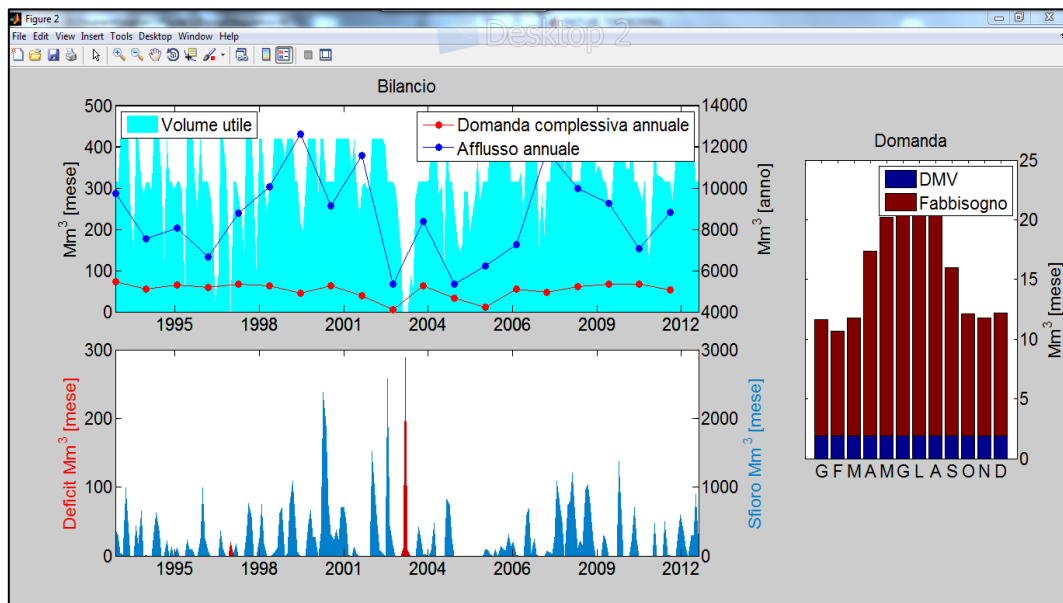


Figura 5.3c - Illustrazione della grafica di output del modulo reservoir con domanda mensile variabile nel tempo.

6. Il modulo INDICATORI DI SHORTAGE

6.1 Principio di funzionamento del modulo INDICATORI DI SHORTAGE

Gli indicatori di *shortage* rappresentano un insieme statistico sviluppato per descrivere gli eventi di *shortage* (o *deficit*), ossia la condizione nella quale il volume idrico immagazzinato nell'invaso non è sufficiente a garantire il soddisfacimento della domanda. Definiamo *failure* il singolo evento di *shortage*. L'insieme statistico delle *failures* calcolate dal modulo *reservoir* è analizzato in termini di frequenza di accadimento (*affidabilità*), capacità di recupero del sistema dopo un evento di deficit (*resilienza*) e intensità del deficit (*vulnerabilità*). Nel seguito sono riportate le equazioni implementate per il calcolo degli indici di *shortage*

- La *Affidabilità* (o *Reliability*, *Rel*) è stimata come segue:

$$Rel = \frac{n_s}{T} \quad (1)$$

dove n_s è il numero di mesi di operatività regolare e T è l'intero periodo di operatività espresso nella stessa unità di misura.

- La *Resilienza* (*Res*) viene stimata sulla base del *dataset* costituito dalle durate di ogni *failure* che avviene durante il periodo di operatività T . Si considera sia la durata mediana degli eventi di deficit (Res_{med}) tramite il 50° percentile che la durata estrema (Res_{ext}) tramite il 95° percentile:

$$Res_{med} = 1 - \frac{1}{12} perc_{50} \{m_f(i)\}_{i=1, \dots, N_f} \quad (2)$$

$$Res_{ext} = 1 - \frac{1}{12} perc_{90} \{m_f(i)\}_{i=1, \dots, N_f} \quad (3)$$

dove $m_f(i)$ la durata della *failure* i -esima, espressa in mesi e N_f è il numero totale di *failures* durante il periodo di operatività T

- La *Vulnerabilità* (*Vul*) viene stimata sulla base del *dataset* costituito dai volumi di deficit relativi ad ogni *failure*, standardizzati rispetto alla domanda complessiva relativa allo stesso *failure*. Si considera sia l'intensità mediana delle *failures* (Vul_{med}) che gli eventi estremi (Vul_{ext}):

$$Vul_{med} = perc_{50} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^{m_f(i)} WD_{j(i)}}{\sum_{j=1}^{m_f(i)} Wd_{j(i)}} \right\}_{i=1, \dots, N_f} \quad (4)$$

$$Vul_{ext} = perc_{90} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^{m_f(i)} WD_{j(i)}}{\sum_{j=1}^{m_f(i)} Wd_{j(i)}} \right\}_{i=1, \dots, N_f} \quad (5)$$

dove N_f è il numero di anni durante i quali si verifica una *failure*, $WD_{j(i)}$ è il deficit che si verifica nel mese j -esimo dell'anno di *failure* i -esimo e $Wd_{j(i)}$ è la corrispondente domanda nel mese $j(i)$. Di conseguenza, il termine $\left[\sum_{j=1}^{m_f(i)} WD_{j(i)} \right] / \left[\sum_{j=1}^{m_f(i)} Wd_{j(i)} \right]$ è il deficit complessivo dell'anno di *failure* i -esimo, normalizzato rispetto alla domanda complessiva dei mesi corrispondenti.

- Gli indici di affidabilità, resilienza e vulnerabilità sono infine aggregati in un unico indice complessivo di *shortage* *SRI* (*Shortage Risk Index*):

$$SRI = w_{Rel} \cdot (1 - Rel) + w_{Res\ med} \cdot (1 - Res_{med}) + w_{Res\ ext} \cdot (1 - Res_{ext}) + w_{Vul\ med} \cdot Vul_{med} + w_{Vul\ ext} \cdot Vul_{ext} \quad (6)$$

dove w_{Rel} , $w_{Res\ med}$, $w_{Res\ ext}$, $w_{Vul\ med}$ e $w_{Vul\ max}$ indicano i pesi da attribuire a ciascun indicatore, posti nel modulo *indicatori di shortage* uguali a : $w_{Rel} = 1/3$; $w_{Res\ med} = 1/6$; $w_{Res\ ext} = 1/6$ $w_{Vul\ med} = 1/6$ e $w_{Vul\ max} = 1/6$. A valori più bassi dell'indice *SRI* corrisponde una stima più bassa del rischio di *shortage*.

Prima di stimare gli *indicatori di shortage* è necessario lanciare il modulo *reservoir*. Gli indicatori verranno stimati sul periodo di disponibilità del bilancio (e quindi di disponibilità degli afflussi ricostruiti dalla *calibrazione/scenario* in caso di utilizzo di una domanda stazionaria o del periodo comune di disponibilità degli afflussi e della domanda osservata). Durante l'esecuzione sarà semplicemente chiesto all'utente, mediante l'interfaccia grafica, di selezionare tramite l'abituale finestra di Window il file di input (dunque il file di output del modulo *reservoir*).

6.2 Input del modulo INDICATORI DI SHORTAGE

La stima degli *indicatori di shortage* richiede un tipo solo di informazione:

I dati di deficit a scala mensile.

I dati di deficit vengono letti direttamente dal file di output del modulo *reservoir*. Anche se l'informazione necessaria per la stima degli *indicatori di shortage* è contenuta solo nella colonna "deficit" (Fig. 5.3a), si consiglia per un corretto funzionamento di INOPIA di mantenere il contenuto del file di output del modulo *reservoir* inalterato.

6.3 Output del modulo *INDICATORI DI SHORTAGE*

Il modulo *indicatori di shortage* fornisce come output un foglio numerico Excel intitolato "Indicatori di shortage". Il foglio verrà scritto in un file chiamato di default "Ind_shortage_output" che può essere richiamato liberamente dall'utente. Il foglio contiene gli indicatori stimati.

L'occorrenza degli eventi è rappresentata dall'indicatore *1-Rel* (Reliability). Il numero 0.11 riportato nel esempio (Fig. 6.3a) indica che 11% dei mesi di operatività del sistema in esame hanno presentato eventi di deficit. La durata di questi eventi è rappresentata dagli indicatori *1-Resmed* e *1-Resext* (Resilience). I numeri 0.21 e 0.42 del esempio (Fig. 6.3a) indicano che in media gli deficit durano 2.52 mesi ($0.21 \cdot 12$) e hanno durato fino a 5 mesi ($0.42 \cdot 12$) per gli eventi di maggiore durata. L'intensità di questi deficit è rappresentata dagli indicatori *Vulmed* e *Vulext*. I numeri 0.21 e 0.34 del esempio (Fig. 6.3a) indicano che in media durante gli eventi di *failures* i deficit hanno rappresentato il 21% della domanda e ne hanno rappresentato 34% per gli eventi di maggiore intensità (90° percentile). L'*SRI* è una media ponderata degli indicatori descritti sopra.

A	B	C	D	E	F
1-Rel	1-Resmed	1-Resmax	Vulmed	Vulmax	SRI
0.11	0.21	0.42	0.21	0.34	0.23
Indicatori di shortage					

Figura 6.3a - Illustrazione del formato di output degli indicatori di shortage.

Queste informazioni sono riassunte in formato grafico da una figura generata automaticamente da INOPIA (Fig. 6.3b)

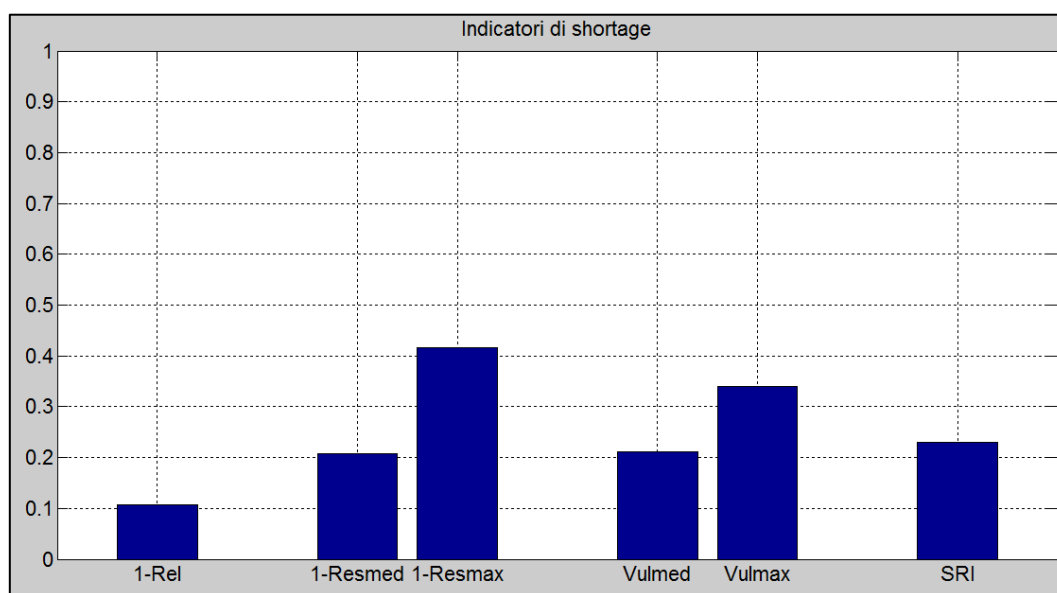


Figura 6.3b - Illustrazione della grafica di output degli indicatori di shortage.

7. Il modulo SUPPORTO ALL'EARLY-WARNING

7.1 Principio di funzionamento del modulo SUPPORTO ALL'EARLY-WARNING

Il modulo *Supporto all'early warning*, inteso come capacità di prevedere un eventuale deficit, si basa sulla relazione storica tra gli indicatori standardizzati di precipitazione e i deficit ricostruiti associati. Il modulo fornisce informazioni utili per rispondere alla seguente domanda: *“considerate le precipitazioni degli ultimi X mesi (in relazione a quelle medie osservate), quale probabilità ho di avere deficit nei prossimi Y mesi?”*. L'analisi viene fatta in base al seguente tipo di informazione: *“fissato un determinato mese di analisi, quando nel passato sono state osservate negli ultimi X mesi precipitazioni cumulate confrontabili con quelle attuali, è stato stimato deficit negli Y mesi successivi nel XX% degli casi”*.

Le informazioni necessarie al *supporto all'early warning* sono: 1) i deficit stimati come domanda non erogata (output di *reservoir*); 2) le precipitazioni (uno o più stazioni\nodi) utilizzate per la ricostruzione associata; 3) il mese di riferimento considerato (ad es. marzo); 4) la scala di aggregazione degli indici standardizzati di precipitazione (ad esempio le precipitazioni degli ultimi 6 mesi, rappresentate dall'SPI6); 6) la scala di aggregazione dei deficit previsti (ad esempio il deficit cumulato nei 4 mesi successivi al mese di riferimento). Per un clima sub alpino, un tipico uso del modulo consiste nel chiedersi all'inizio della primavera (per esempio selezionando marzo come mese di riferimento), alla luce degli ultimi 6 mesi di precipitazione (quindi selezionando 6 mesi come scala di aggregazione delle precipitazioni), quale è la “probabilità” di avere deficit nei successivi 6 mesi (quindi selezionando 6 mesi come scala di aggregazione dei deficit).

Prima di lanciare il modulo *Supporto all'early warning* è necessario eseguire il modulo *reservoir*. Gli indicatori verranno stimati sul periodo di disponibilità del bilancio (e quindi di disponibilità degli afflussi ricostruiti dalla calibrazione/scenario in caso di utilizzo di una domanda stazionaria o del periodo comune di disponibilità degli afflussi e della domanda osservata). Durante l'esecuzione sarà semplicemente chiesto all'utente di selezionare tramite l'abituale finestra di Window i file di input (dunque il file di output del modulo *reservoir* e il file di precipitazione, input del modulo *calibrazione* o *scenario* utilizzato per stimare gli afflussi associati).

7.2 Input del modulo SUPPORTO ALL'EARLY-WARNING

Il *supporto all'early warning* richiede tre tipi di informazione:

I dati di deficit a scala mensile.

I dati di deficit vengono letti direttamente dal file di output del modulo *reservoir*. Anche se l'informazione necessaria per la stima degli *indicatori di shortage* è contenuta solo nella colonna "deficit" (Fig. 5.3a), si consiglia per un corretto funzionamento di INOPIA di mantenere il contenuto del file di output del modulo *reservoir* inalterato.

Dati di precipitazione a scala mensile.

Affinché il *supporto all'early warning* sia pertinente, i dati di precipitazione devono essere quelli utilizzati per la ricostruzione degli afflussi generati mediante i moduli *calibrazione* o *scenario* e utilizzati come input del modulo *reservoir* che calcola i deficit prima descritti.

Parametrizzazione del supporto all'early warning

I parametri del *supporto all'early warning* sono inseriti direttamente tramite l'interfaccia grafica (Fig. 7.2a)

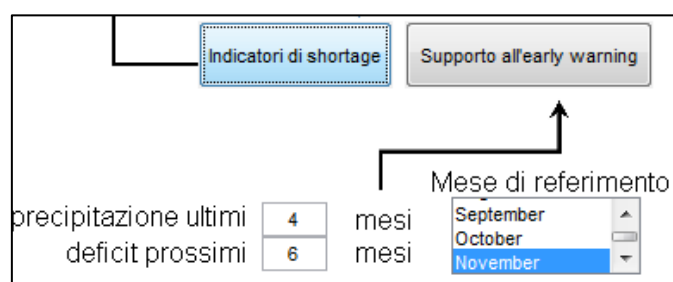


Figura 7.2a - Parametrizzazione del modulo *Supporto all'early warning* tramite l'interfaccia di INOPIA.

7.3 Output del modulo *SUPPORTO ALL'EARLY-WARNING*

Il modulo *supporto all'early warning* fornisce un output grafico generato automaticamente da INOPIA (Fig. 7.3a). La figura riporta in basso per il mese di riferimento (novembre nell'esempio riportato in fig. 7.2a), i deficit cumulati nei successivi Y mesi (6 mesi nell'esempio riportato in fig. 7.2a) in funzione degli SPI calcolati alla scala di aggregazione di X mesi (4 nel esempio riportato in fig. 7.2a) e relativi al mese di riferimento. In alto, sono riportate le occorrenze di deficit corrispondenti ad ogni classe di SPI interi espresse in percentuale rispetto al numero totale di occorrenze di ogni classe di SPI (asse verticale del diagramma a barre). E' inoltre indicato in rosso il

valore dell'SPI del mese di riferimento relativo all'ultimo anno di disponibilità dei dati di precipitazione (SPI2 nell'esempio riportato in fig. 7.3a).

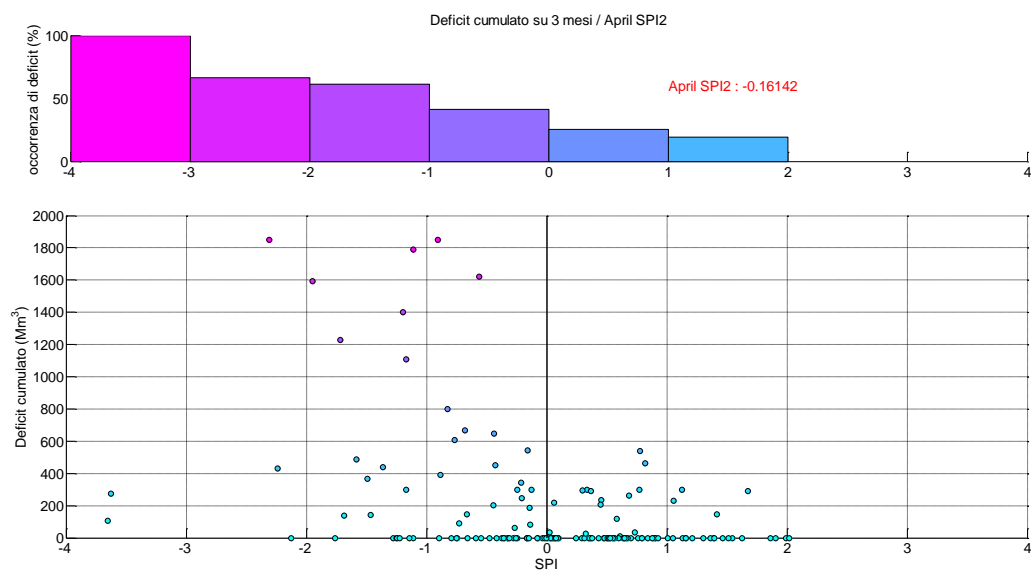


Figura 7.3a - Illustrazione della grafica di output del modulo Supporto all'Early warning.

Riferimenti

Il software INOPIA è stato sviluppato nell'ambito dell'Intesa Operativa tra l'Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche e il Dipartimento della Protezione Civile siglata il 19.12.2006 a seguito dell'Accordo di Programma Quadro sottoscritto il 20.06.2006

INOPIA costituisce il prodotto finale delle attività previste nell'ambito del Work Package 4 (Metodologie per il monitoraggio della disponibilità di risorse idriche e per il preannuncio di possibili crisi idriche) dell'Intesa Operativa citata e può essere utilizzato solo dietro esplicita autorizzazione del Dipartimento della Protezione Civile.

Autori del software:

dott. Emanuele Romano (IRSA-CNR, email: romano@irsa.cnr.it), responsabile scientifico del WP4
ing. Nicolas Guyennon (IRSA-CNR, email: guyennon@irsa.cnr.it).

Coordinatore delle attività dell'Intesa Operativa:

ing. Michele Vurro (IRSA-CNR, email: michele.vurro@ba.irsa.cnr.it)

Ultimo aggiornamento: 22 novembre 2016